

Dr. Halász László – Dr. Földi László
KÖRNYEZETBIZTONSÁG



ÁROP – 2.2.21 Tudásalapú közszolgálati előmenetel



Dr. Halász László – Dr. Földi László

KÖRNYEZETBIZTONSÁG

Nemzeti Köszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Budapest, 2014

Nemzeti Közszołgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Szerzők:

© Dr. Halász László, Dr. Földi László, 2014

Kiadja:

© Nemzeti Közszołgálati Egyetem, 2014

Minden jog fenntartva. Bármilyen másolóshoz, sokszorosításhoz, illetve más adatfeldolgozó rendszerben való tároláshoz és rögzítéshez a kiadó előzetes írásbeli hozzájárulása szükséges.

Olvasószerkesztés, tördelés: Nemzeti Közszołgálati és Tankönyv Kiadó Zrt.

ISBN 978-615-5305-97-9

TARTALOMJEGYZÉK

1. FEJEZET

A környezetbiztonság mint a biztonság integráns része	7
1.1 A biztonság fogalma	7
1.2 A Magyarországot érintő biztonsági fenyegetések, kihívások és azok kezelése	12
1.3 A környezetbiztonság definíciója, tartalma	14
1.4 Magyarország környezetbiztonsága	25
1.5 Környezetbiztonság és fenntartható fejlődés	28
1.6 A környezetbiztonsági kihívások kezelése	29
1.7 Környezetbiztonság és klímaváltozás	33

2. FEJEZET

A környezetbiztonságot veszélyeztető tényezők	37
2.1 Légszennyezés	37
2.2 Vízszennyezés	48
2.3 Talajszennyezés, talajerózió	57
2.4 Zaj-, rezgésszennyezés	68
2.5 Elektromágneses hullámok okozta szennyeződések	76
2.6 Az élelmiszerbiztonságot fenyegető kihívások	80

3. FEJEZET

A természeti erőforrások	85
3.1 Nem megújuló természeti erőforrások	85
3.2 A ki nem meríthető erőforrások	96

4. FEJEZET

Az energiabiztonság problémája	97
4.1 Energiahordozó szerkezet	100
4.2 Energiastratégia	112
4.3 Megújuló energiaforrások	116
4.4 A fenntartható fejlődés energetikai indikátorai	133

IRODALOMJEGYZÉK	139
------------------------------	------------

1. FEJEZET

A környezetbiztonság mint a biztonság integráns része

1.1 A biztonság fogalma

A biztonság általánosságban a fenyegetettség, illetve a veszély hiányát jelenti. A biztonság fogalma és tartalma folyamatos módosuláson megy át, kilépett a korábban meghatározónak minősülő külpolitikai (diplomáciai) és katonai keretektől, s egyre több irányra, társadalmi szférára és kategóriára terjed ki, melyek helyi értéke időnként változik, így a katonai tényező a jelenben és jövőben is hátrább szorulhat. Néhány értelmezése:

- ✿ A biztonság a veszély hiánya.
- ✿ A biztonság az egyes emberek vagy csoportjaik, az államok és államcsoportok bizonyossága a felől, hogy a lehetséges veszélyektől védve vannak.
- ✿ A biztonság olyan állapot, amelyben az egyéneket, csoportokat és az államokat komoly veszélyek nem fenyegetik, illetve azoktól védettnek érzik magukat, vagy amelyben biztosak, hogy jövőjüket saját elképzeléseik szerint alakíthatják.

A biztonság és a fenyegetettség foka jelentős mértékben függ a szubjektív érzettől, a történelmi tapasztalatoktól és a környezethez való viszonytól.

A Magyar értelmező kéziszótár szerint a „biztonság veszélyektől vagy bántódástól mentes (zavartalan) állapot”. A biztonság ma komplex fogalom és állapot, „a politikai, gazdasági, katonai, szociális, humanitárius, környezetvédelmi szférákra, valamint a katasztrófa elhárításra egyaránt kiterjed”.¹

Általánosan elfogadottnak tekinthető, hogy a biztonság egyénekhez (egyes emberekhez), emberi közösségekhez (csoportokhoz), államokhoz (nemzetekhez), nemzetközi rendszerekhez köthető, amely mindig valamilyen értékek ellen irányuló fenyegetés, veszély vagy kockázat megjelenése kapcsán felmerülő igény.

A biztonság abból a szempontból is komplex jelenség, hogy több szinten lehet értelmezni. Bár a politikai kapcsolatok főszereplője napjainkban még mindig az állam, egyre inkább teret nyernek az állam feletti (szupranacionális) és állam alatti (szubnacionális) szereplőket fgyelembbe vevő gondolatok.

Az állami szinten kezelt biztonságpolitika fő célja az állam fenntartása és védelme. Ez a túlélésre, működő gazdaságra, politikai függetlenségre és az ország jó politikai hírne-

¹ SZABÓ József (szerk.): *Hadtudományi lexikon A-Zs I-II.* 144. oldal, Magyar Hadtudományi Társaság, 1995. ISBN 963 04 5226 x

vének megőrzésére egyaránt irányul. Ehhez a diplomácia, a gazdaság, illetve a katonai erő eszköztárát alkalmazhatja.

A nemzetközi rendszer keretein belül értelmezett biztonságfogalom a nemzetközi intézmények szerepét kutatja. A nemzetközi intézmények kiterjedésük szerint lehetnek globálisak vagy regionálisak, funkciójuk szerint pedig gazdaságiak, biztonságiak vagy katonaiak. A nemzetközi intézmények hatékony és eredményes működésének feltétele az, hogy a felek tiszteletben tartásuk a nemzetközi jogot és tartózkodjanak a szabályok egyoldalú felrúgásától.

A hidegháború után nyert értelmet a régiók szintjének a vizsgálata. A kétpólusú világrend idején szinte törvényszerű volt, hogy ha valahol hatalmi vákuum keletkezik – vagyis nincs olyan politikai erő, amely képes lenne a hatalom tartós kézben tartására –, akkor vagy az USA, vagy a Szovjetunió jelöltje szerzi meg a pozíciót, és az ezzel járó szuperhatalmi támogatást. A bipoláris rendszer felbomlása után viszont már egyik országnak sem fűződött érdeke a régiók támogatásának elnyeréséhez, így mondhatni, magukra hagyták egykori pártfogoltjaikat. Napjainkban ezek az országok a globalizáció veszteségeinek tekinthetők, fokozatos leszakadásuk pedig társadalmi, politikai, etnikai feszültségekhez, illetve erőszakos konfliktusokhoz vezethetnek, jelentős feladat tehát ezen problémás régiók biztonságán javítani.

Történelmileg az egyén szintjén értelmezett biztonságot ismerték fel legkésőbb. Az egyén biztonságát az ENSZ Alapokmánya és az Emberi Jogok Egyetemes Nyilatkozata tartalmazza.

A társadalmi csoportok biztonságának feltétele egyrészt az, hogy az etnikai, vallási és kulturális közösségek zavartalanul fenntarthassák szervezeteiket, másrészt, hogy az egyének csoporthoz tartozását és az önazonosságához való jogot ne fenyegetse veszély. A fenyegetés megnyilvánulhat az elnyomó állam vagy az intoleráns többségi nemzet képében.

A biztonságot kihívások fenyegetik:

- * *Válság*: a veszély aktivizálódik, olyan lépéseket kell tenni, amik eltérnek a hétköznapiól.
- * *Fenyegetés*: vagy politikailag artikulált, megfogalmazott fenyegetés, vagy felhatalmazás alapján történő fenyegetés (terrorizmus).
- * *Konfliktus*: amikor a politikai fenyegetések megszűnnek és létrejön a háború.

1.1.1 A biztonságot veszélyeztető tényezők osztályozása (tipológiája)

Származásuk szerint a biztonságot veszélyeztető tényezők lehetnek²:

- * természeti eredetűek, azaz természeti jelenségek által előidézett katasztrófák és kedvezőtlen természeti változások (földrengés, tengerrengés, árvíz, hő- és szélviharok, gyors éghajlati változások) és

² *Biztonsági tanulmányok – Biztonságpolitika*. Gazdag F. szerk. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bp., 2011.

- ✿ mesterséges eredetűek, azaz a szándékosan vagy gondatlanságból előidézett, a társadalom létét és biztonságát, a nemzetközi rendet, illetve a környezetet fenyegetők (fegyveres konfliktus, háború, terrorizmus, gazdasági problémák, migráció, illegális fegyver- és kábítószer-kereskedelem, környezetszennyezés stb.)

Méret szerint lehetnek:

- ✿ globálisak (az egész világra kiterjedők);
- ✿ kontinentálisak (egy földrészen belül annak egy részére érvényes);
- ✿ regionálisak (egy régióra kiterjedő);
- ✿ szubregionálisak (a régió egy részére érvényes);
- ✿ lokálisak (helyi jelentőségű).

Irányultságot tekintve:

- ✿ politikaiak;
- ✿ gazdaságiak;
- ✿ ökológiaiak;
- ✿ katonaiak stb.,

vagyis a társadalmi élet minden területén megjelenő, egy adott területre, vagy más dimenziókra is hatást gyakorló veszélyek.³

1.1.2 A biztonság elemei⁴

Globális biztonság

Amikor globális biztonságról beszélünk, akkor olyan kihívásokra gondolunk, mint a világméretű konfliktusok lehetősége, a nukleáris fegyverek és szennyező források, az éhségzónák megléte, jelentős embertömegeket megmozgató szélsőséges ideológiák agresszív aktivizálódása, nemzetközi terrorizmus, határokon átnyúló szervezett bűnözés, informatikai rendszerekkel kapcsolatos veszélyek (sebezhetőség, túlterhelés, vírusterjesztés, információlopás, dezinformáció stb.) és egyebek.

Kontinentális biztonság

Kontinentális biztonságról akkor beszélünk, amikor az egyes földrajzi térségek biztonsági egységet képeznek. Ilyen értelemben beszélhetünk az európai térség, az amerikai kontinens, a Távol-Kelet, az euró-atlanti térség biztonságáról. Megnyilvánulásai a globális biztonságnál felsoroltak lehetnek.

³ E. PETZOLD-BRAEDLEY, A. CARIUS, Á. VINCZE: *Responding to Environmental Conflicts: Implications for Theory and Practice NATO*. (Science Series Vol. 78.) Kluivert Academic Press Dodrecht, 2001.

⁴ HADNAGY I.: *A biztonság korszerű értelmezése – avagy a biztonság ma már sokkal bizonytalanabb, mint korábban bármikor*. 2014. 02. 04. <http://www.vedelem.hu/letoltes/tanulmany/tan135.pdf>

Regionális biztonság

A regionális biztonság kérdéseiről akkor van szó, amikor veszélyek és kockázatok egy bizonyos (sajátos) földrajzi, gazdasági és etnikai közegben jelentkeznek. Ilyen a Közel-Kelet, a Balkán, a Kaukázus, az iszlám térség stb.

Itt az adott térség államaiban folyó rendszerváltozásokról, társadalmi-szociális el-
lentmondásokról, megoldatlan vallási, etnikai, kisebbségi, egymástól lényegesen eltérő
életviteli problémákról beszélhetünk.⁵

Nemzeti dimenzióban a biztonság elemei (nemzeti biztonság)⁶

Politikai biztonság

A politikai biztonság elsősorban egy adott ország szuverenitásának fokában fejeződik ki. Helyzetét egyfelől a külső befolyás megléte vagy hiánya, illetve a befolyás mértéke (korlátozás, önkorlátozás) jellemzi. Általában az adott ország belső stabilitásában, valamint konszolidált, a fenyegetést kizáró külkapcsolataiban, nemzetközi pozíciójában valósul meg.

Gazdasági biztonság

A gazdasági biztonság megítélésénél alapvetően a gazdasági függés (nyersanyagok, energiahordozók, az ezekhez való jutás, adósság, ipari vagy mezőgazdasági monokultúra, pénzügyi kiszolgáltatottság, cserearányok, piacok, ársz viszonyok, állami befolyás stb.) mértékét kell vizsgálni.

Azt is vizsgálni kell, hogy a gazdasági biztonság veszélyeztetettsége objektív (például nyersanyag- vagy energiahordozók hiánya), vagy szubjektív (például más hatalmak szándékos nyomásgyakorlása, bojkott, embargó, szankciók) okok miatt áll fenn.

A gazdasági biztonság további fontos eleme a szociális dimenzió. Az infláció, a munkanélküliség, a belső piaci egyensúly, a tulajdon biztonsága, a demográfiai helyzet, az állampolgárok egzisztenciális biztonsága, a technológiai szint, az infrastruktúra, a kommunikáció helyzete stb. rossz esetben veszélyeztetik az adott politikai rendszer stabilitását, illetve kihatnak valamennyi biztonsági dimenzióra is.

A gazdasági biztonságban van olyan eleme is, amely közvetlenül összefügg a katonai szférával. Ilyen a hadigazdaság állapota, teljesítőképessége, átállási, illetve konverziós lehetőségei, valamint a fegyverkereskedelemben elfoglalt pozíciója.

Környezetbiztonság

Ebbe a körbe szokás érteni a környezetvédeltséget, a környezeti ártalmak általános fokát, a katasztrófa-, vízrajzi, meteorológiai, közegészség- és járványügyi helyzetet, illetve a védekező mechanizmusok, prevenciók rendszereinek meglétét és állapotát.

⁵ ÜRMÖSI K.: *A biztonság, a biztonság fogalma*, Hadtudományi Szemle, 2013 6/4. 147.

⁶ A Kormány 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozata Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról

Közbiztonság

A szélesen értelmezett közbiztonság egyik legfontosabb dimenziója a nemzetközi és szervezett bűnözés helyzete, az adott országban való megjelenési lehetősége és az elhárító rendszerek működőképessége. Ide tartozik az ország veszélyeztetettsége a terrorcselekményekkel szemben, a felderítés, megelőzés, a terrorizmust esetlegesen kiváltó politikai magatartás helyzete is. Ehhez szorosan kapcsolódik a maffiajelenség, a korrupció, amely erősen érintheti a szociális és pénzügyi biztonságot.

Ide sorolható a határrendészet, határőrizet, az illegális migráció, az illegális munkaerő-, áru- és kábítószer-kereskedelem helyzete és lehetősége is csakúgy, mint a politikai tartalommal bíró szélsőséges mozgalmak, nemzeti, etnikai, vallási konfliktusok lehetősége, illetve kezelésének lehetőségei.

Katonai biztonság

Katonai biztonságról – illetve annak hiányáról – akkor beszélünk, amikor fennáll a fegyveres erőszakkal való külső fenyegetettség (agresszió) lehetősége, amelynek elhárításában a katonai erő alkalmazása – még, ha végső eszközként is – szerepet kap.

Itt tehát az esetleges ellenség felismeréséről (hírszerzés), támadásáról való lemondásra készítéséről (elhárítás), visszatartó erőkről (többek között a védelemre alkalmas hadsereg) és az egyes hiányok pótlását garantáló nemzetközi támogatás meglétéről és annak állapotáról van szó. Fontos megjegyezni, hogy a katonai biztonságot nem az erő alkalmazása, hanem a szükséges mértékű megléte szavatolja. Az alkalmazás már a biztonság hiányát fejezi ki.

A biztonságpolitika szigorúan centralizált, koordinált és monopolizált:

- * minden hatalmi ágat magába foglaló;
- * állami funkció ellátása, melynek végső célja olyan alapvető értékek védelme, amelyeket az adott ország meghatározó csoportjai (illetve adott országcsoportok) elfogadnak, és fontosnak tartanak.

A defenzív (külső fenyegetettség ellen védő) és az offenzív (saját értékek terjesztése és erősítése) biztonságpolitika a szerteágazó biztonsági feladatokat ellátó politikai és adminisztratív intézményi rendszer tevékenységén keresztül valósul meg.

A fentieknek megfelelően az említett funkció ellátása során a legfontosabb feladatok: a nemzeti (nemzetközi) értékek, érdekek, veszélyek és kihívások konkrét meghatározása és időről időre történő – a nemzeti és nemzetközi környezet változásaival összhangban megvalósított – karbantartása, illetve a szükséges intézményi rendszer létrehozása és üzemben tartása.

1.2 A Magyarországot érintő biztonsági fenyegetések, kihívások és azok kezelése

Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján a világban a hagyományos fenyegetések, az államok közötti nagyméretű katonai összecsapások veszélye és súlya csökkent. Annak valószínűsége, hogy Magyarországot vagy szövetségeseit a belátható jövőben hagyományos fegyverekkel végrehajtott katonai támadás érje, jelenleg elenyésző mértékű. Ugyanakkor szélesebb környezetünkben a hagyományos konfliktusok lehetősége továbbra is fennáll, sőt egyes régiókban nőhet is, amelynek hatása közvetve Magyarországot is érintheti. A kedvező politikai folyamatok ellenére továbbra is fennáll a veszélye az etnikai, vallási vagy más feszültségből adódó helyi konfliktusok váratlan kirobbanásának.⁷

1.2.1 Regionális konfliktusok

Az instabil régiók, az államok közötti és államokon belüli konfliktusok, a gyenge vagy működésképtelen államok, valamint a világban zajló erőteljes fegyverkezés potenciális veszélyt jelentenek Magyarország és szövetségesei biztonságára. Az érintett térségekben tapasztalható instabilitás, a szegénység és a demokráciadeficit, valamint a konfliktusok jellemzően etnikai és vallási háttérre táptalajt jelentenek az országokon belüli erőszakhoz, fegyveres konfliktusokhoz, vagy az olyan, határokon átívelő fenyegetésekhez is, mint a szélsőségesesség, a terrorizmus, vagy a fegyver-, kábítószer- és emberkereskedelem.⁸

Tömegpusztító fegyverek és hordozóeszközök elterjedése

A hidegháborús időszak vége óta a fegyverzetellenőrzés területén tett erőfeszítések ellenére sajnos elmondható, hogy a tömegpusztító fegyverek és célba juttató rendszereik elterjedése, valamint fejlesztése nem állt meg. A biztonságpolitikai szakértők a korábbi fegyverkezési verseny hozományaként napjainkra új típusú veszélyforrásként jelölték meg az ABV fegyverek gyártásához szükséges anyagok, eszközök, szellemi termékek proliferációjából fakadó fenyegetést.⁹

Magyarország nem rendelkezik tömegpusztító fegyverekkel. A vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris tömegpusztító képességek (fegyverek, hordozóeszközök, beleértve az előállításukhoz szükséges kettős felhasználású termékeket és ismeretanyagot) terjedése kiszámíthatatlan veszélyforrást jelent a nemzetközi békére és biztonságra.

⁷ A Kormány 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozata Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról

⁸ PADÁNYI József: *A védelmi szféra változása Magyarországon (1990–2010)*. In: Húsz éve szabadon Közép-Európában: Demokrácia, politika, jog. Simon János szerk. (Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2010. 11. 25 – 2010. 11. 26. Budapest) Konrad Adenauer Alapítvány, 2011. 339.

⁹ BEREK Tamás – PELLÉRDI Rezső: *ABV (CBRN) kihívásokra adott válaszlelések az EU-ban* Bolyai Szemle XX. 2011/2.

A terrorizmus

Korunk jelentős globális fenyegetése marad, amely térben és időben eltérő és folyamatosan változó módon jelenik meg, és veszélyezteteti szövetségi rendszerünket és értékrendünket. Magyarország terrorveszélyeztetettsége alacsony, ugyanakkor külföldi eredetű vagy a külföldi magyar érdekeltségek elleni fenyegetettséggel számolni kell. Emellett külföldi terrorcselekményeknek is lehetnek hazánkat érintő biztonsági és gazdasági következményei.

Pénzügyi biztonság

A pénzügyi stabilitás kérdése a világgazdasági válság hatására jelentősen felértékelődött. Magyarország gazdasági és pénzügyi rendszerének stabilitása és ellenálló képessége fontos nemzeti érdek és biztonságpolitikai szempont. Hazánk e tekintetben sebezhető, mivel jelentős mértékű külső és belső adóssággal rendelkezik, illetve a magyar államadósság többsége külföldi befektetők kezében van. A devizaadósság magas aránya szintén növeli az ország sérülékenységét.

Kiberbiztonság

Az állam és a társadalom működése – a gazdaság, a közigazgatás vagy a védelmi szféra mellett számos más területen is – mind meghatározóbb módon a számítástechnikára épül. Egyre sürgetőbb és összetettebb kihívásokkal kell számolnunk az informatikai és telekommunikációs hálózatok, valamint a kapcsolódó kritikus infrastruktúra fizikai és virtuális terében. Fokozott veszélyt jelent, hogy a tudományos és technológiai fejlődés szinte mindenki számára elérhetővé vált eredményeit egyes államok, vagy nem állami – akár terrorista – csoportok arra használhatják, hogy megzavarják az informatikai rendszerek működését.

Energiabiztonság

Magyarország számára kulcsfontosságú az energiabiztonság. Importfüggőségünk magas, a fosszilis energiahordozók forrás- és útvonal-diverzifikáltsága elmarad a kívánatos szinttől, ez pedig számos kockázatot rejt magában. Mind a lakossági ellátás szempontjából, mind a magyar gazdaság energiaigénye miatt stratégiai jelentőségű a stabil, versenyképes áron hozzáférhető és tervezhető energiaellátás.

A biztonságot veszélyeztető tényezők az alábbiak:

Természeti és ipari katasztrófák

Az egyes ipari, biológiai, vegyi és különösen nukleáris létesítményekben zajló folyamatok ellenőrizhetetlenné válása tömeges méretekben veszélyeztetheti vagy károsíthatja az emberi egészséget, a környezetet, az élet- és vagyónbiztonságot. További kockázatot jelent a veszélyes áruk közúti, vasúti, vízi, légi és csővezetékes szállítása.

Szervezett bűnözés

A szervezett bűnözés, különösen annak a határokon átnyúló súlyosabb formái – a társadalmi-gazdasági átalakulás bizonytalanságait kihasználva – növekvő kihívás elé állítják a társadalmat, valamint az érintett rendvédelmi és igazságügyi szektor működését. A szervezett bűnözői csoportok igyekeznek legális gazdasági tevékenységüket és befolyásukat növelni, továbbá érdekeiket a gazdasági szférán túl is érvényesíteni.

Kábítószer-kereskedelem

Hazánkban a kábítószer-fogyasztás és -kereskedelem drámai módon megváltozott az elmúlt években és társadalmi problémává vált. Magyarország korábban elsősorban tranzitországnak és a felhasználás szempontjából mérsékelt fertőzött területnek számított, mára azonban célországá vált, valamint – a migrációval és a szervezett bűnözéssel összefonódva – a kábítószer-előállítás is egyre növekvő tendenciát mutat.

Migráció

A migrációt természetes, ugyanakkor összetett jelenségként kezeljük, amely gazdasági és demográfiai előnyöket, valamint köz- és nemzetbiztonsági kockázatokat egyaránt magában rejt. Magyarország határainak egy része a belátható jövőben is az EU vagy a schengeni térség külső határa marad, ami együtt jár az uniós határszakasz igazgatásának felelősségével és feladataival. Az illegális migráció Magyarországot jelenleg elsősorban tranzitországgként érinti, azonban hosszabb távon nem zárható ki, hogy az illegális migrációban érintettek nagyobb része célországként tekintsen hazánkra.

Szélsőséges csoportok

Biztonsági kihívást jelentenek a szociális és társadalmi feszültségeket kihasználó szélsőséges csoportok, amelyek a demokratikus jogállam által biztosított egyesülési, gyülekezési és véleménynyilvánítási szabadságot használják fel arra, hogy mások alapvető jogait korlátozzák, az alkotmányos intézmények működését megzavarják, vagy antidemokratikus politikai törekvéseiket népszerűsítsék. A szélsőséges csoportok törekvései és tevékenységei az állam erőszak-monopóliumának megkérdőjelezésével, kisajátításával okoznak nemzetbiztonsági, alkotmányos kockázatot.¹⁰

1.3 A környezetbiztonság definíciója, tartalma

Az ember környezete a bennünket körülvevő világnak az a része, amelyben él és tevékenységét kifejti. Ez a környezet térbeli kiterjedését tekintve gyakorlatilag azonos az élővilág életterével, a bioszférával, amely a földkéregnek (litoszféra), a vizeknek (hidroszféra) és a légkörnek (atmoszféra) azt a részét foglalja magában, amelyet az élő szerve-

¹⁰ PADÁNYI József: *National defence research on the effects of climate change*, Hadtudomány Online, 2013. 30-40.

zetek benépesítenek. A környezetbiztonság definíciójának vizsgálata előtt foglalkoznunk kell a környezetvédelem, természetvédelem és ökológia meghatározásával, illetve ezen fogalmak tartalmával.

A környezetvédelem lexikonban olvasható megfogalmazása így szól:¹¹

A környezetvédelem „*olyan céltudatos, szervezett, intézményesített emberi (társadalmi) tevékenység, amelynek célja az ember ipari, mezőgazdasági, bányászati tevékenységéből származó káros következmények kiküszöbölése és megelőzése az élővilág és az ember károsodás nélküli fennmaradásának érdekében*”.

A megfogalmazás minden szava fontos, lényeges. A környezetvédelemnek társadalmi keretek között (is) kell működnie, mert igazán eredményes csak úgy lehet, ha összefogunk. A káros következmények egy része már jelen van, ezek „kijavitása” is cél, a hasonló bajok megelőzése szintén. A környezetvédelem olyan fejlesztések, cselekvések sorozataként is felfogható, amelyek például a természeti erőforrások ésszerű használatát célozzák meg.

Természetvédelem: olyan fenntartó (konzervációs) jellegű társadalmi tevékenység, mely az élő és élettelen természet eredeti állapotának (szerkezeti és működési sajátosságainak) megőrzésére, s ezen belül különösen a máig fennmaradt természeti értékek megóvására, illetve szükség esetén a természet közeli állapot helyreállítására irányul.

Környezetünk élő és élettelen, természetes és mesterséges (ember által létrehozott) alkotóelemeket tartalmaz.

Az ökológia szót Ernst Haeckel alkotta a görög oikosz (oicos: ház, lakás) és logosz (logos: szó, beszéd, tan, tudomány) szavakból. Nincs még egy tudomány, aminek ilyen sok és ennyire különböző definíciója látott volna napvilágot. Maga Haeckel is több meghatározást adott; ezekben megjelenik az ökológia fiziológiától való elhatárolása (Haeckel, 1866), *az élőlények és az azokat körülvevő külvilág viszonyával foglalkozó tudomány* (Haeckel, 1866), valamint a Linné-féle „természet ökonómiája”, összekapcsolva a fajok közötti komplex összefüggésekkel, amit Darwin a létért való küzdelem feltételeinek nevezett (Haeckel, 1870). Később az állatökológusok inkább az élőlények elterjedési mintázatait, a növényökológusok a közösségek szerkezetét és mechanizmusait hangsúlyozták definícióikban.

1.3.1 A környezet legfontosabb elemeinek csoportosítása

Föld: alapkőzet, ásványvagyon, barlangok, termőföld, talaj, domborzat.

Víz: felszín alatti vizek, felszíni vizek.

Levegő: alsó légkör (troposzféra), felső légkör.

Élővilág: növényvilág, állatvilág, mikroorganizmusok.

Táj: védett természetes táj, nem védett kultúrtáj.

¹¹ LÁNG István: *Környezet- és természetvédelmi lexikon*, Akadémiai Kiadó, 2002.

Települési környezet: lakóterületek, ipartelepek, mezőgazdasági települések, közlekedési útvonalak.

A környezet alkotóelemei egymással szorosan összefüggnek, közöttük kölcsönhatás érvényesül, ezért az egyes elemeket károsító ártalmak a környezet egészére kihatnak, végső soron az embert károsítják.

Az **ökológia** tudománya azt vizsgálja, hogy az élőlények és élettelen környezet együttes rendszere milyen feltételek mellett tartható fenn a bioszférában, tanulmányozza az élet külső feltételeit, azok hatásait, az élő szervezetek reakcióit, kölcsönhatásait és alkalmazkodását.

Az ökológiai vizsgálatok tárgyát képező rendszerek az *ökoszisztémák*. Ez a fogalom adott élőhely szeretlen anyagain kifejlődött, azt benépesítő, egymással társult élszervezeteiből álló élőközösség (biocönózis) egységét jelenti. Ilyen rendszert képez egy-egy tó, erdő vagy gyepes terület a maga természetes mivoltában. Az ökoszisztémák egymásba kapcsolódva és egymást feltételezve alkotják a legmagasabb fokú ökoszisztémát, a bioszférát.

Ökológiai vagy környezeti tényezőkön a külső környezetből eredő és az élőlényeket valamilyen módon befolyásoló legkülönfélébb hatásokat értjük. Egyik lényeges tulajdonság a térben és időben történő folytonos változékonyság. Ökológiai tényezők lehetnek a hagyományosan élettelen, abiotikus és élő, biotikus tényezők.

Az utóbbi 10-15 évben nagyobb figyelmet kapott a környezet és biztonság összefüggése. Alapvetően politikai jellegű volt a biztonság fogalma, azonban a társadalmi fejlődés elemzésekor lép be a környezet mint biztonsági tényező. A „fenntartható fejlődés alapelve” olyan fejlődést jelent, amelynek során a jelen szükségleteinek kielégítése nem veszélyezteti a jövő szükségleteinek kielégítését.

A szélesebb körben értelmezett környezetbiztonság ezt a fejlődési lehetőséget jelenti.

Szűkebb értelemben a környezeti források szükségessége, illetve a környezeti károsodás konfliktusokhoz vezet.

A környezetbiztonság egy újraértelmezett fogalom. Az Európai Közösség az alábbi definíciót fogadta el:

A környezeti biztonság az Európai Közösség azon képességét jelenti, hogy a környezeti erőforrások szükségessége és a környezeti károsodás elkerülésével képes fejlődését biztosítani.

Környezetbiztonság: a környezeti elemek védettségi állapotának mértékét fejezi ki az emberi tevékenységek, az ember által működtetett műszaki, technológiai folyamatokkal, rendszerekkel szemben, ugyanakkor azt az állapotot jelképezi, amikor a természet, a környezet sem közvetlenül, sem pedig az emberi tevékenységeken keresztül nem veszélyezteti sem az embert, sem pedig annak természetes és mesterséges környezetét.

A különböző meghatározások közös elemei szerint: környezetbiztonságról akkor beszélhetünk, amikor az egyén és annak különböző szintű, helyzetű és összetettségű csoportjai antagonisztikus ellentmondásoktól mentes összhangban, harmóniában vannak az egyes társadalmak, de szélesebb és célszerűbb értelemben véve az egész emberiség természeti, társadalmi-gazdasági és politikai kulturális környezetével.

Ökológiai biztonság: Ökológiai szemlélet- és gondolkodásmódról a mai értelemben csak a 60-as évektől beszélhetünk. A napjainkban tapasztalható ökológiai válság alapve-

tő oka kétségtelenül az, hogy az emberi tevékenység és a természet közötti harmonikus viszony megbomlott.

1.3.2 A felismerés korszaka

A lakosság környezeti érzékenységében a 60-as évek elején akkor következett be változás, amikor a háború utáni nyomorból a nyugati országok lakossága viszonylag magas életszínvonalra jutott és a kérdés már úgy vetődött fel, hogy még egy autó vagy a gyermekeim, illetve az egészségem-e a fontosabb.

Az első, az egész Földön megdöbbenést okozó felfedezés az volt, hogy az általánosan használt rovarirtó szerek, a klórozott szénhidrogének, közöttük a legismertebbek a DDT, HCH (triklór, hexaklór-ciklohexán), hosszú időn keresztül nem bomlanak le az élő szervezetekben, így az emberi szervezetben is felhalmozódnak, és egészségkárosodást, súlyosabb esetekben rákot okoznak.

A nagyfokú ipari szennyezés és az abból adódó veszélyek felismerése a fejlett államokban egyre gyakrabban váltott ki az érintettek körében szervezett helyi tiltakozásokat, ami hozzájárult a környezetvédelmi mozgalmak megerősödéséhez, tömegbázisának növekedéséhez is. A lakosságot érintő környezeti károk gyakorisága, a károk méretének növekedése, a környezetvédelem ügyét egyre inkább belpolitikai kérdéssé tette. A környezetvédelem ügye külpolitikai kérdéssé is vált. 1972-ben összehívták a környezetvédelmi világkonferenciát.

