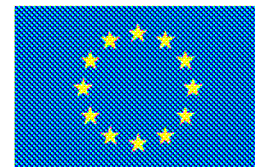


**SOUTH EAST
EUROPE**

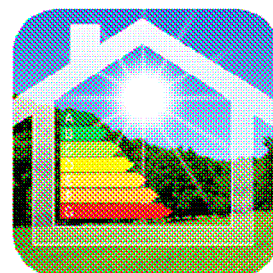
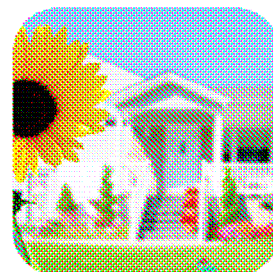
Transnational Cooperation Programme



Programme co-funded by the
EUROPEAN UNION

ENERgy Efficiency and Renewables-SUPporting Policies in
Local level for Energy

A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK KÉZIKÖNYVE



Jointly for our common future

A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK KÉZIKÖNYVE

2012

A PROJEKTRŐL

E képzési célokat szolgáló kézikönyvet az Európai Unió South East Europe Programme társfinanszírozásában megvalósuló ENERgy Efficiency and Renewables–SUPporting Policies in Local level for Energy (Energiahatékonyság és megújuló energia – a helyi energiapolitikák támogatása, angol rövidítéssel: ENER-SUPPLY) projekt keretében készítették az együttműködés résztvevői. A projekt célja a helyi és regionális intézményrendszer kapacitásának megerősítése, a helyi megújuló energia politika kialakításával, végrehajtásával és a tervezéssel kapcsolatos ismeretek bővítése. Az együttműködés keretében tizenegy képzés zajlott le tizenegy országban; melyeken összességében 83 helyi szervezet több, mint kétszáz dolgozója, valamint különböző tudományágak szakemberei vettek részt.

A képzési kézikönyv egy szakemberek által írt, és minden nyelvre lefordított végső termék, mely felhasználja a képzéseken szerzett tapasztalatokat.

A projekt bővebb leírása a www.ener-supply.eu honlapon található, ahonnan a távoktatási felület is elérhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projektet idejünkkel és tudásukkal sokan mások is nagylelkűen segítették, így Prof. Giovanni Riva, Prof. Ester Foppapedretti, Dr. Carla de Carolis a Marche-i Műszaki Egyetemről, akik a biomassza térképeket készítették, Eleftherios Giakoumelos a CRES-től, aki a vízienergia, és Dr. Charalambos Malamantenios, ugyancsak a CRES-től, aki a szélenergia térképeket készítette, Prof. Patrizio Signanini és Micaela Di Fazio a Chieti - Pescara G. D'Annunzio Egyetemről, akik a geotermális térképeket készítették, valamint Jozef Gajdoš és Rastislav Ručinsky, a Pozsonyi Egyetem Kassai Közgazdasági Karáról, akik a kézikönyv közgazdasági értékeléssel foglalkozó fejezetét írták.

A kézikönyv tervezésében részt vett és az elkészítését koordinálta Marco Caponigro, Christian Tantarenu és Nicoleta Ion.

Külön köszönet illeti a helyi és regionális energiaügynökségek alkalmazottait, akik részt vettek a projekt minden dél-európai tréningjén. Köszönet a részvételükért, a megjegyzéseikért és az észrevételeikért, amellyel hozzájárultak a tananyag fejlesztéséhez. Köszönet továbbá a JTS-nek, akik meglátták a projektben rejlő lehetőségeket és ajtót nyitottak a vitának.

JOGI NYILATKOZAT

A szerzők a kézikönyvben megjelent minden információért és nézetért teljes felelősséget vállalnak. Az itt szereplő nézetek és álláspontok nem képviselik a projektet társfinanszírozó Európai Bizottság álláspontját. Az anyag minőségéhez észrevételeikkel sokan hozzájárultak, ugyanakkor bármilyen hibáért és mulasztásért kizárólag a szerzőket terheli a felelősség.

A kézikönyvet angol eredetiből fordította és szerkesztette: Laczó Dániel

ISBN 978-963-08-3749-1

©Környezettudományi Központ

Budapest, 2012. április

Felelős kiadó: *Dr. Laczó Ferenc*, az ENER-SUPPLY projekt magyarországi koordinátora

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
BIOMASSZA.....	7
1. ELŐZMÉNYEK	9
2. BIOMASSZA ÉS FENNTARTHATÓSÁG	9
2.1. A biomassa definíciója.....	9
2.2. Biomassa és fenntarthatóság	9
2.3. Az EU Fenntarthatósági Rendszer (<i>Sustainability Scheme</i>) a bioüzemanyagok számára.....	11
3. BIOMASSZA	12
3.1. Biomasszafajták.....	12
3.1.1. Energianövényekből származó biomassa	12
3.1.2. Maradékanyagokból és hulladékokból származó biomassa.....	14
3.1.3. Települési és ipari forrású szerves hulladék (biogenic waste).....	16
3.1.4. A mezőgazdaságból származó hulladék és maradékanyagok	17
3.1.5. Az erdőgazdálkodásból származó hulladék és maradékanyagok	17
4. A BIOMASSZA TERMELÉS BECSLÉSE ÉS ELEMZÉSE.....	18
4.1. Biomassa osztályozása	18
4.2. A biomasszapotenciál becslése	19
4.3. A potenciális biomassa számítása	20
4.3.1. Energianövények biomassa potenciálja	20
4.3.2. Maradékanyagok és hulladékok biomasszapotenciálja	23
4.4. A hozzáférhető biomassa számítása	28
5. ENERGIATERMELÉS BIOMASSZÁBÓL: TECHNOLÓGIAI ÁTTEKINTÉS.....	29
5.1. A technológiák integrációja: általános vonatkozások.....	31
6. KÖVETKEZTETÉS	32
KISLÉPTÉKŰ VÍZENERGIA.....	35
1. BEVEZETÉS.....	37
1.1. Alapvető fogalmak és folyamatok.....	37
1.2. Kisléptékű vízerőművek előnyei.....	38
2. A VÍZENERGIA ALAPJAI	38
2.1. Esés és vízhozam.....	38
2.2. Teljesítmény és energia.....	39
2.3. Kisléptékű vízerőműrendszerek fő elemei	40
3. TECHNOLÓGIA.....	40
3.1. Áttekintés	40

3.2. A kisléptékű vízerőművek számára alkalmas turbinafajták	41
3.3. Turbinák kiválasztásának kritériumai.....	43
3.4. Turbinák hatékonysága.....	44
3.5. Ellenőrzés.....	45
3.6. Védőszerkezetek.....	45
3.6.1. Hulladékvédelem.....	45
3.6.2. Automatikus tisztítók.....	46
3.6.3. Halszűrők.....	46
4. AZ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSE.....	47
4.1. Bevezetés	47
4.2. Országos és területi szinten	48
4.2.1. Regionális vízhozam gyakorisági modellek.....	48
4.2.2. Távolsági felmérési adatok vízgyűjtő területi elemzésekhez	49
4.2.3. Digitális földfelszín modellek (Digital Terrain Models, DTM)	50
4.3. Helyi szintű forrás meghatározás (hely-specifikus).....	50
4.3.1. Esés mérése.....	50
4.3.2. Vízhozam mérése	51
5. A KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰ POTENCIÁL ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA	53
5.1. Általános elképzelés	53
5.2. Földrajzi rendszerek adatbázisainak leírása	54
5.3. Módszertan a vízerőművek felhasználható potenciáljának számításához.....	56
5.3.1. Áramlástanai adatok modellje	56
5.3.2. Energiatermelés kisléptékű vízerőművel	59
6. MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI TANULMÁNY KÉSZÍTÉSE	62
6.1. Bevezető	62
6.1.1. Szakszerű segítség alkalmazása	62
6.1.2. Előzetes helyszíntértékelés.....	62
6.2. Megvalósíthatóság	62
SZÉLENERGIA	65
1. A SZÉL SZEREPE A SZÉLENERGIÁBAN.....	67
1.2 A szélturbina névleges teljesítménye.....	68
1.4. A szélesebbesség változékonyságának hatása	70
1.5. Időbeli változások hatása	71
2. SZÉL ENERGIAFORRÁS ÉRTÉKELÉSE.....	72
2.1 Bevezetés	72
2.2 Helyszíni körülmények meghatározása.....	72
2.3 Eljárás.....	74
3. SZÉLSEBESSÉGI PROFILOK ÉS MÉRÉSÜK.....	76
3.1 Szélesebbességi profilok.....	76
3.2. Szélesebbesség mérések.....	76
3.3 Az archivált adatsorok megjelenítése	79

3.4 Helyszíni adatok elemzése.....	81
4. ENERGIATERMELÉS BECSLÉSE	82
4.1. Az éves energiatermelés számítása mért adatokból összeállított szélesség-histogramok alapján	83
4.2 Az éves energiatermelés számítása az elméleti szélesség eloszlással	84
5. A HELYSZÍNVÁLASZTÁST BEFOLYÁSOLÓ HELYI TÉNYEZŐK	84
5.1 A helyszín megközelítése	85
5.2 Csatlakozás az elektromos hálózathoz	85
5.2.1 Lakossági elektromos átviteli- és ellátó hálózat	85
5.2.2 A csatlakozás megtervezése	86
5.3 A helyszínválasztást befolyásoló egyéb tényezők	87
5.3.1 A helyi közösségeket érintő kérdések	87
5.3.2 Az élővilág megóvása és más érzékeny területek	90
5.4 Szélerőmű beruházás tervezése	92
6. SZÉLATLASZ KRITIKAI VIZSGÁLATI ELJÁRÁS MÓDSZERTANA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK EREDMÉNYEI	92
6.1 Bevezetés	92
6.2 A módszertan leírása	93
GEOTERMIKUS ENERGIA.....	95
1. A GEOTERMIKUS ENERGIA ÉS KÖRNYEZETI HATÁSAI	97
1.1. A geotermikus energia környezeti haszna	97
1.2. A geotermikus gradiens	97
2. A GEOTERMIKUS ENERGIA HÁTTERE	99
2.1 Geotermikus rendszerek.....	99
2.2 Az enthalpia elképzelése.....	100
3. A GEOTERMÁLIS ENERGIAFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSA	101
3.1 A hő közvetlen felhasználása	101
3.1.1 A hőszivattyúk működési elve.....	102
3.2 Elektromos áramtermelés	102
4. GEOTERMIKUS ENERGIAFORRÁSOK KUTATÁSA	104
4.1 Vizsgálati módszerek	104
4.1.1 Szükséges bemeneti adatok.....	105
4.1.2 Kiindulási adatok hozzáférhetősége országonként	106
4.1.3 A megújuló energiaforrásokról szóló térképek felhasználása.....	107
4.1.4 Példa egy megújuló energiaforrást ábrázoló térképre (RES Map).....	109
INDEX	119
FÜGGELÉK: A MEGÚJULÓ ENERGIAPROJEKTEK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSE	138
1. BEVEZETÉS.....	138

2 A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSÉNEK GAZDASÁGI KÉRDÉSEI.....	138
2.1 Alapelvek	138
2.2 A megújuló energiaforrások értékelésének alapvető eljárásai	139
2.3 Alapvető gazdasági kérdések	140
2.3.1. A költségbecslés kérdéskörei	140
2.3.2. A valós költségek kiszámításának problémái	140
2.3.3. A haszon kiszámításának problémái.....	141
2.3.4 A beruházással kapcsolatos problémák.....	141
2.4 Költség-haszon elemzések	144
2.5 Gazdasági hatásvizsgálat	145
2.6 Alternatív költségvetés tervező eszközök	146
A KÉZIKÖNYV SZERZŐI	150

BEVEZETÉS

Az üvegházhatású gázok (*greenhouse gases, GHG*) kibocsátásának felgyorsulása a klímaváltozás növekvő fenyegetésével jár, és következményei katasztrofálisak lehetnek. A megújuló energiaforrások (*Renewable Energy Sources, RES*) felhasználása, valamint a véghasználati energiahatékonyság (*end-use efficiency, EE*) hozzá járulhat az energiafogyasztás csökkentéséhez és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez, ezáltal a klímaváltozás kockázatainak enyhítéséhez.¹

A biomassa, a napenergia, a vízenergia, a szélenergia és a geotermikus energia felhasználatlan potenciálja továbbra is magas. Ugyanakkor az elmúlt időben számos serkentő intézkedés született, melyből a leghatásosabb a megújuló energiákból származó energia kötelező vételárának bevezetése (*feed-in-tariff, FIT*), így számos európai országban az iparág fejlődésnek indult.

Az EU más tervek átvételével küzdött a klímaváltozás ellen, míg a fenntartható fejlődést szolgáló Európa 2020 program meg nem született, mely az energiaszektor kapcsán is komoly elképzeléseket fogalmazott meg (más néven 20-20-20). Egy alacsony széndioxid kibocsátású gazdaság létrehozásához a magánszektorban fel kell ismernie és fel kell használnia az alkalmas gazdálkodási lehetőségeket. Különösen a helyi önkormányzatok szerepe nagy, mivel a területhasznosítási szándékok, és a közösségi politika végső érvényesítői. A megújuló energiák esetén kulcskérdés a helyhatóságok kapacitásának és munkaerejének megnövelése.

A legfőbb célja a könyvnek, hogy erősítse a megújuló energiaforrások menedzsmentjét és tervezését érintő képességeket és kompetenciákat. A szöveg négy különböző zöld energiaforrás mentén tagolt fejezetben mutatja be a különböző módszereket:

- (1) biomassa,
- (2) geotermikus,
- (3) vízenergia,
- (4) szélenergia.

A kézikönyvek a megújuló energiaforrások áttekintését tűzte ki célul, bemutatva a technológiai fejlődés irányait, esettanulmányokat és az alkalmazások felhasználható példáit. A szöveg további szándéka, hogy tervezési koncepciókat mutasson be, például az egyes energiaforrások potenciálját mutató térképek készítésének és a megvalósíthatósági tanulmányok írásának módjait. A felhasznált információ általános érvényű nemzetközi tapasztalatokon alapszik. A kötet vége tartalmaz egy rövid mellékletet a projektek pénzügyi értékeléséről.

Reméljük, hogy munkánk hozzájárul a megújuló energiaforrások alkalmazásai előtt álló korlátok leküzdéséhez.

Marco Caponigro

Azrudin Husika

¹Az energiaszektorhoz köthető emberi tevékenység az Európai Unió üvegházhatású gázkibocsátásának 78 százalékáért felelős (2006/32/EC Európai Parlamenti, valamint a 93/76/EEC Bizottsági Direktíva alapján.)

BIOMASSZA

1. ELŐZMÉNYEK

Ez a képzési segédanyag része az Európai Unió által támogatott ENER SUPPLY projekttevékenységnek. Az anyag tárgyalja kérdésnek a fenntarthatósággal, az innovációval és a műszaki tudományokkal összefüggő vonatkozásait. A biomasszát vizsgálva hangsúlyt kap: a biomassza definíciója és osztályozása, a potenciális és rendelkezésre álló források értékelése, valamint a felhasználás technológiai lehetőségei; emellett irányelveket határoz meg a kritikus kérdések kezeléséhez és a jelentős stratégiai lehetőségek felismeréséhez. A fenti témák az alábbi fejezetek szerint kerülnek bemutatásra:

Biomassza és fenntarthatóság

A biomassza forrásainak osztályozása

A biomassza értékelése

A biomassza-feldolgozás technológiái

Bioenergia-projektek értékelése és felügyelete

Az első és a harmadik fejezet a fenntarthatóság és a biomassza előállítását tárgyalja. Az egyes technológiák részleteinek megértéséhez nyújt kulcsfontosságú információt a negyedik fejezet. Az ötödik fejezet integrálja a korábbi fejezeteket egy projekteket segítő fenntarthatósági vizsgálatba, valamint összefoglalja a fő stratégiai összefüggéseket, különös tekintettel a bioenergia fenntarthatóságának lehetőségeire.

2. BIOMASSZA ÉS FENNTARTHATÓSÁG

A biomassza mint energiaforrás alapvetően különbözik a széntől független forrásoktól (pl. a szélenergiától), mivel a belőle nyert energia és a kibocsátott gázok jellege hasonló a fosszilis energiahordozók alkalmazásánál megszokotthoz. A biomassza élelemforrásként, takarmány alapanyagként és ipari nyersanyagként való felhasználása szintén lényeges szempont, melyet megfelelő súllyal kell figyelembe venni az energiacélú hasznosításnál, hogy összhangban maradjon a fenntarthatóság elveivel

2.1. A BIOMASSZA DEFINÍCIÓJA

Az Európai Unió 2009/28/CE direktívája alapján a biomassza „*a mezőgazdaságból (a növényi és állati eredetű anyagokat is beleértve), erdőgazdálkodásból és a kapcsolódó iparágakból – többek között a halászatból és az akvakultúrából – származó, biológiai eredetű termékek, hulladékok és maradékanyagok biológiailag lebontható része, valamint az ipari és települési hulladék biológiailag lebontható része.*”²

A fentiekből következik, hogy az újonnan betakarított biomassza megfelelő ipari feldolgozás révén a földgázzal illetve a szilárd és folyékony fosszilis energiahordozókkal egyenértékűvé alakítható. Különböző átalakító eljárások – pl. égetés, elgázosítás, lepárlás (pirolízis) – révén a biomasszából *biohő, biovillanyáram*, valamint a közlekedés számára *bioüzemanyag* nyerhető.

2.2. BIOMASSZA ÉS FENNTARTHATÓSÁG

A bioenergia felhasználása összefügg a földhasználatra gyakorolt hatásával. Az olyan kifejezések, mint „megújuló”, „alacsony üvegházhatású gázkibocsátással rendelkező” és „fenntartható” nem rokon értelműek, ezért külön-külön kell őket tekintetbe venni a biomassza projekteknél.

A fenntarthatóság követelménye akkor teljesül, ha a projekt megújuló energiaforrásokra támaszkodik, valamint negatív – vagy legalább egyensúlyi – a CO₂ mérlege az életciklusa során.

² Az Európai Unió 2009/28/EC direktívájának 2. cikkében foglaltak alapján.

Egy biomassza-láncolat rendelkezhet egyaránt negatív, valamint pozitív szén-dioxid mérleggel is – előbbi CO_{2eq}. légkörből való nettó elvonást, míg utóbbi nettó hozzáadását jelenti. A mérleg a szántóföldeken alkalmazott eljárástól, a szállítási és feldolgozási technológiáktól függ (BCT, 2007).

Az üvegházhatású gázkibocsátás egyike a fenntarthatósági vizsgálat során felmerülő szempontoknak. Azonban teljesítése nem elégséges. A fenntarthatósági koncepciónak ki kell térnie a környezeti, kulturális és egészségügyi szempontokra is, valamint összhangban kell lennie a gazdasági vonatkozásokkal is.

Általánosságban, a fenntarthatósági koncepció nem függetleníthető a környezet, gazdasági és társadalmi szempontoktól, ahogy az alábbi ábrák mutatják (1. és 2. ábra). Bármelyik nézőpont figyelmen kívül hagyásával, a projekt feltételei méltányosnak (*equitable*), elviselhetőnek (*bearable*) vagy megvalósíthatnak/ életképesnek (*viable*) mondhatók, azonban nem teljesítik a fenntarthatóság feltételeit.

Ugyanakkor a biomassza projektek nem lehetnek sikeresek a fenntartható biomassza ellátás, életképes üzleti modell és társadalmi támogatottság híján, ahogy azt az 1. számú táblázat mutatja.



1. számú ábra – A fenntarthatóság általános megközelítése (Adams W.M., 2006)



2. számú ábra – Egy bioenergetikai projekt általános megközelítése

1. számú táblázat: A biomassza projektekhez tartozó fenntarthatósági megfontolások hierarchiája (Crucible Carbon, 2008).

Fenntarthatósági kritérium	Figyelembevett szempontok
Ökológiailag fenntartható és életképes biomassza ellátás	Rendelkezésre álló föld
	Rendelkezésre álló víz
	Biodiverzitás
Gazdaságilag és technológiailag életképes feldolgozás	Nyersanyagellátás
	Technológia
	Termékek és piac
Működési szabályok	Kormányzati irányelvek (direktívák)
	Közösségi irányelvek (direktívák)
	Közösségi konszenzus

A biomassza projektek értékelése jelentős fejlődésen ment keresztül a RED (*Renewable Energy Directive*, Megújuló Energiaforrás Direktíva) 2009/208/EC-nek köszönhetően. Kezdetben a területen alapuló biomassza becslés a potenciálisan kinyerhető értékből indult ki, később a rendelkezésre álló biomassza értékeket vette alapul, míg az új RED direktíva alapján szükséges a *fenntartható biomasszában* rejlő lehetőségek feltérképezése, még az esetben is, ha ismert, hogy a nem mindenfajta biomassza lehet fenntartható.

Végeredményben kijelenthető, hogy a megújuló forrásokból nyert energia fenntarthatóságának biztosítása egyben társadalmi kérdés is, mely maga után kell, hogy vonja a nemzetközi és nemzeti szabályozás fejlődését – mely részben megkezdődött a RED 2009/28/EC révén –, a tervezés szükségességét a városellátási és a közlekedési ágazatokban, valamint az egyéni életvitelben és a fogyasztási erkölcsökben való változást.

2.3. AZ EU FENNTARTHATÓSÁGI RENDSZER (SUSTAINABILITY SCHEME) A BIOÜZEMANYAGOK SZÁMÁRA

A hagyományos üzemanyagokkal szemben a bioüzemanyagok előnye a nagyobb energiabiztonság, a kisebb környezeti hatás, a külkereskedelmi kiadásokban elérhető megtakarítás, valamint az agrárszektor társadalmi és gazdasági körülményeinek javulása. A fenntarthatóságról alkotott elképzelés magában foglalja a kölcsönös összefüggést és egyensúlyt a gazdasági, társadalmi és környezeti kérdések között (Demirbas A., 2009).

A 2007. szeptember 25-én elfogadott „Európai ütemterv a megújuló energiaforrásokhoz” (*Roadmap for Renewable Energy in Europe*) című határozatban az Európai Parlament kiemelte a bioüzemanyagokkal szembeni fenntarthatósági követelményeket, és felkérte az Európai Bizottságot, hogy adjon megbízást egy bioüzemanyagok számára kötelező tanúsítási rendszer kidolgozására.

A fenti igényekkel összhangban, a RED Direktíva (2009/28/EC) már tartalmaz környezeti fenntarthatósági kritériumokat és hitelesítési feltételeket a bioüzemanyagok és biofolyadékok számára.

Az Európai Bizottság szorgalmazta továbbá a 2009/28/EC Direktíva végrehajtását lehetővé tevő szabványminták kidolgozását. Az energiacélra fenntartható módon előállított biomassza fogalmát definiáló folyamat jelenleg is zajlik a CEN (*Comité Européen de Normalisation, Európai Szabványügyi Bizottság*) 383. számú Technikai Bizottságában.

A biomassza fenntartható felhasználását leíró legutóbbi Direktívában az Európai Bizottság a legátfogóbb és legmagasabb fokú megfogalmazását adta a fenntarthatósági rendszernek, és a tagállamok felelősek ezek végrehajtásáért az EU-ban előállított bioüzemanyagok és folyékony bio-energiahordozók esetében. Az egyik fontos eleme a fenntarthatósággal szembeni kritériumoknak a talajtípológia. A nyersanyagok nem származhatnak természetesen nőtt erdőkből, természetvédelmi területekről, sem nagy biodiverzitással rendelkező rétekről. A Bizottság a későbbiekben fogja definiálni a jelentős biodiverzitású területek kritériumait és a földrajzi kiterjedését.

A RED Direktíva másik fontos fenntarthatósági előírása a magas szintű szénkészlettel rendelkező területekre vonatkozik: a nyersanyagok nem származhatnak vizes területről, állandóan erdővel borított tájakra, 10-30%-os lombzati lefedésű területekről és tőzeglápokról.

Végezetül a RED Direktíva értelmezi a részben nem megújuló forrásokból származó bioüzemanyagokat. A Direktíva egyes anyagok, így az ETBE (etil-tercier-butil-éter) számára meghatározza a megújuló források százalékarányát.

A Direktívában fel nem sorolt üzemanyagok (így az olyan anyagok, amelyek flexibilis előállításúak, vagy pl. a kettős tüzelésnél – *cofiring* - alkalmazott változó arányú keverékek) számára pontos párhuzamot nyújt a vegyes tüzelésű erőműveknél alkalmazott elv: az egyes energiaforrások részesedése *energiatartalmuk* alapján határozható meg.

3. BIOMASSZA

Egy adott területen felépítendő bioenergia-láncolathoz szükséges a fellelhető biomasszafajták és technológiák számbavétele, ezért a biomassza-nyersanyagok osztályozása és különböző sajátágaik ismerete nélkülözhetetlen a legjobb eredmény érdekében.

Az alábbi fejezet tárgyalja a biomasszafajták általános leírását, illetve azok kapcsolatát a feldolgozási folyamatokkal; hangsúlyt fektetve azon tulajdonságaikra, melyek révén hatással lehetnek a fenntarthatósági rendszerre, valamint bioenergiái felhasználásuk megvalósulhat.

3.1. BIOMASSZAFAJTÁK

A bioenergiái felhasználást lehetővé tevő biomassza túlnyomó többsége növényi vagy állati eredetű.

A biomasszafajták különböző gazdasági ágazatokból való származása kínálja az első osztályozási lehetőséget: a biomassza lehet mezőgazdasági, erdőgazdasági, ipari vagy települési eredetű. Másfajta különbségtételt is alkalmazhatunk, az alapján, hogy a biomassza energianövényből, maradáanyagból vagy hulladékból származik.

3.1.1. ENERGIANÖVÉNYEKBŐL SZÁRMAZÓ BIOMASSZA

Az energianövények egyértelműen a mező- és erdőgazdálkodási ágazatokból származnak.

Egynyári lágyszárú növények

A lágyszárú és ezen belül az egyszikű növények alkotják a modern mezőgazdaság terményeinek döntő hányadát. Az egynyári növények közé tartoznak az olyan gabonafajok, mint a búza, árpa, zab és rozs; az olyan kisebb jelentőségű fajták, mint a cukorrépa vagy a cukornád; valamint az olyan takarmányfajok, mint a lóherefajták.

A fenti növények magvai, gumói és szárai a keményítő forrásai, amely később különböző eljárások révén bioüzemanyaggá, illetve energiává alakíthatók.

A mezőgazdasági fajtanemesítés célja – elsősorban a nem élelmezési célú növényeknél – korábban a szem/növény arányának megváltoztatása volt, amivel jelentősen növelték a magszámban kifejeződő termés hozamot.

Évelő lágyszárú növények

Az évelő növények akkor szolgálhatnak bioenergiái nyersanyagként, amikor a felépített gazdasági modell életképes. Az olyan gyorsan növekvő fű és nádfajták, mint az olasz nád (*Arundo Donax*) vagy az elefántfűfélék példák az olyan lágyszárú növényekre, melyek egyszerre szolgálhatnak magas tápértékű takarmányként, valamint alapanyagként energiához. Ugyanakkor hátrányaik közé tartoznak a vetőmag jelentős ára, a betakarítás aránylag alacsony gépesíthetősége, valamint a magas nedvességtartalom és az eltüzelést követően hátramaradó nagy mennyiségű hamu (*Ranalli P., 2010*).

Léteznek más jellegű energianövények is, például az articsóka (*cynara cardunculus*) vagy az energianád (*mischantus*), melyek kisebb vízigényűek, így a mediterrán klímájú országokban nagy érdeklődés mutatkozik irántuk a mezőgazdasági és genetikai kutatásokban.

Olajnövények

Az olajnövények közé tartoznak az egygyári olajos magvú növények és az évelő olajfafajták.

Olajos magvú termények

Mezőgazdasági szempontból az olajos magvú termények fajtafejlődése és használata eltér a gabonafélékétől, ezért másodvetésként a növényi kórokozók ellen is felhasználható.

Európában a két legelterjedtebb olajnövény a repce és a napraforgó. A növényi olajat mechanikai préseléssel vagy oldószer segítségével vonják ki, és élelmiszert, szappant vagy kozmetikumokat készítenek belőlük. E termények olaja rendszerint más alkotóelemeket is tartalmaz, például fehérjéket és keményítőt, melyek szintén közvetlen gazdasági felhasználásra kerülnek. Az olajnövények hagyományosan talajtakarásra vagy takarmányozásra használt lignocellulóz tartalmú részei égetés révén felhasználhatók hő- és más energiatermelésre, míg a növényi olajak magasabb értékű bioneregetikai hasznosítást is lehetővé tesznek, elsősorban gázolajat helyettesítő üzemanyagként (*Crucible Carbon, 2010*).

A napraforgó- és repceolajból származó átészterezéssel nyert termékek a biodízelek, melyek a hagyományos gázolaj elsődleges alternatívái lehetnek.

Olajfafajták

Számos fafajta termel olajat: ilyen a palma, a kókusz és a makadámdió. A fejlett országokban a pálmaolajat egyaránt használják étolaj és biodízel előállítására is.

Az étkezési célú olajak használata azonban jelentős problémákat – például a fejlődő országokban akár éhínséget – okozhat; a pálmaolaj kétfajta felhasználása versenyt gerjeszt az élelmiszerpiac és a bioüzemanyagpiac között, ezáltal megemelkedik a növényi olajak ára a fejlődő országokban.

A fejlődő országokban az étkezési célra nem használható növényi olajak energiacélú használata sokkal elterjedtebb az étolajak ilyen jellegű alkalmazásánál, mivel utóbbira jelentős a kereslet mutatkozik, így üzemanyagcélú felhasználásuk jelenleg túl költséges volna. Az elmúlt években

mélyrehatóan vizsgálták a különböző az étkezési célra nem használható növényi forrásokból származó olajak biodízelcélú felhasználásnak lehetőségeit. (Balat M., 2010).³

A kisebb tápértékű olajfajták részben szolgálhatnak bioenergiail nyersanyagként, valamint évelő növényként vízmegtartó és szénmegkötő tulajdonságaik is kedvezőek. A nem étkezési célú termények pedig nem befolyásolják az élelmiszerpiaci keresletet és kínálatot. Egyes étkezési felhasználást is lehetővé tevő növények – így a jatropha – hasznosíthatók energiacélra is, valamint felhasználásuk nem fenyegeti az élelmi célú növények piacát sem. Ugyanakkor ezek a növények számos, gyomokhoz hasonló kedvezőtlen tulajdonsággal is rendelkeznek, így elképzelhető, hogy betiltják őket, nehogy túlszorodjanak (*Crucible Carbon, 2008*).

A nagy érdeklődés és a konfliktusok oka az alábbiakban bemutatott eltérés az egyes fajok vegetatív növekedése és a termésátlagai között. (Balat M., 2010).

2. számú táblázat: Olajnövények biodízeltermelésének összehasonlítása (Balat M., 2010).

Olajnövény	Olajtermelés (t/ha)	Hivatkozott forrás
Repceolaj	1	M.Balat, 2010
Szójabab	0,52	M.Balat, 2010
Napraforgó	0,9	Foppa Pedretti et al., 2009
Pálma	5	M.Balat, 2010
Jatropha ³	0,5	M.Balat, 2010
Mikroalgák	50	M.Balat, 2010

Lignocellulózikus növények

A kukorica és a szója egynyári növények, míg a lignocellulózikus bioenergia forrásai jellemzően évelők. A lignocellulózikus növények közé tartoznak az évelő fűfélék és más fajok.

A fűszerű növények közé tartozik a vesszős köles (*switchgrass, Panicum virgatum*), a kanáriköles (*Phalaris Arundinacea*) és az elefántfű (*Miscanthus*).

A hasznosítható fűszerű növények közé tartoznak a fűzök (*Salix spp.*), a nyárfák (*Populus spp.*), valamint az eukaliptusz. A fentiek közül kiemelt figyelmet kapott a nyár, az elefántfű (*miscanthus*), és a vesszős köles, mivel biomassza-termésátlaguk nagy, hatékony az takarmányozási célú felhasználásuk is, természetük kisebb talajerózióval jár, szén-dioxid megkötő képességük jelentős, és kevesebb a termelés során felhasználandó fosszilis üzemanyag az egynyári növényekhez képest.

Számos kutatást végeztek a nyárfafajokon, melyet az egyik legfontosabb növénynek tartanak gyors növekedése és megtérülése miatt: e tulajdonsága lehetővé tette, hogy genetikai programokban alfajait és klónjait hozzák létre, melyek az egész világon felhasználhatóvá válnak. Más olajfajták, mint az eukaliptusz melegebb, mediterrán éghajlaton való termelést tesznek lehetővé (*Ranalli P., 2010*).

3.1.2. MARADÉKANYAGOKBÓL ÉS HULLADÉKOKBÓL SZÁRMAZÓ BIOMASSZA

A melléktermékekből (másként: maradékanyagokból) és a hulladékokból származó biomassza elemzése az előbbieknél bonyolultabb feladat ezen anyagok összetettsége és az alapanyagok többfajta ágazatból – a mezőgazdaságitól a kommunális szektorig – való származása miatt.

³ Az elmúlt években mélyrehatóan vizsgálták a különböző nem ehető növényi forrásokból származó olajak biodízelcélú felhasználásnak lehetőségeit. Nem étkezési célú termények a jatropha fa (*Jatropha curcas*), az indiai bükkfa (*Pongamia pinnata*), a dohánymag (*Nicotiana tabacum*), a rizskorpa, az indiai mahuafa (*Madhuca indica*), a ním (*Azadirachta indica*), a kaucsukfa (*Hevea brasiliensis*), a ricinusolaj, a lenolaj, a mikroalgák stb.

Mindenekelőtt szükséges az EU 2008/98/EC Direktívájában foglaltak alapján különbséget tenni melléktermék és hulladék között: melléktermék minden olyan anyag, mely újrafelhasználásra kerülhet, míg a hulladék elérte a termelési ciklus végét, így nem lehet újrafelhasználni sem. (Castelli S., 2010).

Hulladék anyagok termelési folyamatokban, az iparban és a településeken keletkezhetnek, melyek jellemző energiataralma 10,5-11,5 MJ/kg körül mozog.

A hulladékkezelési gyakorlatok eltérnek fejlett és fejlődő országok esetén, városi és vidéki területeken, valamint a lakossági és ipari források esetén.

A hulladékkezelés kiindulási helyzete is más egy fejletlen és egy iparosodott ország esetében. A bevált technológia átadása ugyan műszakilag lehetséges és megvalósítható, azonban a gyakorlatban pontatlanságokkal járhat. Fontos az alábbi helyi tényezők megértése:

- hulladékok jellegzetessége, és évszakonkénti eltérése az éghajlat függvényében
- társadalmi vonatkozások, kulturális hozzáállás a szilárd hulladékok kérdéséhez és a politikai intézményrendszerhez
- a gyakorta létező, kézenfekvőbb források ismerete

A fenntartható hulladékgazdálkodás célja a környezetbe juttatott hulladék mennyiségének visszafogása a keletkező hulladékmennyiség csökkentésével. Nagymennyiségű hulladékot ugyan nem lehet megsemmisíteni, de a környezeti hatás csökkenthető a hulladék fenntartható szemléletű felhasználásával, melynek lehetőségeit a *hulladékhierarchia* elve írja le.

A hulladékhierarchia a mennyiségi csökkentés, az újrafelhasználás és az újrahasznosítás lehetőségeit rendezi sorba a hulladékminimalizálás lehetőségeinek szempontjából; célja a termékekből nyerhető gyakorlati haszon maximalizálása a lehető legkevesebb hulladék keletkezésével (Demirbas A., 2010).

A mezőgazdasági, erdőgazdálkodási és ipari tevékenységből származó biomassza egy része is leírható hulladékként, melyekre mindennemű hulladékhoz és maradékanyaghoz hasonlóan ugyanúgy alkalmazható a hulladékhierarchia elve, ahogy az a következő fejezetben bemutatásra kerül.

Lehetséges hulladék és maradékanyagból származó biomassza források lehetnek a növényi és állati maradékok. E források közé tartoznak a mezőgazdaság olyan anyagai, mint a szalma, zöldség- és gyümölcschéjak; az olyan erdőgazdálkodási hulladékok, mint az avar, a fűrésztelepi hulladékok; valamint a települési szilárd hulladékok biomassza-komponensei. Ezen anyagok alkalmasak az energiatermelésre, mivel szerte a világon többmilliárd tonna biomasszát tartalmaznak (Abbasi és társai, 2009).

A maradékanyagok és hulladékok energiatermelésre való felhasználására számos lehetőség áll rendelkezésre: a talajtakarásos elhelyezés, szemétegetés, lepárlás (pirolízis), elgázosítás, anaerob lebontás stb., melyeknek rövid leírásukat jelen fejezet, míg bővebb ismertetésüket a következő tartalmazza.

A technológiát a hulladéktipológia alapján kell kiválasztani; a hulladék minősége és a helyi körülmények meghatározó jelentőségűek, a felsorolás és rendszerezés azonban nem egyszerű. Az Európai Unió tagállamaiban a hulladékokat az *EWC Kód (EPA, 2002)*⁴ alapján osztályozzák. A 3. táblázat a lehetséges hulladékkezelési eljárásokat mutatja be.

⁴ EWC (European Waste Catalogue) a hulladékok és a veszélyes hulladékok európai katalógusa. A célja minden, az EU-ban lerakott és visszanyert hulladékfajta egységes, konzisztens osztályozása. A katalógus jogilag érvényes verzióját az új hulladék keretirányelv (2006/12/EC) tartalmazza.

3. számú táblázat: Hulladékok feldolgozása (Demirbas A., 2010).

Hulladék fajtája		Hulladékkezelési eljárás
Éghető hulladék		Pörkölő égetés
		Folyékony ágyon történő égetés
		Lepárlás (<i>pirolízis</i>) – égetés
		Lepárlás (<i>pirolízis</i>) – elgázosítás
		Szétválogatás – komposztálás
		Égetés (<i>incineration</i>)
		Szétválogatás-lepárlás
		Szétválogatás – elgázosítás
		Szétválogatás – cementműben való égetés
		(Nedves és száraz) szétválogatás-erjesztés – cementműben való égetés
Éghetetlen hulladék		Talajtakarás
Részben éghető hulladékforrások	Fa	Lepárlás (<i>pirolízis</i>) és tüzelőadalékként való felhasználás szénerőműben
		Elgázosítás
		Folyékony ágyon történő égetés
	Műanyag	Elgázosítás
		Nyersanyagként való újrafelhasználás
	Erjeszthető szerves hulladékok	Komposztálás
		Anaerob lebontás

Egy olyan technológia kiválasztása lenne a legjobb megoldás, melynek alkalmazása gazdaságos, a lehető legkevesebb földterületet igényli, gyakorlatilag nem szennyezi a levegőt és a talajt, több energiát képes termelni kevesebb hulladékkal, és a teljes térfogatigénye is csekély (Demirbas A., 2010).

Tiszta és egyben költséghatékony módon jelenleg még nehéz energiát előállítani. A legnagyobb gondot egyelőre a hulladékok lignocellulóz tartalmú elemeinek egyszerűbb cukrokra történő gyors és gazdaságos lebontása jelenti, mely később lehetővé teszi a biokémiai átalakításukat tisztább üzemenyagokká (Abbasi M. és társai, 2009).

A hulladékból és maradáanyagokból származó biomassa felhasználásával nyert energia egyre nagyobb jelentőségre tesz szert kedvező környezeti és gazdasági hatásai révén. A városokból származó szerves hulladékok energiacélú felhasználása gátolhatná a szeméttelpek növekedését, csökkentené az üvegházhatású gázok kibocsátását, valamint a fosszilis energiahordozóktól való nagyobb függetlenséget tenne lehetővé. Fontos továbbá figyelembe venni, hogy a hulladékok nem csak energiacélú, hanem takarmányozásra alkalmas elemeket is tartalmaznak.

A környezeti fenntarthatóság egyik alapelve, hogy az energia kinyerhető a termelési és fogyasztási rendszerekből, azonban az élelmezésre és takarmányozásra fordítható elemek újrahasznosítandók. Nem célszerű bioenergia projektet olyan forrásokra alapozni, melyek elsősorban minimalizálандók, vagy magasabb értékű felhasználást tesznek lehetővé (Crucible Carbon, 2008).

3.1.3. TELEPÜLÉSI ÉS IPARI FORRÁSÚ SZERVES HULLADÉK (BIOGENIC WASTE)

Az ipari és települési forrású hulladék kedvező biomassa forrás – különösen, ha a biogénnek (élő eredetű) is nevezett szerves részét számításba vesszük –, mivel nyersanyaga már előzőleg összegyűjtésre került, és a hulladékkezelési díj miatt *negatív költséggel* szerezhető be: a rájuk

kiszabott díj csökkentése érdekében a szeméttlerakó telepek hajlandóak fizetni a náluk elhelyezett hulladék elszállításáért (*Demirbas A., 2010*).

A hulladékhierarchia elve alapján érdekes energiaforrási lehetőség a települési és ipari hulladék biogén részének anaerob erjesztésű újrafelhasználása energiatermelési célra.

Kiemelkedő figyelmet érdemlő kérdés a fáradt étolaj bioüzemanyaggá alakításának lehetősége. A fáradt étolajból nyert – s a fosszilis üzemanyagokat részben kiváltani képes – biodízel előállítás az egyik olyan lehetőség, mellyel egyszerre lehet enyhíteni a környezetszennyezés és az energiaéhség problémáit.

3.1.4. A MEZŐGAZDASÁGBÓL SZÁRMAZÓ HULLADÉK ÉS MARADÉKANYAGOK

A legfőbb mezőgazdasági maradékok növényi eredetűek, ilyenek a szalmák, a különböző héjak, az olíva magjai vagy a csonthéjasok burkai. A meghatározást pontosítva, a maradékanyagok két általános kategóriába sorolhatók:

- mezei hulladékok: a betakarítás után a szántókon és a kertekben hátramaradó anyagok; ilyenek a növényi száraz, törzsek, levelek és terményhüvelyek;
- feldolgozási hulladékok: a termény feldolgozása során hátramaradó melléktermékek; ilyenek a héjak, magvak, a kiperéselt termények (mésziszap) és a gyökerek.

Egyes mezőgazdasági melléktermékeket felhasználnak takarmányozásra, talajkezelésre és gyártásra.

A kukoricánövény földfeletti, szemes terményen kívüli elemei a szára, melynek alkotóelemei a szár, a címer, a levelek, a torzsa, a csuhé, és a kukoricahaj. Átlagos esetben a növény szárazanyaga egyenlően oszlik el a szemek és az egyéb részek között. Jelenleg a magon kívüli szárazanyag körülbelül 5 %-át fordítják takarmányozásra, míg a maradékot vagy beszántják a talajba, vagy a szalmához hasonlóan elégetik; azonban a szarat energiataralma miatt számos EU tagállamban energiatermelésre is használják.

3.1.5. AZ ERDŐGAZDÁLKODÁSBÓL SZÁRMAZÓ HULLADÉK ÉS MARADÉKANYAGOK

A nem OPEC tagországok és más fejlődő országok esetében az erdészeti ágazat a faanyag fő forrása, mely vidéken máig a legfőbb tüzelőanyaga a kisléptékű energiatermelésnek, ahol a gázellátás nem általános. Ezen országokban a fa felveszi a versenyt a fosszilis tüzelőanyagokkal a háztartások esetén főzés és melegvíz-készítés terén, valamint az ipari és a szolgáltatási szektorok melegvíz-termelése és távhőszolgáltatása esetében is.

Az erdőgazdaságokból vagy a hozzájuk kapcsolódó ipari tevékenységekből – pl. fűrészszalmából – származó hulladékok alternatív, biomassza célú felhasználása jó és sikeres példa a maradékokból való energiatermelésre. Erdei maradékanyag a nyesedékfák, a rönkök maradékai, értéktelenebb fák, cserjék, kérgesek stb. (*Demirbas A., 2000*).

Az erdei faanyagok maradékai jobb üzemanyagnak tekinthetők a mezőgazdasági maradékanyagoknál, annak ellenére, hogy nagy anyagsűrűségük és – különösen meredek területekről való – betakarításuk miatt a szállítási költségek magasak. Ezen anyagok energiacélú felhasználása esetén, az egységnyi energia előállítása során kibocsátott nettó szén-dioxid mennyisége alacsonyabb a mezőgazdasági maradékokhoz képest, az utóbbiaknál alkalmazott műtrágyák és növényvédő szerek miatt (*Borjesson P., 1996*). Az alábbi táblázat a faanyag összetételét mutatja be (4. sz. táblázat).

4. számú táblázat: Fás növényekből származó biomassa jellemzése

Paraméterek	Fa	Kéreg
Illékony anyagok	80 %	74,7 %
Megkötött szénttartalom	19,4 %	24 %
Hamu	0,6 %	1,3 %

A különböző növényi anyagok energiatartalma határozza meg fűtőértéküket (kalorifikus érték, calorific value – CV). A fűtőérték a szén- és hidrogéntartalomtól függ, mivel ezek a legmeghatározóbb forrásai a biomasszából hő formájában kinyerhető energiának.

A tűzifa legfőbb jellemzői közé tartozik a sűrűsége, mely 400-900 kg/m³ közt változik; valamint energiatartalma, melyet a nettó fűtőértékkel (Low Heating value LHV) írhatunk le, s 4200-5400 kcal/kg között mozog.

A maximális energiamennyiség kinyeréséhez szükséges a faanyag szárítása, mivel a nettó kinyerhető energia függ a nedvességtartalomtól. A tűzifa fűtőértéke fordított arányosságban áll nedvességtartalmával (Demirbas, 1995).

Az EU minden tagállamában zajlik a különböző energianövények termesztése és a hozzákapcsolódó energiatermelő technológiák fejlesztése, így a mezőgazdasági-erdészeti és a települési hulladékok együttes felhasználása. Néhány ilyen fejlesztést mutat be az EU Make It Be projektje (*Make It Be Project - Decision Making and Implementation Tool for Delivery of local & regional bio-energy chains*), azzal a céllal, hogy a legsikeresebb eljárásokat – mint a fenntarthatósági szempontokat is teljesítő követendő példákat – bemutassa a bioenergia-szektor számára (*Make It Be Project, 2010*).

4. A BIOMASSZA TERMELÉS BECSLÉSE ÉS ELEMZÉSE

Egy adott területen a hozzáférhető biomassa mennyiségéből lehet megbecsülni az energiaellátásba bevonható bioenergiát. Ez a fejezet ágazatokra – mező-, erdőgazdaság, ipar és hulladékok – bontva tárgyalja a lehetőségeket és a biomassa hozzáférhetőségét a fenntarthatósági szempontok figyelembe vételével.

A biomassa-termelés regionális elemzése a vizsgált területek sajátosságait veszi figyelembe: a különböző termelési ágazatok az EU egyes régióiban eltérő fejlettséget mutatnak.

Egy előzetes elemzés során a biomassa-mennyiség átszámítható évenkénti tonnáról olyan energiaegységre, mint a Joule, a kWh vagy az olajegyenértékre (*Tonnes of Oil Equivalent, TOE*).

Alábbiakban bemutatásra kerülnek az egyes anyagok energiatermeléséhez kapcsolódó jellegzetes technológiák.

4.1. BIOMASSZA OSZTÁLYOZÁSA

A biomassa termőföldigényének meghatározáshoz először azonosítani és osztályozni kell a lehetőségeket. A lehetőségek felosztásához különböző paraméterek vehetők alapul. Az Európai Szabványban (*European Norm*) az osztályozás alapja a bioüzemanyag eredete (CEN/TC-335), figyelmen kívül hagyva az előállító ágazati forrást.

A negyedik fejezet azonban a fentieknek megfelelő szektorok alapján osztályozza a biomasszát: mezőgazdasági termény és maradékanyag, állati eredetű hulladékok, erdőgazdasági maradékok, ipari és települési hulladékok.

Az egyes osztályok különböző fajtájú biomasszákat írnak le, a legfontosabbak a termények (betakarított biomassza), valamint a maradékok (földművelés, aratás és feldolgozás melléktermékei).

Hasznos adat az alkalmazható biomasszák különböző forrásaihoz tartozó évenként kinyerhető termésátlag (tonna/év). Másfajta osztályozást kínál az egyes biomasszák megfelelő bioüzemanyagokká való átalakítási lehetőségeinek összevetése.

Termelékenységi szempontból közelítve meg a kérdést, a termelési index a bioüzemanyag fajták tonna/évben és köbméter/évben kifejezett mennyiségét mutatja.

Fontos szempont emellett a bioüzemanyagok továbbkonvertálása bioenergiává, és ennek kifejezése MJ, kWh vagy TOE alapján az üzemanyagok tonnája, literje vagy köbmétere alapján. Végezetül, a rendelkezésre álló különböző biomasszákból kinyerhető energia vetendő össze (tehát a tonna/év átszámítandó MJ/évre).⁵ Az osztályozási lehetőségek összefoglalását adja a *Handouts of Biomass* 5. számú táblázata.

4.2. A BIOMASSZAPOTENCIÁL BECSLÉSE

A legfőbb közgazdaságtani kihívás egy lehetséges biomassza projekt esetében annak a bizonyítása, hogy a bioenergia-láncolatok – egész életciklusukat figyelembe véve – jövedelmezőbbek a terület más felhasználási módjaihoz képest. Szükséges a költségek csökkentése mind a biomassza termelése és szállítása esetén, valamint a kinyerhető biomassza pontos becslése, a terület karakterológiája alapján.

A becslés első lépése a biomassza termelés ágazatokra vonatkoztatása.

A megfelelő fajok kiválasztása az egyik legfontosabb szempont, azonban megjegyzendő, hogy a természetből növények körét a természeti-környezeti jellemzők határozzák meg.

Általánosságban igaz, hogy magas biomassza termelékenységűnek mondhatók a nagyléptékű fás növényeken alapuló rendszerek, a vetési és betakarítási ciklus egészére vonatkoztatott évi 5-15 szárazanyagtonna/hektár átlaggal.

Másfajta, nagy termelékenységű rendszerekre voltak példák a gyorsnövésű fűvek, 50 száraztonna/hektár éves átlagterméssel. Ezen eredmény eléréséhez azonban megfelelő talaj és éghajlat szükséges. A termelékenység az egész bioenergia projekt ökológiai lábnyomát magában foglalja, és ez figyelembe veendő szempont a fenti adatot célzó, termelékenységet növelő eljárások alkalmazása esetén.

A biomassza projekt mérlege függ a betakarítási, szállítási és logisztikai költségektől is; ezért célszerű térképi elemzésnek is alávetni a biomassza térbeli eloszlását.

A biomassza egyedülálló előnye, hogy a mindenhol fellelhető; azonban ebben rejlik hátránya is. Egy nagyobb terület teljes biomasszájának egy központi feldolgozó üzemben való hasznosítása drága, azonban a központosított biomassza termelés és tárolás lehetőséget nyújt gazdaságosabb méretű feldolgozó üzemek létesítéséhez.

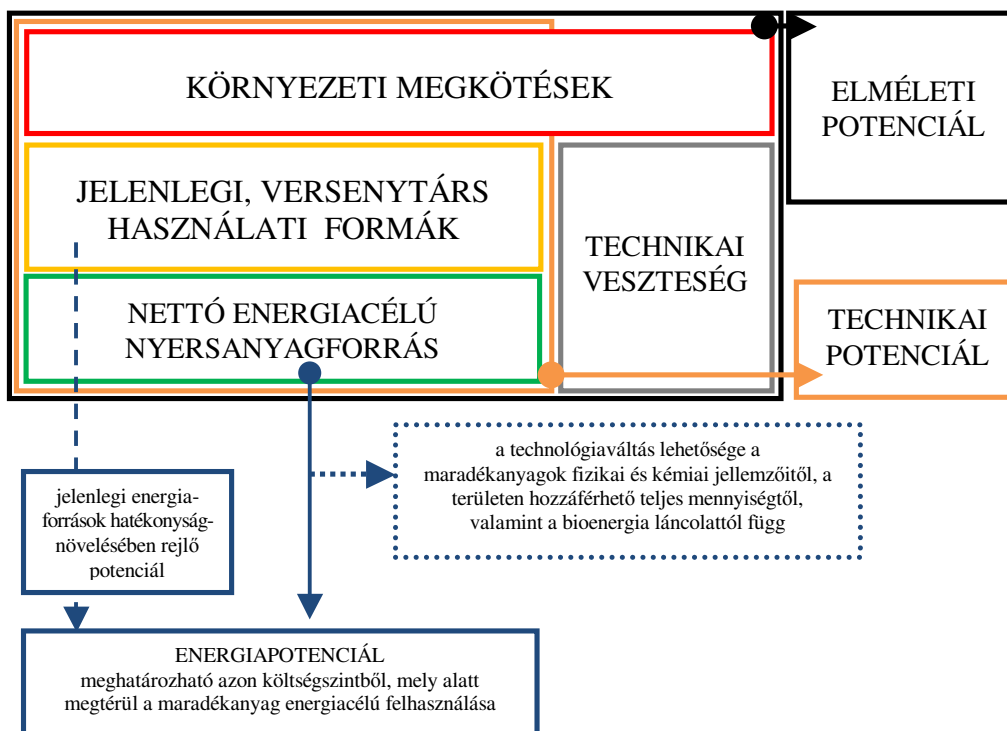
Ugyan a biomassza mindenhol jelen van, azonban nem mind használható energetikai célokra a későbbiekben részletezett korlátozások miatt.

⁵ A bioenergiapotenciál tonna/év alapú összevetéséhez:

- a számítás alapját a száraz biomassza mennyiség becslése kell, hogy adja a fás, fűszerű, gyümölcs- és magalapú fajták esetén
- az átlagos energiatartalom (MJ/Kg) és a szerves anyag tartalom is ismert kell, hogy legyen a mezőgazdasági termékek esetén (silózott kukorica, trágya stb.)
- a szennyvíziszap és a talajtakart hulladék metántartalma ismert kell, hogy legyen

Egy, a biomassza ellátás becslését jobban lehetővé tevő területi stratégia kidolgozásához szükséges a *biomassza megközelítés* ("Biomass Approach"), mely figyelembe veszi a lehetséges és elérhető értékeket fenntarthatósági szempontból.

A biomassza potenciál bemutatja a területen fellelhető teljes forrásmennyiséget, e mutatóra lehet hivatkozni több – elméleti, műszaki, környezeti és gazdasági – szempontból is. Gyakorlati értelemben a valóságosan kinyerhető biomassza mennyisége függ bizonyos megkötésektől (műszaki, környezeti, valamint más lehetséges területhasználati formákból adódó kötelek) és elméleti lehetőségektől, ahogy az alábbi, 3. ábra és a "Handouts of Biomass" (*Ener Supply Project, 2010*) kiadvány mutatja.



3. számú ábra – *Becslés biomassza megközelítéssel (Make It Be Project, 2010).*

A fentiekben ismertetett biomassza megközelítésen alapulóan a biomassza elméleti lehetséges értékéből meghatározható a *legvalószínűbb nettó potenciális értéke* egy meghatározott időintervallumban. A nyersanyagforrás becslése egy időintervallumhoz köthető, mivel értéke az idő függvényében változhat.

4.3. A POTENCIÁLIS BIOMASSZA SZÁMÍTÁSA

Különösen a széles körben és nagy területen természetett biomassza források esetén merülhet fel kétfajta probléma a számolásnál: a számítás alapjául szolgáló átlagos értékeket meghatározó adatok földrajzi tartománya, valamint az adatok megbízhatósága. Fokozza a nehézségeket, hogy a hozzáférhetőséget általában csak technikai és gazdasági szempontokból vizsgálják. E tanulmány kísérletet tesz arra, hogy szigorúan elválassza a hozzáférhetőséget a költségektől, valamint országonként eltérő meghatározást adjon.

4.3.1. ENERGIANÖVÉNYEK BIOMASSZA POTENCIÁLJA

A mezőgazdaság az egyik legjelentősebb biomassza potenciállal rendelkező ágazat, melynek energiatermelésre fordítható nyersanyagai lehetnek az energianövények, valamint a mezőgazdasági maradékanyagok (a következő fejezetben tárgyalva). E fejezetben az

energianövények elméleti biomassa potenciálja kerül bemutatásra. Pontos számítás szükséges a mezőgazdasági nyersanyagokhoz kapcsolódó helyi feldolgozás vizsgálatához.

A biomasszafajtákról szóló leírások és a kapcsolódó osztályozás alapján ad egy áttekintést az energianövények potenciális biomassa termeléséről az ötödik számú táblázat, ahol az energianövények különböző betakarítási mutatói, és a további összesítések Olaszországban és Görögországban végzett kísérletek alapján készültek.

5. számú táblázat: Energianövények biomassa termelékenységi indexei, általános áttekintés

Energia-növények	Biomassa fajtája	Biomassa termelés ⁶ t _{dm} /ha ⁷	Betakarítási nedvesség-tartalom, %	Nettó fűtőérték MJ/kg _{dm}	Hivatkozások
Egynyári fűszerű növények					
Gabonák	Magtermés	2,0 – 3,5; 3,0	14	-	Cioffo, 2009
		-	14	-	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
		5,5 ⁶	12-14	16,5	Sager A., <i>et al.</i> , 2009
		4,1-9,2; 7,08	-	-	Casagrande L. <i>et al.</i> , 2005
Kukorica	Kukoricaszár	10,6 – 8,34; 9,93	59 – 64; 62	17	R. Canestrone <i>et al.</i> , 2007
	Kukorica	7,09 – 8,34; 7,86	-	-	Barbieri S. <i>et al.</i> , 2004
		10,9	-	-	Sacco <i>et al.</i> , 2007
	12,8-14,6; 13,4	19 -24; 20,4	-	Casagrande <i>et al.</i> , 2005	
	4	14	-	Cioffo, 2009	
	Silózott kukorica	19	34,5	17	Candolo G., 2009
Cirok (Sorghum)	Édes cirok	13 – 45	30	-	Mardikis <i>et al.</i> , 2000
		9,1	30	17	Jodice R., 2007
	Rost cirok	27	30 ⁹	-	Mardikis <i>et al.</i> , 2000
	20 – 30 ⁸	55 – 70 ⁵	-	Candolo G., 2006	
	22 – 28; 25	40	16,9	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009	
	20,5	-	-	Coalao D., <i>et al.</i> , 2010	
	Silózott cirok	18	30	17	Candolo G., 2009
Canapa	Szár, levelek	5 – 15	50 - 60	18 – 25,6	Candolo G. 2006
Takaró és fűves takarmánynövények	Szár	8	80	10,2	Kidolgozott adatok (Candolo G., 2009)
		1 – 6; 3,5	84,5 – 83,5	2,4	
Évelő fűszerű növények					
Olasznád (Arundo Donax)	Szár, levelek	20 – 30	-	16 - 17,1	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000
		15 – 35	55 – 70	16 – 17	Candolo G., 2006
		20 – 35; 28	40	17,5	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
		8,68	-	-	Coalao D., <i>et al.</i> , 2010
Elefántfü (Elephant grass)	Szár, levelek	11 – 34	-	17,6	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000
		15 – 25	50 – 60	17,3–17,6	Candolo G., 2006
		15 – 30; 23	15 – 30; 25	17,0	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Köles (Switchgrass)	Szár, levelek	14 – 25; 19	-	-	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000
		10 – 25	50 – 60	17,4	Candolo G., 2006
		10 – 25; 18	35 – 40; 35	15,9	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Kérdi (Cardoon)	Szár, levelek	17 – 30	-	-	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000
		10 -15; 12	(20 – 30) 20	15,6	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
		7,12 – 14	-	14 – 18	Ranalli P., 2010
Kenaf (Hibiscus cannabinus)	Szár	7,6 – 23,9	22,4 – 26,9	-	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000
		10 – 20	50 – 60	15,5–16,3	Candolo G., 2006
		10 – 20; 15	35	15,9	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009

⁶ Értéktartomány és átlagos érték

⁷ A biomassa termelékenység a szárazanyag éves mennyiséget jelöli.

⁸ Értéktartomány forrása: Candolo 2006.

⁹ Az aratási nedvesség éghajlatfüggő. Görögország esetében 30% körül van, míg Olaszország esetén ez a szám 55-70%.

Olajos növények					
Napraforgó	Magok	3,0- 3,9; 3,0 ¹⁰ 1,3-1,6; 1,1 ¹¹ 2,82 ¹³	9 -	37,7 -	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloa D. <i>et al.</i> , 2010
Repce	Magok	1,4 – 2,0 2,7 ¹³ – 1,1 ¹⁴ 1,0 ⁷ 1,88 ¹³	9	- 37,6 -	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Balat M., 2010 Coaloa D. <i>et al.</i> , 2010
Etióp mustár (Brassica Carinata)	Magok	1,4 – 2,0 ¹³ 1,01	-	14,6 - 21	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Coaloa D. <i>et al.</i> , 2010
Szójabab (Glycine Max)	Magok	0,52 ¹⁴ 2,7 ¹⁴ – 0,5 ¹⁴ -	- - -	- - 39,6	Balat M., 2010 MarsonT. Andrade R., 2010 Vegburner.co.uk/oils.htm
Gyapot	Magok	0,27 ¹⁴ 3,026 ¹³ - 0,5 ¹⁴	- - -	- - 39,4	Tickell, 2000 MarsonT. Andrade R., 2010 Vegburner.co.uk/oils.htm
Pálma	Magok, gyümölcs	5 ¹⁴ 13,28 ¹³ - 4,5 ¹⁴ 17,08 ¹³ – 5 ¹⁴	- - 67	- - 18,8 – 20,1	Balat M., 2010 MarsonT. Andrade R., 2010 Nasrin A.B.,2008
Jathropha	Magok	0,5 ¹⁴ -	- -	- 43-46	Balat M., 2010 www.jatrofuel.com
Mikroalgák ¹²	Teljes felhasználás	25-75 50 ¹⁴ -	- - 92	- - 49,4	Trabucco F. <i>et al.</i> , 2010 Balat M., 2010 Demirbas A., 2010
Lignocellulózikus fafajták(SRF) ¹³					
Nyár	Fa	9 – 12,5 9 -13 11 11,8 – 17 9,56	50 – 60 50 50 -	17,7–18 18,6-19,1 - -	Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Ranalli P., 2010 Coaloa D. <i>et al.</i> , 2010
Fűz (Salix spp.)	Fa	10 – 15 10 – 15; 12,5	50 – 60 50	17,8–18,4 18,4-19,2	Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Akác	Fa	5,6 – 17,1; 7 10 – 13 10 – 15; 11 8,75	- 50 - 60 50	- 17,7–17,8 17,8	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloa D. <i>et al.</i> , 2010
Eukaliptusz	Fa	8 – 9 12	50 50	16 - 19 ¹⁴ 18,6	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Fenyő	Fa	35 - 60	40 - 50	18,8-19,8	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Lombhullató	Fa	36 -60	40 -50	18,5-19,2	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009

¹⁰ Az érték a magok tömegére vonatkozik (t_{dm}/ha,év)

¹¹ Az érték a kinyert nyersolajra vonatkozik (t/ha,év)

¹² A mikroalgák új lehetőséget jelentenek az energianövények terén, melyből olajat és bioüzemanyagot lehet készíteni. Előnyei közé tartozik rövid életciklusa, a növényekénél nagyobb szén-dioxid igényű fotoszintézise, valamint a zsírtartalma (25-75 t/ha).