1.3.3 A hivatalos elismerés korszaka

A stockholmi ENSZ Környezetvédelmi Világkonferenciát hosszú előkészítő munka előzte meg. A nehézséget az okozta, hogy míg a fejlett országok a környezeti károkat, addig a fejlődő országok a szegénységet, az éhséget, az alapvető egészségügyi ellátás hiányát, az egyenlőtlen fejlődést tekintették az emberiség alapvető problémáinak. Megjelent az ökofejlesztés vagy harmonikus fejlődés gondolata. A világkonferencia után a környezetvédelem már tartósan a világpolitika részévé vált. A 70-es években szinte minden ország létrehozta környezetvédelmi szervezeteit, és megalkotta környezetvédelmi törvényeit.

1.3.4 A nemzetközi együttműködés kezdetének korszaka

A 70-es években nem sikerült megállítani a környezetromlás folyamatát, és a globális problémákra vonatkozó előrejelzések (savasodás, ózonpajzs sérülése, az üvegházhatás) sorra igazolást nyertek. Hamarosan súlyos üzemi balesetek sorozata figyelmeztette a közvéleményt és a szakértőket, hogy főleg a vegyipar és az atomerőművek biztonsága körül nincs minden rendben.

A 80-as évek katasztrófásorozatát betetőzte a csernobili atomerőmű-baleset (1986), amelynek következtében nagy mennyiségű sugárzó anyag került a légterbe, és Európa nagy részét beszennyezte.

Mindez szükségessé tette, hogy az egyes államok az ökológiai kutatások intenzitását növeljék, és a gazdaságosan megvalósítható technológiai megoldásokat kidolgozzák. Gondoskodjanak arról, hogy ezeknek a kutatásoknak az eredményei elterjedjenek és a környezet minőségében belátható időn belül számottevő javulás következzen be. Ebből a szempontból különösen jelentős volt a kén-dioxid egyezmény (Helsinki, 1985), az ózonréteg védelméről szóló Bécsi Egyezmény (1985), majd pedig az ózont károsító anyagok felhasználását konkrétan szabályozó Montreali Egyezmény (1987).

1.3.5 Globális egyensúlyra törekvés kora

1992-ben Rio de Janeiróban, a Stockholmi Környezetvédelmi Konferencia 20 éves évfordulóján összehívták az ENSZ Környezetvédelmi és Fejlesztési Konferenciáját.

175 ország vett részt, és 116 állam, illetve kormányfői szinten is képviseltette magát. 5 dokumentum megvitatására került sor:

- * Agenda 21 (feladatok a XXI. századra)
- * Föld Charta (a bioszféra jogairól szóló okmány)
- * a Föld biodiverzitásának (növény- és állatfajok sokféleségének) megőrzéséről, az éghajlat-ellenőrzési megállapodás az atmoszféra védelméről (a klíma széndioxid-tartalmának stabilizálásáról), valamint a
- * trópusi őserdők pusztításának megállításáról szóló egyezmények.

A tagállamok érdeellentétei miatt lehetetlen volt mindenki számára kötelező érvényű dokumentumokat elfogadni. A konferencia előkészítésében és levezetésében részt vevő tudósok közelebb kerültek a politikusokhoz, kialakult és formálódott a globális elkötelezettségű emberek csoportja.

Az ökológiai gondolkodásmód történetében jelentős a Római Klub tevékenysége. 1968-ban alakult 10 tagországból 30 taggal. Céljuk Földünk globális problémáinak vizsgálata. *Első világmodell* jelentése 1972-ben „*A növekedés kora*” címmel jelent meg. Második jelentése 1974-ben jelent meg „*Fordulóponton az emberiség*” címmel. Az egyes régiók almodelljeit a világproblémák (élelmiszer, népesedés) kapcsolják össze egységes rendszerré. A vizsgálat arra mutatott rá, hogy az első jelentéssel szemben egy világméretű katasztrófa bekövetkezése nem egy időpontban várható. Eltérő módon és időpontban jelentkeznek, de a szoros kapcsolatok következtében a többi régiót is érinteni fogják.

A harmadik jelentés címe: „*A nemzetközi rend átalakítása*”. A kutatás alap gondolata: a világ jövőjének alakulása attól függ, hogy sikerül-e a fejlődésben mutatkozó egyenlőtlenségeket megszüntetni.

A negyedik jelentést 1976-ban adták ki. Címe: „*Hulladék korszak után*”. Azt vizsgálja, hogy a tudomány és a technika fejlődése mennyiben tud hozzájárulni az emberiség globális problémáinak (nyersanyag-, energia-, élelmiszer-szükséglet kielégítése)

megoldásához. Véleményük szerint megfelelő takarékossgal tudományos és technikai eredmények felhasználásával az energia- és a nyersanyagprobléma megoldható, az élelmszer-ellátás helyzetének javítása viszont a népesség szaporodásának korlátozását teszi szükségessé.

Az ötödik jelentés 1977-ben „*Célok az emberiség számára*” címmel készült el. Az emberiség legátfogóbb céljait az általános biztonságban, a békében, a világelelmezési rendszer megteremtésében, az integrált energia- és anyagellátás kiépítésében, a jövedelmi rés folyamatos csökkentésében, az emberek közötti szolidaritás erősödésében találták meg. Mindehhez világméretű együttműködésre, egy új és szabályozott világgazdasági rend megteremtésére van szükség.

A hatodik jelentés címe: „*A tanulásnak nincsenek határai*”. Kifejti, hogy az emberiség globális problémái (energia, élelmezés, nyersanyag, környezeti válság, túlfegyverkezésből adódó háborús veszély) együttesen, *komplexen* jelentkeznek, miközben az emberi aktivitásra az elkülönültség, a széthúzás, az egyenlőtlenség jellemző.

A biztonságos jövő érdekében az emberi társadalmat és azon belül minden embert alkalmassá kell tenni egyéni és társadalmi tanulásal a problémakomplexum kezelésére, melynek feltétele az emberi lehetőségek, képességek feltárása, a gondolkodás, a magatartás és tevékenységi módok megújítása, átformálása.

A katasztrófák gyakorisága az utóbbi évtizedekben és jelenleg is folyamatosan emelkedik, és ez különösképpen vonatkozik az ember által előidézett jelenségekre. Ezek a természeti katasztrófák ökológiai hatásaikban sokrétűek: geofizikaiak, éghajlatiak vagy éppen demográfiaiak is lehetnek. Az ökológiai szemléletmód és gondolkodás fejlődésében eljutottunk a kérdések globális megközelítésének szükségességéhez.

Ma már egyetértés van abban, hogy a fenntartható fejlődés is három alappilléren (környezeti, gazdasági, társadalmi) nyugszik, és mindhármat mérlegelni kell a konkrét intézkedésekben, cselekvésekben. A fejlődés és a környezet kérdései tehát nem különállóak és csak együttesen oldhatók meg. Ezért rendszerszemléletű gondolkodásra van szükség és a szektorokon átívelő intézményrendszerre.

Egy ipari létesítmény, infrastrukturális beruházás jelenthet egy térség számára húzó erőt, jelentheti a foglalkoztatási gondok átmeneti vagy hosszabb távú megoldását, de bármennyire is figyelembe veszi a térség környezeti adottságait, ha a legszélesebb társadalmi közös akaratra, komplex védelmi filozófiára támaszkodik is, olyan potenciális veszélyeket hordoz magában, amelyek elhárítása meghaladhatja a rendelkezésre álló helyi erőforrásokat.

A környezetbiztonság eddigi története igazolja, hogy a környezeti hatások, problémák utólagos kezelése nagyságrendekkel többbe kerül, mint azok megelőzése. Sajnálatos tény, hogy a gondatlanság vagy ismerethiány miatt az esetek többségében már visszafordíthatatlan problémákkal állunk szemben.

Ilyen felfogásban a *biztonság* már nem csak a külső veszélyek és fenyegetések elhárítására, illetve az ellenük való eredményes és hatékony védekezés feltételeinek megteremtésére irányul, hanem egyre növekvő mértékben az országon, régióon, térségeken belüli feszültségek feloldására, az ágazati kockázatok – a súlyos ipari balesetek, katasztrófák káros hatásainak – csökkentésére, felszámolására is.

Tehát, a környezetet veszélyeztető tényezők hatnak a politikai szférára, biztonságpolitikai kérdéssé válhatnak, viszont a természetes és mesterséges környezet megóvására hozott intézkedések, környezeti információk – a korszerű monitoring rendszerek s az általuk szolgáltatott adatok – nyilvánosságának biztosítása, a civil társadalom és a környezetvédelem együttműködése, az általános bizalom erősödését szolgálják.

1.3.6 Környezeti feszültség

A feszültség definíciója¹²: Két különböző definíció ismert, az egyik a válaszból, a másik a környezet változásából vezethető le. A válasz alapú definíció sokszor érzéketlen a kritikus időbeli változásokra. A stresszorok időtartalma és periodicitása hat az emberi egészségre és közérzetre. Sokszor különböző időtartamú hatások azonos választ generálnak. Ezenkívül nehéz a feszültséget mérni. A helyzet alapú feszültség definíciója azért problematikus, mert azonos környezeti hatásra különböző egyének más-más választ adhatnak. A környezeti feszültség általános definíciója szerint nem más, mint a környezet és az egyén közötti egyensúlyhiány.

Négy stresszortípus különböztethető meg:

- ✿ Természeti és mesterséges katasztrófák (kataklimatikus események),
- ✿ Élethelyzetekben bekövetkező változások (radikális változás a családi állapotban vagy a gazdasági helyzetben),
- ✿ napi gondok (napi frusztrációt okozó események: erős zaj, zsúfolt lift stb.)
- ✿ környezeti stresszorok (erős légszennyezettség, bűz stb.)

A környezeti stresszorokat nyolc szempont szerint osztályozzák:

- ✿ a környezeti feszültség mennyire azonosítható (mennyire stimulálja a környezetet),
- ✿ mennyire köthető a környezeti feltételekhez,
- ✿ az esemény értéke (nyerünk vagy veszünk rajta),
- ✿ az esemény ellenőrizhetősége,
- ✿ az esemény előrejelezhetősége,
- ✿ a forrás fontossága és szükségessége,
- ✿ a stresszor hatása az emberi viselkedésre,
- ✿ időtartama, illetve periodicitása.¹³

A NATO 1969-ben alapította a CCMS¹⁴-t a határon átnyúló környezeti hatások elleni védelem, illetve a környezet általános vizsgálatára. Az utóbbi időben a NATO és

¹² BISWAS, N. R.: *Is the environment a security threat? Environmental security beyond securitization.* International Affairs Review 20 (1), 1 (2011).

¹³ FÖLDI L., HALÁSZ L.: *Környezetbiztonság*, Complex Kiadó, Bp., 2011.

¹⁴ CCMS: Committee on the Challenges of the Modern Society = A Modern Társadalom Kihívásaira Alakult Bizottság

a tagországok nagy figyelmet fordítottak a nem hagyományos biztonsági fenyegetésekre. Így került sor a fenti címmel azonos nevű kutatásra, amelyet a NATO és a CCMS washingtoni plenáris ülésén 1995. november 4-én indítottak el.

A hidegháború befejeződése után a hagyományos biztonsági felfogás, amely a szuverenitáson és területi biztonságon alapult, megkérdőjeleződött. A környezet és biztonság kapcsolata előtérbe került. A biztonság fogalmába bekerült a szociális, gazdasági és környezeti tényező. A környezetromlás, a környezeti feszültségek konfliktusokhoz vezethetnek. A környezeti problémák globális megközelítése az ENSZ által szervezett Rio de Janeiro-i konferencián (1992) történt meg. Ezen a konferencián fogalmazódott meg a fenntartható fejlődés koncepciója. Ez egy általános koncepció, amely a környezeti, szociális és gazdasági problémákat összefüggéseiben vizsgálja.

Környezeti feszültséget okoz a megújuló erőforrások szűkössége, valamint az erőforrások minőségének romlása. A két tényező összefügg, és a minőség romlása növeli a hiányt, a hiány pedig további romlást okozhat. A környezeti feszültség és a konfliktus közötti kapcsolatot az alábbiak jellemzik:

- ✿ Többokúság. A környezeti feszültség hozzájárulhat a konfliktushoz, és majdnem mindig más, politikai, szociális, gazdasági tényezőkkel együtt hat és különböző fázisokon halad keresztül, amíg a konfliktus kialakul. A konfliktus maga is vezethet környezeti feszültséghez.
- ✿ A környezeti feszültség következménye: szegénység, élelmiszer-bizonytalanság, gyenge egészségügyi ellátás, migráció, a politikai és szociális intézmények szétesése.

A környezeti feszültség különböző szerepet játszik a konfliktus dinamikájában. Lehet forrása, katalizátora, illetve erősítője.

A hasonló típusú környezeti feszültségek különböző hatásúak lehetnek. Ebből a szempontból fontos a gazdasági-politikai helyzet. Igen fontos a gazdaság sebezhetősége, a forrásfüggőség, az intézményi, társadalmi, technológiai kapacitás, az etnikai-politikai tényezők és a belső biztonság szerkezete.

A környezeti feszültség a környezeti szűkösség és a környezeti degradáció eredménye.

A környezeti feszültség indikátorai például:

Környezeti feszültség

Mezőgazdaság és talajdegradáció
 Klímaváltozás
 Erdőpusztulás

Indikátor

a talaj minőségének változása
 a levegő hőmérsékletének változása
 az erdőpopuláció változása

A környezeti feszültség következményei lehetnek:

- ✿ politikai,
- ✿ gazdaság,
- ✿ társadalmi,
- ✿ demográfiai.

A környezeti feszültség hatásait befolyásolják:

- * A gazdaság érzékenysége és forrásfüggősége. Ez utóbbi rendkívüli jelentőségű.
- * Az intézményi, társadalmi-gazdasági és technológiai kapacitások. Az intézményi kapacitás az alábbi területeken fontos:
 1. a kapacitás adja a keretet a lakossági és kormányzati viselkedéshez,
 2. a politikai rendszer kapacitásától függ a jogi szabályozás és végrehajtás,
 3. a politikai rendszer kapacitása határozza meg döntéseit és politikáját,
 4. a politikai rendszer lakosságivélemény-akceptáló és -reagáló képessége.
- * A kulturális és etnikai-politikai tényezők. Az államon belüli etnikai, vallási különbségek hozzájárulhatnak a konfliktus eszkalációjához.
- * Erőszakpotenciál és belső biztonsági szerkezet. Az erőszakpotenciál azt jelenti, hogy egy szereplő képes-e és akar-e erőszakot alkalmazni, és ehhez képes-e másokat maga mellé állítani.
- * Politikai stabilitás.
- * Nemzetközi kölcsönhatások.
- * A konfliktusmegoldás mechanizmusa.

A környezeti konfliktusok négy általános típusa:

- * etnikai-politikai,
- * migrációs (belső, illetve határokon keresztül),
- * nemzetköziforrás-konfliktus,
- * globális környezetváltozás által kiváltott konfliktus.

Az etnikai-politikai konfliktus kialakulhat, mert két vagy több etnikai csoport osztozik egy környezeti feszültséggel terhelt környezeti régióban. A másik lehetőség, hogy egy etnikai csoport függ a környező gazdasági régiótól, amelyben a termelés erősen differenciált.

A kutatások kimutatták, hogy a környezeti feszültség bizonyos politikai, gazdasági és társadalmi körülmények között súlyos konfliktusok kialakulásához járulhatnak hozzá. A kockázati tényezők közül:

- * a globális környezeti problémák nagyobb veszélyt jelentenek, mint a regionális, vagy országon belüli problémák,
- * a globális környezeti problémák kialakulásában nem egyszerű az egyéni felelősség meghatározása,
- * a globális környezeti kihívások ellenőrizhetetlenséget okoznak az állam életében.

A környezeti változások négy csoportja okoz potenciális határokon átnyúló hatást:

- * degradáció, szennyezés,
- * hiány (szűkösség),
- * rossz elosztás,
- * katasztrófa vagy baleset.

A természeti veszélyforrások értékelésének lépései az alábbiak:

- * az esemény valószínű nagyságának becslése;
- * az esemény átlagos gyakoriságának vizsgálata;
- * a veszély elkerülhetősége lehetőségének vizsgálata;
- * a veszély küszöbértékének meghatározása.

A racionális környezetbiztonság megteremtése az egyetemes emberiség közös érdeke, ügye és felelőssége, a harmadik évezred elejének legnagyobb és legsürgetőbb kihívásai egyike, amely egyben stratégiai cél is.

A nemzeti környezetbiztonsági stratégia szolgál alapul a biztonság megteremtésében és garantálásában a kormányzati, ágazati, önkormányzati és rendvédelmi szervek feladatainak meghatározásához, felelősségük érvényesítéséhez.

A környezetbiztonsági stratégia átfogó és teljes, minden előre látható helyzetre és váratlan esetekre is kiterjedő, általános, lényegi és meghatározó terv arra vonatkozóan, hogy a környezet jelenlegi állapotából hogyan juthatunk el egy biztonságosabb, hatékonyabb, fejlettebb megelőzési és védekezési szintre.

A stratégia folyamat jellegű: hosszú távra készül, de képes alkalmazkodni a változó feltételekhez; egyszersmind vannak rövid és középtávú dinamikus és statikus elemei is. A stratégia nem lezárt egész, a megvalósítandó célok folyamatos figyelemmel kísérése lehetővé teszi a szükséges módosítások beépítését.

A stratégia egyik legfontosabb és legnehezebben kiszámítható aspektusa az emberi tényező, amely a különböző folyamatok, a tervezés, a végrehajtás és az együttműködés letéteményese, de gyakran a veszélyhelyzet előidézője is.

A stratégiai előrelátást és érvényességi időt befolyásoló tényezők – mint például a környezet változása, a kockázati tényezők, az elvek és nézetek várható változásai – miatt a stratégia hozzátétőlegesen is egy évtizednél rövidebb időszakot ölelhet fel.

A környezetbiztonság fogalmába olyan események, folyamatok tartoznak, amelyek három csoportba sorolhatók.

Az elsőbe tartoznak a természeti eredetű lehetséges károsodások. Ilyenek például: földrengés, árvíz, pusztító szélviharok, erdőtüz stb.

A második csoport a műszaki eredetű károsodásokat foglalja magába, vagyis amikor az ember által gyártott veszélyes anyagok váratlanul és nagymértékben jutnak ki a természetbe, nemkívánatos hatást gyakorolva.

A harmadik csoportba azok a társadalmi vonatkozású események tartoznak, amelyek közvetve vagy közvetlenül okoznak környezeti károkat. Ilyen folyamat vagy esemény lehet a helyi vagy regionális háború, a népvándorlás – beleértve a háborús menekülteket is – a szegénység dominanciája vagy a klasszikus gazdasági rablógazdálkodás.

A kedvezőtlen környezeti hatások közül megemlíthető a talajerózió növekedése, a vízkészletek minőségi romlása, a sugárzási viszonyok kedvezőtlen változása, a háttér-sugárzás növekedése, a hőmérsékleti egyensúly megbomlása, a biodiverzitás drasztikus csökkenése, a növényi kórokozók és az állati kártevők, valamint betegségek ájtutása egyik országból a másikba.

A környezetbiztonság kérdéseit olyan egységes rendszerbe célszerű beilleszteni, ahol a környezet- és természetvédelem, az egészségvédelem és az általános biztonsági intézkedések együtt jelennek meg. Ezért a környezetbiztonság érdekében össze kell hangolni a katasztrófák megelőzésével, illetve a bekövetkezett károk elhárításával kapcsolatos információs rendszereket, törvényi, rendeleti és utasítási szintű szabályozásokat. Továbbá szoros együttműködést kell kialakítani az érintett katasztrófavédelmi szervezetek és a lakosság önkéntes alakulatai között. Azt kell mondanunk, hogy ezen a területen még sok rendeznivaló van. Megfelelő intézkedésekre és technikai fejlesztésre van szükség, mert a nemzetközi kötelezettségek is feladatokat róttak ránk, elsősorban az olyan ipari katasztrófák esetében, amelyek káros hatása átlépi a nemzeti határokat. A megelőzés elve egyaránt vezérlő elv a biztonsági intézkedéseknél is és a környezetvédelelemnél is. Ilyen módon a környezetbiztonságot elsődlegesen a megelőzés érvényesítése garantálhatja.

A környezetbiztonság fogalma integrálja azokat a valószínűsíthető káreseményeket, és az ezek ellen tett intézkedéseket, amelyek egyrészt a váratlan és szélsőséges természeti folyamatok következményeiként veszélyesek a környezetre, másrészt az emberi gondatlanságból bekövetkező veszélyes anyagokkal okozott balesetek és természeti katasztrófák révén okoznak környezeti krízishelyzeteket. A környezetbiztonság magas szintje biztosítja a területfejlesztési tevékenység eredményes megvalósulását, a társadalmi-gazdasági fejlődéshez szükséges beruházások és a termelőtevékenység folyamatos és zavartalan működését. A környezetbiztonság területi alakulása az ár- és belvízvédelem, a veszélyes üzemek és tevékenységek, a vegyi és nukleáris biztonság, az erdőtüz-veszélyeztetettség, erdőtüzesetek és a környezeti kármentesítés tényezőivel jellemezhető.

1.3.7 A környezet okán kialakuló konfliktusok jellemzői

A környezeti változások főbb hatásai az alábbiak lehetnek.

1. Döntő szerepük lehet konfliktushelyzetek kialakulásában a negatív környezeti változásoknak és az természeti erőforrások növekvő hiányának.
2. Kezdetben nehezen látható a változások okozta instabilitás.
3. A hatásuk szociális és gazdasági problémákkal ötvöződik, ami bonyolulttá teszi a helyzetet.
4. Általában fejlődő vagy átalakulóban lévő társadalmak, régiók esetében vezet fegyveres konfliktushoz.
5. A környezetvédelmi politika fontos a konfliktusok elkerülése érdekében.

A biztonság fokozása és a valamennyi veszélyforrásra való felkészülés – melynek legfontosabb eleme a megelőzés – megköveteli a társadalom, a nemzetközi közösség összehangolt reagálását a veszélyhelyzetek elhárítására.

1.4 Magyarország környezetbiztonsága

1.4.1 Magyarország környezeti állapota

Környezetünk jelenlegi állapota szorosan összefügg nemzeti fejlődésünk sajátosságaival és a világban általánossá váló globális problémákkal.

A kölcsönös hatások ellentmondásokkal teli, jogos aggodalomra okot adó ökológiai helyzetet alakítottak ki. Régiókban koncentrálódó és szennyező termelési rendszerek jöttek létre. A mezőgazdaság a természeti adottságoknak nem mindenkor megfelelő rendszerre tért át. Nyersanyaglelőhelyeink zöme kedvezőtlen adottságúnak számít, kiaknázásuk csak jelentős környezeti terheléssel járó módon történhet. Épített környezetünk rendszeresen elmaradó infrastrukturális beruházásokkal olyan feszültségek forrása, melyek csak hosszabb távon oldhatók fel.

A piacgazdaság irányába mutató új intézkedések, szabályozók, adó, ár és hitelpolitika környezetvédelmi hatása még kellően nem érzékelhető.

Az ország területének több mint fele alkalmatlan a hulladékok elhelyezésére.

1.4.2 Levegő

A levegőben lévő kén-dioxid koncentrációja főként a hő- és energiatermelés, a nitrogén-dioxid a közlekedés légszennyező hatását tükrözi. Ezek mellett fontos jellemző az ülepedő por mértéke.

Az adatok elemzése alapján településeinken különösen a porszennyeződés igen nagy.

A levegőszennyezés szempontjából legkritikusabb ágazatok a közlekedés, az energiaipar, a vaskohászat, vegyipar, kommunális fűtés, illetve a szilárd légszennyező anyagok vonatkozásában még a mezőgazdaság is.

A legnagyobb veszélyt a szén-dioxid jelenti, de mellette a nitrogén-oxidok és az ólom-kibocsátás is jelentős. Fokozza a gondot, hogy az ország személygépjármű-állományának átlagos életkora 2013-ban 13,0 év, a tehergépjárművéké 12,2 év volt.

Jelentős levegőszennyezést okoz az energiaipar 14 legnagyobb hőerőműve, elsősorban az igen nagymértékű kén-dioxid-kibocsátással. Nagy mennyiségű a vaskohászat szén-monoxid és szilárd szennyezőanyag kibocsátása, továbbá az építőanyag ipariipor-szennyezése. A vegyiparban a különböző veszélyes gázok és szerves gőzök kibocsátása magas.¹⁵

1.4.3 Vizeink

Magyarország vízföldrajzi helyzete sajátos, éghajlata miatt gyakran sújtja vízbőségből eredő árvíz, belvíz, vagy vízhiány miatt aszály.

¹⁵ <http://www.ksh.hu>, 2014. 05. 26.

Az ország területére hulló csapadék időbeli eloszlása szélsőséges, a nyári évszakban nem ritkák a 70-80 napos száraz időszakok.

Folyóink hosszúsága meghaladja a 2600 km-t, az öntöző főcsatornák hossza pedig eléri a 8000 km-t. Az ország területén levő síkvidéki, valamint a belterületi vízrendezést szolgáló vízvezető hálózat hossza meghaladja a 100 ezer km-t.

A felszín alatti vízkészletünk esetében az első víztartó réteg, a talajvíz a legtöbb helyen elszennyeződött, vagy további szennyeződés elleni védelme gazdaságtalan. Különösen magasra szökött az utóbbi években a talajvíz nitrátszennyeződése csatornázatlan településeink körzetében az intenzív mezőgazdasági művelés alatt álló területeken.

Felszíni vízkészleteink döntő többsége jelenleg kissé vagy közepesen szennyezett, melynek mértéke a jövőben növekedni fog. Egyik alapvető oka az, hogy az ország területére érkező vízfolyások szennyeződése egyre növekszik. A másik alapvető ok az iparszerű fejlesztés további térhódítása, valamint az ipari hulladékok nem kielégítő módú elhelyezése az országon belül.

Magyarországon a legjelentősebb területi környezetbiztonsági kockázatot az ár- és belvív-veszélyeztetettség jelenti. 1259 település, az ország lakosságának 55%-a van eltérő mértékben árvíz- és belvívveszélynek kitéve. 700 településünk több mint 2 milliós népességének lakóhelye nagy folyóink mértékadó árvízszintje alatt fekszik, ahol rendszeres és nagymértékű kockázatnak vannak kitéve az ott élők. Magyarországon a folyók és egyéb vízfolyások mentén elhelyezkedő árterület nagysága 35 000 km². A megművelt földek 30%-a, a vasutak 32%-a, a közutak 15%-a is ártéren helyezkedik el.

A kistérségek közül nemcsak a nagyobb folyóink árvízi öblözeteiben fekvők vannak jelentős veszélyben, de a dombsági és hegységi területeken lévő kisvízfolyásokkal rendelkező térségek is, ahol a nagy intenzitású csapadékesemények váratlan elöntéseket okozhatnak. Az egyáltalán nem veszélyeztetett térségek összefüggően csupán a jó vízgazdálkodású talajtípusokkal bíró és egyben az alföldi tájból némileg kiemelkedő löszös síkságú térségekben, így a Hajdúságban és a Bácskai-löszháton található.¹⁶

1.4.4 A talaj

A mezőgazdasági területek mintegy 40%-át érinti a talajerózió. A mezőgazdasági művelésű terület több mint felén kedvezőtlen természeti hatások: defláció, ár- és belvizek, továbbá kedvezőtlen tulajdonságok – savanyúság, szikesség, nagyfokú homoktartalom – jutnak érvényre és akadályozzák a potenciális termelékenység kihasználását.

Elsősorban a számottevő nehézipari potenciállal rendelkező és nagyvárosi központtal rendelkező térségek környezetében nagy a környezetbiztonsági kockázat.

¹⁶ <http://www.ksh.hu>, 2014. 05. 26.

1.4.5 Állat- és növényvilágunk

A magyar erdőállomány gyarapodásával és a veszélyeztető események előfordulásának növekedésével egyre inkább szükség van az erdők tűzkár elleni védekezésének magas szintű biztosítására. Európai Unió előírások alapján, a Magyar Állami Erdészeti Szolgálat 2002-ben elkészítette a magyar települések és megyék erdőtűz-veszélyeztetettségi besorolását. Az erdőtűzindex kialakításához a faállomány minőségi, mennyiségi adatain kívül, éghajlati adatokat, valamint antropogén tényezőket (társadalmi, gazdasági adatokat) is figyelembe vettek. A települési adatok területi súlyozásával készített kistérségi erdőtűzindex térkép alapján a leginkább erdőtűzveszélyes kistérségek a Balaton északi partján, a Velencei tó körzetében, a Vértesben, a Budai-hegységben, Budapesten és a Duna-Tisza köze déli részén találhatóak. Előbbiek esetében a döntően kiemelt üdü-lőkörzetekről van szó, itt elég erőteljesek az antropogén kockázati hatások, csakúgy, mint a fővárosban. A Duna-Tisza közén az aszály, az erdőállomány minőségi tényezői a legnagyobb rizikófaktorok. Az erősen tűzveszélyes csoportba tartozó Sopron-Fertőd, Celldömölk és Pécs kistérségben főleg az erdőállomány összetétele miatt jelentősebb a tűzveszély.

Termesztett növények, tenyésztett állatfajok területén a genetikai készletek védelme kiterjedt és intézményessé vált.

A vadon élő növény- és állatfajok, növénytelepítések genetikai készletei megőrzésének alapvető feltétele a termő-, illetve tenyésztő helyeik védelme.

A védett területeknek mintegy 20%-a elsődlegesen állattani értéke miatt részesült oltalomban.

A jogos aggodalmat kiváltó ökológiai helyzet a komplex tervezőmunkát, a különböző ágazatok tevékenységi köreinek összehangolását, a regionális és globális együttműködést teszi nélkülözhetetlenné.

1.4.6 Veszélyes anyagok és technológiák

A nukleáris biztonság magas fokú megteremtése az ország egészére vonatkozóan feladatot jelent, területileg azonban a Paksi Atomerőmű környezetében lévő 73 településen, ezen kívül pedig a Budapesten és Veszprémben működő kis teljesítményű kísérleti kutatóreaktorok környezetében van magasabb biztonsági fokozat a nukleáris kockázat miatt.

A nukleáris környezetbiztonság főbb elemei:

1. a nukleáris környezet-ellenőrzés;
2. a potenciális források emissziója ellenőrzése és csökkentése;
3. nukleáris baleset-elhárítás;
4. non-proliferáció, terrorizmus.

A különféle veszélyes anyagokkal, technológiákkal foglalkozó üzemek tevékenysége potenciális környezeti veszélyforrásként értékelhető. A különböző veszélyességi jellemzőkkel rendelkező nyersanyagok, valamint a keletkező hulladékok tárolása, szállítása

is környezeti veszélyhelyzet kialakulásának lehetőségét rejtje magában. Az esetlegesen bekövetkező haváriahelyzetek esetén az emberi élet és egészség veszélyeztetésén túl felmerül a levegő, a talaj, a vizek és az élővilág szennyeződésének, károsodásának veszélye is. Ilyen esetekben az intézkedési-beavatkozási kötelezettség az önkormányzatokat csak közvetetten, illetve korlátozottan (például szmoghelyzet esetén) terheli.

Olyan objektumok kialakításakor és későbbi működtetésekor, melyben ideiglenesen vagy üzemszerűen a tárolt anyagok jelenléte önmagában is veszélyforrást jelent, a veszélyes anyagok felügyeletének és ellenőrzésének javítása a meglévő nemzetközi kötelezettségeknek való megfelelés mellett a felügyeleti és ellenőrző mechanizmusok alkalmazásának és technikai támogatottságának a folyamatos vizsgálatát és tökéletesítését kívánja meg.¹⁷

1.4.7 Környezetbiztonsági akcióprogram¹⁸

Az Akcióprogram átfogó célja:

Az Akcióprogram intézkedései a környezeti biztonság növelését, a kockázatot okozó veszélyeztetés megelőzését, illetve a bekövetkezett katasztrófák következményeinek hatékony enyhítését biztosító feltételek megteremtését célozzák. A katasztrófák kezelésében elsődleges a megelőzés, az elővigyázatosság és a károkozó felelősségének elve. Az Akcióprogram eredményessége szempontjából alapvetően fontos a társadalmi részvétel.

A fentiek alapján az átfogó célok a következők:

- ✿ a környezetbiztonság stratégiai szintre emelése;
- ✿ a múltban bekövetkezett környezeti károkozások (haváriák) hatásainak elemzése;
- ✿ a környezeti katasztrófa-helyzetek és veszélyek azonosítása;
- ✿ a környezeti kockázatok kezelése;
- ✿ horizontális feladatok a környezetbiztonság területén.

1.5 Környezetbiztonság és fenntartható fejlődés

A „fenntartható fejlődés alapelve” olyan fejlődést jelent, amelynek során a jelen szükségleteinek kielégítése nem veszélyezteti a jövőbeni szükséglet kielégítését. A szélesebb körben értelmezett környezetbiztonság ezt a fejlődési lehetőséget jelenti. Szűkebb értelemben a környezeti források szűkössége, illetve a környezeti károsodás konfliktusokhoz vezet.

¹⁷ BEREK Tamás: *Vagyonvédelmi koncepció kialakításának sajátosságai veszélyes anyagok vizsgálatát biztosító létesítmények esetében*. Hadmérnök, VI. évf., 2011/ 4.

¹⁸ 132/2003. (XII. 11.) OGY határozat

A környezetbiztonság a biztonsághoz hasonlóan újraértelmezett fogalom. Az Európai Közösség (továbbiakban: EK) által elfogadott definíció: „*A környezeti biztonság az Európai Közösség azon képességét jelenti, hogy a környezeti erőforrások szűkössége és a környezeti károsodás elkerülésével képes fejlődését biztosítani.*” Ehhez a Közösségnek szabadon hozzá kell férnie a nyersanyagforrásokhoz, létre kell jönnie a globális klímaellenőrzési rendszernek.

1.5.1 Az EK és a NATO környezetbiztonságát fenyegető tényezők

A külső források elérését veszélyeztető tényezők:

A gazdaság növekvő mértékben válik globálissá, így egy ország környezetbiztonsága csak úgy érhető el, ha az illető ország részt vesz más régiók környezetbiztonságának kialakításában.

A határokon kialakuló forrásszűkösségből, illetve környezeti károsodásból eredő konfliktusok:

Az ivóvízhiány az egyik kritikus probléma a biztonság szempontjából. A talajerózió és a lepusztulás csökkenti a termőterületet és a talaj termőképességét. Így az élelmiszer-szükséglet megtermelésére alkalmatlanná vált területről az ott lakók elvándorolnak, és ez a folyamat menekülthullámot vált ki.

A környező területek környezeti károsodásából eredő fenyegetések:

A nagymértékű környezeti károk eredhetnek veszélyes vegyi anyagoktól, radioaktív anyagoktól, üzemanyag-származékoktól. Az egyik legjelentősebb veszélyforrást a nem megfelelő biztonságú nukleáris erőművek jelentik, de ebbe a körbe sorolható a nukleáris fegyverek megsemmisítése is.

A globális környezeti változások hatása:

Az emberi tevékenység befolyásolja a Föld klimatikai viszonyait, valamint az emberi életfeltételeket (tengerszint-emelkedés, légköri melegedés, szárazságozások kialakulása, új betegségformák fellépése).

1.6 A környezetbiztonsági kihívások kezelése

A környezetkárosító hatások elemzését követően a különböző hatásokra más és más válaszok születtek. Hagyományos gazdasági módszer a költség-haszon elemzés és optimalítás. Ez a módszer használható a klasszikus környezetvédelmi problémák kezelésekor. Az EK álláspontja:

*Változtatni kell a fogyasztási szerkezeten a forrásfelhasználás aránytalanságának kiküszöbölésére. A környezetbiztonság globális megközelítése szükséges.*¹⁹

¹⁹ COSTANZA, R., DALY, H. E.: *Natural Capital and sustainable development*, Conservation Biology, 1992/1., 37–46.

A környezetbiztonság megóvása érdekében megelőző intézkedések szükségesek:

- * kereskedelempolitika,
- * fejlesztési segítség,
- * kutatás-fejlesztési együttműködés,
- * nemzetközi szervezetek, egyezmények (WEO),
- * regionális kooperáció,
- * korai figyelmeztetés.²⁰

A fenntartható fejlődés elmélete és elvei éppen a kedvezőtlen hatások csökkentésében kínálnak alternatívát. A fenntartható fejlődést mint lehetséges alternatívát sokan vitatják. Abban azonban mindenki egyetért, hogy a fenntartható fejlődés alapelveinek a betartása hasznos az emberiség számára.

Ez a kilenc alapelv a következő:²¹

1. Figyelem és gondoskodás az életközösségekről;
2. Az ember életminőségének javítása;
3. A Föld életképességének és diverzitásának a megőrzése;
 - Az életet támogató rendszerek megőrzése;
 - A biodiverzitás megőrzése;
 - A megújuló erőforrások folytonos felhasználhatóságának biztosítása;
4. A meg nem újuló erőforrások használatának minimalizálása;
5. A Föld eltartó képessége által meghatározott kereteken belül kell maradni;
6. Meg kell változtatni az emberek attitűdjét és magatartását;
7. Lehetővé kell tenni, hogy a közösségek gondoskodjanak a saját környezetükről;
8. Biztosítani kell az integrált fejlődés és természetvédelem nemzeti kereteit;
9. Globális szövetséget kell létrehozni.

Az átlagos gazdasági növekedés mellett „jóléti” vagy ellenkezőleg szegénységi rés növekedése figyelhető meg világméretben a gazdag, fejlett, iparosodott és a szegény országok között. A sajátos jóléti indexek világosan jelzik a szakadékat, illetve a trendeket.

Ezek a kedvezőtlen folyamatok együtt jártak a természeti erőforrások, a nem megújuló és a megújuló olyan gyors ütemű „fogyasztásával”, hogy ezek már nem voltak képesek megújulni, így használatuk fenntarthatatlan irányúvá vált. A fenti folyamatok sem szociális, sem környezeti szempontból nem tekinthetők fenntarthatónak. E felismerések vezettek a fenntartható fejlődés koncepciójának kidolgozására. Számos ajánlás és program született a „fenntartható” termelésre és fogyasztásra való áttérésre.

²⁰ Keiner, M. (ed.): *The Future of Sustainability*. Springer, München (2006).

²¹ KERÉNYI A.: *A környezetvédelem jövőbe mutató alapelve: a fenntartható fejlődés*. Debreceni Szemle, 2002/4. 584–598.

Minden ember alapszükségletét a lehető legteljesebb mértékben ki kell elégíteni oly módon, hogy eközben

- * a gazdasági növekedés ne okozza a környezet állapotának romlását (decoupling);
- * elő lehessen mozdítani a nyersanyagforrás-termelékenységét, az ökohatékonyságot, illetve a természeti erőforrások egyenlőbb elosztását, és azok fenntartható használatát.

Az EU három eszközt honosított meg: az életciklus-elemzést, az öko-cimkézést és a környezeti hatások elemzését. Az EU kiemelte, hogy a 10 éves keretprogramban integrált megközelítésre van szükség. A keretprogram konkrét tevékenységeket ajánlott a megvalósítás során, s kijelölt prioritásokat, fókuszterületeket is.

Az EU szerint az alábbi területekre kell helyezni a hangsúlyt:

- * A fenntartható fejlődés támogatásának ösztönzése;
- * A vállalatok szociális felelősségének növelése;
- * Az energiahatékonyság növelése, a megújuló energiaforrások felé történő elmozdulás;
- * A fenntarthatósági szempontok érvényre juttatása a pénzügyi szektorban és a beruházásokban;
- * Szállítás és mobilitás;
- * Környezeti technológiák fejlesztése és átadása;
- * Kereskedelmi és technológiai fejlődés, beleértve a „zöld” termékeket és a termékinformációkat.

Néhány, napjainkban jelentkező probléma:

- * Egyetlen társadalmi és szociális fejlődés, szegénység, alacsony jövedelem, alacsony szintű életminőség.
- * A növekvő fogyasztással járó növekvő természeti erőforrás- (energia, víz) használat és növekvő hulladéktermelés.
- * Az autóforgalom megnövekedésével járó növekvő szennyezőanyag-kibocsátás.

A fenntarthatósági mutatók különböznek a hagyományos gazdasági, társadalmi és környezetvédelmi változások mutatóitól. A hagyományos mutatók a közösség egy részében bekövetkező változásokat mérik, mintha azok függetlenek lennének a többi résztől.

A fenntarthatósági mutatóknak képesnek kell lenni a valóságot valamilyen formában tükrözni, ahol a különböző indikátorok szerves kapcsolatban vannak egymással.²²

Ilyen fizikailag értelmezhető összesítő mutató az Ökológiai Lábnymom (ÖL), ami azt a teljes földterületet méri, amely az ételmiszer-, víz-, energia- és hulladéktárolási szükséglet kielégítésének fenntartásához szükséges személyenként, termékenként, földterületenként, illetve városonként.

²² SZLÁVIK J.: *Fenntartható fejlődés vagy növekedés?* In: Gazdasági növekedés Magyarországon. Szerk. Dombi Ákos. Műegyetem Kiadó, Bp., 2005.

„Az ökológiai lábnyom egy olyan számítási eszköz, mely lehetővé teszi, hogy felbecsüljük egy meghatározott népesség vagy gazdaság erőforrás-fogyasztási és hulladékfeldolgozási szükségleteit termékeny földterületben (globális hektár – gha) mérve.”²³ Az ökológiai lábnyom igyekszik integrálni az input és output oldali környezeti hatásokat.

Az ökológiai lábnyom megállapításához először éves statisztikákat állítanak fel öt fő fogyasztási osztályt hozva létre: ételmező, lakás, közlekedés, fogyasztási javak, szolgáltatások. Természetesen a pontosabb, részletesebb elemzésekhez a fentebbi osztályok további csoportokra oszthatóak (például az ételmező esetén a zöldségek és állati eredetű táplálékok szétválasztása). A szolgáltatások esetén is meg kell vizsgálni, hogy mekkora energia-, illetve anyagáram szükséges, hiszen az információ közvetítéséhez is szükség van papírra, huzalokra, illetve az információk hozzáférhetőségét elősegítő eszközökre, mint például monitorok, televíziók, rádiókészülékek. Az ökológiai lábnyom meghatározása többlépcsős folyamat.

Első lépésben regionális vagy országos adatokat felhasználva fel kell becsülni egy átlagember éves fogyasztását bizonyos cikkekből (összfogyasztás osztva a népességgel). Az országos statisztikák termelési és kereskedelmi adatait felhasználva kiszámítható a kereskedelemmel kiigazított fogyasztás: *a kereskedelemmel kiigazított fogyasztás = termelés + import – export.*

Második lépésben meg kell határozni a fejenként kisajátított földterületet (kf) minden fontosabb fogyasztási cikk (i) esetében:

$$kf_i = f_i / p_i \quad (1.1)$$

ahol f_i az egy főre jutó mennyiség i termékből (kg/fő), p_i egy hektáron termelt mennyiséget jelenti (kg/ha).

Harmadik lépésben az egy főre eső ÖL meghatározása történik:

$$\text{öl} = \sum kf_i \quad (1.2)$$

ahol $i = 1-n$, n az összes, évente megvásárolt fogyasztási cikk és szolgáltatás.

Végezetül a régió/népesség ökológiai lábnyoma (ÖL_n) az alábbi képlet segítségével számolható ki:

$$\text{ÖL}_n = N(\text{öl}) \quad (1.3)$$

ahol N a régió/ország népességének számát jelöli.

Az ÖL analóg az emberiség környezetére gyakorolt hatását szemléltető képlettel

($I = P \cdot C \cdot T$), amelynek értelmében az ember bioszféra-átalakító tevékenységének mértéke (I) közvetlenül három, egymással szoros kapcsolatban lévő tényező függvénye. Ezek: a népességszám (P), az egy főre eső fogyasztás mértéke (C), illetve egységnyi fogyasztás környezeti hatása – utóbbi az ökológiai lábnyomban technológiai (T) komponensként jelenik meg, hiszen a termelési technológia nagyban meghatározza azt, hogy adott fogyasztási szint milyen környezetterheléssel jár.

²³ WACKERNAGEL, M., REES, W. E.: *Ökológiai lábnyomunk*, Föld Napja Alapítvány, Bp., 2001.

Az egy főre jutó átlagos ökológiai lábnyom a világon 1,8 hektár. A legnagyobb ökológiai lábnyommal az Egyesült Arab Emírségek rendelkeznek 11,8 hektárral, a második helyen az Amerikai Egyesült Államok szerepel (9,6 hektár), a harmadik helyen pedig Finnország (7,7 hektár) áll. Magyarországon az egy főre jutó átlagos ökológiai lábnyom 2006-ban 3,7 globális hektár volt. Hazánkban 1975 és 2003 között az ökológiai lábnyom 5%-kal csökkent, emellett az ország biológiai kapacitása 22%-kal esett vissza. Az adatokból kiolvasható, hogy csökkent a terhelésünk, azonban lényegesen nagyobb arányban csökkent az ország eltartó képessége. A fentiekből jól látszik, hogy hazánk ökológiai deficittel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a jelenlegi fogyasztás szintje *nem fenntartható*. Magyarországon elsősorban a fogyasztás csökkentése, a környezetbarát technológiák bevezetése segítene az ökológiai lábnyom csökkentésében.²⁴

1.7 Környezetbiztonság és klímaváltozás

1.7.1 Az éghajlatváltozás tényei

A hőmérsékleti feljegyzések azt jelzik, hogy a Föld hőmérséklete világátlagban 0,7 °C-ot melegeedett a múlt század kezdetétől. A tíz legmelegebb év – az 1861-es feljegyzések óta – 1990 után következett be. A valaha mért legmelegebb év 1998 volt, de 2005 is majdnem rekordot döntött.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2007. év folyamán közzétett negyedik értékelő jelentése szerint a Föld északi féltekéjének hóval fedett területe 10%-kal csökkent az 1960-as évek óta, és a világ nagy részén a gleccserek jelentősen visszahúzódtak. Az arktikus tengeri jég 40%-kal vékonyodott a késő nyári időszakban az elmúlt évtizedekben, és 1950 óta késő nyáron 15%-kal csökkent a kiterjedése. A legutóbbi becslések szerint csak az elmúlt évtizedben 8%-kal csökkent a tengeri jég területe. A tengeri jég olvadása nem emeli ugyan a tengerszintet, de a jégpáncél eltűnése megkönnyíti a kontinentális jég óceánba való áramlását, ami viszont hozzájárul a tengerszint emelkedéséhez, valamint módosítja a földfelszínsugárzás visszaverő képességét is. Amíg a jégfelszín a ráeső sugárzás körülbelül 90%-át visszaveri, addig az óceán vize a ráeső sugárzás alig több mint 10%-át.

A tengerszint évente 1-2 millimétert emelkedett a 20. században, főképp az óceánok hőtágulása és a gleccserek olvadása következtében. Egy sor növény- és állatfaj húzódtott északabbra, a pólusok felé az elmúlt évtizedekben. A növények virágzása, a vándormadarak megérkezése, néhány madár költési időszakának kezdete és a rovarok felbukkanása korábbra tevődött a megfigyelések szerint az északi félteke közepes és magas szélességi köreinek nagy részén. Sok helyen a rovarok és kártevők már sokkal könnyebben áttelelnek.

²⁴ WWF International: *Living Planet Report, 2006*. Gland, Switzerland, 2006.

Európa-szerte is jó néhány drámai áradásról lehetett hallani az elmúlt évtizedben. Valószínűleg az évezred legmelegebb nyara volt 2003, amely több mint 35 ezer ember halálát okozta Európában.

Az IPCC által meghatározott különböző kibocsátási forgatókönyvek mindegyike szerint a globális átlaghőmérséklet emelkedése várható a 21. században. A legnagyobb változást előrejelző forgatókönyv szerint a földi átlaghőmérséklet 2100-ban akár 6,4 °C-kal is magasabb lehet az 1980–1999 közötti időszak átlaghőmérsékleténél. Ugyanehhez az időszakhoz képest 2100-ra a világtengerek szintje is emelkedni fog 0,2–0,6 méterrel pusztán a felmelegedés hatására bekövetkező óceáni víz hőtágulása miatt.

Az emberi tevékenységek által előidézett felmelegedés és ennek hatására a világtenger szintjének emelkedése a 21. század során még akkor is folytatódik, ha az üvegházhatású gázok kibocsátását sikerről szinten tartani.

Ilyen változás lehet például:

- ✿ a grönlandi és a nyugat-antarktiszi jégtakarók elolvadása, amelyek a világtenger szintjének akár 12 méteres emelkedésével is járhat;
- ✿ csökkenhet az Észak-atlanti áramlás erőssége, amely 2-3 °C-os hűtő hatást gyakorol az európai régióban;
- ✿ a jelenleg még fagyott északi mocsarak kibocsátókká válhatnak azzal, hogy az olvadás hatására az eddig fagyott földből metán szabadul fel.

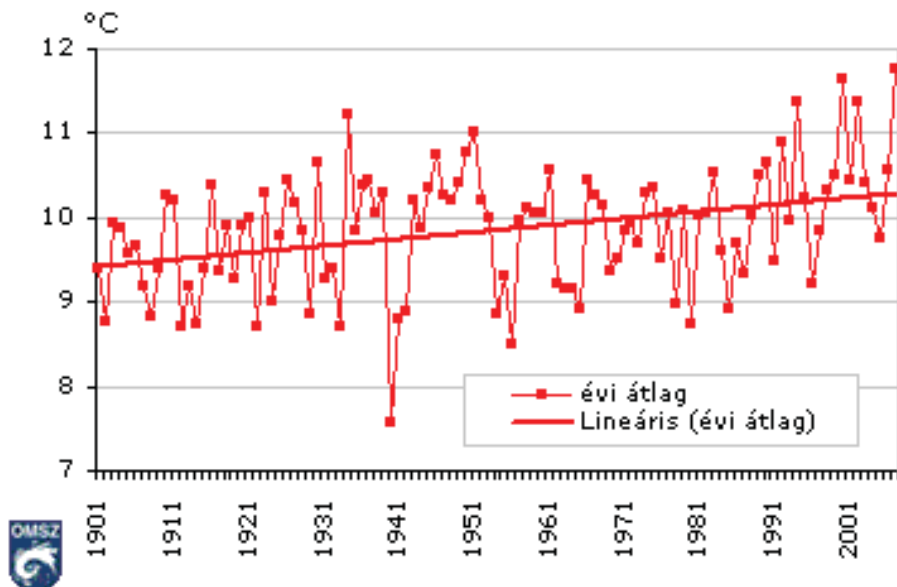
1.7.2 A klímaváltozás hatása hazánkban az IPCC 4. jelentés alapján

A jelentés szerint a klímaváltozás miatt mediterrán hatás alakulhat ki hazánkban, amely rendszeres aszály veszélyével fenyeget az ország déli felén. Magyarország az elmúlt 50 év átlagában már elveszítette a csapadékmennyiségnek 10-15%-át. Ez azt jelenti, hogy az évi átlag 720 milliméterről 640 milliméterre esett.

Magyarország sajátos földrajzi viszonyaiból következően az árvizek és a belvizek előfordulásának nagy a valószínűsége, és a jövőben is számolnunk kell ezzel a veszéllyel.

A sajátos földrajzi viszonyok hatása következtében az ország területére több mint hatvan különböző vízhozamú folyó lép be, és csak három távozik (Duna, Tisza, Dráva) a határon túlra. Ebből következik, hogy a természeti katasztrófák közül leggyakoribb az árvíz előfordulása hazánkban, amely több alkalommal okozott különösen nagy károkat az ország különböző területein.

A klímaváltozás az árvizek mellett aszályt, elsivatagosodást is okoz. Magyarországot a vízhiány – a mezőgazdaság kivételével – egyelőre jelentős mértékben nem érinti, de már vannak aggasztó jelek. Először a Duna-Tisza közének talajvízszint süllyedése jelezte, hogy a későbbi években gondok lesznek. Hazánk az édesvízkészletek szempontjából a tíz legveszélyeztetettebb ország közé tartozik a világon. Az előrejelzések szerint 2050-re Magyarország félsivatagossá válhat, mert vizeink 95%-a külföldről érkezik, ami példátlan kiszolgáltatottságot jelent. Az előző rendszer négy évtizede alatt 3,5 köbkilométernyi vizet emeltünk ki a földből környezetpusztító bányászattal, s természetes vízpótlással ennek a mennyiségnek csak 50-60%-a került vissza a földbe.



1.1 ábra: Az országos évi középhőmérsékletek 1901 és 2007 között

forrás: www.omsz.hu

Hazánk átlaghőmérsékletének emelkedése az elmúlt években kimagaslóan nagy volt, példa erre a 2007. év (1.1. ábra). Ez az év volt az elmúlt évszázad legmelegebb éve Magyarországon. 2007. éves középhőmérséklete országos átlagban 1,7 fokkal volt magasabb az 1971–2000-es éghajlati átlagnál. Csapadékviszonyok tekintetében ugyanakkor a tavalyi év nem volt rendkívüli, az év csapadékhozama országos átlagban a szokásos érték 108%-ának felelt meg.²⁵

Hazánkban az átlaghőmérséklet emelkedése mellett a következő évtizedekre az éves csapadék átlagos mennyiségének csökkenése és a csapadékeloszlás átrendeződése (több csapadék télen, kevesebb nyáron) várható, továbbá a szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése. A csapadék-utánpótlás, a felszíni és felszín alatti vizek helyzete (minőség, mennyiség) lesz a legkritikusabb kérdés. Globális szinten a változások hatására régióként nagyon eltérő mértékű gazdasági visszaesés, és az egyre kevésbé élhető területekről való elvándorlás jelentős megnövekedése várható.

Összességében Magyarország természetes élővilágában a klímaváltozás hatására az alábbi fontos változások várhatók:

- * az égövre jellemző vegetáció határainak eltolódása;
- * a társulások és táplálékhálózatok átrendeződése; a természetes élővilág fajainak visszaszorulása, különösen az elszigetelt élőhelyeken;
- * hosszú távon a biológiai sokféleség csökkenése;

²⁵ Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2007.

- * inváziós fajok terjedése, új inváziós fajok megjelenése (például a kártevő rovarok és gyomok terjedése);
- * az élőhelyek szárazabbá válása (például vizes élőhelyek eltűnése, homokterületek sivatagosodása);
- * ökoszisztéma-funkciók károsodása;
- * a talajok kiszáradása, a talajban lejároló biológiai folyamatok sérülése;
- * a tüzesetek gyakoribbá válása.²⁶

A fentiek miatt a klímaváltozás globális és lokális környezeti feszültség okozó tényezővé válhat.

²⁶ *Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. 2008–2025.*

2. FEJEZET

A környezetbiztonságot veszélyeztető tényezők

A környezetbiztonság szempontjából vizsgálni kell a környezeti elemek hozzáférhetőségét és felhasználhatóságát. Ez azt jelenti, hogy foglalkozni kell a rendelkezésre álló környezeti vagyonnal, és elemezni kell annak szennyezettségi fokát. A levegőkörnyezet esetében a készlet nagysága gyakorlatilag változatlan, és kimerülésével nem kell foglalkozni. A zaj és elektromágneses sugárzás környezeti szennyező tényezők, amelyek a környezettel való együttélést befolyásolják.

2.1 Légszennyezés

A levegő a föld légkörét alkotó gázegy, környezetünk egyik alapvető eleme, amelynek a szükséges mennyiségben és minőségben való jelenlétéről gondoskodni feltétlenül szükséges, mert:

- * biológiai szempontból az élet alapvető feltétele,
- * termelési szempontból az ipar és a mezőgazdaság egyik legfontosabb nyersanyaga és
- * üzemanyaga (energiatermelés)
- * a közlekedés területén a repülés közege, továbbá nyers- és üzemanyag.²⁷

Minden ország levegővagyona arányos az ország területével, és annak szennyezettsége általában olyan, ahogyan azt az adott ország szennyezi vagy védi. Azért csak általában, mert főként az ipari szennyezések a levegő áramlásával rendszerint túljutnak a szennyező ország határán – a levegő és vele együtt a környezet elemei számára nincsenek országhatárok.

Mivel a légkör összetétele – bizonyos összetevőit figyelembe véve – kissé változó, a „tisza levegő” kifejezésnek nincs pontos jelentése. Általában azonban a nem gáznemű szuszpenzióktól mentes levegőt nevezik így. Meteorológiai szempontból a levegőben található gázok legfontosabbika a vízgőz. Száraz levegőn vízgőzmentes levegőt értünk. A sűrűsége $1,293 \text{ g/cm}^3$ $1013,25 \text{ hPa}$ nyomáson és 0 °C hőmérsékleten; a fajhő állandó térfogaton: $0,720 \text{ J/(kg K)}$, állandó nyomáson pedig $1,007 \text{ J/(kg K)}$; a gázállandója: $286,8 \text{ J/(kg K)}$. A Föld légkörét alkotó gázokat különböző szempontok szerint osztályozhatjuk.

²⁷ HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem, környezetbiztonság*, Zrínyi, Budapest, 2000.

Összetétel alapján az „alapgázok” a levegő fő összetevői, amelyek koncentrációja állandó, ezek aránya a száraz levegőben:

- * nitrogén (N_2) 78,084%;
- * oxigén (O_2) 20,945%;
- * argon (Ar) 0,934%;
- * szén-dioxid (CO_2) 0,037%;
- * egyéb nemesgázok és hidrogén < 0,001%.

A szén-dioxid az állandó összetevők között szerepel. Mint állandó összetevő a levegőben 0,037 tf%-ban van jelen. Ez az arány a tenger, a légkör és a bioszféra között kialakult egyensúly következtében elvileg állandó. A szén-dioxid koncentrációja a múlt század eleje óta a fosszilis tüzelőanyagok nagymértékű égetése következtében növekszik.²⁸

Az alapgázokon kívül a természetes levegőben előforduló úgynevezett vendéganyagok jelenlétének oka az, hogy a bioszféra elemei között állandó dinamikus anyagcsere van. Ezek az anyagok: vízgőz, különféle szilárd részecskék (por, korom stb.), cseppfolyós és gáznemű részecskék, mikroszkopikus élő szervezetek.

A legfontosabb vendéganyag a vízgőz, amely több százalék térfogatrészt kitölthet (az Egyenlítőnél 3-4%, a mérsékelt égövben 1% körüli). A száraz levegő és a vízgőz elegye a nedves levegő. Ha a vízgőzt szilárd vagy gáznemű levegő-alkatrészek (por, korom, higroszkópos gázmolekula, például SO_2) az úgynevezett kondenzációs magvakon kicsapódik, felhő vagy köd keletkezik. A víz légköri körfolyamata alapvető szerepet játszik a légkör öntisztításában is, mert az eső így a szennyező anyagokat mintegy kimossa a légkörből (egyidejűleg azonban a talaj és az élővizeink szennyeződnek!). A levegőből távozó sokféle szennyező anyag a talajra vagy a vízre közömbös, sőt előnyös is lehet (például humuszt hord a szél egy homokos területre). A vízgőz mellett a légkör az emberi tevékenységtől függetlenül is számos gáz halmazállapotú vegyületet (például CH_4 , H_2S , SO_2 , NH_3 , NO_x) tartalmaz kis mennyiségben biológiai, légköri (villámlás) vagy vulkanikus folyamatok eredményeként. Az ózon (O_3) a magasabb légrétegekben keletkezik, és a légkör energiaháztartásában van szerepe.

A nitrogén-vegyületek közül a dinitrogén-oxid (N_2O) található a légkörben a legnagyobb mennyiségben, majd az ammónia (NH_3) és a nitrogén-dioxid (NO_2) következik. A kénvegyületek közül a kén-dioxid (SO_2) és a kén-hidrogén (H_2S) a legjelentősebb. A cseppfolyós és szilárd aeroszol részecskék (10^{-3} – $10 \mu m$) egy része a föld, illetve az óceánok felszínéről diszpergálással kerül a levegőbe, emellett vulkáni kitörésekkel is számolni kell. Nagy hányad magában a levegőben képződik különféle reakciók következtében, például az ammónium-szulfát és a kénsav. A háttér-levegő 1 cm^3 -ében általában 250-500 db aeroszol részecske van. A levegőben mindig megtalálható az aeroplankton, vagyis a levegőben a tengervíz nagyon csekély rádiumtartalma következtében a levegő radonkoncentrációja egy-két nagyságrenddel kisebb, mint a szárazföldök felett.

²⁸ HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem II.* Zrínyi, Bp., 2007.

A levegő alkotórészeinek fő aránya az élő szervezetek létezésének szempontjából csak szigorúan meghatározott keretek között változhat. Ezt az állandó összetételt a biokémiai körforgalmak biztosítják. Az állandó összetétel egyrészt az élőlények létezése szempontjából elengedhetetlen, másrészt mivel a légkör állandó összetétele és vastagsága szabja meg, hogy a napból jövő energia mekkora hányada éri el a felszínt, illetve a Föld által kibocsátott hősugárzás milyen mértékben fordítódik a hőmérséklet emelésére, egyéb tényezőkkel (napsugárzás, domborzat, tengeráramlások stb.) együtt a Föld éghajlatát is meghatározza.

A levegő összetétele mai ismereteink szerint a földfelszíntől 20-25 km magasságig nem változik, és a változás még 50 km magasságban is csekély.

A vendéganyagok (szilárd és cseppfolyós aeroszolok) viszonylag csekély mennyiségben vannak jelen, mégis fontos szerepet játszanak az egyes légköri folyamatok kialakulásában, mint például a felhőképződés, a légkör hőhártartása, sugárzások elnyelése. Másrészt az élővilág szempontjából döntő jelentőségűek, mint például a víz körforgalma a légkörben.

A vendéganyagok további fontos ismérve koncentrációjuk tér- és időbeli változékonysága. Légköri mennyiségük azonban nem lehet tetszőleges. A levegő nagyléptékű globális elszennyeződésének veszélye éppen abban áll, hogy az emberi tevékenység a vendéganyagok koncentrációját a természetes ingadozások felső határa fölé emeli. Ezáltal új, számunkra kedvezőtlen légköri viszonyok alakulnak ki.

Az említett anyagok okozzák a légkör úgynevezett globális háttér-szennyezettségét, a lakott területek levegő-szennyezettsége mégis túlnyomórészt mesterséges forrásokból ered. Bár a levegőszennyezés elsődleges okai a szennyező anyagokat kibocsátó források, a légszennyezés kialakulását mindazok a tényezők befolyásolják, amelyek a levegőbe került anyagok koncentrációjának csökkenését kedvezően vagy kedvezőtlenül befolyásolják.

A légköri gázok csoportosíthatók a légkörben való tartózkodási idő szerint:

- ✿ rövid tartózkodási idejű gázok, amelyek tartózkodási ideje néhány nap vagy hét;
- ✿ közepes tartózkodási idejű gázok néhány éves, esetleg tízéves tartózkodási idővel;
- ✿ hosszú tartózkodási idejű gázok jóval hosszabb tartózkodási idővel.

A tartózkodási idő fontos sajátossága az a törvényszerűség, miszerint minél kisebb valamelyik összetevő tartózkodási ideje, annál kisebb koncentrációjának tér- és időbeli változékonysága.²⁹

Az atmoszférát alkotó alapgázok keletkezésének forrásai:

- ✿ Emberi tevékenységek – ez az a forrás, amelyből a legtöbb, elsősorban légszennyezést okozó fizikai vagy kémiai jellegű anyag kerül az atmoszférába (porok, különféle gázok, gőzök stb.) Legkárosabbnak az üvegházhatásban főszerepet játszó szén-dioxid-kibocsátás tekinthető.

²⁹ FÖLDI L., HALÁSZ L. *Környezetbiztonság*. Complex Kiadó, Bp., 2009.