¹³ Egyes lignocellulózikus növényeket gyors körforgású erdőként (SRF – Short Rotation Forestry) termesztnek.

¹⁴ A fűtőérték tartománya függ a növényből felhasznált részekről: szár levelekkel, vagy azok nélkül..

4.3.2. MARADÉKANYAGOK ÉS HULLADÉKOK BIOMASSZAPOTENCIÁLJA

Mezőgazdasági maradékok

A mezőgazdasági maradékanyagokról szóló EU jelentés 1%-ra teszi a szándékolatlanul termesztett maradéknövények arányát az EU15 tagállamok összes művelt területén (*Utilized Agricultural Area, UAA*),¹⁵ mely száraz lignocellulózikus maradékanyagként (nedvességtartalom <50%) felhasználható. Ezek érintik a közönséges búzát (teljes művelt terület 10,8%-a), durumbúzát (2,9%), az árpát, a kukoricát, a napraforgót, a repcét, az olívát (2,8%) és a szőlőt (2,7%) (*Siemons R., 2004*).

Az egyes haszonnövények által előállított melléktermékek – a fő- és melléktermékek – aránya terményenként jelentősen eltérhet a fajták és az éghajlat függvényében. E nagyfokú változatosság miatt a vizsgált területen az arány lehető legpontosabb meghatározása szükséges. Helyi szintű adatok azonban alig lelhetők fel, ezért hivatkozási alapul a tudományos vagy ágazati irodalom szolgálhat.

E növények gyakorlati potenciálja megbecsülhető a művelt területek mezőgazdasági termelékenységével való felszorzásával, figyelembe véve a szakirodalomban szereplő egyes termelékenységi értékeket és a maradékarányt vagy maradéktermést (száraztonna/hektár).

Különböző forrásokat alapul véve tekinti át a mezőgazdasági termények maradékarányait a 6. táblázat.

¹⁵ Mezőgazdaságilag művelt terület: UAA – Utilized Agricultural Area.

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Crop_production_statistics_at_regional_level

6. számú táblázat: Mezőgazdasági termények melléktermék értékei

Mezőgazdasági termény	Biomassza-fajta	Maradékarány (Maradék/elsődleges termék)	Biomassza termelés ¹⁶ t _{dm} /ha	Nedvességtartalom aratáskor (%)	Nettó fűtőérték MJ/Kg _{dm}	Hivatkozások
Fűfélék maradékai						
Közönséges búza	Szalma	0,5 ¹⁷	-	15	-	Siemons R., 2004
		0,9 ¹⁸	-	15	-	Siemons R., 2004
		1 – 1,66 ¹⁹	2,5 – 5,0	10 – 13	17,5 – 19,5	Cioffo, 2009;
Durum búza	Szalma	1	1,2 – 2,5; 2,3	10 - 14	17,5 - 19,5	Foppa Pedretti et al., 2009.
Árpa	Szalma	1,16 – 1,36	3	11 – 14	17,5 - 19,5	
Zab	Szalma	0,34 – 0,39	1 – 1,6	9 – 14	17,5 - 19,5	
Kukorica	Szár, torzsa	1,09 – 1,5	4 – 6	40 – 65	13,8 – 17,6	
		0,7	-	50	-	Siemons R., 2004
Repce	Szár	1,6	-	45	-	
Napraforgó	Szár és levelek	3,3	-	40	-	
		0,7 – 1,3	1,7 - 4	14 – 20	15,2 – 17,9	Cioffo, 2009; Foppa Pedretti et al., 2009
Fajlegű termények maradékai						
Barack	Nyeseledék	0,30 - 0,50	4 - 6	35 – 45	18 – 18,4	Cioffo, 2009;
Körte		0,14 - 0,30	4 - 6	35	18 – 18,4	Foppa Pedretti et al., 2009
Mandula		0,60	3	35	18 – 18,4	Cioffo, 2009
Pisztácia		0,40	-	35	18 – 18,4	
Füge ²⁰		0,21	2	55	18 – 18,4	
Alma ²¹		1,57 - 2	1,4 – 2,8	35	18 – 18,4	
Narancs		0,25 – 0,5	3 – 7	35 - 45	-	
Klementin-mandarin		0,27 – 0,5	1,6 – 6,4	35 - 45	-	
Mandarin		0,23 – 0,4	0,4 – 1,6	35 - 45	-	
Citrom		0,33 – 0,4	0,4	35 - 45	-	
Bergamot ²²		0,39 – 0,5	3,6 – 6,8	35 - 45	-	
Szőlőtőke ²³		0,39 – 0,45	2,0 – 2,5	45 - 50	18,4 – 19,2	
Oliva ²⁴		1,14 – 1,25	1 – 4; 3,7	35 - 45	18,4 – 18,8	Foppa Pedretti et al., 2009

¹⁶ Tartomány és átlagérték

¹⁷ EU északi tagországai

¹⁸ EU középső és déli tagországai

¹⁹ Dél olasz régiók (Szicília, Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sardegna)

²⁰ Értékek 6x6 telepítés és 10x10/ha esetén.

²¹ Értékek 5x5 telepítés nyeseledéktermelés esetén.

²² Értékek 500 növény/ha esetén.

²³ Értékek 2x1 telepítés és sarkanytűző metsző eljárások esetén.

²⁴ Értékek 150 növény/ha és 25 Kg nyeseledék/növény*év esetén.

E hulladékok energetikai célú hozzáférhetőségét különböző, nehezen számszerűsíthető környezeti és gazdasági tényezők korlátozzák. *Dalianis* és *Panoutsou* 1995-ös tanulmánya alapján az EU15 tagállamaiban keletkező mezőgazdasági maradékok 48%-át nem energiacéllal vagy hagyományos energiatermelésre használják (hanem pl. takarmányozásra), míg további 40-45% más, műszaki és gazdasági okokból nem is használható fel. (*Siemons R., 2004*).

A fentieket igazolják *Cioffo* adatai: Olaszország déli részén a szalma energiacélú alkalmazása nem megoldható, mivel azt az állattenyésztés és a mezőgazdasági földhasználat felhasználja. A fanyesedék sem lett sikeres energiahordozó: az évenként begyűjtött fanyesedék mindössze 31%-át fordítják energiatermelésre (*Cioffo, 2009*).

Állattenyésztési hulladékok

A trágya és trágyalé átlagos mennyisége állatfajonként eltérő, és leginkább az állat korától és testtömegétől függ. A nagy eltérések ellenére több kutató munkája eredményeként mégis megállapíthatók átlagos értékek, melyekre hagyatkozhat a tervezés, valamint a trágyabegyűjtés, -tárolás, -előkezelés és -felhasználás az állattenyésztő üzemekben. A 9. táblázatban összefoglalt elemzés alapjául az ASAE normái és együtthatói szolgáltak. Az értékek a friss trágyára és trágyalére vonatkoznak. Figyelembe véve a begyűjtés és a felhasználás lehetőségeit – a külterjes és a háztáji állattartás támasztotta nehézségeivel is számolva – mindössze a trágya 50%-a tekinthető energiacéllal felhasználhatónak.

7. számú táblázat: Az állattenyésztés együtthatói trágyára és trágyalére

Állatfaj	Élő-állat tömege, (kg)	Friss trágya tömege (kg) ²⁵	Nedves-ség, (%)	Száraz-anyag, (%)	Illékony száraz-anyag (teljes száraz-anyag-hoz képest)	Biogáz termelés (m ³ /t száraz-a.)	Metán (CH ₄) a biogázban (%)	Forrás
Szarvas-marha	640	50 – 55; 51	83 -88; 86	11 – 15; 12	80 – 85	300 – 450	60 – 65	ASA E D384.1; F. Pedretti 2009,
Sertés	60	5 – 6; 5,2	90	6 – 9; 8	75 – 90	450 – 550	60 – 65	
Ló	500	20 – 24,5; 23,6	85	14 – 15; 15	75	250 – 500	60 – 65	Siemons R., 2004
Csirke	1,6 - 3,5	0,52 -0,72	75	19 – 25; 23	75	300 – 500	60 – 65	ASAE D384.1; F. Pedretti 2009,
Pulyka	6 -15	0,48 -1,2	74	19	95 – 98	300 – 500	60 – 65	
Kacsa	6,5 -8	0,52 -0,64	74	49	33	300 – 500	60 – 65	Siemons R., 2004
Juh	70 -80	5,6 – 6,4	-	22 -40	70 – 75	300 – 500	60 – 65	

Siemons becslései alapján az EU27 tagállamában felhasználható nedves trágya 14 Mtoe (olajegyenérték) energiataralommal bír, és anaerob erjesztéssel metán előállítására lenne alkalmas.

²⁵ A friss trágya mennyisége az élőállat tömegéhez viszonyítva.

Az egyes állatok által előállított trágyamennyiség becslése az állat fajtája alapján számítandó, a kilencedik táblázatban közölt módon; ezen felül azonban a trágya tömege függ a kortól és a betöltött szerepkörtől – szarvasmarha esetén pl. a borjú és a tejelő marha eltérő mennyiséget bocsát ki. Az elméleti potenciál az állattenyésztő üzem pontos vizsgálata, a jószág és a termelési eljárások alapján számítható – ezen analízis azonban a legtöbb esetben vagy túl nehézkes, vagy túl költséges.

Erdőgazdasági melléktermékek

Az erdőgazdasági melléktermékek körébe tartozik minden olyan biomassza, mely erdészeti tevékenység révén keletkezik: ilyen a kéreg, az ágak apróléka, valamint az aprófaból nyert rönkök és szilánkok. Amint ezeket a maradékokat gyártási folyamatokban használják fel – brikettként, vagy fűrészporból és nyesedékből nyert pelletként) –, úgy ipari terméknek tekintendők.

8. számú táblázat: Erdőgazdasági hulladékok értéke

Erdei fafajták	Biomassza fajta	Biomassza termelés²⁶ (t/ha)	Betakarítási nedvességtartalom(%)	Nettó fűtőérték (MJ/kg)	Forrás
Lombhullató keményfa erdő	Lombkorona és ágak	2 – 4	25 – 60; 40	18,5 – 19,2	F. Pedretti E., 2009
Tülevelű erdő	Lombkorona és ágak	2 – 4	25 – 60; 40	18,8 – 19,8	
Ártéri erdő	Lombkorona és ágak	0.8 – 1.6 ²⁷	40 – 60	16 -18	Francescato, 2009.

Az ipari maradékok és hulladékok

Az ipari hulladékokkal foglalkozó vizsgálatok az EU tagállamaiban fellelhető ipari maradékok energiaértékét 13 Mtoe köré teszi (Siemons R., 2004).

Az ipari hulladékok közé tartoznak a fűrésztelepek faipari hulladékai (kéreg, fűrészpor, maradéktáblák, nyesedék), a papír- és papírost-üzemek melléktermékei, azonban a legjelentősebb forrás az élelmiszeripar. Utóbbi hulladékok lehetnek nedves cellulózikus anyagok (pl. cukorrépa), zsírok (pl. használt étolaj) és fehérjék (pl. vágóhídi hulladékok). Az adatok hiányossága miatt nem minden nyersanyag lett figyelembe véve, az alábbiakban csak a feldolgozott források kerülnek bemutatásra.

²⁶ Tartomány és átlagérték

²⁷ Tartományérték a faanyag 100 folyóméterenkénti nedves tonnájára vonatkoztatva

9. számú táblázat: Ipari ágazatok hulladékai és maradékanyagai

Ipari fajták	Biomassza-fajta	Biomassza termelés (t)	Betakarítási nedvességtartalom (%)	Nettó fűtőérték (MJ/kg)	Források	
Erdőgazdasági maradékok és hulladékok						
Fűrésztelepi faanyag	kéreg, fűrészpor, forgács, lapok, nyesedékek		25 -60	18 – 21	F. Pedretti, 2009.	
Papír és papírorost üzemek	black liquor					
Állattenyésztési maradékok és hulladékok						
Ipari kategóriák	Biomassza-fajta	Tömegarányos hulladék (%)	(%)	(MJ/t _{dm})	Források	
Szarvasmarha	vágóhídi hulladék	7 – 9	50 – 60	1,59 – 28,05	F. Pedretti, 2009.	
Setés		12 – 14				
Baromfi		23 -26				
Juh		8-11				
Mezőgazdasági maradékok és hulladékok						
Kategóriák	Biomassza-fajta	Tömegarányos hulladék, %	t/ha	(%)	(MJ/Kg _{dm})	Források
Zöldségek	Maghélj, hüvely, héj	-	-	75 - 90	-	F. Pedretti, 2009.
Barack	Héj, mag	0,07	0,88	12-15	19,6 – 22	Cioffo, 2009
Mandula	Héj	0,73	3,65	< 15	19,6 - 22	
Mogyoró	Héj	0,50	0,70	< 15	18,4 – 19	Cioffo, 2009
		0,50 – 0,55	0,77	12-15	16,9 – 17,8	F. Pedretti, 2009.
Pisztácia	Héj	0,60	0,3	< 15	19,6 - 22	Cioffo, 2009
Narancs	Héj, gyümölcs-darabok	0,10	1,48 – 2	> 80	-	Cioffo, 2009
Oliva maradékok	Kisajtolt pogácsa	0,22 – 0,28	1,32-2,8	12 - 20	17,6 – 18,4	Cioffo, 2009
Borszőlő	Seprő	0,25 – 0,30	1,2–	45 –	-	Cioffo, 2009
		0,15 – 0,21	1,5	50 40 - 70		

Települési hulladékok és maradékok

Az 1991/31/EC direktíva 2. cikkének értelmében biológiai úton lebomló települési hulladék (biodegradable municipal waste, BMW) az, mely képes anaerob és aerob lebomlásra, ilyen az ételmaradék, a kerti hulladék és a papírhulladék. A szintetikus szerves anyagok – így a műanyagok – kívül esnek ezen a definíción, mivel nem bomlanak le. A fenti hulladékfajták között kiemelt figyelmet kapnak azok az anyagok, melyek hozzájárulhatnak a szén-dioxid-kibocsátás visszaszorításához.

A települési hulladékok biológiai úton lebomló hányadának megbecsülése nehéz feladat a tagállamok eltérő hulladékkezelési eljárásai miatt. A 10. számú táblázat ezért inkább egy lista a legalapvetőbb hulladékfajtákról.

10. számú táblázat: Települési hulladékok osztályai

Kategóriák	Biomasszafajta	(Biomassza/BMW) arány	Biomassza-termelés (t/y)	Nedvesség-tartalom (%)	Nettó Fűtőérték (MJ/kg _{dm})	Források
Települési hulladék (BMW) szerves anyag hányada (lakossági)	Szerves anyag	-	-	-	-	-
A kereskedelmi és szolgáltatási szektor szerves anyagtartalmú hulladékai	Szerves anyag	-	-	-	-	-
Fáradt étolaj	Olaj	-	-	-	-	-
Városi közterületi fanyesedék	Faágak	8 - 25 ²⁸	80 -250	40	18 - 21	Foppa Pedretti, 2009.

4.4. A HOZZÁFÉRHETŐ BIOMASSZA MENNYISÉGÉNEK KISZÁMÍTÁSA

A biomassza forrásokkal foglalkozó tanulmányok és becslések – különösen a minden biomasszafajtára és nagy földrajzi területre kiterjedő elemzések – általában a meglévő hulladékkal és maradékanyaggal kapcsolatos adatok megbízhatóságának hiányával szembesülnek, vagy a hozzáférhető nyersanyag meghatározása okoz gondot, ahol a – műszaki és gazdasági –korlátok bizonytalanok.

A hozzáférhető biomassza felméréséhez szükséges a felépített modellekben a különböző korlátozások – környezeti, társadalmi és gazdasági – feltüntetése.

Az összes felhasználható biomassza feltérképezése csak részben elégséges a fenntarthatósági kritériumokhoz. A fenntartható biomassza ellátás (*Sustainable Biomass Supply, SBS*) csak a teljes bioenergia láncolatot figyelembe vevő és értékelő szemlélettel valósítható meg. A potenciális biomassza forrásokhoz (*Potential Biomass Supply – PBS*) képest a hozzáférhető biomassza források (*Available Biomass Supply – ABS*) számítása az alábbiakban kerül bemutatásra.

Az alábbi képlet alapján becsülhető a fellelhető biomassza mennyisége. Az 1. egyenlet megadja a tonnánként a hozzáférhető évenkénti biomassza mennyiséget, figyelembe véve a fenti tényezőket. A cél az adott területen fellelhető teljes – az elsődleges termékekből és hulladékokból származó – biomassza mennyiség becslése.

²⁸ 8-25% hulladék/növény arányt feltételezve

$$Biomassza_i = Terület_vagy_marhaszám_i \cdot terméshozam_i \cdot RtP_i \cdot (1 - Veszteség_i) \cdot (1 - Jelen_használat_i) \cdot (1 - Környezet_i) \cdot (Gazdaság_i)$$

1. számú egyenlet

ahol:

Terület_vagy_marhaszám_i (ha vagy n_{marha}): a felhasznált terület vagy a biomasszatermelésbe bevont szarvasmarhák száma, i ;

Terméshozam_i (t/ha): az adott területen jellemző terméshozam terményre vagy marhatrágyára vonatkoztatva, i ;

RtP_i: a maradék/ termény arány (the residue-to-product ratio) termény vagy marhatrágya esetén, i ;

Veszteség_i (%): technológiából eredő veszteségek és maradékok, i ;

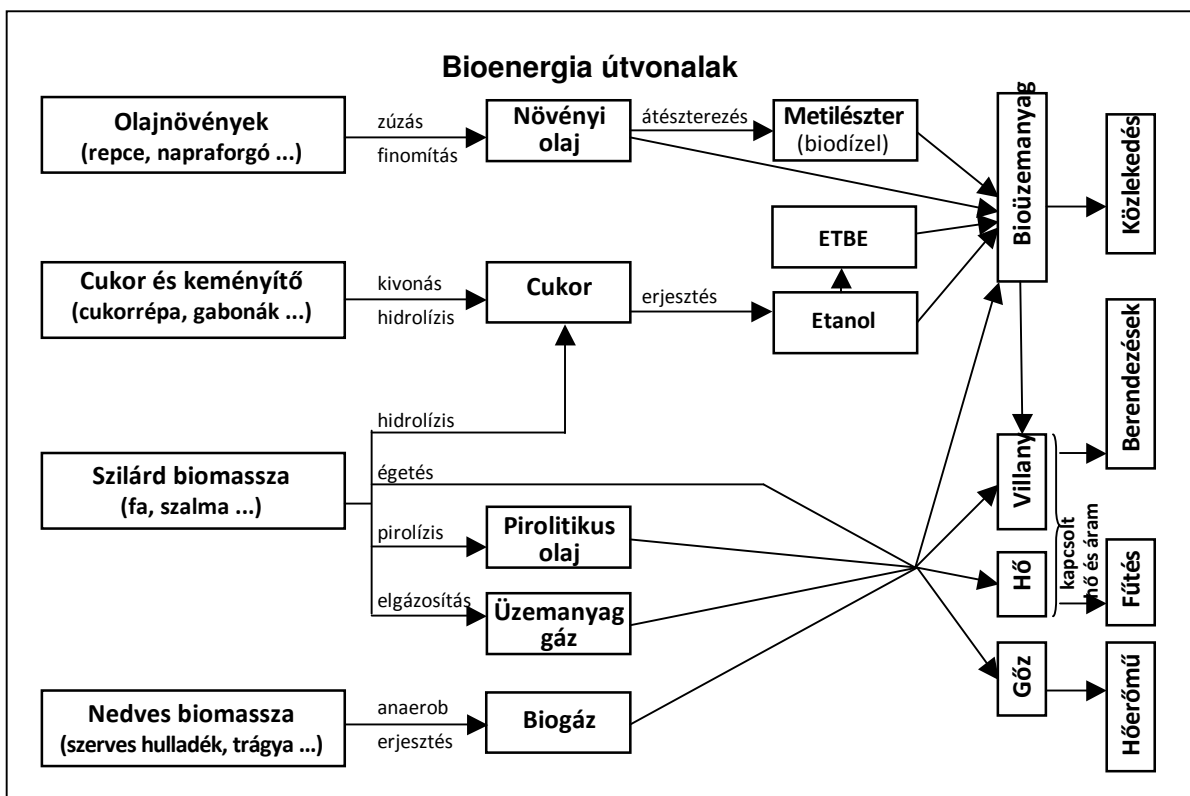
Jelen_használat_i (%): a maradékok jelenlegi felhasználási formája, i ;

Környezet_i (%): a maradékok azon része, melyet nem szabad felhasználni környezeti szempontokból, i ;

Gazdaság_i (%): a maradékok azon része, mely gazdaságosan felhasználható energiatermelésre, i .

5. ENERGIATERMELÉS BIOMASSZÁBÓL: TECHNOLÓGIAI ÁTTEKINTÉS

A bioenergia projektek számára hozzáférhető biomassza többsége szilárd, feldolgozatlan növényi anyag, melynek nedvességtartalma 50% körüli. Széles azon biomasszafajták köre is, melyek az emberi tevékenységek révén keletkeznek: ilyenek a mezőgazdaságban, erdőgazdaságban, az iparban, a településeken vagy egyéb gazdasági tevékenységek során keletkező maradékanyagok és hulladékok. Ezen energiaforrások különböző technológiák révén dolgozhatók fel: ilyen a közvetlen égetés (áram- és/vagy hőtermelés, hőerőmű – *CHP combined heat and power*), az anaerob lebontás (CHP, metángazdag gázokból), az erjesztés (cukrokból előállított alkoholok; bioetanol), az olaj kinyerése (biodízel számára), a pirolízis (bioszén, –gáz és -olaj) valamint az elgázosítás (szénmonoxidban CO és hidrogénben H₂ gazdag szintetikus gáz – *syngas*) – 4. számú ábra.



4. számú ábra – Biomassza technológiai rendszerek (EC, 2007).

Minden technológiai lépést követhetnek másodlagos kezelési eljárások (például: stabilizáció, szárítás, javítás, finomítás stb.) az egyes végtermékek függvényében. A biomassza energiacélú feldolgozásának és áram-, hő- vagy vegyes (cogeneration heat plant - CHP) felhasználási lehetőségeit mutatja be a 11. számú táblázat.

11. számú táblázat: Biomassza technológiák áttekintése (Crucible Carbon, 2008).

Technológia	Energia/Bioüzemanyag termékek				
	Hő	Áram	Gáz	Folyadék	Szilárd
Közvetlen égetés	✓	✓			
Anaerob lebontás	✓	✓	✓		
Erjesztés				✓	
Olajkivonás				✓	
Pirolízis	✓	✓	✓	✓	✓
Elgázosítás	✓	✓	✓	✓	

A kiválasztott feldolgozási technológia a biomassza nyersanyag és a kívánt termék függvénye. A fenti táblázatból látható, hogy a közvetlen égetés, valamint az elgázosítás akkor megfelelő eljárás, ha hő és áram termelése a cél. Anaerob lebontás, erjesztés és olaj kinyerése az esetben ajánlott, ha a biomassza könnyen kinyerhető cukrot vagy olajat tartalmaz, vagy magas a nedvességtartalma. Kizárólag a pirolízis révén nyerhető ki minden fent nevezett termékforma. Számos hőkezelési eljárás feltétele, hogy a biomassza víztartalma alacsony legyen (<15%); e technológiák esetén a szárítás jelentősen csökkentheti a feldolgozás hatékonyságát. Ezért fontos a biomassza források azonosítása, mivel egyes fajták jobb minőségű üzemanyagot vagy energiát adnak kisebb költséggel. E fajtákra épülnek a biomasszából energiát előállító (*energy-from-biomass*) projektek is (Tasmenn A., 2009).

A biomassza energiasűrűsége és a fizikai tulajdonságai kritikus tényezői a bioenergia nyersanyagellátásánál meghozott döntéseknek, fontos megérteni az összefüggéseket a források és az azokat feldolgozó technológiák között.

Áttekintést nyújt az általános biomasszafajták feldolgozási lehetőségeiről és a kapcsolódó technológiákról a 12. táblázat.

12. számú táblázat: Az egyes biomassza források kémiai leírása (Crucible Carbon, 2008).

		Zsírok, olajok	Fehérje	Cukor, élesztő	Lignocellulóz
Biomassza forrás					
Egynyári növények	Fűszerű növények			✓	✓
	Olajos magvú növények	✓	✓		✓
Évelő növények	Fűszerű növények				✓
	Olajfafajták	✓			✓
	Lignocellulózikus fás növények				✓
Maradékanyagok és hulladékok	Zöldhulladék				✓
	Állati hulladék	✓	✓		
	Települési hulladék szerves hányada	✓	✓	✓	✓
Feldolgozó technológia					
Közvetlen égetés		✓			✓
Anaerob lebontás		✓	✓	✓	Cellulóz
Erjesztés			✓	✓	Cellulóz
Olaj kinyerése		✓			
Pirólízis		✓	✓	✓	✓
Elgázosítás		✓	✓	✓	✓

Egy nagyhatékonyságú és kiterjedt bioenergia üzemnek teljes mértékben kell hasznosítania a biomassza nyersanyagokat és minden alkotóelemet a nyereség maximalizálása céljából. A 12. számú táblázatban bemutatott áttekintés megmutatja, hogy a lignocellulóz a legnagyobb alkotóeleme a biomasszának, így hőkezelésének és erjesztésének kifejlesztésével a legfontosabb energiaforrása lehet a bioenergetikai szektorban. Más, ismert eljárások (lebontás, olajkinyerés, erjesztés) elsődleges feldolgozási formái lehetnek a nem lignocellulózikus energiahordozókat tartalmazó biomassza nyersanyagoknak (Crucible Carbon 2008). A kitermelt energia nem csak a hozzáférhető biomassza fajtájától, hanem az energia kinyerésének technológiájától is függ: hatékonyabb technológiák alkalmazásával több energia nyerhető ki azonos mennyiségű biomasszából. A biomassza technológiák szakszerű leírását adja a jelen Kézikönyv 5.1-es fejezete.

5.1. A TECHNOLÓGIÁK INTEGRÁCIÓJA: ÁLTALÁNOS VONATKOZÁSOK

A biomassza feldolgozásának legfontosabb tényezőit foglalja össze az alábbi táblázat (13. számú táblázat). A hőkezeléssel járó technológiák a legkevésbé kényesek az alapanyag minőségére, és hatékonyan képesek feldolgozni a lignocellulózikus anyagokat. Ezen eljárások a legrugalmasabbak és nem igényelnek biomasszának természetett alapanyagokat sem. A közvetlen égetéstől eltérő eljárásokat alkalmazó üzemek mérete jelentősen korlátozott sajátos és véges

nyersanyagforrásaik miatt. A nagy mennyiséget és értéket előállító technológiák jelenleg kevésbé fejlettek és a jövőbeni fejlesztések célpontjai lesznek.

13. számú táblázat: A biomasszából való energiatermelési technológiák összehasonlító táblázata (Crucible Carbon, 2008).

Biomasszát feldolgozó eljárás	Lehetséges lépték ²⁹	Nyersanyagforrás rugalmassága	Átalakítási hatékonyság ³⁰	Termék (kimeneti) rugalmasság	Termék piaci értéke	Technológia fejlettségi szintje
Közetlen égetés	Nagy	Magas	Alacsony	Alacsony	Alacsony	Fejlett
Anaerob lebontás	Kicsi	Közepes	Közepes	Alacsony	Közepes	Fejlett
Erjesztés	Közepes ³¹	Közepes ³²	Közepes	Alacsony	Magas	Fejlett
Olaj kivonás/ észterezés	Kicsi	Alacsony	Magas	Alacsony	Magas	Fejlett
Pirolízis	Nagy	Magas	Közepes	Magas	Közepes	Kezdeti
Elgázosítás	Nagy	Közepes	Közepes	Közepes ³³	Közepes	Kezdeti

Az elemzés a hőkezelés stratégiai kedvezőségét mutatja, mely egyaránt alkalmas szilárd, folyékony és gáznemű energiahordozók előállítására, még ez esetben is, hogy a jelenlegi projektek korlátozottak méretükben.

6. KÖVETKEZTETÉS

Jelen elemzés elsősorban a nyersanyagforrások értékelésének összetettségét hangsúlyozza, valamint annak fontosságát, hogy a *potenciális nyersanyagforrások (Potential Sources Supply)* koncepciója eltér a *fenntartható ellátásban hozzáférhető források (Supply of Available and Sustainable Sources)* elgondolásától.

A területi analízis gyakran jó biomassza ellátást feltételez, azonban a bioenergia láncolatok alapos feltérképezése azonban azt mutatja, hogy ennek mindössze egy kis része használható fel fenntartható módon. Az ilyen elemzések tárgyául szolgáló lehetséges, potenciális biomassza ráadásul nem egyezik meg a hozzáférhetővel, végképpen nem a fenntarthatóval. Stratégiai fejlesztések esetén, a bioenergia projektek értékelésének kritikus pontja a hozzáférhetőség és fenntarthatóság kérdése, mely szoros összefüggésben van az energiatermelési biomassza technológiákkal.

A lignocellulózikus biomasszaforrások – mind az energianövényekből, mind a maradékanyagokból és a hulladékokból származók – a legjelentékenyebb méretűek, és a leginkább képesek vetélkedés helyett együttműködni más földhasználati formákkal, így az élelmezési célú földműveléssel, ipari alapanyag termeléssel, a környezeti szolgáltatásokkal és a természetes élőhelyekkel. A hosszabb életciklusú többfajú őshonos erdők (*Multispecies Native*) jelentik a legfontosabb lehetőséget nagyléptékű biomassza források kiépítéséhez, környezeti szénmegkötéshez és ökoszisztémák felépítéséhez, mely egyben csekély hatással bír az élelmezési ellátásra is.

²⁹ A feldolgozóüzem mérete függ az elérhető nyersanyagforrás nagyságától. A lignocellulózikus biomasszát feldolgozni képes üzemek előnyben vannak.

³⁰ Az energiahatékonyság a nyersanyaghoz képest a termékből visszanyert energia mennyiségét mutatja meg.

³¹ A cellulóz cukrokká való bontása (depolymerizációja) nagyobb energiaforrást biztosít, azonban technológia még nem terjedt el széleskörűen a kinyerésére.

³² Ezen érték növekedhet, ha a cellulózból cukrot kinyerő technológiák kifejlődnek.

³³ Az elgázosítás termékeinek közvetlen felhasználása nem jellemző, azonban alapjául szolgálhatnak más kémiai termékeknek.

A feldolgozási technológiák egy másik kiemelt aspektusa, hogy azok minden osztálya az alkotó biomasszát érintő meghatározott biokémiai folyamatokra van szabva. A technológiák fajtái közül a hőkezelés a legrugalmasabb és egyben a legalkalmasabb a lignocellulózikus biomassza források stratégiai méretű kiaknázására.

A többfajta energiát és tárgyi terméket előállító, nagy piacra termelő feldolgozó technológiákat érintik leginkább a társadalom és a fenntartható üzleti modellek lehetőségeinek igényei. Szénsemleges energiatermelés esetén is jelentős szén alapú nyersanyagforrásokra lesz szükség, így folyékony üzemanyagra, kohászati fűtőanyagra és más szerves anyagokra, ezért a sokfajta terméket előállítani képes hőkezelési eljárásoknak előnyt kell élvezniük.

Lényeges továbbá, hogy fenntartható bioenergia láncnak a maximális értéket kell kinyernie a biomassza forrásból. Azon biomassza melléktermékek, melyek hasznosítják a nyersanyag tulajdonságait, jellemzően nagyobb értékűek. A biomassza előkezelése, a fás részek, az olaj, a fehérjék és az oldható cukrok kivonása – gazdaságos mértékig – célszerű, és – megfelelő méretű piac esetén – a bioenergia termelés gazdasági modelljének is javára válhat.

Különböző bioenergia projekteknek magyarárn nem szabad kizárólagosan a gazdasági körülményektől függenie, hanem figyelembe kell vennie a társadalmi és környezeti igényeket is; meg kell őrizni a társadalmi bizalmat a működéshez, és a fejlesztéseknél ki kell térni a gazdasági, technológiai, pénzügyi és technológiai szempontokra is.

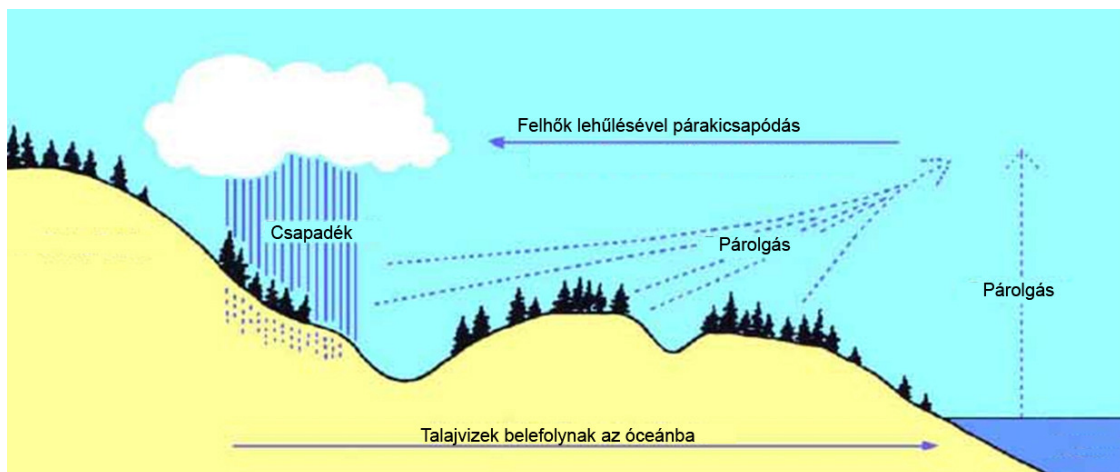
Ha a fentiekben vázolt tényezők kellő súlyt kapnak, a javasolt projektek esetén szükséges egy előzetes megvalósíthatósági tanulmányhoz készített eseti műszaki-gazdasági modell, egy életciklus elemzés (*Life Cycle Assessment*) és egy teljes körű megvalósíthatósági tanulmány. Az egyes lépéseknél levont következtetések fontosak a kockázatelemzéshez, valamint a társadalmi és beruházói bizalom fenntartásához a bioenergia projektek esetén.

KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰVEK

1. BEVEZETÉS

1.1. ALAPVETŐ FOGALMAK ÉS FOLYAMATOK

A vízenergia a víz mozgásából és munkájából származik. Felfogható a napenergia egy formájaként is, mivel a Nap által sugárzott hő működteti a szárazföldet vízzel ellátó vízkörforgást. A víz körforgása során először a légköri nedvességtartalom kerül csapadék formájában a földfelszínre, melynek kisebb része elpárolog, nagyobb része azonban beszivárog a talajba, vagy felszíni vízfolyásba kerül. Az esővíz és a megolvadt hó végül tavakba, tengerekbe, óceánokba jut, ahol ezt követően folyamatosan párolog.



1. számú ábra: Vízkerforgás

A talajba leszivárgó nedvességből talajvíz – pontosabban: felszín alatti víz – képződik, melyek később felszíni vízfolyásokba kerülhetnek források vagy földalatti vízfolyások révén. Száraz időszakokban a talajnedvesség a talajban felfele is mozoghat, és párologás révén visszajuthat a légkörbe. A vízgőz párologás révén kerül a légkörbe, ahol kavargó felhőbe sűrűsödik, majd visszahull a földre csapadék formájában – így válik teljessé a vízkörforgás. A természet biztosítja, hogy a víz megújuló energiaforrás.

A megújuló energiaforrások közül a kisléptékű vízerőművek a legnagyobb áramforrások európai és világszinten egyaránt. Világviszonylatban a beépített kapacitás 47.000 MW körül van, melynek potenciálja – műszaki és gazdasági értelemben – 180.000 MW köré tehető.

A kisléptékű vízerőművek (*Small scale Hydro Power, SHP*) elsősorban a víz folyását használják, azaz nem igénylik a folyó jelentős felduzzasztását, így nagy gátak és víztározók építése sem szükséges – jóllehet, ahol ezek már rendelkezésre állnak, ott ki is használhatók. Nincs nemzetközileg elfogadott meghatározás a kisléptékű vízerőművekre, felső korlátjuk 2,5 és 25 MW között mozog; azonban a 10 MW-os érték kezd általánosan elfogadottá válni, valamint az ESHA (*European Small Hydro Association, Európai Kisléptékű Vízerőmű Szövetség*) is így határozza meg a kategóriát.

A fentiek értelmében kisléptékűnek tekinthető minden 10 MW vagy az alatti teljesítménnyel rendelkező vízerőmű, s ezt a meghatározást követi jelen tanulmány is. E kategória tovább bontható mini-vízerőműre (500 kW alatti teljesítménnyel), valamint mikro-vízerőműre (100 kW alatti teljesítménnyel). Bármelyik méret meghatározást alapul véve, a kisléptékű vízerőművek a környezetileg legkedvezőbb formái az energiatermelésnek, mely nem szennyező megújuló forrásra támaszkodik, és kis beavatkozást igényel a környezetébe.

A kisléptékű vízerőművek a fosszilis üzemanyagokat is képesek lehetnek helyettesíteni, mivel más megújuló forrásoktól eltérően az SHP bármikor képes áramot termelni (vagyis nincs szüksége tároló és kiegészítő kapacitásokra) – legalábbis az év azon szakáiban, amikor megfelelő a vízhozam – és ára versenyképes a hagyományos erőművekével.

1.2. KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰVEK ELŐNYEI

A kisléptékű vízerőmű az egyik legköltséghatékonyabb és legmegbízhatóbb energiatermelő technológia a tisztának tekinthető energiaforrások közül. A szél-, hullám- és naperőművekkel szembeni előnyök:

- A nagy hatékonyság (70-90%) a többi technológiához képest messze kimagasló.
- Nagy kapacitás tényezőjű (jellemzően 50%<) összehasonlítva a napenergia 10%-ával és a szél 30%-ával.
- Jó tervezhetőség, az évenkénti jellemző csapadékmennyiség figyelembevételével.
- Az energiatermelés változásának lassúsága, a kimenet napról-napra – és nem percről percre – változik fokozatosan.
- Az igényeknek való nagyfokú megfelelés (a termelési maximum télen van)
- Hosszú élettartamú és robusztus technológia: a most felépített rendszerek több mint ötven évig működőképeseek.

A technológia további fontos előnye a környezetbarátság. A kisléptékű vízerőművek a folyó sodrását használják, így a gát jellemzően kicsi, inkább egy vízfogó és terelő szerkezet, amely nem, vagy alig tárol vizet. Az *eltereléses erőművek* (*run-of-river*, ROR) így nem fejtenek ki a kisebb környezetükre olyan káros hatásokat, mint a nagyléptékű vízerőművek.



2. A VÍZENERGIA ALAPJAI

2.1. ESÉS ÉS VÍZHOZAM

Egy vízerőmű rendszer célja egy meghatározott esésű, mozgó víztömeg potenciális energiájának átalakítása elektromos energiává egy, a rendszer alsó pontján lévő gépház segítségével.

A vízfolyam által bejárt függőleges út, a folyó esése alapvető jelentőségű a vízenergia hasznosításánál: a gyorsfolyású víz önmagában nem tartalmaz elegendő, termelésre felhasználható energiát, leszámítva az olyan nagyléptékű megoldásoknál, melyek a tengeri áramlatokat használják ki. Két mennyiség ismerete szükséges: a folyó áramlásának erősségét kifejező vízhozam Q , valamint az esés H . Általánosságban kedvezőbb helyzet, ha az esés nagyobb, mint a vízhozam, mivel ez esetben kisebb létesítményekre van szükség.

A **bruttó esés** (*gross head*, H) a vízfolyam felső és alsó folyása között mért maximális szintkülönbsége. A turbina számára kihasználható szintkülönbség némiképp kisebb lesz a bruttó esésnél: a víz turbinához vezetése és a turbinától való elvezetése energiaveszteségekkel jár. Utóbbi, csökkentett érték a nettó esés.

A vízhozam (*flow rate*, Q) a folyó keresztmetszetén egy másodperc alatt áthaladó víztömeget jelöli köbméter/másodpercben (m^3/s). Kisléptékű rendszereknél a vízhozam kifejezhető liter/másodpercben (l/s), ahol $1000 \text{ l/s} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Az esés függvényében a rendszerek három osztályba sorolhatók:

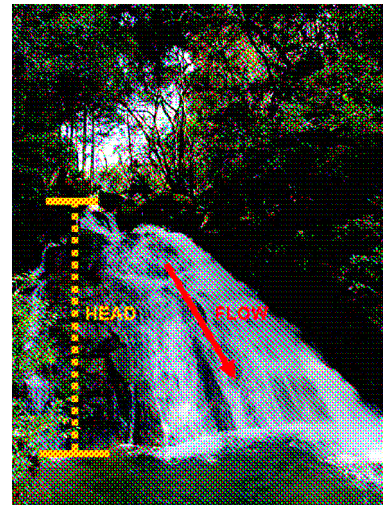
- Nagyesésű: 100 m és a fölött
- Közepes esésű: 30 - 100 m
- Kisesésű: 2 - 30 m.

Ezek a számok nem szigorú határként, hanem pusztán támpontul szolgálnak.

A rendszerek meghatározhatók úgy is, mint:

- Eltereléses erőmű (*Run-of-river schemes*),
- A gát alján álló gépházzal ellátott rendszerek,
- Csatornához vagy vízvezetékhez csatlakozó rendszerek.

Általánosságban a nagyesésű helyszíneken történő beruházás olcsóbb, mint a kisesésű helyeken, mivel azonos energiatermeléshez szükséges vízáramot kisebb hidraulikus szerkezetekkel lehet biztosítani. Egy meredek lejtésű területen található folyó esetében a szintkülönbség kihasználható a víz teljes vagy részleges elterelésével, majd a turbinán való áthaladását követő folyóba való visszavezetésével. A víz közvetlenül átvezethető a vízvétel helyétől a turbináig egy nyomás alatt lévő vezetéken.



2.2. TELJESÍTMÉNY ÉS ENERGIA

A vízturbinák a víz nyomását alakítják mechanikai mozgatóerővé, amely elektromos generátor, vagy más gépezet hajtására alkalmas. A potenciális teljesítmény az esés és a vízhozam függvénye. A **víz erőmű teljesítményét** leíró általános képlet:

$$P = \eta \rho g Q H$$

ahol:

P a turbinát meghajtó mechanikai teljesítmény (Watt),

η (éta) a turbina hatékonysága,

ρ (ró) a víz sűrűsége (1000 kg/m^3),

g gravitációs állandó /gyorsulás/ ($9,81 \text{ m/s}^2$),

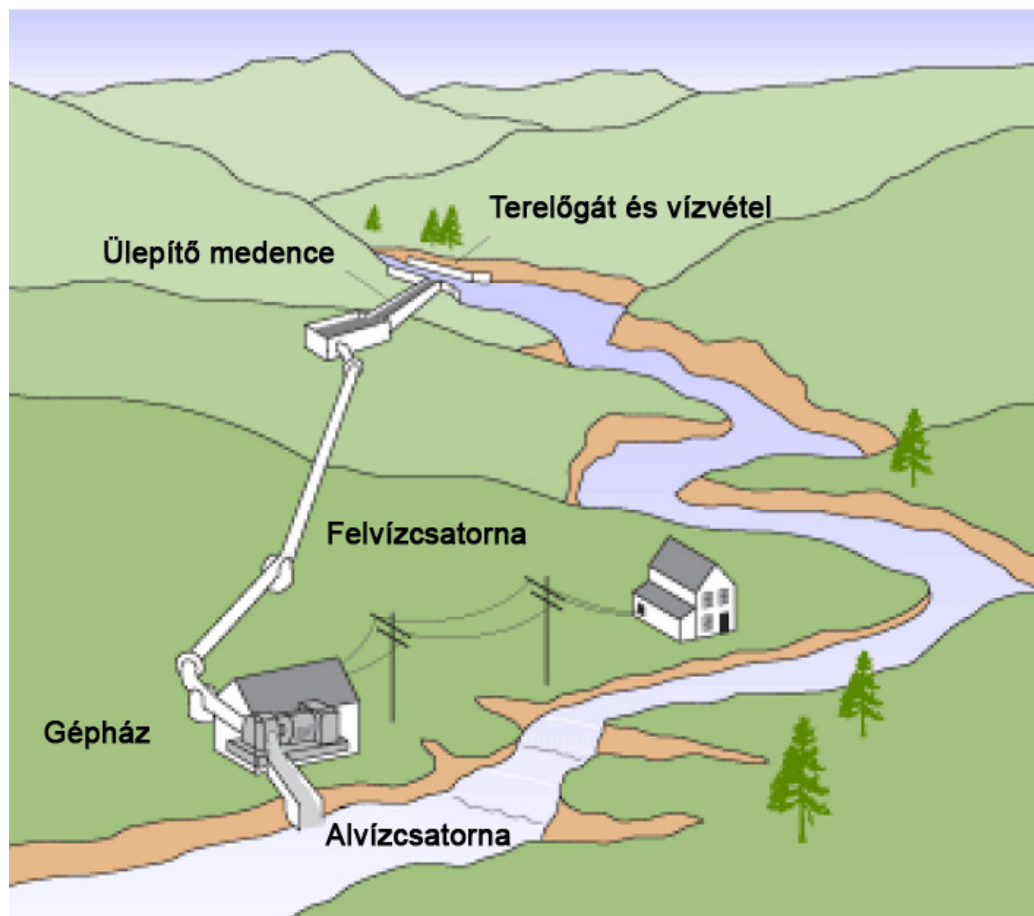
Q a turbinán áthaladó vízhozam (m^3/s),

H az esésből származó hatékony nyomás a turbinában (m).

A legjobb vízturbinák hatékonysága 80 és 90% között mozog – ami minden más meghajtásnál hatékonyabb – azonban későbbi átvitelek rontják az egész rendszerre vonatkozó adatot. A mikro-víz erőművek (<100kW) összhatékonysága 60-80%-ig terjed. Ha a teljes, víztől a villanyvezetékig terjedő láncolat hatékonyságát 70% körül becsüljük, úgy a fenti összefüggés a következőképpen egyszerűsödik:

$$P \text{ (kW)} = 7 \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times H \text{ (m)}$$

2.3. KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰRENDSZEREK FŐ ELEMEI



1. számú ábra: Vízerőmű-rendszerek összetevői

A második ábra egy jellemző, közepes vagy nagy eséssel rendelkező kisléptékű vízerőművet mutat be. A rendszer a következőképpen foglalható össze:

- Vízet nyernek ki a folyóból egy terelőgát segítségével.
- Közepes és nagy esésű rendszereknél a víz először vízszintesen elvezethető egy víztározóba egy kis csatorna segítségével.
- A turbinába való bevezetés előtt egy ülepítő medencébe kerül a víz, ahol a folyás lelassításával a hordalék leülepszik.
- A víztározó medencék bejáratát általában egy rostély védi, mely kiszűri a vízben lévő hordalékot.
- A nyomás alatt lévő cső vagy felső üzemcsatorna (felvízcsatorna, angol szakirodalomban: *penstock*) vezeti át a vizet a víztározóból a turbinákhoz, melyek mellett a gépházban egy generátor és egy biztonsági berendezés helyezkedik el.
- A turbinákon áthaladva a víz egy újabb, alsó üzemcsatornán (alvízcsatorna, angol szakirodalomban: *tailrace*) keresztül tér vissza a folyóba.

3. TECHNOLÓGIA

3.1. ÁTTEKINTÉS

Egy kisléptékű vízerőmű fő alkotóeleme a vízturbina: ez, vagy ezek sora alakítja át a folyó víz mozgási energiáját forgási energiává. Sok esetben azonban nem egyértelmű, hogy milyen körülmények között mely turbinatípus a legalkalmasabb. A vízturbina kiválasztása elsősorban a helyi adottságoktól függ: meghatározó jelentőségű az esés és vízhozam, azonban figyelembe

veendő a generátor kívánt sebessége is, valamint a turbina működőképessége csökkent vízhozam esetén.

Két alapvető fajtája van a turbináknak: ezek a szabadsugár (másnéven akciós; *impulse*) turbina és a reakciós (*reaction*) turbina. Előbbi a víz potenciális energiáját kinetikus (mozgási) energiává alakítja: a fecskendőn kipréselt vízszugár egy vödörrel vagy lapátokkal felszerelt kereket hajt meg. A reakciós turbina a nyomást és a sebességet is kihasználja az energiatermelésnél. A futólapát teljesen belemerül a vízbe és mind a nyomás, mind a sebesség csökken a bemenet és a kimenet között.

Az akciós turbina kerekei szabadon vannak a levegőben, és vízszugár, vagy sugarak hajtják. Háromfajta szabadsugarú turbina van jelenleg használatban: a *Pelton*, a *Turgo* és a Bánki Donát-féle (*Crossflow*). A reakciós turbinák két fő fajtája a *propelleres* (*Kaplan*-féle) és a *Francis*. A vízturbinák hozzávetőleges osztályozását mutatja az első táblázat, a folyók esési magassága és a típusok alapján; a pontos forma gyártófüggő.

2. számú táblázat: Akciós és reakciós turbinák

Turbinafajták	Folyók esése		
	Nagy (>50m)	Közepes (10-50m)	Alacsony (<10m)
Akciós	Pelton, Turgo, Multi-jet Pelton	Crossflow, Turgo, Multi-jet Pelton	Crossflow
Reakciós		Francis (csavarmenetes)	Francis (nyíltárkú), Propeller, Kaplan

3.2. A KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰVEK SZÁMÁRA ALKALMAS TURBINAFAJTÁK

A jelenleg használatos turbinák az alábbi kategóriákba sorolhatók:

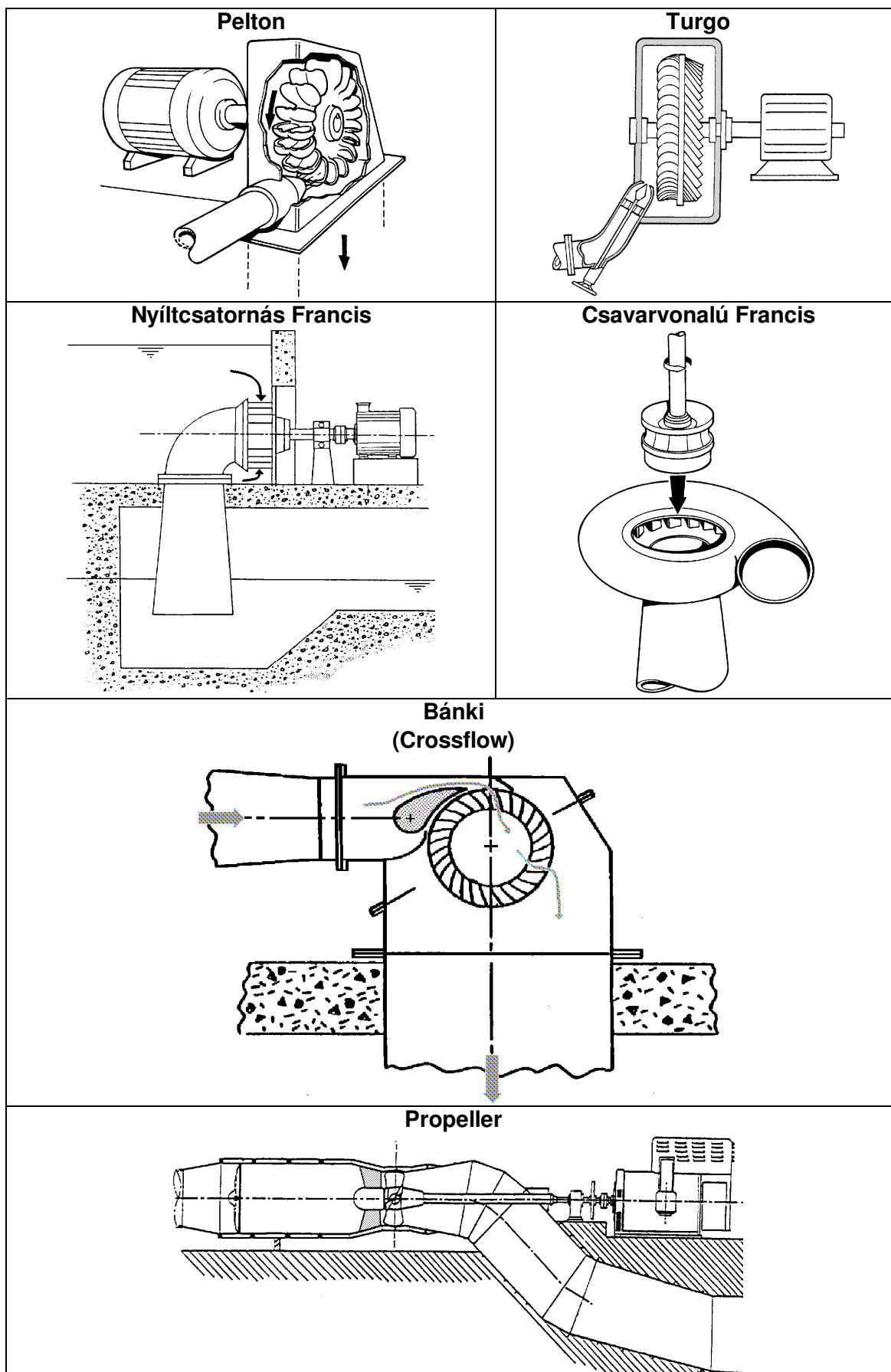
- Kaplan és propeller turbinák;
- Francis turbinák;
- Pelton és más impulzusos turbinák.

A Kaplan-típusú és a propelleres turbinák tengellyel megegyező folyásirányúak, és jellemzően kis esések esetén használatosak (kevesebb, mint 16 méter). A Kaplan-turbinák állítható futóhengerrel és a teljesítmény függvényében esetlegesen állítható lapátszárnyakkal készülnek. Ha mindkettő állítható, akkor kétszeresen szabályozható (*double-regulated*), míg ha csak előbbi, akkor egyszeresen szabályozható (*single-regulated*).

A szokványos Kaplan turbinák acélból vagy bevonatolt vasbetonból készült házába a víz sugárirányban lép be, majd derékszögben megtört folyásiránnyal hajtja meg tengelyirányú mozgással a turbinalapátokat. Propeller turbinának nevezik a nem állítható turbinalapátokkal ellátott szerkezetfajtát, melynek a vezetőlapátjai lehetnek mozgathatók vagy fixek. A nem szabályozható propelleres csak akkor használatosak, ha mind a vízhozam és az esés gyakorlati értelemben állandó.

A körte- és csőturbínák a propelleres és Kaplan turbinákból származtathatók, ahol a folyásirány a belépés és a kimenet között csak kis irányváltozásokat szenved. A körturbínákban a generátor a körtében helyezkedik el, és belemerül a vízáramba. A csőturbínák számos elrendezést tesznek lehetővé, így a derékszögű meghajtást, S-csatornás *Straflo* turbinák, övhajtásos generátorok alkalmazását stb. A derékszögű meghajtás nagyon kedvező, azonban csak 2 MW-os teljesítményig gyártják.

A Francis-turbinák sugárirányú folyással rendelkező reakciós turbinák, rögzített turbinalapátokkal és állítható vezetőlapátokkal, közepes esésekre. A járókereket összetett ívű vödörök alkotják. A Francis-turbina öntöttvas vagy öntöttacél házába terelőlapátok sora irányítja és szabályozza a bevezetett vizet, ahol az eloszlik a járókerék teljes kerületén. A 9. számú ábra mutatja az ilyen típusú turbinák működését.



3. számú ábra: A turbinák működési elvének vázlatai

A Pelton-turbinák impulzus alapján működnek egy vagy több vízszugárral, ahol sugaranként egy áramlást szabályozó szeleppel ellátott fecskendő található. Jellemzően közepes és nagy esések esetén használatosak. A fecskendők tengelyei a turbinakerék síkjában találhatók; a 10. ábra egy ilyen, függőleges Pelton-turbina elvét mutatja be. Egyes gyártók különleges gépeket fejlesztettek ki, melyek ugyan korlátozott teljesítményűek, azonban különleges esetekben előnyösek lehetnek.

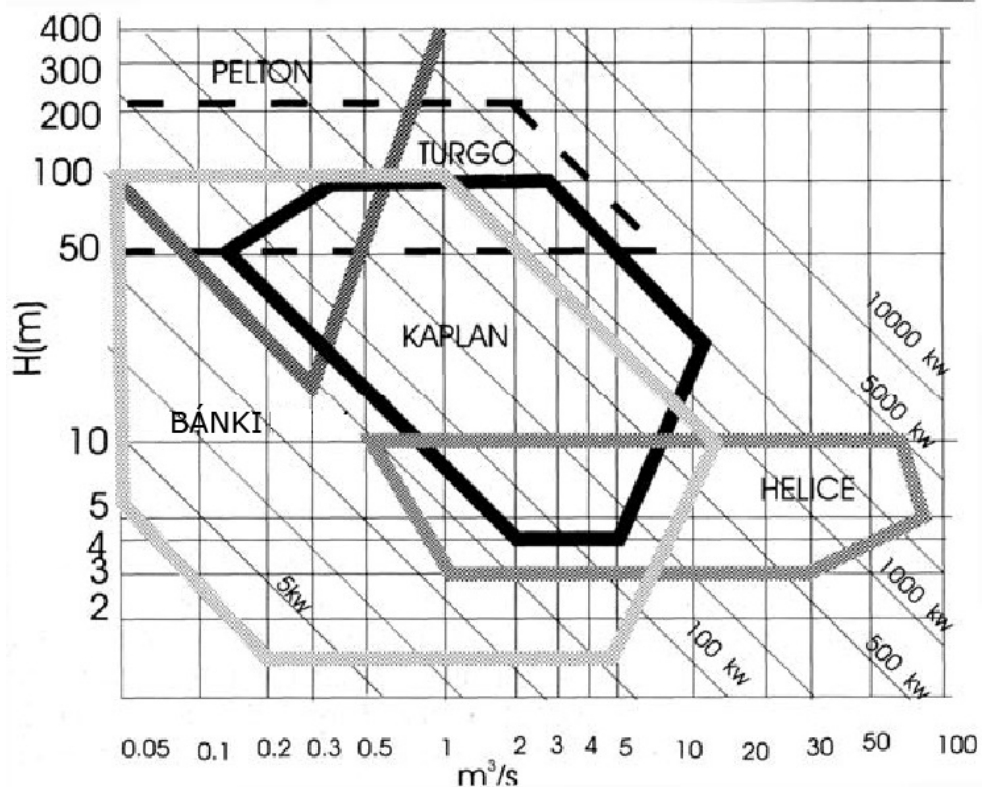
A Bánki-turbinák (vagy *Michell-turbina*, melyek gyártója az *Ossberger-cég*, angol neve *cross-flow*) az esések széles tartományában használhatók; átöleli a Kaplan, a Francis és a Pelton felhasználási területeit. Különösen előnyös nagy vízhozam és kis esés esetén.

A Turgo-turbinák 30-tól 300 méteres esésig alkalmazhatók. A Pelton-turbinához hasonlóan impulzus alapú, azonban a vödörök más formájúak és a vízszugarak 20 fokos szögben érik a turbinakerék síkját. A víz a turbinakerék egyik oldalán lép be, majd a másikon lép ki. A Turgo-féle gép kisebb átmérő miatti nagyobb fordulatszáma esetenként lehetővé teszi az áttételmentes kapcsolatot a generátorhoz (50 Hz). A Turgo-turbina a közepes esésű erőműveknél válthatja fel a Francis-turbinákat. A Pelton-turbinával ellentétben azonban a turbinakerék tengelyirányú erővel van terhelve, mely szükségessé teszi egy nyomóerőt felfogó szerkezet beépítését a tengelyre.

3.3. TURBINÁK KIVÁLASZTÁSÁNAK KRITÉRIUMAI

A turbinák fajtáját, geometriáját és méretét az alábbi szempontok határozzák meg:

- Nettó esés
- Teljesítmény
- Fordulatszám
- Kavitációs problémák
- Költségek



4. számú ábra: A különböző turbinafajták működési tartományai

A 3. ábra mutatja a különböző turbinafajták működési tartományát az esés és a teljesítmény függvényében. Azonban a nettó esés önmagában is meghatározó a turbina szempontjából. Az alábbi táblázat a nettó esésekhez használható turbinákat mutatja be.

3. számú táblázat: Nettó esések

Turbinafajta	Esések méterben
Kaplan és propeller	$2 < h < 15$
Francis	$4 < h < 100$
Pelton	$30 < h < 1000$
Bánki	$1 < h < 150$
Turgo	$50 < h < 250$

Azonos nagyságú esésekhez egyes turbinákat nehezebb gyártani, így költségesebbek is. Például kis esésekhez a propeller-turbinák olcsóbbak a Kaplan-féléknél azonos teljesítmény mellett. Közepes esésű területeknél a Bánki-turbina olcsóbb a Francisnél, melynek a lapátkereke összetettebb – azonban utóbbi egyben nagyobb hatékonyságú is. A teljesítmények esetén nem szabad megfeledkezni, hogy a turbinák nem képesek kellő vízhozam híján a kívánt energiamennyiséget leadni.

3.4. TURBINÁK HATÉKONYSÁGA

A turbina hatékonysága a turbinaszerkezet által *leadott* mechanikai teljesítmény és a nettó esés alatt *megkötött* hidraulikus teljesítmény hányadosa. A teljes hatékonyság becsléséhez a fenti hatékonyságot meg kell szorozni az esetlegesen alkalmazott áramlásgyorsító, valamint a generátor hatékonyságával.

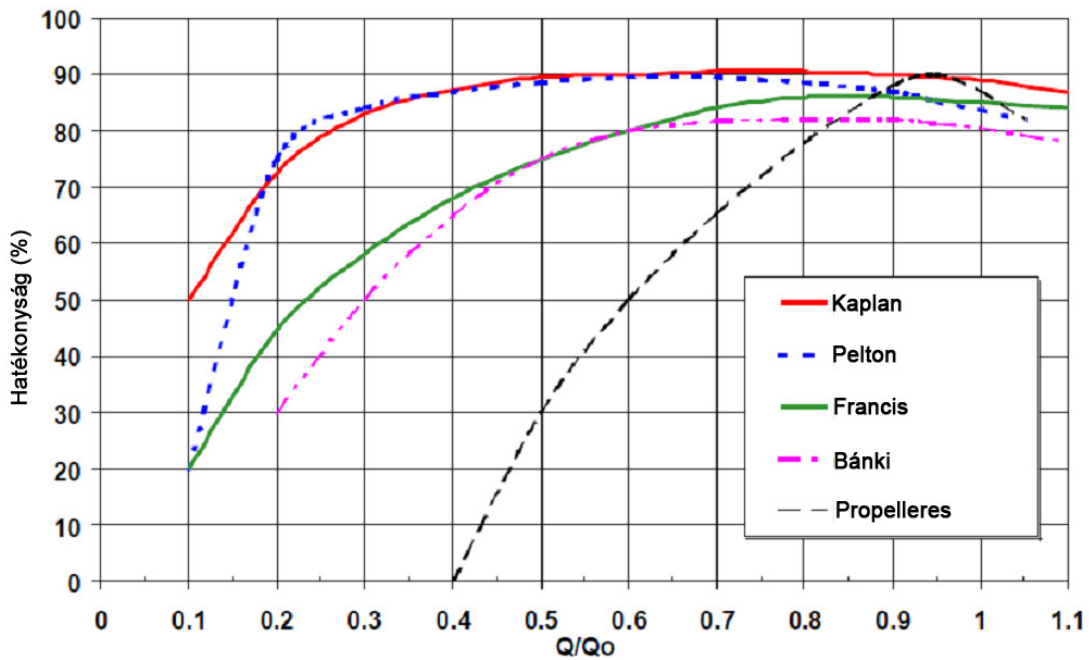
Amint azt a 4. ábra mutatja, a legtöbb turbina átlagos hatékonysága hirtelen lecsökken a névleges teljesítmény bizonyos százaléka alatt. A turbinákat maximális hatékonyságukhoz közeli működésre tervezik, mely általában a legnagyobb vízhozam 80%-a, és amennyiben a vízhozam kisebb ennél az értéknél, úgy csökken a turbina hatékonysága.