- ✿ Óceánok felszíne – a légkörbe jutó vízgőz túlnyomó részének forrása. Párolgással cseppfolyós és légnemű vízmolekulák, továbbá a tengerekben és óceánokban élő mikroszkopikus élőlények levegőbe kerülésének folyamata.
- ✿ Talajfelszín – elsősorban különféle – talaj, kőzet és ásványalkotó – szilárd anyagok pora, továbbá ugyancsak mikroszkopikus élőlények levegőbe kerülésének forrása.
- ✿ Naptevékenység – a Napot alkotó hidrogén, valamint a Napban lejátszódó magfúzió révén keletkező hélium atmoszférába kerülésének forrása a napkitörések során. Jelentős befolyásoló tényezőként tartjuk számon továbbá a Napból kiinduló, és a földi életre hatással bíró széles skálájú elektromágneses sugárzásokat is, hiszen ezek közvetlenül és közvetve egyaránt közreműködnek a légkör fizikai és kémiai állapotának alakításában.
- ✿ Vulkáni tevékenység – a Földön különösen az utóbbi években – évtizedekben fokozódó gyakorisággal előforduló vulkáni tevékenység (lényegében a kisebb-nagyobb, legkülönbélebb por és gáznemű légszennyezők kibocsátásával járó kitörések) az atmoszférába jutó természetes eredetű szennyezések legnagyobb forrása. Az emittált légszennyezők közül legveszélyesebbek a nagy tömegű por, valamint a szén-dioxid és a metán (üvegházhatású gázok).
- ✿ Szénhidrogének oxidációja – ezen a forráson elsősorban az energiatermelés, valamint a robbanómotoros gépjárművek üzemanyagának elégetésekor képződő szén-dioxid és szén-monoxid légkörbe jutását értjük.³⁰

2.1.1 Szennyező anyagok mennyisége a légkörben

Az, hogy a légkörbe juttatott szennyező anyag milyen mértékű károsodást okoz, alapvetően a légkör szennyezőanyag-befogadó kapacitásán múlik. A légkör szennyezőanyag-befogadó kapacitása a következőktől függ:

- ✿ az adott szennyezőanyag-típusból a vizsgált körzetben milyenek a megengedett szennyezőanyag-koncentrációk (immissziónormák). Ezek az értékek országonként, sőt sokszor azon belül körzetenként is változnak, attól függően, hogy az adott terület milyen mértékű védelmet igényel (például védett területeknél szigorúbbak a határértékek). Az immissziónormák megállapítása igen nagy körültekintést igényel, mindkét irányú túlzás súlyos károkat – az egyik ökológiai, a másik gazdasági értelemben – okozhat;
- ✿ a szennyező anyagok légtérből való távozási sebességétől. Ezt döntően meteorológiai tényezők határozzák meg (vízszintes szélmozgások, a levegő hőmérsékleti rétegződése, csapadékviszonyok stb.);
- ✿ a szennyezőanyag-kibocsátásnak attól a mennyiségétől, ami az adott légtérben egységnyivel emeli a szennyezőanyag koncentrációját. Ezt az adott területen szennyeződést okozók száma és emissziója határozza meg.

³⁰ MOSER M, PÁLMAI Gy.: *A környezetvédelem alapjai*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 2006

A légszennyező anyagok koncentrációja a levegőben attól függ, hogy

- * mennyi légszennyező anyag kerül a levegőbe,
- * mekkora levegőtér fogatba, és
- * mennyi légszennyező anyag hagyja el a légkört.

A légszennyező anyagok a levegőbe a forrásokból közvetlenül emisszióval kerülnek (elsődleges légszennyezők), vagy pedig a levegőben az elsődleges légszennyező anyagokból, esetleg ezek és a levegő természetes alkotóelemeinek kölcsönhatására kémiai reakciókkal keletkeznek (másodlagos légszennyezők). Ha a légkörbe jutó idegen anyagok változatlan formában a levegőben maradnának, akkor annak összetétele viszonylag rövid idő alatt úgy megváltozna, hogy az emberi élet számára alkalmatlanná válna. Szerencsére a levegőnek – az élő vízhez és a talajhoz hasonlóan – természetes öntisztulása van.

A tisztulási folyamatokat három csoportba sorolhatjuk:

- * a szennyező anyag a légkörből eltávozik
- * a szennyező anyag más (esetleg közömbös) anyaggá átalakul
- * a szennyező anyag koncentrációja csökken, tehát felhígul.

Az első csoportba tartozó lehetőségek egyike az ülepedés, amellyel a szilárd vagy folyékony szennyeződés durva frakciója távozik az atmoszférából.

Az impakció vagy precipitáció felületekhez ütközés vagy tapadás útján választja ki a szennyeződést. Termoprecipitáció esetén a részecskék a hozzájuk képest hidegebb felületre, elektroprecipitáció esetén pedig ellenkező elektromos töltésű felületekre csapódnak ki. Ezek a folyamatok nagyrészt a föld- és tengerfelülettel érintkező légrétegekben játszódnak le, de légköri részecskék vagy vízcseppek felületén is létrejöhetnek.

Az ad- és abszorpció gáznemű szennyezőknél elsőrendű jelentőségűek. Elsősorban a tengerek nagy felülete jön számításba, de a talaj és az élővilág gázmegkötő képessége is tekintélyes.

Jelentős folyamatok a kondenzálódás és a kimosódás is. Felhőképződéskor a szennyező anyagok kondenzációs magvakként szolgálhatnak, és a csapadékkal ők maguk is kikerülhetnek a légkörből. Emellett a csapadék kihullása során tekintélyes légrétegeket mos át. Az említett tisztulási folyamatokat nem lehet egymástól élesen elhatárolni: például egy esőcsepp aeroszol részecskének ütközés után azt feloldhatja, a jelenség egyúttal kimosódás és ülepedés.

A második csoportba azok a folyamatok tartoznak, amelyek során a szennyeződés közömbös vagy kevésbé szennyező anyagokká alakul át.

A harmadik csoportba tartozó hígulási lehetőségek közül a diffúziót, továbbá a szelek és turbulens légmozgások hatását említjük. A hígulás csak a szűkebb környezet szempontjából kedvező, nagyobb területre, illetve az atmoszférára nézve közömbös, mert így a légkörben lévő szennyező anyag abszolút mennyiségei nem változnak, csak koncentrációjuk csökken.

Levegőszennyezőnek kell minősíteni származásuktól és állapotuktól függetlenül azokat az anyagokat, amelyek olyan mértékben jutnak a levegőbe, hogy azzal az ember és környezetét kedvezőtlenül befolyásolják, vagy anyagi kárt okoznak. Bár a természetes

szennyező források összkibocsátásukat tekintve a mesterséges szennyező forrásokat jelenleg még többszörösen meghaladják, a bioszféra szempontjából káros szennyezőanyag-koncentrációk kialakulásához nem vezetnek.

A mesterséges szennyező források egyik fő jellegzetessége, hogy általában területileg koncentráltan – nagyvárosokban vagy ipartelepeken – helyezkednek el, ezért a szennyező anyagokat erősen korlátozott kiterjedésű légtérbe bocsátják, és azoknak a környezet szempontjából ártalmatlan hígulására csak jóval a városok határain kívül kerül sor.

Légszennyező minden berendezés, épület, jármű vagy szabadban elhelyezkedő anyag (meddőhányó, széntároló, szemétkukoréka hely), amely légszennyezést okoz.

A légkörbe jutó szennyező anyagok tekintélyes része természetes eredetű. A Föld felületének nagyobb részét kitevő hidroszféra jelentős mennyiségű aeroszolt termel. A hullámveréssel levegőbe jutó vízcseppek beszáradásával főleg nátrium (Na^+), kálium (K^+), klorid (Cl^-), szulfát (SO_4^{2-}) ionokból álló vegyületek maradnak az atmoszférában. A tengeri élővilág hatalmas mennyiségű gáz halmazállapotú anyagcsere-terméket is a levegőbe juttat.

A litoszféra felületéről főleg szilárd fázisú szennyező anyagok származnak. A széllel felkavart homok (SiO_2) gyakran nagy koncentrációban van jelen. A talajok pora szerves alkotórészeket is tartalmaz, főleg azonban ásványok porából, karbonátokból, szulfátokból és oxidokból áll (például CaCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , stb.). Vulkáni tevékenység során porok, gőzök és gázok (H_2S , SO_2 , HCl , CO) jutnak a levegőbe. Sztyeppék, bozótok, erdők tüzeinek égéstermékei a szén-dioxidon kívül kormot és karcinogén szénhidrogéneket hordoznak. A növények és állatok bomlástermékei (NH_3 , H_2S , aminok, merkaptánok stb.) gyakran bűzösek. A gázkitörésekből és szerves bomlástermékként levegőbe kerülő kis szénatomszámú szénhidrogének közül legnagyobb és meglehetősen állandó a metán koncentrációja (1,2 ppm). A levegő szennyeződéseit vizsgálva két, elvileg különböző szennyeződéstípusról beszélhetünk.

Ha bizonyos nyomanyagok koncentrációja a légkörben tartósan megváltozik, az a bioszféra normális viszonyainak a felborulásához, globális környezeti ártalmakhoz vezethet.

A globális hatások közt legjellemzőbb és talán leginkább aggasztó jelenleg a földi légkörben levő szén-dioxid felszaporodása, ezáltal az atmoszféra lassú felmelegedése, azaz a sokat emlegetett üvegházhatás.

A másik globális hatás Földünk ózonpajzsának vékonyodásához, ezáltal az élők nagy energiájú UV sugárzás általi károsodásához (például bőrrák kialakulásához) vezet.

A regionális hatások között említjük (bár már egyre inkább globálissá szélesedik) a savas ülepedést és a füstköd-katasztrófákat.³¹

³¹ BÁNDY Gy.: *Környezetvédelmi kézikönyv*, 4. átdolgozott kiadás, KJK-Kerszöv Kiadó, Bp. 2002.

2.1.2 Globális légszennyeződések

Üvegházhatás

A szén-dioxid a Föld és atmoszférája sugárzási mérlegében jelentős szerepet betöltő gáz. A viszonylag rövid hullámhosszú (látható és UV) napsugárzást szinte elnyelés nélkül átengedi a felszínre, ám a felszín felmelegedéséből származó hosszú hullámú (IR) sugárzást jelentős mértékben elnyeli, visszatartja, ezáltal az atmoszférát és a felszínt lassan, fokozatosan felmelegíti. A CO₂ légköri mennyiségének csökkenése tehát lehűléshez, növekedése pedig felmelegedéshez vezet. Különböző modellek alapján vizsgálhatjuk a globális felmelegedés hatását, az eredmények a folyamat összetett volta miatt jelentős szórást mutatnak. Érdekességképpen azért lássunk néhány adatot. Ha a szén-dioxid mennyisége 550 mg/kg-ra emelkedne, az 4 °C fokos átlagos felmelegedést eredményezne, a sarkok felett 13-14 °C-kal, a trópusokon 1-2 °C-kal nőne a hőmérséklet.³²

Az ózonréteg elvékonyodása

A légkörben az ózon nagyrészt fotokémiai reakciókban képződik a sztratoszférában, és fontos szerepet játszik a Föld energiamérlegének alakításában azáltal, hogy a napsugárzás kis hullámhosszú, nagy energiájú részét elnyeli, és ezáltal mintegy „védőernyőt” képez a földi élet számára. Megfigyelések szerint a Földet körülvevő ózonréteg vékonyodik. Kísérletileg is kimutatták, hogy különféle halogén-szénhidrogének bomlásából származó anyagok katalizálják az ózon bomlását. Ezek a halogénszarmazékok légköri reakciókból, iparilag előállított vegyületekből származnak.

Rövid távú, helyi légszennyezők

A kén-dioxid-emisszió elsősorban a kéntartalmú szenek (barnaszenek) elégetéséből, de a kénsavgyártásból, papírgyártásból és egyes kőolajipari technológiákból, kisebb mennyiségben olajtüzelésből, Diesel-motorok kipufogó gázaiból származik. Jelentős a nem antropogén kén-dioxid-kibocsátás is (például vulkáni tevékenység).

A szén-monoxid tipikus helyi szennyező. Kis koncentrációban is rendkívül mérgező. A vérben a hemoglobinhoz kapcsolódva megakadályozza az oxigén felvételét. A tökéletlen égés terméke. Erőművek, kohók, gépjárművek nagy mennyiségben juttatják a légkörbe.

A nitrozus gázok különféle nitrogén-oxidok, mindegyikük erélyes oxidálószer, vízben különbözőképpen oldódó, légköri reakciókra hajlamos vegyületek. Erősen mérgező, roncsoló hatásúak. Magas hőmérsékleten végbemenő égési folyamatokban, vagy elektromos kisülések hatására képződnek. A nitrogén közönséges körülmények között nem oxidálódik.

A fluor, illetve fluor-hidrogén igen reakcióképes, agresszív anyagok, még az üveget is megtámadják. Erősen mérgező hatásúak, a növények kis koncentrációkra is nagyon

³² <http://archive-hu.com/page/503988/2012-10-23/>, http://www.gyfk.hu/cms/netalon.xml?data_id=2756 (2014. 05. 26).

érzékenyek. Az alumíniumkohászat, a zománcgyártás, a foszforműtrágya-gyártás, a tégl- és cserépipar fluor-, illetve fluoridemissziója jelentős.

A szilárd szennyezők különféle szemcseméretű és összetételű porok formájában kerülnek a légtérbe. Különösen a nehezen ülepedő, kis szemcseméretű porok károsak. A por-szennyeződések egy része kémiailag közömbös, de ismeretesebb toxikus porok is (például növényvédők szerek, kipufogógázok ólomtartalma stb.). A porszennyezők sokszor felerősítik más szennyezőanyagok hatását azáltal, hogy felületükön adszorpcióval megkötik azokat.

Szmog keletkezése

A különféle szennyezőanyagok a légkörben természetesen együttesen fejtik ki hatásukat. A szennyezőanyagok kedvezőtlen meteorológiai viszonyok között nagyon feldúsulhatnak egyes területeken, és komplex légszennyeződésként szmog alakulhat ki. A szmognak két alaptípusa ismeretes, a londoni vagy redukáló típusú szmog általában hűvösebb időben, kora reggel alakul ki, és a kén-dioxid, szén-monoxid, szilárd szennyezők stb. magas koncentrációja jellemzi. A Los-Angeles típusú vagy oxidáló (másik néven fotokémiai) szmog melegben, intenzív sugárzáskor jön létre, és oxidáló hatású anyagok, valamint ezek átalakulási termékei a fontosabb alkotói. Különösen veszélyesek a légköri reakciókban az illékony szerves vegyületekből a nitrogén-oxidok, illetve az ózon hatására képződő vegyületek az úgynevezett peroxi-acetil-nitrátok (PAN), amelyek rákkeltő hatásúak.

A savas ülepedés

Regionális hatások között említjük (bár már egyre inkább globálissá szélesedik) a légkör szennyezését elsődlegesen ugyancsak tüzelésből származó savanhidrid gázokkal (SO_x , NO_x). A világ iparosodott országait hordozó északi félteke légköre erősebben szennyezett a savas kémhatású gázokkal, mint a (hígulás következtében a folyamatosan szennyeződő) déli félteke fölötti atmoszféra. Következmény a savas ülepedés. (Az északi félteke országaiiban elterjedő erdőkárosodás, erdőpusztulás.)

A savas ülepedés az a folyamat, amikor az aeroszol részecskék vagy vízben oldódó gázok kikerülnek a légtérből és a földfelszínre (talajra, felszíni vízbe, növényekre, létesítményekre) jutnak.³³

A levegőtisztasággal összefüggő indikátorok³⁴

A fenntartható fejlődés az Európai Unió egyik fő célkitűzése, amit az unióról szóló szerződés is megerősít. Az egész unióra érvényes fenntartható fejlődési stratégiát az Európai Tanács 2001 júniusában, Göteborgban tartott ülésén fogadta el, megújítása 2006-ban megtörtént. A stratégia fontos része a fenntarthatóság felé tett elmozdulás mérése, ezért az Európai Bizottság 2005 februárjában erre vonatkozó indikátorkészletet fogadott el. Az európai indikátorkészlet mutatói hierarchikus rendszerben, három

³³ KERÉNYI A.: *Általános környezetvédelem*. Mozaik Stúdió, Szeged, 1998.

³⁴ *Fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon*, KSH, 2011.

szinten helyezkednek el, amelyek alapul szolgálnak a fenntartható fejlődés helyzetének elemzéséhez, valamint a bekövetkezett változások követéséhez. Az első szinten lévő (fő) indikátorok átfogóan bemutatják az egyes területeken végbemenő főbb tendenciákat. A második szint a rendszer altémáinak felel meg, és az első szint mutatóival együtt a fő célkitűzések megvalósulását méri. A harmadik szint mutatói (elemző mutatók) egy-egy altéma mélyebb elemzésére adnak lehetőséget. A kiadványban 9 első, 30 második és 110 harmadik szintű, összesen 149 indikátor található. A levegőszennyezést az alábbi indikátorokkal jellemezték:

Savasodást okozó vegyületek kibocsátása

A savasodást okozó vegyületek kibocsátásának mutatója az emberi tevékenységből származó nitrogén-oxid (nitrogén-monoxid-, nitrogén-dioxid-kibocsátás nitrogén-dioxidra átszámítva), illetve a kén-dioxid, valamint az ammónia éves összes kibocsátását követi nyomon. A légtérbe került nitrogén-oxidok a kibocsátó forrástól nagy távolságra eljutva leülepednek, így szerepet játszanak a savasodásban, az eutrofizációban, valamint megnövekedett koncentrációjuk révén a fotokémiai füstköd (szmog) kialakulásában. A kibocsátott kén-dioxid a felelős a téli szmog kialakulásáért, az ammónia kibocsátás során bemosódó nitrát és foszfát pedig főként a fokozott algásodásért felel.

A savasodást okozó anyagok kibocsátása károsítja az ökoszisztémát, a talajt, az erdőket és a vízkészleteket.

Hazánkban a nitrogén-oxidok kibocsátási szintje a vizsgált időszakban (1995–2008) jelentősen nem változott. 2007-ben 4%-os csökkenés figyelhető meg. A nitrogén-oxidok kibocsátásának legjelentősebb forrása a közlekedés, több mint 65%-os részaránnyal. A hőerőművek emissziója az összkibocsátás több mint egytizedét teszi ki.

A kibocsátott kén-dioxid mennyisége csökkenő tendenciát mutat. A visszaesés fő okai a tüzelőanyagok kéntartalmának csökkentése, a szén használatánál a kéntelenítő berendezések alkalmazása, valamint a háztartásokban a széntüzelés visszaszorulása és a földgázfelhasználás előtérbe kerülése. A genfi egyezményt követően Helsinkiben (1985) készült az első jegyzőkönyv a kénkibocsátások és azok országhatárokon való átáramlásának legalább 30%-kal való csökkentéséről, majd a második jegyzőkönyv a kénkibocsátások és azok országhatárokon való átáramlásának további mérsékléséről. Hazánk sikeresen teljesítette azt a vállalását, hogy SO₂-kibocsátását 2000-re 898, 2005-re 816 kilotonnára csökkentte. A kén-dioxid kibocsátásának 83%-a a hőerőművekből, az ipari tüzelés során a szén, a lignit és a kőolajtermékek elégetéséből, valamint a lakossági hőtermelésből keletkezett 2007-ben.

Az ammóniakibocsátás az elmúlt 25 év alatt közel 60%-kal csökkent. Ez annak is köszönhető, hogy mérséklődött a műtrágya-felhasználás a mezőgazdaságban. Az összes ammóniakibocsátás zöme mezőgazdasági eredetű (2000-ben 94%, 2007-ben 98%).

Ózonkárosító vegyületek kibocsátása

Az ózonkárosító vegyületek kibocsátásának indikátora bemutatja a részlegesen fluorozott szénhidrogének (HFC-k), a klórozott-fluorozott szénhidrogének (HCFC) és a mesterséges eredetű metil-bromid (CH₃Br) kibocsátásának nagyságát. A mutató az

egyres összetevők kibocsátott mennyiségének és globális felmelegítési képességük (*GWP* – *global warming potential*) szorzatainak szén-dioxid-egyenértékben számított összege. (Az egyes üvegházhatású gázok globális felmelegítési képessége (*GWP*) 100 éves időhorizontra $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 21$. Ez azt jelenti, hogy 100 év alatt 1 tonna metán 21 tonna CO_2 -nek megfelelő felmelegedést okoz.)

A klórozott-fluorozott szénhidrogének és a metil-bromid kibocsátásának mutatószáma is aggregált mutató: az egyes anyagok mennyiségének és ózonlebontó képességük (*ODP*) szorzatainak *ODP*-egyenértékben számított összege (*ODP*-tonna). A viszonyítási alap a *CFC-11*, amelyre *ODP* = 1.

Hazánkban a klórozott-fluorozott szénhidrogéneket (lágý freonokat) a klór-fluor-szénhidrogéneket (*CFC-k*) helyettesítõ, „átmeneti anyagként” használják 1992 óta. Légköri tartózkodási idejük és ózonlebontó képességük általában alacsonyabb, mint a helyettesített vegyületeké, ezért ózonréteget károsító hatásuk is kisebb. Az éghajlatváltozásra azonban hatással vannak. A *CFC*-ket helyettesítõ lágý freonokat számos területen alkalmazzák – önmagukban vagy elegyekben – a hûtéstechnikában, habosításra és oldószerként egyaránt. Felhasználásukat 2030-ig meg kell szüntetni.

Magyarország 1998-tól rendelkezik a részlegesen fluorozott gázok kibocsátásának adataival. 2000 és 2007 között mennyiségük 40%-kal növekedett, 2005–2006-ban azonban jelentõs csökkenést mutat. A klórozott-fluorozott szénhidrogének felhasználása 1999-ig folyamatosan növekedett, ami közel másfélszeres mennyiséget jelent az 1995. évihez képest. 2007-re Magyarország minimálisra csökkentette a *HCFC-k* kibocsátását.

A metil-bromidot a talaj és egyes mezõgazdasági termények és tárházak fertõtlenítésére használták. A 2004. évi felhasználás 12%-a a 10 évvel korábbinak. Gyártását 2004-ben beszüntették.

Szilárdanyag-kibocsátás

A szilárdanyag-kibocsátás mutatója az emberi tevékenységekbõl származó összes szilárdanyag-kibocsátás éves mennyiségét jelzi. A szilárd anyagok a kén-dioxid magas koncentrációja mellett, lassú légmozgás és alacsony hõmérséklet esetén az úgynevezett téli füstköd (szmog) elõidézõi. A 10 mikrométernél kisebb átmérõjû részecskék felé forduló növekvõ figyelem azok egészségkárosító hatásának a következménye. Ezen anyagok be- lélegzése számos súlyos szív- és légzõszervi betegség (például tüdõrák) kialakulásában játszik szerepet.

A fenntartható stratégiánk szerint a veszélyes vagy szennyezõ anyag kibocsátási szintje nem haladhatja meg a környezet asszimilációs képességét. A szilárdanyag-kibocsátás 1980 és 2007 között 577 ezer tonnáról 60 ezer tonnára csökkent, ez egy lakosra vetítve 54 kg, illetve 6 kg. A jelentõsebb csökkenés az 1980-as években történt.

A legnagyobb kibocsátó a közlekedés és a lakosság. A közlekedésben a szilárdanyag-kibocsátás a tökéletlen égésbõl származik, és fõleg a dízelüzemû gépjármûveknél jelentõs. A gumikopás és a fékek kopása ugyancsak számottevõ szilárdanyag-kibocsátást eredményez.

Az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátása

Ez az indikátor a hat üvegházhatású gáz (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6) kibocsátásának a globális felmelegedéshez való hozzájárulásuk arányában (GWP) súlyozott értékeinek összegét mutatja be, CO_2 -egyenértékre átszámolva. 100 éves időtávlatban $\text{CO}_2 = 1$ és $\text{CH}_4 = 21$, azaz 100 év alatt 1 tonna metán 21 tonna CO_2 -nak megfelelő felmelegedést okoz. A mutatószám bázisévre vonatkoztatott indexszám. A bázisév a fluort nem tartalmazó gázokra általában 1990, a fluortartalmú gázokra pedig 1995.

Az EU-15 a kiotói jegyzőkönyv 4. cikkelye alapján vállalta, hogy 2008–2012-re az üvegházhatású gázok kibocsátását 8%-kal csökkenti az 1990-es szinthez képest. A tagállamok részesedését az „EU-buborékból” az eredetileg 1998-ban megkötött úgynevezett kötelezettségmegosztó egyezség (*Burden Sharing Agreement*) tartalmazza, amit a kiotói jegyzőkönyv 2002. májusi ratifikációja során specializáltak.

A kiotói jegyzőkönyv lehetővé teszi, hogy a vállalatok országonként eltérőek legyenek, ennek megfelelően a tíz új tagállamból nyolc az EU-15-től (8%) eltérő célértéket és vonatkozási évet jelölt ki.

Magyarországnak saját vállalása 6%-os kibocsátás-csökkentést tartalmaz hat üvegházhatást okozó gázra vonatkozóan, 2008–2012 átlagában az 1985–1987-es bázisidőszakhoz képest.

Ahhoz, hogy 2100-ig évente mennyi Gt CO_{2e} üvegházhatású gázt lehet kibocsátani, hogy 2150-re a légköri CO_2 koncentráció 450 vppm értéken stabilizálódjon, a számítások szerint 50 Gt CO_{2e} -ot kellene kivonni, azaz 35 Gt CO_{2e} lenne kibocsátható. A 2000-ben globálisan 42 Gt CO_{2e} 77%-a szén-dioxid, aminek 38%-a ipari, 8%-a lakossági, 14%-a közlekedési, 14%-a mezőgazdasági, 18%-a erdőégetés volt.

A 16 Gt ipari kibocsátásból 11-12 Gt erőművi volt, ezért gőzerővel kutatják a szén-dioxid füstgázból történő kivonásának, tárolásának és szállításának CCS (Carbon Capture and Storage) lehetőségét (tengervízben való elnyelés, tartós geológiai tárolás, ellenáramú oldószeres abszorpció után). A városi népesség nagy része az Európai Unióban a légszennyező anyagok egészségügyi határértékeit vagy a célértékeket meghaladó koncentrációjának van kitéve. A kén-dioxidnak való expozíció erősen csökkenő tendenciát mutat, a többi szennyező anyagnál nem figyelhető meg csökkenő tendencia. A PM_{10} kérdés páneurópai jelentőségű. A városi mérőállomások szerint a háttér-koncentrációk meghaladják a határértéket.

Az ózon szintén általános problémát jelent, bár az egészségügyi célértékek túllépése Észak-Európában nem annyira gyakori. Az NO_2 koncentrációja a nagy agglomerációkban mindenütt probléma. A PM_{10} levegőtisztasági határértékek túllépésével a városi lakosság több mint 50%-a érintett évente több mint 35 napon.

A PM_{10} egy része elsődleges kibocsátásokból, míg jelentős része másodlagos forrásokból, a légkörben bekövetkező kémiai reakciók során finom szemcsés aeroszolokat adó prekursorok (NO_x , SO_2 , NH_3 , szerves vegyületek) kibocsátásából származik.

Az ózon esetén sem megnyugtató a helyzet, bár az ózon prekursorok emissziójának csökkenése alacsonyabb ózon csúcskoncentrációkat eredményezett, a városi népesség mintegy 30%-a több mint 25 napig volt kitéve éves szinten a 120 ug/m^3 célértéket meghaladó koncentrációknak.

Nitrogén-dioxid: a városi népesség 30%-a él olyan városokban, ahol a háttér-koncentráció meghaladja a nitrogén-dioxid 40 ug/m^3 éves határértékét. Azonban a határértéket a koncentráció valószínűleg azokban a városokban is meghaladja, ahol a városi háttér határérték alatti: a nagy forgalomsűrűségű kritikus csomópontokon.

Mindegyik szennyező anyag járványügyi vizsgálati egyértelműen emelkedő kockázatokat mutatnak. A szükséges megteendő intézkedéseket az 1999/30/EK és 2002/3/EK tanácsi irányelvek tartalmazzák, ezek pozitív hatása nem érzékelhető.

Az éghajlatváltozásról szóló ENSZ keretegyezmény (UNFCCC) legfontosabb célkitűzése az, hogy sikerüljön stabilizálni a légköri üvegházhatású gázok koncentrációját olyan szinten, amely megakadályozza a veszélyes légköri kölcsönhatásokat az éghajlati rendszerrel. Ezt a szintet olyan időkereten belül kell megoldani, ami lehetővé teszi az ökoszisztémák számára a természetes alkalmazkodást az éghajlatváltozáshoz, biztosítja az élelmiszertermelést, lehetővé teszi a gazdasági fejlődés fenntartható módon történő folytatását.

A fentiek érdekében szükség lehet a koncentrációk jóval 500 ppm CO_2 egyenérték alatti stabilizálására, a globális GHG kibocsátás maximalizálására, akár 50%-os csökkentésére.

2.2 Vízzennyezés

A víz a földi életet lehetővé tevő legalapvetőbb vegyület: a bioszféra egyik lényeges hőmérséklet-szabályozója és a sejtekben lejátszódó biokémiai folyamatok oldószere. A víz az ember számára nélkülözhetetlen.

- a) *biológiai szempontból* táplálkozásunk alapvető része nemcsak ivóvízként, hanem szilárd táplálékaink jelentős hányadát is a víz képezi.
- b) *higiéniai szempontból* tisztálkodásra, mosásra, szennyeződések eltávolítására használjuk.
- c) *egészségügyi szempontból* mint az üdülés, a vízi sportok és a gyógyászat (gyógy-és hévizeink révén) jelentős tényező.
- d) *közlekedési szempontból*
- e) *termelési szempontból* mint az ipar, a mező-, erdő és halgazdaság fontos alap- és segédanyaga, szállító közege, valamint energiaforrás és energiahordozó.

Ugyanakkor a víz romboló erejével (árvizek), káros és felesleges mennyiségével (belvizek, agresszív talajvizek) veszélyezteti az egyént és a társadalmat. A vízgazdálkodásnak ezért nemcsak a víz szükséges mennyiségben és minőségben való biztosításáról, hanem a vízkárok elhárításáról is gondoskodnia kell.

Az egyes vízfeleségek összetétele más és más, mivel a víz természeti körforgása során a különböző környezetben különböző anyagokat old fel, ad le és víz magával, amelyek hatására további fizikai, kémiai és biológiai folyamatok játszódnak.

2.2.1 Vízforrások jellemzői

A kémiai értelemben tiszta víz a természetben nem található, a desztillált víz minőségét legjobban a csapadékvíz közelíti meg, de már ez is a légkörből gázokat és port mos ki, majd a talajból különféle sókat old. A talajvíz oldott szervesanyag- és sótartalmát a talaj összetétele határozza meg. A felszíni vizek minősége döntően a földtani felépítés, illetve talaj, a növénytakaró és a társadalmi tevékenység függvénye. A vízben található idegen anyagokat három csoportba oszthatjuk:

- ✿ oldott gázok;
- ✿ oldott sók és szerves anyagok;
- ✿ lebegő szennyezések.

Csapadékvíz

A csapadékvíz a levegő páratartalmából a fizikai állapotváltozások hatására keletkezik, főleg a felszíni vízkészletet gyarapítja, de a felszín alatti vizek utánpótlása szempontjából is jelentős szerepe van.

A csapadékvíz keletkezése pillanatában már gázokat old ki a levegőből, de a vízben oldott gázok százalékos összetétele eltér a levegő százalékos összetételétől, mivel a gázok oldékonysága különböző. Az alapgázok közül legjobban a szén-dioxid, legkevésbé a nitrogén oldódik.

Emellett a csapadék a levegő egyéb szennyezéseit (port, radioaktív anyagokat, mikroorganizmusokat) is magával viszi, települések és ipari területek környékén pedig még füstgázokat, kormot, pernyét tartalmaz.

Bár a csapadékvizek minősége is helyenként változó, közös tulajdonságuk, hogy keménységet okozó és egyéb sókat csak kis mennyiségben tartalmaznak, továbbá, mivel az oldott szén-dioxid mellett hidrogén-karbonátokat nem találunk, a szén-dioxid teljes mennyisége agresszív, és ezt a hatást a füstgázokból elnyelt kén-dioxid csak fokozza.

Felszín alatti vizek

A talaj felszínét rendszerint növényzet borítja, tehát majdnem mindenütt elpusztult, korhadó növényi részek is találhatóak, különösen erdőkben. A csapadék oxigéntartalma ilyen területekre jutva a szerves anyagok oxidációjára fordítódik. A szénsavtartalmú víz nemcsak a talaj vízdoldható sóit képes oldani, hanem megtámadja a karbonátos, a vas- és mangántartalmú, sőt a szilikátos kőzeteket (utóbbiakból szilícium-dioxid és agyag keletkezik).

Az oldott sók mellett szerves anyagok, például humuszsavak vagy a fehérje-anyagszere bomlástermékei is előfordulhatnak: az ammónia- és nitrítartalomtól a közelmúltban, a nitrát-tartalomtól régebben történt fertőzésre lehet következtetni. Az ammónia- és nitrítartalmú víz ezért közvetlen fogyasztásra nem alkalmas.

Talajvíznek nevezzük a felszín alatti vízkészletnek azt a részét, amely az első vízzáró réteg fölött helyezkedik el. Eredetét tekintve lehet a felszínről leszivárgott csapadékvíz vagy a felszíni vizek vízáteresztő rétegben tovahaladó része, amely a gravitáció miatt mindaddig lefelé halad, amíg vízzáró réteghez nem ér.

Vízminőségi szempontból nagyon veszélyes a talaj szennyeződése, mert míg folyóvízzel a szennyezés levonul, addig a talajvízben esetleg évtizedekig maradandó vízminőségi romlást okoz.

A rétegvíz (artézi vagy mélységi víz) általában két vízzáró réteg között 20 métertől több kilométerig terjedő mélységben – esetleg több, egymástól független rétegben – helyezkedik el. A rétegvíz többnyire teljesen kitölti a víztartó kőzet pórusait. A rétegvizek szennyező anyagoktól és fertőző mikroorganizmusoktól mentesek, oxigént nem, vasat és agresszív szén-dioxidot csaknem mindig tartalmaznak. Az esetleg jelenlevő ammónium-, szulfid- és kloridion is geológiai eredetű. Oldott sótartalmuk a kis 200-250 mg/l értéktől a 10 000-20 000 mg/l értékig terjedhet. 1000 mg/l oldott sótartalom felett már ásványvíznek is tekinthető.

Termálvíz (hévíz) az a mélységi víz, amelynek hőmérséklete meghaladja a 30 °C-ot.

Felszíni vizek

A folyók, tavak és mesterséges tározók, valamint tengerek vize képezi a felszíni vizek csoportját. A felszínen összegyűlő csapadékvízből, a talajból kiszivárgó és mesterségesen kiemelt vízből tevődik össze a patakok és folyók vize.

A vízforrások hozzáférhetősége

A vízzel való gazdálkodás első kérdése az, hogy a rendelkezésre álló készletekből ki tudjuk-e elégíteni a felmerülő igényeket.³⁵

A Föld felszínének 71%-át víz borítja. A készlet teljes mennyisége állandó és rettetesen nagy, mintegy 1400 millió km³.³⁶ Az ivóvízszükséglettel 3 l/fő/nap, azaz 1 m³/fő/év, a teljes népességre (7 milliárd 2012-ben) vetítve pedig 7 km³/év. Ez elenyészőnek tűnő mennyiség a készletekhez viszonyítva.

Emberi fogyasztásra csak az édesvíz alkalmas, ami a teljes készletnek mindössze 2,5%-a (35 millió km³). Ugyanakkor a mérleg másik oldala súlyosabb, az öblítéses toalett ún. fiziológiai vízigénye 40 l/fő/nap körüli, körülbelül 80 l/fő/nap megy el a konyhában és a fürdőszobában.

Ezekhez adódik az elosztóhálózat helyfüggő vesztesége, ami Magyarországon az előregedett vízi infrastruktúra miatt 20–30% lehet. Így az igényoldalon – a fejlett világban – kb. 50 m³/fő/év az eredmény, míg a globális átlag a nagyobb vízvesztés és a pazarló fogyasztás miatt magasabb, 60 m³/fő/év, azaz a teljes népességre vetítve 420 km³/év. Ez még mindig viszonylag kis hányada az édesvízkészletnek.

Az édesvízkészlet kitermelésének korlátját a viszonylag gyors vízkörforgásban évről évre megújuló, dinamikus készlet határozza meg, nem pedig a lényegesen nagyobb statikus. Ha ezt túllépjük, a vízkészletek nem fenntartható változásokon mennek keresztül: a talajvízszint süllyed, a tavakban tárolt víz mennyisége csökken, és a tengerbe

³⁵ SOMLYÓDY L: *Töprengések a vízről: lépéskényszerben*. Magyar Tudomány, 2008/4., 462–473. <http://www.matud.iif.hu/08apr/09.html>

³⁶ PAPP S., KÜMMEL, R.: *Környezeti kémia*. Tankönyvkiadó. Budapest, 1992.

torkolló folyók nem biztos, hogy (az év egészében) elérik a torkolatukat. A folyamat végeredménye az *eltűnő vizek*.

A megújuló készlet a hidrológiai körforgás eredménye. Ez olyan óriási desztillációs folyamat, amelyet a Nap energiája hajt. A párolgás által a legközelebbi lépő vízgőz mennyisége – az anyagforgalom jellemzője – valamivel 400 000 km³/év feletti, azaz két nagyságrenddel alacsonyabb érték, mint az édesvízkészlet. A további rossz hír, hogy e mennyiség jelentős hányada csapadék formájában az óceánokba hullik vissza. Így a ténylegesen hasznosítható megújuló készlet a szárazföldi (felszíni és felszín alatti) lefolyás eredménye, 40 000 km³/év.

Globális szinten a teljes vízhasználatnak a lakossági csupán átlagosan és közelítően 10%-a, az ipari 20%-a, a mezőgazdasági – a legnagyobb vízfogyasztó – pedig 70%-ot tesz ki. Ezekkel az egy főre vetített teljes vízigény kerekítve 600 m³/fő/év, ami globális igényre átszámolva 4200 km³/év körüli.

A közvetlen vízszükségleten kívül jelentős a közvetett (az élelmiszer-termelés, ipari termelés stb.) vízigény. Ez nagyságrenddel nagyobb a lakossági vízigénynél. Így a vízprobléma fő kérdése nem elsősorban a lakossági vízellátás, hanem az annak sokszorosított igénylő táplálkozás biztonsága. Ennek előfeltétele a vízbiztonság.

A felismerés, hogy a termékekbe közvetve nagy mennyiségű víz „épül be”, vezet az ökológiai lábnyom mintájára a vízlábnyom fogalmához. A vízlábnyom az a térfogatban kifejezett, egy főre eső vízmennyiség, amennyit valamilyen termék előállításához és/vagy szolgáltatás elvégzéséhez évente felhasználunk. Egy ország esetében a vetítési alap az ország összes terméke és szolgáltatása. A lábnyom globális átlaga a jelenlegi becslések szerint 1240 m³/fő/év, míg Magyarországon némileg az átlag alatt van.

A vízhiány jellemzésére esetenként figyelembe veszik a készletek kihasználtsági fokát (igény/készlet) is, és kritikusként általában a 40%-os korlátot tekintik. Olykor a két kritériumot együtt használják.

A globális igény 7000 km³/év körüli, míg a készlet 40 000 km³/év, tehát ezek már nincsenek távol egymástól. A trend sem ad okot az optimizmusra: a 20. század elején a fajlagos készlet mintegy 27 000 m³/fő/év volt, és ez 8,5 milliárd lakossal számolva 2035 körül lecsökkenhet 4700 m³/fő/év-re. Tehát nem a készlet, hanem annak egy főre jutó hányada csökken a népesség növekedése miatt, mégpedig vészesen. Tovább rontja a képet, hogy az igény növekedését egyelőre nem sikerült visszafogni: az elmúlt száz évben ennek értéke közel kétszeres mértékben megnövekedett a népesedéshez viszonyítva.

Az 1980-as évek közepétől mintegy harminc országban – elsősorban a félsivatagos és sivatagos területeken – 1000 m³/fő alatt van a hozzáférhető vízmennyiség. Ezek közül az országok közül mintegy felében az 500 m³/fő mennyiséget sem éri el az éves vízmennyiség. Ez azt jelenti, hogy ott krónikus a vízhiány.

A következő évtől Katar, Kuvait, az Egyesült Arab Emírátsok, Szaúd-Arábia, Jordánia, Jemen, Szíria, Izrael, Omán, Algéria, Líbia, Egyiptom, Málta, Szingapúr, Mali, Botswana, Dél-Afrika is komoly vízhiánnyal számolhat. A fejlődő országok többségében 2020-tól várható az ivóvízhiány.

Spanyolországban, ahol nagyon kevés a felhasználható ivóvízkészlet, egyes körzetekben már ma is választott vízbirosgok osztják szét a vizet. Barcelonában 2008. áprilisá-

ban 3 000 eurós (760 ezer forint) büntetés terhe mellett megtiltották az autómosást és a kerti medencék feltöltését, májustól pedig tankhajókon importálták az ivóvizet a másfél éve tartó szárazság miatt. Egy ilyen hajó mintegy 19 000 m³ vizet szállít, ami mintegy 180 000 barcelonai lakos napi ellátására elég. A hatóságok havi 63 tartályhajónyi vizet rendeltek három hónapon keresztül. Ez az akció havonta 22 millió eurójába került a városnak. Az így szállított 1,66 hektóköbméter víz viszont így is csak 6%-a volt az 5,5 milliós város fogyasztásának.

A XXI. század legnagyobb válsága talán az édesvíz hiánya lesz, miközben az emberiség még mindig az olajhiánnyal foglalkozik. Végzetesen felgyorsult világunk lassan kezelhetetlen, pedig teljes kutatóintézetek dolgoznak azon, hogy miként lehetne újra éltetővé tenni. 2060 körül regionális, 2080–2100 körül pedig globális szinten is háború törhet ki a víz birtoklásáért, amely akkorra már drágább lesz, mint az arany.

Magyarországon a víz, mint alapvető környezeti elem, életfeltétel, természeti erőforrás és termelési tényező állami tulajdonban van. Az ország területére hulló csapadék mennyisége évente körülbelül 58 milliárd köbméter. A szomszédos országokból belépő vízfolyások vízzállítása évente 114 milliárd köbméter. A felszíni vízkészlet, tavak becsült mennyisége 18,5 millió köbméter. Minthogy azonban hidrológiai szempontból hazánk jellegzetesen alvízi országnak mondható, számítani kell a vízkészletek csökkenésére. A mértékadó augusztusi vízhozam 80%-a határainkon túlról származik. A felszín alatti vizek mintegy felét teszik ki az ivóvízellátásra számba vehető készletek.

A klímaváltozás a föld száraz területein már most fokozza a vízhiányt. A felmelegedés globális szinten növeli a csapadék mennyiségét, de ez úgy megy végbe, hogy a nedves területek jellemzően még nedvesebbé, a szárazak még szárazabbá válnak.

Leginkább azok a területek vannak veszélyben, ahol gyors a népességnövekedés, és hagyományosan évi 300-500 milliméternyi csapadékmennyiségre rendezkedtek be. Sokan háborúk kialakulását jósolják az egyre szűkösebb erőforrássá váló víz birtoklásáért. Az ENSZ szerint 2050-re a föld népességének fele él majd súlyos vízhiánnyal küszködő területeken.

A vízhiány az emberi biztonság három alaptényezőjét fenyegeti: az élelmiszer-termelést, a környezet egészségét, valamint a társadalmi és politikai stabilitást. A világ legkülönbözőbb részeiből származó bizonyítékok arra utalnak, hogy ezek a veszélyek reálisak. Szerencsére a vízháztartás fenntartható kezelése óriási lehetőségeket nyújt az élet minőségének javítása és a társadalom biztonsága szempontjából.

2.2.2 A vizek minősége³⁷

A vízminőség a vizek fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak összessége. A víz minőségének meghatározása szakszerű mintavételből, valamint helyszíni fizikai, kémiai,

³⁷ 65/2009. (III. 31.) Korm. Rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet módosításáról.

biológiai és bakteriológiai vizsgálatok elvégzéséből áll. A vizek szennyező anyagokkal való terhelhetőségéhez a vízmennyiség, a vízhozamok ismerete is szükséges. A vizsgálati adatok rendszerezése vezet a víz minősítése felé, amelyet természettudományos rendszerekben:

- * a sótartalom mértéke és minősége;
- * a szennyezettség (például oxigénfogyasztás, öntisztító képesség);
- * mérgezőanyag tartalom (például nehézfémek, cianidok);
- * egészségügyi szempontok (például fertőzöttség, radioaktivitás)
- * és sok egyéb megfontolás alapján történhet.

A vizeket a gyakorlati felhasználás minőségi követelményei alapján célszerű osztályozni:

- * ivóvízellátásra;
- * ipari vízhasználatra;
- * öntözésre;
- * egyéb vízhasználatra való alkalmazás alapján.

Klasszikus komponensek

A *klasszikus komponensek* közé tartozik a vizek sótartalma, mely a geológiai tényezőktől függően változó, és amelyekhez az élőlények alkalmazkodni képesek. A vízhasználat során két esetben okoz problémát, mégpedig:

- a) az ipari vízellátásban, amikor a vizet számos célra (például kazántápvíz) lágyítani kell;
- b) öntözésnél, ahol a sókoncentráció abszolút értéke (< 500 mg/l) és a szikesedés elkerülésére a nátrium viszonylagos mennyisége (45 egyenérték %) szab határt.

A felszíni vizekben végbemenő folyamatokhoz oldott oxigén szükséges, hiánya a víz minőségére rendkívül káros.

A vizek, különösen a szennyvizek igen sokféle szerves anyagot tartalmaznak, amelyek egyenkénti mennyiségi meghatározása körülményes. Mennyiségüket azzal az oxigénmennyiséggel jellemezzük, amely adott körülmények között oxidálásukra elfogy.

A nitrogénvegyületek közül a fehérjék lebomlásakor keletkező ammónia a legkárosabb.

A foszforvegyületek siettetik a tavak öregedési folyamatát (eutrofizálódás).

Mikroszennyezők

Elsősorban a felszíni vizek ivóvízként való felhasználása során jelent fokozódó gondot, hogy a hagyományos szennyező anyagokon kívül egyre több olyan anyag kerül a vizekbe, amelyek viszonylagos kis mennyiségben is rendkívül károsak. Ezek az úgynevezett mikroszennyezők nemcsak íz és szagrontó hatásukkal jelentkezik, hanem többnyire mérgező és rákkeltő anyagok, melyek az embereken kívül más élőlényeket közvetlenül vagy a táplálékláncban akkumulálódva károsíthatnak.

A *szervetlen mikroszennyezők* közül említésre méltó a vas, a mangán és a cink, melyek elsősorban ízrontó hatást fejtenek ki. A mérgező elemek közül az emberi szervezetre

különösen veszélyes a higany, a kadmium és az ólom. A leggyakrabban előforduló *szerves mikroszennyezők* közé tartoznak a kőolajszármazékok. Kisebb koncentrációban is mérgezőek és ízrontók, az olajhártya pedig elzárja a vizet a légkörből való oxigénfelvételtől, az aromás szénhidrogének mellett rákkeltő hatásúak.

Hőmérséklet és radioaktivitás

Míg a felszíni vizek hőmérséklete viszonylag állandó, a felhasznált vízmennyiség zömét adó felszíni vizek hőmérséklete az évszakok váltakozása miatt jelentős ingadozást mutat. A vízi élőlények életközössége a természetes hőmérsékleti körülményekhez alkalmazkodott, a kialakult egyensúlyt a felmelegedett hűtővizekkel a folyókba vitt hőmennyiség felborítja, mert a felmelegedés az élőlényekre különbözőképpen hat. A hőmérséklet-emelkedés mindenképpen káros hatása az, hogy az oxigén oldhatósága csökken, ez megnehezíti a biológiai lebomlást, a folyó öntisztulását.

A *hőszennyezés* tehát a víz hőmérsékletének természetes megváltoztatásával kárt okozó vízszennyezés, amelyek jelentősége a hőerőművek, különösen az atomerőművek nagy hűtővízigénye miatt egyre nő.

A *radioaktív anyagok* azért veszélyes vízszennyezők, mert érzékszerveinkkel azokat nem érzékeljük, és biológiai irreverzibilis elváltozásokat okoznak. A kőzetek természetes radioaktivitása miatt az azokkal érintkező vizek kis mennyiségben mindig tartalmaznak radioaktív izotópokat is. A tengervíz radioaktivitása annak sótartalma miatt nagyobb. A légköri atombomba-kísérletek hatására az aktivitás a hatvanas évek elején az európai folyóvizekben is többszörösére emelkedett, a kísérletek beszüntetése után (atomcsend-egyezmény) a korábbi szintre állt vissza.

„Az EU Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról kinyilatkoztatja, hogy az Európai Közösség vízei is egyre nagyobb terhelésnek vannak kitéve, ugyanakkor minden felhasználási területen folyamatosan növekszik az igény a kielégítő mennyiségű, jó minőségű víz iránt. Globális szemlélettel megközelítve a területet elmondható, hogy a vízellátás mint kiemelt jelentőségű szolgáltatás biztosítása érdekében olyan vízbiztonsági filozófia mentén kell megfelelő szabályozással biztosítani a víz védelmét, amely egyben lehetővé teszi a vízgazdálkodás egészének fenntartható fejlődését is. Az EU Parlament és a Tanács az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló irányelvének (98/83/EK) fontos megjegyzése pedig az, hogy ahhoz, hogy a vízszolgáltató társaságok képesek legyenek teljesíteni az ivóvíz minőségi előírásait, megfelelő vízvédelmi intézkedéseket kell foganatosítani a felszíni és felszín alatti vizek tisztaságának megőrzése érdekében. Így számos, a vízbázisokat veszélyeztető tevékenység korlátozásával kapcsolódó határozat – például a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről szóló (91/676/EGK); érvényesítése egyfajta előfeltétele az ivóvízellátás környezetbiztonsági kockázatai csökkentésének.

A vízbázisok védelmét tekintve az EU Tanács (91/676/EGK) a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelmével foglalkozó irányelve – melynek célja a mezőgazdasági forrásokból származó nitrátok által közvetlenül okozott vagy indukált vízszennyezés csökkentése – kifejti, hogy szükséges a mezőgazdasági forrásokból származó nitrátok által okozott vízszennyezés csökkentése és megelőzése érdekében

meghozni azon intézkedéseket, melyek szabályozzák a nitrogénvegyületeket tartalmazó termékek felhasználását, és biztosítják a helyes talajgazdálkodási gyakorlatot. A dokumentum rávilágít arra, hogy, bármely tagállamban bekövetkező vízszennyezés kihathat más tagállamok vizeinek állapotára is, így közösségi szintű intézkedéseket kell hozni a veszélyeztetett vízgyűjtő területek védelmének biztosítása érdekében. A hatékony védelmi stratégia kidolgozása érdekében a tagállamoknak ki kell jelölniük a veszélyeztetett területeket, valamint cselekvési programot kell kialakítaniuk a nitrogénvegyületektől származó vízszennyezés csökkentése érdekében.³⁸

A WHO „vízbiztonsági terv” szemlélete felkeltette az Európai Bizottság érdeklődését is. Az EK Környezetvédelmi Igazgatóság (DG ENV) ivóvízminőséggel foglalkozó szakértői hálózatának (ENDWARE) munkacsoportja által tett ajánlás részletezve tartalmazza a vízellátó rendszerek kapcsolatában felállítandó és a tagállamok által biztosítandó kockázatértékelő és -kezelő rendszer lehetséges felépítését, rögzítve azokat az elemeket, melyeket feltétlenül bele kell építeni. Ennek értelmében:

1. a vízellátó rendszer leírása;
2. veszélyelemzés és kockázatértékelés;
3. mérések meghatározása és értékelése a kockázatok ellenőrzésére;
4. ellenőrző monitoringrendszer kiépítése;
5. az ivóvíz kockázatkezelő rendszerének értékelése;

elemeket kell tartalmaznia. A tagállamoknak biztosítania kell a fenti elemek folyamatos felülvizsgálatát, és működési dokumentációjuk kidolgozását, valamint azt, hogy az ivóvíz kockázatkezelő rendszerének kiépítésekor, a kockázatértékelés során (végigvezetve a teljes vízellátó rendszeren) minden felelős hatóság, illetve egyéb érdekelt fél be legyen vonva.³⁹

3.2.3 A vízfogyasztás, mint a fenntartható fejlődés indikátora⁴⁰

A környezettudatos társadalom vízkészletei megóvása és a társadalom egészséges, fenntartható fejlődése érdekében takarékosan használja fel a vizet. A vízfogyasztás mutatója az éves lakossági vízfogyasztás alakulását jellemzi. A lakossági vízfogyasztásba beleértendő a közüzemi vízművek által a háztartások részére szolgáltatott ivóvíz mennyisége a közikifolyókon keresztül szolgáltatott vízzel együtt.

A mutató segítségével lehetőség nyílik a lakossági vízfogyasztás alakulásának régiós értékelésére. A régiók vízfogyasztásának összehasonlíthatósága végett az év közepi lakosságszámra vetítették az éves régiós vízfogyasztást.

³⁸ BEREK T.- DÁVIDOVITS Zs.: *Vízbiztonsági terv az ivóvízellátás minőségirányítási rendszerében*, Hadmérnök VII. évf. 2011/3.

³⁹ BEREK T.- DÁVIDOVITS Zs.: *Vízbiztonsági terv az ivóvízellátás minőségirányítási rendszerében*, Hadmérnök VII. évf. 2011/3. (Útmutató ivóvíz-biztonsági tervrendszerek kiépítéséhez, működtetéséhez, Az Országos Környezetegészségügyi Intézet tájékoztatója)

⁴⁰ Fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, KSH, 2011.

A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégia szerinti cél a mennyiségi egyensúly kialakulása a mesterséges vízkörforgásban, továbbá a víztakarékos és szennyezésmentes technikák elterjesztése.

A régiónkénti eltérő vízárak és infrastrukturális állapotok miatt jelentős eltérések tapasztalhatóak az egy főre jutó vízfogyasztásban.

Megállapítható, hogy az egy lakosra jutó éves vízfogyasztás Közép-Magyarországon a legnagyobb, Észak-Magyarországon a legkisebb, és általában az ország középső és nyugati régióiban magasabb.

A lakossági vízfogyasztás éves ingadozása az egyes régiókat tekintve nem számottevő. Az országos átlag 35,9 m³/fő (2009). Ez átlagosan napi 98,4 liter/fő vízfelhasználást jelent a háztartásokban.

A Budapesti Víz Világtalálkozó zárónyilatkozatában a fenntartható fejlődéssel összhangban „Vízbiztonság a Világban” elnevezésű program kidolgozását javasolta az alábbi célokkal:⁴¹

„a) valamennyi ember számára alapvető jogként kell biztosítani az egészséges ivóvízhez való és – a nem sajátosságokra figyelemmel – a szanitációs és higiénés szolgáltatásokhoz való fenntartható hozzáférést a háztartásokban, iskolákban, munkahelyeken valamint a katasztrófhelyzetek és humanitárius beavatkozások során (így például menekülttáborokban);

b) az édesvízkészletekkel való gazdálkodásban (ideértve a határon átnyúló víztestekkel való gazdálkodást is) – az emberi és társadalmi fejlődés maximalizálása érdekében – meg kell határozni az ágazatok közötti, társadalmilag kölcsönösen elfogadható, integrált megoldásokat. Ezen integrált – az élelmiszer és az energiatermelés biztonságára, valamint az ökoszisztémák védelmére figyelemmel kialakított –, a vízgazdálkodás markáns állami szabályozásán alapuló megoldások végső célja a vízkészletekkel való ésszerű gazdálkodás és a megfelelő nemzetközi vitarendezés elősegítése kell hogy legyen;

c) biztosítani kell az emberi egészség és a környezet megfelelő védelmét a települési, mezőgazdasági és ipari kibocsátásokkal, továbbá a nem zárt helyiségben történő defekációból származó szennyeződésekkel szemben a célból, hogy minimalizáljuk a vízzel kapcsolatos vírusos megbetegedéseket, csökkentjük a vízkészletek szennyezettségét, valamint elérjük a szennyvizek összegyűjtését, kezelését és maximalizáljuk annak újrahasznosítását;

d) a vízügyi infrastruktúra gondos használatával és fejlesztésével, valamint megfelelő szociális programok végrehajtásával növelni kell a társadalom alkalmazkodó- és ellenálló képességét korunk és a jövő olyan globális változásaival kapcsolatban, mint a vízbiztonság növekvő hiánya, az éghajlatváltozás, népességnövekedés, földhasználat-változtatás vagy az extrém vízügyi jelenségek gyakoriságának növekedése.”⁴²

⁴¹ A Budapesti Víz Világtalálkozó Zárónyilatkozata, Budapest, 2013. október 8–11.

⁴² Útmutató ivóvíz-biztonsági tervrendszerek kiépítéséhez, működtetéséhez, Az Országos Környezetegészségügyi Intézet tájékoztatója, 1/2009. <http://www.antsz.hu/portal/portal/ivoviz.html> 2012. 04.15.

2.3 Talajszennyezés, talajerózió

A talaj: a földfelszín legfelső, termékeny rétege, háromfázisú polidiszperz rendszer.

A talaj kiemelkedő értékű – feltételesen megújítható – természeti erőforrás. A talajkészlet azonban nem csupán a biomaszatermelés alapvető közege, a bioszféra primer tápanyagforrása, hanem egyre fontosabb szerepet játszik a fenntartható fejlődés célkitűzéseinek megvalósításában is, például egyes területeken a termőképességet csökkentő vagy korlátozó, az emberi tevékenység hatására felerősödő környezeti kockázatokkal kell számolni.

Ökológiai funkciók:

- ✿ **Biomasszatermelési funkció:** A talaj a mező- és erdőgazdálkodás termőhelye, az élelmiszer- és takarmánynövények, valamint a megújuló energia és nyersanyag előállítója, illetve forrása.
- ✿ **Szabályozó funkciók:** A környezet elemeit védő szűrő-, tompító- és átalakító folyamatok, melyek különösen a felszín alatti vizek és a tápláléklánc védelme szempontjából fontosak.
- ✿ **Biotópfunkció:** A talaj biológiai élettér, amely mint a biocönózisok élettereinek alkotója teret, anyagot és biomasszát nyújt a benne élő mikroorganizmusoknak, növényeknek és talajlakó állatoknak. Egyben géntartalék, hiszen genetikai öröksége elengedhetetlenül szükséges életünkhöz.

Emberi tevékenységhez kötődők:

- ✿ **Fizikaiközeg-funkció:** A talaj mint építési telek technikai, ipari, szociális létesítmények alapjául szolgál, beleértve a közlekedési utakat, pályákat, pihenőhelyeket stb.
- ✿ **Nyersanyagforrás-funkció:** A talaj anyagai mint a tőzeg, folyami kavics, agyag, homok stb. az építőipar alapanyagai. Emellett a talaj a víz, olaj, ásványok és egyéb nyersanyagok lelőhelye.
- ✿ **Archív funkció:** A talaj archeológiai és paleontológiai információkat hordoz, és mint földtörténeti, illetve kultúrtörténeti objektum lehetővé teszi az emberiség és a Föld kialakulásának, fejlődésének tanulmányozását és megismerését. A geológiai örökségre vonatkozó információ például elengedhetetlen a klímaváltozások tanulmányozásához.

A talaj említett funkciói azonban végesek, megújuló képessége pedig behatárolt. Elsősorban az ökológiai funkciók sérülékenyek és védelemre szorulnak. A talajt mint környezeti elemet számtalan degradációs folyamat veszélyezteti úgy a természet, mint az ember részéről. A termőtalajokat veszélyezteti többek között a mennyiségi csökkenés (utak, autópályák, iparterületek, lakóépületek, bányászat stb.) ugyanúgy, mint a minőségi leromlás (erózió, savanyodás, kémiai szennyezés, szerkezetromlás stb.). Az Európai Unió talajvédelmi stratégiájában az alábbi nyolc degradációs folyamatot fogalmazza meg, mint a leginkább veszélyeztető tényezőket:

- * erózió,
- * szervesanyag-tartalom csökkenése,
- * szennyezés,
- * beépítés,
- * tömörödés,
- * biodiverzitás csökkenés,
- * szikesedés,
- * hidrogeológiai kockázat (árvizek, földcsuszamlások).

Bár az egyre erősödő és egyre sokoldalúbbá váló kedvezőtlen hatások kivédése, megelőzése egyre nehezebb, mégis ki lehet és kell mondani azt az alaptételt, hogy: talajkészleteink minősége, funkcióképessége, termékenysége megőrizhető, fenntartható! Sem az ésszerű mezőgazdasági és ipari termelés, sem az általános társadalmi fejlődés különböző civilizációs ártalmai (légszennyezés, hulladékok stb.) nem vezetnek szükségszerűen és kivédhetetlenül talajkészleteink állapotának romlásához (hisz a talaj megújítható természeti erőforrás), hanem többnyire eredményesen megelőzhetőek, kiküszöbölhetőek, de legalábbis bizonyos tűrési határig mérsékelhetőek.

A talajkészletek különböző célú hasznosítása során sok esetben egy-egy funkció karaktere (tér- és időbeni variabilitása, változékonysága / stabilitása / kontrollálhatósága, határfeltételei, korlátai) nem – vagy nem megfelelően – került figyelembe vételre. Ez gyakran ésszerűtlen talajhasználathoz, a talaj kizsárolásához, megújuló képességének korlátozásához, egy vagy több talajfunkció zavarához, súlyosabb esetben komoly környezetkárosodáshoz vezetett, s – megfelelő ellenintézkedések hiányában – vezethet a jövőben is. Pontosan ezen károk megelőzése, elhárítása, felszámolása, vagy legalább bizonyos tűréshatárig (kritikus terhelési szint) történő mérséklése a **talajvédelmi stratégia fő célkitűzése**.

Napjainkban a **területhasználati célok** is nagyon sokfélék: biomassza termelése élelmiszer, takarmány, nyersanyag vagy energia célra; népesség-foglalkoztatás (munkalehetőség, „eltartó képesség”); nyersanyag-kitermelés; építési terület (településfejlesztés, urbanizáció, infrastruktúra); üdülés, sport, rekreáció; esztétikus táj; biodiverzitás megőrzése. A különböző területhasználati célok különböző talajfunkciókat vesznek igénybe, hasznosítanak, értékelnek megkülönböztetett hangsúllyal.

A víz, a szél, a jég, a gravitációs erő és ezek kombinációinak talajrombolása, amely a talajok természetes tevékenységének a csökkenését, szélsőséges esetben a talajtakaró teljes fizikai megsemmisülését vált(hat)ja ki. Természetes növénytakaró mellett a talajok keletkezése és (természetes!) pusztulása globális egyensúlyban van – számszerű értékük 1,1 t/ha körüli. Két legfontosabb formája a talajerózió (vízhatás) és a defláció (szélhatás). Újabban idesorolják a talaj termékenységét csökkentő egyéb folyamatokat (másodlagos szikesedés, elsavanyodás, a talajművelés okozta szerkezetrombolás stb.) is. A kiváltó okok jellege szerint geológiai, és az emberi beavatkozás által (például a talajműveléssel) előidézett gyorsított talajpusztulást – régebbi szóhasználattal – gyorsított eróziót különböztetnek meg.

2.3.1 Erózió⁴³

Az eróziót a lehulló csapadék kinetikus energiája és főleg a talajba beszivárogni nem tudó, és a lejtőn elmozduló víz mozgási energiája váltja ki. A csepperózió a talaj tömörítésével, a morzsák szétrobbantásával okoz jelentős károkat. Ez a kár annál nagyobb, minél nagyobb cseppekben áll a csapadék, minél nagyobb az intenzitása és minél hosszabb ideig tart. A felületen a lejtő irányába lefolyó víz károsítása a csapadék mennyiségén, heveségén és tartamán kívül főleg a lejtő hosszúságától, hajlásától és kitettségétől függ, valamint a talaj nedvességi állapotától, szerkezetétől és vízgazdálkodásától, valamint a növényi fedettségétől is.

Zavartalan természeti körülmények között az erózió úgy megy végbe, hogy az elhordott anyagot a kőzetek mállási terméke pótolja, és természetes vegetáció mellett egyensúlyi állapot alakul ki. Ez a természetes erózió. A helytelen emberi tevékenységek hatására a természetes vegetáció megszűnik, a természetes egyensúlyi állapot megbomlik, a lejtőn lefolyó víz több talajt ragad magával, mint amennyi a mállással pótlódik. Ez a gyorsított erózió.

Az elfolyó víz talajra való hatása enyhébb esetben felületi rétegerózió formában jelentkezik. Ekkor a termőtalaj viszonylag vékony rétegben pusztul le és rendeződik át a lejtőn. Súlyosabb esetben mélységi erózió pusztít. A koncentráló víz tömege, sebessége, és ebből eredően energiája, romboló ereje is egyre nagyobb lesz. Olyan mértéket érhet el, hogy a talajban mély barázdákat, vízmosásokat mos ki és nagy tömegű hordalékot termel. Az erózió hazánk lejtős talajait károsítja, a hegy és dombvidékeket.

A gyorsított eróziót előidéző emberi tevékenység tényezői:

- * erdőirtás,
- * lejtőirányú művelés, szántással szembeni követelmények be nem tartása,
- * a mélyművelés kiiktatása,
- * az optimálistól eltérő talajnedvesség mellett végzett talajművelés,
- * növényvel vagy növényi maradványokkal való fedettség mellőzése,
- * helytelen tápanyag-gazdálkodás,
- * legeltetés.