A kívánt teljesítmények, következésképpen a termelt energia tartománya eltér, ha

- a rendszer egy kis hálózatot lát el villamos energiával
- a rendszert nagy elosztórendszer részeként tervezték meg.

Az előbbi esetben a rendszer teljesítményt úgy kell megválasztani, hogy képes legyen egész évben áramot termelni. A második esetben a teljesítményt úgy kell megválasztani, hogy az áramszolgáltatásból kinyerhető nettó bevétel maximális legyen.

A kétszeresen szabályozott Kaplan és Pelton turbinák a vízhozam változásainak széles tartományában képesek kielégítően működni – a névleges teljesítmény négyötöde fölött. Az egyszeresen szabályozott Kaplan-turbinák elfogadható teljesítményt nyújtanak a névleges teljesítmény egyharmada felett, míg a Francis-félék esetében ez az arány 50%. Negyven százalék alatt utóbbiak teljesítménye instabillá válik a vibrációk okozta mechanikai erőhatások miatt. A rögzített terelőlapátokkal és turbinalapátokkal ellátott propeller turbinák csak a névleges teljesítményükhöz közeli nagyon kis tartományban képesek jól működni. Az egyszeresen szabályozható propellerek esetén azonban a hatékonyság a lapátkerek állításával javítható.



5. számú ábra: Teljesítmények a mértékadó vízhozam függvényében

3.5. ELLENŐRZÉS

A vezérlőpult felügyeli a vízerőmű működését. A vezérlőpult fő funkciói:

- A turbina indítása és leállítása
- A generátor összehangolása a helyi hálózattal
- A felső folyásnál lévő vízszint felügyelete, és a szükséges minimumot meghaladó értékének biztosítása,
- Az áramlást szabályozó fecskendő működtetése, és a rendelkezésre álló vízmennyiséghez való igazítása,
- Hibák észlelése, figyelmeztetések küldése, szükség esetén a rendszer leállítása.

A hálózatokat ellátó rendszereknél a vezérlőpultnak igazodnia kell a generátorokra vonatkozó helyi előírásokhoz. A hálózatoktól függetlenül, elszigetelten működő rendszereknél a vezérlőpult feladata a generátorok által szolgáltatott feszültség és a frekvencia fenntartása az előírt határok között, a terheléstől függetlenül.

Nagyobb, három fázist biztosító rendszereknél a vezérlőpult az alábbi kijelzőkkel kell rendelkeznie:

- feszültségmérő, mely mutatja a fázisok közti és a teljes kimeneti feszültséget,
- áramerősség-mérő,
- frekvenciamérő,
- teljesítménymérő (kilowatt, kW), a pillanatnyi teljesítmény mutatásához,
- villanyóra (kilowattóra, kWh), az egységnyi idő alatt termelt energia méréséhez,
- teljesítménytényező-mérő (a valós és látszólagos teljesítmény hányadosát méri)

3.6. VÉDŐSZERKEZETEK

3.6.1. HULLADÉKVÉDELEM

A hulladék elleni védelem jellemzően egy rácsozat, melyet a vízben lévő hordalék kiszűrésére használnak; egyben hasznos eszköz a folyók és a tavak tisztántartása szeméttől és más nemkívánatos elemektől. Minden hulladékszűrő hasonlóan néz ki, azonban a külső, belső és a turbina által működtetett szűrők más célokat szolgálnak. A hasonló kialakítás mellett többfajta anyagból is készülhetnek.

A vízfolyásokba helyezett hulladékszűrők bármilyen lyukacsos anyagból készülhetnek, melyek lehetővé teszik a víz átfolyását, azonban felfogják a nagyméretű hordalékelemeket. Az ilyenfajta szemétszűrők – a kerítésekhez hasonlóan – jellemzően fémből vagy műanyagból készülhetnek. A vízfolyás jellegétől és a szennyezettség mértékétől függően ezek a szűrők rendszeresen tisztítandók, elkerülendő a vízfolyás eldugulását.



A szűrő azonban akadályozza a folyást és az esést is csökkenti. Kedvezőtlen hatásai miatt a rácsozás sűrűségét a lehető legkisebbre kell venni, mely azonban még megfogja a turbinát károsítani képes hordalékanyagot. A turbinagyártók pontosabban is meg tudják határozni ennek a méretét. Fontos szempont, hogy a szűrőkön áthaladó víz sebessége alacsony legyen, kedvező a 0,3 m/sec érték, de semmiképpen sem lehet nagyobb 0,5 m/sec-nál.

3.6.2. AUTOMATIKUS TISZTÍTÓK

A kézi erejű tisztítás csak kis léptékű erőművek esetén lehetséges, vagy olyan esetekben, ahol más okokból állandó felügyelet van. Számos automatikus tisztítóberendezés létezik, melyek képesek a szűrő tisztán tartására és a felfogott hordalék eltávolítására; ezek közül a legjellemzőbbek:

(a) Láncos-gereblyés tisztító



(b) Hidraulikus karok



(c) Markolós tisztító



(d) Coanda szűrő



A **gépi gereblyéknek** (*robotic rake*) számos formájuk van, azonban jellemzően egy vagy több gereblyefejet tartalmaznak, melyeket egy hidraulikus emelő mozgat. Egyes szerkezetek csak egy

gereblyefejet alkalmaznak, mely képes végigjárni a szűrőn; vagy több gereblyével oldják meg a tisztítást. Ezek a rendszerek nagyméretűek, mivel a mozgatószerkezeteket mindenképpen a vízfolyáson kívül kell tartani. Legjelentősebb hátrányuk a méretükből fakadó vizuális megjelenés, valamint a nem kellő körültekintéssel való működtetés során felmerülő biztonsági és munkavédelmi veszélyek.

A **láncos-gereblyés tisztító** (*rake-and-chain*) egy rács, melyet a szűrő két végén láncokkal mozgatnak. A szerkezet az összegyűjtött hordalékot egy, a szűrő mentén végigfutó csatornába gyűjti. Ezt az árkot – szükség esetén nyomás alá helyezett – vízzel lehet átöblíteni, így az összegyűjtött anyag a gát széleihez jut.

A **markolós tisztítók** (*grab-and-lift*) a gépi gereblyék robusztusabb változatai. Egy darab tisztítófej járja végig a szűrőt, majd az anyagot közvetlenül egy szállítókosziba helyezi.

A **Coanda szűrők** csak nagy és közepes esésű vízerőműveknél alkalmazhatók, s nem igényelnek gereblyézést. A Coanda hatást kihasználva szűrik ki és mossák át a hordalékot, így biztosítva tiszta vizet a bemenetnél. Pontosan elhelyezett, helyesen megválasztott távolságban lévő vízszintes rozsdamentes acélhuzalokat építenek be egy gondosan tervezett keresztmetszetű szűrőrácsba, melyet a felsőfolyáson lévő bukógát alsó oldalára szerelnek fel. A tiszta vizet a szűrőrendszer alatt üregekbe gyűjtik, mely közvetlenül kapcsolódik a turbinákhoz.

3.6.3. HALSZŰRŐK

Azon folyókon, ahol jelentős halászati tevékenység folyik, jellemzően szigorú előírások vannak a gátakra, hogy biztosítsák a halak épségét a turbinák bemenetétől való távortartásukkal és vándorlásuk lehetővé tételével, kedvező mellékfolyásokra terelve őket. A pontos halszűrés intézkedések egyedien tervezendők, a helyszín érzékenységének függvényében.

A halakat távortartandó, számos újszerű eljárással kísérleteznek, melyek nem igényelnek fizikai szűrőrendszereket. Próbálkoznak elektromos áramokkal, buborékfüggönyökkel és hanghatásokkal, hogy a halak elkerüljék a turbinabemeneteket. Ezen eljárások számottevő előnye, hogy nem csökkentik a vízhozamot.

4. Az energiaforrások értékelése

4.1. BEVEZETÉS

A tervezés jelentős szereppel bír a vízenergia súlyának növekedésében és fejlődésében. Egy adott területen kinyerhető vízenergia mennyisége a turbinák számára elérhető nettó eséstől és a kapcsolódó vízhozamtól függ; így a vízenergia felhasználásához szükséges az energiaforrásként szolgáló vízfolyás vizsgálata, ami magában foglalja a helyi természetes folyamatok és terepadottságok feltérképezését is. A vízkészlet pontos és megbízható értékelése a sikeres tervezés alapja. A folyóvizek teljes körű vizsgálata azonban egyelőre még korlátozott; különösen igaz ez a nem iparosodott, fejletlen régiókban, s ez lehet az egyik oka a vízenergia e területeken tapasztalható lassú terjedésének.

Hagyományos tervezési eljárás az adott helyszíneken korábban mért teljesítmények adataiból készített becslések felhasználása, s a vízerőművek tervezői is ilyen forrásból dolgoznak. A környezetvédelmi, vízügyi minisztériumok, vagy a környezetvédelemmel és vízüggyel foglalkozó országos, területi vagy helyi hivatalok jellemzően az európai országok jelentősebb folyóin mért vízhozam adatok forrásai. E források felhasználhatók a folyók vízhozamának becsléséhez, amennyiben a valós helyszín és a mérőállomás – folyásirány szerint fentebbi vagy lentebbi elhelyezkedéséhez – igazodik a számítás.

A legtöbb esetben azonban a hozzáférhető vízenergia múltbéli adatai helyhez kötöttek. A hidrológiai jelenségek összetettsége miatt a jövőbeni lehetőségek múltban mért, helyhez kötött megfigyelési adatokra való alapozása kétségeket támaszt az értékelés pontosságát és

megbízhatóságát illetően. Számos következménye lehet a pontatlan adatok felhasználásának egy vízenergia-forrás értékelésénél:

1. a lehetőségek alábecsülése lehet a vízenergia iránti alulmotiváltság fő oka – még a jelenlegi fejlettség mellett kinyerhető energia is ösztönzőleg kellene, hogy hasson
2. a más helyeken végzett megfigyeléseken alapuló kiértékelés figyelmen kívül hagyhat olyan kedvező eseti lehetőségeket, melyek szintén helytelen tervezéshez vezethetnek.
3. a megfigyeléseken alapuló adatok összegyűjtése azok nagy száma és kellő alapossága miatt szintén költséges és időigényes

Az olyan fejlett informatikai eszközök megjelenésével, mint a GIS (Földrajzi, Információs Rendszer, *Geographical Information System*), melyek képesek távoli érzékelésből hidrológiai modelleket építeni, a fent említett korlátok és nehézségek könnyebben kezelhetők. A valóságghú megjelenítése a (i) létező terepadottságoknak, (ii) összetett hidrológiai jelenségeknek, valamint a (iii) változó időjárásnak és éghajlatnak már lehetséges térinformatikai rendszerek és modellező eljárások segítségével. Továbbá, mára lehetőségessé vált a téri mellett a vízenergia hozzáférhetőségének időbeli modellezése is.

A hidrológiai modellek a vízkörforgás egy szeletének egyszerűsített, koncepcionális megjelenései, melyeket elsősorban a hidrológiai folyamatok előrejelzésére és megértésére használnak. Hatékony eszköz a vízrendszerek vizsgálatához mind a kutató hidrológusoknak, mind a gyakorló vízépítő mérnököknek. E modellek rendszerint matematikai és statisztikai eljárásokat alkalmazva kapcsolják össze a bementi adatokat – csapadékmennyiséget, hőmérsékletet – a végső modellel – például a lefolyással.

Lehetéssé vált minden fizikai esemény figyelembevételével, így teljes körű szimulációs modellt építhetünk a GIS és a hidrológiai modellek segítségével. Ezen eszközök és modellek előnye, hogy képesek szimulálni a vízmennyiséget a teljesítmény szempontjából három téri szempontból: földalatti, felszíni és csatornázott vízfolyások rendszere. A hidrológiai modellek alkalmazása nő a hagyományos vízenergia számítási módszerekkel szembeni előnye miatt.

A GIS és más távolsági mérőeszközök is széles körben elterjedtek a potenciális vízenergia számítása során. Az ilyen technológiák használhatóságát jelentősen javítaná, ha a folyamat alapú hidrológiai modelleket (*process based hydrological model*) teljes mértékben integrálni lehetne beléjük. Ugyan számos előnye létezik a GIS-szel együttműködő folyamat alapú hidrológiai modelleknek, azonban ezek még egyelőre korlátozottan alkalmazhatók; elterjedésüket gátolja, hogy nagyszámú adatot igényelnek a földhasználatról, a talajról és az éghajlatról. Részmodellek és más társított alkalmazások szintén csak részlegesen írják le az adott helyzetet, s ilyen korlátozások az előrejelzésekből készített modell pontatlanságát eredményezhetik. Ugyanakkor e bizonytalanságok csökkenthetők megfelelő kalibrációval és pontosítással.

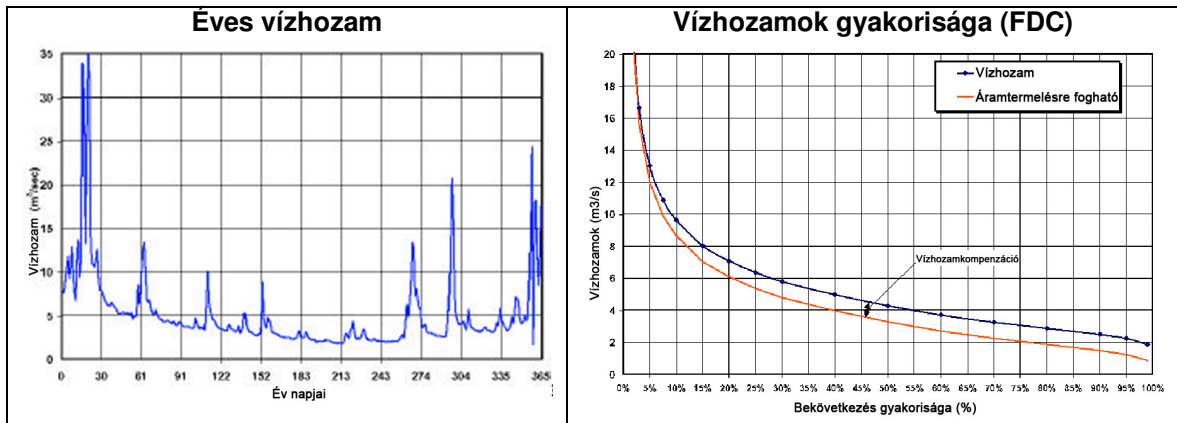
4.2. ORSZÁGOS ÉS TERÜLETI SZINTEN

Országos és területi szintű energiaforrás-számításhoz műholdfelvételekből építik fel a GIS adatbázist a forrás azonosításához, a hely meghatározásához, a környezeti tervezéshez, a digitális terepmodell felépítéséhez, a vezetékhálózat tervezéséhez és a helyszínek rangsorolásához. Ilyen nagyléptékű energiaforrás értékelő kutatásokat a GIS-t kezelni képes, hidrológiai és vízenergetikai szakemberekből álló csoportok végzik.

A Földrajzi Információs Rendszer (*Geographic Information System*, GIS) egy, a földfelszínen található földtani tulajdonságok digitális megjelenítésére és elemzésére szolgáló számítógépes alapú információs rendszer. Az alábbi eljárások sorával meghatározható egy régió vízenergetikai potenciálja.

4.2.1. REGIONÁLIS VÍZHOZAM GYAKORISÁGI MODELLEK

Kétféle grafikonnal írható le a folyók vízhozamának éves változásai: az éves vízhozamot (*Annual Hydrograph*) és a vízhozamok gyakoriságát (*Flow Duration Curve*, FDC) leíróval.



A vízhozamok gyakoriságát (FDC) leíró függvény a vízhozamok helyszínen tapasztalható változékonyságát írja le, annak időbeli megjelenésétől függetlenül. Megmutatja, hogy a vízhozam hogy oszlik el éves szinten. A függőleges tengelyen a vízhozam szerepel, míg a vízszintes tengely megadja az év azon százalékát, melynek során a vízhozam meghaladja az y-tengelyen szereplő értéket. Az FDC így megmutatja, hogy milyen vízhozam várható az év legalább 50%-ában (röviden Q_{50}). Az év 95%-ában meghaladott vízhozamot tekintik a vízhozam minimumát leíró karakterisztikus értéknek.

A megfelelő vízhozam adatokkal rendelkező, potenciális beruházási helyszínekhez a vízhozam gyakorisági függvények könnyen felírhatók. Felmért helyszíneken a különböző vízállások esetén tapasztalható vízhozamot ebből a görbéből lehet megbecsülni. Jóllehet a valós szituációkban a potenciális vízenergetikai beruházási helyszínek vízügyi szempontból felméréstlenek; vagy nem áll rendelkezésre kellő mennyiségű adat, vagy nincs olyan vízhozam-adat, melyhez viszonyítani lehetne.

Egy olyan folyón lévő helyszín esetében, ahol nincs elegendő adat a vízhozamra, a vízhozam gyakorisági függvény elkészíthető regionális vízhozam gyakorisági függvényekből is. E területi modellek felmért helyszínekről származó adatokból lettek felépítve, vagy egy hasonló terület rendelkezésre álló adatainak átültetésével készültek. Ezen adatok később a régióban található más vízhozam gyakorisági függvények alapjaként is szolgálnak, a felméréstlen folyókon. E modellek hozzáférhetősége kiemelkedő jelentőséggel bírnak – például a potenciális vízenergia számításához távoli, hegyes területeken.

Az éves vízhozam gyakorisági modellek szolgálnak mintaként a felméréstlen vízgyűjtők esetében. A saját modell felépítéséhez szükséges a terület fizikai földrajzi (*fiziografikus*) jellegzetességeinek, kerületének, a főfolyam hosszának, a legmagasabb és legalacsonyabb pont magasságának, a geológiai adottságoknak, a hidrogeológiának, a földhasználati szokásoknak, az éghajlatnak és más tulajdonságoknak a figyelembevételével. A hozzáférhető adatok mennyiségétől függően, a fentebbiek alapján regionális adatokból nyert vízhozam gyakorisági függvények azonban csak megvalósíthatósági előtanulmányoknál alkalmazhatók. Ezt követheti egy, a helyszínről szóló részletes megvalósíthatósági tanulmány, mely már a folyó valós felméréseit alapul véve adja meg a teljesítményt.

4.2.2. TÁVOLSÁGI FELMÉRÉSI ADATOK VÍZGYŰJTŐ TERÜLETI ELEMZÉSEKHEZ

A távolsági felmérési technológiák (*remote sensing technology*) hatékony eszközök új vízerőművek számára alkalmas helyszínek kereséséhez, főleg olyan nehezen megközelíthető területeken, ahol a víz felhasználhatósági potenciálja magas. Az infravörös közeli tartományban gyűjtött távolsági felmérési adatok tökéletesen elkülönítve képesek meghatározni a talaj és a víz jellemzőit, ezért a legalkalmasabbak az állandó vízfolyások feltérképezéséhez. A hamis színezetű IRS-LISS III-Geocoded False Colour Composites (FCCs) rendszerből kinyert adatok alapján meghatározható a vízgyűjtő terület határa, az időszaki és állandó vízfolyások helye, a földhasználat és a

növénytakaró jellege. A magassági körvonalak és a földrajzi térképek pontszerű magaslatai felhasználhatók digitális földfelszínmodellekhez (*Digital Terrain Modell, DTM, Digital Elevation Model, DEM*), mely bármely GIS szoftverrel elkészíthető – Manifold, Arc-info, MapInfo stb. A további elemzésekhez a vízgyűjtő terület, folyásirányok és nagy települések rávetíthetők ezen DEM-ekre.

4.2.3. DIGITÁLIS FÖLDFELSZÍN MODELLEK (DIGITAL TERRAIN MODELS, DTM)

A digitális földfelszínmodellek felhasználhatók lejtések, folyamhosszok, vízgyűjtő területek, villamos energia termelésénél felhasználható esések kiszámolására, valamint vízepítési műtárgyak megfelelő helyének meghatározására – terelőgát, tápcsatorna, ülepítő medence, gépház stb. A műholdfelvételek és a GIS felhasználhatók az optimális nyomvonalak, keresztmetszetek felvételéhez, a villanyvezetékek és villanyoszlopok költségbecsléséhez, mellyel a legközelebbi vezetékes hálózat vagy annak al-állomása elérhető.

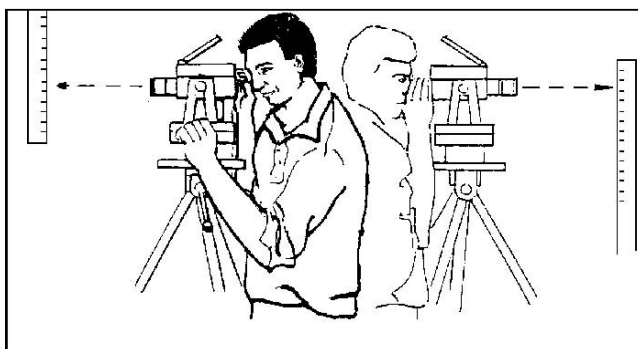
4.3. HELYI SZINTŰ FORRÁS MEGHATÁROZÁS (HELY-SPECIFIKUS)

A kisléptékű vízerőművekhez szükséges egyetlen energiaforrás az eséssel rendelkező folyóvíz. Az ilyen erőművek tervezése a javasolt területen fellelhető esés és vízhozam közelítőleg pontos becsülésével kezdődik. Az alábbi alfejezetek az esés és az elérhető teljesítmény méréséhez szükséges többfajta eljárást írnak le részletesen.

4.3.1. ESÉS MÉRÉSE

Számos eljárás létezik a rendelkezésre álló esés számítására. Egyes metódusok alkalmasabbak alacsony eséseknél, azonban túlságosan hosszadalmasak és pontatlanok nagy esések esetén. Minden esetben ajánlott több, független mérési eljárás alkalmazása az esés meghatározásához. Másik nagyon fontos tényező, hogy a bruttó esés nem állandó, hanem a vízhozam függvényében változik. Ahogy nő a vízhozam, az alsófolyáson gyakran hamarabb emelkedik a vízszint, mint a felsőfolyáson, így csökken a teljes esés. Ugyan e változás sokkal kisebb jelentőségű, mint a vízhozam ingadozása, azonban jelentősen csökkentheti a kinyerhető teljesítményt ki esések esetén, ahol fél méter is kritikus lehet. A bruttó esés pontos meghatározásához a felsőfolyás és az alsófolyás vízszintjei minden vízhozam esetén kiszámítandók. A leggyakrabban alkalmazott eljárások az esés méréséhez a következők:

Vízszintező és teodolit: az építkezéseken is használt vízszintező általános eszköz esések meghatározásához, és minden esetben alkalmazandó, ha elegendő idő és pénz van rá. E műszerek pontos beállítást igényelnek és csak tapasztalt mérnökök kezelhetik. Vízszintezőt és mérőrudakat együtt használva, mérések sorozatával lehet meghatározni az esést. A vízszintezőt kezelő személy a műszerbe betekintve tudja megpillantani a munkatársa által tartott mérőrudat, ahol a nézés iránya vízszintes. A mérések számát a mérőrúd hossza határozza meg, mely jellemzően nem több 3 méternél. Tiszta és zavartalan átlátás szükséges ehhez az eljáráshoz, így a gazdag vegetációjú területek ezzel a módszerrel nehezen mérhetők fel. A vízszintezők csak vízszintes kitekintést adnak, a teodolit azonban alkalmas függőleges és vízszintes szögek mérésére is, sokoldalúbb felhasználást és gyorsabb munkát lehetővé téve.



Inklinométer: kézi inklinométerekkel lehet megmérni a lejtők dőlésszögét. Kicsi és kompakt eszközök, melyek általában távmérő szerkezettel is fel vannak szerelve, így az is leolvasható. A

becslési pontatlanság jellemzően 2 és 10% között mozog, a felhasználó képességeinek függvényében.

Vízzel telített cső és nyomásmérő: Az esés mérésének legegyszerűbb módja, azonban vannak hiányosságai. Két jellemző hiba lehet a nyomásmérő félrekalibráltsága, valamint a csőben megrekedő légbuborék. Előbbi elkerüléséhez szükséges a vízmérték mérés előtti és utáni kalibrálása, míg utóbbihoz elegendő egy tiszta műanyagcső alkalmazása, melyben a megjelenő és eltávolítandó buborékok láthatóak.

Ezen eszközök kis és nagy esések esetén egyaránt használhatók, de a nyomás alatti vízmérték alkalmazhatósága függ a megméréendő esés méretétől.

Vízzel telített cső és rúd: Ez az eljárás ki eséseknél jól használható; olcsó, megközelítőleg pontos és nincs sok hibalehetőség. Két-három független mérést kell végezni, hogy a végeredmény biztosan jó és megbízható legyen. Az eredmények ellenőrzésének további lehetősége más eljárások alkalmazása, például a vízzel telített cső és nyomásmérő együttes használata.

Vízmérték és deszka: Ez az eljárás hasonlatos a vízzel teli cső és mérőrúd eljárásához. Ez esetben egy ácsok által használt vízmértéket kell egy nagyjából egyenes palánkra helyezni, s így lehet a vízszintes síkot meghatározni. Kislejtésű hegyoldalaknál nagyon lassú eljárás, azonban meredek lejtők esetében hasznos.

Minden lépésnél két mérést érdemes végezni – a deszka végét megjelölve, majd megforgatva – és ez által kiküszöbölhetők a hibák. Az eltérések általában 2% körüliek.

Térképek: A fejezetben korábban is jelzett módon, a nagyléptékű térképek alkalmasak az esések hozzávetőleges meghatározásához, de nem mindig léteznek, vagy nem teljesen megbízhatók. Nagy esésű (100 méternél nagyobb) helyszíneken az M 1:50.000 léptékű térképek hasznosak lehetnek – s rendszerint megbízhatóak – megvalósíthatósági előtanulmányok készítéséhez.

Magasságmérők: Magasságmérők rendkívül hasznosak nagy esésű helyszínek esetén megvalósíthatósági előtanulmányokhoz. A mérők rendszerint 3% alatti hibával dolgoznak 100 méteren. Ugyanakkor figyelemmel kell követni a légköri nyomásváltozásokat, s így ezzel a módszerrel csak hozzávetőleges adatokat lehet nyerni – például megvalósíthatósági előtanulmányokhoz.

4.3.2. VÍZHOZAM MÉRÉSE

A hidrológia célja a vízhozam éves változásainak előrejelzése. Mivel a vízhozam napról-napra változik, így az egyszeri mérés korlátozottan használható. Bármilyen hidrológiai vizsgálat híján a hosszú távú mérőrendszert kell felépíteni. Hasonló rendszereket gyakran használnak a hidrológia vizsgálatok alátámasztására, valamint ez a legmegbízhatóbb módja a helyszíni valós vízhozam meghatározásának. Az egyszeri mérések hasznosak lehetnek a hidrológiai előrejelzések ellenőrzésében.

Az alábbiakban tárgyalt vízhozam mérési technikák a következők:

- duzzasztógátas eljárás,
- állapotellenőrző eljárás
- sónyelő eljárás
- vödörös eljárás
- úszóeljárás
- áramlatmérések

Mérő duzzasztógáták: a vízhozam mérő terelőgát egy olyan horonnyal ellátott gát, melyen keresztül a folyó teljes vize átfolyik. A vízhozam meghatározható a felsőfolyási vízszint és a horony

aljának síkja közti magassági különbségből. Megbízható eredményekhez szükséges, hogy a gát teteje éles legyen, valamint meggátolandó a hordalék lerakódása a gát mögött.

A duzzasztógáták készülhetnek betonból, fémből vagy fából, és a folyásirányhoz képest mindig megfelelő szögben, valamint egyenes és örvénymentes folyószakaszon kell elhelyezni őket. A mérési pont és a gát teteje közti távolság a legnagyobb esés legalább kétszeresének kell lennie. Torlaszt képező tárgyak nem kerülhetnek a horony közelébe, és a gátat teljesen le kell szigetelni szivárgás ellen.

Derékszögű horonnyal ellátott duzzasztógát: E rövidtávú és száraz időszaki mérésekhez alkalmazott, rendszerint fából készült időszakos gátak a folyóparthoz és a folyóágyhoz kerülnek rögzítésre. Szükséges az előforduló vízhozam-tartomány becslése a horony megfelelő méretezése érdekében. Állandó terelőgátak alkalmazása kedvező lehet kisebb folyók esetében, a nagyobb folyók esetében azonban a gátak állványozása kedvezőbb megoldás.

Só elnyelő eljárás: A só elnyelő eljárás a vízhozam mérésében a radioaktív nyomjelzőkkel végzett hígulást mérő metódusokból származik. Egyszerűen kivitelezhető, megközelítőleg pontos mérés (hiba esélye kevesebb 7%-nál), és megbízható többfajta folyó esetében. A folyók örvényességének függvényében pontosabb eredményt ad. E megközelítéssel az egyszeri ellenőrzés elvégezhető csekély felszereléssel, és kevesebb, mint tíz perc alatt.

A méréshez egy vödör erősen sós vizet öntenek a folyóba, mely lassan feloldódik és eloszlik. Kellő távolság megtételét követően az egész folyómedret kitölti az anyag. A képződő anyagfelhőnek lesz egy sóban szegény eleje, egy gazdag közepe, és egy ismét szegényes vége. A víz sótartalma egy elektromos vezetőképességet mérő műszerrel meghatározható. Kis folyók nem oszlatják el a sót nagyon, így a felhő vezetőképessége (mely a sómennyiséggel arányosan nő) magas lesz. Így az alacsony vízhozamot a nagy vezetőképesség jelzi, és fordítva.

A vízhozam a fentiek alapján fordítottan arányos az oldatfelhő vezetőképességével. E jelenség feltételezi, hogy az oldatfelhő azonos időben halad át a mérőkészüléken. Azonban minél lassabb a folyó, annál több idő alatt halad át a felhő a mérőműszeren; így a vízhozam egyben az oldatfelhő áthaladási idejével is fordítottan arányos. A vízhozamot mérő só elnyelő eljáráshoz szükséges egy vödör, konyhasó, egy hőmérő és egy vezetőképességet mérő konduktométer (0-1000 millisiemens – mS - közti tartomány).

Vödörös eljárás: A vödörös eljárás a legegyszerűbb és leggyorsabb kis patakok vízhozamának méréséhez. A teljes vízhozamot egy vödörbe vagy hordóba terelik, és megméri az időt, amíg az edény megtelik. A vízhozamot meghatározható az edény térfogatának és a megtelés idejének hányadosából. 20 l/s-ig egy 200 literes olajoshordó segítségével mérhető meg a vízhozam. A méréshez szükséges egy vödör vagy hordó és egy stopperóra.

Úszóeljárás: Minden sebesség-terület alapú eljárás alapja, hogy a vízhozam (Q) egyenlő a folyó egy keresztmetszeti területének (A) és az azon áthaladó víz sebességének (v) szorzatával. Matematikai egyenletben kifejezve:

$$Q = A \times v$$

A folyó keresztmetszeti területe úgy kerül kiválasztásra, hogy az egy szakaszon belül ne változzon sokat: felvehető egy átlagos keresztmetszet egy olyan feltárt területen, ahol a folyóágy egyenletes. Ezt követően több darab uszadékot, jellemzően fát tesznek a folyóra, majd ezek sebességét mérik az adott szakaszon. Az úzás sebessége később a nagyszámú eredményből átlagolva határozható meg. A kapott eredményt egy csökkentő tényezővel kell megszorozni, mely a folyó átlagsebességét adja meg a felszínen mérhetőhöz képest. Az átlagolt majd korrigált sebességből és a keresztmetszet területéből meghatározható a vízhozam.

Áramlatmérők: Az úszóeljárásnál pontosabb metódus. Az áramlatmérőt egy tengely mentén elforduló, kelyhekből álló propeller alkotja. A propeller szabadon el tud fordulni, és a forgás sebessége (szögsebesség) az áramlás sebességének függvénye. Egy egyszerű számláló rögzíti a tetszőleges mélységbe leengedett propeller fordulatainak számát. A teljes keresztmetszeten felvett értékeket átlagolva meghatározható a folyó átlagos sebessége.

5. A KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰ POTENCIÁL ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

5.1. ÁLTALÁNOS ELKÉPZELÉS

A kisléptékű vízerőművek esetén meghatározott *kísérleti potenciál* magában foglalja a vízhozam helyszíni méréseinek eredményeit a kiaknázhatónak tekintett vízfolyások esetén. E mérések vagy az országos, körzeti, helyi szintű, vízenergiaforrásokkal foglalkozó felügyeletek számára készültek különböző céllal, vagy korábbi mérések eredményeiből lettek származtatva más érdekelt szervezetek által.

A kísérleti potenciál kiszámításához felhasznált adatok összhangban vannak a vízfolyás egyes pontjaihoz tartozó *vízhozam gyakorisági görbével* ("flow duration curve"). E mérésekből származó adatokból, valamint a vízfolyamokat leíró modellből – mely a három téri dimenziót leíró digitális földfelszínmodell (Digital Elevation Model – DEM) felhasználásával készül –, a vízfolyást jellemző összes tényező a keresztmetszet minden pontjában meghatározható.

E vízfolyásra vonatkozó előrejelzés a kisléptékű vízerőművek elméleti potenciálján alapul, és a legalapvetőbb információforrás olyan számolásokhoz, melyek a – későbbiekben részletezett – műszakilag és gazdaságilag kihasználható potenciált írják le. Az elméleti potenciál adatai benne foglaltatnak a rendszer adatbázisában és ezek (vízhozam gyakoriság előrejelzés, topográfia, földhasználati jellemzők) visszakövethetők és ábrázolhatók nem csak bármely pontban, hanem – tematikus térképek formájában – vízfolyások nagyobb területein is.

Az elérhető potenciál meghatározásához a fenti tényezőkből számolhatók, néhány megkötéssel, mely utóbbiak függenek:

- a jogi és környezeti szempontok (földhasználati megkötések, minimálisan megmaradó vízhozam),
- általános műszaki-gazdasági kérdések (minimális vízhozam arány, nettó esés, becsült energiatermelés, felső üzemcsatorna hossza/maximális távolság a vízvétel és a gépház között).

A fent leírt vizsgálatok célja olyan pontpárok (vízvétel és gépház) meghatározása, melyek a fenti megkötéseknek megfelelnek. E pontpárok feltételes, megvizsgálendő projektlehetőségeket vázolnak fel, e modellek a beviteli adatokból kiindul – későbbiekben részletezett – számításokból állnak, melyek célja a technikai és pénzügyi értelemben kinyerhető potenciál meghatározása.

A technológiai potenciál meghatározásához a rendszer különböző turbinák alkalmazását modellezi algoritmusokkal, hogy meghatározható legyen:

- az optimális kapacitással rendelkező turbina,
- a termelt energia mennyisége,
- a turbina kihasználtságának mértéke, valamint a hozzáférhető vízhozam.

Előbbiek meghatározását követi az egyes befektetések költségeinek és a pénzügyi megvalósíthatóság elemeinek első becslése, kiszámolva a

- az építés költségeit,

- működtetés és fenntartás költségeit,
- az energiatermelés költségei (€ / kWh-ban kifejezve)
- néhány alapvető, jövedelmezőséget mutató index meghatározásával (belső megtérülési ráta IRR, nettó jelenérték NPV).

A folyamat eredményeként a rendszer meghatároz egyes szakaszokat a folyón, ahol a kisléptékű vízerőművek optimális energiatermelési és pénzügyi hatékonysággal valósíthatók meg.

5.2. FÖLDRAJZI RENDSZEREK ADATBÁZISAINAK LEÍRÁSA

A földrajzi rendszer adatbázisa egy központi adattár, melyből az adatok vagy közvetlen módon kerülnek kinyerésre, vagy összetett folyamatokban, számítási modellekhez kerülnek felhasználásra. Az ismeretek jellegétől függően az adatbázis elemei a következőképpen rendszerezhetők:

Elméleti potenciális adat: a kisléptékű vízerőmű földrajzi elhelyezkedését érintő ismeretek.

Általános földrajzi hivatkozási adat: a meglévő, alapvető földrajzi ismeretrétegekből áll, a természeti környezet, az infrastruktúra és a földhasználat tulajdonságait tartalmazza.

Közepes és nagyfeszültségű távvezetékek topológiája és jellemzői.

Technológiai adatok: a kisléptékű vízerőművek technológiájának alapvető adatai.

Jellegük függvényében az adatbázis elemei csoportosíthatók:

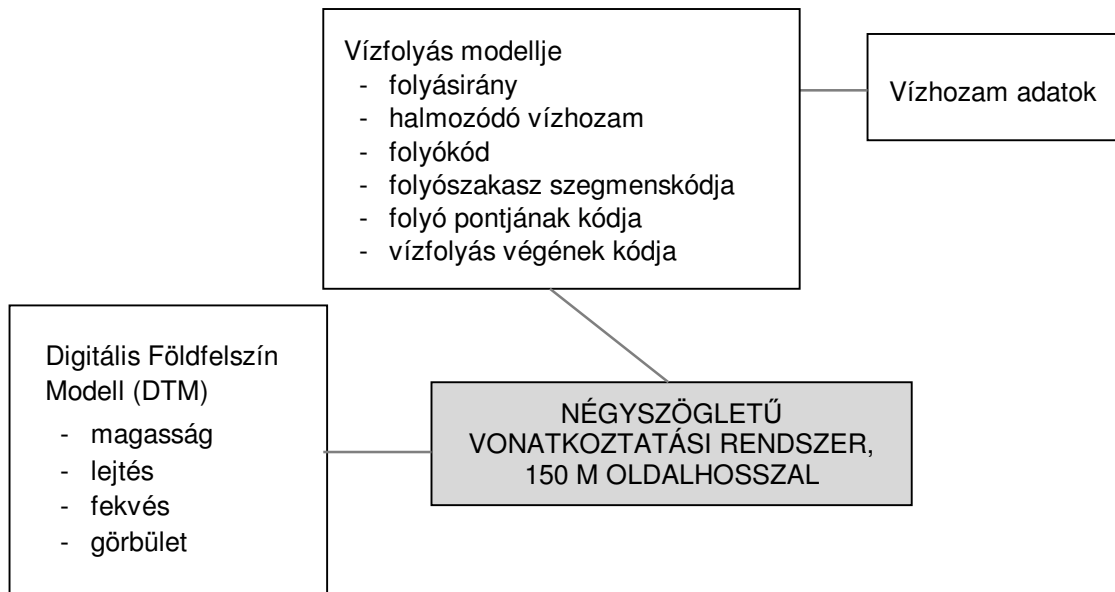
- ⇒ Térbeli testeket leíró adatok (pl. úti infrastruktúra, földfelszín stb.)
- ⇒ Téri jellegű hordozó, az első kategóriához kapcsolódó, leíró vagy számszerű adat (pl. vízhozam értékek)
- ⇒ Más jellegű adatok a kapcsolódó adatbázisokban jelennek meg.

Az első kategória adatait a rendszer földrajzi adatbázisa tartalmazza a következő formákban:

- Táblázatforma (mozaik vagy raszter)
- Vektorforma
- Hálózatforma

Az ábrázolás és bemutatás formája egyrészt az adat fajtájától, másrészt az egyes lehetséges prezentációs formák egymáshoz képesti előnyeitől és hátrányaitól függ. A táblázatosan bevitt adatok könnyen kapcsolhatók más tematikus területekhez, gyorsabban, de pontatlanabban mutathatók be. E nehézség abból adódik, hogy a táblázatosan bevitt adatok mátrixszerűen, négyzetekbe (cellákba) van rendezve, így az adatok elő-feldolgozása bármilyen összetettségű folyamat, egyszerű vagy komplex mátrixközi műveletként valósul meg.

Jellemzően a táblázatos forma azon file-ok rendszerezése esetén használatos, melyeknél az ábrázolhatóság pontossága nem befolyásolja az eredményeket. A fellelhető megújuló energiaforrásokról (*Renewable Energy Source, RES*) szóló potenciális adatok szintén négyzetletű vonatkozási táblázatból nyerhetők ki. E táblázat egy digitális felszínmodellen (*digital terrain modell, DTM*) alapul, s a kisléptékű vízerőművek esetén a topologikus vízáramlási modellekből számítható vízhozam adatokból áll. A 7. számú ábrán a mozaik modellek analitikus képe látható.



7. számú ábra: A kisléptékű vízerőművek potenciáljának kiszámításához szükséges adatok

A vektoros és a hálózatos forma olyan file-ok esetén használatos, ahol kiemelkedő jelentősége van az információ pontos tárolásának és ábrázolásának, így az eredményeknek – például a feltételezett erőműveknek az elektromos hálózattól mért távolsága, pontos térképészeti ábrázolás – egy biztos készlete jön létre. A 3. számú táblázat a vektorstruktúrájú földrajzi adatbázisok alapszintjeit mutatja be.

3. számú táblázat

TEMATIKUS SZINT	FELÉPÍTÉS	FELHASZNÁLÁS
FÖLDHASZNÁLATI JAVASLAT A 'CORINE' PROGRAM ÁLTAL meghatározás a program kidolgozását követően	Vektor, raszter	<i>Környezeti megkötések szabályozzák a kisléptékű vízerőművek telepítését</i>
INTÉZMÉNYESÍTETT FÖLDHASZNÁLATI FORMÁK <i>Natura</i> védettség alatt álló területek Régészeti területek Városrendezési tervek Lakossági felhasználású területek Ipari területek	Vektor	<i>Környezeti megkötések szabályozzák a kisléptékű vízerőművek telepítését</i>
TELEPÜLÉSEK PONTJAI	Vektor	<i>Környezeti megkötések szabályozzák a kisléptékű vízerőművek telepítését</i>
HIDROLÓGIAI HÁLÓZAT	Vektor, hálózat	<i>A vízfolyások vízhozamának nyilvántartása</i>
ÚTHÁLÓZAT	Vektor	<i>Távolságok számítása és a lehetséges projektek térbeli kiterjedése</i>
KÖZEPES ÉS MAGASFESZÜLTSGŰ TÁVVEZETÉKEK	Vektor, hálózat	<i>Hálózat jellege, kapcsolódás költségeinek számítása</i>
IZOMERTIKUS SZINTVONALAK	Vektor	<i>Topográfikus megjelenítés</i>
KÖZIGAZGATÁSI BEOSZTÁS (kerületek)	Vektor	<i>Helyi tervezési céloknak</i>

A fenti táblázatban közölt adatokhoz szükséges néhány kiegészítés.

Folyásirány: megadja a vizek mozgási irányát minden (térképen felvett) négyszögben. Ezen információ alapján meghatározható a szomszédos négyszögek között létrejövő a feltételezett vízhozam iránya – így csapadék esetén. A folyásirány a vizsgált és a szomszédos négyszögek között mért legnagyobb esés alapján számolható, a következőképpen:

(A vizsgált és a szomszédos négyszögek között mért – tengerszint feletti – magasságkülönbség)*100

$$\text{Esés} = \frac{\text{Négyszögek központjai között mért távolság}}{\text{Négyszögek központjai között mért távolság}}$$

E fenti mennyiség alapvető beviteli adat a halmozódó vízhozam számolásánál.

Halmozódó vízhozam: megmutatja, hogy az egyes mezők hány további négyszögről kapnak vizet. A vízgyűjtő terület teljes vizsgálatával meghatározott halmozódó vízhozam révén követhető nyomon a folyó. A számítás feltételez egy minimumértéket, melynek meghaladása esetén terület a vízgyűjtő terület részének tekinthető. A kapott eredmények a vízáramlás jellegének és vízhozamának meghatározásához használhatók fel.

5.3. MÓDSZERTAN A VÍZERŐMŰVEK FELHASZNÁLHATÓ POTENCIÁLJÁNAK SZÁMÍTÁSÁHOZ

Ezen alfejezetben a kisléptékű vízerőművek műszaki és gazdasági felhasználhatóságának tervezéséhez és fejlesztéséhez használt modellek részletes, elemző bemutatása következik. A fentiekben jelzett módon, a bemutatandó modellek egy könyvtárszerűen felépülő szoftver részeit képezik. E könyvtárak információs rendszerként működnek a vízenergia kihasználásának különböző módjainak forgatókönyveihez.

5.3.1. ÁRAMLÁSTANI ADATOK MODELLJE

A vízfolyások és a hozzájuk kapcsolódó információk (vízgyűjtő területek, vízhozamok stb.) két különböző modellel szimulálhatók.

A vektoriális bemutatás alapján a vízfolyás különböző lineáris töredékekből áll, melyek különböző topologikus viszonyban állnak egymással (szegmensek /szakaszok/ osztálya, ezek kapcsolódási csomópontjai, sorrendje stb.). Ily módon

- a vizsgált folyóról szóló minden információ (mért vagy számolt vízhozam adatok, földfelszín adatai, így magasság, lejtésirány stb.) szakaszként vagy csomópontként van tárolva a megfelelő térképek számára;
- a folyók egyes pontjainak vízgyűjtő területei poligonként jelennek meg, és a folyóról szóló adatokhoz hasonlóan vannak tárolva. Minden vízgyűjtő területről szóló adat a poligon adataként, elemeként jelenik meg.

Az adatok földrajzi pontossága a vektoros megjelenítés előnye, míg az adatok bevitelének és összerendezésének időigényessége, valamint a szükséges elemző számítások (különösen a vízgyűjtő területek kiszámolása esetén elvégzendők) sokasága hátrányként jelentkeznek.

A vízfolyamról szóló adatok *mozaikos megjelenítése* a másik lehetőség. Ez utóbbi megközelítés egységnyi területekre – cellákra – bontja a földrajzi teret, és minden rendelkezésre álló adatot ezekhez rendel. Követve e modellt, a vízfolyás cellák sokaságából áll, melyek elemző vizsgálatában mindegyik szegmens csak a folyam részeként jelenik meg – összefüggéseik nélkül (a pontok vizsgálatánál a kérdéses pont – számítástechnikai értelemben – 1-es értéket vesz fel, míg az összes környező 0-t).

A mozaikos megközelítés nyilvánvalóan nem képes a folyó adatainak pontos földrajzi leképezésére, egyben nehézséget jelent az egyes pontok közötti topológiai összefüggések felismerése (csomópontok, szegmensek, vízgyűjtő területek). Ugyanakkor – e nehézségek figyelembevételével (pontosság, topológia) – a fenti modell egyszerűsége az elemzések végtelen lehetőségére ad módot.

A műszakilag és gazdaságilag hasznosítható vízerőműi potenciál becslésénél használt eljárások állandó számításokat és algoritmusok folyamatos alkalmazását igénylik – többek között – a földrajzi és topológiai adatok feldolgozásához. Azon megfontolásból kiindulva, hogy a fenti adatok feldolgozásához szükséges kapacitás célszerű kihasználása fontosabb a megjelenítés földrajzi pontosságánál, a *mozaik eljárás* bizonyult hasznosabbnak.

Az alábbi bekezdések leírják

- a digitális földfelszínmodellek elemeinek viszonyát a vízfolyam adataival, figyelembe véve azon tényt, hogy a vízfolyások adatmodellei a földfelszínmodellek iterációs, ismétlődő feldolgozásából származnak,
- a vízfolyás topologikus modelljének felhasználását lehetővé tevő eljárást.

Digitális földfelszínmodellek és vízfolyások

A digitális földfelszínmodellek (*Digital terrain model, DTM*) elemei a következőképpen különíthetők el:

- A mérésekből közvetlenül származó magasságadatok [tengerszint feletti magasság, *altitude* – z].
- A magassági adatok feldolgozásából származó alakotani (morfológiai) adatok:
 - [lejtés, *slope* – *s*]³⁴
 - [tájolás, fekvés - *aspect* - *as*]
 - [élgörbület, *profile curvature* – *prfcv*]³⁵
 - [térgörbület, *planform curvature* – *plncv*]³⁶

A *folyásirány* megadja a – környező 8 cella irányában értelmezett – maximális lejtést egy adott pontból (8. számú ábra). Ennek megfelelően a *halmozódó vízhozam* az e pont felé irányított cellák vízből számolható, így e paraméter egyben a pont *vízgyűjtő területét* is megadja, ahol a:

Vízgyűjtő terület mérete = a halmozódó vízhozam forráscelláinak területe

Ezen adatból kiderül, hogy a 0 értékű halmozódó vízhozammal rendelkező pontok gerincek, míg a nagy értékűek folyóágyak.

Topologikus vízáramlási modell

A vízáramlási adatokból készült modell – az előbbieken bemutatott módon – egy, a digitális felszínmodell részét képező ponthalmaz. E rendszerben azonban meghatározatlan marad a víz áramlásának pontjai között lévő topologikus kapcsolatrendszer. A topologikus összefüggések meghatározásához az alábbi paraméterek meghatározása szükséges:

- A különböző szakaszok,³⁷ melyek a vízfolyást alkotják;
- Az egyes szakaszok osztálya;³⁸

³⁴ A magasságkülönbség első deriváltja.

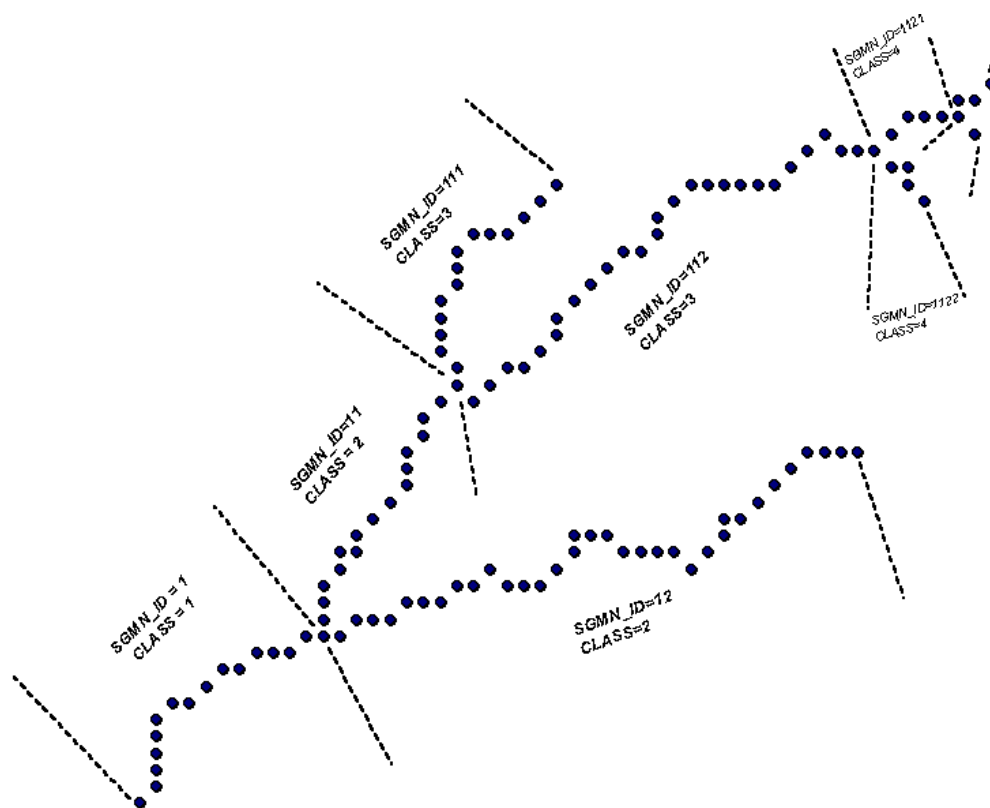
³⁵ A magasságkülönbség második deriváltja.

³⁶ A fekvés első deriváltja.

³⁷ E szakasz meghatározása szerint a két elágazási csomópont között értendő.

³⁸ Jellemzően az utolsó szegmens – torkolat – képviseli az első osztályt, míg minden elágazás egyvel növeli az osztály számát.

- E szakaszok helyzete a hidrográfiai rendszerben;
- Minden pont helyzete a saját szakaszában.



8. számú ábra

E viszonyrendszerek leírásához – s egyben a vízfolyás egyéni jellegének meghatározásához – három további adatot kell a vízfolyás minden cellájához rendelni. E jellemzők:

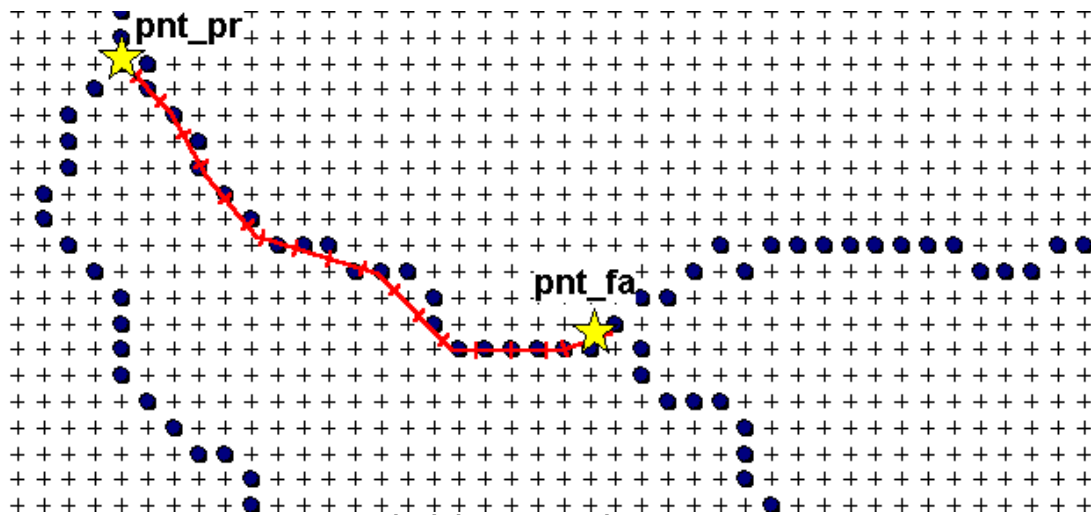
- a megfelelő hidrográfiai rendszer (fa, tree) kódja [RV_ID], melyhez a pont (cella) tartozik;
- A szakaszokat (szegmenseket) leíró kód [SGMN_ID], melyhez a cella tartozik (ld. 6. sz. ábra);
- A cella szakaszon belül vett sorszáma [PNT_SN], ahol a számsor emelkedése ellentétes a folyásiránnyal.

A cella szegmensbeli hovatarozását leíró kód egyben a folyó legfontosabb topológiai jellegzetességét hordozza, és egyben – közvetett módon – a topológiai rendszer (fa) felépítésére is utal. A kódolás leolvasható a 8. számú ábráról, míg az egyes szakaszok osztályozása egyszerű, matematikai – későbbiekben leírt – módon történik.

A hidrológiai rendszer (fa) használatánál szükség van megkötésekre, mivel:

- Eltérés mutatkozik a folyó térképészeti és modellbeli ábrázolása között. A két ábrázolás nagyobb különbséget mutat a folyó alsóbb szakaszain, mint a felsőkön, mivel egyrészt a digitális földfelszín modellek analízise bizonytalan eredményt mutat alacsony lejtésű területeken, valamint hibák is merülhetnek fel a digitális modell létrehozásánál.
- A kódolási eljárás nem fejez ki pontosan bizonyos folyószerkezeteket (delták és folyami hurkok)

Fontos megjegyezni a folyam kinyerhető potenciáljának vizsgálatára kapcsán, hogy a modell a tervezett erőmű helye (pnt_pr) és vízvétel helye (pnt_fa) közötti felvízcsatorna (penstock) nyomvonalának a folyómedret feltételezi (9. számú ábra).



9. számú ábra: A folyómeder nyomvonala

A fent leírt topológiai viszonyok alapján az alábbiak olvashatók ki:

- Egy cellához képest felső- és alsófolyási helyzetben lévő pontok halmeza;
- Két pont egymáshoz viszonyított helyzete – egy, vagy külön szakaszba való tartozása;
- Két pont közötti folyásirány;
- Két pont közötti folyóhossz.

Kiolvasható továbbá:

- A víz áramlásának iránya, vagy bármilyen részlet irányultsága;
- A vízfolyás bármilyen szakaszának osztályozása vagy bármilyen lejtéssel vagy iránnyal kapcsolatos, szegmensre vonatkozó adat
- Minden hasznosítható, összetett földrajzi adat – elsődleges vagy számolt; földhasználat, pontoktól és folyómedrektől való távolság stb.

További algoritmusok alkalmazandók:

- Az egyes pontok vízgyűjtő területét képező cellák meghatározásához;
- A vízfolyás pontjainak kódolásához.

5.3.2. ENERGIATERMELÉS KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰVEL

Egy kisléptékű vízerőmű első meghatározásához a vízvétel helyét (*water inflow site*) és a gépház helyét kell megadni. E két pont közti magasságkülönbség a hidraulikus (más néven nettó) esés (h).

Egy lehetséges kisléptékű vízerőmű helyszínének értékelésénél figyelembe kell venni az alábbi jellegzetességeket:

- Erős egyenetlenség tapasztalható az éves csapadékmennyiség eloszlásában, illetve a hidrológiai nedves és száraz évek között. E sajátosság a folyó vízhozamában különösen a kis vízhozammal rendelkező vízfolyások esetén okoz nehézségeket.
- A vízturbinák fajtáinak tulajdonságai. A 3. fejezetben leírtaknak megfelelően, az egyes turbinák különböző tartományú nettó esés (h) és névleges vízhozam (Q_r) e setén alkalmazhatók, különböző hatékonysággal. E hatások maximális értéke függ a nominális teljesítménytől, mérettől és árártól.

Pénzügyi okokból adódó sajátossága a kisléptékű vízerőműveknek – a nagyléptékűekkel szemben – a nagykapacitású tárolók hiánya. Voltaképpen a nagyléptékű vízerőművek meghatározó eleme – kivéve, ha nagy folyamok medrében található – a nagy folyózáró gát, mely az erőmű nagykapacitású víztározója. E víztározók függetlenítik az erőművek vízturbinái által hasznosítható vízhozamot a folyóvíz természetes lefolyásától, ezáltal e vízerőművek alkalmasak céljuk betöltésére, az átfogó elektromos hálózatok igényének, akár csúcsainak fedezésére.

Alacsony teljesítményük miatt a kisléptékű vízerőművek nem alkalmasak a nagy elektromos ellátó hálózatok csúcsidőszakainak kielégítésére, és ez okból bármilyen víztározó létrehozása aránytalan költségterhet jelentene a projektben, számottevő haszon nélkül. Az alacsony energiatermelés miatt a kisléptékű, eltereléses erőművek is elsősorban a folyó természetes sodrását használják (ROR, ld. 1. fejezet), a természetes vízhozamot vonják be az energiatermelésbe. E természeti viszonyoktól való erős függés miatt a kisléptékű vízerőműprojektek értékelésénél elsősorban a vízhozamok gyakoriságát (*Flow Duration Curve*, FDC; ld. 4.2.1 fejezet) leíró függvényt veszik figyelembe az éves vízhozammal szemben; a kisléptékű vízerőművek vízvételénél a tározó helyett legfeljebb egy mederteknőt alakítanak ki, mely legfeljebb órákra képes stabilizálni a turbinát ellátó vízhozamot.

E sajátosságok miatt a műszaki-gazdasági jellegzetességek paraméteres elemzése, értékelése előbb végzendő el, mint a potenciális, valós helyszín kiválasztása; az előírásoknak, az optimális turbinaméretnek (névleges vízhozam és névleges teljesítmény) és azok számának ismeretében való értékelés után tervezhető meg az erőmű. A tervezés következő lépésében a vízturbina névleges vízhozama (Q_r) és a turbinák száma tekinthető változónak.

A fenti okok miatt a műszakilag és gazdaságilag kinyerhető potenciál számítása minden vízfolyás esetén – a számos tényező miatt – külön számolandó. Minden hidrológiai rendszer számára a szoftveres modell meghatározza (a továbbiakban részletezett):

- az elméleti potenciált,
- az elérhető potenciált,
- a műszakilag és gazdaságilag felhasználható potenciált.

A fentiek meghatározásához szükséges, adatbázisban tárolt, elsődleges, szükséges adata a vízfolyás földrajzi meghatározása (topologikus hidrológiai fa-kódrendszer), valamint e rendszerben az egyes pontokban a jellemző vízhozam gyakorisági görbéje.

ELMÉLETI POTENCIÁL

Az elméleti potenciál meghatározása szerint a teljes kinyerhető energia, amely a folyó előzetesen meghatározott csomópontjaiban rendelkezésre áll. A szükséges adatok:

- a vízfolyás csomóponti adatai;
- az éves vízhozam gyakorisági görbe a folyó legalább egyik pontján;
- földrajzi adatok;

melyekből a rendszer kiszámolja:

- az éves vízhozam gyakorisági görbét a folyó bármilyen csomópontjában;
- a magasságkülönbséget a két csomópont között;
- a víz potenciális energiáját a vízfolyás bármely ágában.

ELÉRHETŐ POTENCIÁL

Az vízfolyás elérhető potenciáljának meghatározásakor néhány peremfeltételt és megkötést kell alkalmazni a víz valós kihasználhatóságának számításánál. E tényezők nem energiától függenek, a vízhasználat és a víz hozzáférhetőségi paraméterét határozzák meg (öntözés, vízfogyasztás stb.). A rendszer számon tartja a vízhasználati jogok tulajdonosait, a folyó valamennyi szakaszán.

A felhasználó által megadott megkötések a vízhasználat durván megfogalmazott szabályaira vonatkoznak, melyek a vízhasználati korlátozásokat és a vízenergia kihasználásának életképességét érintik. Ilyen megszorítás lehet:

- a két folyóág vagy annak két csomópontja, valamint az utak közötti távolság

- a két folyóág vagy annak két csomópontja, valamint a középvezetékű távvezetékek közötti távolság
- legkisebb magasságkülönbség
- legkisebb vízhozam éves szinten
- földrajzi adatok (pl. a felső üzemcsatorna legkisebb lejtése, minimális-maximális magasság stb.)
- földhasználat.

A fenti megkötések figyelembevételével a rendszer azonosítja a feltételeknek megfelelő folyóágakat és –szakaszokat, melyek alkalmasak felhasználásra.

ELEMZÉS A VÍZFOLYÁS ALAPJÁN

Ezen alfejezet a potenciális vízerőmű műszaki-gazdasági elemzésének menetét írja le. Minden feltételezett erőmű esetén az alábbi tényezők számítása történik:

- az éves szinten várt energiatermelés;
- az erőmű gazdasági értékelési mutatói.