Az erózió következménye:

- * A termőtalaj lepusztulásával, a termőréteg vékonyodásával csökken a talaj vízbefogadó és tápanyag-szolgáltató képessége, végső soron a termékenységé.
- * Romlik a talaj szerkezete, a növénytermesztésre káros vagy kedvezőtlen fizikai, kémiai tulajdonságú rétegek kerülnek felszínre.
- * A talaj legértékesebb részei és a tápanyagok lemosódnak a lejtő talajáról, és a talajrészecskék jelentős hányada a völgyfenéki területekre jutva szedimentációs károkat okoz. Betakarja a növényzetet, eliszapolja a területet. A lemosódott tápanyagok szennyező anyagokká válnak a felszíni és felszín alatti vizekben.

⁴³ STEFANOVITS P., FILEP Gy., FÜLEKY Gy.: *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Bp, 1999.

- ✿ A mezőgazdasági területek hasznosíthatósága korlátozódik, nagyüzemi művelésre alkalmatlanná válik.
- ✿ A felületi rétegerózióból és főként a mélységi erózióból származó hordalék a befogadó csatornák, tavak gyors feliszapolódását okozza.

Az erózió hazánk területének közel egynegyedét, összesen 2,3 millió ha hegy- és dombvidéki lejtős területet károsít. Az évi talajpusztulás mintegy 30 t/ha. Ha 70% megmaradt, gyengén, ha 30-70%, közepesen, ha 30% alatt van, akkor erősen erodált a talaj.⁴⁴

2.3.2 Defláció⁴⁵

A deflációt a szél kinetikus energiája váltja ki. Nagyságától függően szinte valamennyi talajról kisebb-nagyobb talajrészecskéket ragad fel és szállít el. A fontosabb tényezők: szélsébség, örvénylés, tartósság. A deflációs hatást befolyásolják: a deflációs terület hossza, szemcseösszetétele, szerkezete, szervesanyag-tartalma, felszíni érdessége, nedveségtartalma, (talajvízszint kapillaritás) növényzettel való borítottság. A szél sebessége a felszíntől mért $0 < h < 2$ m-es tartományban gyakorlatilag zérus. Fölötte igen vékony rétegben az áramlás lamináris, feljebb örvénylő, turbulens. A legmozgékonyabb, 0,1 mm-es átmérő körüli szemcsék általában akkor indulnak meg, ha a szél sebessége 30 cm-rel a talaj fölött 28-30 km/h, a függőleges irányú sebességkomponens pedig 3-4 km/h.

A defláció káros következményei:

- ✿ A talaj szerves kolloidokban és tápanyagban gazdagabb felső termőrétegeinek vékonyításával csökken a talaj vízbefogadó, víztározó, tápanyag-szolgáltató képessége, végső soron termékenysége.
- ✿ A növényzet károsodik, kipusztul a talajkifújás (vetőmag) és felhalmozódás helyén.
- ✿ A mozgó talajrészecskék ütéshatása következtében sérülnek a növények.
- ✿ A képződő szélbarázdák, buckák miatt romlik a terület művelhetősége.
- ✿ A porviharok nagy mennyiségű talajrészecskét szállítanak sokszor nagy távolságra is. Útjuk során zavarják a közlekedést, szennyezik a környezetet. A por a növényekre ülepedve gátolja az asszimilációt a tavakba, tározókba.

2.3.3 Elvizenyősödés

Az elvizenyősödés a sík és mély fekvésű területeken okoz károkat azért, hogy a vízbőség a talajt levegőtlenre változtatja. A káros vízbőséget okozhatja ár- és belvíz, magas

⁴⁴ STEFANOVITS, P.: *Magyarország talajai*. Akadémiai Kiadó, Bp., 1971.

⁴⁵ SZENDREI G.: *Talajtan*, Egyetemi jegyzet, ELTE Eötvös Kiadó, 1998.

talajvízforrás és fakadóvíz, a szomszédos területekről odafolyó víz, amely korlátozza a terület mezőgazdasági és egyéb hasznosítását vagy azt egyáltalán nem teszi lehetővé.

Az elvizenyősödés következtében:

- ✱ A tartósan túltelített, pangóvízes, vízállásos területeken kipusztulnak a kultúr-
növények és fokozatosan mocsári vegetáció alakul ki.
- ✱ Az időszakosan túltelített, levegőtlené vált talajon a növények fejlődésükben
visszaesnek, kevés és gyenge minőségű termést adnak.
- ✱ Az elvizenyősödött talajú területeken a kultúr-
növények hiányos fejlődése, a ve-
getáció torzulása mellett nagymértékű elgyomosodás is tapasztalható. Elszapo-
rodnak a rovar kártevők, gyakoribbak a gombabetegségek.
- ✱ Az elvizenyősödött talajú területek művelhetősége és hasznosíthatósága kor-
látozódik. A művelés körülményesebbé és költségesebbé válik, a természetből
növények választéka leszűkül.
- ✱ A tartósan vízborított, túltelített talajokon a talajképződési folyamatok kedve-
zőtlen irányba változnak. Az eliszaposodás, levegőtlenesség miatt csökken a ter-
mékenység.
- ✱ A síkvidéki területek belvízi elöntésének nagysága szélsőséges esetben megkö-
zelíti az 1 millió ha-t.
- ✱ Hegy- és dombvidéki területeinken az elvizenyősödött völgyfenéki területek
nagysága összesen 200 ezer ha.

2.3.4 Talajszennyezés

Amennyiben a (helyben maradó – in situ) talajba közvetlenül, vagy a levegővel és/vagy a vízzel közvetítve a talaj termőképességét csökkentő idegen (szennyező) anyagok jutnak és ezek, illetőleg a belőlük másodlagosan keletkezett (átalakult) anyagok mennyisége (koncentrációja) meghaladja a talaj elbontó-képességét (puffer-kapacitását), talajszennyezésről van szó. A közvetlenül bevitt szennyeződések csaknem kizárólag antropogének és lokális jellegűek, míg a lég- és vízkörzésen át csatolódo szennyezések a természeti és antropogén folyamatok összefonódásával regionálisak, sőt hemiszférikusak is lehetnek (például savasodás). A talaj lepusztulásához képest nagyon lényeges eltérés, hogy a szennyeződés nem korlátozódik a földkéreg többnyire szemmel látható, közvetlenül vagy műszeresen detektálható felszínére, ezért annak mértéke (térben, jellegben és időben) csak a (már létező) szennyeződés bizonyos fokú kifejlődését követően érzékelhető. A talajszennyezők csoportosítása:

1. Mikroszennyezők: természetes vagy antropogén eredetű molekulák, melyek mar-
nagyon alacsony koncentrációban is mérgezőek.
 - 1.1. Szervetlen mikroszennyezők: toxikus es potenciálisan toxikus nehézfémek
(Pb, Cd, Ni, Hg, Cu, Zn, stb.).
 - 1.2. Szerves mikroszennyezők: például peszticidiek
2. Makroszennyezők:
 - 2.1. Szervetlen anyagok (nitrogén műtrágyák)
 - 2.2. Szerves anyagok (ásványolaj es ásványolajtermékek)

A szennyezéseket szennyező források szerint három nagy csoportba sorolhatjuk: pontszerű, lineáris és diffúz.

- ✿ A pontszerű szennyezések elsősorban ipari eredetűek (például gyárkémény, szivárgó olajos hordó).
- ✿ A diffúz szennyezések legnagyobb részét a mezőgazdaság termeléséből származnak. Ez utóbbinak a hatásterülete nehezen határolható le, mivel a mezőgazdaságban használatos vegyszereket nagy területen alkalmazzák, így a szennyezés helye nem jelölhető meg egyetlen pontban, az adott terület egészét érinti.
- ✿ A lineáris szennyező forrásokat a közlekedési eszközök alkotják, a talaj szennyezésére nézve általában szűkebb hatásterülettel.

A szennyező anyagok a talaj mindhárom fázisában, a talajlevegőben, a talajvízben és a talaj szilárd fázisában is mozoghatnak. A talaj öntisztuló képessége jelentős, de a talaj puffer kapacitását meghaladó szennyezések esetén megfelelően megválasztott talajtisztító eljárást kell alkalmazni.

Talajművelés, talajhasználat talajtani hatásai (talajtömörödés, talajkeverés, forgatás)

A talajművelés a termékenység növelésének igen fontos eszköze. Az adottságokhoz illő alkalmazása mobilizálja a talajban meglévő termékenységi tartalékokat, növeli a kihegyezett trágyafeleségek érvényesülését, de közvetlenül is emeli a talaj termékenységét az erőteljesebb gyökérképződés és a talajlégzés elősegítésével. A megfelelő talajművelés hatása három téren jut kifejezésre:

1. Fizikai hatások (porozitás javítása, kedvező víz- és levegőgazdálkodás)
2. Biológiai hatás
3. Tápanyag gazdálkodás javítása (jobb tápanyagfeltáródás).

A talajművelés műveleteivel a talaj fizikai állapota jellemző módon változtatható meg. A műveletek az alábbi csoportokba sorolhatók: forgatás, porhanyítás, tömörítés, lazítás, keverés, felszínalakítás.

Öntözés hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira (szerkezet, sóforgalom stb.)

Az öntözés célja, hogy a vízhiány ne legyen a növénytermesztés számára korlátozó tényező. Talajtani szempontból akkor szükséges az öntözés, ha a talaj aktuális nedvességtartalma majdnem a holtvíztartalomig csökken, hisz ilyen esetben nincs a talajban a növények számára hasznosítható vízkészlet. Az öntözés kedvező talajtani hatásai például a növények jobb vízellátása, intenzívebb tápanyag-feltáródás és tápanyagfelvétel.

Az öntözés hatásai kiterjednek a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira egyaránt. Az öntözés hatással van a talajképző folyamatokra, hiszen hatására megemelkedhet a nem szikes talajvízszint, ami rétiesedési folyamatokat indíthat el. Túl bő nedvességsz viszonyok esetén mocsarasodás is bekövetkezhet. Az öntözés hatására bekövetkező szikes talajvízszint emelkedés másodlagos szikesedéshez vezethet, mert felszállítja a mélyebb rétegek sótartalmát, vagy akadályozza a vízben oldható sók természetes kilúgozását. Másodlagos szikesedést eredményezhet a nem megfelelő minőségű, nagy sótartalmú öntözővíz is (összes sótartalom legyen < 500 ml).

Az öntözés a talaj fizikai tulajdonságaira kedvező és negatív hatással is lehet. A nedvesebb talaj például jobban ellenáll az erózióknak és deflációknak (például melioratív talajvédő öntözés homoktalajoknál). A nem megfelelően tervezett és kivitelezett öntözés azonban okozhatja az aggregátumok és szerkezeti elemek szétiszapolódását. A szétiszapolódott talaj kiszáradása cserepedéshez, kéregképződéshez vezet.

Az öntözés számos pozitív hatása a talaj vízgazdálkodásában jelentkezik. Az öntözött területeken megnő a talaj hasznos víztartalma, az öntözés fokozza az evapotranspirációt. A talaj felső része átnedvesedett, így csökken a talajvízből felfelé irányuló vízmozgás és ennek káros hatása. Kedvezőtlen vízgazdálkodási hatás lehet például ha az öntözött talajok környezetében talajvízszint emelkedéshez vezet, ami másodlagos szikesedést eredményez. A megnövekedett talajvízszint következtében nő a talajvízből történő párolgás lehetősége, ami szintén a szikesedés kockázatát növeli. Helytelen öntözés esetén az öntözővíz egy része a felszínen elfolyhat (erózió). Az öntözés fokozott hidromorf hatást jelent, így számolni kell vas- és mangán vegyületek oldódásával és intenzív mozgásával, majd kiválásával.

A talaj kémiai összetételében kedvező hatása lehet az öntözésnek, ha az kilúgozza a talaj sótartalmát. Ez jó vízvezető képességű, jó drénviszonyokkal rendelkező szikes talajoknál lehetséges. Kedvező hatása továbbá, hogy fokozódik az öntözés hatására a tápanyagok feltáródása és javul a növények tápanyag felvétele. Igen kedvezőtlen azonban, ha a túlóntözés miatt fokozódik a talajok tápanyagvesztesége a kilúgozódás miatt.

Az öntözés hatására fokozódhat a talaj biológiai aktivitása, nő a mikroorganizmusok fajszáma.

A talajok elzárása, beépítése – a városi területek talajai

A városokban jellemző, hogy nagy a beépítettség és a magas burkolatarány, valamint a talaj tömörödöttsége miatt a talajvíz csapadékvízből való utánpótlása szinte jelentéktelen mértékű, így a talajvíz megújulása is korlátozott. Erdősült területeken a talajvíz regenerálódásáról 90-130 l/m² csapadékvíz gondoskodik évente. A települések területén ez az érték csupán 10-15 l/m² körüli.

A nagy felszíni elfolyás, a csatornázottság következtében a városok területére lehullott csapadékvíz jelentős része nem hasznosul, nem marad a térségben. Emiatt a város ökonómiája félsivatagi jellegű, ami szükségessé teszi a növényzettel fedett területek rendszeres és intenzív öntözését.

Az intenzív építőtevékenység esetén a települések területén jelentősen megváltoztatja a talajok fizikai és kémiai tulajdonságait, és erősen módosulnak a reliefadottságok, a felszíni viszonyok. A talajfelszín nagy része levegő és víz-átnemeresztő határréteggel fedett (aszfalt, beton, kőburkolatok), vagy beépített. Az újabb és újabb építkezések során megváltozik az eredeti talajszelvény és úgynevezett kultúrszint alakul ki az egykori termőföldek területén, amely az idők folyamán fokozatosan vastagodhat. Az alapozások, csatornázások metróépítések és más mélyépítési munkálatok következtében a talajokban és az alapközvetben kereszt és hosszanti irányú törések, hasadékok rendszerei keletkeznek, illetve jöttek létre. Ennek következtében csökken a talajvíz szintje, vagy a talajvíz

a mélyebb rétegekbe vándorol. Az építési anyagok és a törmelékek megnövelik a talaj mész tartalmát és pH értékét.

A városok talajára általában jellemző a nagyfokú mechanikai tömörödöttség, s az ezzel járó szerkezetnélküliség, az oxigén hiánya és a rossz levegő- és vízgazdálkodás. A humusztartalom igen kicsi. A talajban hiányoznak, vagy csak kis számban vannak jelen egyes tápelemek és lebontó, bioreducens élőszervezetek, mikroorganizmusok. Növekszik a foszfortartalom, és egyes tápanyagok feldúsulnak, ami a talaj eutrofizálódásához vezet. A talaj felső szintjében, sok esetben mérgező anyagokat is (például: ólmot, higanyt, kadmiumot, cinket) tartalmazhat, ami a közlekedés, az ipari tevékenység és a hulladéklerakás következménye.

Az utak téli sózásának kimutatható káros hatása a talaj Na^+ és Cl^- tartalmának megnövekedése. Az utak síkoság-mentesítése különösen kemény teleken Budapesten például: 25-28 ezer m^3 50%-ban konyhasóval kevert homokot használnak fel, valamint 6 ezer m^3 MgCl_2 oldatot jutatnak ki összesen 16 millió m^2 útfelületre. A kiszórt sómennyiség túlnyomó része olvadás után közvetlenül a talajt, vagy a talajvizet szennyezi. Hazai vizsgálatok azt mutatják, hogy rendszerint erős télen elég lenne $1\text{kg}/\text{m}^2$ szórósó használata. Ennek jelenleg mindegy két és félszeres mennyiségét használják fel.

A gázvezetékek hibás kitoréseinél és sérülésekor a talajba kerülő földgáz hatására az Fe^{3+} és a MnO_2 redukálódik és a talajbaktériumok növekvő oxigén felhasználásával párhuzamosan az Mn^{2+} -os aránya megnövekszik. A földgáz lényegesen mérgezőbb, mint a városi gáz. A földgáz 81%-ban tartalmaz metánt, míg a városi gáz metántartalma csak 21% körüli. Csőtörés vagy repedés esetén fellépő akut mérgezés esetén csak a talaj gyors átszellőztetésével lehet védekezni. Erős károsodást azonban a kisméretű, de folyamatos gázszivárgások okoznak.

Kommunális és ipari hulladékok talajszennyezése

A városok területén és a közelében igen nagy gondot jelent a kommunális és ipari hulladék elhelyezése, amely ugyancsak erős talajszennyező hatású. A talajfelszint nemcsak az a szemét rojtja, amely a szemét-lerakóhelyek területén elfedi, elpusztítja a talajt, hanem az is, amely a lerakóhelyek környékén a szél vagy a víz által széthordva kerül bele a talaj anyagába.

Az üzemanyag égetésekor keletkező szennyezőanyagok CO_2 , NO_2 szénhidrogén aldehidek, benzinszén, ólom stb. először a levegőbe kerülnek, majd nagyrésztük leülepszik, és a talajba bemosódik.

Egyes iparok talajszennyező hatása különösen jelentős. Cementművek közelében (például: Vácott) $100\text{ t}/\text{km}^2$ ülepedő pormennyiséget mértek. Alumínium kohók közelében a talajok fenol-tartalma növekszik meg rohamosan. Egyes ipari üzemek különösen agresszív, mérgező hulladékaiknak gondatlan elhelyezése is nagy területekre kiterjedő talaj- – és talajvízszennyezést okozhat.

Műtrágya és növényvédő szerek halmozódhatnak fel a művelt területeken és hozzájárulnak a talaj, talajvíz, vízfolyások és a levegő szennyezéséhez. Ha egy ipari vagy mezőgazdasági vállalkozás tevékenysége folyamán toxikus szermaradványt, szennyvizet vagy szerves hulladékot bocsát ki, köteles a szennyvíz tisztításáról, a toxikus anyagok

kezeléséről vagy a hulladék megfelelő helyre történő szállításáról gondoskodni, továbbá használat után a károsított területet rehabilitálni.

Végezetül az Európai Talaj Charta néhány fontosabb megállapítását idézzük:⁴⁶

„1. A talaj az emberiség egyik legdrágább kincse, mely életteret jelent a növények, állatok és az ember számára. A talaj már önmagában is felbecsülhetetlen érték, hiszen a táj alap-eleme, örzi a földtörténet nyomait, kulturális és tudományos vizsgálataink középpontjában áll. Mint élő dinamikus közeg nélkülözhetetlen az élővilág létezéséhez, a bioszféra részeként, illetve a rajta létrejött vegetációval és a klímával együtt a víz körforgását is szabályozza, befolyásolva annak minőségét. Mindezen túlmenően az emberiség létalapjául szolgál mint a nyersanyagok és élelmiszerek forrása.

2. A talaj korlátozottan áll rendelkezésre és könnyen tönkretethető. A talaj a földfelszín egy részének vékony takaró rétege, használatát az éghajlat és a domborzati viszonyok korlátozzák. Csak lassú fizikai, fizikokémiai és biológiai folyamatok eredményeképpen jön létre, viszont gondatlan kezeléssel rövid úton tönkremehet. Bár gondos gazdálkodással évek vagy évtizedek alatt termékenysége feljavítható, pusztulását követően a helyreállítás évszázadokat vehet igénybe.

3. Az ipari társadalmak a talajt ipari és mezőgazdasági célokra egyaránt hasznosítják. A ma és a holnap társadalmá érdekében szükséges kidolgozni olyan talajhasznosítási politikát, mely a talajtulajdonságokon és a regionális sajátságokon alapul. A talajt sokféleképpen hasznosítják, általában alárendelve a pillanatnyi gazdasági és társadalmi céloknak. Igénybevétele legyen összhangban tulajdonságaival, termékenységgel és azokkal a szolgáltatásokkal, melyeket szociális és gazdasági téren nyújtani tud. Vannak talajok, melyek természetvédelmi és pihenő területekül szolgálnak, illetve újraerdősítve erózió- és vízvédelmi funkciót töltenek be. E területek speciális védelmet és gondozást igényelhetnek, a rövid távú érdekeket szolgáló gazdálkodást, illetve a vele járó talajkárosodást el kell kerülni.

4. A mező- és erdőgazdaságban alkalmazott technológiáknak biztosítaniuk kell a talajminőség védelmét. A gépesítés és a modern technika nagyobb terméseket tesz lehetővé, de a szakszerűtlen beavatkozással kedvezőtlenül változhatnak a talaj tulajdonságai, sérülhetnek funkciói. A túlművelés csökkenti a szervesanyag-készletet, a túlgépesítés a talaj szerkezetét rombolja és ez a növénytermelés sikerét veszélyeztetheti. A legelők túllegeltetése egyben fokozott taposással is jár. Javított fakitermelési módszerekre lesz szükség az erdőgazdálkodásban a fokozott talajvédelem érdekében. A talajhasználattal nem szükségszerűen jár együtt a talajkárosodás, a minőség javítható is. Az új technikák bevezetése előtt hatásvizsgálat indokolt az esetleges hátrányok kiküszöbölése céljából.

5. A talajt meg kell védeni az eróziótól. A talaj ki van téve az időjárás viszontagságainak (vízerózió, defláció, hó, jég stb.). Gondatlan kezelésnél az eróziós folyamatok felgyorsulhatnak, ezért megfelelő fizikai és biológiai módszereket kell alkalmaznunk a talajvédelem érdekében. Az időszakosan elárasztott és lavinaveszélyes területeken speciális intézkedésekre is szükség van.

6. A talajt meg kell védeni a szennyezésekkel szemben.”

⁴⁶ Európai Talaj Charta („European Soil Charter” – 1972).

Vízháztartás szabályozása, vízrendezés

A talaj hazánk legnagyobb kapacitású **természetes víztározója**. Magyarország talaj-takarójának egyméteres rétege mintegy 35-40 km³ víz befogadására és 25-30 km³ víz raktározására képes, amelynek hozzávetőlegesen 55-60%-a „holtvíz”, 40-45%-a pedig „hasznosítható víz”. E hatalmas potenciális nedvesség tározótér hatékony hasznosítása érdekében elsősorban a talaj tulajdonságait (és a környezeti tényezőket) kell úgy befolyásolni, hogy:

- ✿ a felszínre jutó csapadékvíz minél nagyobb hányada jusson a talajba (felszíni lefolyás és párolgás csökkentése);
- ✿ a talajba jutó víz minél nagyobb hányada tározódjon a talajban (vízraktározó képesség növelése, „szivárgási veszteségek” csökkenése);
- ✿ a talajban tározott víz minél nagyobb hányada váljon a természetett növények által használhatóvá.

Ezek lehetőségei a felszíni elfolyás, a párolgási és szivárgási veszteségek csökkentése, a talajvíztáplálás és talajvízszint-emelkedés megakadályozása vagy mérséklése, a víz talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tározásának elősegítése; jórészt kidolgozott és ismert – de nem mindig (megfelelően) alkalmazott – módszerei pedig a megfelelő földhasználat (művelési ágak, vetésszerkezet), agrotechnikai (elsősorban talajművelés) és talajjavítás. A talaj nedvességforgalom-szabályozásában ugyanis a közvetlen vízelveztetés (felszíni vízrendezés, drénezés) és vízpótlás (öntözés) lehetőségei természeti és/vagy gazdaságossági okok miatt korlátozottak – s csak bizonyos területeken vehetők reálisan számításba.

A talaj vízháztartás-szabályozásának célja és talajtani megalapozása

A talaj vízháztartás-szabályozásának célja a talaj zavartalan funkcióképességének biztosítása, elősegítése:

- ✿ a természetes növények és a természetett növények vízellátása;
- ✿ a növény egyéb ökológiai feltételei (például tápanyagigény) kielégítésének elősegítése;
- ✿ a talaj anyagforgalmi folyamatainak kedvező irányú befolyásolása;
- ✿ tápanyagforgalom (a talajban lévő és/vagy oda kijuttatott növényi tápanyagok hatékony érvényesülésének biztosítása, zavartalan növényi tápanyagellátás);
- ✿ sóforgalom (a talaj káros sótartalmának csökkentése);
- ✿ szervesanyag-forgalom (a humusztartalom csökkenésének megakadályozása stb.) a talaj mikrobiális tevékenységének optimalizálása;
- ✿ különböző talajszennyező anyagok forgalmának szabályozása (mennyiségének csökkentése, immobilizációja),
- ✿ a talajhasználat vízkészletekre gyakorolt káros hatásainak megelőzése, kiküszöbölése, minimalizálása: vízkészletek mennyiségi szélsőségeinek (aszály, belvíz, árvíz) mérséklése; felszíni és felszín alatti vízkészletek minőségének megóvása;
- ✿ biodiverzitás fenntartása.

A talaj vízháztartás-szabályozásának lehetőségeit, korlátait, szükséges elemeit, feltételeit és körülményeit az éghajlati viszonyok, a domborzat, a természetett növények igényei, valamint az agrotechnikai rendszer mellett a talaj vízgazdálkodása szabja meg. Ennek alapvető tényezői a talajszelvény felépítése, a talajfelszín és a talajvízszint közötti rétegek egymásutánisága, vastagsága, települési viszonyai és vízgazdálkodási tulajdonságai: nedvességtartalma, a talajnedvesség állapota, kémiai összetétele, vertikális és horizontális mozgása.

A talaj vízgazdálkodásának szabatos jellemzéséhez a felsorolt tényezők pontos és kvantitatív ismeretére van szükség, mégpedig azok térbeli eloszlását és időbeni dinamizmusát jellemző valószínűségi és gyakorisági értékekkel együtt. E tényezőktől függ a talaj vízmérlege, tehát hogy a talaj felszínére jutó víz milyen hányada szivárog be a talajba, ennek milyen hányada jut – esetleg repedéseken keresztül vagy a talajszelvényen átszivároghva – a talajvízig, milyen hányada tározódik, s e hányadnak milyen része válik a növények számára hasznosíthatóvá. A fenntartható (mezőgazdasági) fejlődés és a környezetkímélő talajhasználat érdekében a talaj tulajdonságait és a környezeti tényezőket úgy kell befolyásolni, hogy a felszínre jutó csapadékvíz minél nagyobb hányada jusson a talajba (felszíni lefolyás és párolgás csökkentése); a talajba jutó víz minél nagyobb hányada tározódjon a talajban (vízraktározó képesség növelése, „szivárgási veszteségek” csökkentése); a talajban tározott víz minél nagyobb hányada váljon a természetett növények által hasznosíthatóvá.

Melioráció, rekultiváció

Melioráció minden olyan tartós és lényeges hatású beavatkozás, amely a földhasználat igényeivel összhangban kedvezően módosítja a termőhelyi adottságokat. A melioráció fejlesztési tevékenység, egymással szorosan összefüggő biológiai, kémiai, fizikai és műszaki eljárások komplex rendszere, amely a talaj természetes termékenységének megőrzését, illetve tartós növelését alapozza meg, és a korszerű gazdálkodás termőhelyi feltételeit alakítja ki. Magába foglalja a területrendezési, talajvédelmi, mezőgazdasági célú vízrendezési és talajjavítási feladatok összességét (Ferencz K. – Ferencz G., 1999). Önállóan javítható terület lehet egy vagy több vízgyűjtő térség, egy gazdaság teljes területe vagy annak valamilyen célból kiválasztott önálló része.

Részleges (nem komplex) melioráció az olyan tevékenység, amelynek során az adott területen a melioráció helyileg szükséges elemei közül csak a kívánt cél eléréséhez nélkülözhetetlen munkát végzik el. A **komplex melioráció** keretében a fentiek szerint a talaj termékenységét kedvező irányba, tartósan befolyásoló emberi beavatkozások sorát, beleértve az idegen (kémiai) anyagok bevitelét egyidejűleg alkalmazzuk.

Ezen belül talajjavításon a talaj termőképességének fokozása érdekében végzett egyes eljárásokat, elsősorban az idegen anyagok talajba juttatásával járó tevékenységet értjük, bizonyos mechanikai beavatkozással elérhető fizikai tulajdonságot módosító hatásokkal együtt. A melioráció fogalmkörébe tartozó eljárások közül a talajjavítás keretébe a hagyományos értelmezés szerinti kémiai és mindinkább tért hódító fizikai talajjavítási eljárások tartoznak. A melioráció vízrendezési, talajvédelmi eljárásai a vízgazdálkodás keretébe tartoznak.

A talajjavítás (melioráció) területi jellemzői

Talajaink mezőgazdasági hasznosíthatóságát számos eredendő és „szerzett” talajhiba (kövesség, csekély termőképesség, erős víz-, illetve sóhatás, savanyúság stb.) korlátozza. A természetes (genetikai) okokból csökkent termőképességű talajok egy részének megjavítását megkísérelni sem (volt) érdemes (többek között ezért nem terjedt ki a mezőgazdasági művelés például az erősen kavicsos, kőzettörmelékes váztalajokkal, rendzinákkal fedett térségekre), más, igen gyenge termőképességű talajfajták (például szoloncsák szikesek) gazdaságos javítására lehetőség sincs.

Talajaink többsége viszont különböző talajjavítási eljárásokkal termékenyebbé tehető. Ez utóbbiak közé részben azok a talajok tartoznak, amelyek egykor kedvező (vagy kedvezővé tett) tulajdonságait maga a mezőgazdasági tevékenység károsította, tehát a korábbi állapot helyreállítására (rekultivációra) van szükség.

Javításra szoruló talajaink közel 70%-a a savanyú talajok közé tartozik. E talajfajták összefüggő területeket borítanak hegy- és dombvidékeinken, de jelentős a kiterjedésük Szabolcs-Szatmár-Bereg megye keleti felén, továbbá a Tisza és a Körösök völgyében. Meliorációra van szüksége szikeseink és homoktalajaink nagy részének is, amelyek közel egyenlő arányban (átlagosan 12–15%-ban) osztoznak talajjavítást igénylő földterületeinkből.

A hazai szikesek döntő hányada a Közép-Tisza-vidéken, a Berettyó és a Körösök vidékén, továbbá a Dunamenti-síkságon található; a javításra szoruló homoktalajok nagy kiterjedésű területeket borítanak a Duna-Tisza közén és a Nyírségben, de jelentős arányban vannak jelen Belső-Somogy déli, sík vidékein és a Dráva mellékén is.

2.4 Zaj, rezgés, szennyezés

Hangnak azokat a levegőben terjedő hullámokat nevezzük, amelyek bennünk hangérzetet keltenek. Hangérzet csak 16 Hz és 16000 Hz közötti frekvenciatartományban és meghatározott intenzitástartományban jön létre.

A hang az energia egyik formája, hullámmozgás, amelyet a hallószervünkkel érzékelünk. A fül a levegőben terjedő hangok felfogó érzékszerve, a hallásérzet viszont az agyban keletkezik. A hang és a zaj közötti különbséget úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a hang kívánatos, a zaj pedig nem kívánatos hanghatás.

A 16 Hz-nél kisebb frekvenciájú hangokat infrahangnak, a 16000 Hz-nél nagyobb frekvenciájú hangokat ultrahangnak nevezzük. Élettani hatásuk van, de hangérzetet nem keltenek.

A mechanikai rezgések között különösen rombolóak és súlyos károsodáshoz vezetnek az infrahangok (0-16 Hz), amelyeket a szelek, viharok, egyes nagygépek, Diesel mozdonyok okoznak (épületkárok, látási zavarok, sőt életveszélyes károsodások). Az ultrahangok azok, amelyeket az ember nem hall, de érzékel. Ez többnyire ipari forrásokból származik (anyaghiba-vizsgálatok, emulgeátorok stb.), ami a szemlencsét, a szaruhártyát károsítja. Ezeket tudatosan is alkalmazzák orvosi célokra (terápiahatások, sejtek, életfolyamatok befolyásolása).

Hangforrásként viselkedik minden rezgő mozgást végző test, amely a levegő-részecskékkal érintkezésbe jut, és rezgési energiát ad át nekik a hangfrekvencia periódusában.

Ha az energia kisugárzás a levegőn keresztül történik, akkor léghangról beszélünk, ha szilárd testen keresztül történik, akkor testhangról beszélünk.

A hangforrást elsősorban a belőle kibocsátott hangteljesítmény jellemzi (LW).

Hangintenzitás, hangnyomás: a tér egy meghatározott helyén, az egységnyi felületen időegység alatt áthaladó hangenergia (egysége: W / m^2) → hangtérré jellemző

Hangteljesítmény → hangforrásra jellemző

A hangintenzitást és a hangnyomást egyaránt decibelben mérjük (dB). A decibel logaritmikus egység.

Hangszínkép (hangspektrum): A hangok csak ritkán nevezhetők egyetlen frekvenciából álló tiszta hangnak, gyakrabban fordul elő több frekvenciájú összetett hang. Az összetett hangok legjellemzőbb adata a frekvencia függvényében felvett amplitúdó diagram, amelyet hangszínképnek nevezünk.

Zaj: azok a hangjelenségek, amelyek az emberre zavaró, vagy káros hatást fejtenek ki. Az ismert hangjelenségek közül – tiszta hang, zenei hang, zöreje – bármelyik lehet zaj, függetlenül attól, hogy milyen az intenzitása vagy frekvenciája.

Zaj fizikai értelemben akkor keletkezik, ha a levegő egyensúlyát mechanikailag megzavarjuk. A keletkező légnyomás-ingadozások hullámmozgással terjednek a hangkeltés helyétől a tér minden irányában.

Zajterhelés szempontjából a zaj lehet.

- ✿ folyamatos zaj;
- ✿ megszakított, de állandóan egyenletes intenzitású zaj;
- ✿ impulzus jellegű zaj.

A környezeti zajterhelés szubjektív jellegű. Ami az egyik ember számára zavaró, a másik észre sem veszi, vagy ugyanazon intenzitású és jellegű zaj más hatást vált ki abban, akinek valamilyen érdeke fűződik a zajkeltőhöz, vagy ha érdeke nem is fűződik hozzá, de nem ellenséges, hanem mondjuk baráti viszonyban van vele.

A főbb zaj- és rezgésforrások

- ✿ közlekedési eredetű zajok és vibrációk (közúti, légi, vasúti);
- ✿ ipari eredetű zajok és rezgések;
- ✿ szabadidős tevékenységből származó zajok.

2.4.1 A zaj hatásai⁴⁷

A zajhatások azok a nemkívánatos káros és a füllel felfogható hanghatások, amelyek függenek a kisugárzott hangenergiától (hangteljesítmény), illetve a hang erősségétől, amely az időegység alatt az egységnyi felületen áthaladó hangenergia, továbbá a hang

⁴⁷ FÖLDI L., HALÁSZ L. *Környezetbiztonság*, Complex Kiadó, Bp., 2009.

nyomásától is. Az igen nagy hangerő már nem hallásérzetet, hanem fájdalomérzetet vált ki.

A zaj szervezetünkben különféle károsodást okozhat, mely a hangintenzitást figyelembe véve négy fő csoportra osztható:

- ✿ 30 dB zajszint pszichés hatás,
- ✿ 65 dB zajszint vegetatív idegrendszeri károsodás,
- ✿ 90 dB zajszint hallászervi károsodás,
- ✿ 120 dB zajszint felett érzük el a fájdalomküszöböt,

160 dB-nél dobhártyarepedés jöhet létre, hirtelen hanghatás nagy intenzitással (például robbanáskor), kb. 120-130 dB értéknél barotrauma lehetősége áll fenn (maradandó halláskárosodás jöhet létre már egyszeri behatásra), 175 dB pedig már halálos adagot jelent. Minél nagyobb a zaj hangintenzitás-szintje, annál határozottabban jelentkezik káros hatása.

Pszichés reakciók

A zaj objektív és szubjektív hatásai csak bizonyos intenzitás után kezdenek szembeszökővé válni. Zajos környezetben dolgozók hamarabb elfáradnak, megnő az idegrendszer reakcióideje, nő a hiba lehetősége, a szellemi munka végzése is megerhelőbb.

Vegetatív idegrendszeri zavarok

Zaj hatására csökken a testhőmérséklet, fokozódnak az anyagcsere-folyamatok, megnő az epe kiválasztás, az emésztőszervek működése lelassul. Szájszárazság, nyelési kényszer alakulhat ki. Zajnak kitett foglalkozású embereknél gyakoribb a magas vérnyomás, sűrűbben fordul elő gyomorhurut, gyomor- és nyombélfekély. Keringési zavarok léphetnek fel, meggyorsul a szívverés. A verőerek áramlási ellenállása 90 dB-nél jelentősen megnő, vérellátási zavarok lépnek fel, ezek főleg a végtagok és az ujjhegyek zsibbadását okozzák. Ezek a tünetek zaj hatására szinte azonnal jelentkeznek, s csak hosszabb idő múlva szűnnek meg.

A nyugodt alvás megzavarása már 40 dB intenzitású zajra jelentkezik, 70 dB-es zajra az emberek mintegy 33%-a teljesen felébred. A hirtelen erős zajok az alvás ritmusát és mélységét is megzavarják, ezután már nem pihentető az alvás.

Halláskárosodás

A hallószervben a zaj hatására létrejövő elváltozásokat három tünetcsoportba sorolhatjuk:

1. Funkcionális változás, ideiglenes hallásküszöb-emelkedéssel.
2. Maradandó hallásküszöb-emelkedés.
3. Maradandó, gyógyíthatatlan halláskárosodás.

Zajterheléskor a fül fáradását a hallásküszöb átmeneti emelkedése jelzi. A 40 dB-nél kisebb hallásküszöb-emelkedés egy napon belül, a 10 dB-nél kisebb néhány óra múlva regenerálódni képes, de a 40-50 dB-szintű hallásküszöb-emelkedés már hónapokig megmaradhat.

A kezdetben átmeneti hallásküszöb-emelkedés a naponta ismétlődő zajban állandósul, kialakul az úgynevezett foglalkozási halláskárosodás.

A rezgések káros hatásai

A munkagépek, szerszámok működése közben keletkező saját rezgések és a megmunkálendő anyag rezgései mindenekelőtt a kézre és a lábra, vagyis az emberi test különböző részeire tevődnek át. Környezetvédelmi szempontból vizsgálva a jelenséget, a rezgések a szilárd érintkezésben levő anyag (padló, fal) közvetítésével is terjednek, azaz vezetés útján fejtik ki káros hatásukat.

Rezgéskor az egyes testrészek, szövetek maguk is átveszik azt, ha a rezgő tárggyal érintkezésbe kerülnek. Az energiától függően a testszövetek kisebb-nagyobb része jön rezgésbe, esetleg ez a rezgésállapot az egész testre is kiterjed. Az alacsonyabb frekvenciájú (0.5 Hz alatt) rezgések az egész test kényszerrezgését váltják ki (érzékenyebb egyéneknél kinetosis – tengeribetegség-tünet – létrejötte). A kényszerrezgés mellett egyes szervek és szövetek bizonyos frekvenciákon rezonáló rezgéseket is végeznek. (A szemgolyó 40-80 Hz közötti frekvencián rezonál, ilyen vibrációs frekvencia esetén látási panaszok megjelenése várható.)

A nagyfrekvenciájú vibráció a szövetek helyi együttrezgését váltja ki, az ártalom csont- és ízületi elváltozásokban, érgörcsök formájában jelentkezik.

Az emberre a rezgések hanghatásai is károsak, sőt a rezgések az emberi szervezeten túlmenően károsak a gépekre is, rongálják annak szerkezetét, kopást okoznak (ezzel elvész a gép pontossága), rontják a hatásfokot, a munka minőségét.

A rezgések ugyancsak károsak a gép környezetére is, mert a talajban és a környező épületekben újabb rezgéseket keltve nagy távolságra terjednek, ezzel rongálják az épület szerkezetét (a vasbeton födémekben például megszűnik a vas és a beton közötti tapadás), sőt áttételesen az ott működtetett egyéb eszközöket és gépeket.

A zaj hatása a társadalmi kapcsolatokra és az emberi viselkedésre

A zaj számos hatást gyakorolhat a társadalomra és a viselkedésre, mely hatások összetettek, árnyaltak és közvetettek lehetnek. A zajhatás miatt halláskárosodást szenvedett ember elszigetelődik a társadalomban, legtöbbször választott szakmája feladására kényszerül. Ekkor már olyan korban lehet, amikor az átképzése jelentős nehézségekkel járhat, az addig felhalmozott tudása, tapasztalata elvész, ugyancsak veszendőbe megy a képzésére fordított összeg, sőt jelentős lehet az állam által kifizetett kártérítés összege is. Így az ember egyéni tragédiája egyben társadalmi problémává is válik.

Ugyancsak a zaj károsító hatásának tudható be, hogy megromlanak a családi, baráti kapcsolatok is, ennek egyenes következménye az agresszív magatartás kialakulásának lehetősége. A 80 dB feletti zaj csökkenti a segítőkészséget, tovább fokozhatja az agresszív magatartást. Erőteljesebb reakciók figyelhetők meg, ha a zajt rezgések kísérik, ha azok alacsony frekvenciájú komponenseket, éles zajjal járó impulzusokat is tartalmaznak.

A hanghatások periodikus jellegük esetén zeneiek, egyébként zörejszerűek, kaotikusak. A hang zavaró hatását nemcsak erőssége, de ritmusa, gyakori megszakítotttsága és váratlansága is okozza. Különösen káros például a távolsági sugárhajtású repülőgépek

zaja, kompresszorok, turbinák stb., általában a közlekedés, a munkahelyi és rakodási zajártalmak, amelyek átmeneti halláscsökkenést, nagyothallást, siketséget, sőt traumát, halált okozhatnak. A hangok másrészt fiziológiai, pszichés és idegrendszeri zavarokhoz vezetnek (a munkateljesítmény, a figyelem, a koncentráció, a szellemi tevékenység romlása, stresszhatások, a hangok növelik a balesetek számát és zavarják a pihenést). A környezetvédelmi törvény értelmében a környezeti zaj és rezgésvédelem azokra a mesterségesen keltett energiakibocsátásokra terjed ki, amelyek kellemetlen, zavaró veszélyeztető vagy károsító hang-, illetve rezgésterhelést okoznak. A környezetvédelmi tárca feladata azoknak a jogszabályoknak a megalkotása, amelyek a termelő és szolgáltató létesítményektől, építkezésektől, közutaktól, vasutaktól származó, munkahelyen kívül elszennvedett zajok és mechanikai rezgések megelőzését és a már kialakult kedvezőtlen állapot javítását szolgálják. Környezetvédelmi szabályozás határozza meg az egyes szabadban használt berendezések és háztartási gépek zajvédelmi szempontú piacra bocsátásának feltételeit is. A repülőterekre vonatkozó zajvédelmi szabályok megalkotása a környezetvédelemért és a közlekedésért felelős tárcák közös feladata. A környezeti zajhelyzet javítását a környezetvédelmi tárca jogszabálya alapján készített stratégiai zajtérképek és zajcsökkentési intézkedési tervek biztosítják. Az intézkedési tervekben rögzített feladatok ellenőrzésében, a szükséges EU-adatszolgáltatások előkészítésében nagy feladat hárul a zöldhatóságokra.

2.4.2 Zajtérképek

Az idei évben elkészül Budapest és a közvetlen környezetben lévő huszonegy település stratégiai zajtérképe. Hamarosan helyzetképet készítenek a legforgalmasabb közlekedési létesítmények mellett élőket érő zajterhelésről is.

Stratégiai zajtérképek

Környezetünkben számos zajforrás működik, ami zavarja mindennapi tevékenységünket, nyugodt pihenésünket. Ezek egy része csak átmenetileg és néhány embernek okoz kellemetlenséget, másrésztük azonban tartósan és nagy területen terheli a környezetet. Az utóbbi csoportba elsősorban a közlekedési létesítmények és a jelentősebb ipari üzemek tartoznak bele. Útjaink, vasútjaink, repülőtereink zajcsökkentése azonban nem könnyű feladat, mivel bonyolult forgalmi rendszer és kialakult településstruktúra mellett kell megoldásokat keresni. A nagyobb városok vagy agglomerációk zajcsökkentése éppen ezért, a település egészére kiterjedő gondos tervezést, intézkedés-terv-készítést igényel. Országos program szükséges a nagy forgalmú közlekedési létesítmények zajának csökkentése érdekében is. Megalapozott intézkedési tervek csak a zajterhelés és a zajterheléssel érintett lakosság mértékének ismeretében készíthetők. Ehhez nyújtanak segítséget a stratégiai zajtérképek.

A zajtérképek készítése

A zajtérképek a zajforrások és a zajterjedés modellezésén alapulnak. Mérést egyedül az ipari létesítmények esetén végeznek, azonban a lakott területeket érő zajterhelés mérté-

két ebben az esetben is számítással állapítják meg. A stratégiai zajtérképek alapvető célja olyan állapotfelmérés készítése, amely alapot adhat a legjelentősebb zajforrás-csoportok kezelésére vonatkozó intézkedési tervek készítésére, stratégiai jellegű döntések megalapozására, ezért mind a terjedést befolyásoló tényezők, mind pedig a forgalmi adatok az adott területre jellemző éves átlagos értékek.

A zajtérképek alapjaként olyan digitális térképek szolgálnak, amelyek ábrázolják a zajforrásokat (közutak, vasutak, repülőterek, ipari létesítmények), a hangterjedés útjában álló akadályokat (például: zajvédő falak, töltések, magasabb építmények) és a zajtól védendő épületeket (például: lakóépületek, egészségügyi intézetek, oktatási intézetek). A zajforrásokhoz azok jellegétől függően hozzá kell rendelni a forgalmi adatokat vagy a zajmérési eredményeket, továbbá egyéb a terjedést és zajkeltést befolyásoló jellemzőket, a zajtól védendő épületekhez pedig hozzá kell társítani az érintettek számát. Mindezeknek az adatoknak a felhasználásával az erre a célra készített számítógépes programok elkészítik az adott terület stratégiai zajtérképét.

A zajhelyzet értékelésére felhasznált mutatók: L_{den} és $L_{éjjel}$

A stratégiai zajtérképeken a zajhelyzetet kétféle zajmutatóval kell ábrázolni. Az L_{den} egy olyan „átlagos” zajszint, ami egy nap teljes 24 órájának jellemzésére szolgál. Az átlagképzéskor az esti és éjszakai időszakban fellépő zajok (5 illetve, 10 dB-lel) nagyobb súlyt kapnak.

Az $L_{éjjel}$ az éjszakai (22:00 és 6:00 óra közötti) időszak átlagos zajszintje.

A zajtérképek egy része, az úgynevezett „zajterhelési térképek” az egyes térképi pontokban észlelhető zaj mértékét ábrázolják. Azokra a területekre, amelyre elkészült a zajterhelési térkép, konfliktustérképet is kell készíteni. Ez a térkép azt mutatja, hogy a zajterhelés az egyes pontokban mennyivel magasabb, mint a stratégiai küszöbérték. Az előbb említett küszöbérték alatt nem határértéket, csupán elérendő célértékeket kell érteni. A konfliktustérkép világít rá arra, hogy mely területeken lehet kritikus a zajhelyzet, hol kell az intézkedési tervben foglalkozni a meglévő kedvezőtlen zajhelyzet részletesebb vizsgálatával. Az érintettség azt fejezi ki, hogy egy adott zajszint hány embert érint. Forrástípusonként (ipari létesítmények, közutak, vasutak és repülőterek) külön készül zajterhelési zajtérkép az éjszakai és az egész napra jellemző állapotra és ugyancsak forrástípusonként külön készül konfliktustérkép az éjszakai és a teljes nappali időszak jellemzésére. A nagyvárosi agglomerációkra tehát (ha a területükön mind a négy forrástípus fellelhető) összesen 16 db, a nagy forgalmú közlekedési zajtérképekre pedig 4 db különböző zajtérkép készül. A zajtérképek alapján olyan információkat nyerhetünk környezetünkről, amelyek segítségével az egyes területek zajvédelmi helyzete reálisan összehasonlítható. A zajtérkép egy adott pontjának értékelésekor azonban figyelembe kell venni, hogy a számítás éves átlagos adatokból indul ki és bizonyos egyszerűsítéseket tartalmaz. A zajtérképek eredményei mérésrel nem ellenőrizhetők vissza. A konfliktustérképen ábrázolt helyzetek nem járnak együtt bírság kiszabásával és a környezetvédelmi hatóság intézkedésével. A konfliktusos helyzetek kezelésére a települési önkormányzatok, vagy a közlekedésért felelős miniszter által kijelölt szerv által készített – korábban már említett – intézkedési tervek megvalósítása szolgál.

Zaj- és rezgésszabályozás

A zaj- és rezgésszabályozás valamilyen elem, elemcsoport vagy szerkezeti egység, illetve berendezés akusztikai tulajdonságainak (zaj- és rezgés-magatartásának) a szükséges irányban történő módosítása. Maga a zaj- és rezgés-magatartás függ a szerkezeti kialakítástól, a gyártástól, az üzemeltetés körülményeitől és az elhasználódás mértékétől.

Hangtompítók

A hangtompítókat áramlási eredetű zajok csökkentésére alkalmazzák. Ez egy olyan különleges csatornarendszer, amely gátolja a hang terjedését (csökkenti az intenzitását), de csak korlátozottan akadályozza a szabad áramlást.

Működési elvüket tekintve visszaverődéses (reaktív) és elnyeléses (disszipatív) típusok léteznek.

Zajcsökkentés hanggáttal

Szabad térben – ritkábban zárt helyiségben – részleges védelem biztosítható a zajforrás árnyékolásával. Általában közlekedési zajok ellen használatos.

A forrás és a vevő között végtelen hosszú, végtelen nagy hanggátlású fal található. A kisugárzott energiát a fal részben leárnyékolja. A zajcsökkenés mértéke (mely számíttással állapítható meg) a frekvencia függvénye, gyakorlati felső határértéke 25 dB.

Zajcsökkentés fallal

Ezen megoldás alkalmazásakor például a zajos műhelycsarnokban egy részt viszonylag nagy hanggátlású fallal leválasztanak, így annak védett részében lényegesen kisebb zajhatások alakulnak ki.

Zajcsökkentés burkolattal

A legintenzívebb zajcsökkentés – elvileg korlátlan mértékben – úgy érhető el, hogy a zajforrást nagy hanggátlású burkolattal veszik körül. Ez akkor előnyös, ha kiterjedt hangtérben csak néhány jelentős zajforrás van.

A burkolat egyszerűbb esete a zajárnyékoló fal, de ez csak néhány irányban biztosít részleges védelmet.

Aktív zajcsökkentés

Ez a módszer az interferencia elvén alapul, azaz ellenfázisú besugárzással a hangtér egy diszkrét pontjában a zavarás korlátozható vagy megszüntethető. Fokozott beruházási igénye miatt csak különleges esetekben alkalmazzák, például közlekedési eszközök utastere és villamos eredetű zajok esetén.

Közlekedési zajok csökkentésének lehetőségei

A környezeti zajok jelentős forrása a közlekedés által keltett zajok, melyek csökkentésére különféle megoldásokat alkalmaznak. Néhány ezek közül:

- ✱ A belsőégésű motorokat rugalmas felfüggesztéssel építik a kocsiszekrénybe, annak billenés elleni megtámasztása szintén rugalmas. A forgó tömegeket csökkentik, kiegyensúlyozzák.
- ✱ A kipufogórendszert – lehetőleg közel a motorhoz – flexibilis idommal illesztik, a motor kiömlőnyílását az idom előtt részleges tokozással látják el. A motorteret lehetőleg minden irányban zárttá teszik, hangelnyelő anyaggal szigetelik.
- ✱ A négyütemű motorok esetében többhengeres megoldást választanak a periodikus, kétfordulatonként azonos számú dinamikus szöggyorsulások (pozitív, negatív) rezgéscsökkentése érdekében. Kis lökettérfogatú (személygépkocsikba építhető) motoroknál az 5 hengeres, a nagy lökettérfogatúaknál (tehergépkocsiknál) a 12 hengeres a legkedvezőbb.
- ✱ Szorgalmazzák az új konstrukciójú magasnyomású dízelmotorok térhódítását, mivel a kopogó égéshang erre a típusra már nem jellemző, s ennek ellenére határfoka, dinamikája, teljesítménye a benzinüzeműekkel vetekszik.
- ✱ A járműveket célszerűen független kerékfelfüggesztéssel látják el, a tengelyeken alacsony gördülési ellenállású, alacsony zajkibocsátású radiál gumibroncsokat alkalmaznak. A kerékfelfüggesztések lengőkarjai könnyített gumiszigeteléssel ellátottak.
- ✱ A futóművek rugózatlan tömegének lengéseit (úton való kerékpattogás, gödörbe való dinamikus zuhanás, onnan kiugrás) hidraulikus, pneumatikus lengéscsillapítókkal csillapítják.
- ✱ A tehergépkocsik, autóbuszok rugózását célszerűen a lengések csillapítását is elősegítő, szintszabályozott pneumatikus rugózással oldják meg.

Rezgésszabályozás

A rezgés szabályozható a kialakuló rezgések csökkentésével, illetve az átvitel korlátozásával. Ez alapvetően tervezési feladat, mert a szerkezet működésmódja, üzemvitele és szerkezeti felépítése határozza meg a kialakuló rezgést, utólagos beavatkozásra csak néhány esetben van lehetőség, de ez is jelentős felkészültséget igényel. Beavatkozási mód lehet: üzemmód-változtatás, rezgéscsillapító bevonatok alkalmazása (burkolatok esetében), rezgéselnyelők használata forgórészeknél.

A gyakorlatban a rezgésszigetelés a legelterjedtebb megoldás. Ilyenkor a szigetelés megakadályozza vagy csökkenti a rezgések átterjedését az egyik testről a másikra. A gyakorlatban a két test közé helyezett szigetelő réteg a határfelületeken visszaveri a rezgéseket, felemészti a rezgési energiát belső anyagsúrlódás vagy alakváltozás révén.

Ha a szerkezet rezgésének a környezetbe való átterjedését akarjuk megakadályozni (például villamos motorok, ventilátorok), aktív rezgéscsillapításról beszélünk, ha a környezet káros rezgéseinek a szerkezetbe jutását akadályozzuk, illetve csökkentjük (műszerek, mérőkészülékek), akkor passzív rezgéscsillapítást végzünk.

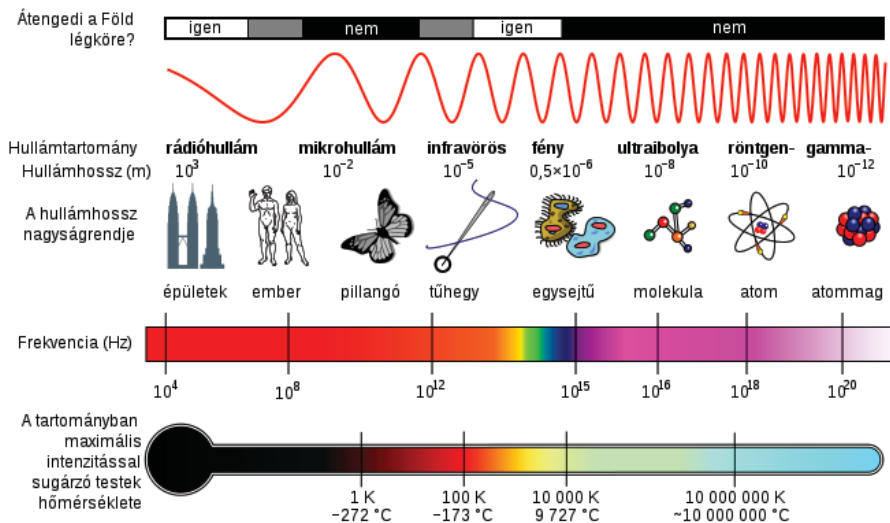
Rezgésszigetelésre rugalmas anyagokat (anyagrugók: gumi, parafa, nemez, fa stb.) és szerkezeteket (többnyire fém alapanyagú rugók, ingák, vagy ezek kombinációi) használnak. A legáltalánosabban használt rezgésszigetelő szerkezeti elem (széles alkalmazhatósága miatt) a fémes alapanyagú rugó (acél, bronz). Legfontosabb típusai: csavarrugó – hengeres vagy kúpos kialakítás, egyedi vagy csoportos elrendezés –, gyűrűs-

és tányérrugó. Előnyük a gyors cserélhetőség, korrózióállóság, tömeggyártási lehetőség, hátrányuk a nagyobb frekvenciájú (200 Hz feletti) összetevők átérésztése. Ez a hátrány gumi, parafa, nemez stb. közdarabokkal megszüntethető.

2.5 Elektromágneses hullámok okozta szennyeződések

Az elektromágneses sugárzás egymásra merőleges irányú, oszcilláló elektromos és mágneses tér. Hullám formájában fénysebességgel terjed, energiát és impulzust szállítva. Részecskéi (kvantumai) a fotonok. A 380 nm és 780 nm közötti hullámhosszú elektromágneses sugárzás az emberi szem számára is látható, emiatt látható fénynek nevezik. Az összes elektromágneses sugárzás elrendezhető frekvencia (hullámhossz, energia) szerint, ekkor kapjuk az elektromágneses spektrumot. Az elektromágneses sugárzás fizikáját az elektrodinamika írja le. Az elektromágneses hullámok növekvő rezgésszám (frekvencia) szerint az alábbiak: rádióhullámok (hosszú-, közép-, rövid- és ultrarövidhullámok), mikrohullámok, infravörös sugárzás, látható fény, ultraibolya sugarak, röntgensugarak, γ -sugarak, és kozmikus sugarak. A rádióhullám – akárcsak a fény – elektromágneses hullám. A rádióhullámok éppolyan törvények szerint verődnek vissza, törnek meg, mint maga a fény.⁴⁸

A visszaverődő rádióhullámokat használja fel például a rádiólokáció. Frekvencia szerinti felosztást szemléltet a 2.1 ábra.



2.1. ábra: Az elektromágneses sugárzások jellemzői⁴⁹

⁴⁸ BUDAY-SÁNTHA Attila: *Környezetgazdálkodás*. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 2002.

⁴⁹ Wikipedia: elektromágneses sugárzás. http://hu.wikipedia.org/wiki/Electrom%C3%A1gneses_sug%C3%A1cz%C3%A1s 2014 02.05.

2.5.1 Nem ionizáló sugárzások

A 0-300 GHz frekvenciájú elektromágneses sugárzások tartoznak ebbe a tartományba. Áttekintve az elektromágneses sugárzások spektrumát, látható, hogy ezek annak alacsonyabb frekvenciájú, tehát kisebb fotonenergiájú részét képezik. Ez az energia nem elegendő az ionizációhoz, ezért ezeket a sugárzásokat (de nem csak ezeket) nem ionizáló sugárzásnak nevezik. Az ide tartozó sugárzások tovább oszthatók az alábbiak szerint:

- ✿ 0 – 300 Hz: extrém alacsony frekvenciájú tartomány (extremely low frequency = ELF);
- ✿ 300 Hz – 300 MHz: rádióhullámok;
- ✿ 300 MHz – 300 GHz: mikrohullámok.

A nem ionizáló sugárzások természetes (Nap, tűz) és mesterséges eredetűek lehetnek. Ez utóbbiak kibocsátói az infralámpák, a világításra szolgáló izzólámpák és minden, a környezetnél melegebb test – mi, emberek, magunk is bocsátunk ki hőhullámokat.

A nem ionizáló sugárzások bizonyos fokú élettani hatással is rendelkeznek. Az emberi szervezetbe csak a 760-1400 nm hullámhosszú elektromágneses hullám (hőhullám) jut be, hatásukra az erek kitágulnak, a bőr felmelegedik, nem ritka a gyulladás, illetve égés létrejötte, gyakran a szervezet egész hőháztartása felborul. Ezek a hullámok a szemben kötőhártya gyulladást és szaruhártya-károsodást okozhatnak.⁵⁰

A védekezés általában kombinált, amelyben a sugárártalom forrásának árnyékolása és az egyéni védőeszközök használata egyaránt szerepet játszik. Az olyan munkahelyeken, ahol nagy a kitettség (exponálódás) a nem ionizáló sugárzásoknak (például üvegfúvoda, öntöde, kohó, szárítóberendezések), a megfelelő védelemről gondoskodni kell. A hőháztartás védelmére megfelelő mikroklímát (például vízfűgöny, láncfűgöny) kell létesíteni, a szem védelmére kék üvegből készült szemüveg szolgálhat, a test túlzott mértékű felmelegedését hőálló védőruházattal lehet kivédeni.

A *mikrohullámú* (a hullámhossz 30 cm és 1 mm között, a frekvencia 300 és 1 GHz, azaz 10^9 Hz között) *berendezések* esetében is gondoskodni kell az elektromágneses hullám káros hatásainak kivédéséről. A mikrohullámok a természetben a légköri jelenségekből (villámlás), a Napból és a geomágneses jelenségekből származnak. Mesterséges sugárforrások: televíziós és rádiós adóállomások, mobiltelefonok, mikrohullámú sütők, műanyaghegesztő berendezések, repülőlokátorok operációs rendszerei, mézer (maser, mikrohullámú lézer 10^9 – 10^{11} Hz), stb. A mikrohullámok biológiai hatásai nem merülnek ki az eddig ismertetett hőhatásnál, jelenlétükben *idegrendszeri hatásokat* is észleltek (kis intenzitásnál álmodást, nagy intenzitásnál pedig izgatottságot tapasztaltak). Újabbán a mágneses komponens hatását rosszindulatú daganatok diagnosztizálására és gyógykezelésére használják.

⁵⁰ GRANDOLFO M (Editor): *Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation*. Plenum Press, New York, 1983.

A nemzetközi és nemzeti ajánlásokban, szabványokban az RF és mikrohullámú expozíciók sugárvédelmi koncepciója általában három fő elemet tartalmaz. Úgynevezett megengedhető határértéket (expozíciós korlátokat) határoznak meg, amelyek alapján az addig összegyűjtött adatok képezik. A megengedhető határértékek megállapításánál biztonsági faktorokat alkalmaznak. A biztonsági faktor nagysága attól függ, hogy az adott frekvencián az emberi test elnyelési képessége mekkora, illetve a biztonsági faktor megállapításánál felhasznált kísérleti adatok mennyire megbízhatóak. A biztonsági faktor általában 10 körüli érték. Ez azt jelenti, hogy az adott frekvencián a megengedhető határérték legfeljebb tizedrésze annak az expozíciónak, amelynél egyáltalán valamilyen biológiai hatást találtak.

A sugárterhelés tárgyalásában és megítélésében különbséget tesznek a lakossági és a foglalkozási expozíció között. Egyes szabványok és ajánlások a foglalkozási, illetve lakossági kifejezések helyett az úgynevezett ellenőrzött, illetve nem ellenőrzött expozíciós területek (övezetek) kifejezéseket használják. A lakossági (nem ellenőrzött területre vonatkozó) határérték általában egyötöd, egytized része a munkahelyen megengedett értékeknek.

A sugárvédelmi szabályozásban úgynevezett alapkorlátokat és abból származtatott expozíciós határértékeket alkalmaznak. Az RF expozíció alapkorlátait mindig a fajlagosan elnyelt teljesítmény (Specific Absorption Rate, SAR) határozza meg. Ebből származtatják az ajánlásban szereplő és mérendő (illetve mérhető) megengedhető expozíciós határértékeket W/m^2 -ben, mW/cm^2 -ben, V/m -ben vagy A/m -ben.

A mikrohullámok elleni védekezés elve elsősorban a forrás izolálása vagy legalább leárnyékolása, például köréje olyan zárt, földelt fémháló telepítése, amelyben a rács-távolság alkalmazkodik a hullámhosszhoz. Jó árnyékoló hatású a grafit is. Az egyéni védőeszközöket (speciálisan foncsorozott, védőhálós, domború szemüveg, fémhálós, többrétegű védőruha) a megfelelő hullámhosszra kell méretezni.

Az *ultraibolya fény* egészségkárosító hatásával fokozottan foglalkozni kell, mert a hegesztés, elsősorban az ívhegesztés során ultraibolya-sugárzás lép fel. Az ultraibolya-sugárzás (UV) – az egészségkárosító hatás szempontjából – két kategóriába sorolható: a távoli tartomány a 160–290 nm hullámhossz, a közeli tartomány a 290–400 nm hullámhossz. Itt jegyezzük meg, hogy újabban a 350–400 nm tartományt inkább a látható fényhez sorolják.

Az ultraibolya sugárzás természetes forrása a Nap sugárzása, amelynek mintegy 99% mennyiségét elnyeli a Föld ózonpajzsa. Az UV sugárzás biológiai hatása a bőrben kialakuló pigmentáció (napbarnítottság), D-vitamin-képzőhatás (290 nm-nél a koleszterolból), csiraölő hatás (ezt a tulajdonságot az élelmiszer-tartósításban is felhasználják), gyulladáskeltő hatás (napozáskor a leégés).⁵¹

⁵¹ Pressman, A. S.: Electromagnetic Fields and Life. Plenum Press, New York, 1970.