A rendszer a fentiek meghatározását követően összeveti az összes lehetséges projektet energiahatékonyságuk és gazdasági megvalósíthatóságuk alapján, majd a következőket határozza meg:

- a legjobb energiahatékonysággal rendelkező vagy gazdaságilag legkifizetődőbb erőmű;
- a legjelentősebb műszaki vagy gazdasági hatékonysággal rendelkező erőművek, melyek egyidejűleg megvalósíthatók.

A felhasználónak lehetősége nyílik arra, hogy a továbbiakban az egyes, általa meghatározott, feltételezett erőművet tovább vizsgálja – lehetséges vízvételi és erőmű telepítési helyszín alapján. A vízerőművek osztályozása számszerűen meghatározott követelményeken alapszik:

- legnagyobb energiatermelés;
- legkevesebb energiatermelési költség;
- legnagyobb pénzügyi nyereség (*nettó jelenértéken, Net Present Value NPV*);
- legnagyobb belső megtérülési ráta (*Internal Rate of Return, IRR*);
- lehetséges, engedélyezett pontpárok általános szűrője (a felhasználó által – az *Elérhető potenciálról* szóló fejezetben közölt módon – meghatározott feltételek alapján).

Lehetősége van a felhasználónak a vízerőmű kapcsán egyes durva megkötéseket vizsgálnia – kisebb számú lehetséges projektre vonatkoztatva, ezáltal csökkentve a számolási időt. Ilyen megkötés lehet:

- felvívcsatorna legnagyobb hossza;
- legnagyobb magasságkülönbség;
- átlagos éves vízhozam minimuma;
- az egyes erőművekbe beépítendő turbinák legnagyobb száma;
- földrajzi megkötések (a felső üzemcsatorna legkisebb lejtése, távolságok, minimális-maximális magasság stb.)

A fenti megkötések alapján a rendszer meghatározza az összes lehetséges projektet, melyre a kisléptékű vízerőmű analízisének algoritmus (”*hydro power station analysis algorithm*”) – az alábbiakban közölt módon – lefuttatható.

KISLÉPTÉKŰ VÍZERŐMŰ ANALÍZISÉNEK ALGORITMUSA

A kisléptékű vízerőmű analízisének algoritmus a lehetséges projekteket a két kiemelt csomópontjuk (vízvétel és gépház helye) alapján vizsgálja. Felhasználandó adat:

- vízvételi hely – vízturbina helye;
- földrajzi adatok;
- az éves vízhozam gyakorisági görbe a vízvétel pontján;

- osztályozási követelmények.

A követett eljárás becslést készít az osztályozási követelményeknek megfelelő vízerőművekbe beépítendő turbinák névleges vízhozamára, minden csomópont-pár esetén. Az optimális névleges vízhozam kiszámítható a vízhozam referenciaértékéből (Q_{ref}) kiinduló folyamatos kísérletekkel. A rendszer minden vízhozam értékhez külön algoritmust futtat az erőmű méretének, várt éves energiatermelésének, költségének és finansiális mutatóinak (energiatermelés költsége, IRR stb.) meghatározásához.

6. MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI TANULMÁNY KÉSZÍTÉSE

6.1. BEVEZETŐ

6.1.1. SZAKSZERŰ SEGÍTSÉG ALKALMAZÁSA

Minden befektetőnek független, szakmai tanácsadást követően érdemes jelentős összegeket fordítania egy kisléptékű vízerőmű tervezésébe és kivitelezésébe.

A szakemberek részvételének mértéke az előzetes helyszínbemutatótól kezdve, a megvalósíthatósági tanulmány megírásán át a teljes, kulcsrakész – minden vonatkozást kézben tartó – szolgáltatásig terjedhet. Emellett számos cég ad bérbe, fejleszt és üzemeltet ilyen létesítményeket gazdasági tevékenységként, ezek tudásának és tőkéjének bevonása is lehetséges.

6.1.2. ELŐZETES HELYSZÍNÉRTÉKELÉS

Egy tapasztalt szakember feladata egy előzetes helyszíntérképezés során a további mérlegelési lehetőségek megítélése, a helyszínbemutató és a projekt többi résztvevőjével történő egyeztetés alapján.

Az ilyen fajta előzetes vizsgálatok jellemzően nem igényelnek több, mint két vagy háromnapnyi munkát. A projekt e kezdeti szakaszában egy kisebb beruházás és odafigyelés jelentős potenciális nehézségektől mentesítheti a beruházót a projekt későbbi szakaszában.

Egy előzetes helyszíntérképezésnél a fő kérdések a következők:

- alkalmas vízvesztés vagy terelő tereptárgy felkutatása erőműtelep számára;
- állandó vízhozam meghatározása egy hasznosítható esés mellett;
- a víz lehetséges alkalmazhatósága, a turbina számára való elterelésének elfogadhatósága;
- kivitelezés körülményeinek megteremthetősége;
- közeli igény villamos áramra, vagy a hálózatra való csatlakozás lehetősége ésszerű költségek mentén;
- a területre gyakorolt társadalmi és környezeti hatás;
- földtulajdoni viszonyok, birtoklás vagy bérlés lehetősége ésszerű költségek mentén;
- az éves energiatermelés első becslése.

Az adatok csak $\pm 25\%$ pontosságúak, jóllehet ez alapján már eldönthető a további vizsgálódás szükségessége.

6.2. MEGVALÓSÍTHATÓSÁG

A megvalósíthatósági tanulmány pontos adatok alapján határozza meg a költségeket. Alapos elkészítésével a kezdeti ötlettől a végső tervig meghatározhatók a szükséges munkák, pénzügyi feltételek és jogi köteleességek; ezért célszerű minden esetben egy szakember bevonása a megvalósíthatósági tanulmány és a részletes tervezői munka levezényléséhez. Egy teljes, független szakértők által készített megvalósíthatósági tanulmány részletezettsége és a hely adottságainak függvényében jellemzően 6-12 ezer euróba kerül

Az alábbi tevékenységek tartoznak a megvalósíthatósági tanulmányba:

1. **Hidrológiai vizsgálat.** E vizsgálat eredménye jellemzően az éves vízhozam gyakoriságfüggvény, mely csapadékmennyiség és a vízhozam hosszú távú méréseiből indul ki, a vízgyűjtőterület geológiai adottságainak – így a talajtípusokból – ismeretében. A hosszas vizsgáldást rövidtávú vízhozam mérések helyettesíthetik. A tanulmány ki kell térjen a folyóban meghagyandó megmaradó vízhozam.
2. **Rendszertervezés.** E szakasz tartalmazza az egész projektet felölelő tervlapokat, benne az építéshely helyszínrajzával. A munkarész legfontosabb, részletesen ábrázolandó elemei:
 - Mélyépítési munkák (vízvétel és terelőgát, felső üzemcsatorna, gépház, alsó üzemcsatorna, terület megközelíthetősége, kivitelezés részletei);
 - Az áramtermelés eszközeinek műszaki tervdokumentációja (turbina, hajtóműszekrény, generátor, vezérlés);
 - Hálózati kapcsolat.
3. **A rendszer költségei.** Egy tiszta felépítést követő tanulmányban a főösszesítő táblázat mellett részletesen bemutatandók az alábbi költségek
 - Mélyépítési költségek;
 - Az áramtermelő berendezés költségei;
 - Hálózati csatlakozás költségei;
 - Tervezési díjak és projektköltségek.
4. **Becsült éves áramtermelés és éves bevételek.** E fejezet a forrásadatok (vízhozam, hidraulikus veszteségek, nettó esés, turbinahatékonyság, számítási eljárások) összegzését és a létesítmény teljesítményének összegzését – maximális energiatermelési potenciál éves szinten (teljesítmény, kW), éves összteljesítmény (kWh/év), éves bevételek (€/év)– tartalmazza. Egy tiszta rendszerű tanulmányban a főösszesítő táblázat mellett részletesen bemutatandók az alábbi költségek

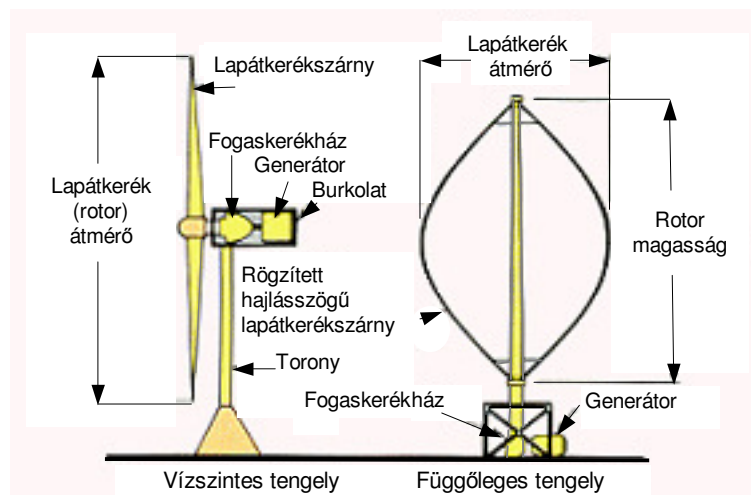
További feladat a tervezett létesítmény **környezeti hatásainak értékelése**, mely képezheti a tanulmány részét, de gyakran független fejezetként van kezelve.

SZÉLENERGIA

1. A SZÉL SZEREPE A SZÉLENERGIÁBAN

A Föld felszínét érő napsugárzás Egyenlítő és sarkvidékek közt tapasztalható intenzitáskülönbségéből létrejövő nagyléptékű hőáramlás a szélrendszerek alapja. A meteorológiai becslések alapján a Földet érő napsugárzás egy százalékát veszik fel e rendszerek, míg az egy napra jutó széleenergia egy százaléka megfelel a világ napi energiaszükségletének. Az előbbieket értelmében a globális széleenergiaforrás jelentős, ugyanakkor szélesen oszlik el – természetesen ezen eloszlás pontos meghatározása csak részletes számítások alapján lehetséges.

Az ókor óta jellemző a széleenergia hasznosítása vitorlás hajók, gabonamalmok és cséplőgépek révén. A múlt század kezdetén jelentek meg a nagysebességű szélturbinák, melyek képesek elektromos áram termelésére. A *szélturбина* megnevezés egy forgólapátokkal ellátott gépre vonatkozik, mely a széleenergiát hasznosítható energiává alakítja. Alapvetően kétfajta szélturбина létezik: a vízszintes tengelyű (*horizontal-axis wind turbines, HAWT*) és a függőleges tengelyű (*vertical-axis wind turbines, VAWT*) turбина, a forgólapát tengelyirányának megfelelően.



1.1. számú ábra: Szélturбина lehetséges kialakítási módjai

A mai gyakorlatban a széleenergia villamos áram termelésében hasznosul, ahol a turbinák párhuzamosan működnek a kiépült elektromos közműhálózattal; utóbbiaktól távoli helyeken a fosszilis tüzelőanyagokat használó erőművekkel karöltve működnek a szélturbinák (hibrid rendszerek). A széleenergia hasznosítása a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását, valamint az energiatermelés költségeit is csökkenti. Az elektromos közműhálózatok a széleenergia 20%-os részesedését képesek rugalmasan kezelni. A szél-dízel hibridrendszerek alkalmazásával 50%-os üzemanyag megtakarítás érhető el.

A szélel való áramtermelés új iparágként tekinthető, mivel 20 éve nem volt kereskedelmi forgalomba hozott széleenergia. Egyes országok esetén a széleenergia versenyképes a fosszilis és nukleáris energiával, a szél felhasználásának kedvező környezeti hatásainak figyelmen kívül hagyásával is. A villamos áram hagyományos erőművekben számított termelési költsége jellemzően nem tartalmazza a káros környezeti hatásokat (savas esők, olajszennyezések kezelése, klímaváltozásra gyakorolt hatás stb.), míg a természet számára tiszta széleenergia folytonosan fejlődik, csökkenő költségek mellett hatékonysága javul.

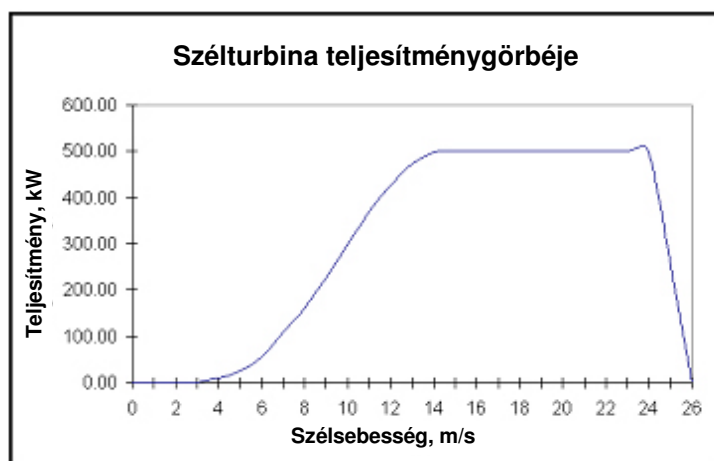
A széleenergiából nyert villamos áram költsége öt és nyolc euro cent között változik (0,05-0,08 €) és az előrejelzések szerint ezen érték már a közeljövőben négy cent alá eshet. Ugyanakkor a szélerőművek egészükben véve egyszerűek és fenntartásuk is olcsó. Alkalmazásuk jelentős társadalmi haszonnal is jár: a földműveseknek fizetett földhasználati díj többletjévédelmet jelent a

vidéki társadalom számára. A kivitelezésben helyi vállalkozók vesznek részt, javítva a foglalkoztatottságot, valamint hosszú távú munkát biztosít az egységek felügyelete és karbantartása. A szélenergiára egy Európa- és világszerte gyorsan gyarapodó iparág épül: körülbelül hatvan gyártó van világszerte, melyek többsége európai.

Tíz európai nagybank és húsz európai elektromos közműtársaság fektetett már a szélenergiába, egyénekek és vállalatokkal egyetemben. A szélipar egyben munkaadó is. A Dán Szélturbina Gyártók Szövetsége (*Danish Wind Turbine Manufacturers Association*) által készített tanulmány alapján a dán szélipar 8500 dániai munkavállalónak ad munkát, és további 4000 munkahelyet teremtett az országon kívül. E számok értelmében a dán szélipar nagyobb munkaadó a dán halászatnál. Az teljes európai széliparban foglalkoztatottak száma jelenleg 20 000 körül mozog.

1.2 A SZÉLTURBINA NÉVLEGES TELJESÍTMÉNYE

A szélenergia felhasználásához állandó, mérsékelt erő szél szükséges. A szélturbinák (*wind turbine, WT*) által termelni tervezett energiamennyiséget adja meg a *névleges teljesítmény (rated power)*, e teljesítmény a *névleges szélsébség (rated wind speed)* mentén valósul meg. Ezen értékeket a helyi széljárás alapján lehet meghatározni: általában a helyszínen jellemző átlagos szélerősség másfélszerese. Meghatározási lehetőséget nyújt szélerősség osztályozására szolgáló Beaufort-skála mely a szél hatásait írja le; eredetileg tengerészek számára készült, a tengeri viszonyok leírásához, később vált használatossá a szárazföldi körülmények között.



1.2 számú ábra: Szélturbina jellegzetes teljesítménygörbéje

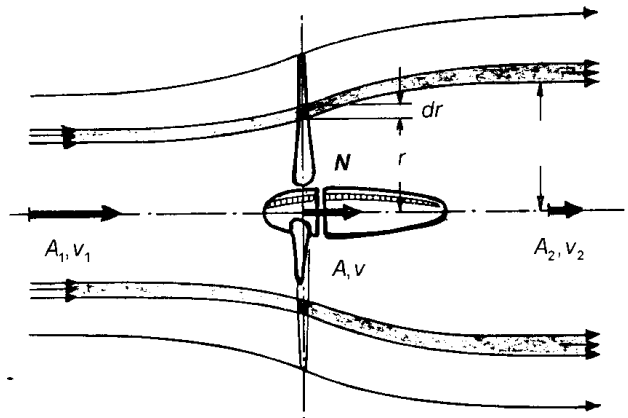
A termelt energia az üzembe helyezési sebesség alatt tapasztalható nulláról indul (mely jellemzően 5 m/s, vagyis kb. 18 km/h, de ezen érték függ a helyszíntől is), és a névleges szélsébségnél megszabott értékig tart. A névleges szélsébség felett a szélturbina a névleges teljesítménynek megfelelő energiát termel, de kisebb hatékonysággal, amíg a szél el nem éri a turbina számára veszélyes, viharos lezárási sebességet (25-30 m/s, kb. 105 km/h). A termelt energiára vonatkozó meghatározások függenek a szélsébség éves eloszlásától is.

1.3 Energiatermelés szélenergiával

A szélturbinák a széláramok mozgási (kinetikus) energiáját hasznosítják. A lapátkerekek csökkentik a szél kezdeti, rotor előtt mért v_1 sebességét a berendezés mögött mért v_2 -re (1.3. számú ábra). E sebességkülönbség a kinyert mozgási energiával azonos, mely forgatja a lapátkereket, és egyben a végén található elektromos generátort. A szélturbina által elnyelt energia az alábbi,

$$P = \rho/2 \cdot c_p \cdot \eta \cdot A \cdot v_1^3 \quad (1.1)$$

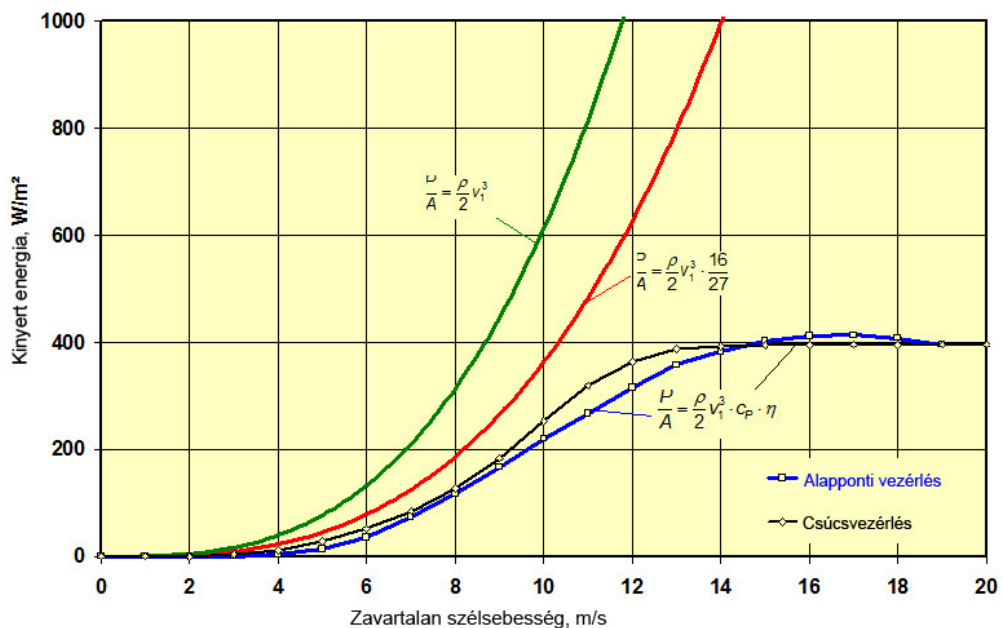
képlet alapján határozható meg, ahol ρ a levegő sűrűsége, c_p az energiamegkötési együttható, η a mechanikai és elektromos hatékonyság, és A a rotor területe.



1.3. számú ábra: Szél áramlása a szélturbinán keresztül

Ideális körülményeket feltételezve a c_p energiamegkötési együttható maximuma a – Betz-határként is ismert – $16/27=0,593$ érték, magyarul a szélturbina elméletileg a szélenergia 59,3%-át képes felhasználni. Valós helyzetben azonban ez az érték nem haladja meg a 0,5-öt, ha minden aerodinamikai veszteség figyelembevételre kerül. A mai publikációknál a c_p értéke tartalmazza az összes veszteséget, a szakemberek a c_p és a η értékét valójában egyben kezelik. A különböző szélerekségek energiatartalma és a hozzájuk tartozó, energiamegkötési együtthatóban és hatékonyságban kifejezett kitermelési potenciált a 1.4 számú ábra szemlélteti.

Ha a c_p elérné elméleti maximumát, a lapátkerekek mögött mért v_2 sebesség mindössze 1/3-a lenne az elől mért v_1 -nek. E tényből az következik, hogy a szélfarmon elhelyezkedő szélturbinák kevesebb energiát termelnek az előttük elhelyezkedő turbinák által okozott szélesebesség-csökkenés miatt. E veszteség csökkenthető a turbinák közti távolság növelésével, mivel a környező, zavartalan légáramlás részben vissza képes gyorsítani a szelet. Egy jól megtervezett szélfarm így képes lehet a kölcsönös áramlási zavarok (interferenciák) által okozott veszteséget 10%-ra csökkenteni.



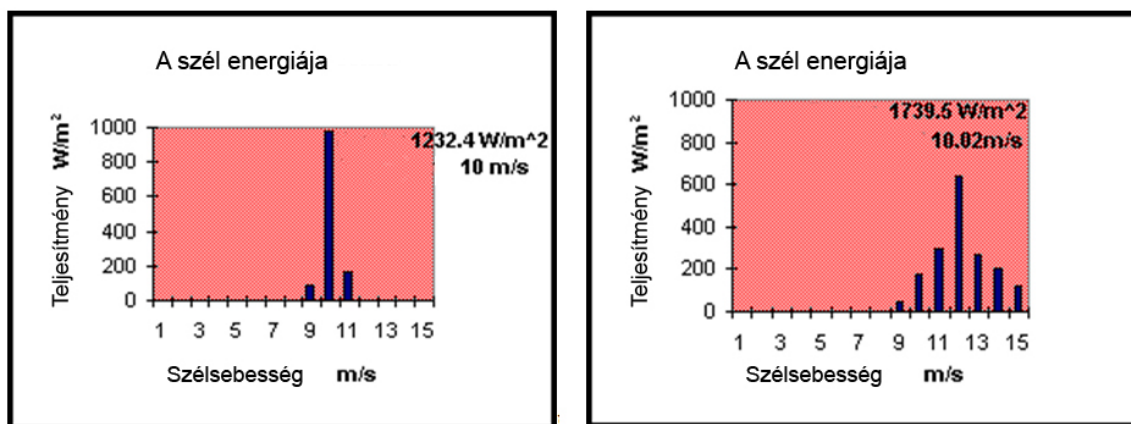
1.4. számú ábra: Szélturbinák lapátkerekeinek négyzetméterenkénti energiatermelése a szélesebesség függvényében

A szélturbinák éves energiatermelése az 1.1. egyenlet alapján függ a területen mérhető szélesebségtől, a levegő sűrűségétől, a lapátkerék méretétől és a műszaki kialakítástól. A természeti adottságoktól függő két tényező közül elsősorban a toronymagasság befolyásolja az energianyereséget, mivel a légáramlás sebessége a felszín feletti magassággal együtt nő. A légsűrűség jellemzően a meleg éghajlatokon alacsony, és a magassággal együtt csökken, értéke 0,9 és 1,4 kg/m³ között mozog, azonban utóbbi tényező változásai csekélyek a szélesebség ingadozásaihoz képest.

1.4. A SZÉLEBESSÉG VÁLTOZÉKONYSÁGÁNAK HATÁSA

A szélerősség az időjárás változásával órák alatt ingadozhat, s ez az energiatermelésre is hatással van. E változékonyság eltér a legtöbb hagyományos energiaforrás kezelési lehetőségeitől, utóbbiak jellemzően konstans felhasználásúak, míg a szélerő nem egy stabil, állandó áramlás eredménye. A helyszínek széljárásának vizsgálata statisztikai módszerrel közelíti a változékonyságot: minden helyszínen eltérő adottságokkal bír. A trópusokon stabil és enyhe a széljárás, míg a mérsékelt övben, Európában sokkal nagyobbak a szélesebségbeli eltérések, ezáltal nagy sebességek is előfordulnak.

Mivel a termelt energia a szélesebség köbével arányos, így az éves energia kibocsátás jelentős eltéréseket mutathat egyes helyszínek között. A nagysebességű szél által járt területek nagyobb éves energiatermelésre adnak lehetőséget; és ez – a harmadfokú összefüggés miatt – azonos éves szélesebség átlaggal rendelkező területeken is megmutatkozik. Erre lehet egyszerű példa két 10 m/s (36km/h) éves szélesebség átlaggal rendelkező terület összevetése (1.5. számú ábra). Amint a számokból látszik, az első helyszín éves szinten 1232.4W/m² előállítására képes, míg utóbbi csak 1739.5 W/m²-re. Az erős szeleknek az energiatermelés gazdaságosságában betöltött szerepe itt mutatkozik meg.



1.5. számú ábra: Két helyszín éves áramtermelése, azonos éves átlagos szélesebséggel számolva

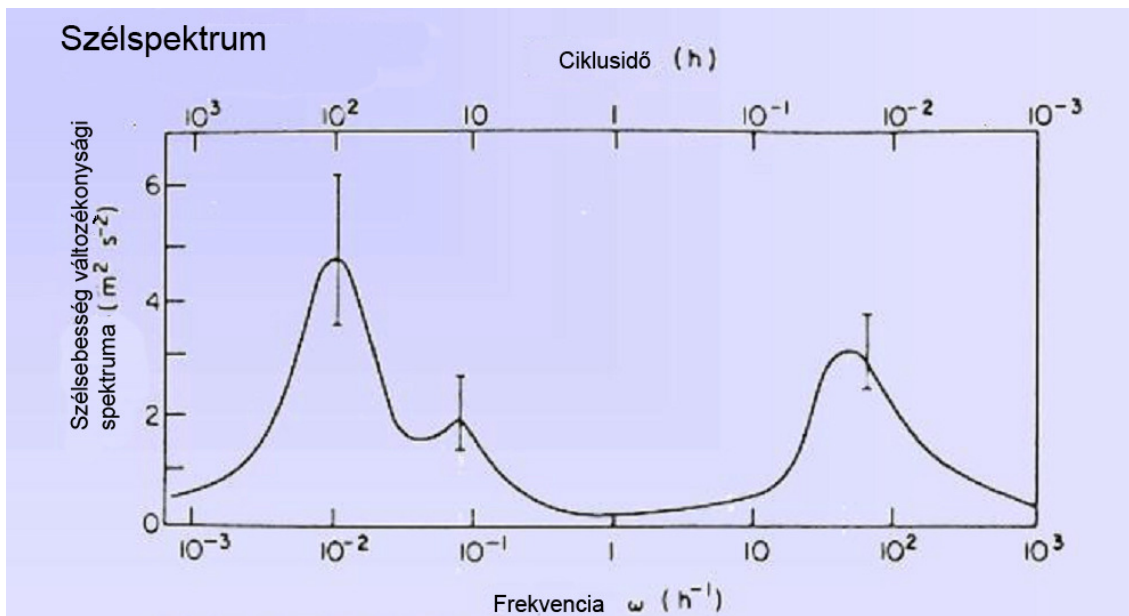
Nehézséget jelent a szélerő szabályozhatatlansága: nem garantálható, legfeljebb előre jelezhető az energiaellátás. Egy turbinával sem ajánlatos tervezni, mivel elektromos ellátás szempontjából egyetlen szélerő forrás nem tekinthető biztosnak. E bizonytalanságok miatt a megtermelt energia tárolására van szükség, például akkumulátorok segítségével, vagy a villamos hálózat magasabb szintű ellátási irányításával. E tényezők nélkülözhetetlenek a szélerő életképes alkalmazásához, a vele szembeni elutasítás is az ellátás látszólagos bizonytalanságán alapul.

A bizonytalanságok csökkenthetők a szél statisztikus leírásával. A szélerőmű teljes éves átlagos energiatermelésével jellemezhető – az ellátó hálózatokba juttatott energia is e statisztikai megközelítés révén számítható, a szélerő egy csekély – de állandó – hányadának biztosra

vételével. E minimum a turbina kapacitásával vagy kapacitástényezőjével³⁹ írható le. További biztosítékot jelenthet a turbinák nagy földrajzi szórását mutató csoportos telepítése, így a régió belüli szél erősség különbségek kiegyenlíthetők.

1.5. IDŐBELI VÁLTOZÁSOK HATÁSA

A szél erősség állandóan ingadozik, és ez egy szélességmérő (*anemométer*) segítségével meghatározható. Hosszú távon állandó szélességek turbinákban áramtermelésre fordítható frekvenciatartománya írható le, melyből a szélből jellemzően nyerhető energia számítható ki (1.6. számú ábra). A mérsékelt égövi széljárásnak két gyakori frekvenciatartománya van, egyik néhány napos, másik tíz másodperces időtartományban jellemző. Előbbit a nagy éghajlati rendszerek által keltett légmozgások, míg utóbbit ezen áramlatok légörvényei (turbulenciái) keltik.



1.6. számú ábra: Szélesség változását leíró grafikon

Jellemzően a két jellemző frekvenciát keltő szél erősség közti időtartam 10 perc és két óra között mozog; s e közbenső tartomány nagyon kevés energiával szolgál. E tény fontos, mivel értelemszerűen lehet a két mozgásfajtát külön kezelni, a turbulenciákat a hosszú távú áramlatok zavaraiaként felfogva. Matematikailag így jelentősen leegyszerűsödik az energiatermelésre fordítható szélesség kérdése, a pillanatnyi sebesség kifejezhető az átlagsebesség és az ingadozó komponens összegeként, nevezetesen:

$$U(t) = \bar{U} + U'(t).$$

A fenti képletben használt átlagos szélesség értéke a két csúcsfrekvencia közti tartományban található, jellemzően egy órányi időtartamban mért átlag. Ez érték stabilnak tekinthető, melyet a szélturbina képes hasznosítani. Az ingadozó összetevő szintén hatással van a turbinára, de közvetettebb módon, mivel a szél erőmű nem képes a szélesség vagy szélirány nagyon gyors (egy perc alatti) változásaira reagálni. A szélesség időbeli változásai leírhatók a szél szerkezetét megbontó, különböző méretű háromdimenziós örvények sorozataként, melyek az átlagos sebesség mentén mozognak.

Az örvények felkavarják a levegőt, mozgásuk a molekuláris diffúzióhoz hasonlatos. Amint az örvény áthalad a mérési ponton, a sebesség mért értéke a széllevegő erejét veszi fel annak

³⁹ A maximális és a pillanatnyi energiatermelés hányadosa (*load factor*).

méretével (hosszával) arányos ideig. A legtöbb esetben a különböző variációk kiegyenlítik egymást, és az extra terhek nem számottevőek. Ugyanakkor, ha az örvény hossza megegyezik egy turbinaalkatrész hosszmértékével, akkor a terhelés jelentős hatással lehet a komponensre. Egy 3 másodperces széllökés egy 20 méteres örvénynek felel meg (azaz a lapátkerékkel közel azonos méretű), míg egy 15 másodperces lökés 50 méter kiterjedésű.

A széllökések berendezést károsító hatásai miatt a vonatkozó hosszúságú – turbinakomponensek saját hosszának megfelelő – örvények legnagyobb értéke szolgál alapul a turbinát érő terhelések legnagyobb megengedett hatásainak számításakor. Ennek meghatározásakor ötven év legnagyobb megengedhető szélesebességét veszik alapul; melyet túlléphet a szél, a műszaki biztonságon belül. A turbinát érő terhelések kiszámítása különösen a flexibilis elemek, például a turbinák esetén fontos, mivel ezek sokkal érzékenyebbek a szél által okozott károsodásokra, mint merev szerkezetek, így az épületek.

2. SZÉL ENERGIAFORRÁS ÉRTÉKELÉSE

2.1 BEVEZETÉS

Szélturbina voltaképpen bármilyen nyílt terepen elhelyezhető. Ugyanakkor egy szélfarm kereskedelmi beruházás, és nyereségessége optimalizálandó; e szempont nem csak a farm által termelt haszon, hanem a kezdeti beruházáshoz szükséges tőkekoncentrációnál is felmerül. Gazdasági értelemben vonzó szélerőmű projektek létrehozásához szükséges a kérdéses területen a széljárás meghatározó tulajdonságainak ismerete.

Időbeli és pénzügyi korlátok miatt hosszú helyszíni mérésekre nincs lehetőség, ezért matematikai eljárásokkal lehet a várható szélesebességet az egyes helyszíneken megjósolni. A becsült széljárási tulajdonságok és a belőle származtatott energiatermelési adatok képezik a gazdasági számítások alapjait. További, tudományos eljárásban rejlt lehetőség a szélviszonyok szimulációja, amellyel a több, szomszédos pontban számított adatok hozhatók összefüggésbe, ezáltal egy egész területen részletesen meghatározható a széljárás.

2.2 HELYSZÍNI KÖRÜLMÉNYEK MEGHATÁROZÁSA

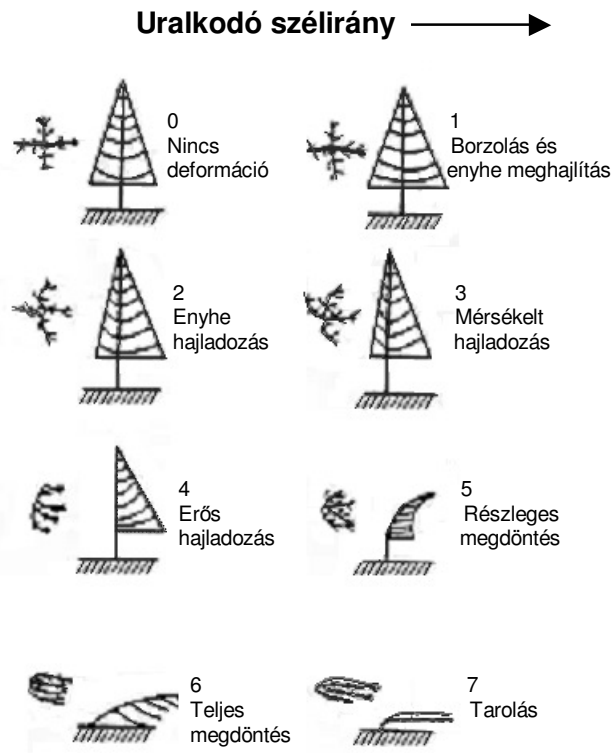
Mivel a szélesebesség jelentős különbségeket mutathat kis távolságokon – száz métereken – belül is, ezért a jövőbeli szélturbinák helyszíneinek értékelésénél minden, széljárási körülményeket befolyásolni képes helyi tényezőt figyelembe kell venni. Ilyen paraméter:

- környező akadályok;
- környezeti helyrajz, mely a vegetációt, földhasználatot és a beépítettséget mutatja;
- orográfiai (hegyrajzi) viszonyok, vagyis a környező, szélerősséget befolyásolni képes domborzati viszonyok ismerete.

A fenti, területi adottságokra vonatkozó információ topografikus térképekből, valamint helyszínbemjárás alapján szerezhető. A környezetre vonatkozó műholdas adatok is értékes forrásnak bizonyulnak. A nagyszámú fával benőtt területekre különböző, vegetációt leíró mutatók, így a fenyőkre vonatkozó Griggs-Puttnam index (2.1. számú ábra) került kidolgozásra. E mutatók kvalitatív adatokkal szolgálnak az uralkodó szél irányát és sebességét illetően, de óvatosan kell kezelni őket más tényezők közrejátszása miatt, vagy mert a számított erős szelek csak a tenyészidőszakban jellemzőek. Más helyszíni mutatók geomorfológiai jellegzetességeket írhatnak le, például homokbuckákat.

Egyes szél energiaforrásra vonatkozó adatok már rendelkezésre állhatnak. A szélre vonatkozó klimatológiai középadatak *isovent* (azonos szélerősséget jelző vonalakkal megrajzolt) térképek formájában férhetők hozzá, melyek az egyenértékű éves közepes szélesebességet mutatják

megfigyelési adatokból. Az éves, átlagos felhasználható szélenergia előbbi adatokból megbecsülhető. Egyes korai szélerőmű projektekhez készült értékelő tanulmányok ezt az adatot használták fel, más forrás híján. Ugyanakkor isovent adatokat csak a terület szél energiaforrásának nyers becsléshez érdemes alkalmazni, mivel magaslati adatok ritkán hozzáférhetők, és a terepadottságok befolyása el van hanyagolva.



2.1. számú ábra: Szélesség becslése a Griggs-Puttman index alapján

Jelentős tévedésekhez vezethet ezen adatok magasan fekvő területeken való alkalmazása, mivel a szélesség interpolációja meredek területeken nem lehet pontos, és súlyosan alulbecsült lehet a rendelkezésre álló szélenergia. Összességül az alábbi adatforrások alkalmazhatók a terület értékelésénél, így:

- archivált meteorológiai mérések;
- helyszíni, mért adatok;
- matematikai és fizikai modellezésből származó adatok.

A különböző adatforrások előnyeit és hátrányait mutatja be a 2.1. számú táblázat. Az éves átlagos szélesség pontos becslése szükséges az elvárt éves átlagos energiatermelés meghatározásához. Ezt követően a szélesség időbeli eloszlása meghatározandó meg. Megbízható adatokhoz több éves megfigyelések szükségesek, de jellemzően sokkal rövidebb idő alatt nyert adatsorokból és megfelelő számítógépes modellekből nyerik ezeket. Ezt követően a várt szélenergia termelés meghatározható a szélturbina teljesítménye alapján.

2.1. számú táblázat: A potenciális szélturbina helyszínek értékelésénél hasznosítható adatok előnyei és hátrányai

	Előnyök	Hátrányok
Archivált meteorológiai adatok	<ul style="list-style-type: none"> - hosszú távú adatsorok - nagy földrajzi kiterjedés 	<ul style="list-style-type: none"> - ritkán reprezentatív helyszínekről való adatok - 10 méteres magasságban, és nem a szélkeréktengely magasságában mért adatok - összetett földfelszín esetén nehézkes az interpoláció.
Helyszíni mérések	<ul style="list-style-type: none"> - a valós helyszínek megfelelő adatok - a szélkeréktengely magasságában mért adat - adatmérés a kérdéses eredményekre szabható, pl. turbulenciákra 	<ul style="list-style-type: none"> - költséges - rövid időszakokról származó adatok nem kellően jól írják le - jelentős az adatvesztés kockázata - a mérés pontatlansága, a mérőeszköz rossz elhelyezése nem megfelelő eredményekre vezethet
Számítógépes modellezés	<ul style="list-style-type: none"> - olcsóbb a helyszíni méréseknél - számos helyszíni megítélhető rövid idő alatt - gyors 	<ul style="list-style-type: none"> - kevésbé megfontolt alkalmazás - helytelen vagy nem kielégítő mélységű modell alkalmazásának kockázata - túl alacsony felbontású - helytelen léptékezésű lehet

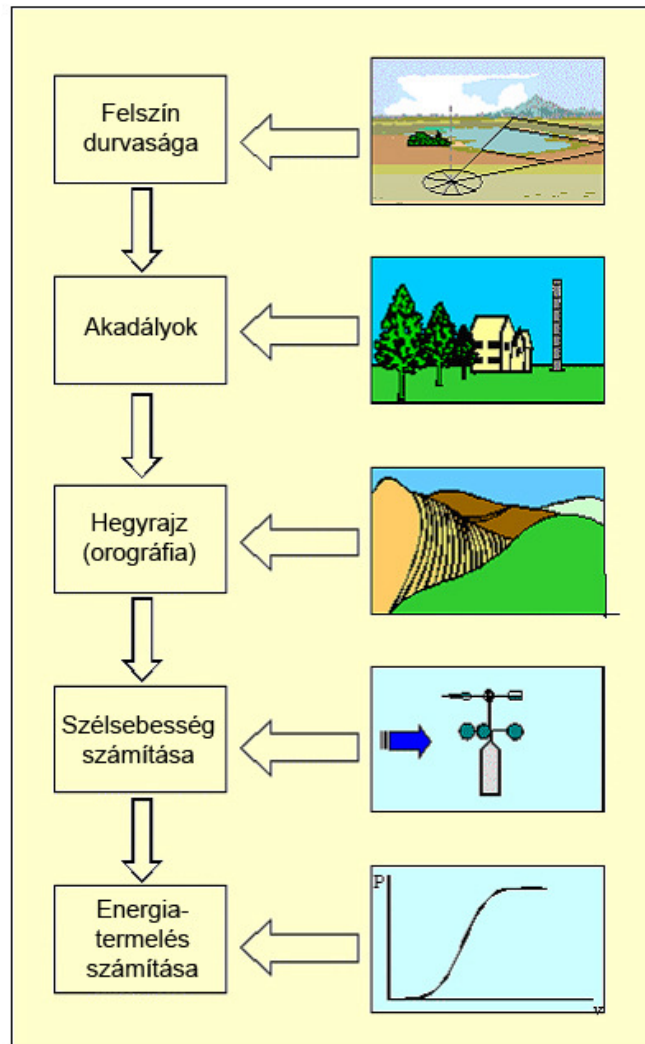
2.3 ELJÁRÁS

A szélesebb és energiaszolgáltatás egyes helyszínekre alkalmazott, hosszú távú előrejelzésénél alkalmazott eljárások közül az Európai Szélatlasz Modell (*European Wind Atlas Model „WA^{SP}”*) a legelterjedtebb (2.2. számú ábra). A számított szélesebbégek frekvenciája évekre előre jelezhető oly módon, hogy más helyszínekre is átszámolható. A számítógépes modell összesíti a megjósolandó, összevetendő szélpotenciálra vonatkozó részletes, hely specifikus leírásokat egy kérdéses, másik helyszínről szóló módosított frekvencia eloszlással.

A modell révén vonatkoztatott referenciaállomás 100 kilométer távolságban lehet a felmért helyszíntől. A szélturbina teljesítménygörbéjével (ahol a szélereősség függvénye az elektromos teljesítmény) a kérdéses helyszínen is meghatározható az energiatermelés. A WA^{SP} rendszer fő tervezési előnye a vizsgált területet origónak tekintő poláris koordináta rendszer alkalmazása; így a terület felbontása nagyon magas lesz, a rácspontok 2 méter távolságban helyezkednek el. A rendszer sokszor erőltetett, ezért kisebb hibák elképzelhetőek.

A WA^{SP} rendszer magába foglalja a légkör fizikai modelljeit és a széljárás statisztikai adatait. A használt fizikai modellek magukban hordozzák:

- felszíni légrétegek hasonlósága – logaritmus szabályszerúségek;
- geosztrófikus áramlatok (egyennyomású rétegekkel – izobárokkal – párhuzamosan fújó szél) szabályszerúségei – Rossby-szám alapján számított hasonlóságok;
- stabilitási korrekciók – eltérési lehetőségek a semleges stabilitástól;
- földfelszín durvaságának változásai – lehetőség más földhasználat feltételezésére;
- széloltalmi modell – szirtek szélárnyékoló hatásának modellezése a helyi áramlásokban;
- orografikus (hegyrajzi) modell – a hegységeknél bekövetkező áramlásgyorsulást bemutató modell.



2.2. számú ábra: A $WAsP$ rendszer által igényelt adatbevitel

A széljárást statisztikailag a vonatkozó adatokból származtatott Weibull-eloszlás mutatja; mely elsősorban a szélsősebesség maximumértékeit mutatja be, mivel az alacsony sebességek csekély energiatermelési potenciált jelentenek. A turbina magasságában mért széleloszlás később összevethető a turbina teljesítménygörbéjével, és az éves energiatermelés valószínűsíthető megoszlása kiszámítható. A kinyerhető energia lehető legpontosabb meghatározásához célszerű a független szervezetek által meghatározott teljesítménygörbék alkalmazása. A pontosság érdekében állandóan új mérőállomások létesülnek, a szélpotenciál bizonytalanságainak csökkentése érdekében.

A vizsgált terület összetettségének függvényében különböző eljárásokat kell alkalmazni a szélviszonyok meghatározásához. A fent említett számítógépes $WAsP$ kódon túl más eljárások is léteznek, így a mezoskálás meteorológia modelljei. Általánosságban elmondható, hogy a többi modellek jelentős számítógépes számolási igényvel bírnak, de részletes háromdimenziós, folyamatos mozgásleírásokat tesznek lehetővé, különösen tagolt, hegyes területeken. Teljesen más energiaforrás-számítások helyszíni szélsősebesség-számításokat foglalnak magukba, melyek a közvetlenül a kérdéses területre vonatkoznak.

E jellemzően egy évszakban elvégzett mérések összefüggésbe hozhatók a teljes terület széljárásával, vagy átszámíthatók egyes turbinafajták szélkeréktengely magasságára (más néven a *működési közép magasságára*), a fent leírt áramlási modellek felhasználásával (angol nyelvű

szakirodalomban MCP eljárás: Measure, Correlate, Predict – mérés, összefüggés, előrejelzés). Az egyes mérési eredmények felhasználási lehetősége a mért adatok WA^{SP} kód szerinti feldolgozása. Ez különösen akkor hasznos, ha más hivatkozási adat nem áll rendelkezésre, hogy az adott, tagolt felszínű területen vázolt szélpotenciált ellenőrizni lehessen.

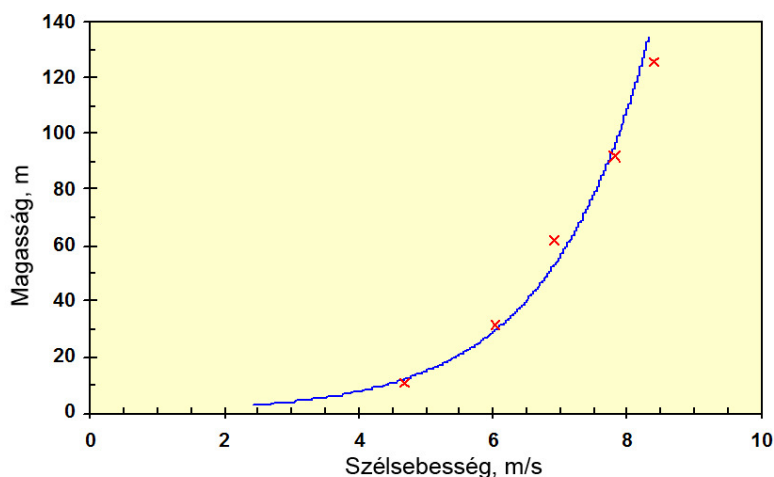
3. SZÉLSEBESSÉGI PROFILOK ÉS MÉRÉSÜK

3.1 SZÉLSEBESSÉGI PROFILOK

A földfelszín tagoltsága csökkenti a szélsebességet. A felszín feletti magassággal azonban a felszín durvaságának lassító hatása csökken, és a szél sebessége növekszik. A 3.1. számú ábra egy lehetséges szélsebességi görbét mutat be a magasság függvényében. A szélsebesség magasság (h) eloszlásának legegyszerűbb feltételezése egy logaritmikus növekvés:

$$v = \frac{v^*}{\kappa} \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)$$

ahol v a szélsebesség h magasságnál, v^* a súrlódási sebesség, κ a Kármán Tódor-állandó, a z_0 a felszín által keltett áramlási zavar hossza.



3.1.: Szélsebesség mért értékei

Szélsebességprofil leírásához alkalmazható egy energia-megmaradási törvény is, például:

$$v_2 = v_1 (h_2/h_1)^\alpha$$

ahol: v_2 a szél sebessége h_2 magasságnál, míg v_1 a h_1 magasságnál. Az α érték a felszín tagoltságának függvénye, és z_0 értéktől különbözik. Az átlagos szélsebességet leíró profilokról és a levegő alsó rétegeiben zajló széláramlásról a meteorológiát és a szélszerkezetet leíró bekezdésben lesz bővebben szó.

3.2. SZÉLSEBESSÉG MÉRÉSEK

A szél energiaforrás becsléséhez ideális esetben hosszú időszak alatt felvett adatok szükségesek a javasolt szélturbina helyszínén. Fontos információ a turbina tervezésénél a helyszínen tapasztalható turbulenciák felmérése; melyhez rövid mintavételek sokasága és azok nagy térbeli szórása lenne szükséges. A gyakorlatban az idő- és költségkorlátok nem tesznek lehetővé ilyen alapos vizsgálatokat.

A szélesség mérése a legfontosabb eleme a szél energiaforrás értékelésének, a teljesítmény meghatározásának és az éves energiatermelés kiszámításának. Gazdasági értelemben a bizonytalanságok pénzügyi kockázatot jelentenek. Semmilyen más energiaforrásnál nincs nagyobb kockázat, mint a szélenergiához szükséges szélesség mérése. Ugyanakkor a tapasztalat hiánya miatt számos meglévő adat elfogadhatatlan mértékű bizonytalanságot hordoz, mivel kidolgozatlan eljárások eredményeként jöttek létre, a megfelelő anemométerek, anemométer kalibrációk hiányában, s azok elhelyezése a mérési ponton helytelen volt.

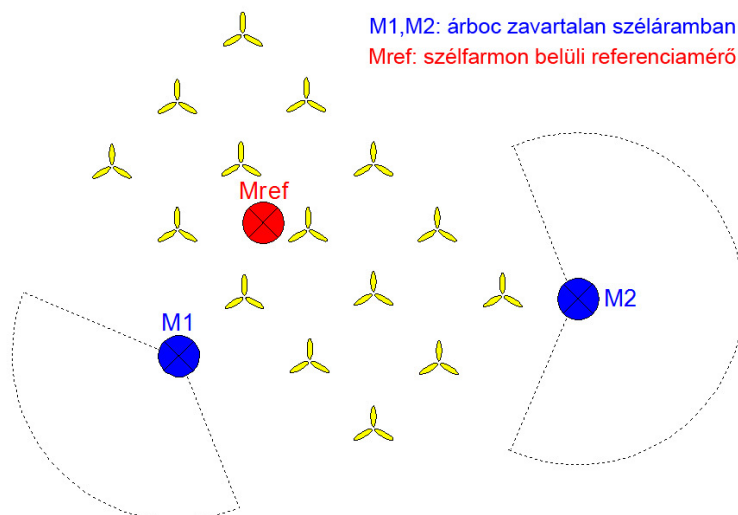
Az anemométerek kalibrációjának metodikáját leíró algoritmus összehasonlítás (*Round Robin comparison*) több, mint $\pm 3,5\%$ -os eltérést mutatott a különböző szélcsatornák esetén. Energiatermelési adatokra lefordítva ez 10% bizonytalanságot hordoz. A MEASNET (*MEASurement NETwork*) szervezet által elfogadott szélcsatornák mindössze 0,5%-os eltérést mutattak a szélességet illetően. E szervezet kifejezetten szélenergia projektek támogatására kínálja a szélmérő anemométerek kalibrációjához a *Measurement Procedure for Cup Anemometer Calibrations* eljárást.

Minden szélességméréshez használt anemométert előzetesen szélcsatornában kell beállítani. Ugyanakkor hosszabb távú mérés esetén szükséges a helyszíni kalibrációk körültekintő elvégzése, referencia anemométer segítségével. A hitelesítéshez hasonlóan fontos a megfelelő anemométer kiválasztása. A rosszul megtervezett anemométerek még megfelelő beállítás esetén is nagy bizonytalanságot hordozhatnak a szélesség mérésénél.

A jó tervezés azért kritikus tényező, mert valós légköri viszonyokban létrejövő légörvényekben az anemométerek másként viselkednek, mint a szélcsatornában. Vizsgálatok alapján egyes szélességmérők nagyon érzékenyek az áramlás gyors ingadozásaira, amely valós körülmények között, kisebb turbulenciák miatt gyakran bekövetkezik még sík terepen is. Erősen tagolt felszínen e hatások nagy jelentőségre tesznek szert és a szélerősségek alul- illetve felülbecsléséhez vezethetnek. Nagyon kevés anemométer képes e hatásoknak ellenállni.

A szélesség mérésénél felmerülő hibák másik forrása lehet az anemométerek nem megfelelő elhelyezése. Az állványgémetek és az árbocokat úgy kell beállítani, hogy az áramlás mezejére gyakorolt zavaró hatásuk minimális legyen. Ugyanez az elővigyázatosság szükséges villámvédelem elhelyezésénél. A hirtelen áramlássökkenés hatásainak kivédésére a szélességmérők vízszintes beállítása is fontos. A szélességmérés legjobb gyakorlatainak alkalmazása a pénzügyi csökkenti a szélfarm mérési bizonytalanságokból fakadó kockázatát, mely rizikó így jelentősen kisebb, mint a számítógépes áramlástani modellekből nyert eredményeké.

A szélfarm egy jellegzetes pontját kell kiemelni méréshez. Nagyméretű, tagolt területeken két-három ponton kell árbocokat felállítani. Legalább egy mérőműszernek kell a szélkerekek tervezett magasságában elhelyezkednie, mert a kisebb magasságokon mért eredmények turbinamagasságra történő extrapolálása bizonytalanságot eredményez. Ha egyes szélfarm területek közel helyezkednek el a szélfarm tervezett területéhez (mint M1 és M2 a 3.2. számú ábrán), úgy a későbbiekben, a szélfarm működése során vonatkoztatási pontként működhetnek az egyes szektorok energiatermelési hatékonyságának méréséhez.



3.2. számú ábra: Lehetséges szélesebbesség-mérőállások elhelyezkedése a szélfarm létesítése előtt és után

Ha a szélfarm energiatermelése szerződésben van rögzítve, a feleknek meg kell határozniuk a mérőárbcok pontjait és a méréseket és az eredmények kiértékelését egy független intézetnek kell elvégeznie. Egy terület szélviszonyainak méréséhez több árbocot kell felállítani a közelben, s többfajta eszközre van szükség releváns adatok gyűjtéséhez. Minden nyert adatot a helyszínen mágnesszalagra kell rögzíteni, vagy rögtön továbbítani egy másik helyszínre, például a fejlesztő irodájába.

A szél irányának és sebességének mérése egyértelműen szükséges, ugyanakkor más meteorológiai tényezőket, így hőmérsékletet és nyomást ugyanúgy rögzíteni kell a helyszínek közötti összehasonlítás és az adatkészlet teljessége érdekében. Az e méréshez használt eszközök robusztusnak és megbízhatónak kell lenniük, mivel hosszú időszakokra maradnak felügyelet nélkül. A szélesebbesség és szélirány mérést legalább két magasságon kell elvégezni, 10 méter, valamint szélkerék magasságában. Ha a nyert adatokat a felszín durvaságának (z_0) kiszámításához is fel kell használni, úgy még egy mérési magasság határozandó meg.

Az átlagos szélesebbesség meghatározásához csészés (kanalas) anemométerek használatosak, mivel megbízhatók és aránylag olcsók. Ezen eszközök gyakran jobban alkalmazkodnak a széljárás változásaihoz, mint a meteorológia mérőállomásokon használtak. A szélirányt szélkakasokkal mérik, így összességében részletesen meghatározott horizontális szélirány és szélerősség adatok nyerhetők. A háromdimenziós széladatokat bizonyulnak hasznosnak, ha a turbulenciák adatai is szükségesek. Ez utóbbiak propelleres anemométerekkel adhatók meg, melyek kevésbé robusztusak, vagy szónikusakkal, melyek azonban költségesek.

A propelleres és a szónikus anemométerek a szél sebességéről és irányáról is szolgáltatnak adatot. Az adatok mintavételét magas frekvencián, 20 Hz-en kell elvégezni, mely módszer azonban hamar megtöltené a mágnesszalagokat, így nem lehet folyamatos mérést végezni. A csészés és a propelleres anemométer fordulatszáma egyenesen arányos a szélesebbességgel, ez változó feszültségre, vagy elektromos impulzusra fordítható le. Minden fordulaton alapuló anemométernek van egy kezdeti küszöbértéke, mely jellemzően 0,5-2,0m/s.

Az eszköz által a szélesebbesség változásaira adott reakciót távolsági- vagy időállandóval lehet kifejezni. A – kizárólag a légnyomástól függő – távolsági állandó azon csökkent nyomású légoszlopok a hossza, melynek át kell haladnia az anemométeren, míg a mért értékben 63,2%-os változás áll be. Az időállandó azt az időtartamot jelzi, amennyi idő alatt az anemométer a beállt

légnyomásváltozás értékének 63,2%-át kezdi mutatni. A csészés szélesebbégmérők jellemzően túlbecsülik a szél lassulását, melyet túlszaladásnak (*over run error*) neveznek.

A szélkakasok jellemzően vezetékkel feltekercselt potenciométerek. Általános esetben a maximális feszültséget az északi szél kelti, míg a minimum 357° körül található: ezáltal egy mérési rés alakul ki észak közelében. Az mérőeszköz hibái $\pm 2^\circ$ körül alakulnak, az irányokat 0,3° körüli pontossággal lehet meghatározni. Az eszközt pontosan kell beállítani, mert ez a hibák legfőbb forrása. A szélkakast képes befolyásolni az árboc szélárnyéka, ezért az anemométerhez képest a legkevésbé valószínű szélirányban található. A használatban lévő különböző szélesebbégmérők teljes listája és jellegzetességeik a 3.1. táblázatban találhatóak.

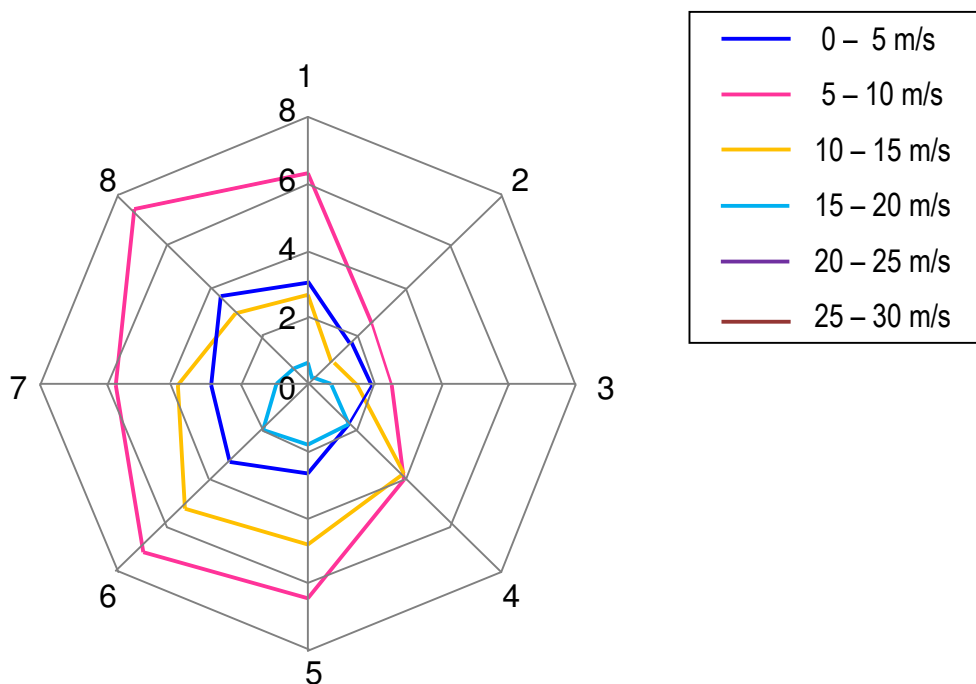
3.1.számú táblázat: Az anemométerek különböző fajtáinak jellegzetességei

Anemométer	Mérési eljárás	Megjegyzések
Csészés	A szélesebbég a csészék (kanalak) elfordulási sebességéhez köthető	Robosztus, megbízható és nem költséges
Propeller	A szélesebbég a propellerek elfordulási sebességéhez köthető	Szélirányba állítandó, azonban gyorsabban reagál a változásokra, mint a csészés kivitelűek. A csészéseknél kevésbé robusztus kialakításúak.
Nyomás alatt lévő csövek	A szélesebbég a csövekben mért nyomásnövekménnyel arányos	Szélirányba állítandók, lassú reagálás a változásokra.
Forró vezetékes	A szélesebbég egy finom vezeték hűlési sebességével arányos	Nagyon érzékeny és gyors reagálású, azonban rendkívül sérülékeny. Jellemzően szélcsatornában alkalmazzák.
Szónikus	A szélesebbég a hanghatás forrása és fogadója közötti mozgási idejével arányos.	Szélesebbég, szélirány és turbulens áramlatok mérésére alkalmas. Nehézkesen kalibrálható.

Fontos az adatok megbízható lejegyzése. Az adatgyűjtőnek jól szigeteltnek kell lennie az időjárástól, különösen az esőtől. Számos kísérlet szenved súlyos adatvesztéseket különböző problémákból kifolyólag, így beázástól és energiaellátási hiányosságoktól. A szélturbinák legígéretesebb helyszínei jellemzően zord környezetben találhatóak, ugyanakkor számos megbízható adatgyűjtő rendszer van forgalomban. Lehetséges az adatok távolságból való gyűjtése, azokat telefonon keresztül töltve le. E módszer előnye, hogy az adatok távolról rendszeresen követhetők, és mindennemű műszerprobléma rögtön észrevehető; valamint a másként rögzített adatsorok sérülhetnek. Az adatgyűjtés körültekintő megtervezése fontos része egy szélérőmű projekt fejlesztésében.

3.3. AZ ARCHIVÁLT ADATSOROK MEGJELENÍTÉSE

A szél napi adatai jellemzően ingyenesen hozzáférhetők a meteorológiai szolgálatoknál, míg jellemzően fizetni kell az archivált adatokért és a konzultációs szolgáltatásokért. Az átlagos szélesebbégeket és szélirányokat együtt egy szélrózsán mutatják be, ahogy az a 3.3 számú ábrán látható. Az év során mért domináns szelek egy meteorológiai állomásról könnyen lekövethetők. Az adatok feloszthatók évszakonkénti vagy havi eloszlásba is. Észak-Európában a domináns szelek délnyugatiak, de elképzelhetők változások a szélirányban.



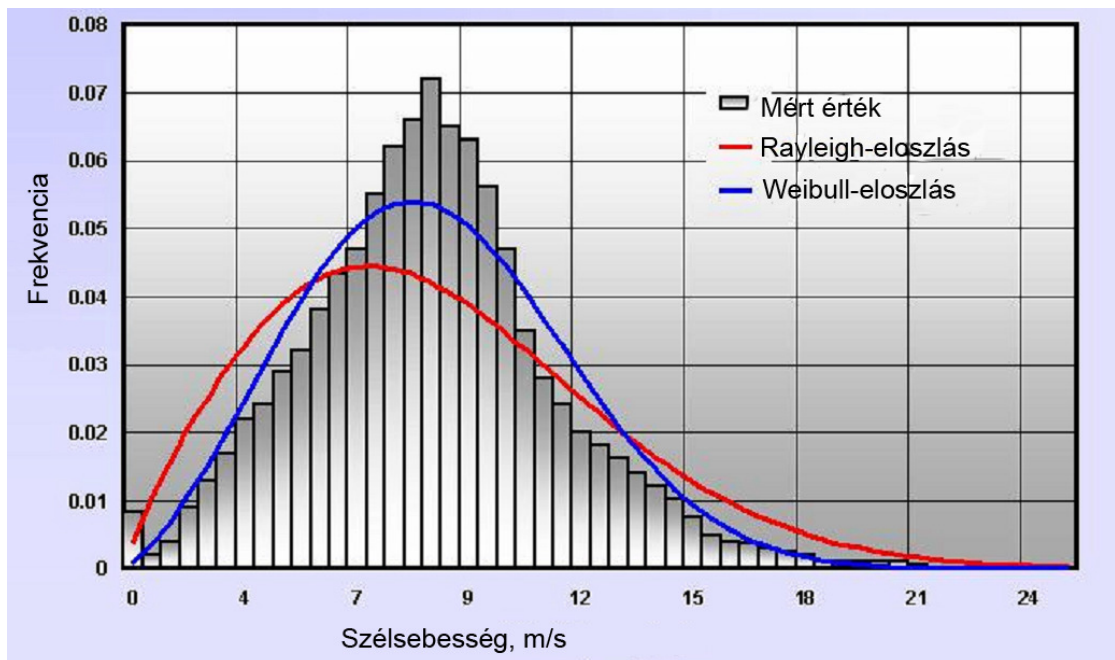
3.3. számú ábra: Szélrózsa

Dél-Európában a széljárást évszakonkénti szelek határozzák meg. A leghidegebb téli időjáráshoz az északi és észak-keleti szeleket lehet kötni. E változatosság lekövethető a szélesebesség és hőmérséklet adatokból. Az egyéni meteorológiai mérésekből származó meteorológiai adatok is frekvenciatáblázat formájában mutathatók be. A meteorológiai állomások anemométerei által szolgáltatott szélesebességadatok szélirányonként vannak rögzítve. Ezen adatok egész évre vonatkozóan vannak megjelenítve, havi bontású táblázatban, az alábbi táblazathoz hasonlóan.

Szélesebesség (m/s)	Észak	ÉK	Kelet	DK	Dél	DNy	Nyugat	ÉNy	Összes
0	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	3.6
2	1.4	0.8	1	0.9	1.3	1.6	1.4	1.8	10.3
4	2.4	1.3	1.2	1.2	2	2.5	2.3	3.1	16
6	2.8	1.2	1	1.5	2.5	2.9	2.3	3.2	17.5
8	2.3	0.8	0.9	1.9	3	2.9	2.4	2.6	16.9
10	1.5	0.5	0.7	1.8	2.4	2.6	2	1.8	13.4
12	0.9	0.3	0.5	1.5	1.9	2	1.4	1	9.5
14	0.5	0.2	0.4	1.1	1.2	1.5	0.7	0.5	6.2
16	0.2	0.1	0.3	0.8	0.8	0.8	0.4	0.3	3.7
18	0.2	0.05	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	1.8
20	0.1	0.05	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7
22	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.3
24	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1
26	0.05		0.05	0.05	0.05		0.05	0.05	0.05
28	0.05		0.05	0.05	0.05			0.05	0.05
30									
V átlagos	7.76 m/s								

Az átlagos szélesebesség és a legvalószínűbb szélesebesség (előbbinél jellemzően kevesebb) kikövetkeztethető az adatok valószínűségi grafikonra való felvitelével, ahogy az a 3.4. számú ábrán is látható. Az adatok összevethetők egy Weibull-eloszlással, és így a kitermelhető energiamennyiség meghatározható. A fejlesztők így meghatározhatják a feltételeket, amelyek alapján később kiválasztják a turbinákat. A meteorológiai állomások éves léptékű, hosszú távú

adatai kiváló, statisztikailag értékelhető eredményeket jelentenek, melyekből ki kell hagyni a nem jellegzetes, egyedi adatsorokat.



3.4. számú ábra: Szélsebesség frekvencia-eloszlása (mért adatok és számolt megoszlás)

3.4 HELYSZÍNI ADATOK ELEMZÉSE

Az adatokat részben azonnali elemzésnek vetik alá, vagy későbbi visszakeresésre eltárolják, a háttérintézmények kapacitásának és a helyszín megközelíthetőségének függvényében. Jellemzően percnként történik adatrögzítés, sűrűbb adatokból pedig a helyszíni turbulenciák jellegzetességei is leírhatók. Az adatoknak minőségellenőrzésen kell átesniük, eltávolítva a hibás adatokat, kalibrálva a leolvasást, és a következtelen mérési eredményeket kiszűrve. A megmaradó adathalmazt tízperces átlagok készítéséhez lehet felhasználni, lehetőleg az év minden napjára, hogy minden évszaknak megfelelő variáció megjelenjen.

Egyes tanulmányok minimum nyolc hónapos adathalmazt tartanak szükségesnek az éves szél energiaforrás pontos és szakszerű becsléséhez. Más kutatók kiemelik a téli értékek elsődleges fontosságát, mivel egybeesik az éves elektromos csúcsigénnyel. A nyert adatok aztán irányokba rendezett szélsebességként jelennek meg, szélirányonként külön vagy együttesen. Az egyes irányokba eső mérések ezután összeszámolhatók, és a szortírozott adatok grafikonra való felvételével megadható a frekvencia eloszlás.

A fenti adatokból az átlagos szélsebesség és a legvalószínűbb szélsebesség megadható; s a szél energiájának eloszlása – mely a szélsebesség köbével arányos – meghatározható. Az adatok egy adott szélsebességnél (jellemzően szélcsendhez képest, $u > 0$) nagyobb érték valószínűségének számításához is hasznosíthatók. Ezen adatok összevethetők egy kétparaméteres Weibull-eloszlással, ahol a két tényező, k és c meghatározható momentum eljárással, legkisebb négyzetek módszerével vagy más metódusokkal. A Weibull-eloszlással keresett adatok számos szélsebesség adatnak felelnek meg tűrhető pontossággal. Egyenletben kifejezve:

$$p(U) = \frac{k}{c} \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right) \quad (3.1)$$

ahol $p(U)$ az átlagos szélsebesség U előfordulási sűrűségének valószínűségi eloszlása, c a léptékváltozó (sebességdimenzióban) és k a dimenzió nélküli alaki tényező.

Ha $k=2$ értékű, úgy az adatsor a Rayleigh-eloszlásnak felel meg, míg $k=1$ esetén exponenciális eloszlás figyelhető meg: ezek a Weibull-eloszlás különleges esetei (lásd 3.4. ábra). Észak-Európában a k tényező értéke 2-höz közelít. A 3.1. képlet elő részét összegezve a c léptéktényező közeli viszonyban van a helyszíni átlagos szélességgel, mivel:

$$\bar{U} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3.2)$$

ahol $\Gamma(\cdot)$ a teljes gamma funkció. Hasonlóan,

$$\bar{U}^n = c^n \Gamma\left(1 + \frac{n}{k}\right), \quad \text{és így:} \quad \bar{U}^3 = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (3.3)$$

Így az elérhető energiasűrűség E (W/m^2) meghatározható:

$$E = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (3.4)$$

ahol a k alakú tényező a szél változékonyságával σ^2 áll összefüggésben:

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (3.5)$$

Másrészről nagyon fontos, hogy a gyűjtött adatok jellegzetesek legyenek, vagyis a választott év ne legyen kiemelkedően szeles vagy csendes. Ennek biztos meghatározásához 10 éves adatsorok szükségesek, melyek egyetlen helyszínen történő mérése nem célszerű. Ugyanakkor lehetséges a helyszíni adatok összevetése a közeli helyszínek meteorológia adataival, és ez alapján véghezvinni egy mérő-vonatkoztató-előrejelző (*measure-correlate-predict, MCP*) eljárást a rendelkezésre álló adatkészlet tízéves időtartamra való kiegészítéséhez.

Több MCP eljárás alkalmazása lehetséges, így:

1. Összevetni és levezetni a mérési helyszín és a vonatkoztatási helyszín Weibull-tényezőit, majd, összevetve a mérési időszakokkal, alkalmazva a korrekciót a referencia adatok maradékára.
2. Kiszámolva a szélesség tényezőit a mérési és a referenciahelyszín között, a mérési időszak alatt és az egyes irányoknak megfelelően.
3. Összemérve a folytonos funkcionálást a mérési időszak adataival, és alkalmazva azt a hivatkozási adatok maradékára.

Amint a szél hosszú távú frekvencia eloszlása meghatározható, a turbina teljesítménygörbéje összevethető a szél adataival, hogy az energiatermelés frekvencia eloszlása megadható legyen. Ez azonos a helyszíni várható éves energiatermelésével. Az adatok természetesen több turbinatípussal és konfigurációval is összevethetők, az eredmények optimalizálása érdekében.

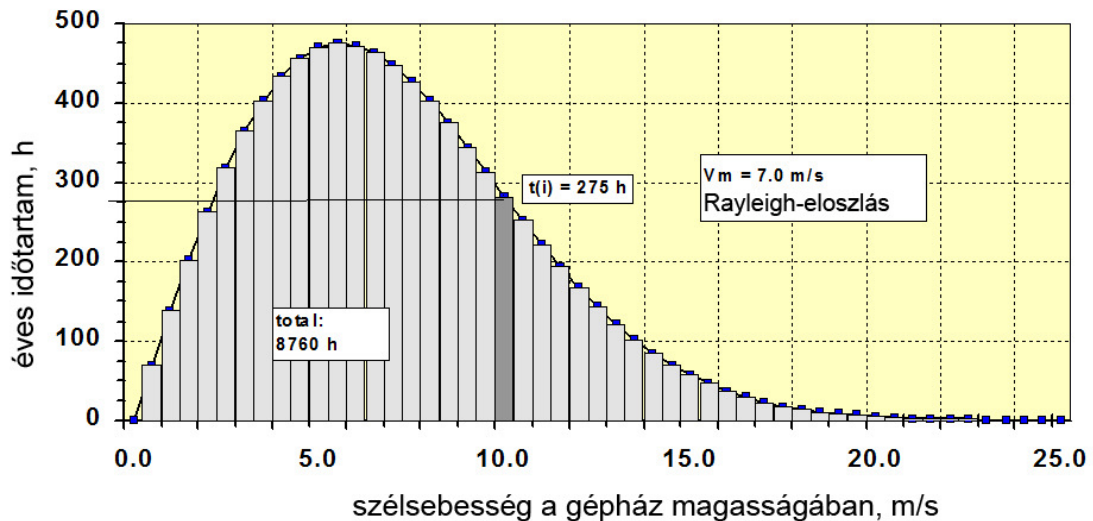
4. ENERGIATERMELÉS BECSLÉSE

A szélturbina éves energiatermelése a legfontosabb gazdasági tényező. Az év folyamán jellemző szélességek, valamint a teljesítménygörbe meghatározásában tapasztalható bizonytalanságok kétségessé teszik a számolt éves energiatermelési adatokat, és nagyobb pénzügyi kockázatot jelentenek. Az alábbiakban az éves energiatermelés (*annual energy production, AEP*) számítása kerül bemutatásra. Az éves energiatermelés két eljárással becsülhető meg:

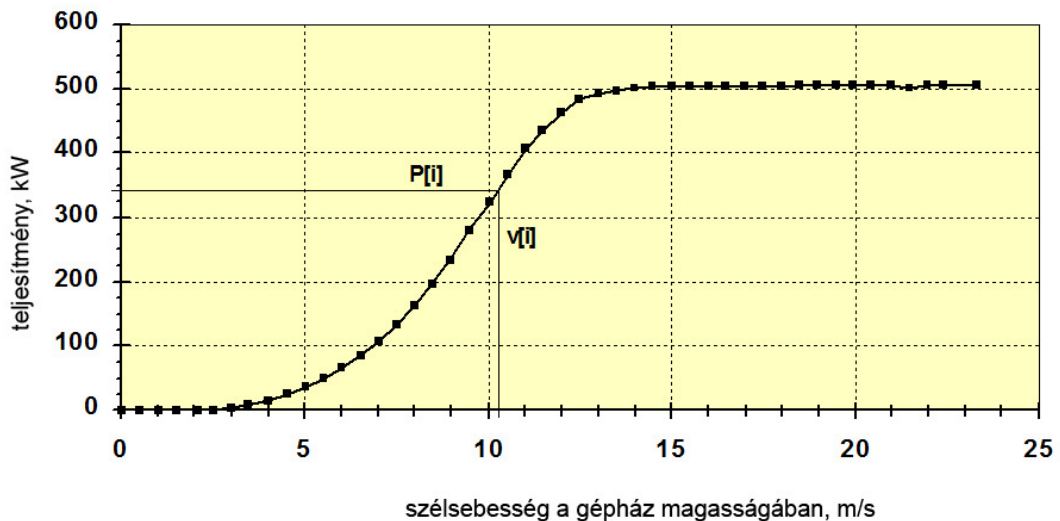
- szélesség hisztogramok (oszlopdiaagramok) és teljesítménygörbék;
- elméleti szélesség eloszlás és teljesítménygörbe.

4.1. AZ ÉVES ENERGIATERMELÉS SZÁMÍTÁSA MÉRT ADATOKBÓL ÖSSZEÁLLÍTOTT SZÉLSEBESSÉG-HISZTOGRAMOK ALAPJÁN

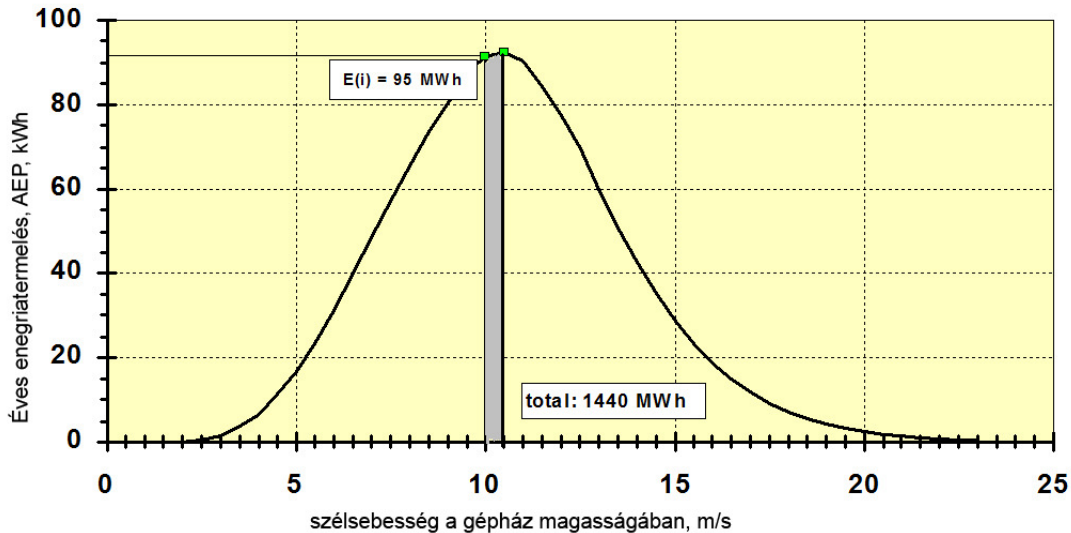
Az éves energiatermelés jó becslése adható a mért értékeket tartalmazó hisztogram (4.1. ábra) és a teljesítmény görbe (4.2. ábra) alapján, ha szélesebbég hisztogramja mérési eredmények alapján készült. Minden szélirány esetében az iránynak megfelelő órákat összeszorozva a turbina révén termelhető energiával, megkapható az egyes szélirányoknak megfelelő energiatermelés: ezen irányonként vett értékek összegzéséből számítható az éves energiatermelés. Megjegyzendő, hogy létezik egy minimális és maximális szélesebbég, mely alatt illetve fölött a szélturbina nem működik; ezek az értékek figyelmen kívül hagyandók az összesítésnél.



4.1. számú ábra: Példa mért szélesebbég hisztogramjára ($v[i]=10.25$ m/s; $t[i]=275$ h)



4.2. számú ábra: Példa normális levegősűrűség mellett mért teljesítménygörbére (1.225 kg/m³) ($p[i]=345$ kW; $v[i]=10.25$ m/s)



4.3. számú ábra: Példa i irányú szél energiájának becslésére ($E[i]=95$ MWh)

A teljes éves energiatermelés (AEP) (lásd 4.3. számú ábra): $E = \sum_{i=1}^{i=n} P[i] * h[i]$

4.2 AZ ÉVES ENERGIATERMELÉS SZÁMÍTÁSA AZ ELMÉLETI SZÉLSEBESSÉG ELOSZLÁSSAL

Ha a szélsebesség eloszlása ismeretlen egy területen, egy hisztogram készíthető az ismert vagy becsült átlagos szélsebességet alapul véve. A fentiek értelmében, jellemzően két elméleti eloszlást szokás alapul venni a szélsebesség számolásánál: a Weibull-eloszlást, mely két változót használ, egy alakú és egy léptéktényezőt, vagy a Rayleigh-eloszlást, mely egy alakú segédváltozót alkalmazva számolható; utóbbi népszerűbb, mivel az alakú tényező gyakorta ismeretlen.

A Rayleigh-eloszlás:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2}$$

ahol $F(v)$ a halmozódó Rayleigh eloszlás szélsebességre, és \bar{v} az éves átlagos szélsebesség a szélkerék magasságában. Így az éves energiatermelés:

$$AEP = 8760 * \sum_{i=1}^N \left[F(v_i) - F(v_{i-1}) \right] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right)$$

ahol N az irányok száma, v_i a v szélsebesség i irányban, és P_i az átlagos energiatermelés i irányban

5. A HELYSZÍNVÁLASZTÁST BEFOLYÁSOLÓ HELYI TÉNYEZŐK

A széljáráson túl számos más tényező is figyelembe veendő a legalkalmasabb helyszínről szóló végső döntés meghozatalakor, a legfontosabbak röviden a következők:

- hozzáférés a villamos energia hálózathoz;
- hozzáférés a helyi utakhoz;
- helyi környezeti következmények, beleértve a tájképre gyakorolt hatást;

- lakott területhez való közelség;
- zajhatások;
- televízió- és rádióadásban keltett zavarok stb.

A szélfarmok ideális helyszínei és az ott jellemző körülmények, valamint a szélfarmok létesítése és a velük szembeni támasztott tervezési elvárások a mérnököket komoly kihívások elé állították. A nehéz megközelíthetőség akadálya lehet a nagyméretű és nehéz alkatrészek helyszínre szállításának, a sziklás terep ellehetetlenítheti a földelést, valamint az eső és a köd beázásokat idézhet elő a kábelvégződéseknél és kábelcsatlakozásoknál. Az olyan kérdések, mint a transzformátorállomás elhelyezkedése, valamint a generátor feszültsége szintén komoly jelentőségre tettek szert a turbinaméretetek növekedésével. A szélfarmok elektromos hálózatainak kiemelt kérdése a helyi elosztóhálózat feszültségének megválasztása.

5.1 A HELYSZÍN MEGKÖZELÍTÉSE

Egy szél erőmű létesítése és működtetése nehéz járműveket és berendezéseket igényel a terep előkészítéséhez, az építőanyagok és berendezések szállításához, valamint a turbinák, a tornyok és a villanypóznák felállításához. Fennáll így a lehetősége, hogy a szél erőmű projektek a hatással lesznek a gyér forgalomra vagy könnyebb járművekre tervezett vidéki úthálózatra. A meglévő útalapok újjáépítése vagy megerősítése válhat szükségessé a megnövekedett terhelés károsodásmentes elviselése érdekében, valamint ezen útszakaszok tervezett karbantartását sűrítetni kell.

A hegygerincek eléréséhez hegyoldalokban létesített új utak azonban növelik az erózió kockázatát, mely hosszú távú vizuális változást jelenthet a területen; ezáltal az utak iránti igény mérséklése csökkenti az infrastrukturális költségeket, a látványbeli elváltozást, valamint az eróziós és a vízminőségi problémákat. Turbinakomponenseknek, az azok összeszereléséhez szükséges elemeknek, vagy nagy fenntartási munkák kellékeinek légi úton való szállítása jelentősen csökkentheti a félreeső vagy tájképi szempontból érzékeny területeken kiépítendő úthálózat méretét. E megoldás egyben a közutak és dűlőutak terhelését is csökkenti, s gyorsabb építést tesz lehetővé, azonban költséges és megvalósíthatatlan lehet nagyobb turbinák esetében.

Általánosságban javasolható az úthasználatot nem igénylő építésmódok és karbantartási eljárások alkalmazása, az időszakos és végleges talajvesztés elkerülése érdekében;

- a szükséges gépjárműforgalom meglévő úthálózaton való lebonyolítása;
- az új utak számának és szélességének korlátozása, a földmunkák minimalizálása érdekében;
- a szükséges új úthálózat a terepadottságokat lehető legjobban követő vonalvezetése.

5.2 CSATLAKOZÁS AZ ELEKTROMOS HÁLÓZATHOZ

5.2.1 LAKOSSÁGI ELEKTROMOS ÁTVITELI- ÉS ELLÁTÓ HÁLÓZAT

A szél turbinák jellemzően távoli vidékeken és magashegyi környezetben állnak, ahol a legközelebbi elektromos állomáshoz való kapcsolat *gyenge*, és a villamos áram iránti helyi igény messze kevesebb, mint a szélből nyerhető kapacitás. Az elektromos hálózat *erőssége* a *hibaszinttel* jellemezhető, mely megmutatja a villamos áram erejét (amperben) abban az esetben, ha rövidzárlat lép fel a rendszerben. Egy hosszú elektromos hálózat végén a hibaszint sokkal alacsonyabb, mint egy összekapcsolt hálózat közepén, például egy városban vagy egy ipari központban.

Alacsony hibaszintű területeken a szél turbinák hatása elegendő a helyi fogyasztás megzavarására. Ez okból sok esetben szükséges a hálózat megerősítése, vagy a szél turbinák nagyobb feszültségű vagy erősebb pontjára való bekötése, mely bármely esetben többletköltséget jelent. A

nagyfeszültségű rendszerek, így a 275 kV és a 400 kV átviteli hálózatok magas hibaszinttel rendelkeznek; általánosságban igaz, hogy minél kisebb a feszültség, annál gyengébb a hálózat. Az Európai Unió országaiban a vidéki ellátó hálózatok feszültségeinek értéke 132, 33 és 11 kV. A 11kV-os hálózat a legkiterjedtebb, azonban nem képes egy-három megawattnál (MW) több teljesítményt közvetíteni.

Lakossági villamos műveknek – az Egyesült Királyságban az árampiac privatizációja során elterjedt megnevezés: Public Electricity Supplier (PES); vagy a későbbi rendszerben: Regional Electricity Company (REC) – nevezzük azon cégeket, melyek a helyi elektromos hálózatot tartják fenn. A villamos művek felelősek a rendszer biztonságos és gazdaságos üzemeltetésért, és kötelességük kielégítő minőségű szolgáltatást nyújtani az ügyfeleknek. Ugyanakkor az áramszolgáltató nem szükségszerűen válik a szélerőművekben termelt energia vásárlójává; ezért érdemes mielőbb tájékoztatni a projektről.

A komoly szándékú megkeresést követően a villamos művek mérnökei kezdeti tanulmányokat folytatnak le a projekt műszaki megvalósíthatóságáról, amely döntően meghatározhatja a tervezett beruházás további menetét. E szolgáltatásért az áramszolgáltató díjat számolhat fel. A költségek a fejlesztés méretétől, a legközelebbi csatlakozási ponttól mért távolságtól, és a csatlakozás feszültségi értékétől függenek. Utóbbi pont lehet a legfontosabb, mivel a kapcsolódás költségei a meglévő hálózattól messze lévő kisebb projekteket teljesen gazdaságtalanná teheti – e felismerésig célszerű nagyobb erőfeszítések megtétele előtt eljutni.

Távoli és hegyvidéki területeknél a helyi elektromos hálózathoz való kapcsolódási pont valószínűleg léghébeles, mintsem földkábeles. A villanyoszlopokon vagy távvezetékoszlopokon található szám alapján a villamos művek mérnökei beazonosíthatják a javasolt helyszínt a saját térképeiken, majd megadhatják a vezeték feszültségét. A helyszín térképészeti koordinátapontokkal is megadható, míg a feszültségeket illetően azonnali tájékoztatást nyújt, hogy a kétvezetékes léghébeles rendszerek egyfázisúak, és így megerősítésre szorulnak, ha generátorok telepítenek.

5.2.2 A CSATLAKOZÁS MEGTERVEZÉSE

Egy szélfarm elektromos áramszállító rendszerének, és villamoshálózathoz való csatlakozásának műszakilag és gazdaságilag helyes megtervezése egy többváltozós optimalizációs folyamat melyhez a tervezőmérnök részéről nagy tapasztalat, valamint a modern energiarendszerek tervezéséhez használt számítógépes eszközök használatában való jártasság szükséges; a helyes megoldás megtalálása és dokumentálása érdekében.

Számos kérdés merül fel ezen a ponton, így:

- a csatlakozási feszültség. – e kérdés meghatározó jelentőséggel bír a projekt költségeire nézve. Például egy új 33 kV-os vezeték létesítése jelentősen többbe kerül, mint egy meglévő 11 kV-osba való csatlakozás, jóllehet egy 11kV-os belső rendszer kialakítása sokkal költségesebb egy 33 kV-osnál, azonos szélenergia-mennyiséget feltételezve;
- a feszültség eloszlása a szélfarmon belül;
- a transzformátorok és turbinák elhelyezkedése;
- földelés: az elektromos berendezés megfelelően földelendő, hogy a dolgozók és az eszközök ne sérüljenek elektromos zárlatok vagy villámcsapások alkalmával, és hogy a projekt eleget tegyen a munkavédelmi, valamint az elektromos biztonsági előírásoknak. Ezen összetett kérdéskör nem alábecsülendő;
- védelem; védőberendezések beépítése szükséges ahhoz, hogy a szélturbina, vagy az egész farm automatikusan lekapcsolódjon az elektromos rendszerről, ha hiba lép fel; s fordítva, a hálózatot is óvni kell a szélfarmon bekövetkező hibáktól;

- mérés: A termelt villamos áramot a hálózathoz való csatlakozási pontnál kell mérni. Árammérők egyaránt szükségesek a termelt és a felhasznált energia méréséhez (utóbbi nagyon gyenge szélesség esetén képzelhető el). A mérőállomás pontossága és költsége a szélfarm méretével együtt nő.

A szélfarm egész szerkezete jellemzően a farm teljesítményének optimalizálásán alapszik, figyelembe véve az egyes turbinák elhelyezkedését és azok hozzáférhetőségét – vagyis az infrastruktúrát. A hálózat rövidre zárási részesedése fontos tényező, a beszerezhető elektromos berendezések – transzformátorok, kábelek, áramköri elemek, megszakítók stb. – osztályozását követően az alapvető villamosságtervezési igényeket teljesítő kialakítás kerül kiválasztásra, majd ellenőrzésre a rövidzárlati számításokhoz.

Végezetül a berendezés teljes élettartama alatt előforduló veszteségek, s azok nettó jelenértéke kerül kiszámításra, hogy egy esetlegesen nagyobb hatékonysággal bíró kialakítást gazdaságilag igazolni lehessen. A veszteségszámítások a termelési profilt veszik alapul; a szel leíró jellemzőket – Weibull-tényezők – és a turbinák teljesítménygörbáját használják.

5.3 A HELYSZÍNVÁLASZTÁST BEFOLYÁSOLÓ EGYÉB TÉNYEZŐK

A szélerőművek környezeti szempontból számos fontos előnnyel rendelkeznek a hagyományos – szénrel, olajjal vagy földgázzal működő – erőművekhez képest: nem használnak tüzelőanyagot, nem termelnek légszennyező vagy mérgező anyagokat, nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat, nem használnak vizet vagy más, értékes nyersanyagot. Ugyanakkor a szélerőművek is felvetnek környezeti és közösségi problémákat: zajosak, valamint látványuk kellemetlen lehet a környék lakói számára, zavaróan hatnak a vadállatokra is, sérülést és halált okozhatnak a madaraknak.

A múltbeli hibák ellenére, e fenti problémák szerencsére már nem jelentenek akadályt a szélerőmű projektek számára. Tudatos tervezés és fejlesztés révén, és a már érintett közösségekkel folytatott gyakori megbeszéléseknek köszönhetően a mérnökök azonosíthatják és kezelhetik a legsúlyosabb kérdéseket, mielőtt jelentős beruházás történik újabb projektekbe.

Egyben a fejlesztő és a lakosság érdeke, hogy a telepítési eljárás minden jogi kérdést nyílt, tiszta és elfogulatlan eljárásban kezeljen, a költségek és a döntéshozatal idejének minimálisra való lecsökkentésével. Az eredmény lehet egyes helyszínek kizárása a lehetségesek közül, más esetekben megállapításra kerülhet, hogy a felmerült aggályok nem súlyosak, vagy különleges eljárások előírásával kezelhetők.

5.3.1 A HELYI KÖZÖSSÉGEKET ÉRINTŐ KÉRDÉSEK

Egy szélerőmű építése és működtetése számos olyan tevékenységet igényel, mint egy hagyományos erőműnél, beleértve az útépítést, a terület kialakítását és rendezését, tereprendezést, tehergépjármű forgalmat, és az átviteli hálózat kialakítását. Nem meglepő módon, e tevékenységek néha jelentős aggodalmakat ébresztenek a közösségekben, ráadásul e kérdések teljesen egyediak, mint a látvány és a zaj kérdése.

Földhasználati megfontolások

Más erőmű kialakításokkal ellentétben, a szélenergia projektek földhasználatilag jellemzően extenzívek, mintsem intenzívek. Megawatt (MW) alapon a szélerőmű által igényelt földterület nagyobb más technológiákhoz képest. Ugyanakkor, míg a szélerőmű létesítményei nagy földrajzi területen fekszenek, és hatásuk kiterjedt, a valóságosan elfoglalt alapterületük aránylag csekély e földhöz mérve; például egy 50MW-os létesítmény hatszáz hektárnyi területet ölel fel, míg a ténylegesen használt terület mindössze 3-5%, meghagyva a maradékot más, összeegyeztethető tevékenység számára.

Mivel a szélerő energia termelés olyan területekre szorítkozik, ahol az éghajlati mintázatok aránylag hosszú ideig biztosítanak erős szél energiaforrást, a szélfarmok világszerte a vidéki és nyílt területeken terjedtek el. E helyek gyakran mezőgazdasági, erdőgazdasági, legeltetési, rekreációs területek, nyílt, látványos tájak, melyek lehetnek vadállatok élőhelyei vagy időszakos árvízi tározók. A szélerőmű projektek jellemzően összeférhetőek a mezőgazdasági, legeltetési földhasználattal.

Ugyan e használati formákat megzavarhatja az építkezés, azonban csak az intenzív mezőgazdasági használatokat kell visszafogni vagy megváltoztatni az erőművek működése során. A szélerőművek emellett hatással lehetnek a szomszédos vagy környező területen folytatott tevékenységekre is. Egyes nemzeti parki vagy rekreációs használatok, melyek a táj vadságát, és ennek megőrzését tűzik ki célul, könnyen akadályává válhatnak a fejlesztésnek.

Más felhasználási szándékok, így a nagy, nyílt terepek megőrzése, növénytelepítési elképzelések, vagy az érintetlen tájak környezetét nem igénylő üdülőlétesítmények összeférhetőek lehetnek – a korlátozások figyelembevételével – az erőművek alkalmazkodó képes térhasználata, és a helyi energiaforrásokat kedvezően érintő hatások miatt. A szélerőmű melletti földhasználatot meghatározó, változó tényezők lehetnek a topográfia; turbinák mérete, száma, energia kibocsátásuk és a köztük lévő távolságok; a tervezett és meglévő utak helyzete; a kapcsolódó létesítmények – tömbös vagy szétszóró – elhelyezkedése; valamint a villamosvezetékek lég- vagy földkábeles hálózata.

LÁTVÁNYBELI HATÁSOK

A szélturbinák feltűnő, messziről látható szerkezetek. A modern szélturbinák tornyai 30-50 méter magasak, nem számítva az akár 40 méteres átmérőjű lapátkereket. Ráadásul e szerkezetek csoportosan jelennek meg feltűnő hegygerinceken és csúcsokon. A szélturbina vizuális hatásának elfogadottsága részben függ a környezetétől is.

Az Egyesült Államok mezőgazdasági területein a szélerőművek létesítői jellemzően kevés ellenállással szembesültek a helyi közösségek részéről, melynek részben az is oka, hogy a szélmalomok az 1950-es évekig megszokott látványelemei voltak az amerikai farmoknak. A beruházást segítette, hogy a mezőgazdasági területek tulajdonosai gyakorta közvetlenül is részesülnek a szélerőmű projektek nyereségéből, földbérlet és más juttatások formájában. Más környezetben a közösségi elfogadottság sokkal komolyabb probléma lehet.

Gondot jelenthet, ha a szélpark lakóövezet környezetébe kerül, egyes esetekben erős ellenállást fejtettek ki a tulajdonosok és ingatlanfejlesztők a projekttel szemben. A San Franciscótól északkeletre lévő Cordelia Hillen lakók megakadályozták egy szélerőmű létesítését a környező domboldalon, jóllehet a kiválasztott terület már korábban is bővelkedett kapcsolódó állomásokban és távvezetékekben. Természetesen a nemzeti parkok és rezervátumok mellé tervezett szélerőművek erős ellenállást válhatnak ki a helyi környezetvédelmi szervezetek tagjaiból és aktivistáiból.

Bármilyen környezet esetén érdemes a látványbeli panaszokat csökkenteni, a szélturbinák zavaró hatásának csökkentésével, a szemnek kellemes látvány kialakításával. Például a hengersizű tornyok kevésbé nyújtanak bántó látványt a rácsozottaknál, és ezen okból népszerűbbek a legtöbb beruházó esetén. A turbinagépházak és rotorok kecses, minimalista megjelenése akár kellemes látványt is eredményezhet.

Ugyanígy gondosságot igényel a szélturbinák elosztása a tájban. Egy kedvező, szabályos elrendezés a célzatosság és hatékonyság benyomását kelti, míg a rendszertelenül elszórt szélerőművek céltalanság és zavar benyomását keltik. Hegyvidékek esetén a gerinc vonalának követése a környezetbe való könnyebb beágyazást tesz lehetővé. Fontos a terepet megbontó úthálózatok és irtások lecsökkentése, akár csak a rendetlen látvány elkerülése a távvezetékek beásásával, valamint a kapcsolódó épületek és szerkezetek tereptárgyak vagy növényzet mögé való rejtésével.

Értékes eszköze lehet a helyszíni érzékeny látványt nyújtó tájainak potenciális hatásait értékelő folyamatnak a vizuális szimuláció alkalmazása. E számítógépes modellek kiértékelése lehetővé teszi a beruházónak, az engedélyeztető hatóságoknak és a lakosságnak, hogy lássák az eredeti tájat és az azt érintő változásokat. A szimulációk lefuttatása a legjelentősebb feltárási pontokon lehetővé teszi a beruházásban érintettek számára a tervek olyan módosítását, mely lehetővé teszi a látványbeli hatások minimalizálását.

Érdemes erőfeszítéseket tenni a helyi közösségek tájékoztatására, hogy a szélenergia előnyeit megismerve csökkenteni lehessen az esztétikai alapú ellenállást. Jellemző félreértés a szélerőművek mellett elhaladók körében, hogy a működő turbinák között elszórtan lévő, álló szélkerekekből a technológia hiányosságaira következtetnek. Tudatva a lakossággal, hogy e leállások szándékosak, és bármikor megtehető – karbantartás, szélirányok változása miatt –, csökkenteni lehet az elutasítottságot.

ZAJHATÁSOK

Összességében elmondható, hogy a szélerőművek zaja által érintettek a nagyobb farmok néhány kilométeres körzetén belül élnek, míg kisebb telepek, vagy egyturbínás erőművek esetén ez az érték néhány száz méter. Ugyan e zaj ilyen távolságok mellett nem nagy – egy 300 kW-os turbina jellemzően kevesebb zajterhelést jelent 120 méter távolságból, mint egy könnyű forgalmú út 30 méteren belül –, ugyanakkor elegendő ahhoz, hogy beltérben is hallható legyen, és ez különösen zavaró lehet éjjel, mikor nincs működő forgalmi- és háztartási zajforrás (5.1. számú táblázat).

5.1. számú táblázat: Jellemző hangnyomásszint értékek

Forrás	Távolság (méter)	Egyenértékű A-hangnyomásszint (dBA)
Fájdalomküszöb		140
Hajókürt	30	130
Repülőgép hajtómű	60	120
Tehervonat	30	70
Porszívó	3	70
Autópálya	30	70
Kis szélturbina (10kW)	40	57
Nagyméretű transzformátorállomás	60	55
Fák a szélben	10	55
Könnyű forgalom	30	50
Otthoni alapzaj		50
300 kW-os szélturbina	125	45
USW 56-100 jelű szélturbina	250	45
Suttogás	2	30
Hangstúdió, csendes hálószoba		20
Hallásküszöb		0
Forrás: Gipe: <i>Wind Energy Comes of Age</i> . p. 375		

Szélerőmű projektek tervezésénél körültekintően kell figyelembe venni minden zajt, mely a közeli épületek környezetében hallható. A belső térben a zajszint érték jellemzően sokkal alacsonyabb, még nyitott ablakok esetén is. A potenciális zajterhelés meghatározásához azt az értéket kell alapul venni, amikor a szél a turbinák felől a házak fele fúj. Később a kapott értéket össze kell vetni a többi, szélerőmű híján is meglévő háttérzajjal.

Helyi önkormányzatok a településrendezési szabályzatok övezeti besorolásaival határozhatnak meg korlátozásokat, megengedett zajhatárértékeket a lakosság zavarásának csökkentése

érdekében. A kaliforniai Palm Springs például 370 méterben határozta meg bármilyen turbina minimális távolságát bármilyen lakóháztól, kórháztól, szanatóriumtól, iskolától, könyvtártól; kivéve azon eseteket, ahol a terepadottságok lehetővé tesznek kivételeket. E távolságokban a zaj kevesebb kell, hogy legyen 55 decibelnél, mely megfelel egy szélfúttá fasor 15 méter távolságban mérhető hanghatásával.

Jelentős fejlődés mutatkozik a turbinák zajának csökkentése terén az első gépek 1980-as évekbeli megjelenése óta. A ma piacon lévő nagyobb gépek (az energiatermeléshez képest) fajlagosan kevesebb zajt termelnek, mint az általuk leváltott kisebb gépek, részben a szélkerekek kisebb fordulatszáma miatt, részben a lapátkerekek szárnymetszeteinek és a terelőszárnyainak tervezése és gyártása terén mutatkozó fejlődésnek. Összességében véve, a kellő távolság meghatározásával és a zajcsökkentő tervezési eljárásokkal nem, vagy csak kevés panaszt okoz a turbinák zaja.

Elektromágneses interferencia (EMI)

Az elektromágneses interferencia az elektromágneses technológiákon alapuló berendezések – így a rádió, televízió és a mikrohullámú távközlés – jeleinek zavara. Lehetséges problémaként merül fel a szélerő termelés kapcsán, a lapátkerekek forgási sebessége, valamint a kiemelkedően nagy feszültségű villanyvezetékek esetén. Nagyméretű turbinák esetén a lapátkerekek legkönnyebben az UHF televíziós jeleket zavarják meg, ezzel együtt gátolják a jelfogást UHF jelek esetében 5 kilométeren, VHF jelek esetén 1,2 kilométeren belül. Az interferencia mértéke függ a lapátkerek anyagától, a turbina jelforráshoz viszonyított helyzetétől, és a turbina méretétől.

Nem ismert a rádiók ultra rövidhullámára gyakorolt (URH, FM) zavaró hatás. A mikrohullámú frekvencián működő átjátszóállomások gyakran lakott területektől távoli hegycsúcsokon vannak. E, szélerő termelés érintett harmadik fajta jeladás akadálytalan, nézővonalas kapcsolatot igényel az állomások között, és következésképpen érintettek a szélerőmű projektekben, melyek megzavarják a sugárnyalábot. Emellett a turbina áramkörei elektromágneses jeleket (zajt) bocsáthatnak ki, ha nincsenek rendesen kialakítva és karbantartva. A mikrohullámú kommunikáció szereplőivel az interferencia elkerülése érdekében nélkülözhetetlen a kapcsolatfelvétel.

5.3.2 AZ ÉLŐVILÁG MEGÓVÁSA ÉS MÁS ÉRZÉKENY TERÜLETEK

Madarak

A szélerőművek élővilágra és vadállatok élőhelyeire gyakorolt hatása nagy figyelmet kapott az elmúlt években. A kérdés először a nyolcvanas években merült fel, amikor madarak, elsősorban az Egyesült Államok szövetségi törvénye által védett fajok – szirti sasok, rőt farkú ölyvek – tetemeit fedezték fel a kaliforniai Altamont Passnál létesített szélturbinák és nagyfeszültségű távvezetékek környezetében. A felismerés ellenállást szült az Altamont Passi projekttel szemben néhány aktivista körében, valamint a szövetségi szinten védett állatok védelméről szóló törvények betartását ellenőrző Egyesült Államok Hal- és Vadvédelmi Ügynöksége (U.S. Fish and Wildlife Service) is beavatkozott.

A kaliforniai felfedezést követően más helyszíneken is felszínre kerültek hasonló problémák. Madárpusztulást tapasztaltak a spanyolországi Tarifa szélerőmű parkjában is (mely a madarak Földközi-tenger felé vezető két vándorlási csomópontja közül az egyik), valamint számos észak-európai erőműnél is. A szaporodó felismerések tovább fokozták a szélerőmű környezetére gyakorolt hatásával szembeni óvatosságot az amerikai és európai környezetvédelmi körökben. Ugyanakkor a madárvilágra gyakorolt hosszú távú hatás a szélipar számára mindeddig ismeretlen.

Kiindulva a korábbi tapasztalatokból, a jelentős konfliktusok azon területekre szorítkoznak, ahol nagyszámú madár gyűlik össze vagy vándorol tovább (így Tarifában), vagy ahol védett fajok vannak veszélyeztetve. (mint Altamont Pass esetében). E két tényező azonban igen kevés

helyszínt tenne alkalmassá szélérőmű létesítéséhez, mivel e helyek egyes, szélenergia szempontjából kedvező jellemzők miatt egyben a madarak számára is vonzóak lehetnek. Például a hágók gyakran szelesek, mivel a hegygerincen áthaladó szelek számára ezek a legkedvezőbb útvonalak, és ugyanezen okból kedvelt a vándorló madarak körében is.

A madarak fokozott jelenléte egy adott területen nem szükségszerűen kizáró ok egy szélérőmű létesítésénél. Számos tényezőt kell figyelembe venni a döntés meghozatalánál, ezek közül az egyik, hogy a madarak könnyen kerülnek-e összeütközésbe a szélturbinákkal. A madárszám és viselkedésük vizsgálata segíthet kideríteni, hogy a madarak milyen eséllyel ütköznek a turbinákkal.

Másfajta vizsgálódási terepet kínál a madarak pusztulásának és megsebesülésének valószínű jelentősége a populációra nézve. Az alapvető elképzelés szerint nem pusztulhat el madár, azonban ez sok esetben nem célszerű megközelítés. Tudományosabb megközelítés alapján felmérhető a szélérőmű kedvezőtlen hatásainak mértéke az alapján, hogy a pusztulások jelentős egyedszám csökkenést idéznek-e elő a populációban, vagy mennyiben növeli a teljes halálozási rátát az új erőmű.

Ha az előzetes vizsgálatok azt jelzik, hogy a szélérőmű projekt nem érinti súlyosan a madárpopulációt, további kutatás lehet szükséges ezen állítás egyértelmű alátámasztására. Szükséges lehet a kezdeti madárszám és viselkedés felmérése a beruházás megkezdése előtt, majd egyidejűleg figyelni a kontroll-területet és a létesítmény helyszínét az üzembe helyezést követően. Egyes esetekben a működés során való megfigyelést évekig kell folytatni.

Felismerve a kérdéskör súlyosságát, a szélipar együttműködésre lépett különféle nemzeti és regionális ügynökségekkel, valamint környezetvédelmi szervezetekkel, hogy felállítható legyen egy fenntartható madárkutató program és egy telepítési irányelvgyűjtemény. Az ellentmondások elkerülhetetlenek, ugyanakkor mindkét fél felismeri a közös érdeket; a szélenergia sikerét az Európai Unióban és az Egyesült Államokban, a madarakra és a vadállatokra gyakorolt káros hatások minimalizálásával.

Vadállatok élőhelyei

Egyes kutatások kimutatták, hogy a madarak és más élőlények is kerülnek a turbinák közvetlen környezetét, fészekrakás vagy vadászat esetén. Ezen túlmenően okozhatnak gondot más tevékenységek, így az útépítés és irtás tönkretelhet, vagy legalábbis feldarabolhat élőhelyeket, teret nyitva nem kívánt fajoknak. Az élővilágra gyakorolt hatást súlyosbítja, hogy a szélérőművek számára legalkalmasabb helyszínek az emberi településektől távoli hegyvidékeken találhatóak, melyek számos növény- és állatfajnak szolgálnak otthonul.

E megfontolások miatt egyes környezeti szempontból érzékeny területek – ha nincsenek is külön védve, helyi vagy nemzeti törvények által – elkerülendőek a szélérőmű projektek számára. Léteznek azonban helyzetek, mikor a felmerülő környezeti hatások enyhíthetők vagy ellensúlyozhatók. A fejlesztők dönthetnek az erőmű helyszínétől távoli, természeti környezetet javító beruházás mellett, mint a faültetés vagy új élőhelyek kialakítása az érintett fajok számára. A szükséges intézkedések mérete, ha egyáltalán szükségesek, függ a helyszíni adottságoktól; az érintett fajokat illetően szükséges a nemzeti és regionális ügynökségekkel való egyeztetés.

Kulturális és paleontológiai megfontolások

Egyes kulturális javakhoz szorosan hozzátartozik fizikai környezetük, és a táj hozzájárul értékéhez. Ez esetben a potenciális zavaró hatás kiterjedhet a szélérőmű látható és hallható területeire. Sok esetben a szélturbinák hegyoldalakon és hegygerinceken helyezkedhetnek el, melyek nagyterjedésű állóvizek mentén lehetnek. A terület ősi lakói korábban is ezeket a területeket használták energiaforrások – pl. fa, szén – begyűjtésére, valamint évszaki és vallási ünnepeknek is

helyt adhattak. Szempont a projekt és a helyszín megtervezésénél a kulturális és fosszilis energiaforrások környezetének elkerülése és védelme.

A szélenergiái beruházások ilyen jellegű, kiemelt helyszíneken nagyobb eséllyel bírnak nagyléptékű hatással a földfeletti kulturális javakra és más energiaforrásokra. E hatás kiterjedhet néhány tíz métertől negyed kilométernyire, vagy akár többre; jellemzően régi energiaforrás begyűjtő területeken, feltűnő tájelemek, szentnek tekintett területek esetén kell ezzel számolni. A kulturális energiaforrásokra gyakorolt hatás e területeken kiterjedhet a hagyományos tevékenységeket zavaró zaj és látvány miatti ellenérzésre is.

A potenciális hatás kiterjedése függ a topográfiától, a növényzettől, az szél energiaforrás gyűjtőterületétől, és más beruházások jelenlététől. A fosszilis energiaforrás adatainak megfelelő nyilvántartása esetén nem szükséges az egyes szélturbinák terveinek későbbi módosítása. Ugyanakkor e szélkerekek elhelyezkedése, a kapcsolódó úthálózat, a távvezeték hálózat, a kiszolgáló és fenntartási létesítmények a gyártást követően is megváltoztathatók, hogy az ismert felszín feletti és alatti kulturális és fosszilis energiaforrásokat ne érintse.

5.4 SZÉLERŐMŰ BERUHÁZÁS TERVEZÉSE

Általánosságban elmondható, hogy segíti a helyszín kijelölését, ha a közösségek, így a városok és a megyék az övezeti beosztásukat kiegészítik a szélerőművekre vonatkozó kitételekkel, és minden zónára (kereskedelmi, ipari vagy mezőgazdasági) vonatkozóan meghatározzák a következőket:

- szélturbina mérete, beleértve a legnagyobb lapátkerek átmérőt, minimális és maximális magasság, toronymagasság stb.;
- elhelyezkedés és tervezés, beleértve a tornyot és a lapátkereket, az elektromos biztonságot, közműterhelést, figyelmeztető jeleket és a torony megközelíthetőségét;
- telepítés, magában foglalva a más létesítményektől mért legkisebb távolságot, esztétikai követelményeket (például hengeres- vagy rácsszerkezetű tornyok alkalmazása);
- zavarási kérdések, így a zajhatárértékek, televíziós és rádiós interferencia;
- más szabályozások, így a biztosítás, helyszínek megközelíthetősége, karbantartási kérdések.

A szélenergiában rejlő potenciált felismerve egyes ügynökségek terveikben szél energiaforrás területeket (*wind resource areas, WRAs*) jelöltek ki, hogy alkalmas helyszíneken elősegítsék a szélerőművek engedélyeztetését és létesítését. Térképek készültek, mutatván az olyan információkat, mint a szélesebesség és annak időtartama, helyrajzi adottságok, helyszíni jellemzők, meglévő utak és létesítmények helyei, érzékeny földhasználati területek stb. Ezen intézmények pontos iránymutatást adhatnak a fejlesztőknek a célszerű helyszínekről és kialakítási módokról, hogy azok megfeleljenek a meglévő földhasználati formáknak és a környezeti elvárásoknak.

6. SZÉLATLASZ KRITIKAI VIZSGÁLATI ELJÁRÁS MÓDSZERTANA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK EREDMÉNYEI

6.1 BEVEZETÉS

Ha egy területről számos mérési adat érhető el, akkor célszerűnek tűnik ezeket az egymástól független adatokat a szélenergia potenciál meghatározásához felhasználni a felszínt folytonosnak tekintve, pontháló helyett. Az alábbiakban bemutatott eljárás eredménye a szélenergia korlátlanul nagy területen való értékelését teszi lehetővé. Ez a módszertan sikeresen lett alkalmazva Görögország teljes szélpotenciáljának meghatározásához, kielégítő eredményeket mutatva fel egy finom, 150 méteres felbontású hálón az egész országra nézve.

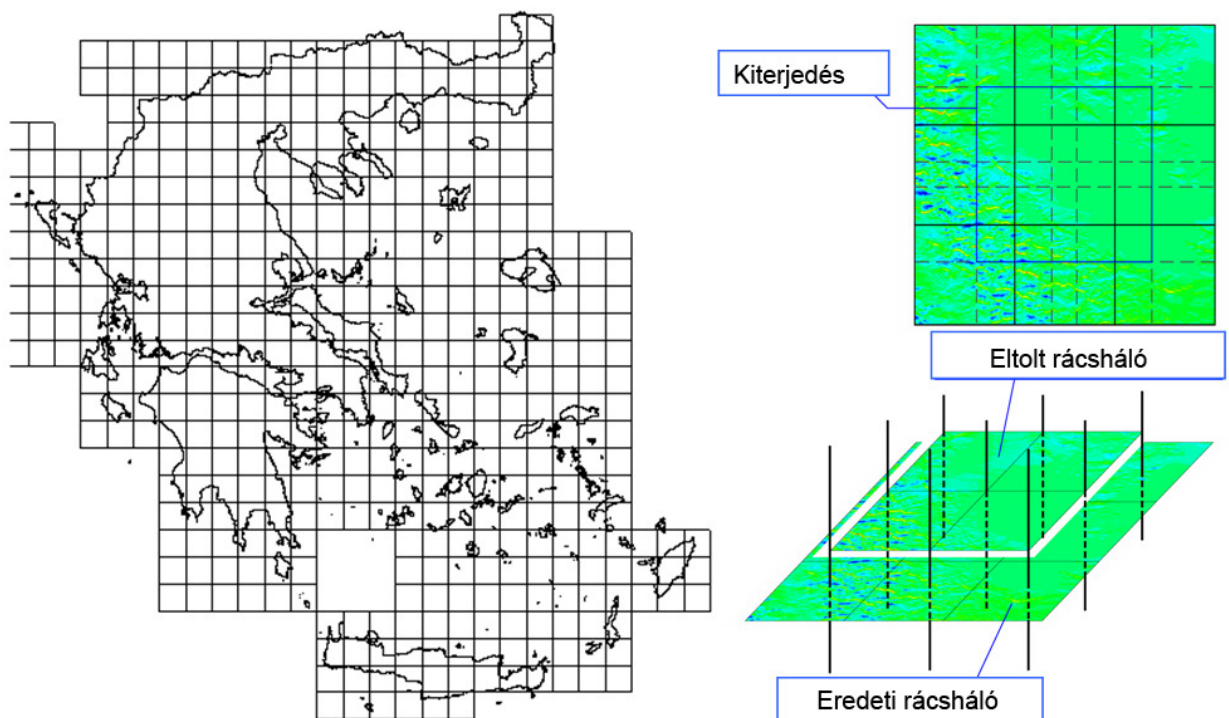
A kritikai vizsgálati eljárás (*Critical Review Examining System, CRES METHOD*) által kidolgozott számítási módszertan számos mérési eredményből interpolálja az eredményeket egy kérdéses területen kívüli, tetszőleges pontra. A mérés módszereit nem köti meg az interpolációs eljárás, csupán kellő mennyiségű mérési pont szükséges, ahol a széljárás adataiból felvehető a középleptékű (2-2000 km) időjárás leírása.

6.2 A MÓDSZERTAN LEÍRÁSA

A módszertan alapvetése, hogy a szél nagy magasságokban sűrűdésmentes (inviszkózus), vagyis független a felszín, és a felszín közeli rétegek hatásától, és kizárólag meteorológiai folyamatok hatása alatt áll. Ugyanakkor a felszíni rétegek jelenségei elsődlegesen meghatározóak a felszín közelében. Így, felhasználva a helyrajz és a felszíni rétegek áramlási tulajdonságait, a meteorológiai áramlatokat figyelembe véve minden kérdéses pontban meghatározható a szél sebessége és iránya: lényegében, egy háromdimenziós határkorrekciós eljárást kell bevezetni.

Az egész eljárás kétlépcsős. Először egy felszín által néhány kilométeres magasságig befolyásolt háromdimenziós teret kell alapul venni, melyre egy tömegmegmaradáson alapuló áramlási modellt kell alkalmazni. A modell rendszerezett változókat alkalmaz, a réteg felső határán mérhető szélsébséget a rácsmező területén állandónak feltételezve. A kezelendő terület rendkívüli nagysága miatt a több tömbös megközelítést kell követni.

A terület nagyszámú blokkra van felosztva, melyet a rendszer külön kezel (lásd a 6.1. számú ábrát). Egy újabb tömbhálózatot kell generálni az elsőből, meghatározva egy újabb, eltolt ponthálót, az eredetivel való összefüggésben (6.1. számú ábra jobb oldala). E két blokk-készlettel lehet generálni a végleges eredményeket, kiterjesztés, átlagolás és interpoláció révén. Felhasználva azt a tényt, hogy a felszíni rétegektől távol mért potenciális áramlási adatok érzéketlenek az alsó rétegekben kialakult körülményekkel szemben, a fenti eljárás sima és folytonos átmenetet eredményez a tömbök határfelületein. Külön számításokat kell végezni minden kiválasztott szélirányhoz.



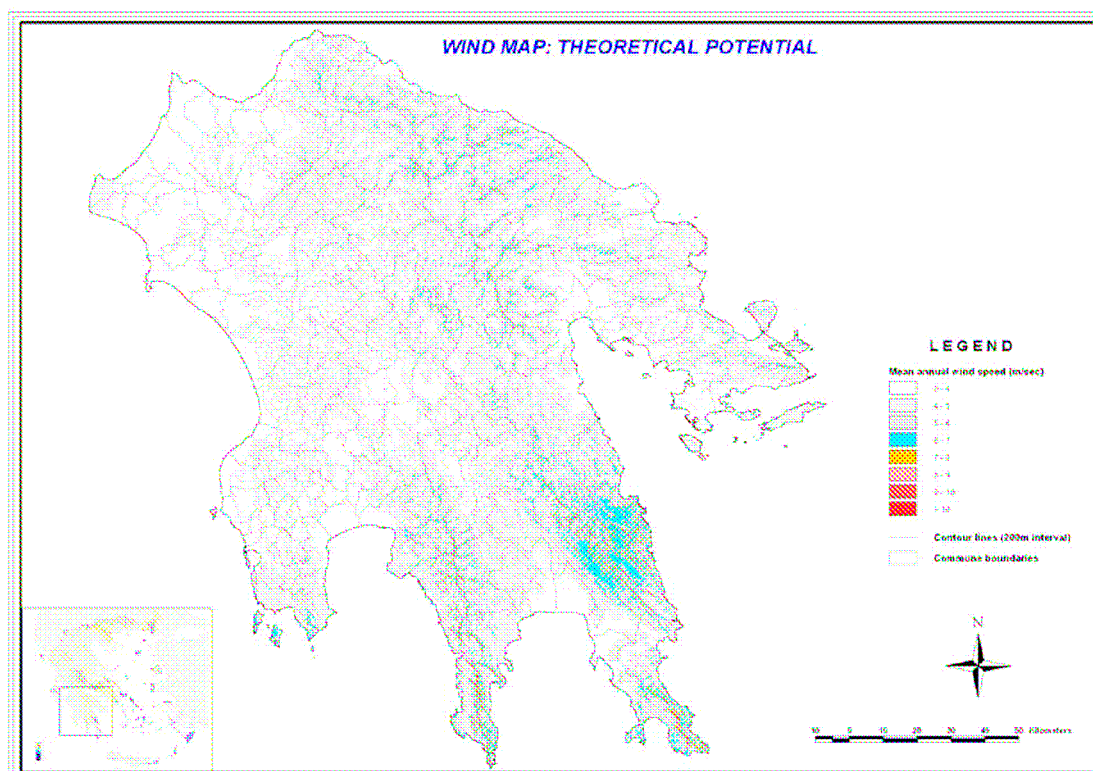
6.1. számú ábra: Több blokkos modellező eljárás Görögország esetén (balra) és a számítási háló eltolása (jobbra)

A számítás második lépéséhez a felszíni rétegek korrekcióját kell elvégezni a sűrűdési jelenség felhasználásával. Egyszerűsítő megközelítést kell alkalmazni a viszkózus (sűrűdésos) korrekcióhoz, melyet a lapos felszín közeli réteg elméletével és – amíg felszínagoltsági térképek nem állnak rendelkezésre – egységes felszínagoltságot feltételezve lehet számolni. A korrekció pontról pontra történik. Itt mutatkozik meg azon egyszerű eljárás előnye, mely a széláram állandóságát feltételezi. Ugyanakkor bármilyen más felszíni réteget érintő korrekció lehetséges.

A kétlépcsős eljárás végén az áramlási mező teljesen meghatározott, ugyanakkor továbbra is a felső rétegek függvénye. Ugyanakkor ez utóbbit érintő feltételezés, mely a fenti légrétegek esetén egységes szélességet feltételez nagy területen, téved, mikor azt állandónak véli; éppenséggel jelentős eltérések mutatkoznak. A módszertan e pontjában a cél a szélesség kiszámolása e felső tartományban, azonban jellemzően a mért adatokra kell támaszkodni.

A földrajzi terület bármely pontjára, melyhez mérés tartozik, lehetséges az átlagos szélesség kiszámolása bármilyen kérdéses irányban. Ezen értéket, valamint a számítási háló csomópontjában mért vonatkozó adatot felhasználva megbecsülhető a felső rétegbeli szélesség. Ily módon a mérések felhasználhatók a rácspontokhoz tartozó szélesség meghatározásához a magasabb légrétegekben, később ezen értékeket kell interpolálni. Az egész földrajzi területre nézve, minden magasságba rendezett értéket át lehet váltani a valós szélességek kiszámításához.

Az eddig nyert eredmények továbbra is független irányokban vannak megadva. Alapul véve az időátlagoló információt (szélirány valószínű gyakorisága) a mérések felhasználásánál, az átlagos szélesség minden ponthoz meghatározható. Ezen eljárást alkalmazva a Weibull-eloszlási tényezők is megadhatók, mely a potenciális elektromos energiatermelés szempontjából érdekesebb a fejlesztők számára. A 6.2. számú ábra a Peloponnészosz széltérképét mutatja, vagyis az elméleti szélpotenciált a területre, a számolás végeredménye a mérésekre és a szimulációkra alapozottan jelenik meg, feltüntetve a közigazgatási határokat.



6.2. számú ábra: A Peloponnészosz elméleti szélpotenciálja

GEOTERMİKUS ENERGIA

1. A GEOTERMIKUS ENERGIA ÉS KÖRNYEZETI HATÁSAI

1.1. A GEOTERMIKUS ENERGIA KÖRNYEZETI HASZNA

A geotermikus energia a Föld elektromos energia termelésére, fűtésre és ipari gőztermelés céljára felhasznált természetes hője. Mindenhol jelen van a földfelszín alatt, jóllehet a legmagasabb – és ezáltal a felhasználás szempontjából legkedvezőbb – hőmérsékleten leginkább aktív vagy fiatal vulkánok környezetében található meg.

A geotermikus tiszta és megújuló energiaforrásnak tekinthető, mivel a Föld belsejéből sugárzó hő gyakorlatilag korlátlan. Forrása, a Föld hője hozzáférhető a nap és az év bármely szakában; szemben a szél és a napenergia forrásaival, melyek számos tényezőtől függenek, így a napi és évszaki áramlásingadozásoktól és az időjárás változékonyságától. Ezen okokból a geotermikus forrásból nyert energia a kitermelés megkezdésétől sokkal megbízhatóbban áll rendelkezésre, mint sok más forrás. A Föld belsejéből állandóan áramló hő 42 millió MW teljesítményt jelent (Stacy, Loper: *Heat balance*. 1988). Egy megawatt megközelítőleg ezer háztartás energiaszükségletének fedezésére elegendő.

A Föld hőenergiája kimeríthetetlen és bőséges forrás, azonban az ipari felhasználás szempontjából földrajzilag nagyon elszórtan, kis koncentrációban és túl nagy mélységben jelentkezik. E pillanatig ezen energiafajta felhasználása olyan területekre korlátozódott, ahol a földtani viszonyok lehetővé tették a hőnek a mélyen fekvő, magas hőmérsékletű közegből valamilyen hordozóanyag (folyékony vagy gőz halmazállapotú víz) alkalmazásával történő kinyerését, s ezt a felszínre juttatva vált geotermikus energiaforrás felhasználhatóvá.

A geotermikus hő környezeti hatása igen kicsi és ellenőrizhető; ezen energiafajta légnemű anyag kibocsátása minimális: a levegőbe jutó dinitrogén-oxid (kéjgáz), kénhidrogén, kéndioxid, ammónia, metán, széndioxid és szálló por mennyisége különösen alacsony, kiváltképpen a fosszilis energiahordozókkal összevetve.

A geotermikus erőművek vize és a lecsapatott gőze tartalmaz olyan kémiai elemeket is, így arzént, higanyt, ólmot, cinket, bórt és ként, amelyek mérgezőek, ezek hatása a koncentrációjuktól függ. Ezen elemek többsége azonban az azonos kinyerési pontba visszajuttatott vízben oldott állapotban marad.

A kettős áramkörű forró vizes, valamint a gőzösítő erőmű közel nulla kibocsátással rendelkezik.

A hő termálvízként való közvetlen felhasználása esetén a környezeti hatás szintén elhanyagolható, és könnyen tovább csökkenthető zárt áramlású rendszerekkel, ahol is a vizet egyazon geotermikus tározóból nyerik, majd oda is juttatják vissza.

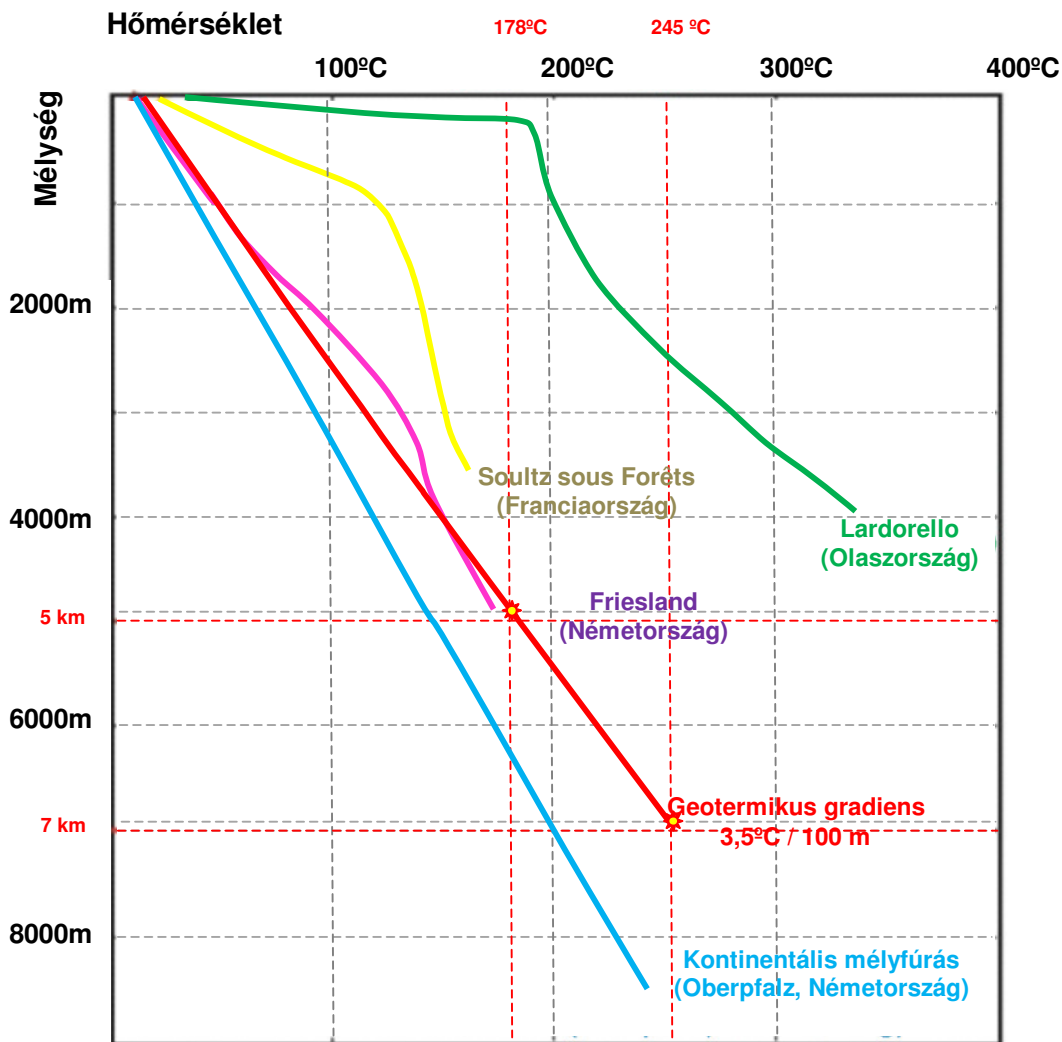
A termálvizek felhasználásának gazdasági szempontjai ugyanakkor továbbra is korlátozzák az energiaszektorban történő szélesebb körű elterjedésüket. A gazdasági haszon kezdeti beruházási költség és a hosszú távú működés során felmerülő alacsony működési költségek közötti különbségből adódik, a beruházás költségei azonban tekintélyesek lehetnek.

1.2. A GEOTERMIKUS GRADIENS

Ezen energiafajta felhasználásánál a legfontosabb tényező a geotermikus fluidumok hőmérséklete, mely meghatározza, milyen típusú berendezéssel érdemes a geotermikus energiát a fűtési vagy áramtermelési céllal felhasználni.

A felszíntől a Föld magja felé haladva megfigyelhető a hőmérséklet folyamatos emelkedése, mely átlagosan 3°C-t tesz ki 100 méterenként (30 °C/km); ez az érték a *geotermikus gradiens*. Így kiszámolhatóvá válik a mélyebb rétegek hőmérséklete: mivel a felszín alatt néhány méterrel

található rétegek hőmérséklete megfelel az éves átlaghőmérsékletnek, ezt 15°C-nak véve és a fenti 30 °C/km értéket alkalmazva feltételezhető, hogy a hőmérséklet 2000 méter mélységben 65-75°C, 3000 méter mélyen 90-105°C lesz, és így tovább ezer méterenként (1. számú ábra).



1. számú ábra – A hőmérséklet és a mélység viszonya különböző geotermikus gradienssel rendelkező területeken, a felszíni átlaghőmérsékletet 17°C –nak feltételezve

A geotermikus energia földrajzi értelemben vett legalkalmasabb felhasználás területei azok, ahol a geotermikus gradiens értéke nagyobb az átlagosnál. Egyes helyeken a földtani értelemben vett közelmúltban tapasztalható vulkáni tevékenység, vagy a hasadékokon feltörő forró vizek hatására a geotermikus gradiens jelentősen nagyobb az átlagosnál, így 250-300 °C található már 2000-4000 méter mélységben.

E nagy hőmérsékletű területek jellemzően a tucatnyi tektonikus földtani lemez (melyek voltaképpen merev sziklák óriási tömbjei) határain helyezkednek el, e lemezek alkotják a Föld felszínét és kérgét, a tömörebb, forróbb rétegeken (a földköpenyen) úszó litoszférát.

Az átlagos földi hőáram a kontinensek és az óceánok alatt 65 és 101 milliwatt négyzetméterenként, mely területi súlyozással globális szinten 87 mW/m² átlagértékkel bír (Pollack *et al.*, 1993).

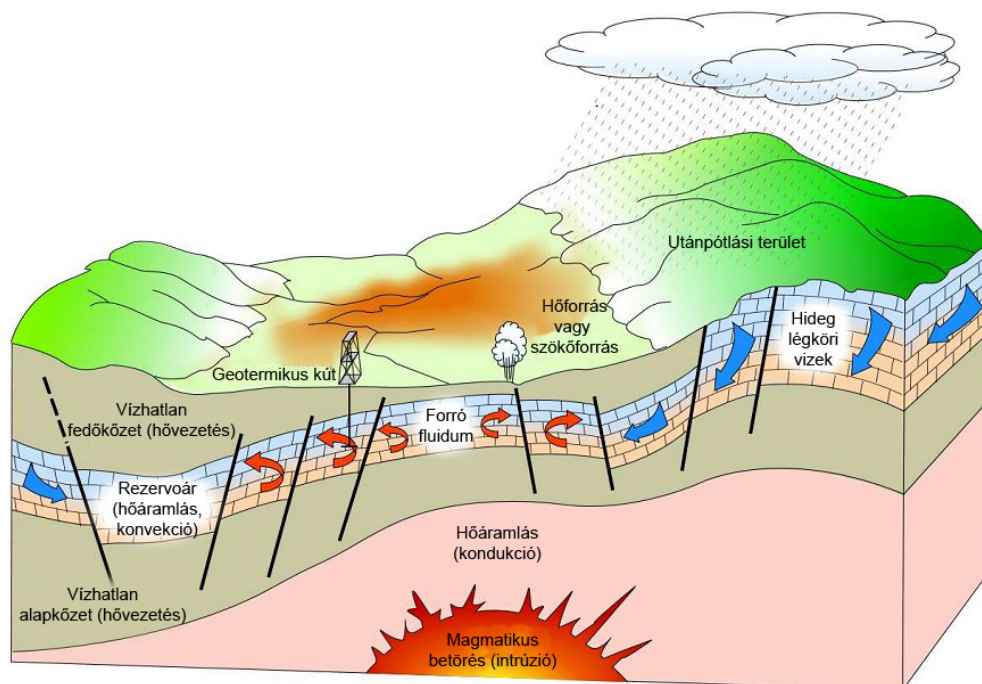
2. A GEOTERMIKUS ENERGIA HÁTTERE

2.1 GEOTERMIKUS RENDSZEREK

A geotermikus rendszer pár fő elemből áll: egy hőforrásból; egy víztározóból; egy hőhordozó fluidumból; egy újratöltő medencéből és egy áthatolhatatlan kőzetrétegből, mely lezárja a víztározó kőzetréteget. A hőforrás lehet kis mélységekbe (5-10 km) feltörő, nagyon magas hőmérsékletű (> 600°C) magmatikus beáramlás, vagy egyes alacsony hőmérsékletű rendszereknél a Föld normális hőmérséklete, mely a fentiek értelmében a mélységgel növekszik. A víztározó egy vízáteresztő kőzetekből álló térfogat, melyből az áramlás révén a víz vagy a gőz kivonja a hőt. E forró kőzetekből álló tározót fedi le egy áthatolhatatlan földtani réteg, mely a kőzetek réseiben és pórusaiban lerakódó ásványok révén vízzáró tulajdonságú. A tározó összeköttetésben van egy feltételezett újratöltő medencével, ahol a légköri vizek részben vagy egészben pótolhatják a források vagy fúrt kutak révén eltávozó és távolított vizet. A geotermikus fluidum a víz, mely az esetek többségében a felszínről származik, folyékony vagy gáz halmazállapotú a hőmérséklet és a nyomás függvényében. E víz gyakran hordoz magával kémiai elemeket, gázokat, így például széndioxidot és kénhidrogént. A 2. számú ábra egy egy ideális geotermikus rendszer nagyon leegyszerűsített képét adja.

A geotermikus rendszerek alapjait a fluidum alapú hőáramlás (*konvekció*) jelenti. Konvekció a melegedés és a fluidumok folytonos hőtágulása révén alakul ki; a hő szolgál a körforgás alapjául, ez tartja mozgásban az áramlási rendszert. A felhevített és alacsonyabb sűrűségű folyadék felemelkedik, míg hidegebb és nagyobb nyomású folyadék nyomul a helyére a rendszer széleiről. Természetéből adódóan a hőáramlás megnöveli a hőmérsékleteket a magasabb régiókban, míg a lenti területeken mért hőmérséklet csökken (White, 1973).

A fentiekben vázolt jelenség nagyon egyszerű elveken nyugszik, azonban a természetben előforduló geotermikus rendszerek geológiai (földtani), fizikai és kémiai jellemzők sokféle kombinációjából jönnek létre, így e rendszereknek sok fajtája létezik.



2. számú ábra – Egy ideális geotermikus rendszer sematikus ábrája

2.2 AZ ENTHALPIA ELKÉPZELÉSE

A geotermikus energiaforrások osztályozásának legelterjedtebb kritériuma a geotermikus fluidumok entalpiáján alapszik, melyek a hőhordozó szerepét töltik be a mélységi kőzetek és a felszín között. Az entalpia – mely megközelítőleg a hőmérséklettel arányos –, a fluidumok hőjének (termikus energiájának) kifejezésére szolgál, és durva becslését adja értéküknek. Az energiaforrások alacsony, közepes és magas entalpiájú (vagy hőmérsékletű) energiaforrásokra oszlanak, az energiataralom és annak kihasználhatóságának szempontjából. Az 1. számú táblázat a különböző szerzők által javasolt osztályozási módokat mutatja be.

1. számú táblázat: Geotermikus energiaforrások osztályozási lehetőségei (°C)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Alacsony entalpiájú energiaforrások	< 90	<125	<100	≤150	≤190
Közepes entalpiájú energiaforrások	90-150	125-225	100-200	-	-
Magas entalpiájú energiaforrások	>150	>225	>200	>150	>190

Forrás:

(a) Muffler and Cataldi (1978).

(b) Hochstein (1990).

(c) Benderitter and Cormy (1990).

(d) Nicholson (1993).

(e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

A hagyományos energiatermelésre használt, magas hőmérsékletű mezők újabb kori vulkáni, szeizmikus vagy magmatikus tevékenység környezetére korlátozódnak. Alacsony hőmérsékletű források a legtöbb országban fellelhetők; melyek a repedések és törések mentén mélyre jutó felszíni vizekből táplálkoznak, vagy a nagy porozitású kővekben meglévő vizekből, melyek elég mélyen találhatóak ahhoz, hogy a Föld geotermikus gradiense révén felhevüljenek.

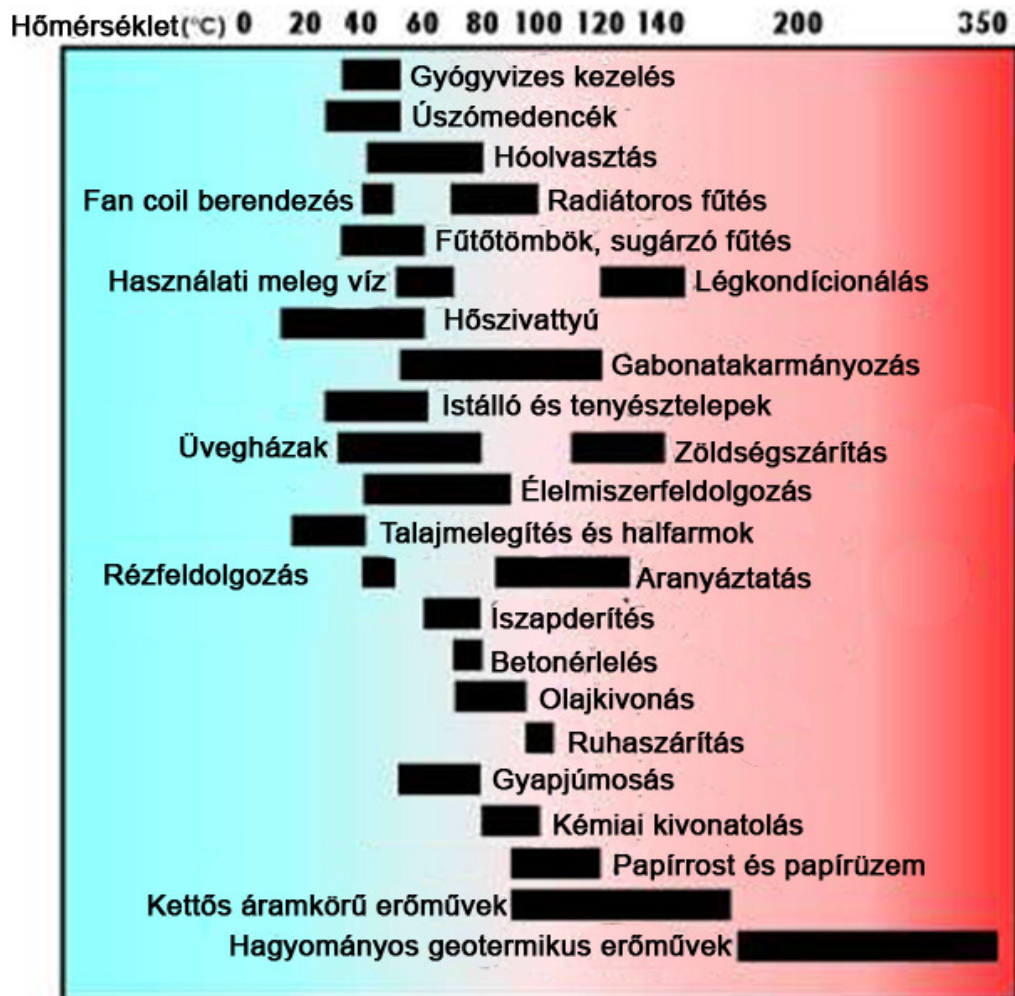
Különbség tehető víz- vagy folyadékalapú geotermikus rendszer, valamint gőzalapú (száraz) rendszer között (White, 1973). A vízalapú rendszerekben a víz állandó nyomású és folyékony halmazállapotú, néminemű gáz jelenlétét feltételezve, mely különálló buborékok formájában lehet jelen. E rendszerek, melyek hőmérséklete 125 és 225°C között van, a legelterjedtebbek a világon. A hőmérséklet és a nyomásviszonyok függvényében forró víz, víz-gőz keverék, nedves gőz, vagy egyes esetekben szárazgőz nyerhető belőle. A gőzalapú rendszerekben folyékony és gőz halmazállapotú víz egyszerre van jelen a tározóban, ahol a gőz a folytonos, állandó nyomású állapot. E magas hőmérsékletű, ritka rendszerek legismertebb példái az olaszországi Larderelloban, vagy a Kaliforniában a gejzíreknél találhatóak. Jellemzően száraz, vagy túlhevített gőzt termelnek.

A geotermikus rendszerek másik felosztási lehetőségét kínálja a víztározók egyensúlyi állapotának vizsgálata (Nicholson, 1993), figyelembe véve a tározóban zajló áramlásokat, és a hőközlés folyamatait. A dinamikus rendszerekben a víztározó folyamatos vízutánpótlást kap, mely később vagy a felszínre, vagy vízáteresztő kőzetekbe távozik a tározóból. A hő áramlással és fluidum keringéssel jut a rendszerbe. E kategóriába magas (> 150°C) és alacsony (<150°C) hőmérsékletű rendszerek tartoznak. A statikus (esetleg mozdulatlan vagy tároló) rendszerek esetén a tározó

csékély vagy semmilyen utánpótlást nem kap, és a hőt kizárólag hővezetés révén kapja. E rendszerek alacsony hőmérsékletűek vagy geonyomásúak.

3. A GEOTERMÁLIS ENERGIAFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSA

Az elektromos áramtermelés jelenti a magas hőmérsékletű (> 150°C) geotermikus rendszerek legfontosabb felhasználási területét. A közepes és az alacsony hőmérsékletű (<150°C) energiaforrások sok másra is alkalmazhatók. A hagyományos Lindal-diagram (Lindal, 1973) a különböző hőmérsékletű geotermikus fluidumok felhasználási lehetőségeit mutatja (3. számú ábra). A 20°C alatti vizek ritkán, vagy nagyon különleges esetben kerülnek felhasználásra, esetleg hőszivattyúk számára.



3. számú ábra – A geotermikus fluidumok felhasználását mutató diagram (Lindal nyomán; Lindal, 1973)

3.1 A HŐ KÖZVETLEN FELHASZNÁLÁSA

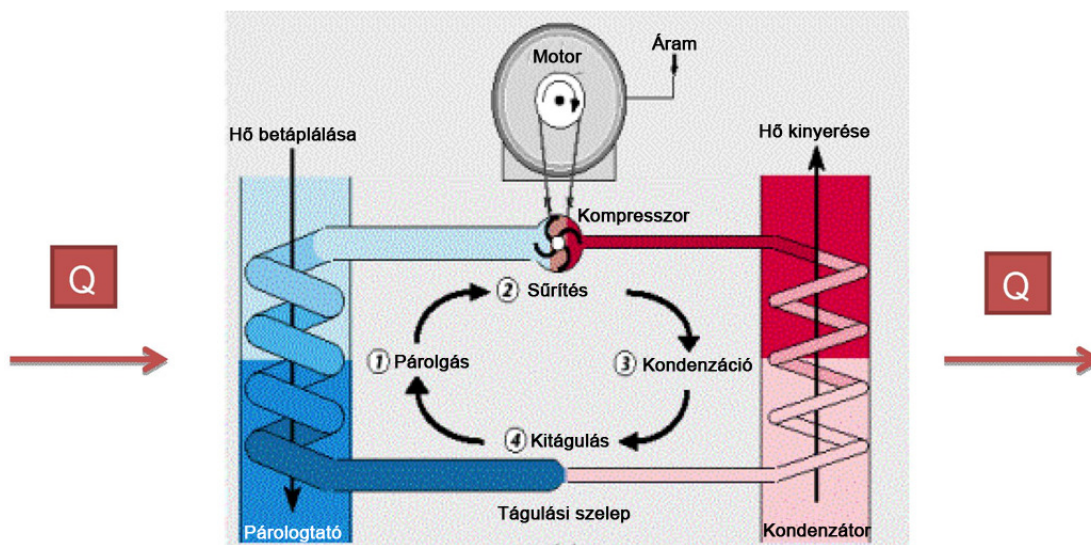
A 90°C alatti hőmérsékletek esetén a geotermikus víz közvetlenül is felhasználható, az elektromos árammá alakítás kiiktatásával. A felhasználás legismertebb példája a fűtés, víz hőhordozójú fűtőtestek vagy padlófűtési rendszerekkel; lehetséges a mező – és akvakulturális (vízművelési) felhasználás, valamint az ipari alkalmazás. Ha a víz hófoka 40°C alatt marad, hőszivattyús fűtő- és hűtőberendezések működtethetők. Ha földalatti víz nem érhető el, a hőszivattyúk a földhőcserélőkkel kombinálhatók.

3.1.1 A HŐSZIVATTYÚK MŰKÖDÉSI ELVE

A hőszivattyú (4. számú ábra) egy termodinamikai gép, mely kis mélységekben (10-100 méter) lehetővé teszi hő kinyerését alacsony hőmérsékletű földből vagy áramló közegekből, és magasabb hőmérsékletet ad le környezetének fűtési céllal. A hőszivattyú előnye, hogy a felhasznált villamos energia minden egységére körülbelül háromegységnyi hőenergia jut geotermikus víz alkalmazásával.

Hűtés esetén a hőt a levegőből kell elvonni, majd a talajba vezetni, míg fűtés esetén a hő a földből nyerhető, és a levegőbe vezethető.

A hőszivattyú működése a termodinamika második tétele értelmében (az energia bármilyen transzformációja hővesztéssel jár) korlátozott hatásfokú – akárcsak minden termodinamikai gép –, és maximális hatásfoka a Carnot-ciklus segítségével számítható. A hőszivattyúkat egy teljesítményt leíró együtthatóval lehet jellemezni, mely a termelt egységnyi energia, valamint annak kinyeréséhez felhasznált, gépbe táplált energia arányát mutatja meg.



4. számú ábra – Geotermikus hőszivattyúk

3.2 ELEKTROMOS ÁRAMTERMELÉS

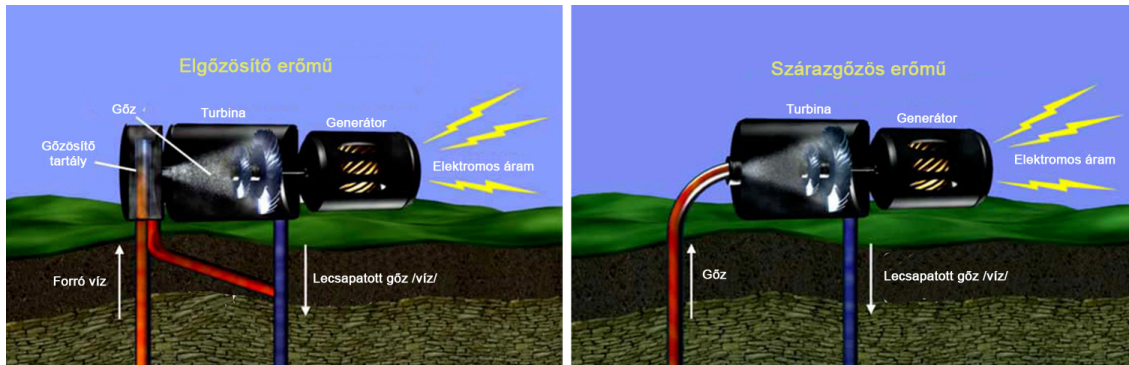
A nagy entalpiával rendelkező geotermikus energia jellemzően elektromos áram termelésére fordítható.

Egy jellegzetes, elektromos áramtermelésre használt geotermikus rendszer nagyjából 10 kg gőzt igényel 1 kWh áram előállításához. Nagymennyiségű, több száz megawattnyi áramhoz nagy mennyiségű fluidum szükséges. Így a geotermikus rendszerek egyik alapkövetelménye, hogy nagy mennyiségű fluidumra van szüksége nagy hőmérsékleten, vagy egy olyan potenciális tározóra, melybe vizet vezetve a fluidumok felmelegíthetők a kőzettel való érintkezésük révén.

A geotermikus áramtermelés három alapvető fajtája a *kettőskörű*, a *szárazgőzös* (vagy *gőzös*), és az alacsony nyomásba vezetett forró vízzel működő *gőzösítő* (flash) erőmű. Az egyes típusok energiatermelése függ a tározók hőmérsékletétől és nyomásától, és mindegyik más hatást gyakorol a környezetére.

A jelenleg legelterjedtebb megoldás a vízhűtővel kapcsolt gőzösítő erőmű, melyben víz és gőz keverékét nyerik a kutakból. A gőzt egy felszíni tartályban (gőzszeparátor) választják ki, majd a generátorokat hajtó turbinákba vezetik.

Egy szárazgőzös rendszerben turbinákat és a generátorokat hajtó gőz közvetlenül a geotermikus tározóból származik, és semmilyen szeparáció nem szükséges, mivel a kutakból kizárólag gőz nyerhető. Az 5. számú ábra mutatja az elgőzösítő és szárazgőzös erőmű közti különbséget.

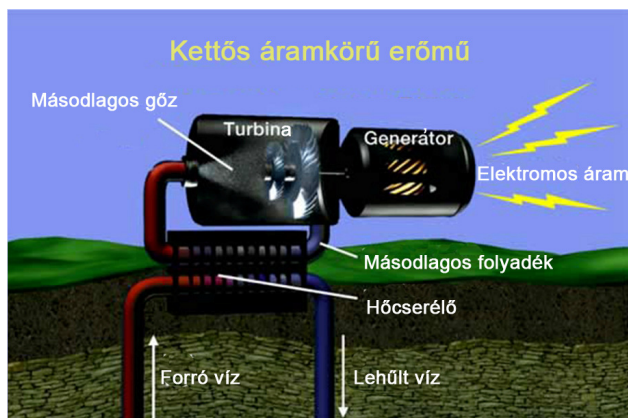


5. számú ábra – Elgőzösítő és szárazgőzös erőművek ábrái

A geotermikus technológia fejlődése révén gazdaságossá vált az áramtermelés alacsonyabb hőmérsékletű (100-150°C) energiaforrásokból is. A kettős áramkörű geotermikus erőművek kibocsátása a többi technológia alacsony értékéhez viszonyítva is kisebb kibocsátással rendelkezik. A két áramkörös rendszerben a geotermikus víz egy másik folyadékot fűt, így pl. izobutánt (jellemzően n-pentánt), mely alacsonyabb forrásponttal és alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb gőznyomással rendelkezik, mint a víz és a vízgőz. A két folyadék teljesen elkülönítve kering, és egy hőcserélő használatával nyerhető ki a geotermikus víz hője a fűtőfolyadék számára. A másodlagos folyadék elpárolog, és a táguló gőz nyomása hajtja meg a generátorokat működtető turbinákat. A zártrendszerű hőcserélőt használó geotermikus elektromos erőmű így igényel egy geotermikus folyadékot (elsődleges folyadék), melynek hőjével felmelegíthető az alacsonyabb forráspontú fűtőfolyadék (másodlagos folyadék), mely utóbbi elpárologva meghajtja a generátorokat hajtó turbinákat.

Másodlagos folyadékok alkalmazásával a kettős rendszereket 85-170°C geotermikus fluidumok kiaknázására használhatók. A hőmérséklet felső határát a szerves fűtőfolyadékok magas hőmérsékleten tapasztalható stabilitása szabja meg, míg az alsó határ műszaki és gazdasági tényezők függvénye: e hőmérséklet alatt a hőcserélők szükséges mérete már gazdaságtalan megoldást szülne. Az alacsony és közepes hőmérsékletű geotermikus fluidumok és hulladék fluidumokon túl, a kettős áramkörű rendszerek ott is alkalmazhatók, ahol a geotermikus fluidumok elgőzösítése kerülendő, például a kút nyomásbíró tömítésének elhagyása érdekében. Ez utóbbi esetben a kút szivattyúi nyomás alatt folyékony halmazállapotban tarthatják a fluidumot, és a közegekből az energia bináris rendszerek révén nyerhető ki. Egy 1990-es években kifejlesztett rendszer, a Kalina-ciklus víz és ammónia keverékét használja fűtőfolyadéknak: a másodlagos folyadék túlhevített állapotba kerülve kitágul és hajtja meg a nagynyomású turbinát, majd újra megmelegítve lép be a kisnyomású turbinába. A második kitágulás után a telített gőz áthalad egy visszanyerő hőcserélőn, mielőtt egy vízhűtéses lecsapató berendezésbe kerül.

Ha az erőmű léghűtést alkalmaz, a geotermikus fluidumok sosem érintkeznek a levegővel a földalatti víztározóba való visszajuttatásukat megelőzve, gyakorlatilag megszüntetve a káros anyag kibocsátást. E 1980-as években kifejlesztett technológia már elterjedt a világ azon erőműveiben, ahol csak alacsony hőmérsékletű energiaforrás áll rendelkezésre. Az alacsony hőmérsékletű vizek ilyen módú felhasználhatósága növeli az energiatermelési céllal kiaknázott geotermikus víztározók számát. A 6. számú ábra egy kettős áramkörű erőművet mutat.



6. számú ábra – Kettős áramkörű geotermikus erőmű

A mai technológiai színvonalon, a geotermikus erőművek 100°C feletti, és 4 kilométernél kisebb mélységből származó energiaforrásokból képesek gazdaságos áramtermelésre. Magyarán, egy alacsony hőmérsékletű energiaforrás csak kis mélységből kinyerve válik gazdaságilag kedvezővé, míg a négy kilométeres mélységekből származó fluidumok kitermelése csak magas hőmérséklet esetén lehet nyereséges; ily módon e két tényező kiegyenlíti egymást. Emellett a gazdasági megvalósíthatóság szempontjából figyelembe veendő az energiaforrás mérete, a kutak termelékenysége, valamint más, egyéb tényezők.

4. GEOTERMIKUS ENERGIAFORRÁSOK KUTATÁSA

A geotermikus víztározók azonosítása összetett feladat, mely számos fázisból áll az adott területen végzett felszíni kutatástól kezdve. Ez a vizsgálat egy kezdeti értékeléssel kezdődik, mely a *felszíni geotermikus jelenségeket* (forró vizes források, fumarolák, gőzkitörések, gejzírek) veszi sorra, majd a geológiai, geokémiai és geofizikai vizsgálatokkal, majd néhány száz méter mély kísérleti kutak fúrásával folytatódik, és célja a hőmérséklet, a geotermikus gradiens és az átlagos földi hőáram meghatározása.

Az összegyűjtött adatokból meghatározható a további, mélykutatások helyszíne, ahol kutak akár négyezer méter mélységig történő fúrásával válik igazolhatóvá a geotermikus fluidumok léte.

Pozitív eredmények esetén megkezdődhet az azonosított geotermikus mező kiaknázása, a geotermikus fluidumok (forró víz és vízgőz) kinyerése kellő számú kút fúrásával.

4.1 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A geotermikus vizsgálatok célja (Lumb, 1981):

1. Azonosítani a geotermikus jelenségeket;
2. Megbizonyosodni egy hasznosítható geotermikus mező létéről;
3. Megbecsülni az energiaforrás méretét;
4. Meghatározni a geotermikus mező jellegét;
5. Megjelölni a hasznos területek elhelyezkedését;
6. Megbecsülni a kutak által a geotermikus mezőből szolgáltatott fluidumok hőtartalmát.
7. Összeállítani az alapadatokat táblázatát, mely alapján a jövőbeli gazdasági számítások elvégezhetők.

4.1.1 SZÜKSÉGES BEMENETI ADATOK.

Minden létező geológiai, geofizika és geokémiai adat összegyűjtendő.

A geológiai és hidrogeológiai tanulmányok képezik minden felderítési folyamat elejét, és alapvető céljuk az alaposabb kivizsgálásra érdemes területek elhelyezkedésének és kiterjedésének meghatározása, valamint a további kutatások legalkalmasabb módszereire történő javaslat tétele. A geológiai és hidrogeológiai tanulmányok a geotermikus kutatások valamennyi későbbi fázisban fontos szerepet játszanak, egészen a kísérleti és kitermelő fúrások pontjaiig; háttéradatokat szolgáltatnak a más eljárásokból nyert eredmények értelmezéséhez, valamint alapul szolgálnak a geotermikus rendszerek modelljeinek felállításához és a bennük rejlő potenciál értékeléséhez.

A geokémiai vizsgálatok – beleértve az izotópok geokémiáját – hasznosak a geotermikus rendszer víz- vagy gőzalapú jellegének megállapításához, egy megadott mélységben mért minimumhőmérséklet meghatározásához, a vízforrás egyneműségének feltárásához, a mélységi fluidum kémiai összetételének felderítéséhez, és a rendszert utántöltő víz eredetének feltérképezéséhez. E kutatások révén értékes információk nyerhetők a fluidum visszatöltése és az erőműi felhasználás (így a fluidum összetételének változása; korrózió és vízkövesedés a csöveken és az erőmű berendezésén, környezetihatások) során felmerülő problémákról, s ezek elkerüléséről vagy megoldásáról. A geokémiai vizsgálat a kút-, vagy geotermikus (forró vizes források, fumarólák stb.) forrásból származó víz vagy gőz kémiai vagy izotópos vizsgálatát jelenti a kérdéses területen. Mivel a geokémiai kutatás hasznos információval szolgál az energiaforrás kiaknázását illetően, és költségei is viszonylag alacsonyak más, kifinomultabb megoldásokhoz képest – így a geofizikai felméréssel szemben –, így a geokémiai vizsgálatok legkimerítőbb végrehajtása célszerű más, költségesebb módszerek alkalmazása előtt.

A geotermikus területek további vizsgálatát más, fluidum forrásként szolgáló víztározók helyét meghatározó geofizikai eljárásoknak (gravimetrikus, mágneses és elektromos kutatások, forró vizek kémiai elemzés) kell követniük.

A geofizikai vizsgálatok célja a felszíni, vagy felszín közeli rétegekből nyert adatok révén közvetett módon következtetni a mélységi geológiai formációk fizikai tulajdonságaira. E fizikai tényezők:

- hőmérséklet (termikus vizsgálat);
- elektromos vezetőképesség (elektromos és elektromágneses eljárások);
- longitudinális rugalmas hullámok sebességének gerjesztése (szeizmikus vizsgálat);
- sűrűségmérés (gravitációs vizsgálat);
- mágnesezhetőség (mágneses vizsgálat).

A fentiek közül egyes eljárások, így az olajkutatásból is ismert szeizmikus, gravitációs és mágneses vizsgálatok értékes információt szolgáltathatnak a geotermikus rezervoárnak alkalmas mélységi geológiai struktúrák méretéről, alakjáról és egyéb fontos jellemzőiről, ugyanakkor kevésbé alkalmasak annak meghatározására, hogy e rendszerek tartalmazznak-e egyáltalán valamilyen fluidumot, mely pedig a kutatás legalapvetőbb kérdése és célja. Az említett vizsgálatokat ezért a teljes kutatás végén érdemesebb elvégezni, a kísérleti kutak létesítését megelőzően, a részletek tisztázása érdekében.

A geológiai struktúrák víztartalmát elektromos és elektromágneses vizsgálatokkal lehet igazolni, melyek minden más meglévő eljárásnál érzékenyebbek a fluidumok hőmérsékletet illetően; e két eljárást széles körben alkalmazzák sikerrel. A termikus vizsgálatok (hőmérsékletmérések, a geotermikus gradiens és a földi hőáram mérése) jó közelítést adják tározó tetején mért hőmérsékletértéknek.

A kísérleti kutak forrása a geotermikus kutatási program végső és egyben egyetlen fázisa, mellyel a geotermikus rezervoár valós jellemzői, és így potenciálja pontosan meghatározhatók (). A kísérleti kutak által szolgáltatott adatoknak minden más felszíni hipotézist és modellt igazolniuk kell. A vizsgálat végén biztonsággal kell megállapítani, hogy a rezervoár termelékeny és elegendő mennyiségben tartalmaz megfelelő tulajdonságú fluidumot a kiaknázáshoz. A kísérleti kutak forrása ezért egy nagyon érzékeny része a kutatásnak.

A geotermikus vizsgálat számos lépése három kutatási szakaszba sorolható:

- a termikus viszonyok felderítése a földi hőáram térképek alapján való meghatározásával;
- a hidrogeológiai térképek tanulmányozása a talajvizek területi elhelyezkedésének meghatározásához;
- kísérleti fúrások elvégzése, és fluidumok kinyerése.

Csak a felszíni vizsgálatok által igazoltan kinyerhető energiaforrás esetén lehet a kutatást mélyfúrásokkal folytatni.

4.1.2 KIINDULÁSI ADATOK HOZZÁFÉRHETŐSÉGE ORSZÁGONKÉNT

Bulgária

- kutak listája földrajzi koordinátával; kutak mélysége; maximális és minimális hőmérséklet Celsius fokban, 500 és 2500 méteres mélységtartomány között;
- regionális földtani térkép jelmagyarázattal, rétegtani (sztratigrafikus) metszetek.

Horvátország

- Horvátország nagyléptékű geológiai térképe;
- térkép a geotermikus területekről és felhasználásuk helyszínéről;
- lista Muraköz megye (Međimurje) öt kútjának mélységi és hőmérsékleti adatairól.

Macedónia

- Macedónia geotermikus helyszíneinek nagy léptékű térképe, a vízhozam és a hőmérséklet adataival;
- térkép Macedónia legkiemelkedőbb geotermikus helyszíneinek tektonikus körülményeiről;
- Macedónia földtani térképe (lépték nélkül);
- Macedónia hidrogeológiai térképe, az ásványtartalmú hőforrások és kutak helyzetével;
- Macedónia termálvizei és fizikai jellemzőik;
- Macedónia termálvizeinek makrokomponens szintű összetétele;
- térkép a skopjei geotermikus mezőről;
- térkép a podlog-istibanjai geotermikus mezőről;
- térkép a kočani geotermikus mezőről;
- térkép a stromvec-kumanovói geotermikus mezőről;
- térkép a kratovói geotermikus mezőről;
- térkép a sztrumicai geotermikus mezőről;
- térkép a kezovicai geotermikus mezőről;
- térkép a gevgelijai geotermikus mezőről;
- térkép a debari geotermikus mezőről;
- Macedónia geotermikus energiaforrásainak becslése és fejlesztési lehetőségei.

Magyarország

- geotermikus rezervoárok térképe;
- nagy entalpiájú (>150 °C) karbonátos geotermikus rezervoárok térképe;
- a geotermikus kutak listája és adata excel formátumban;

- publikációk:
 - o Kovács Balázs, Szanyi János, Tóth M. Tivadar, Vass István: Geothermal heat potential of Hungary with special regards to high enthalpy basement (Termálvizeink hasznosítási lehetőségei entalpiájuk függvényében);
 - o Kujbus Attila: Geothermal power plant concepts in the Pannonian basin in Hungary (Javaslat a geotermikus energia hazai hasznosításának növelésére);
 - o Liz Battolcletti: Geothermal Resources in Hungary;
 - o Kármán H. Franciska, Kurunczi Mihály, Ádám Béla, Varga Roland: Pilot plant geothermal project for multiple integrated use in Hungary;
 - o Integrated feasibility study on geothermal utilisation in Hungary (Integrált megvalósíthatósági tanulmány a geotermikus energia magyarországi felhasználására);
 - o kutak térképe a Quantum GIS rendszerében.

Szlovákia

- három Kassa környéki geotermikus kút vízhozam és hőmérséklet adatai;
- a Kassai kerület geotermikus energia potenciálját mutató térképek
 - o földrajzi térkép
 - o digitális felszínmodell (*Digital Terrain Modell, DTM*);
 - o terep lejtéstérképe;
 - o geotermikus területek a kutak elhelyezkedésével;
 - o a hőmérséklet Celsius-fokban mért értékei különböző mélységekben;
 - o földi hőáram-sűrűség térképei;
 - o kémiai adatok;
 - o izotermák 500 méteres mélységben vett térképe;
- kőzetek alapvető geokémiai tulajdonságait mutató shapefile;
- shapefile a geomorfológiai egységekről;
- shapefile kutakról és hőmérsékletük Celsius-fokban 500-6000 méteres mélységig mért értékéről;
- földtani törések, vetődések és hőáramok térképe.

4.1.3 A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKRÓL SZÓLÓ TÉRKÉPEK FELHASZNÁLÁSA

A megújuló energiaforrások, így a geotermikus energiaforrások térképét a *Geographic Information System (GIS, Földrajzi Információs Rendszer)*, az *ArcGis 9* és az *Arcmap 9.2* programmal lehet előállítani. A GIS a leghatékonyabb rendszer a téri, földrajzi és egyéb adatok kezeléséhez, mely alkalmas azok kezelésére, elemzésére és bemutatására. A földrajzi adatok halmazát képezi minden adatkészlet (így például a fizikai tulajdonságok és földhasználati tevékenységek adatai), mellyel létrehozható a digitális modell. A GIS rendszerek e fizikai kérdések kezelésére és megoldására létrehozott számítógépes rendszerek.

A fizikai és földrajzi viszonyokról szóló adatokat egy adatbázis tárolja, mely dinamikus kapcsolatban van a képernyőn megjelenített térképpel. A GIS rendszere öt fő szereplőből áll:

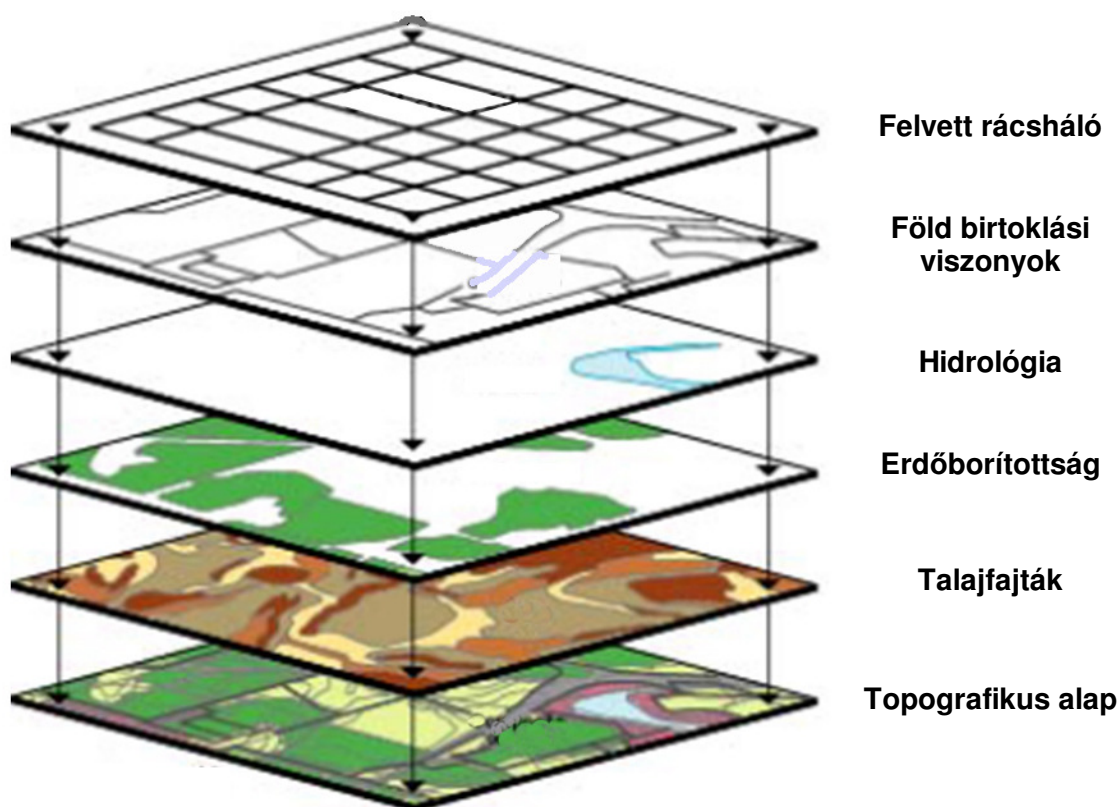
- a GIS képzett szakemberei;
- az információ alapjául szolgáló adatok, melyeket általános GIS-struktúrát alkalmazó adatbázisokból, úgynevezett geodatabázisokból (*Geodatabase*) lehet nyerni;
- hardverek és műszerek, melyek alkalmasak az adatgyűjtéshez, a nyert adatok feldolgozásához és tárolásához, információ bemutatásához és azok közzétételéhez. E körbe tartoznak olyan berendezések, mint a GPS, a számítógépes rendszerek, digitalizáló műszerek, nyomtatók stb.;
- szoftverek, az adatok kezelésére alkalmas különleges számítógépes programok, melyekkel a problémamegoldáshoz szükséges téri elemzések lefolytathatók;

- módszertani eljárások, melyekkel a munkafolyamat különböző lépései rendszerezhetők, beleértve az adatok gyűjtését, egybevetését, elemzését, információ kinyerését és a problémamegoldásra képes szaktudás alkalmazásával.

A GIS alkalmazása a földtudományokban

A Földrajzi Információs Rendszer a helyszínen specifikus adatok és információk kezelésére alkalmas legmodernebb eszköz, ennek köszönhető széles elterjedtsége a földtudományokban az egyszerűtől a bonyolultabb tevékenységekig, így a földrajzi és földtani folyamatok modellezéséig. A GIS geológiai, különösen a felszíni adatgyűjtések eredményeképp létrehozott mélységi térképek készítésére alkalmas, de felhasználható a felszíni mezőgazdasági, várostervezési és környezethasználati adatok megjelenítésére és követésére.

A téri adatbázisok (geoadatbázisok) és a belőlük létrehozott számítógépes modellek a földtani adatok legfontosabb megjelenítési formái, mivel ezek elsősorban a Föld felszínéhez és a rajta zajló eseményekhez kötődnek. A GIS technológia másik fontos jellemzői a szoftver további funkcióit képező különböző adatátviteli eszközrendszerek (ún. *geoprocessing*), melyek révén újabb adatkészletek nyerhetők a meglévő adatbázisokból. E körbe tartoznak olyan elemző funkciók, mint a statisztikai adatokra vonatkozóak. A földrajzi megjelenítés (*geo-visualisation*) szintén fontos funkciója a GIS-nek, mely a különböző térképnézetek alapjául szolgáló információk között kapcsolatot teremtve hozza létre az összefüggésrendszereket bemutatni képes intelligens térképeket; tulajdonképpen egy nézetet biztosít az adatbázisra, a benne foglalt adatok lekérdezéséhez és elemzéséhez.



7. számú ábra – GIS modell

Minden földrajzi információs rendszernek képesnek kell lennie hat alapvető folyamat végrehajtására, hogy alkalmas legyen a geológiai problémamegoldásra. A GIS tartalmaz:

- bevitt adatot;
- tárolt adatot;
- lekérdezett adatot;
- elemzett adatot;
- megjelenített adatot;
- kimeneti adatot.

A geotermikus energiaforrások feltérképezésénél jellemzően számos forrásból származó rengeteg adat kezelésére van szükség. A geotermikus energiaforrás kiaknázásának minden lépésében, a forró víz- és gőzmezők felderítése, felbecsülése, kutatása, kitermelése és kezelése során az energiaforrás adatai helyszínhez kötöttek – magyarán földrajzi adatok –, így a GIS az információkezelés legalkalmasabb eszköze.

Egy átfogó geotermikus adatbázis létrehozása megkönnyítheti a tematikus térképek, így a megvalósíthatósági tanulmányok készítését is.

Az adott területre vonatkozó különböző szintű információ összegyűjtésével a GIS lehetővé teszi a kérdéses folyamatok és a meghatározó tényezők jobb megértését. Az ismeretek szintje és a felhasznált adatok minősége gyakorlatilag korlátlan, és csak a kívánt eredménytől függenek.

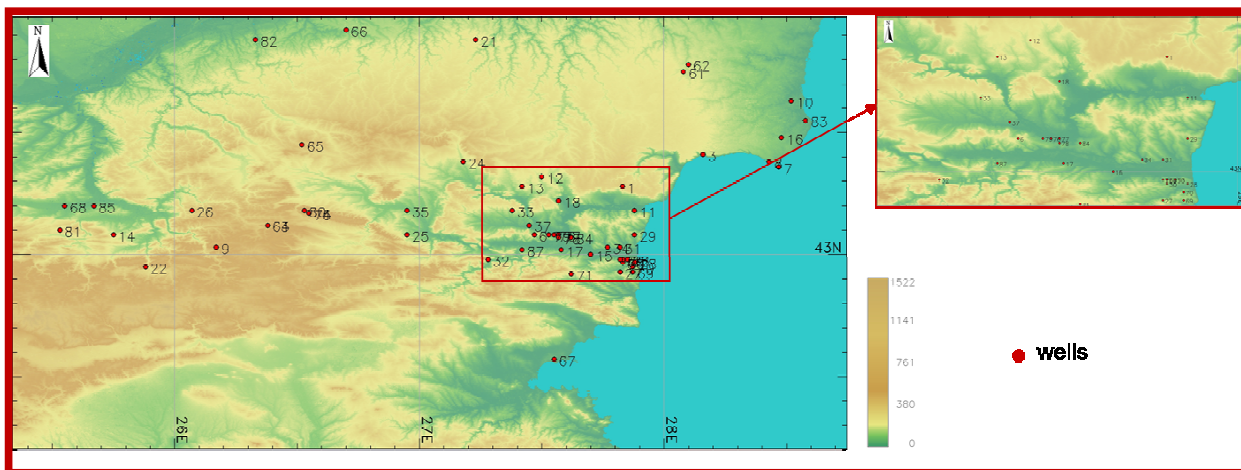
A GIS egyik meghatározó tulajdonsága az adatok földrajzi hivatkozásának megteremtése, így minden elemet a globális koordinátáinak megfelelően képes kezelni. A tereptárgy koordinátaadatai nem egy tetszőleges vagy más módon alkalmazott hivatkozási rendszerében jelennek meg, nem léptékben, hanem a valós földrajzi helyén és méretében tárolja a rendszer. A tereptárgy léptéke csak egy pontosságot és a grafikai megjelenítés felbontását leíró paraméterré válik. A GIS legfontosabb elve is ez, hogy minden tulajdonság és attribútum változatlan, s célja az, hogy az elemzett adat a döntéshozatal eszköze lehessen.

4.1.4 PÉLDA EGY MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁST ÁBRÁZOLÓ TÉRKÉPRE (RES MAP)

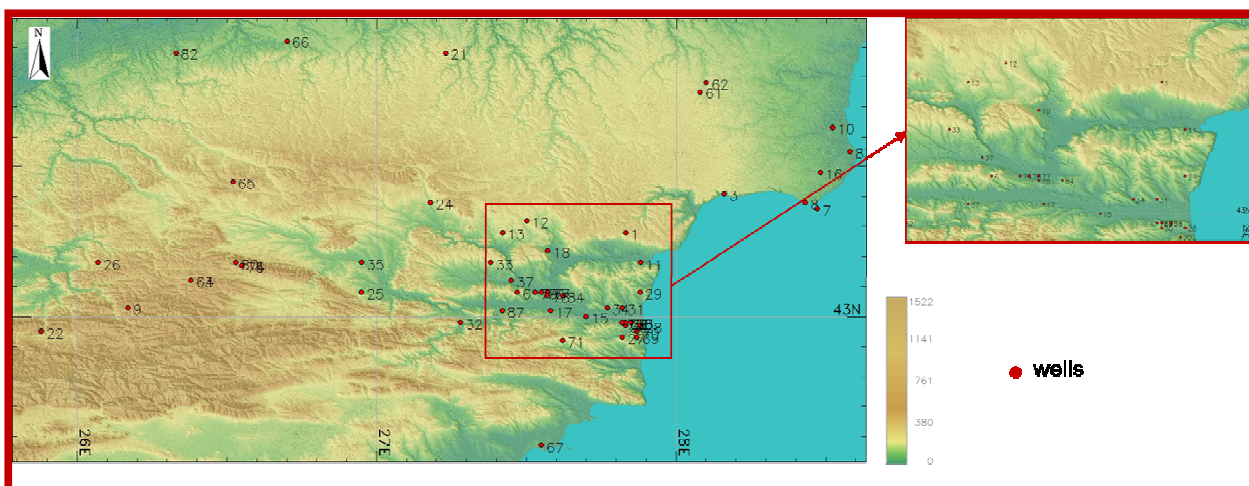
Az alábbiakban bemutatott példa Bulgária geotermikus viszonyait ábrázolja. Az alábbiakban több elkészült térkép egymásra helyezése történt:

- Dolni Čiflik térségét mutató digitális földfelszín modell (DTM – digital terrain model): a DTM-et a <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> honlapról lehet beszerezni; bejelentkezéssel, a kérdéses terület megjelölésével, és a térképszelvény letöltésével. A megszerzett DTM importálható a GIS rendszerébe, topografikus (helyrajzi) térképként, majd;
- digitális földfelszínmodell megjelenítése (például árnyékolással).
- a Dolni Čiflik körüli kutak helyszínei és földrajzi koordinátái;
- térkép az 500 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;
- az izotermákat 500 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép;
- térkép az 1000 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;
- az izotermákat 1000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép;
- térkép az 1500 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;
- az izotermákat 1500 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép;
- térkép a 2000 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;

- az izotermákat 2000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép;
- térkép a 2500 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;
- az izotermákat 2500 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép;
- térkép a 3000 méteres mélységben megrajzolható izotermákról, mutatva a földrajzilag meghatározott kutakat;
- az izotermákat 3000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép.



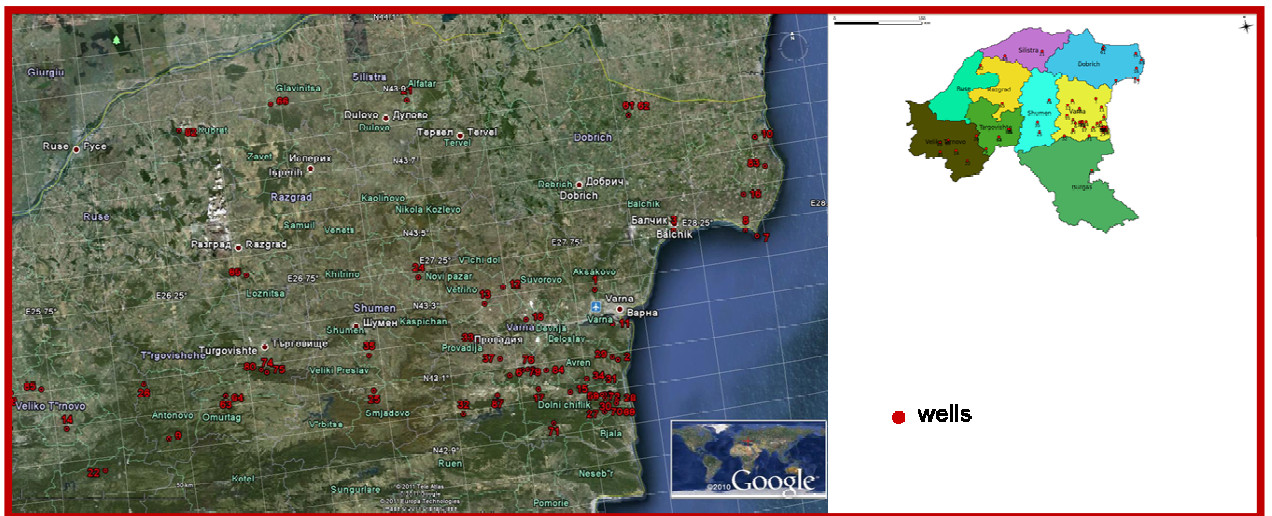
8. számú ábra – Dolni Čiflik térségét mutató digitális földfelszín modell (DTM)



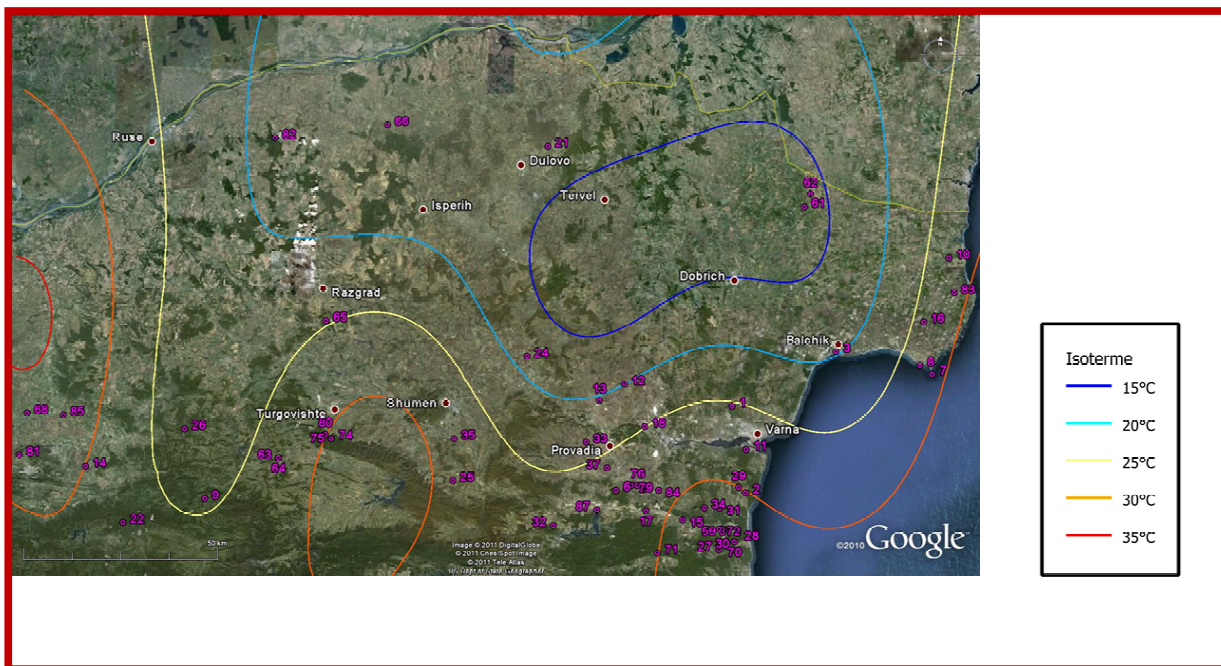
9. számú ábra – Digitális földfelszínmodell megjelenítése (árnyékolással).



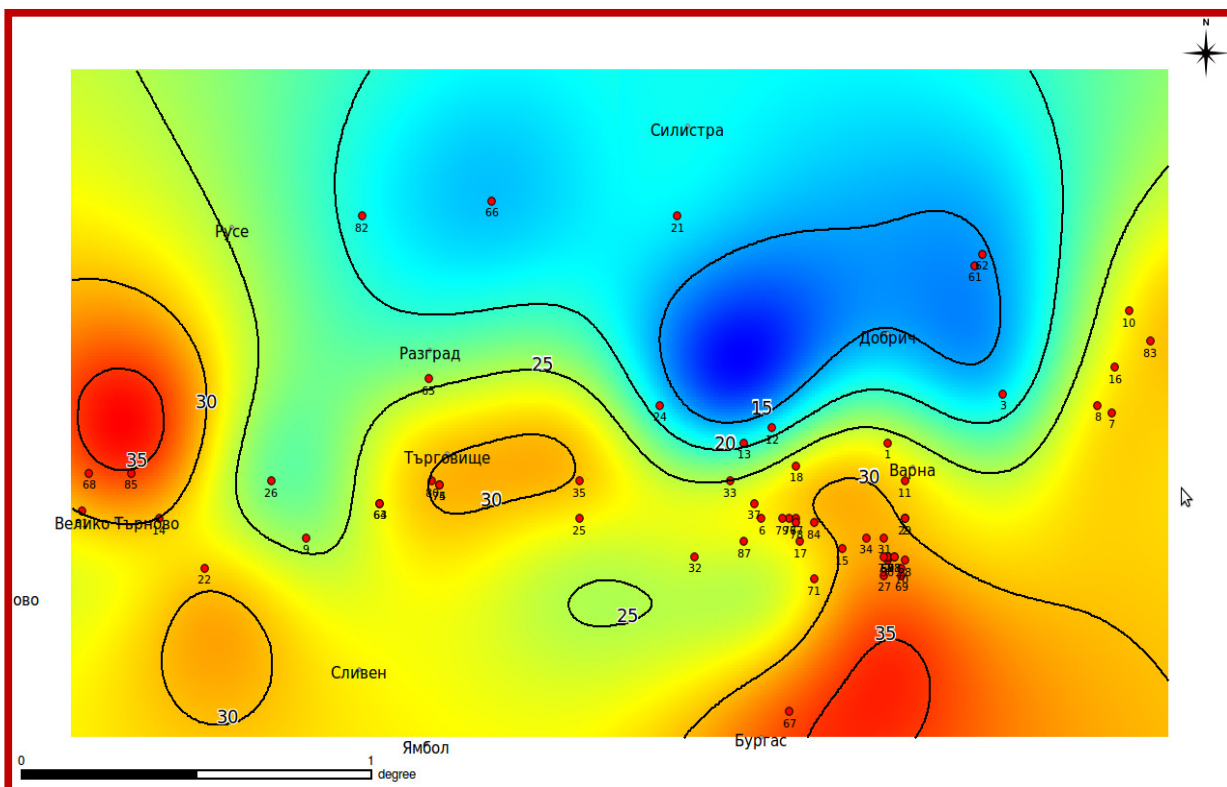
10. számú ábra – Termálkutak elhelyezkedése Észak-kelet Bulgáriában



11. számú ábra – Termálkutak elhelyezkedése Dolni Čiflik körzetében



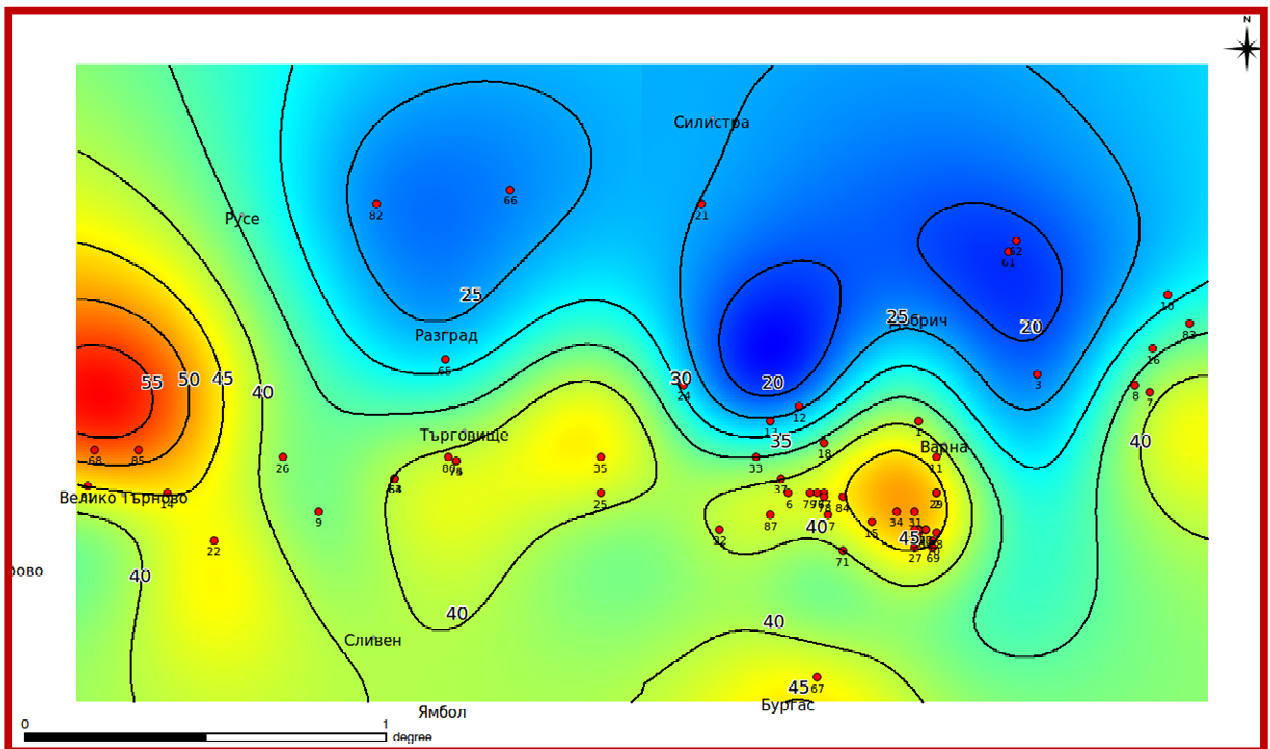
12. számú ábra – Térkép az 500 méter mélyen található izotermákról



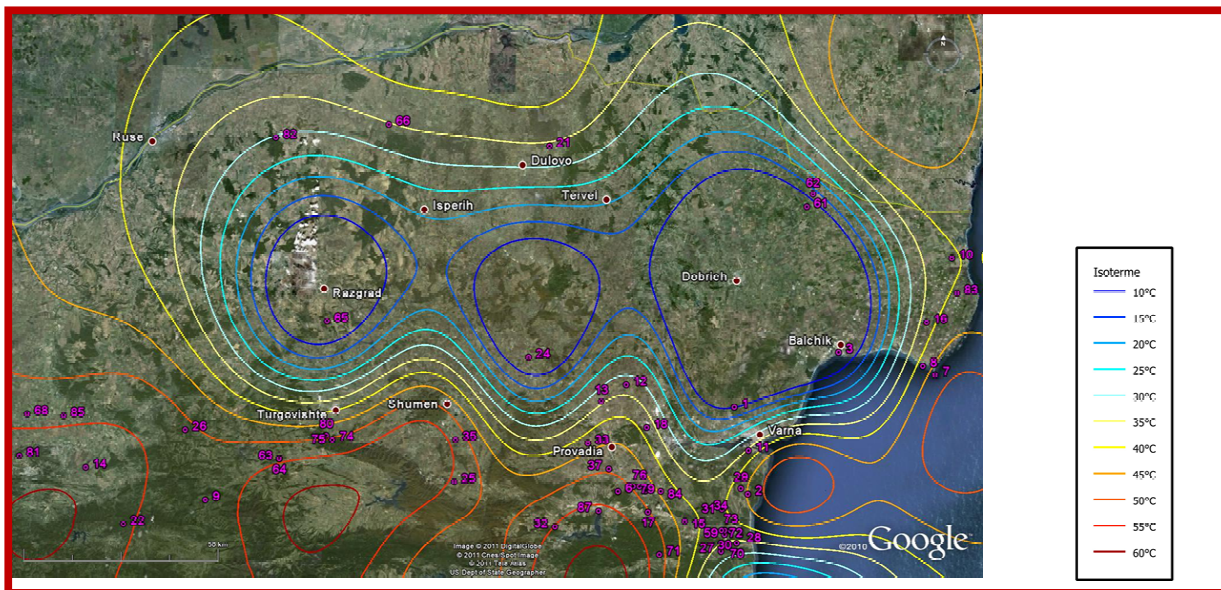
13. számú ábra - Az izotermákat 500 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép



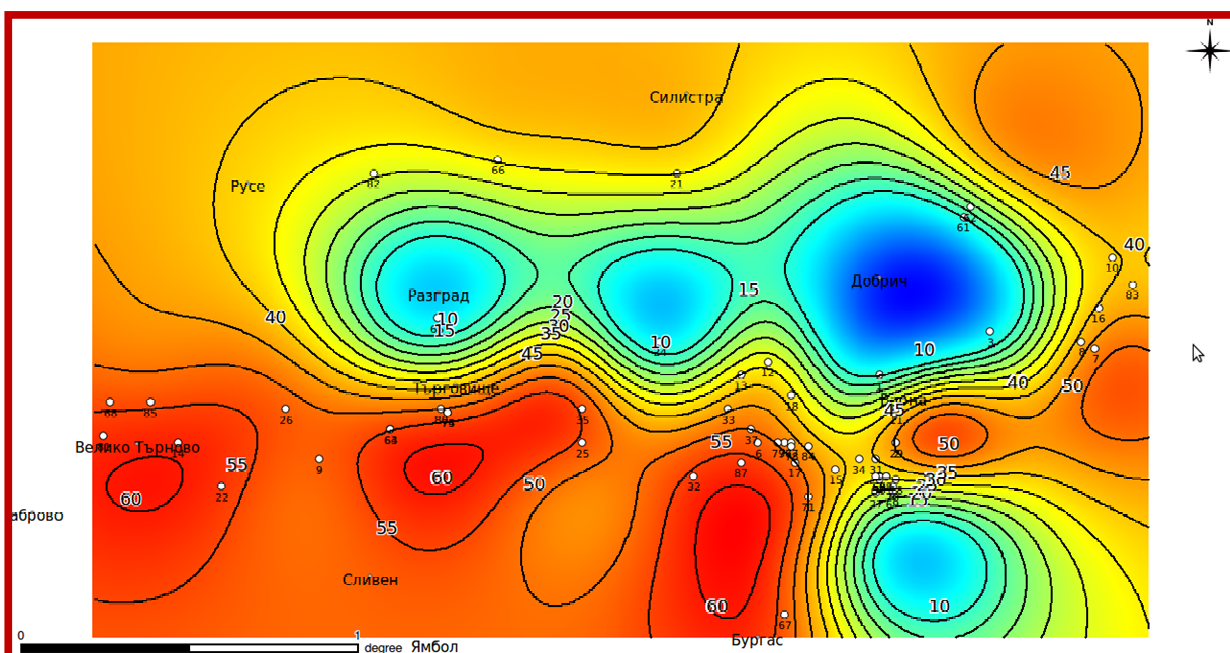
14. számú ábra – Térkép az 1000 méter mélyen található izotermákról



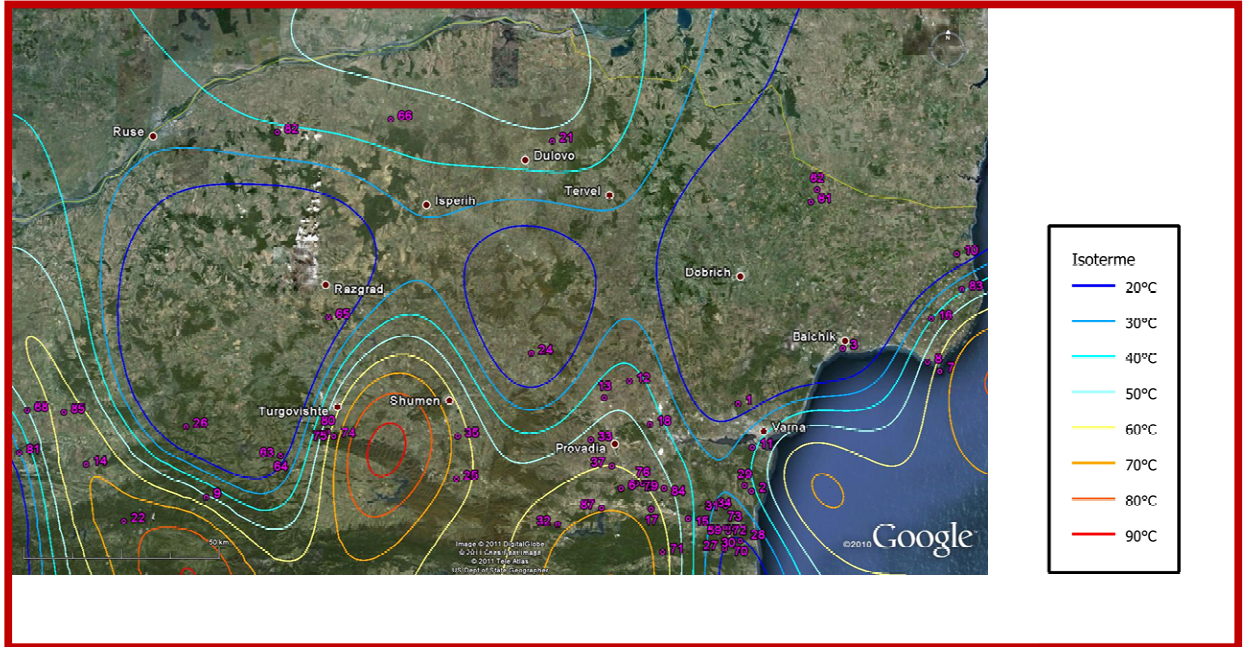
15. számú ábra - Az izotermákat 1000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép



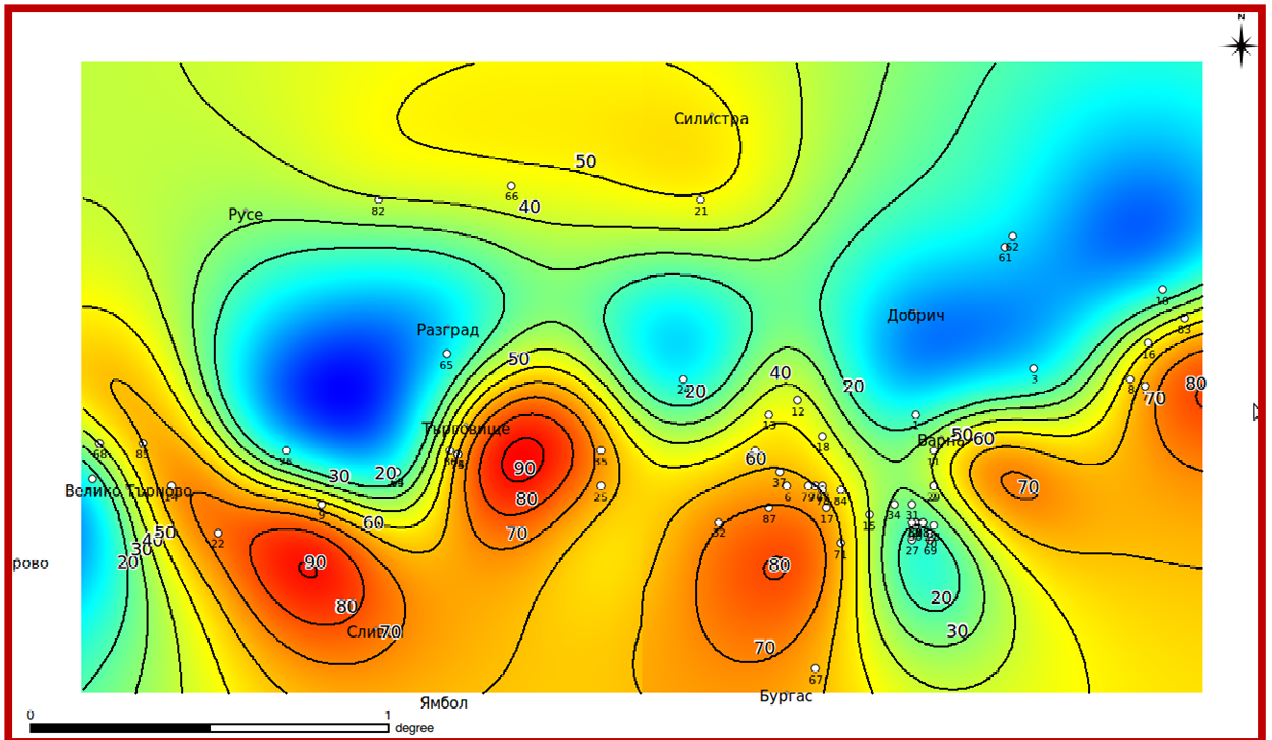
16. számú ábra – Térkép az 1500 méter mélyen található izotermákról



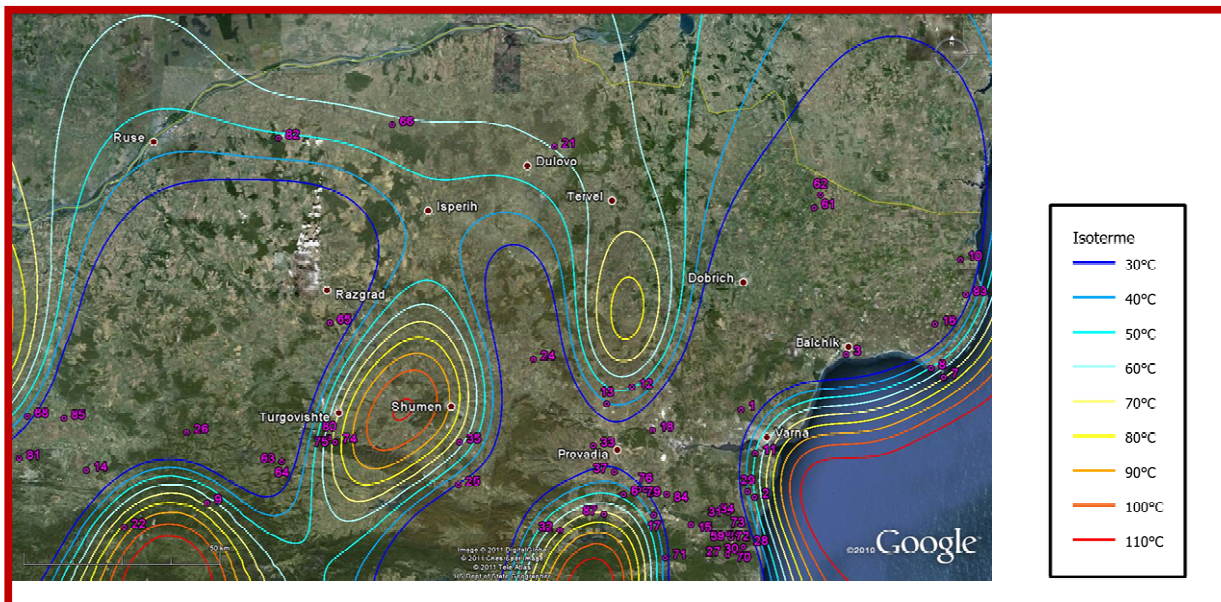
17. számú ábra - Az izotermákat 1000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép



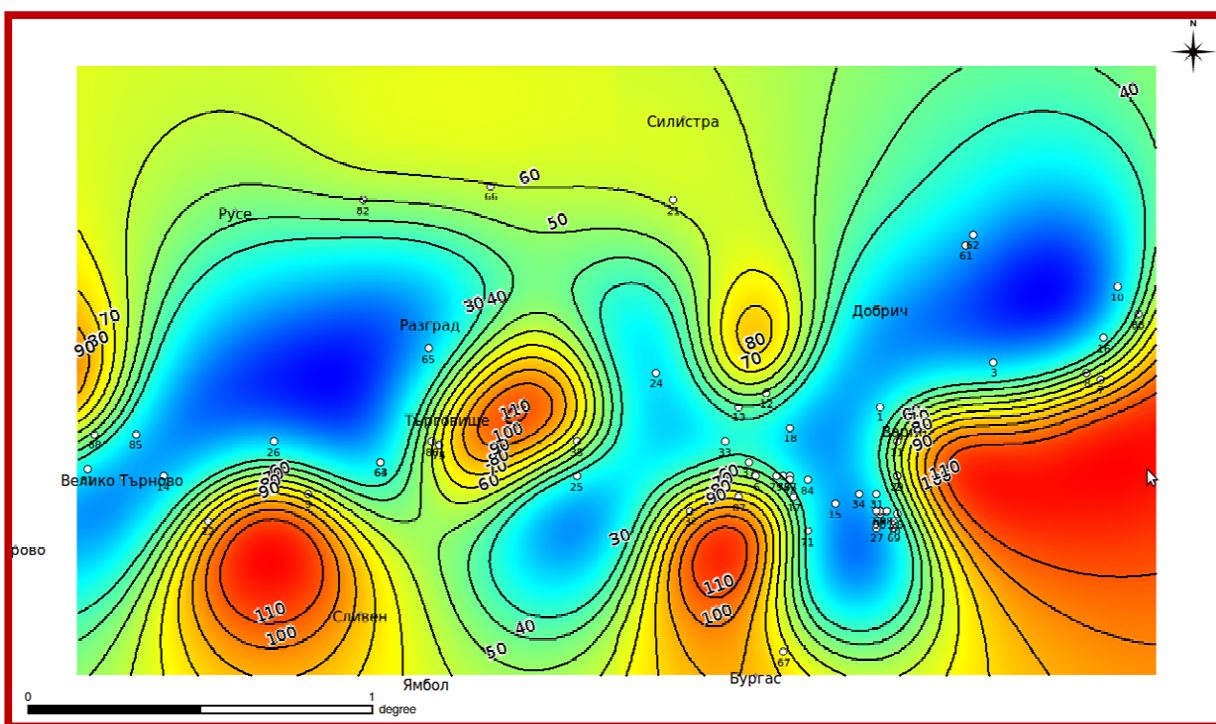
18. számú ábra – Térkép a 2000 mélyen található izotermákról



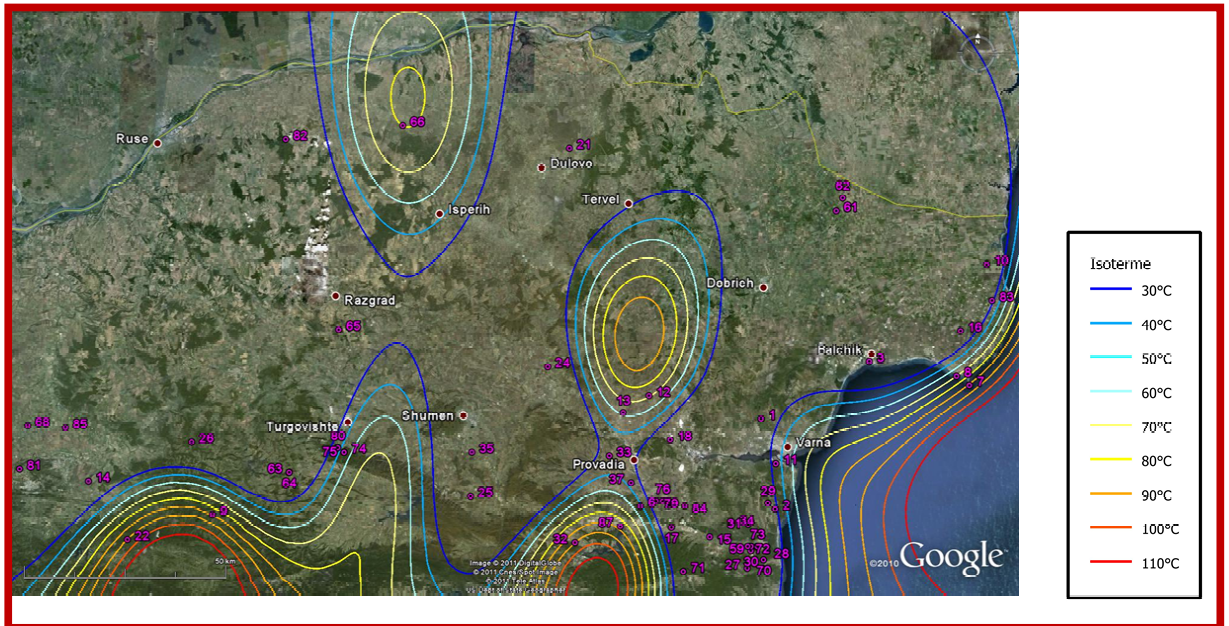
19. számú ábra - Az izotermákat 2000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép



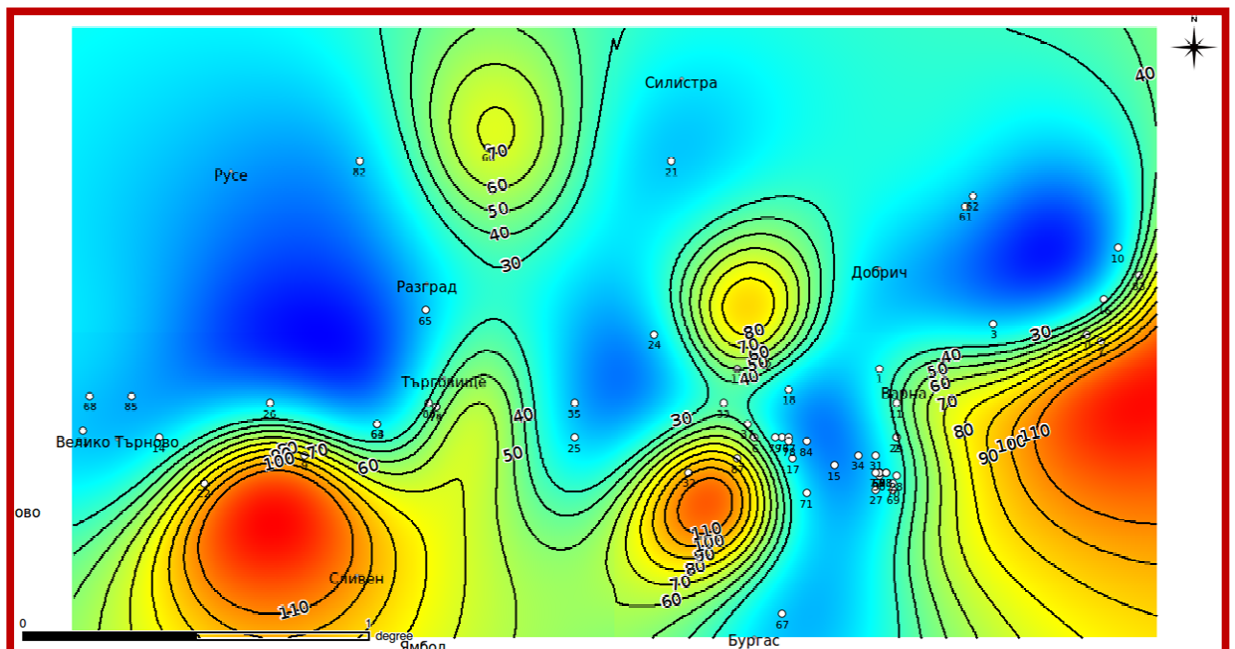
20. számú ábra – Térkép a 2500 méter mélyen található izotermákról



21. számú ábra - Az izotermákat 2500 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép



22. számú ábra – Térkép a 3000 méter mélyen található izotermákról



23. számú ábra - Az izotermákat 3000 méteres mélységben raszter interpolációval bemutató térkép

A fenti térképek jelzik a potenciálisan kiaknázható és fejleszthető területeket, és megkönnyítik a döntéshozatalt a meglévő kísérleti kutak között, a magasabb izotermába tartozók javára.

INDEX

Biomassza

GJ	Gigajoule – 10^9 Joule-nak megfelelő energiamennyiség.
PJ	Petajoule – 10^{15} Joule-nak megfelelő energiamennyiség.
kW_e	Elektromos kilowatt – 10^3 Wattnak megfelelő villamos teljesítmény
kW_{th}	Termikus kilowatt – 10^3 Wattnak megfelelő hő teljesítmény.
CO₂	Szén-dioxid.
CO_{2e}	A gázok szén-dioxid ekvivalense megmutatja, hogy az összes kibocsátott üvegházhatású gáz Földet melegítő képessége mennyi CO ₂ hatásának felelne meg. A metán huszonegyszeres hatású a szén-dioxidhoz képest, míg ugyanez az érték N ₂ O háromszáztízszeres.
N₂O	A di-nitrogén oxid üvegházhatású gáz, mely a talaj nitrogénjének bakteriális lebontása során, valamint égési folyamat során keletkezik.
Alkohol	Szénláncához kapcsolódó hidroxil-csoporttal (–OH) rendelkező szénhidrogén.
Anaerob lebontás	Szénvegyületek oxigénmentes közegben, mikroorganizmusok által végzett biológiai lebontása, melynek során metán (CH ₄), hidrogén (H ₂) valamint kis mennyiségben szén-dioxid CO ₂ és kén-hidrogén (H ₂ S) keletkezik.
Bioenergia	Biomassza feldolgozásából bármilyen technológia alkalmazásával származó hő- vagy villamos energia.
Bioszén	Fekete széntartalmú, szilárd halmazállapotú tüzelőanyag, mely a biomassza pirolíziséből származik.
Bioüzemanyag	Bármilyen technológia alkalmazásával előállított szilárd, folyékony vagy gáznemű energiahordozó, melyet égetésre szánnak. Egyes meghatározások kizárólag a közlekedés üzemanyagaira használják a kifejezést.
Cellulóz	Oldhatatlan kristályú, szőlőcukorból (glükózból) álló polimer, mely a növényi anyagok legnagyobb önálló molekuláris halmaza. Lásd még: lignocellulóz, szénhidrogén.
Égetés	A fűtő- vagy üzemanyag teljes oxidációja.
Elgázosítás	Szintetikus gáz előállítása céljából szénvegyületeken végzett hevítés és részleges oxidáció.
Erjesztés	Mikroorganizmusok levegő hiányában, oldató cukrokon végzett biológiai lebontó folyamatai, melyek eredményezhetnek metanolt, etanolt, butanolt és szén-dioxidot.
Fűtőérték	A fűtőérték az üzemanyag elégetése során felszabaduló energiamennyiséget jelöli.
Klímaváltozás	A globális átlaghőmérséklet emberi tevékenységek révén bekövetkező emelkedése, más néven: globális felmelegedés.
Kogeneráció	Villamos- és hőenergiát egyszerre szolgáltató energiatermelő létesítmény.
Lignin	Egy növényekben található sejtközi amorf molekula, melyhez aromás vegyületek kapcsolódnak. Lásd még: lignocellulóz.

Lignocellulóz	A sejtfalakban található oldhatatlan szénhidrát, mely a növényi alapú biomassza jelentős részét adja. Lignin anyagú kitöltésben rost- és hemicellulóz kötésű cellulózból áll.
Pirolízis	Széntartalmú vegyületek oxigénmentes hevítése szén, olaj és gáz termelése céljából.
Pirolízis olaj	Oxigénnel telített szénhidrogének összetett keveréke, mely a biomassza magas hőmérsékleten és oxigén hiányában történő depolimerizációjából származik.
Rendszeres nyesés (coppice)	Szabályos időközönként újránövés céljából levágott fák és cserjék.
Szénhidrát	Szénből, hidrogénből és oxigénből álló vegyület.
Szénhidrogének	Szénből és hidrogénből láncot alkotó vegyületek, melyek elágazó vagy gyűrűs szerkezetűek; ezek alkotják a folyékony üzemanyagokat.
Szén megkötése	A légköri szénvegyületek – elsődlegesen a széndioxid – beépülése közepes és hosszú távon az erdők, a talaj és a földkéreg anyagaiba.
Szintetikus természetes gáz (Synthetic natural gas, SNG)	Hidrogén (H ₂) és szén-monoxid (CO) elgázosítás révén előállított keveréke, mely elégethető, vagy más kémiai reakciókban felhasználható.
Üvegházhatású gáz	Az üvegházhatás fokozódásához hozzájáruló gázok, melyek közé a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, valamint más ipari termelés során előállított légnemű anyagok tartoznak.
Watt (W)	1 Watt az a teljesítmény, melyet 1 Joule 1 másodperc alatt végez.

Vízenergia

Alapvízhozam	A folyó vízhozamának azon része, mely a talajban lassan áramló talajvízből származik, s a partok, valamint a folyóágyon keresztül lép be a folyóba.
Alapvízhozam index (baseflow index, BFI)	Az alapvízhozamhoz hozzájáruló csapadéktöbblet aránya.
Alvízcsatorna	A turbinából kivezető csatorna, mely a vizet visszavezeti a folyóba.
Aránygörbe	A vízszint és az energiatermelés közti összefüggés.
Átlagos napi vízhozam	A folyó egy keresztmetszetén naponta átlagosan áthaladó víz mennyisége (térfogatárama).
Csapadéktöbblet	Azon csapadékmennyiség, mely nem lép be a vízfolyásba, hanem elkerüli azt a felszínen, vagy alatta.
Csúcsraíratott erőmű	Olyan erőmű, mely elsősorban a csúcsidőszakokban juttat áramot a rendszerbe.
Csúcsterhelés	A legnagyobb fogyasztói igények által igényelt elektromos terhelés.
Egyenáram (DC)	Olyan elektromos áram, melynek iránya folyamatosan változatlan (szemben a váltóárammal).
Elektromos igény	Az elektromos hálózatban jelentkező elektromos energiaigény pillanatnyi értéke (kW vagy MW).

Eltereléses erőmű (run of river scheme, ROR)	Olyan erőmű, ahol a víz felhasznált energiája nem nagyobb, mint a folyami vízhozam teljesítménye.
Energia	A munkával azonos mennyiség, melyet Newtonméterben vagy más néven Joule-ban számolnak. Az elektromosságban a kilowattóra (kWh) terjedt el, mely egy teljesítmény (kilowatt) és működési időtartamának (óra) szorzata: 1 kWh = 3,6×103 Joule.
Evapotranspiráció	A vizek és növények kipárolgásának összefoglaló neve.
Energiatényező	A teljesítménymennyiség aránya, melyet a kilowattban (kW) kell a látszólagos teljesítmény kilovolt-amperéhez (kVA) mérni.
Felvízcsatorna	Egy acél, beton, öntöttvas vagy műanyag csővezeték, mely nyomás alatt lévő vizet juttat az ülepítő medencéből a turbinába.
Hallépcső	Egy szerkezet, mely kisméretű túlfolyó gátak sorozatából áll, ahol a szintkülönbség 30 cm 3,5-4 méterenként, és célja a vándorhalak mozgásának elősegítése a vízi műtárgyak környezetében.
Hullámtörő	Kő, zúzott kő, vagy burkolati betonelemekből készített esetlegesen épített védőszerkezet az erózió megakadályozására.
Kavitáció	Egy hidraulikus jelenség, melynek során az alacsony nyomású folyadék elpárolog, és a keletkező buborékok állandó képződése és megszűnése hidraulikus sokként jelentkezik a szerkezetben; e jelenség komoly fizikai károsodást okozhat.
Kondenzátor (töltéstároló)	Egy dielektromos berendezés, mely elektromos energiát tárol és köt meg ideiglenesen.
Meghagyandó vízhozam	A folyómederben a víznyerés, gát vagy terelőgát alatt meghagyandó vízmennyiség jogszabályban előírt minimuma, biztosítandó a megfelelő vízhozamot környezeti okokból, vagy víznyerési és halászati célokból.
Párhuzamos kapcsolás	A párhuzamosan kapcsolt rendszerek esetén az áramtermelő egység frekvenciája az áramellátásával azonos.
PE	Polietilén.
Perkoláció	A felszíntől a talajszemcséken át a talajvízszintig történő vízmozgás elnevezése.
Pillangószelep	Vízáramlást szabályozó lemezszerű szelep, mely egy hengeres csőben helyezkedik el, és egy külső kar segítségével állítható. Gyakran hidraulikus rendszerek működtetik.
Reynolds szám	Egy dimenzió nélküli paraméter, melyet a csövek súrlódásánál használnak, és a csőkeresztmetszet átmérőjéből, a folyadék sebességéből vagy a kinematikus viszkozitásból számolható.
Szívócső	A turbina és az alvízcsatorna minimális vízállása alatti beömlési szint között elhelyezkedő vízzel telt cső.
Szuperkritikus áramlás	Az alsófolyási körülményektől független, nagy sebességű (korlátozatlan) áramlási helyzet.
Szinkronsebesség	A generátor fordulási sebessége, így a kibocsátott váltóáram frekvenciája megegyezik az ellátórendszerével.
Talajpermeabilitás	A talaj átteresztőképessége.

Teljesítmény	Egy berendezés, állomás, vagy rendszer által leadott teljesítmény értéke.
Teljesítőképesség	A munkavégzésre való képesség. Mértékegysége Joule/másodperc, más néven Watt ($1W=1J/s$).
Töltésigény	A fogyasztók használati preferenciáinak megfelelő elektromos ellátás töltésigénye.
Túlhajtás	A forgórészek sebessége tervezési körülmények között, minden külső teheről mentesen.
Váltóáram (AC)	Olyan elektromos áram, melynek polaritása időközönként megfordul (szemben az egyenárammal). Az európai szabványok alapján a frekvencia $f = 50\text{Hz}$, míg Dél- és Észak-Amerikában 60 Hz .
Vándorhal	Olyan halfajta, mint például a lazac, mely párási időszakban a tengerekből a folyókon felfele haladva jut el a szaporodás helyére
Vízgyűjtő terület	A vízfolyás egy pontján átáramló vízmennyiséget alkotó összes felszíni víz eredetének teljes felszíni származási felülete.
Vízhozam gyakorisági görbe (flow duration curve, FDC)	Függvény, mely egyes vízhozam értékek bekövetkezési gyakoriságát mutatja meg.
Vízszint	A vízfelszín magassága.

Szélenergia

Alszél	A lapátkereket elhagyó széláram, hasonlóan a vízerőművek alatti folyószakaszra alkalmazott alvíz megnevezéshez. A motorgondola a rotor által súrolt felülethez képest alszéli helyzetben van. Lásd még: felszél.
Áramveszteség	Az energia idővel vagy távolsággal való csökkenése.
Áramszivárgás	Az áramszivárgás a gyors Fourier transzformáció következménye (<i>Fast Fourier Transform, FFT</i>), mely szerint az N pont diszkrét értékkészlete egy trigonometrikus polinomból származik, mely a mintafrekvencia sokszorososa $f_s = 1/T$. Az FFT feltételezi, hogy a periódus alatt a maximális értékek periódusosan jönnek. E feltételezés általában nem igaz, és ez a szivárgás problémája; mely a veszteség túlbecsüléséhez vezet. E szivárgás korrigálható (Hanning-ablak /függvény/, exponenciális ablak) függvényekkel, mely a csillapítja az elektromos jelet a periódus végén – azonban e közelítés további szivárgást okozhat. Javasolt alkalmazása, kivéve, ha az elektromos jel valóban pontosan periodikus.
Átesés	A közegellenállás csökkenése, a felhajtóerő változása, vagy a sűrűlódás csökkenése, mely a légáram lapátkerékszárnytól való elválása miatt következik be.
Csavarodás	A lapátkerékszárny keresztmetszete csavart, hogy α támadási szög optimuma és ezáltal a C_l^{\max} felhajtóerő együttható maximális és állandó legyen a szárny mentén.
Csúcsörvény veszteség	A felhajtóerő síkbeli profiladatokhoz képest értelmezett vesztesége, melyet a lapátkerékszárnyak csúcsai által keltett áramlatok zavaró hatásai okoznak.
Dinamikus átesés	A dinamikus átesés vagy dinamikus hiszterízis akkor következik be, ha a szél támadási szöge gyorsabban változik a szárnykeresztmetszetek körül, mint ahogyan alkalmazkodni képes a szerkezet. Az eredmény a sebesség csökkenése, valamint szárnyak lobogása és az erős sűrűlódás, mely nem

csak a pillanatnyi támadásszögtől függ, hanem a kis időközön belül vett vibráló változásaitól.

Elméleti modellezés	A fizikai törvényekből levezetett teoretikus számítási modellező eljárás.
Euler-Bernoulli gerenda	Egy hengszerű rúd, melynek hossza L , keresztmetszeti területe $A = \pi \times R^2$, hajlítási merevsége állandó értékű és sűrűsége egyenletes $\rho = m/L$, ahol m a gerenda teljes tömege. A matematikai modellben megfogalmazott feltételezés szerint mind a nyírési, mind az elfordulási alakváltozások elhanyagolhatóak a hajlítás okozta deformációkhoz képest.
Euler modell	Alakváltozási és elmozdulási tehetetlenségre vonatkozó leírás. E feltételezés jó közelítéssel igaz, ha a rúd nagyon karcsú ($5R < L$)
Fáradási terhek	A szerkezetet normális működési feltételek között az élettartama során rendszeresen érő dinamikus hatások.
Felszél	A lapátkereket meghajtó széláram, hasonlóan a vízerőművek feletti folyószakaszra alkalmazott felvív megnevezéshez. Lásd még: alszél.
Forgórészek	A szélturbinák mozgásban lévő részei, a lapátkerék tengelye, az ellensúlyai, az átvitelek és a generátor.
Függőleges tengelyű szélturbina	A szélirányra merőleges, függőleges irányú lapátkeréktengelyt alkalmazó szélerőmű. Lásd még: vízszintes tengelyű szélturbina.
Generátor	Mechanikai (erő) hatásokat elektromos energiává alakító eszköz.
Gépházburkolat (motorgondola)	A generátorok állórészeit (sztátor) tartalmazó gépház, valamint az áttételek gépalapja. A motorburkolat tömege megegyezik a forgórészekével (beleértve a motort, annak támasztékát, peremét stb.) és a generátorszatóréval.
Hiszterízis	Lásd <i>dinamikus átesés</i> .
Ideális áramforrás	Állandó feszültségű és frekvenciájú áramforrás.
Instabil aerodinamika	A szélturbinák állandóan változó körülmények között működnek. Az áramlástán két fő alkalmazott területe a dinamikus áramlás és a dinamikus átesés köré szerveződik.
Kapacitástényező	A kapacitástényező a szélturbina kilowattban mért éves áramtermelésének és a névleges teljesítményen számított (vagyis beépített teljesítmény teljes éves időszakra való kivetítése) éves kibocsátás aránya. Jó kapacitástényezőnek mondható a 0,25 és 0,30 közötti érték, a 0,40 pedig kiváló.
Kerékagy	A lapátkerékszárnyakat a lapátkerék tengelyéhez kapcsoló elem.
Kifordulás	A lapátkerékszárny síkból történő rugalmas alakváltozású kifordulása, vagyis az elfordulás síkjára merőleges alakváltozás. Lásd még kihajlás.
Kihajlás	A lapátkerékszárnyak síkbeli rugalmas alakváltozása. Lásd még kifordulás.
Kinematika	A mozgás geometriájának tudományága a fizikában. A kinematika az elmozdulást, sebességet, gyorsulást és az időt veszi figyelembe a mozgás okainak figyelmen kívül hagyásával.
Koherens széláram	A lapátkerék (rotor) által súrolt térmetszet kiterjedésénél nagyobb keresztmetszetű széllökés. Lásd még: nem koherens széllökés.
Külsőlegesen költség	A villamos áram árában nem megjelenő károk pénzbeli kifejezése, ilyen a környezetben és az emberi egészségben okozott kár, valamint a széndioxid-kibocsátás révén a klímaváltozáshoz való hozzájárulás.

Lapátkerékszárnyak felületrezgése	A segédcsárny felületrezgése (<i>pitch-flap flutter</i>) az állandó széláram által okozott hajlítás és csavarás okozta vibráció. Akkor léphet fel, ha a szárnykeresztmetszet kialakítása következtében az inerciatengely (az egyes keresztmetszetek tömegközéppontjaiból a szárny hossza mentén kirajzolódó tengely) és a terhek hajlítási középpontja (vagyis azon tengelyek metszete, melyek mentén a szárnyat érő merőleges erők tiszta hajlítást eredményeznek, valamint a tengelyre értelmezett nyomaték tiszta csavarást /torziót/ eredményez) nem azonos. Amennyiben a keresztmetszet szimmetrikus, a hajlítási középpont egybeesik a tömegközéppontokkal (feltéve, hogy a keresztmetszetek területi középpontja és súlypontja azonos).
Lapátsűrűségi arány	A lapátkerékszárnyak teljes területének és a súrolt felületnek aránya. Lásd még súrolt felület.
Merevség:	Az erő vagy nyomaték és az általa egy rugalmas alkatrészen okozott alakváltozás aránya.
Merev test	Egy szerkezetben elhelyezkedő test merevnek tekinthető, ha az alakváltozásai olyan csekélyek, hogy hatásuk elhanyagolható. Két, merev testen belül elhelyezkedő pont távolsága állandó marad, és a mozgásuk is kinematika merev test modelljével számítható, mely utóbbi egyszerű differenciálegyenletekkel írható le. Lásd még szilárd test.
Modellérvényesítés	Az alkalmazott matematikai modell vizsgálata a szempontból, hogy a rendszer valós viselkedése megfelel-e a modell által leírtaknak.
Modellhitelesítés	Az alkalmazott számítógépes modell pontosságának vizsgálata a szempontból, hogy az megfelel-e az alkalmazni kívánt matematikai modell által igényelt szintnek.
Működési és fenntartási költségek (<i>operation and maintenance costs, O&M</i>)	E körbe tartozik a hibafelismerések, vizsgálatok, igazítások, helyreigazítások, megelőzések, valamint a nem betervezett karbantartások költségei, valamint a hibák és szerelések idejére való leállások okozta bevételekiesések.
Nem koherens széláram	A lapátkerék által érintett térmetszet kiterjedésénél kisebb keresztmetszetű szélleőkés. Lásd még: koherens széláram.
Összetett merevtest	Egy több testből álló szerkezetet feltételező modell, mely a szilárd szerkezeten belül feltételez egy merevtestekből álló részletet. Az ÖMT lehet három (hajlított) vagy négy (hajlítással, kihajlítással és csavarással terhelt) elemből álló részszerkezet, melyeket ideális rugók és ideális mozgáselnyelők kötnek össze.
Részecske	Lásd tömegpont.
Reynolds-szám (Re):	A Reynolds-szám egy dimenzió nélküli érték, mely megmutatja, hogy a szélturbina lapátkerékszárnya körüli áramlás réteges vagy örvényes, miszerint: $Re = (W \cdot c) / \nu$, ahol W a relatív szélsébség, c a keresztmetszet szárnyhúrja, és ν a kinematikus viszkozitás. A kinematikus viszkozitás (mozgási súrlódás) értéke $\nu = \rho / \mu$, ahol ρ a levegő sűrűsége, és μ a súrlódási együttható (dinamikus viszkozitás). A Reynolds-szám a széláramra ható súrlódási és tehetetlenségi erők kifejezésekként értelmezhető. Normális, tengerszinten tapasztalható légköri nyomás esetén az érték $Re = 69000 W c$. Fontos kiemelni, hogy a lapátkerék modellezésnél használt szárnyszelvények adatainak a Reynolds-számhoz kell közelíteniük, máskülönben nem kaphatók pontos eredmények.
Rotációs minta	A rotor által súrolt területnél kisebb méretű szélörvények hatása csak részben, vagy csak egy lapátkerékszárnyon érvényesülnek; esetleges az áram kimeneti változás is.

Súrolt felület (A):	A szélesebbésvektorra merőleges síkfelület, melyet a lapátkerek csúcsai forgásuk során körülhatárolnak.
Szabadságfok	A mechanikai rendszer szabadságfoka egyenlő az összes, rendszerelemek pozícióját bármely pillanatban teljes mértékben meghatározni képes, egymástól független koordináták számával. Jellemzően az összes lehetséges, független elmozdulás számával is megegyezik.
Szárnyhúr (c)	A lapátkerékszárny keresztmetszetének leghosszabb átmérője (húrja), az R sugárra merőleges kiterjedés.
Szárny oldalarány (aspect ratio, AR):	A lapátkerékszárny keresztmetszetének sugara (R) és a szárnyhúr hosszának aránya \bar{c} (karcsú szárnyoldalarány: $\bar{c}/R \ll 1$).
Szárnyszelvény	Egy lapátkerékszárny keresztmetszete.
Szélenergia-átalakító technológia (Wind Energy Conversion System, WECS)	Lásd <i>szélerőmű</i> .
Szélerőmű (Wind Turbine Generator, WTG):	A szél kinetikus (mozgási) energiáját elektromos energiává alakító gép. Megjegyzendő, hogy a szélturbina megnevezést pars pro toto (rész az egészben) módon az egész szerkezetre (tehát a lapátkerekektől az alapokig) is lehet alkalmazni.
Szélkerék tengelymagassága, működési középmagasság (H):	A vízszintes tengelyű szélturbina tengelyének magassága a földfelszínhez képest.
Szélmalom	A szél kinetikus (mozgási) energiáját mechanikus energiává alakító gép. A mechanikai hatást erőként gabonaörlésre, vízszivattyúzásra és fűrészelésre használják (deszkametsző malom).
Szél támadási szöge	Az eredő szélirány és a lapátkerékszárny keresztmetszeti érintője által bezárt szög.
Szélturbina	A szél kinetikus (mozgási) energiáját – elektromos energia termelése céljából – forgássá alakító gép.
Szilárd test (rugalmas test)	A rendszer egyik eleme rugalmasan kezelendő, ha a merev test modellje nem érvényes, azaz a test rugalmas alakváltozásai hatással vannak a rendszer működésére. Lásd még merev test.
Támasztó szerkezet	A szélturbina alapja és tornya a motorgondoláig.
Teher:	A szélturbina egy elemére ható erő vagy nyomaték.
Teherbírási határterhek	A szerkezet élettartama során valószínű legnagyobb terhelés (extrém működési feltételek mellett)
Teljes harmonikus torzítás (total harmonic distortion, THD):	Az áram vagy feszültségi THD a harmonikus elemek négyzetösszegeből vont gyökének és az alaphérfrekvencia hányadosa.
Teljesítményelektronika	A teljesítményelektronika feladata az energia áramlásának irányítása, szabályozása és kezelése a fogyasztók igényeinek megfelelő feszültséggel és áramerősséggel.
Tőkeköltség	A tőkeköltség körébe tartozik a szélturbina létesítésével kapcsolatos beszerzések, szállítás, összeszerelés és építés költsége, valamint a hálózati csatlakozás kiépítési költségei.

Többelemes rendszer	A valós mechanikai rendszer közelítése összekapcsolt merev és szilárd testek sorozatával.
Tömegpont	Egy rendszer, vagy egy rendszerelem legjobb közelítése a szabad tömegpont. A tömegpontnak nincs kiterjedése és a háromdimenziós tér egy pontjának tekinthető; magyarul a tömeget egy pontba koncentrálni lehet elképzelni, és minden erő e pontra hat: így a tömegközéppont körüli elfordulás is elhanyagolható.
Vezérlő rendszer	Egy olyan berendezés, mely a szélerőművet érő dinamikus hatásokat mérlegelve vezérli azt.
Vízszintes tengelyű szélturbina	A széliránnyal párhuzamos irányú lapátkeréktengelyt alkalmazó szélerőmű. Lásd még: függőleges tengelyű szélturbina.

Aerodinamikai rendszer jelölései

$\alpha = \frac{u}{V_w}$	Tengelyirányú szélindukciós tényező	[-]
α'	Érintőleges szélindukciós tényező (a gerjesztett széláramok hatását mutatja).	[-]
$A = \pi R^2$	A sűrölt felület, vagy a vele megegyező működési felület területe.	[m ²]
AR	A szárny oldalaránya, $R/c_{0.75}$ (vagyis a sugár 75%-ának értelmezett a húrhossz)	[-]
c	A lapátkerékszárny keresztmetszetének húrhossza.	[m]
C_d	A lapátkerékszárny légellenállási tényezője.	[-]
C_{dax}	A lapátkerékszárny tolóerő együtthatója.	[-]
C_l	A lapátkerékszárny felhajtóerő tényezője.	[-]
C_m	A lapátkerékszárny nyomatéktényezője.	[-]
C_p	A lapátkerékszárny teljesítménytényezője.	[-]
C_t	A lapátkerékszárny tolóerő együtthatója.	[-]
D	A lapátkerék átmérője.	[m]
D	Légellenállás.	[N]
D_{ax}	Rotor tolóerő, vagyis a lapátkereket érő tengelyirányú erő.	[N]
F	Erő.	[N]
F_{aero}	Aerodinamikai erők.	[N]
F_L	Teljes veszteség effektív tényezője.	[-]
F_{root}	Prandtl-féle szárnytő veszteségtényező	[-]
F_{tip}	Prandtl-féle szárnycsúcs veszteségtényező.	[-]
H	Működési közép magasság (lapátkeréktengely magassága).	[m]
L	Hossz	[m]

L	Emelőerő	[N]
M	Forgatónyomaték	[Nm]
Ma	Mach-szám	[-]
N_b	Lapátkerékszárnyak száma	[-]
N_s	Lapátkerékszárny elemek száma	[-]
p₀	Állandó nyomás	[N/m ²]
P	A szélből nyert energia	[W]
q	Változó nyomás	[N/m ²]
r	A lapátkerékszárny egy keresztmetszetének sugara (a helyi rádiusz)	[m]
$R = \frac{1}{2} D$	Lapátkerék sugara	[m]
Re	Reynolds-szám	[-]
S	A térfogatáramot leíró (modellezett) próbahenger (áramlásból kimetszett) keresztmetszet területe.	[m ²]
u	Tengelyesen gerjesztett szélesebbesség.	[m/s]
V_{ax}	Szélesebbesség a lapátkerék tengelyében.	[m/s]
V_p	Pontbeli, zavarmentes, merőleges szélesebbesség.	[m/s]
V_r	Arányosított szélesebbesség.	[m/s]
V_t	Pontbeli, zavarmentes, érintőleges szélesebbesség	[m/s]
V_w	Zavarmentes szélesebbesség.	[m/s]
V_∞	Szélesebbesség a turbina árnyékában.	[m/s]
W	Pontbeli, zavarmentes, aerodinamikai szélesebbesség.	[m/s]
\dot{x}	Szélesebbesség.	[m/s]
α	A szélesebbesség támadási szöge	[szögfok]
ΔD	Elemi légellenállási erő.	[N]
ΔF	Aerodinamikai erők tengelyirányú összetevői.	[N]
ΔL	Elemi felhajtóerő.	[N]
ΔQ	Aerodinamikai erők érintőirányú összetevői.	[N]
Δr	A lapátkerékszárny keresztmetszetének elemi területe.	[m]
θ	A lapátkerékszárny forgatási szöge.	[szögfok]
η_{ad}	A vezérlőtárcsa hatékonysága.	[-]
λ	Csúcssebesség arány.	[-]
μ	Súrlódási tényező (dinamikus viszkozitás).	[Ns/m ²]
ν	Kinematikus viszkozitás.	[m ² /s]
ρ	Sűrűség	[kg/m ³]
τ	Időállandó.	[s]

φ	Aerodinamikai sebesség iránya.	[szögfok]
Φ_f	A turbina áramláshengerén kívüli nettó áramlás.	[m ³ /s]

Mechanikai rendszer jelölései

A	Keresztmetszeti terület	[m ²]
c	Csavarodási rugóállandó.	[Nm/rad]
C	Csavarodási rugóállandó.	[Nm/rad]
$C_{1,\dots,4}$	Állandók	[-]
D	Átmérő.	[m]
E	Rugalmassági (Young-) modulus	[N/m ²]
f_s	Mintafrekvencia.	[Hz]
F	Erő, teher.	[N]
F_{aero}	Aerodinamikai terhek,	[N]
G	Nyírási rugalmassági modulus.	[N/m ²]
h	Szilárd test magassága.	[m]
I	Keresztmetszet tengelyes hajlítási inerciája.	[m ⁴]
I_p	Keresztmetszet hajlítási polárinerciája.	[m ⁴]
k	Megoszlási együttható.	[-]
K	Súrlódásos veszteségi együttható.	[kg/s]
L	Hossz.	[m]
L_{fb}	Szilárd test hossza.	[m]
L_{se}	Összetett merevtest hossza.	[m]
m	Tömeg.	[kg]
M	Hajlítási nyomaték.	[Nm]
N_b	Lapátkerékszárnyak száma.	[-]
N_{dof}	Szabadságfokok száma.	[-]
N_{iter}	Iterációk száma.	[-]
N_{rb}	Merevtestek száma.	[-]
N_{se}	Összetett merevtestek száma.	[-]
r	A lapátkerékszárny keresztmetszetének sugara (helyi rádiusz).	[m]
R	Sugár.	[m]
t	Falvastagság.	[m]
T_{em}	Elektromechanikai nyomaték.	[Nm]
u	Haránt irányú áthelyezés ($u \perp y$).	[m]

x	Sebesség.	[m/s]
y	Origótól megtett távolság.	[m]
Y	Vibrációs mintázat.	[-]
δ	Teljes alakváltozás (az $y = L$ pontban).	[m]
$\Delta\omega_f$	Frekvencia relatív fáziseltolódása.	[%]
η	Dimenzió nélküli elfordulási ráta.	[-]
θ	Elfordulás szöge (az $y = L$ pontban)	[rad]
ν	Poisson-szám.	[-]
ρ	Fajsúly (sűrűség).	[kg/m ³]
ω_m	Szögsebesség.	[rad/s]
ω_n	Természetes frekvencia.	[rad/s]

Elektromos rendszer jelölései

c	Állandó.	[-]
C	Transformációs mátrix.	[-]
f	Frekvencia	[Hz]
f_s	Mintafrekvencia.	[Hz]
i	Villamos áram.	[A]
$i_a, i_b \& i_c$	A-, b- és c-fázisú sztátoráramerősség.	[A]
i_d	Tengelyes áram.	[A]
i_f	Tekercses áram.	[A]
i_q	Négyzetes tengelyáram.	[A]
L	Induktivitás ($H=kg \cdot m^2/(A^2 \cdot s^2)$)	[H]
L	Indukciós mátrix.	[H]
L_d	Tengelyes induktivitás	[H]
L_0	Nullsorozatú induktivitás	[H]
L_q	Egyidejű négyzetes-tengelyes induktivitása.	[H]
L_{rr}	Lapátkerék (rotor) önindukciós mátrixa.	[H]
L_{ss}	Állórész (sztátor) önindukciós mátrixa.	[H]
M_{rs}	Rotor-sztátor kölcsönös induktivitás mátrixa.	[H]
M_{sr}	Sztátor-rotor kölcsönös induktivitás mátrixa.	[H]
n	Rotor fordulatszáma.	[Hz, rpm]
p	Póluspárok száma.	[-]
P_{elec}	Elektromos teljesítmény	[W]
R	Kezdeti mágnesesség.	[]

R	Ellenállási mátrix	[Ω]
R_a, R_b & R_c	A sztátor ellenállása a-, b- és c-fázis esetén.	[Ω]
R_{1d}	Áramszabályzó dióda direkt tengelyű ellenállása.	[Ω]
R_f	Tekercs ellenállása	[Ω]
R_{1q}	Áramszabályzó dióda ellenállása.	[Ω]
R_s	Állórész tekercsellenállása.	[Ω]
S	Kapcsoló	[0 vagy 1]
t	Idő	[s]
T_{0dq}	Park teljesítmény-invariancia mátrixa.	[-]
T_{em}	Elektromechanikus nyomaték.	[Nm]
u_a, u_b & u_c	A sztátor feszültsége a-, b- és c-fázis esetén.	[V]
u_d	Tengelyes feszültség.	[V]
u_{1d}	Közvetlen tengelyű áramszabályzó dióda feszültsége.	[V]
u_f	Tekercs feszültsége.	[V]
u_q	Négyzetes-tengelyes feszültség.	[V]
u_{1q}	Négyzetes-tengelyes áramszabályzó dióda tekercsfeszültsége.	[V]
U_{dc}	Váltóáram kapcsolódási feszültsége.	[V]
ϵ_a	Az a-fázis áramhibája.	[A]
η_{conv}	Frekvencia átalakító hatásfoka.	[-]
θ_e	A közvetlentengely és a mágneses tengely közti szög az a-fázis esetén.	[fok]
ψ_a, ψ_b & ψ_c	Sztátor fluxusa a, b, és c-fázis esetén	[Vs]
ψ_d	Tengelyes sztátor fluxus.	[Vs]
ψ_{1d}	Tengelyes áramszabályzó fluxusa.	[Vs]
ψ_f	Tengelyes tekercs fluxusa.	[Vs]
ψ_q	Négyzetes sztátor fluxusa.	[Vs]
ψ_{1q}	Négyzetes-tengelyes áramszabályzó fluxusa.	[Vs]
ω_m	Mechanikai elfordulás szögsebessége.	[rad/s]
Δi	Hiszterézis által érintett terület.	[A]

Hullámokkal kapcsolatos jelölések (tengeri szélerőművekhez)

d	Vízmélység	[m]
D	Keresztmetszeti kiterjedés.	[m]
g	Gravitációs állandó	[m/s ²]
H	Hullámmagasság.	[m]

L	Hullámhossz.	[m]
T	Hullám periódusideje.	[s]

Vezérlőrendszer jelölései

C	Vezérlő
e	Hibajel
F	Filter (szűrő)
P	Rotor teljesítménye.
P_{ci}	Kezdeti teljesítmény.
P_r	Névleges aerodinamikai energia
r	Hivatkozási jel.
S	Zárt áramkörű rendszerek érzékenységi funkciója
T	Zárt áramkörű rendszerek kiegészítő érzékenységi funkciója
u	Bemeneti jel.
u	Zavar.
V_{ci}	Bejövő szélesség.
V_{co}	Kimenő szélesség.
V_r	Névleges szélesség.
V_w	Zavarmentes szélesség.
y	Mért kimeneti teljesítmény.
λ	Csúcssebesség aránya.

Különleges jelölések

j	Imaginárius szám
J	Az inercia tömegnyomatéka.
k	Súrlódási veszteségtényező.
IR	Valós számok halmaza.
t	Idő.
T	Kinetikus energia.
U	Potenciális energia.
Δ	Változás, eltérés.
Π	Parametrizálás, matematikai halmaztársítás.
	Gradiens vektor.
∇	

$$\delta^2\delta x^2 + \delta^2\delta y^2 + \delta^2\delta z^2.$$

∇^2

$\| \cdot \|$

Euklideszi norma.

Geotermikus energia

Ásványos	Ásványtartalmú anyag, a Föld belsejéből származó víz oldott ásványokat tartalmaz.
Balneológia	A forró forrásvizek gyógyító célú használatának tudománya, a geotermikus vizek legősibb felhasználása.
Égetés	Gáz, folyadék vagy szilárd anyag égetése, melynek során a tüzelőanyag oxidálódik, hőt és gyakran fényt bocsátva ki.
Elektromos energia	Az elektromos töltések és áramok energiája.
Elektron	Az atom legkisebb alkotórészei (az atom az anyagokat felépítő részecskék) Az elektronok elszakíthatók az atomoktól, mely révén elektromos áram jön létre.
Energia	Munkavégzésre való képesség, mely például egyes testek megmozgatására vagy felmelegítéséhez szükséges. Az energia sokfajta lehet, így elektromos, kémiai, sugárzó, mechanikai és hő.
Energiaátalakítás	Az energia egyik formájából a másikba való átmenet. Példa a hőenergia mechanikussá való alakítása, majd a mechanikus elektromossá transzformálása: ez a folyamat zajlik le a gőzhajtású erőművekben.
Energiaforrás	Az energia szükség esetén felhasználható forrása. Az energiaforrások feloszthatók megújulóra és fosszilisre.
Energiahatékonyság	Egy technológia által a hasznos munka elvégzéséhez igényelt energiamennyiség; egy nagyobb hatékonysággal rendelkező eljárás kevesebb energiát igényel azonos mennyiségű munkavégzéshez.
Erőmű	Egy létesítmény, melyben turbinák és generátorok segítségével áram állítható elő.
Fenntartható	Anyag vagy energiaforrás, melyet jól kezelve egy közösség vagy társadalom igényeit korlátlanul képes szolgálni, az elkövetkező nemzedékek igényeinek sérelme nélkül.
Feszültség	Az elektromos áramot mozgásban tartó hatás.
Földgáz	A földfelszín alatt rekedt gázkeverék (jellemzően metán), fosszilis energiahordozó.
Földkéreg	A Föld legkülső szilárd rétege, mely leginkább kőzetekből áll, vastagsága 5 és 56 kilométer között változik. E réteg elszigeteli a felszínt a forró belsejtől.
Földmag (külső és belső)	A Föld rendkívül forró belseje. A külső mag feltehetően olvadt kőzet a felszín alatt 5100 kilométerre, míg a belső mag tömör vas és a Föld középpontjában található 6400 kilométeres mélységben.
Földrengés	A földfelszín mozgása vagy vibrálása, mely a lemezeknek a földköpeny törései mentén való hirtelen elmozdulásával keletkezik. A legtöbb földrengés a lemezhatárok mentén következik be.

Forráspont	Azon hőmérsékleti érték, melyen egy anyag, például a víz, folyékonyból légnemű (gáz, gőz) halmazállapotúvá válik normál légköri nyomáson. A víz forráspontja 100°C (212°F), e hőmérsékleten a víz vízgőzzé válik. Egyes folyadékok alacsonyabb hőmérsékleten forrnak, mint a víz: ezt alkalmazzák a kettős áramkörű erőművek. A forráspontot a nyomás is befolyásolja, a nyomással együtt nő a forráspont. Ez utóbbin alapszik az elgőzösítő erőművek elve, melyek túlhevített (normál légköri nyomáson értelmezett forráspontnál melegebb) geotermikus vizet nyernek ki a kutakból: a forró víz a felszínt elérve gőzzé válik a nyomás leesése miatt. E jelenség a természetben is előfordul a gejzíreknél.
Forrófolt	A litoszférikus lemezek belsejében található vulkanikus aktivitás, melyet a hő köpenyben való koncentrált feltörése okoz. A forrófoltok jellemzően mozdulatlanok, míg a lemezek elmozdulnak felettük, így a felszínen kihunytt vulkánok sorozata marad meg: példa erre a Yellowstone Nemzeti Park és a Hawaii-szigetek.
Földköpeny	A Föld félig olvadt belseje, mely a mag és a héj között található. A földköpeny a Föld térfogatának 80%-át alkotja, és a felszín alatti 2900 kilométeres mélységig tart.
Fumaróla	A vulkanikus területek közelében elhelyezkedő kis rés vagy hasíték a földfelszínen, melyből vízgőz és egyéb gázok szabadulnak fel.
Generátor	Mechanikus energiát elektromos árammá alakító szerkezet, mely (elektromosan vezető) rézhuzalok mágneses térben való megforgatásával hoz létre áramot.
Geotermikus erőmű	Geotermikus gőzzel vagy hővel turbinagenerátorokat meghajtó, áramtermelő berendezés. Három fajtája alakult ki a geotermikus energiaforrás hőmérsékletének megfelelően: szárazgőzös, elgőzösítő és kettős áramkörű.
Geotermikus energiaforrás	A Föld hője, valamint a földből származó forró víz és gőz.
Geotermikus hőszivattyú (földhőszivattyú)	Az épületek talajból nyert hővel való fűtésére vagy azok talajba vezetett hővel való hűtésére használt rendszer, mely a folyamatokhoz nem üzemanyagból nyeri a hőt. A földhőszivattyúk a földfelszín alatt rendkívül közel tapasztalható, közel állandó hőmérsékletet használik, mely a levegőnél melegebb a télen, és hidegebb nyáron.
Geotermikus jelenségek	A Föld hője által létrehozott, felszínen megfigyelhető jelenségek, így a vulkánok, gejzírek, hőforrások, iszapkráterek és fumarólák.
Geotermikus víz közvetlen felhasználása	A geotermikus víz és hőjének felhasználása halak ellátására, zöldség, gyümölcs és fa szárítására, üvegházak és lakóépületek fűtésére, meleg víz ellátásra és gyógyfürdők számára.
Geotermikus rezervoár	Porózus és töredezett kőzetekben található nagy mennyiségű forró víz és gőz. A geotermikus rezervoároknál a forró víz csak a kőzet 2-5%-át tölti ki, azonban ha kellően nagy méretű és hőmérsékletű, hatékony energiaforrás lehet. A geotermikus víztározókat gyakran vízzáró rétegek zárhatják le felülről. Lehetséges a fluidumok felszíni megjelenése is hőforrások és fumarólák formájában, de nem feltétlenül.
Gejzír	Természetes hőforrás, mely vizet és gőzt lök a levegőbe, léteznek szabályos időközönként és előre jelezhetetlen módon kitörő gejzírek.

Globális felmelegedés, üvegházhatás	A hő megkötése a Föld atmoszférájában. A beérkező napsugárzás áthatol a légkörön a földfelszínig, azonban a kifele tartó, más frekvenciájú hősugarakat a légköri vízgőz, széndioxid és ózon megkötí. E jelenség részben hasznos, mivel a melegen tartja a bolygót a ma létező élővilág számára. Ugyanakkor a széndioxid és más gázok mennyiségének emberi tevékenységnek köszönhető emelkedése hozzájárulhat egy globális éghajlatot, élővilágot és élelmiszerellátást súlyosan érintő felmelegedési folyamathoz.
Gőzösítés, gázosítás	Bármilyen halmazállapotú anyag gáz halmazállapotúvá változtatása; a kifejezést leggyakrabban a vízzel kapcsolatban használják (víz elgőzösítése).
Gyógyfürdő	Egy – gyakorta gazdasági célú – létesítmény gyógyulni és pihenni vágyó vendégek számára. Számos intézmény hőforrások közelében található, vagy a geotermikus kutak vizét használítja.
Gyógyhatású	Betegség vagy rendellenesség kezelésére használt eszköz, mely az egészséget képes szolgálni. A geotermikus hévizekről gyakran élő feltételezés gyógyhatásuk.
Hidrotermikus	A forró vízzel kapcsolatos. A geotermikus rezervoárok nevezhetők hidrotermikusnak is; a forró, de száraz földalatti kőzetek nem tekinthetők hidrotermikusnak.
Hőáramlás	A hőközlés három formájának egyike. Azon áramlatok, melyek a forró gázok vagy folyadékok felemelkedésével és a lehűlése révén való lesüllyedésével alakulnak ki. A forró gáz vagy folyadék a hőnyereség révén kitér, magyaráz veszt sűrűségéből hidegebb környezetéhez képest, ezáltal felemelkedik; később, hűlés közben sűrűsége ismét megnő, és lesüllyed; összességében egy körmozgást hozva létre. Feltételezések szerint e jelenség, nagy léptékben, a kontinentális lemezek mozgásában is szerepet játszik. Lásd még: <i>lemeztektonika</i> .
Hőcserélő	Hőátadására szolgáló berendezés, melyben egy folyadék vagy gáz hője egy fémfelületen keresztül hővezetéssel hevít fel egy másik folyadékot vagy gázt. Lehet csöves és lemez kialakítású
Hőforrás	A hőforrás egy geotermikus jelenség; természetes forrás, melynek hőfoka az emberi testnél melegebb, vize medencékbe vezethető, vagy folyókba és tavakba jut.
Hősugárzás	A hőközlés három formájának egyike. A hő közlése sugárzással, közvetlen érintkezés nélkül.
Hővezetés	A hőközlés három formájának egyike. A hő áramlása az anyagok és molekulák közvetlen érintkezésével, két közeg között, azok elmozdulása vagy áramlása nélkül. A geotermikus vizek hője elvezethető fémlapok és csövek révén más vizek melegítéséhez távhőszolgáltatási célokkal, vagy másodlagos szerves folyadékok hevíthetők a kettős áramkörű rendszerek esetén.
Iszapkráter	Felszíni geotermikus jelenség, mely akkor jelentkezik, ha nincs elég víz a gejzír vagy hőforrás táplálásához. A hasadékok gőzöktől és gázoktól fortyogó iszap tölti ki, melyet a felszíni kőzet és a gázok egymásra hatása alakított ki.
Kaldera	Teknőformájú földtani alakzat, mely a vulkánok tetejét megsemmisítő robbanásszerű kitöréssel, vagy a vulkánok tetejének beomlásával jön létre.
Kémiai energia	A kémiai kötésekben tárolt, a molekulákat összetartó energia. Példa a szén és az olaj, melynek kémiai energiapotenciálja égetés során szabadul fel.
Kénoxidok (SOx):	Szintelen, szúrós szagú gázok (beleértve a kén-dioxidot SO ₂), melyek elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével keletkeznek. Károsíthatják az ember légző rendszerét, valamint a fákat és a növényeket.

Kitörés	Olvadt kőzet, gázok és forró vizek robbanásszerű felszabadulása (vulkános és gejzírek esetén).
Kondenzáció (lecsapódás)	Légneműből folyékony halmazállapotba való átmenet. A vízhűtéses geotermikus erőművek hűtőtornyokban hűtik és csapátják le a felhasznált gőzt, hogy a geotermikus vizet visszajuttathassák a rezervoárba. A kettős áramkörű erőművek szerves folyadékot forralnak fel (a geotermikus víz hőjével), majd a turbinába vezetik, lehűtik és folyadékká kondenzálják, egy állandó, zárt körben.
Kontinensmozgás	Egy elmélet, mely szerint a kontinensek egy egykoron volt szuperkontinens, a <i>Pangaea</i> széttöredezésével jöttek létre. Lásd még <i>lemeztektonika</i> .
Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség	Hivatal, mely előírásokat fogalmaz meg, hajt végre és tartat be a környezetszennyezés elkerülése és a környezet védelme érdekében.
Láva	A földfelszínre jutó olvadt magma.
Lemeztektonika	A földkéregalkotó lemezek (litoszférikus lemezek) mozgását vizsgáló tudományág. A földkéreg számos lemezből áll (tizenkét nagyobból és számos kisebből). E lemezek egymáshoz képest nagyon lassan közelednek és távolodnak. A mozgást létrehozó folyamatok közé tartoznak a magma hőáramlásai a köpenyben és a litoszférában. A lemeztektonika magyarázatot ad a kontinensvándorlásra, a tengerfenék tágulására, a vulkánkitörésekre és más geotermikus jelenségekre, a földrengésekre, hegységképződésekre, valamint egyes növény és állatfajok elterjedésére.
Magma	A földköpenyben kialakult, javarészből forró, vastag, olvadt (folyékony) kőzet a földfelszín alatt.
Mechanikai energia	Egy test azon energiája, mely mozgásából, helyzetéből, vagy ráható erőkből származik.
Megawatt (MW)	Teljesítményegység, mely ezer kilowattnak, vagy egymillió wattnak felel meg.
Megújuló energiaforrás	Olyan energiaforrás, mely állandóan használható, de nem élehető fel, mivel felhasználásra alkalmas időtávon belül újratermelődik. Példa a kisléptékű vízenergia, a szélenergia, a napenergia és a geotermikus energia.
Mezőgazdaság	Növények, virágok, gabona és egy termény termesztését szolgáló tevékenység. Az üvegházak felfűthetők geotermikus rezervoárokból származó forró vízzel, földbeásott csöveken keresztül is fűthető a talaj. A geotermikus hő terményszárításra is használható.
Molekulák	Az anyagokat felépítő részecskék.
Művelés (kultiváció)	Növények termesztése és állatok tenyésztése.
Nem megújuló energiaforrás	Nem helyettesíthető vagy felhasználható időn belül természetesen nem újraképződő energiaforrás, ilyenek a fosszilis tüzelőanyagok, az urán és más ásványok.
Nitrogénoxidok (NOx)	Égéstermék, mely sárgás-barnás felhőkben jelenik meg, irritálhatja a tüdőt, tüdőrákot okozhat, és ózonnképződést indíthat be (mely az alsó légrétegekben káros, míg a fenti légrétegekben hasznos a Föld UV-sugaraktól való megvédése miatt).
Nyomás	A területen megoszló erő. A légkör nyomást fejt ki a földfelszínre, míg a kőzetrétegek szintén nyomással hat a mélyebb rétegekre.

Pangaea	A tudósok feltételezése szerint a kétszázötvenmillió évvel ezelőtt létezett szuperkontinens. Egykoron minden kontinens koncentráldott és összeköttetésben állt, hatalmas szárazföldet alkotva.
Pasteurözés (pasztörözés)	Magas hőmérséklet alkalmazása a kórokozó baktériumok elpusztítására.
Porózus	Apró lyukakkal (pórusokkal) átjáró anyag, melyet víz vagy más anyag átjárhat és kitölthet.
Savas eső	Mindenfajta csapadék (eső, hó, ónos eső, jégeső, köd) megnevezése, melynek a kén-, kénes és/vagy salétromsav tartalma, vagy 5,6-es pH-nál kisebb értéke van. Az esőnek jellemzően 5,6-5,7 pH értékű. A savak tavakban és folyókban való felhalmozódása káros az élővilágra, egyedpusztulást idézhet elő. A savas eső oldja az építőanyagokat, valamint kioldja a talaj tápanyagtartalmát, károsítva a termést. A fosszilis tüzelőanyagokat használó erőművek a savas esők fő forrásai.
Sugárzó energia	Energia – például hő – sugarak vagy hullámok, elsősorban elektromágneses hullámok révén való terjedése az űrben vagy más közegben.
Sűrűség	Egy anyag tömege egy megadott űrmértékben. Két test mérete megegyező lehet, azonban különböző sűrűségük révén a tömegük eltérhet. A tárgyak alacsony hőmérsékleten kisebbek, magas hőmérsékleten nagyobbak.
Szálló por (particulate matter, PM)	Por, korom, füst és más lebegő részecskék, melyek a légzőszervekre irritálóan hathatnak. A 10 mikronnál kisebb szálló por (PM10) fokozottan káros az egészségre nézve.
Szárítás (dehidratáció)	A nedvességtartalomtól való megfosztás, növények, zöldségek és faanyag szárítása. Egy nevadai üzem geotermikus hőt használ fel éttermek számára értékesített vöröshagyma és fokhagyma szárításához.
Széndioxid (CO2)	Fosszilis tüzelőanyagok és más anyagok elégetésekor felszabaduló gáz. A széndioxid a természetben is nagy mennyiségben fordul elő a vulkánokból származó olvadt magmában, mely kitöréskor jut a felszínre. Lás még <i>üvegházhatás</i> .
Távfűtés	Nagyszámú épület fűtéssel való ellátása egy központi létesítményből. Egy geotermikus alapú távhőszolgáltatás egy vagy néhány kúttal egész kerületek láthatók el.
Távvezetékek	Áram nagy távolságokra való szállítására használt villanyvezeték.
Termásvíz	A Föld hője által felmelegített víz.
Törés	A földkéreg elmozdulást nem eredményező repedése.
Törésvonal	A földkéreg felszínét is elérő repedése, mely mentén a lemezek földrengés kíséretében elmozdulnak.
Törésvonalak	A földkéreg hosszú, keskeny repedései a földfelszín és a tengerfenék mentén, melyből láva folyik ki, lehet a tektonikus lemezek távolodásának helye, mint a Atlanti-hátság esetén.
Turbina	Gép, melynek lapátkerekeit folyadék vagy gáz hajtja, például levegő, gőz, víz, vagy ezek keveréke.
Tűzgyűrű (Cirkumpacifikus öv)	A Csendes-óceán peremén végigfutó, nagy lemeztektónikus aktivitást mutató terület.
Villamos áram	Elektromos folyamatos áramlása; elektromosság, az elektrodinamika tárgya.

Vízgazdaság (akvakultúra)	Halak és más vízi élőlények tenyésztése édes- és tengervízben. A geotermikus vizek felhasználhatók a halak, rákok és aligátorok növekedésének elősegítésére. A világ legkiterjedtebb akvakultúrával rendelkező országa Kína.
Visszatöltő kút	A geotermikus vizet a felhasználása után a földalatti víztározóba visszajuttató kút. A kinyerési és a visszatöltő kutak egymásra záró csövek összekötéséből kialakíthatók ki, majd a földbe és egymásba betonozhatók; így megvédhetők a felszín közeli ivóvízforrások a termálvizekkel való keveredéstől.
Vízáteresztő	Víz és más folyadékok áramlását lehetővé tevő közeg, ilyen egy kis járatokkal és hasadékokkal szabdalt kőzet, kőtörmelék, és a kavics.
Víz halmazállapotai	A víz különböző halmazállapotú lehet. Jégből vízzé válva olvad, megfordítva a folyamatot megfagy. A folyadékból gázba történő változás a forrás vagy párolgás, megfordítva kondenzáció (lecsapódás) megy végbe. A forrás és lecsapódás fontos elemei a geotermikus jelenségeknek és a hozzájuk kapcsolódó technológiáknak.
Vízgőz	A gőz a víz forrásával vagy párolgásával keletkezik. A gőzt nagyon apró vízrészecskék (molekulák) alkotják, melyek a levegőben nagy sebességgel mozognak és egymással ütköznek. E hevített vízmolekulák minden irányba mozognak, kitöltve a rendelkezésre álló teret. A gőzt egy kivezető csővel ellátott tartályba vezetve nagy nyomás keletkezik, valamint gyors áramlás kezdődik meg a csövön keresztül. Ez az erő (a gőz teljesítménye) munkára fogható, és egy turbina, és rajta keresztül egy generátor forgatható meg vele.
Víztározó kőzetréteg (aquifer)	Nagyméretű földalatti vízáteresztő kőzetréteg, mely kutak és források vízellátását szolgálhatja. Az Egyesült Államok ivóvízkészletének hatvan százaléka ilyen forrásból származik. A forró vizet vagy gőzt tartalmazó földalatti víztározók a <i>geotermikus rezervoárok</i> .
Vízzáró	Folyadékok által átjárhatatlan kőzet: egyes kőzetfajták és agyarrétegek vízzáróak.
Vulkán	A földköpeny nyílása, melyen keresztül láva, gőz, és hamu kilövell vagy kiáramlik, állandóan vagy időközönként.
Watt (W)	Teljesítmény mértékegysége, az egységnyi idő alatt végzett munka (Joule/secundum).

FÜGGELÉK: A MEGÚJULÓ ENERGIAPROJEKTEK PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉSE

1. BEVEZETÉS

A megújuló energiaforrások növekvő felhasználása mellett egyre nagyobb hangsúly helyeződik a projektek pénzügyi értékelésére is, melynek legfőbb okai az energiabiztonsági megfontolások, a fosszilis üzemanyagárak s ezáltal a fűtés és villamos áram árának emelkedése, valamint a fenntartható életmódot szolgálni képes gazdasági fejlődés elképzelése.

A 2004-es évet követően a megújuló energiaszektor bővülése folyamatosan meghaladta az előző évi értékeket, míg 2008 végén a pénzügyi válság e téren is érzékeltetni kezdte kedvezőtlen hatásait, elsősorban a fejlesztők számára nyújtott banki hitelezési lehetőségek szűkülésében. A korábbi évek beruházási hulláma képes volt enyhíteni az energiaellátásban tapasztalható nehézségeket és hiányosságokat, azonban a hitelezés csökkenése a keresletet is visszavetette. E két folyamat eredménye drámai és tartós változást hozott az iparág lendületében. Kínálati oldalról az árak a határkölttség irányába zuhannak, míg számos termelő össze kényszerül fogni; míg keresleti oldalról a megújuló energiaforrások össz-energiatermelésben betöltött részesedési előírása továbbra is beruházásokra ösztönzi a közműszolgáltatókat, azonban kevesebb fejlesztő és független áramtermelő részvételével lehet számolni.

A pénzügyi értékelés alábbi összefoglalása részletezett képet nyújt a megújuló energiaforrások gazdasági hatásainak két szempontból történő feltérképezési lehetőségeiről. Egyrészt a tőkeráfordítás és a tőkenyeresség arányának (*input-output*) analízise olyan változók hatását számszerűsíti, mint a foglalkoztatás, a hozzáadott érték és az import, míg a költség-haszon (*cost-benefit*) eljárás pedig egységesen kezel minden bevételt és kiadást minden projekt esetén. Egy másik részfeladatot jelent a világszerte már meglévő megújuló energiaforrások társadalmi és gazdasági hatásainak feltérképezése helyi, regionális és nemzeti szinten.

2. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSÉNEK GAZDASÁGI

KÉRDÉSEI

2.1 ALAPELVEK

A megújuló energiaforrások értékeléséhez szükséges néhány alapvető kifejezés tisztázása.

Gazdasági érték (economic value): a pénzben kifejezett érték. Különböző közgazdaságtani elméletek máshogyan magyarázzák, mely közül két alapvető elképzelés létezik: az érték szubjektív és objektív felfogása.

Szubjektív: az egyén saját preferenciáin alapszik.

Objektív: kapcsolatot teremt az egyén és a közösség preferenciái és a szükségletek kielégítésének költségei között

Használati érték (utility, use value): a szükségletek kielégítésének képessége.

Passzív használati érték (non-use value, passive use value): a javak mások számára való hasznossága (szubjektív közgazdaságtani fogalom).

Környezeti belsőérték (environmental internal value): azon elképzelésen alapuló fogalom, mely szerint a természeti környezetnek pozitív értékkel bír, függetlenül az emberi preferenciáktól és az emberiség számára való hasznosságtól.

Leszámítolás (discounting): az egyének többre értékelik a jelent (költség és haszon tekintetében), mint a jövőt (költségek és hasznok szempontjából), ezért az értékek csökkennek.

Nominális kamatrátá: összefoglaló érték az inflációval együtt.

Reálkamatláb: nettó diszkontráta, az infláció hatását figyelembe vevő, annak értékének levonásával értelmezett névleges (nominális) kamatrátá.

A természeti erőforrások értékelését befolyásoló tényezők:

- az erőforrások jövőbeni használatától elvárt jövőbeli hasznok;
- időtényező.

Idődiszkontálás, időpreferencia (leszámítolás): az értékek idővel való csökkenésén alapuló gazdasági elképzelés. A pozitív hitelkamatláb a gazdasági mutatók idővel való csökkenését fejezi ki. A leszámítolás a gazdasági hatékonyság értékelésének bevett eljárása.

A pozitív leszámítolási kamatláb okai:

- a jelenbeli hasznok elsőbbsége a jövőbeliakkal szemben;
- a tőke termelékenysége; annak reménye, hogy az azonnali fogyasztás elmulasztása befektetés javára később nagyobb fogyasztást tesz lehetővé.

Egyes esetekben megfelelő lehet a leszámítolási kamatláb nullára való csökkentése.

Feltételezések a leszámítolás hasznosságát illetően:

- a beruházás egy meghatározott időtartama alatt minden bevétel befektetésre kerül;
- a megbecsült javak jövőértéke csökken (minősége, hasznossága), vagy mennyisége nő.

A beruházási folyamatok szabályai:

- a tőke határtermelékenységének meg kell haladnia az idő határtermelékenységét (az utolsó tőkeegység által termelt bevétel nem csökkenhet az időpreferencia értéke alá)
- a névleges kamatlábnak meg kell haladnia az infláció mértékét.

A jövőbeli tőkeáramok (cash flow) jelenértékének kiszámításához alkalmazott alapvető egyenlet:

$$K_0 = K_t / (1+i)^t$$

ahol

K_0 mutatja K_t jelenértékét, ahol t az eltelt idő;

K_t a t idő során felmerülő bevételeket és költségeket mutatja;

i a kamatláb vagy a leszámítolási kamatláb,

$(1+i)^t$ a diszkonttényező t időtartamra.

2.2 A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSÉNEK ALAPVETŐ ELJÁRÁSAI

Az értékelésnek három alapvető módszere van:

- összehasonlító (komparatív) módszer: hasonló javak értékéből számítva;
- költségmódszer: mely a javak előállításának költségét veszi figyelembe;
- hozammódszer: mely a hasznos hatásokon alapszik.

$$C = \sum_{t=1}^n \frac{r_t}{(1+i_t)^t} \text{ ahol:}$$

- C a természeti erőforrás értéke;
 r_t a várt éves törlesztő részlet t meghatározott időtartamon belül;
 i_t a kamatláb vagy a leszámítolási kamatláb várható értéke a t meghatározott időtartamon belül (együtthető);
 t a megadott időtartamon;
 n az időtartamok száma.

A kamatláb és a leszámítolási kamatlábat az idő során változónak tekintendő. Egy meghatározott időn belül a becsült éves törlesztő részlet sok változó függvénye – a termelés költségének fajtái, a tőkeáfordítás értékei, adóterhek, kamatlábak, infláció és így tovább –, melyek meghatározandók.

A kamatláb és a leszámítolási kamatláb időszakon belüli változékonysága is több tényezőtől függ – a pénz időpreferenciája, kockázat, infláció stb. –, mely a számítás elején határozandó meg.

Gyakran alkalmazott feltételezések lehetnek:

- r_t időbeli állandóságának feltételezése (elsősorban hosszú távú szerződések esetén);
- i_t időbeli állandóságának feltételezése;
- az időhorizont végtelenségének feltételezése (végtelen sok n időszak).

Így a legegyszerűbb képlet a következő:

$$C_s = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{r}{(1+i)^t} = \frac{r}{i}$$

2.3 ALAPVETŐ GAZDASÁGI KÉRDÉSEK

2.3.1. A KÖLTSÉGBECSLÉS KÉRDÉSKÖREI

Nem létezik a költségek számításának egyetemes megközelítési módja.

- a megújuló energiaforrások között nagy különbségek merülhetnek fel, például a különböző szerves trágyafajták költségeinek számításánál: különbség teendő az összetételük, felhasználhatóságuk és a talaj tulajdonságai alapján;
- más tényezők figyelembe veszik a műtrágya névleges adagját; földméretet, a szállítási és munkaköltségeket.

2.3.2. A VALÓS KÖLTSÉGEK KISZÁMÍTÁSÁNAK PROBLÉMÁI

A költségek ugyan könnyen meghatározhatók, ugyanakkor kérdéses, hogy mely elemek tartoznak a kérdéses körbe, ilyen például a kezelőfelületek (interface) problémája számítástechnikai szempontokból.

Példa: a potenciális beruházóknak pénzügyi szempontból kell kiszámolniuk egy biogáz üzem kiindulási költségeit:

- a technológiai berendezés és az épületállomány értékcsökkenése;
- biztosítás
- a biogáz üzem hő- és áramfogyasztása;

- biomassa beszerzése (és kapcsolódó költségei);
- anyagköltség;
- vízdíjak;
- hulladékkezelési költségek.

2.3.3. A HASZON KISZÁMÍTÁSÁNAK PROBLÉMÁI

A bevételek jelentkehetnek közvetlen vagy közvetett módon.

Közvetlen bevételeknek tekinthetők az olyan megtakarítások, melyek energia nyersanyagok vásárlására és egy kisebb kockázatú vagyonállomány (portfólió) összeállítására fordíthatók (többfajta kiszámítási lehetőség).

A *közvetett hasznok* léte kérdésesek, beletartoznak a vitatkozás, lobbizás során szerzett előnyök:

- az innováció lehetősége, az agrártudomány, a számítástechnika, a high-tech ipar, az elektronika fejlődése stb.;
- a tudományos kutatások új területei nyílhatnak meg (természet-, társadalom és gazdaságtudományos téren)
- munkahelyteremtés;
- az új technológiák alkalmazása progresszívebb makroökonómiai környezetet eredményezhet;
- a környezettudatos technológiákról kialakított pozitív kép közvetlen hatást gyakorolhat a fiatalabb nemzedékekre.

Minden fent nevezett közvetett haszon legalapvetőbb problémája, hogy nehezen számszerűsíthető.

2.3.4 A BERUHÁZÁSSAL KAPCSOLATOS PROBLÉMÁK

A potenciális beruházónak a megvalósítás előtt meg kell ismernie és meg kell teremtenie az alábbi feltételeket (a biomassa példáján bemutatva):

a/ műszaki és technológiai feltételek

- a biomassa termelés számára megfelelő talajviszonyok és éghajlat;
- talaj biomassa termeléshez elegendő termőképessége;
- a talaj energiapotenciáljának számítása;
- a biodiverzitás és az élelmiszercélú növénytermesztés fenntartása;
- a biogáz üzem telkének tulajdonjogi kérdései;
- a biogáz üzem termelésének megbecsülése, figyelembe véve a potenciális mezőgazdasági hulladék és biomassa mennyiségét a közvetlen környezetben;
- a biomassa források laboratóriumi vizsgálata, kiemelten figyelve:
 - talajösszetevőket,
 - az erjesztő tartály pH-értékét,
 - az erjesztő tartály hőmérsékletét,
 - a szerves anyag lebomlásból kimaradó részét,
 - a nitrogéntartalmat és forrásait,
 - a kén és a kénhidrogén mennyiségét,
 - a nehézfém tartalmat,
 - az alsó talajréteg fizikai viszonyait,
 - a mérgező anyagok jelenlétét;

- elegendő biomassza biztosítása, saját vagy beszállítói forrásból, ahol a legnagyobb szállítási távolság kevesebb, mint 150 km;
- a biomassza tárolás biztosítása;
- az erjesztő tartály biológiai és kémiai viszonyainak anaerob folyamatok alatti állandó felügyelete, biztosítva a maximális biogáz termelést;
- kellő számú műszaki és igazgatási szakember alkalmazása a különböző üzemi folyamatok lefolytatására;
- képzett szakemberek alkalmazása a kombinált hő- és energiatermelés biztosítására.

b/ jogi feltételek

- a jogi környezet minden ország esetén más;
- helyi és regionális szabályozások betartandók;
- a megújuló energiaprojektek nemzeti szintű jogi támogatása országonként eltérő.

Példa a támogatás rendszerére az állam által meghatározott ideig biztosított vételár a megújuló energiaforrásokból származó hőre és villamos áramra; lehetséges a lakossági ellátó hálózathoz nem csatlakozó termelők állami támogatása; kötelező bioenergia beszerzési ráta előírása az energiaszolgáltató cégek számára; az elosztóhálózathoz való csatlakozásban bioenergia termelők számára nyújtott előny, dotáció stb.)

c/ gazdasági feltételek

A megújuló energiaprojektek társfinanszírozási lehetőségei:

- közvetlen állami segítség formájában;
- Az Európai Unió strukturális alapjaiból;
- Nemzeti juttatások és alapítványok révén.

A megújuló energiaforrás projektek alapvető támogatási stratégiáit a 3. számú táblázat mutatja:

3. számú táblázat: Az EU tagországai által alkalmazott közvetlen állami támogatási stratégiák a megújuló energiaforrást használó áramtermelők számára

		Áralapú	Mennyiségalapú
irányított	Beruházás alapú	beruházási hozzájárulás pénzügyi támogatás adókedvezmény	kötelező (nem piaci) kvóták pályázatok
	Termelésalapú	árvisszatérítés termelési adókedvezmény	forgalmazható zöldbizonyítvány pályázatok
feltételes	Beruházás alapú	részvényesek projektjei hozzájárulási projektek	
	Termelésalapú	zöld tarifa	

Forrás: Huber, 2004

Irányított támogatási formák

Befektetési hozzájárulások

Jellemzően a nagy kezdeti költséggel bíró technológiák esetében alkalmazzák (így a fotovoltaikus – FV erőműveknél). A megújuló energiaforrást igénylő energiaprojektek támogatása gyakoribb

esetben az összköltségek bizonyos százalékára, vagy a megtermelt energia minden kW-jára vonatkozik. A végső hozzájárulás függ a technológiától és a régiótól, valamint a bizonyított beruházási költségek 20 és 50 százaléka között mozog.

Az árleszállítások rendszere is ezen eszközök részét képezi. Az árkedvezmények csökkentik a tőke beruházási igényt, ahogy ez korábban a fotovoltaikus és szélenergia rendszerek esetén jellemző volt (példa erre az *1000 tető* projekt Németországban). A kockázata abban rejlik, hogy csak a létesítést támogatja, míg a működtetést nem; e problémát egy időkorlát bevezetése megoldhatná.

Pénzügyi támogatás

A pénzügyi hozzájárulás egy kormányzattól kapott támogatási forma, mely egy előzetes kockázatbecslést követően elnyert alacsony kamatlábbal bíró hitel. Eszközei lehetnek e formának a magánszektorból nemzeti vagy regionális szinten beszedett adók, s közvetlenül a környezetvédelmi alapok jelenthetik a legfőbb forrást.

Beruházásra és termelésre adott adókedvezmények

E forma számos intézkedést foglalhat magába, árendedményeket, a megtermelt energián lévő adóterhek elengedését, a káros anyag kibocsátást terhelő szénadó alóli mentességet, adó visszatérítést és ÁFA csökkentés; olyan költségcsökkentő megoldások ezek, melyek vagy az összes, vagy csak kiválasztott (régi, jelenbeli vagy jövőbeli) energiatermelők támogatására alkalmasak. E fiskális akciók célja a kormányzati energetikai és környezetvédelmi céloknak megfelelő energiatermelés és fogyasztás elősegítése. Növeli az intézkedés hatékonyságát, ha egy szélesebb körű, környezetvédelmi szempontokat figyelembevevő adóztatással párosul; megújuló energiaforrásra fordított összegek arányában lehetséges a tevékenységet terhelő adók csökkentése.

Árvisszatérítés

E támogatási rendszer a termelt energia kWh alapján működik. Jellemzően a teljes árba foglaltan jelenik meg, a megújuló energiaforrást alkalmazó termelők által kapott legmagasabb árhoz képest hozzáadott többletként. Értékét a felhasznált technológia szabja meg. Az ilyen árszabás hátrányos a fogyasztók számára.

A megújuló energiaforrások kiaknázásának kezdetén ezen eszköz nagyon hatékonyak bizonyult, s ma is elterjedt az Európai Unió tagállamaiban (így Németországban, Spanyolországban és Dániában). A sikeres alkalmazás egyik kulcsa a megfelelő árszabás, a másik ennek megőrzése hosszú, 12-20 éves távlatban.

Kvóták

A kvóták a megújuló energiák termelési és fogyasztási minimumának biztosítása érdekében születtek; és az áramszolgáltatók számára fogalmazza meg százalékos arányban a megújuló forrásokból származó mennyiség legkisebb, előírt értékét. E kritériumok teljesítéséhez bizonyos mennyiségű megújuló energiaforrást kell alkalmazni, valamint a későbbiekben – nem szükségszerűen – megkövetelhető tanúsítványok kiállítása e forrásokról. Mivel az energiaforrások fajtái nincsenek pontosan meghatározva, jellemzően a legpiacképesebbek kerülnek kiválasztásra. A kvóták teljesítésének elmulasztása célszerűen nagyobb büntetést kell magával vonjon, mint a megújuló források felhasználásából származó bevételek.

A megújuló energiaforrások hozzáférhetősége, energiaipari alkalmassága és a megtérülést leginkább garantáló hosszú távú időbeli biztonság szükséges a kvótarendszer hatékonyságához.

Pályázatok

A pályázati kiírások vonatkozhatnak a beruházásra és a termelésre egyaránt, de mindkét esetben a megtermelt energián kell alapulniuk. Előbbi esetben egy beépítendő kapacitásminimumot kell előírni, a különböző megújuló forrásoknak megfelelően; s a legjobb árajánlatot kell elfogadni. A megkötött szerződések jövedelmező beruházási feltételeket jelentenek a győztesnek, beleértve a kilowattontkénti beruházási támogatást. Az áramkibocsátáson alapuló rendszer meghatározott időtartamra kínál ármegeállapodást a megtermelt energia kilowattja után.

Forgalmazható zöldbizonyítványok

Ezen eszköz jellemzően a kormányzat által az áramszolgáltatók és fogyasztók számára meghatározott feladatköröket tartalmazza. A zöldbizonyítvány a megújuló forrásból termelt energia egy bizonyos mennyiségéről szól. E bizonyítványok az energiapiactól függetlenül kerülnek forgalomba; így az energiaszektoron kívüli piac is érintetté válik a zöldbizonyítványok rendszerében. E tény két lehetséges bevételi forrást jelent az energiatermelőknek. A bizonyítvány árát elsősorban a kereslet és a kínálat alakulása szabja meg, azonban a keresletet a kormányzat által meghatározott előírások is befolyásolják.

Más eszközök

A fent említett módszereken túl számos más közvetlen vagy közvetett eszköze létezik az irányított támogatásnak, így a megújuló energiákat támogató törvények és más jogszabályok alkalmazása, az energiatermelési piac liberalizációja, a független energiatermelők elosztóhálózatának megteremtése, környezetvédelmi adók vagy a bioüzemanyagok adómentessége.

Feltételes támogatási eljárások

A fenti cselekvések fő jellemzője annak feltételezése, hogy a megújuló energiáknak létezik fizetőképes kereslete az egyének, a szervezetek, a kereskedelmi és ipari vállalatok részéről. A pénzügyi részvétel további lehetősége lehet a megújuló energiákkal foglalkozó szervezetekbe való befektetés, zöldadó fizetése az árvisszatérítésen felül és még számos más megoldás is lehetséges.

Az intézkedések legfőbb célja, hogy a megújuló energiahordozók szabályos piaci termékek legyenek a hosszútávon.

2.4 KÖLTSÉG-HASZON ELEMZÉSEK

A költség-haszon elemzés (*cost-benefit analysis, CBA*) egy alternatív közösségi politika társadalmi költségeit és hasznait felmérő kutatás. Elsősorban a hatékonyságot szolgálja több megvalósíthatósági tanulmány összevetésével, és a legnagyobb nettó legnagyobb pozitív hatással bíró projekt kiválasztásával. A hasznok vizsgálatának fő területe a lakosság fizetési hajlandósága a közösségi politika őket érintő hatásainak elkerülésért vagy támogatásáért. A költségek mérlegelésénél a lehetőségköltség (alternatívaköltség, *opportunity cost*) a fő irányelv. A költség-haszon elemzés az eljárások hatását figyelembevevő árnyékárakkal számol, melyeket az intézkedések által meg nem zavart piaci árváltozásokkal vet össze.

A költség-haszon elemzés vonatkozhat:

- eszköz egy projektervezet vagy egy javaslatétel a felbecsüléséhez értékeléséhez (melyek maguk is hipotetikusak);
- gazdasági döntések meghozatalának kötetlen formája.

Mindkét definíció olyan eljárást ír le, mely közvetlen vagy közvetett formában az összes várható költséget és hasznot figyelembe veszi egy vagy több cselekvési terv esetén, hogy a legjobb és

legjövödelmezőbb lehetőség meghatározható legyen. A szabályszerű eljárás költség-haszon elemzés (CBA) vagy haszon-költség elemzés (BCA) néven ismert.

A hasznot és a költséget jellemzően pénzben és elsősorban annak időértékében lehet kifejezni, így a projekt időtartama alatt minden bevétel és kiadás (melyek jellemzően eltérő időpontokban jelentkeznek) az idő hatását figyelembe vevő *jelenérték* alapján számolható. Kapcsolódó, de eltérő módszerű formális eljárás lehet még a költséghatékonysági vizsgálat, a gazdasági hatásvizsgálat, a pénzügyi hatásvizsgálat és a befektetések társadalmi hasznát mutató (*Social Return on Investment, SROI*) elemzés. A legutóbbi a költség-haszon elemzések elvén épül fel, azonban különbözik tőle abban, hogy a vállalkozások döntéshozó testületei számára a társadalmi és környezeti hatások optimalizálási lehetőségeit vizsgálja – a pénzügyi vonzatok helyett. A költség-haszon eljárás a döntéshozatali eljárásokban is szerepet kap a beruházást érintő elhatározások igazolására.

A pénz időértéke

Jövőérték (*future value, FV*) – a vagyon értéke egy meghatározott időpontban. A névleges jövőbeli pénzmenyiség értékét egy időpontra vonatkoztatva számítja ki, feltételezve egy kamatlábat, vagy még gyakrabban egy megtérülési rátát (*rate of return, ROR*). A *jelenérték* kamatos kamattal való felgyülemelésével számolható.

A pénz időértéke a pénz értékének meghatározott időtartam alatt számolt kamattal való gyarapodott számértékét jelenti.

Az eljárás lehetővé teszi a bevételek jövőbeli beérkezésének értékelését oly módon, hogy az éves bevételeket leszámítolás után összeadva a *jelenérték* alapján vett egyszeri összegként adja meg.

A pénz időértékére vonatkozó minden alapvető számítási eljárás a jövőbeli pénzösszegek jelenértékét meghatározó algebrai kifejezésen alapszik, ahol a jövőbeli árakat a pénz időértékével csökkentve adható meg a jelenbeli érték. Például a *FV* jövőérték *r* kamattal csökkentett értékéből származik a *PV* jelenérték: $PV = FV - r \times PV = FV/(1+r)$.

Jelenérték (*present value, PV*) – a pénz időértékét alkalmazó alapvető számítási eljárás a jelenérték meghatározása is. A jelenérték egy jövőbeli pénzösszeg vagy pénzforgalom jelenlegi értéke a megtérülési ráta függvényében. A jövőbeli pénzmozgásokat (cash flow) a leszámítolási kamatláb alapján lehet számolni; minél magasabb e kamatláb, annál kisebb a jövőbeli cash flow-k jelenértéke. A diszkontráta megfelelő számítása a jövőbeli pénzforgalom megfelelő értékelésének kulcsa, jövedelmek és tartozások esetén is.

2.5 GAZDASÁGI HATÁSVIZSGÁLAT

A gazdasági hatásvizsgálat (*Economic impact analysis, EIA*) egy irányelv, program, projekt, tevékenység vagy esemény hatását kutatja egy adott területen. A hatásterület lehet egy környék, egy közösség, egy régió vagy egy ország. A gazdasági hatást jellemzően a gazdasági növekedésben (kibocsátás vagy hozzáadott érték), a munkahelyszám változásában (foglalkoztatottság) és a bevételekben (jövedelmek) lehet vizsgálni.

Az elemzés összeveti a gazdasági tevékenység intenzitását az irányelv alkalmazása vagy a projekt megvalósulása, valamint ezek elmaradása esetén, kiszámolva a különbséget a két feltételezett állapot gazdasági mutatói között. E vizsgálat lefolytatható utólagosan (*ex post*) vagy előzetesen (*ex ante*). Esetenként a gazdasági hatás az adott tevékenység helyi gazdaságban betölthető szerepeként is értelmezhető.

A gazdasági hatások elemzése jellemzően egy részét képezi a környezeti hatásvizsgálatnak, mely a projekt szélesebb körben értelmezett környezeti, gazdasági, és társadalmi eredményeit is

figyelembe veszi. Fontos lefolytatni, ha a lakosság figyelme élénk, és bizalmatlan vagy tart a projekt vagy intézkedés negatív gazdasági hatásaitól, vagy komoly várakozások előzik meg a beruházást.

2.6 ALTERNATÍV KÖLTSÉGVETÉS TERVEZŐ ESZKÖZÖK

- Nettó jelenérték (*net present value, NPV*): a bevételek jelenértéke és a kiadások jelenértéke közötti különbség.
- Módosított jelenérték (*adjusted present value, APV*): meghatározza a projekt jelenértékét, ha azt a tulajdonos kizárólagosan saját tőkéből finanszírozza, valamint beletartozik a beruházás révén nyert haszon jelenértéke is.
- Megtérülési idő: megadja azt az időt, amely ahhoz szükséges, hogy a bevételek kiegyenlítsék a kezdeti kiadásokat; kockázatot és nem megtérülést mér.
- Reálopciók értékelési eljárás: a menedzseri lehetőségeket értékeli a nettó jelenérték függvényében.
- Belső megtérülési ráta (IRR): a projekt megtérülési arányának számítása, a teljes összeg figyelmen kívül hagyásával.
- Módosított belső megtérülési ráta (MIRR): a belső megtérülési rátához hasonló, de pontos számadatokat közöl a pénzforgalom visszaforgatásáról; nevezik belső növekedési rátának is (*Growth Rate of Return*).
- Számviteli megtérülési ráta (*accounting rate of return, ARR*): a belső megtérülési rátához (IRR) és a módosított belső megtérülési rátához (MIRR) hasonlatos mutató.

Nettó jelenérték

A **nettó jelenérték (*net present value, NPV*)** egy időszak alatti kiáramló és bejövő pénzforgalom, az egyes pénzmozgások nettó jelenértékeinek összege. Az esetben, ha minden jövőbeli forgalom beáramló (például kuponok vagy kötelezettségek révén), és a teljes kifelé menő pénzforgalom nyersanyagok beszerzési költsége, úgy a nettó jelenérték egyszerűen a jövőbeli cash flow jelenértékének és a vételárak (mely megfelel önmaga jelenértékének) különbsége. A nettó jelenérték fontos eleme a diszkontált cash flow (*discounted cash flow, DCF*) elemzéseknek, valamint a hosszú távú projektek esetén a pénz időértékének becsléséhez is alapvető eljárás. Elterjedt módszer a közgazdaságtan, pénzügyi és számviteli eljárásoknál, kiszámítható vele a pénzügyi költségvetések pénzforgalmának jelenértékű többlete vagy hiánya, a finanszírozási célok teljesülése esetén.

A pénzforgalmak sorozatát értékelő nettó jelenérték számítások bevételnek tekintik a cash flow-t, a diszkontrátát vagy diszkontgörbét és a termelési árat. Ezzel szemben a leszámítolási cash flow (DCF) elemzéseknél a bevételt a pénzforgalmak sorozata és az árak jelentik, míg a kiadást a leszámítolási kamatláb (azon diszkontrátával számolva, mely a megadott árak nettó jelenértékével egyezne meg) jelenti, és ezek adják a hozamot. Utóbbi eljárás elterjedtebb a kötvénykereskedelemben.

Minden pénzforgalmi bevétel és kiadás a nettó jelenértékére (PV) van csökkentve, majd ezeket kell összegezni. Így a minden időszakra összegzett nettó jelenérték:

$$\frac{R_t}{(1+i)^t},$$

ahol

- t – a vizsgált pénzforgalmak (cash flow) ideje
- i – a leszámítolási kamatláb (más néven a diszkontráta; egy beruházási összeg belső megtérülési rátája, ha az a pénzpiacokon kerülné befektetésre hasonló kockázattal).
- R_t – a nettó cash flow (a pénzmennyiség, a bevételek és a kiadások különbsége) t időszakban (szemléltetési célokból az R_0 gyakran az egyenlet bal oldalára kerül, hogy kiadási (negatív) szerepét hangsúlyozzák).

Módosított jelenérték

A módosított jelenérték (*adjusted present value, APV*) egy üzleti értékelési eljárás. A módosított jelenérték egy projekt nettó jelenértéke, amennyiben a projektet kizárólag a tulajdonosi kör finanszírozza. Először Stewart Myers, az MIT Sloan School of Management professzora tanulmányozta, később, 1973-ban Lorenzo Peccatti, a Bocconi Egyetem tanára alapozta meg a fogalmat elméletileg.

Az eljárás a nettó jelenérték számítását adja, ha a projekt teljesen saját tőkéből van finanszírozva (úgynevezett *alap eset, base case*). Az alap eseti nettó jelenérték a finanszírozás előnyeihez van igazítva. Jellemzően a fő előnyt az adó alóli mentesség jelenti, mivel az osztalékfizetés levonható a fizetendő adóból. Haszon lehet továbbá a támogatott kölcsönvétel részpiaci árak mentén. A módosított jelenérték számítás különösen akkor hatékony, ha az eszköz kiváltás lehetősége felmerül, mivel ez esetben a céget jelentős adósság terhelné, így az adómentesség alapvető fontosságú.

Gyakorlati értelemben a módosított jelenérték (APV) modellje nagyon hasonlít a diszkontált cash-flow-hoz (DCF). Szemben azonban a súlyozott átlagos tőkeköltséggel (*weighted average cost of capital, WACC*), a pénzforgalmak értékét az osztalékok megemeletlen szintjére kell lecsökkenteni, és az adómentességet is az adósság költségeinek megfelelő értéken kell elszámolni. Az APV és a standard DCF módszernek egyazon eredményre kell jutnia, ha a tőkeszerkezet stabilnak tekinthető.

APV = Alap eseti NPV + a finanszírozás hatásának jelenértéke.

Megtérülési idő

A megtérülési idő a költségvetések készítésénél azt az időszakot jelenti, amennyi elteltével a beruházás visszahozza az eredetileg befektetett összeget. Például egy 1000 € értékű befektetés esetén, éves szinten 500 € bevétellel számolva két év a megtérülési idő. A pénz időértéke nincs figyelembe véve; a megtérülési idő szemléletéből adódóan azt mérlegeli, hogy mennyi idő alatt adja vissza a befektetés az általa kapott értéket. Minden más feltétel egyezése esetén a rövidebb megtérülési idők kedvezőbbek a hosszabbaknál. Széleskörűen elterjedt számításhoz mondható egyszerűsége miatt, és az alábbiakban leírt korlátozások ellenére is.

A fogalom másfajta beruházások esetén is széleskörűen alkalmazott, különös tekintettel az energiahatékonysági technológiákra, karbantartásokra, a felújításokra és más változtatásokra. Például a kompakt fénycsőnek is tulajdonítható megtérülési idő, években vagy üzemórának megfelelően, bizonyos költségeknek megfelelően; itt a megtérülés az üzemeltetési költségek csökkenésében jelentkezik. Ugyan alapvetően pénzügyi fogalomnak tekinthető, de akad példa a megtérülési idő szemléletének más területeken való használatára is, ilyen az energiamegtérülés (azon időszak, melyen belül a projekt által megtakarított energia eléri a létrehozása óta felhasznált mennyiséget), azonban más értelemben nem szabályszerűsíthető és elterjedt a használata.

A megtérülési idő egy gyakran használt elemzési eszköz, mivel minden egyén könnyen alkalmazhatja és megértheti, függetlenül a képzettségtől és a szakterülettől. Hasonló események összehasonlításánál igen hasznosnak bizonyul. Önmagában alkalmazva, összevetve a tétlenséget a beruházással, a megtérülési időnek nincs értelmezhető hatása a döntéshozatalra (leszámítva azon alapesetet, hogy a megtérülési időnek végtelennél kevesebbnek kellene).

A megtérülési idő egy olyan elemzőmódszer, melynek használata erősen korlátozott esetekben lehetséges csak, mivel nem megfelelően veszi figyelembe a pénz időértékét, a kockázatot, a finanszírozás módozatait és más fontos kérdéseket, így az alternatívaköltséget. Míg a pénz időértéke kiigazítható a súlyozott átlagos tőkeköltséggel (WACC), általánosan elfogadott hozzáállás, hogy a megtérülési idő eszköze a beruházási döntéshozatalnál ne elszigetelten legyen alkalmazva. A megtérülés számításának alternatív, közgazdászok által kedvelt formája a nettó jelenérték és a belső megtérülési ráta. A megtérülési időben foglalt implicit feltételezés, hogy a beruházás jövedelmei ezen időszakon túlmenően is rendelkezésre állnak. A megtérülési idő nem határoz meg semmilyen összehasonlítási alapot más beruházásokhoz, és az adott beruházás életképtelenségét sem határozza meg.

Nem létezik általános egyenlet a megtérülési idő kiszámításához, kivéve azon egyszerű, de valószerűtlen esetet, amikor a kezdeti tőke rendelkezésre áll, valamint a későbbi pénzforgalom állandó vagy folytonosan növekvő bevételi cash flow-k sorozata. A számításhoz algoritmusok kellene, melyek táblázatkezelő programokban jól kezelhetők. A legtöbb algoritmus csak a pénzforgalom halmozódására és teljes egyenleg negatívból pozitívba fordulását határozza meg.

Nehezíti a számítást, ha a pénzforgalom egyenlege gyakran vált előjelet, és kiadások jelentkeznek a projekt közepén vagy végén. Ez esetben a megtérülési idő módosított algoritmus alkalmazható. Először az összes cash flow összegét kell kiszámolni, majd a bevételi pénzforgalmat kell összesíteni minden periódusra nézve. A módosított megtérülési idő ezt követően azon időpontra esik, amikor az összesített pozitív cash flow meghaladja a teljes kiadási pénzforgalmat.

Reálopció értékelési eljárás

A reálopció értékelési eljárások (real options analysis, ROA, mely nem tévesztendő össze az eszközarányos nyereség azonos rövidítésével, return of assets) a pénzügyek területén alkalmazza az opció ügyletek és a vételi jog értékelési technikáit, és tőke költségvetési döntésekre használja fel az eredményeket.^[1] A reálopció önmagában jog, és nem kötelesség egy üzleti döntés meghozatalára, jellemzően lehetőség egy tőkebefektetés megtételére, elhagyására, bővítésére vagy csökkentésére. Reálopció lehet annak lehetősége, hogy beruházás történjen egy cég gyárának bővítésébe, vagy eladásra kerüljön a gyár.

A reálopció értékelési eljárások alapelvei a vállalati pénzügyek területéről kiindulva fogalmaz meg bizonytalan helyzetekre vonatkozó döntési lehetőségeket, alkalmazva a pénzügyek területén kifejlesztett matematikai eljárásokat a reálgazdaság kérdésköreire. Például a kutatás-fejlesztési menedzserek alkalmazhatnak reálopció értékelési eljárásokat annak eldöntésére, hogy mibe érdemes leginkább pénzt fektetniük, nem üzleti példa lehetne azon döntés, melynek során az egyén a munkaerőpiacot választja, vagy több évnyi bevételről mondván le jelentkezik a felsőoktatásba. E módszer arra ösztönzi a döntéshozókat, hogy explicit módon fogalmazzák meg az előrejelzéseik alapjául szolgáló feltevéseket, így a reálopció értékelési eljárás stratégiaformáló eszközként való alkalmazása terjed.^[2]

Belső megtérülési ráta

A belső megtérülési ráta (*internal rate of return, IRR*) a tőke költségvetések terén használt megtérülési mutató, mellyel megmérhető és összehasonlítható az egyes beruházások jövedelmezősége. Nevezik leszámítolási cash flow megtérülési rátának is (*discounted cash flow rate of return, DCFROR*), vagy egyszerűen megtérülési rátának (*rate of return, ROR*).^[1] A

megtakarítások és hitelek esetében a belső megtérülési rátát *effektív kamatlábnak* is nevezik. A *belső* jelző a megnevezésben arra utal, hogy a számítások nem veszik figyelembe a külsőleges gazdasági tényezőket (így a kamatlábat vagy az inflációt).

A meglévő vagy feltételezett beruházás belső megtérülési rátája az éves összetett effektív megtérülési ráta, amely a befektetett tőkéből kinyerhető.

Közérthetőbb megfogalmazásban a belső megtérülési ráta megfelel azon kamatlábnak, amely mellett a beruházás bevételei meghaladják a költségeit. Ez azt jelenti, hogy a beruházás nyereségei megegyeznek a pénz időértékével, és a beruházás nulla jelenértékkel bír adott kamatláb mellett.

A belső megtérülési ráta aránymennyiség, így jelzője a befektetés hatékonyságának, a minőségének, vagy a hozam mértékének. Szemben ezzel a nettó jelenérték a beruházás értékének és méretének kifejezője.

Egy beruházás elfogadhatónak tekinthető, ha a belső megtérülési rátája meghaladja az elvárt megtérülési ráta (*minimum acceptable rate of return, MARR*) vagy *tőkeköltség* értékét. Egy olyan cég esetén, melynek tőkebefektetői vannak, ez a minimum ráta megfelel a beruházás tőkeköltségének (mely meghatározható a tőkeköltség kockázat alapú becslése által, vagy az alternatívaköltség révén). E feltétel biztosítja, hogy a részvényesek támogatását élvezzi a projekt, mivel általában a tőkeköltségnél nagyobb belső megtérülési rátával rendelkező befektetések által jut a vállalat értékhez, ez által válhat nyereségesé.

A projektet alkotó értékpárokat megadva (idő, cash flow) a belső megtérülési ráta követi a nettó jelenértéket a megtérülési ráta függvényében. Ahol a megtérülési ráta függvénye nulla értéken adja meg a belső megtérülési rátát.

Megadva a feltételpárokat: időszak n és cash flow C_n , ahol n egész szám; a periódusok száma N ; a nettó jelenérték NPV ; és a belső megtérülés rátát r fejezi ki:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

A periódusok jellemzően évekre vonatkoznak, de a számítást egyszerűsítheti, ha r mégis a problémamegoldások legjellemzőbb időszakára van értelmezve (magyarán hónapokban számolva, mivel a pénzforgalom havonta jellemző), és később lesz éves periódusra konvertálva.

Megjegyzendő, hogy bármilyen időpont használható a jelen helyett (vagyis az éves intervallumok végei), és a kapott érték akkor és csak akkor nulla, ha a nettó jelenérték is nulla értékű.

Amennyiben a pénzforgalom sokfajta változót jelent, mint például egy életjáradék esetében, a várt értékek a fenti képletbe helyettesíthetők.

Bizonyos esetekben az r nem állapítható meg elemzések által; ez esetben numerikus vagy grafikus eljárások alkalmazhatók.

Módosított belső megtérülési ráta

A módosított belső megtérülési ráta (*modified internal rate of return, MIRR*) egy beruházás pénzügyi előnyösségének fokmérője. A tőke költségvetések készítésénél az alternatívaköltségek számítására lehet használni. Amint a neve is mutatja, a MIRR a belső megtérülési ráta módosításával számolhat, az IRR hiányosságainak kiküszöbölése érdekében. Míg a belső megtérülési ráta alkalmazása számos problémát vet fel, addig a módosított belső megtérülési ráta kettőt old meg belőlük.

A belső megtérülési ráta első hibája, hogy feltételezése szerint a bevételi pénzforgalmat ugyanolyan megtérülési rátával lehet visszafogatni, mint az őket generáló projektek esetén. Ez valószerűtlen elképzelés, sokkal valószínűbb, hogy a források ismételt befektetése a cég tőkeköltségéhez közeli értéken fog megtörténni. Magyarán az IRR egy indokolatlanul optimista képet fest a vizsgált projektekről. A projektek összevetésének helyesebb módja, ha a visszafogatott tőke értéke súlyozott átlagos tőkeköltséggel van számolva.

Az IRR másik nagy hiányossága, hogy a pozitív és a negatív cash flow-k között váltakozó projektek zavarosan és félreérthetően számolhatók, míg a MIRR csak egy értékkel dolgozik.

Számítás

A módosított belső megtérülési ráta (MIRR) a következőképpen számolható:

$$\text{MIRR} = \sqrt[n]{\frac{-FV(\text{positive cash flows, reinvestment rate})}{PV(\text{negative cash flows, finance rate})}} - 1$$

ahol n a pénzforgalommal záruló egyenlő periódusok száma (és nem a cash flow-k száma), PV a jelenérték (az első periódus elejére vonatkoztatva), FV a jövőérték (az utolsó periódus végén).

A képlet összeadja a kiadási pénzforgalmak kezdeti időpontra diszkontált összegét; összegzi a bevételi cash flow-kat, felszorozva azokat a visszafogatások révén az utolsó periódusig számított többletértékükkel; majd meghatároz egy olyan megtérülési rátát, amely kiegyenlítené a negatív cash flow-k első időpontra leszámított összegét és a végső időpontra kiszámolt pozitív pénzforgalmat.

A Microsoft Excelhez hasonló táblázatkezelő számítógépes alkalmazások képesek a módosított belső megtérülési ráta kiszámolására. A Microsoft Excel esetén ez a parancs `=MIRR`.

Számviteli megtérülési ráta

A számviteli megtérülési ráta (*accounting rate of return, ARR*), más néven **átlagos jövedelmezőség** (*average rate of return, ARR*) egy tőke költségvetések készítésénél használt pénzügyi arányszám.^[1] E mutató nem veszi figyelembe a pénz időértékének koncepcióját, ezzel szemben a számviteli megtérülési ráta a nettó bevétel és a javasolt tőkeberuházás különbségéből származó hasznot, és százalékosan fejezi ki azt. Egy 7%-os ARR-t feltételező projekt minden befektetett euró után hét euró cent hasznot hoz. A projekt akkor elfogadható, ha a számviteli megtérülési ráta egyenlő, vagy meghaladja a szükséges megtérülési ráta értékét; míg ha kevesebb, a javaslat elutasítandó. Beruházások összehasonlítása esetén a magasabb ARR értékkel rendelkező befektetés jelenti a kedvezőbb beruházást.

A KÉZIKÖNYV SZERZŐI

BIOMASSZA

Prof. Giovanni Riva

Az olaszországi Università Politecnica delle Marche (UNIVPM) professzora, kutatási területei az energiatermelés különböző eljárásai és technikái, valamint a biomassa használata révén való energiaköltség csökkentése. Nemzeti és nemzetközi szinten – Kelet-Európában, Ázsiában, Afrikában és Dél-Amerikában, FAO és EU projektek keretei között – innovatív erőművek kivitelezésben és adatgyűjtési eljárások kidolgozásban működött közre.

Prof. Ester Foppapedretti

Az olaszországi Università Politecnica delle Marche (UNIVPM) főállású professzora, szakmai érdeklődési körét a mezőgazdasági gépek, az energiatermelés és a biotermékek tárolása alkotják. A fő kutatási területei a mezőgazdaság gépesítése, a gépek teljesítményeinek vizsgálata, az energiaforrások feldolgozásánál használt technológiák és a szerves hulladékgazdálkodás.

Phd. Carla de Carolis

Kutatási asszisztens az UNIVPM egyetemen. Szakterülete az életciklus elemzés, a területi tervezés és a biomassa kutatás. Tanulmányokat folytatott az EU Marie Curie ösztöndíjjával az IFRF-nél (International Flame Research Foundation). 2007 óta EU IEE és INTERREG projektek keretei között energiakutatási tevékenységekben vesz részt.

VÍZENERGIA

Eleftherios Giakoumelos

Fizikus a Patraszi Egyetemen. Az utóbbi tízenhárom évben a CRES-nek dolgozott. Az első nyolc évben a pénzügyi szolgáltatások részlegén elsősorban pénzügyi monitoring tevékenységet és ellenőrzést végzett, valamint a kutatások adminisztratív feladataiban vett részt. Az utóbbi öt évben a képzési osztályon oktatásszervezéssel, tanulmányok készítésével és a piaci igények felmérésével foglalkozik.

SZÉLENERGIA

Dr Charalambos Malamatenios

Gépészmérnök. Diplomáját és doktori fokozatát az Athéni Nemzeti Műszaki Egyetemen szerezte. 1997 óta a CRES-nél dolgozik. Megújuló energiával és energiahatékonysággal foglalkozó tréningeket szervez és tart különféle célcsoportok számára, emellett tréningeszközök kifejlesztésével foglalkozik és igényfeltáró elemzéseket végez.

GEOTERMIKUS ENERGIA

Prof. Patrizio Signanini

A Trieszti Egyetem Földtudományi szakán szerzett diplomát 1971-ben, majd hidrológiai geofizikára szakosodott. Különböző megbízásokat teljesített Olaszországban és más országokban is. Az alkalmazott geofizika egyetemi tanára a camerinói, valamint az anconai egyetemen. 2001 óta a Lotti Associati S.p. kutatását vezeti, mely a szubtrópusi területeken lévő víztározókat vizsgálja. Megközelítőleg ötven tudományos cikk szerzője.

Crema Giancarlo

A Torinói Egyetemen végzett földtudomány szakon 1963-ban, majd 1968-ban elvégezte a kémiaszakot. A kőzetek, talajfajták és felszín alatti vizek kutatója a Torinói Egyetemen, valamint számos munkában vett részt felügyelőként vagy vezetőként. Jelenleg a hidrogeológia professzora a Camerinói Egyetemen. 1994 óta az alkalmazott hidrogeológia és a környezeti hidrogeológia professzora a Chieti-Pescarai Egyetemen. Hozzávetőlegesen ötven tudományos cikket publikált.

Micaela Di Fazio

Az "UNIROMA 3" római egyetemen végzett, majd földtudományi szakképesítést szerzett a Gabriele D'Annunzio Egyetemen Chieti-Pescarában. 2010 óta utóbbi intézmény PhD hallgatója. Együttműködik a Fejlett Orvosbiológiai Technológiai Intézetrel (Institute for Advanced Biomedical Technologies, ITAB), valamint az állami erdészeti hivatallal, ahol termografikus légi felvételeket készít szennyezett területekről és a földfeltöltések hőtani viselkedéséről.

PÉNZÜGYI ÉRTÉKELÉS

Prof. Jozef Gajdoš

Közgazdaságtudományi egyetemet végzett. Huszonnégy éves tapasztalattal rendelkezik a logisztika, a projektmenedzsment és a pénzügyi-gazdasági elemzések terén. 1990 óta a Pozsonyi Egyetem munkatársa, valamint logisztikai kérdésekre szakosodott tanársegéd a Kassai Egyetemen. Megközelítőleg harminc tudományos cikk szerzője.

Rastislav Ručinský

Közgazdaságtudományi egyetemet végzett. Kilencéves tapasztalattal rendelkezik a projektmenedzsment és a pénzügyi-gazdasági elemzések terén. A fejlesztési, információs és PR ügyek dékánhelyettese, valamint a Pozsonyi Egyetem Kassai karának tanársegédje. Itt doktorált 2004-ben, projektmenedzsment és pénzügy szakon. Hozzávetőlegesen harminc tudományos cikk szerzője.



További információ a projektről:

marcocaponigro@gmail.com, ufficioenergia@comune.potenza.it

www.ener-supply.eu

Projekt partnerek:

**Comune di Potenza (koordinátor) –
Olaszország**

marcocaponigro@gmail.com
ufficioenergia@comune.potenza.it
www.comune.potenza.it

**Centre for Renewable Energy Sources
and Savings (CRES) – Görögország**

malam@cres.gr, egiakou@cres.gr
www.cres.gr

**Black Sea Regional Energy Center
(BSREC) – Bulgária**

office@bsrec.bg, angel@bsrec.bg
www.bsrec.bg

**Centre for Promotion of Clean and Efficient
Energy in Romania – Románia**

c.tantareanu@enero.ro, nicoleta.ion@enero.ro
www.enero.ro

**Center for Environmental Studies -
Környezettudományi Központ Alapítvány -
Magyarország**

mail@ktk-ces.hu
www.ktk-ces.hu

**Faculty of Business Economy, University of
Economics – Szlovákia**

jana.nascakova@euke.sk
rastislav.rucinsky@euke.sk
www.euke.sk

**Università Politecnica delle Marche –
Olaszország**

c.decarolis@univpm.it, g.riva@univpm.it
www.univpm.it

**Centre for Studies and Experimental Research in
Geotechnologies – Olaszország**

rainone@unich.it
www.cersgeo.unich.it

**Energy Institute Hrvoje Pozar (EIHP) –
Horvátország**

mzidar@eihp.hr
www.eihp.hr

University of Novi Sad – Szerbia

mbukurov@uns.ac.rs
www.uns.ac.rs

**Energy Agency of the Republic of Macedonia
Macedónia Volt Jugoszláv Köztársaság**

elena.kitanovska@ea.gov.mk
www.ea.gov.mk

Albania – EU Energy Efficiency Centre – Albánia

ehido@eec.org.al
www.eec.org.al

**Regional Education and Information Center for
Sustainable Development in South Europe
(REIC) – Bosznia-Hercegovina**

a.husika@reic.org.ba
www.reic.org.ba