2.5.2 Ionizáló sugárzások

A 12,5 eV-nál nagyobb energiájú elektromágneses vagy korpuszkuláris sugárzás a különböző anyagokban, például az emberi szervezetben elnyelődve a molekulák atomjainak bontásával ionokat tud létrehozni, ezért ezeket a sugárzásokat *ionizáló sugárzásnak* nevezzük. Ionizáló sugárzásokat egyes radioaktív izotópok, illetve egyes gépberendezések (például röntgenkészülék) hoznak létre. A *radioaktív izotópokat* bomlásuk felezési idejével jellemezzük. A radioaktív izotópok rövid hatótávolságú (néhány cm) α -sugárzást (He atommag, azaz ${}^4\text{He}^{2+}$), hosszabb hatótávolságú (néhány cm és több méter között) β -sugárzást (az atommagból a bomlás pillanatában kilépő elektronok vagy pozitronok) és igen nagy hatótávolságú és áthatoló képességű γ -sugárzást (az atomból kilépő röntgensugárzás) bocsáthatnak ki, ezen kívül spontán maghasadáskor vagy neutron generátorok hatására neutronsugárzás is létrejöhet. A röntgensugárzás igen nagy energiát képvisel (keV nagyságrendű).

A sugárzások biológiai rendszerekre gyakorolt hatását gray (Gy) egységben adják meg, ami 1 joule/kg egységben elnyelt dózist jelent. A biológiai hatás erőssége egyenesen arányos az elnyelt energiával. A sugárzás okozta egészségi károsodásnak helyi (lokális) és az egész szervezetet érintő következményeit megkülönböztetjük. A < 250 mGy sugárdózis általában nem okoz egészségkárosodást, az 1 Gy értéknél nagyobb dózis már feltétlenül panaszokat okoz. A besugárzottak felét elpusztítja a 3 Gy értéknél nagyobb sugárzás és a 6 Gy nagyságú sugárzást senki sem éli túl. A kozmikus sugárzás és a Földkéreg sugárzása következtében állandó háttérsugárzásban élünk (kb. 1,02 Sv), amely az emberi tevékenység következtében nő.

A radioaktív sugárzás kétféle hatást gyakorolhat az emberi szervezetre. A *sugárkárosodás heveny hatása* magát a szervezetet károsítja, ez elsősorban a sugárzás membránkárosító hatásaira vezethető vissza. A heveny hatáson belül megkülönböztetünk a várható életkort megrövidítő és a várható életkort nem megrövidítő hatásokat. A *sugárkárosodás genetikai ártalmat okozó (mutagén) hatása* az utódokban érvényesül.

Még veszélyesebb hatása van az ionizáló sugárzásoknak, mert azok hatására ionizált szabad gyökök keletkeznek, amelyek nem kívánatos reakciókat idéznek elő az élő szervezetben. A sugárbetegség 600 R sugárártalom felett mutatkozik. Először émelygés, fejfájás és hasmenés jelentkezik, ezt követik a nyálkahártyákon kialakult fekélyek, amelyek először tetemes só- és vízvesztést idéznek elő, majd erős belső vérzéseket okoznak. A tönkrement csontvelő nem képes a vérsejtek pótlására. A halál általában a belső vérzések következtében áll be. A sugárbetegség során jelentős idegrendszeri károsodások is jelentkeznek. A különböző sugárzások szabad gyököket képesek létrehozni, ezek egészségkárosító hatásával már korábban foglalkoztunk. Ezekből a radioaktív sugárzás esetében elsősorban a membránkárosító hatás érvényesül. A radioaktív elemek közül különösen veszélyes a nagy sugárzóképeségű, de gyors felezési idejű (8 nap) jódtó, amely a pajzsmirigybe és a rendkívül hosszú, években mérhető felezésű stroncium izotóp, amely a csontokba képes beépülni

A sugárzás egészségkárosító hatása elleni védelemnek három fontos alapeleme van: *az idő, a távolság és az elnyelő réteg alkalmazása*. Az emberi szervezet radioaktív károsodása

nem sak a védelem fokozásával, hanem a szervezet érzékenységének csökkentésével is kivédhető, legalábbis csökkenthető. Ez a kémiai sugárvédelem, azaz radioprotekció. Ezek a vegyületek hatásukat csak profilaktikusan tudják kifejteni, azaz akkor, ha a sugárátalom idején már a szervezetben vannak. A biológiai rendszerekben előforduló vegyületek közül a ciszteamin és diszulfidhidat tartalmazó származéka, a cisztamin kiemelkedően jó, a triptamin, és a cisztein pedig jó sugárvédő hatással rendelkezik.⁵²

2.6 Az élelmiszerbiztonságot fenyegető kihívások

A környezetbiztonságot fenyegető egyik tényező az élelmiszerbiztonság helyzete. Az élelmiszerbiztonság egyrészt a mennyiségi hozzáférhetőséget, másrészt a minőséget jelenti.

2.6.1 Mennyiségi problémák

A népességnövekedés egyik legkritikusabb területe az élelmiszerhiány megjelenése. Jelenleg úgy fest, hogy a fejlett világban az élelmiszer-túltermelés, míg a fejlődőben élelmiszerhiány állandósult. A megbízható élelmiszer-ellátás az emberek biztonságérzetének egyik alapvetően meghatározó tényezője. A termőföld, mint az emberiség élelmezésének legfontosabb feltétele, kiemelt szerepet kap a szükségletek kielégítésében. A gondot a művelhető területek korlátozottsága, a környezeti problémák (például talajerózió), és az egy főre jutó termőterületek, valamint vízkészletek nagyságának folyamatos csökkenése okozza. Mindezek alapján az emberiség élelmezése, illetve annak konfliktusok nélküli biztosítása azon múlik, hogy az élelemtermelés volumene lépést tud-e tartani a népességnövekedéssel.

A fejlett országok korszerű agrotechnikájának eredménye a világ egészére érvényes élelmiszer-túltermelés. Egyes régiók a túltermelés okozta válsággal küszködnek. A lakosság táplálkozására itt a túlfogyasztás jellemző. Ez egyre súlyosbodó civilizációs ártalomnak bizonyul. A túlzott mértékű és egészségtelen összetételű táplálkozás (túl sok szénhidrát és fehérje fogyasztása), a kényelmes, mozgásszegény életmód veszélyt jelent a jólétben élők egészségére.

A fejlett országok lakóival ellentétben Földünk népességének nagyobbik csoportjában az élelemhiány okoz világméretű problémát. A fejlődő országok mezőgazdaságának termelése ugyanis nem tud lépést tartani a népességszám rohamos gyarapodásával. Ezekben a régiókban állandósult az élelmiszerhiány. A túlnépesedés talán legkegyetlenebb következménye az éhezés.

⁵² OSEPCCHUK J. M., (editor): *Biological Effects of Electromagnetic Radiation*. I E E E Press, New York, 1983.

A harmadik nagy csoportot a „rejtett éhezők” alkotják. Ők nem az elfogyasztott élelmiszer mennyisége, hanem annak minősége (a fehérjék, a mikroelemek, a vitaminok hiánya) miatt alultápláltak.

Az éhezõ országokban nagymértékû a csecsemõ- és a gyermekhalandóság, alacsony a születéskor várható élettartam. A gyerekekre jellemzõ a testsúly kóros mértékû csökkenése, ami az éhezés biztos jele. Legyengült szervezetük könnyen megbetegszik. A higiénia hiánya miatt is gyorsan terjednek a járványok.

2005 óta 75%-kal nõttek a világpiacon a mezõgazdasági termékek árai. A búzáé például 2006-ban és 2007-ben is csaknem a duplájára emelkedett. Az USA mezõgazdasági minisztériuma szerint 2007–2008-ban a raktárakban õrzött gabonakészletek nagysága hat évtizedes mélypontra csökkenhet (a világ vezetõ gabonaexportõrének számító országban). A kedvezõtlen idõjárás miatt Ausztráliában, Argentínában és Európában is kevés gabona termett. Ezért felerõsödött a verseny az amerikai exportért.

A gabonaárak emelkedése megdrágította a takarmányt, az pedig a hús- és a tejtermékeket. Az árak elszabadulásának két fõ oka van. Az egyik a gazdagodó latin-amerikai és ázsiai országokban hirtelen megnövekedett kereslet, a megváltozott étrend. Kína, India, Brazília (és Oroszország) vagyinosodó rétegei több és jobb minõségû élelmiszert képesek megfizetni. (A kínaiak 1985-ben még 20 kg húst fogyasztottak személyenként egy év alatt, napjainkban pedig 50 kg-ot. 1 kg marhahús elõállításához 8 kg gabona szükséges.)

A másik ok a bioüzemanyag elterjedése. A bioetanol elvonja a gabonaféléket az élelmiszerpiacról. A magas élelmiszerár mind a fejlõdõ, mind a fejlett országokban kedvez a farmereknek.

A világ élelmiszer-ellátásának biztonságát befolyásoló fontos tényezõ, hogy a termést mekkora hányadban állítják elõ fenntarthatatlan föld- és vízhasználattal. A gabonaföldek egy részén az erózió miatt nem lehet hosszú távon termeszteni. A természetbõl kiesõ földterület következményeként erõtéljesen csökken a termés mennyisége. A szántóföldek területét a talajerózió kívül erõtéljesen csökkentik a gomba módra szaporodó gyárak és raktárak, az egyre nagyobbra duzzadó városok, az autókõzpontú közlekedés, a bevásárlókõzpontok. A gazdálkodóknak a termõföld hiánya mellett a fenyegetõ vízhiánnyal is szembe kell nézniük. A népességszám növekedésével csökken az egy fõre jutó gabonaföld, de az egy fõre jutó öntözött terület is. Az öntözött területek nagysága feltehetõen elérte a maximumát. A világ vízfelhasználásának kb. 70%-a jut a mezõgazdaságra.

Ázsiában az autó a legerõsebb földigénylõ. Kínában 1995-ben még csak 2 millió gépkocsi volt. Az elõrejelzések szerint 2015-ben 100 millió lesz, ami hatalmas területet igényel az úthálózat, a parkolók, az üzemanyag-töltõk számára. Hasonló a helyzet Indiában is. Ráadásul az iparosodás, az infrastruktúra gyakran a legjobb minõségû földekre tart igényt. A következõ évtizedekben nagy feladat vár a globális élelmiszer-termelõ rendszerre. Gondoskodnia kell gyorsan szaporodó és egyre gazdagodó világnépességrõl. A világnak stratégiai célként kell kezelnie a fenntartható földmûvelést. Csak a földterületek megõrzésével biztosítható a következõ nemzedékek megélhetése. A szükségleteket kielégítõ területnagyság a mezõgazdasági hozamoktól is függ. A hozam növelése egy ideig még járható út. A megoldás lehetõségeit például az agrárkutatások fejlesztése,

a további nemesítés, a géntechnikák alkalmazása, a hatékonyabb öntözés, az édesvízi haltenyésztés kiterjesztése bővítheti.

A fejlődő országokban az élelmiszerválság alapvető okai: a tőke- és szakemberhiány, az elmaradott agrotechnika. Sok helyen ezt még tetézi a kedvezőtlen időjárás (árvíz, aszály) és egyéb természeti katasztrófák. A fejlődő országok számára segélyek helyett a fejlesztés forrásait kell biztosítani a korszerű és környezetkímélő agrotechnikák, termelési rendszerek átvételéhez. Ezek alkalmazásának elemi feltétele azonban a lakosság oktatási színvonalának emelése, a termelők érdekeltségének megteremtése. Azt is be kell látni, hogy a korszerű amerikai és nyugat-európai termelés nem ültethető át a fejlődő országokba. Egyrészt az eltérő természeti adottságaik, másrészt a termékek rendkívül drága eszköz- és energiaigénye miatt sem.

Az amerikai Országos Hírszerzési Tanács (National Intelligence Council, NIC) *Global Trends 2015* című jelentése szerint a mezőgazdasági termelési technológiák fejlődésének köszönhetően a világ gabonatermelése 2015-ig előreláthatólag ki fogja szolgálni a növekvő népesség élelmiszer-fogyasztását. Ennek ellenére úgy tűnik, az élelmiszer-elosztás és a hozzáférhetőség problémáján nem sikerül hosszú távon változtatni. A Világbank becslése szerint az élelmiszerkereslet 2030-ra 50%-kal fog megemelkedni a globális népességnövekedésnek, az életszínvonal-növekedésnek és az ázsiai, dél-amerikai közép-ostály a nyugati élelmiszer-fogyasztási trendekre történő áttérése miatt.

Afrika konfliktusokkal terhelt övezeteiben a következő 15 évben várhatóan 20% körüli mértékben emelkedhet a súlyosan alultáplált emberek száma. Azokon a területeken, ahol elnyomó kormányok vagy belső konfliktusok és tartós természeti katasztrófák súlyosbítják a helyzetet, akadályozzák a humanitárius segélyműveleteket, fennáll majd az éhínség veszélye, mint például Szomáliában, Csádban és Szudán déli részén. A segélyezők nyilván vonakodóbbak lesznek azon szituációkban, amikor erőfeszítéseiket fegyveres konfliktus nehezíti. A termelékenységi ráta génmódosított növényekkel való növelése lehetőséget adhat a fejlődő világ elszegényedett országaiban felmerülő élelmiszerigény kielégítésére.

A megművelhető földterületek és halászati lehetőségek csökkenése a jövő konfliktusainak lehetséges forrásai közé tartozik. Már napjainkban is komoly konfliktusokat válthatnak ki a földművelő, illetve a nomád állattartó népek közötti összetűzések. Az állattenyésztőnek legelő, míg a földművesnek jó minőségű föld és jó termésátlag kell a létfenntartáshoz. Szárazsággal megeshet, hogy az állattenyésztő más megművelt földjére tereli állatait, ebben az esetben pedig természetes, hogy a földtulajdonos minden eszközzel megpróbálja majd megvédeni a családjának megélhetését biztosító termést.

A halászat tekintetében a hagyományos halászati körzetek egy részén a halfajok kipusztulása vagy más térségekbe vándorlása várható, de egyre nagyobb problémákat okoz a túlhalászat is, amely radikálisan csökkenti egyes népszerű halfajok állományát. A halászok megpróbálhatnak új területeket keresni, ahol viszont nagy eséllyel más ország/ térség/vállalat halászlai dolgoznak majd, akik a halállomány csökkenésének elkerülése érdekében valószínűleg megpróbálnák távol tartani a „betolakodókat”.

A fejlődő világban a helyi élelmiszer-termelés fellendülését kell elérni, önálló, régióspecifikus út kimunkálásával. Jelenleg a nyugati országok mezőgazdasági termelése

olyan eszköz- és energiaigényes, hogy ennek a fejlődő országokra adoptálása eleve fenntarthatatlan fejlődési ívet eredményez. Az élelmiszersegélyek csak az akut krízishelyzetek megszüntetésére alkalmasak, hosszútávon nem oldják meg a problémákat. Összességében az élelmiszer biztonság mennyiségi oldala: élelmezés-biztonság: élelmiszer-ellátás elérhető áron.

2.6.2 Minőségi problémák⁵³

Az élelmiszer-biztonság lefedi az élelmiszer-ellátás folyamatában a fogyasztót veszélyeztető kockázatok csökkentését szolgáló minőségi követelmények teljes vertikumát. Gyakorlatiasabb megfogalmazásban jelenti a termőhelyek környezeti elemeinek tisztaságát, a termelésben alkalmazott anyagok minőségi előírásoknak megfelelő összetételét és előírászerű felhasználását, az egészséges, szennyeződéstől mentes alapanyagok higiénés előírások szerinti feldolgozását és szabályos forgalomba hozatalát. Az élelmiszerekről szóló 2003. évi LXXXII. törvény 2. §-a ezt így rögzíti: az élelmiszer-biztonság *„annak biztosítása a termelés, az élelmiszer-előállítás, a tárolás és forgalomba hozatal teljes folyamatában, hogy az élelmiszer nem veszélyezteti a végső fogyasztó egészségét, ha azt a rendeltetési célnak megfelelően készíti el és fogyasztja”*. Az élelmiszerláncba tartoznak az élelmiszer-termelés és -feldolgozás, valamint a forgalmazás piaci szereplői.

Ahhoz, hogy minden, a fentiekben rögzített érdekelt félre kiterjedő működőképés garanciarendszer legyen létrehozható, definiálni kell, mit értünk élelmiszer-biztonság alatt. Az élelmiszert vásárlók biztonságát a fenti aspektusból elemezve megállapíthatjuk, hogy azt a természeti környezetet, a növénykultúrákat, az állatok egészségét és az emberi egészséget veszélyeztető hatások kiküszöbölésével szavatolhatjuk. A környezetbiztonság megvalósulását az élelmiszer-biztonság az élelmiszerlánc környezetében esetlegesen fellelhető, az emberi szervezetre veszélyt jelentő mikrobiológiai, kémiai, radiológiai, fizikai szennyező anyagok élelmiszerekkel történő kapcsolatba kerülésének, illetőleg környezetbe jutásának elkerülése útján szolgálja.⁵⁴ Az Európai Unióban a környezetbiztonságot olyan képességként értelmezik, amely a környezeti erőforrások szűkössége ellenére környezeti károsodás elkerülésével képes a fejlődést biztosítani. A társadalom fenntartható fejlődésének gazdasági és környezeti vonatkozásai tehát szorosan összefüggenek a termelés és fogyasztás kérdéseivel.

A „termőföldtől az asztalig” elvvel összhangban a teljes élelmiszerláncot, benne a kereskedelmet is felölelő ellenőrzési rendszer képes csak szavatolni, hogy az állampolgár élelmiszerbiztonsághoz fűződő jogai ne sérüljenek.⁵⁵

Az élelmiszer-előállítással, -forgalmazással, -kereskedelemmel foglalkozók számára 2004. május 1. óta az EK 93/43/EEC direktívája előírása szerint kötelező a HACCP

⁵³ RODLER I.: *Élelmezéshigiéné*. (2. kiadás) Medicina Könyvkiadó, Bp., 1997.

⁵⁴ RODLER M.: *Az élelmiszerbiztonság kockázatának kérdései*. Konzervújság, 1994.

⁵⁵ BIRÓ G.: *Élelmiszer-higiénia*. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., 1994.

rendszer bevezetni és használni. A HACCP az angol Hazard Analysis Critical Control Points névből képzett mozaikszó. A magyar jelentése: Veszélyelemzés, kritikus szabályozási pontok. A HACCP az élelmiszerek előállításával, fogyasztásra való elkészítésével, felszolgálásával kapcsolatos előírási rendszer, amely az élelmiszerlánc minden eleméhez meghatározza a hozzá tartozó veszélyeket, a megelőzésükre szolgáló szabályozó módszereket, továbbá azon pontokat, azaz a „kritikus szabályozási pontokat (CCP)”, ahol a szabályozás segítségével a veszélyek megszüntethetők, vagy elfogadható szintre csökkenthetők.

A rendszer tartalmazza tehát a veszélyelemzés teljes körű végrehajtási módját, a kritikus szabályozási pontok meghatározását a teljes folyamatra, ezen pontokra a beavatkozási határok megállapítását, a CCP-k megfigyelő rendszerének a kialakítását, a tervezett vizsgálatok és ellenőrzések meghatározását, a kapott adatok feldolgozási szabályainak kidolgozását, a javítótevékenységek meghatározását, a dokumentációs rendszer kialakítását, a megtervezett rendszer bevezetését, a munkatársak oktatását és végül a rendszer működésének folyamatos, rendszeres ellenőrzését.⁵⁶

A HACCP-rendszer bár első megítélésre jó alapja lehetne így a vízbiztonsági tervek elkészítésében is, viszont ez a kockázatelemzési rendszer önmagában nem tanúsítható. Sem mint egy szabványügyileg elfogadható minőségügyi rendszernek, sem mint a 65/2009. (III. 31.) Korm. rendeletnek nem tehet eleget. Az ISO 22000:2005 élelmiszerbiztonság irányítási rendszer más irányítási rendszerekhez hasonlóan viszont már tanúsítható. A szabvány alapján deklarálnak, hogy a közreműködők a „termőföldtől az asztalig” (catering) képesek-e az élelmiszerjognak és a különböző előírásoknak megfelelő, ugyanakkor biztonságos terméket előállítani és forgalmazni. Az ISO 22000 szabvány képes az élelmiszerbiztonság és a minőségirányítás egyéb követelményeit ötvözni, és az élelmiszerlánc minden résztvevője számára alkalmazható. Az ISO 22000 szabvány egységes követelményeket határoz meg a HACCP tervre vonatkozóan és ez tanúsíthatóvá teszi a HACCP-t is, továbbá nemzetközi szinten elfogadott minőségügyi irányítási rendszerről van szó.⁵⁷

⁵⁶ Miért van szüksége az Ön vállalatának HACCP-re? <http://www.standardteam.hu/haccp-szolgalatas.html>, 2014. 02.06.

⁵⁷ ISO 22000 (MSZ EN 22000:2005) élelmiszerbiztonsági irányítási szabvány http://takibyte.hu/iso_22000.htm, 2014. 02. 06.

3. FEJEZET

A természeti erőforrások

A természeti erőforrásokat általában két főcsoportba szokás sorolni:

- ✿ nem megújuló (kimeríthető) és
- ✿ megújuló (ki nem meríthető) erőforrások csoportja.

A természeti erőforrásoknak négy alapvető funkciójuk különböztethető meg:

- ✿ anyagi jellegű inputok gazdasági tevékenységekhez (termeléshez, fogyasztáshoz);
- ✿ befogadó, puffer funkció (például hulladékok, szennyezőanyagok asszimilációja);
- ✿ alapvető ökoszisztéma szolgáltatások (például létfenntartó funkciók, tápláléklánc, biodiverzitás);
- ✿ kulturális, táji, esztétikai funkció (például rekreáció, oktatás, művészeti inspiráció stb.).

3.1 Nem megújuló természeti erőforrások

A kimerülő vagy végesnek tekinthető erőforrások a földkéreg mélyében különböző hőmérsékleten és nyomásviszonyok mellett, bonyolult átalakulási folyamatok eredményeként jöttek létre az állati és növényi eredetű anyagokból. Elméletileg ezek is újratermelődhetnek, de ez rendkívül lassú folyamat, amely a múltban több millió évig tartott. Ezért az ásványi eredetű fűtőanyagok – hasonlóan a fémek (érccek) és a nemfémek (agyag, homok) ásványokhoz – a nem megújítható erőforrásokhoz tartoznak. Következésképpen van egy mennyiségi korlát, ameddig végső felhasználásuk terjedhet, bár nem tudjuk sem azt, hogy hol van ez a határ, sem azt, hogy ezt mikor érzjük el. A jelenleg évente kitermelt fosszilis tüzelőanyagok fogyasztási nagyságrendje (rátája) szükségképpen befolyásolja azok jövőbeli kitermelési lehetőségeit, élettartalmát. Ezért kulcskérdés a várható időtartam meghatározása. A kérdés körüli vitának óriási irodalma van és egy fő tanulsága, hogy nem zárható le megtámadhatatlan válaszokkal. Vannak viszont olyan technológiák, amelyek a legtöbb fém újrafelhasználását jelentősebb minőségi romlás nélkül teszik lehetővé. A másodlagos felhasználással nyerhető anyagok jövőbeni aránya, mértéke a nyersanyagárak és a technológiák változásának függvényében alakul; többségében növekszik.

A fémek esetében globálisan, maximálisan 55%-ra becsülhető a másodlagos felhasználással nyerhető nyersanyagok megtakarítása.

Az utóbbi évtizedekben a termelés gyors növekedése következtében a világ minden országában megnőtt a természeti erőforrások igénybevétele. A népesség növekedésének

gyorsulása szintén a természet megterhelésének növekedéséhez és ennek következményeként a természeti erőforrások hasznosításával kapcsolatos problémák kiéleződéséhez vezetett.

A Római Klub kutatói az 1960-as évek végén olyan kérdésekre kerestek választ, hogy a már kialakult és jövőre előrevetített fejlesztési ütemek összhangban vannak-e a rendelkezésre álló erőforrásokkal és azok földrajzi eloszlásával?⁵⁸

A hatvanas-hetvenes éveket akár a világmodellek évtizedének is nevezhetnénk, hiszen a különféle szervezetek, intézmények megbízásából egymás után születtek a világ jövőjét felvázoló, a globális problémákat sorra vevő, megoldásukra is javaslatot tevő jelentések. Ha csupán egyet vizsgálunk meg, akkor is többé-kevésbé pontos képet lehet alkotni a világfejlődés neuralgikus pontjairól, még akkor is, ha közelítésmódjuk, céljaik és ennek következtében súlypontjaik nem esnek egybe. Több világmodellt, globális jelentést együtt áttekintve, egyértelműen kidomborodnak a legfontosabb területek, kiemelkednek a legélesebb problémák, megmutatkozik, hol a legsürgősebb a beavatkozás.

Rangsorolni nem érdemes, de bárki venné is sorra a világmodelleket, az biztos, hogy a környezet ügyét – a környezetszennyezés és környezetvédelem problémakörét – az első helyek valamelyikén említene. Mindegyik globális jelentés érezteti, s sok közülük meg is fogalmazza, milyen rendkívül fontos a környezet állapota a világ, az emberiség jövője szempontjából.

A világmodellek készítőinek egybehangzó véleménye szerint globális méretekben előretekintve nem kerülhető meg a környezet állapotának, romlásának tanulmányozása, hiszen e nélkül nehezen képzelhető el, hogy bármi érdemlegeset is mondjanak a jövőről, lévén a környezet annak generáló eleme, „szűk keresztmetszetté” válással fenyegető tényezője.⁵⁹

3.1.1 Népesedés és környezet

A népességnövekedés századunkban vált robbanásszerűvé, s ez napjainkban egyre fokozódó környezeti gondokat okoz. A Föld bármely körülhatárolt területén a lélekszám két folyamattól függ: a **természetes szaporodás** mértékétől és a **vándorlási különbözettől**. A természetes szaporodás az élve születések és a halálozások különbségéből adódik. Ha a születések száma tartósan meghaladja a halálozásokét, a népesség nő. A második folyamat a vándorlás. Ha a bevándorlók száma nagyobb, mint a kivándorlóké, az adott terület lakossága ugyancsak nőni fog.

A Föld egészét figyelembe véve – mivel az zárt rendszer – a születések és halálozások száma határozza meg, milyen előjellel és mértékben változik lakóinak száma. Ha azon-

⁵⁸ MEADOWS, D., RICHARDSON, J., BRUCKMANN, G.: *Sötétben tapogatózva. A világmodellezés első évtizede*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Gondolat Könyvkiadó, Bp., 1986, 53–138.

⁵⁹ HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem II.* Zrínyi, Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2007.

ban egy régiót veszünk vizsgálat alá, az nyílt rendszerként viselkedik, s a természetes szaporodás mellett a vándorlási különbözet is szerepet játszik a népességszám kialakulásában.

A demográfiai kutatások a *népesség növekedésének négy szakaszát* különböztetik meg.

Az első, nagyon hosszú szakaszban nagy volt a születések száma, de közel ilyen magas, sőt, egyes időszakokban magasabb a halálozásoké is, így a népesség lassan növekedett, olykor, pedig csökkent. A betegségek és az éhínségek gyakoriak voltak, a várható életkor mindössze 30 év körül lehetett. A fejlett országokban ez a szakasz az ipari forradalomig tartott, a fejlődő országok egy részében még századunk elején is ez volt a jellemző.

A második szakasz akkor vette kezdetét, amikor a társadalmi fejlődés magasabb szintre ért, javult az élelmezés és az orvosi ellátás, ezért a halálozások száma lényegesen csökkent. Eközben a születések száma továbbra is magas maradt, így a lélekszám rohamosan emelkedett. Ezen a szakaszon túljutott valamennyi fejlett ország, de a fejlődő országok közül a legtöbb még ebben a szakaszban van.

A harmadik szakaszban a tovább csökkenő halálozási arány mellett a születések száma is jelentősen csökken, így a népesség újra lassan gyarapodik. Napjainkban a legtöbb fejlett országra ez jellemző.

A negyedik szakaszban a születések száma olyan mértékben lecsökken, hogy nem éri el a halálozások számát, vagy azzal többé-kevésbé azonos (mindkét érték nagyon alacsony), így a népességszám stagnál, vagy kismértékben csökken. Viszonylag kevés ország érte el ezt a fejlődési szakaszt, s ezek Európában találhatóak (Németország, Magyarország, Ausztria, Dánia, Svédország).

A Földön tehát az első szakasz kivételével valamennyi népesedési szakaszban lévő ország megtalálható. Tekintettel arra, hogy a Föld népességének nagyobb része olyan országokban él, amelyek a második népesedési szakaszban vannak, bolygónk lakóinak száma ugrásszerűen növekszik.

1990-es adatok szerint a népességszaporodás üteme olyan nagy, hogy naponta 250 000 fővel többen élünk a Földön, ami évi 91 milliós növekedést jelent. Bár a növekedési ütem az egész Földre vonatkozva csökken, az már elég biztosnak látszik (ha kizárjuk a globális katasztrófa lehetőségét), hogy 2025-re legalább 3 milliárd fővel többen leszünk, de a szaporodás akár 4 milliárd is lehet.

Vannak becslések a távolabbi jövőre is, ezek azonban annál bizonytalanabbak, minél távolabb kerülnek az időskálán a jelentől. Legtöbbször ezzel a feltételezéssel kezdődnek: „ha a jelenlegi tendenciák nem változnak”. Úgy gondoljuk, ilyen leegyszerűsített becslésekkel fölösleges foglalkoznunk, mert a 21. században a jelenlegi tendenciák nagy valószínűséggel változni fognak.

3.1.2 A Forrester–Meadows világmodell⁶⁰

Érdekes viszont megismerkednünk a **Meadows-féle világmodell lényegével**, amely nagyon körültekintően, sokféle kiinduló és változó feltétel szerint elemzi a népesség jövő századra várható alakulását. A világmodell a 70-es évek elején a **Római Klub** megbízásából készült el. Létrehozói öt alapvető paramétert vizsgáltak, amelyekben belül azonban összesen 99 változót vettek figyelembe. Az öt paraméter a következő:

1. A világ népessége.
2. A nyersanyagkészletek.
3. Az egy főre jutó élelmiszerkészletek.
4. Az egy főre jutó ipari termelés.
5. A környezet szennyezettségi foka.

Ezekben belül, például a következő változók szerepelnek: lehetséges munkahelyek száma az iparban, a tőkeegységre jutó munkahelyek száma az iparban, a munkahelyek teljes száma, munkaerőlétszám, munkanélküliek részaránya, egy hektárra jutó mezőgazdasági munkahelyek száma, lehetséges munkahelyek száma a mezőgazdaságban stb.

A nyersanyagokkal kapcsolatban a következő változók jöttek számításba: meg nem újuló nyersanyagok, nyersanyag-felhasználási ráta, rendelkezésre álló nyersanyagok részaránya, eredetileg meglévő nyersanyagkészletek, nyersanyag-felhasználási faktor, nyersanyag-kinyerésre jutó tőkehányad stb.

A rendszerezett adatokat a lehető legsokoldalúbb elemzésnek vetették alá: az egymást kölcsönösen befolyásoló mennyiségek kölcsönhatásait messzemenően figyelembe vették. Mindenekelőtt kipróbálták a modell megbízhatóságát. Ezt úgy érték el, hogy a korábbi időpont adatait számítógépbe táplálva a jelenre adtak prognózist. Ilyen módon ellenőrizhető volt, hogy miben téved az előrejelzés.

Ilyen előzmények után különböző feltételezésekkel futtatták le a programot, s a jövő alakulására több változatot kaptak. E szerint a **normál világmodell** (a 70-es években ismert tendenciákra alapozva) azt mutatja, hogy az ipari termelés és az egy főre jutó élelmiszer-mennyiség kb. 2000-2010-ig nő, majd a kimerülő nyersanyagok miatt rohamosan csökken. *A népesség száma egy ideig még exponenciálisan nő, majd 2050 táján az éhínségek, és járványok hatására erősen csökken. A szennyeződések a népességcsökkenés kezdetén hirtelen mérséklődnek.*

A továbbiakban azt feltételezték, hogy a nyersanyagforrások „korlátlanok” (a nukleáris energia megkettőzi a feltárható tartalékokat, és lehetővé teszi az újrafelhasználást), a szennyezés-szabályozás megvalósul, és hatékony szünetésszabályozást vezetnek be. Ebben az esetben az ipari termelés a 21. század végén érne el a csúcspontját, az élelmiszer-termelés viszont hamarabb, 2030 körül. *A Föld népessége nem növekedne olyan ütemben, mint az előző modellben, de az élelmiszerhiány és a szennyezett környezet miatt a 21. század végén bekövetkezne a rohamos csökkenés.*

⁶⁰ FORRESTER, J. W.: *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge, 1971.

A Meadows féle világmodell **10. és 11. változata** az úgynevezett **stabilizált világmodell**. A **10. változatban** a szerzők többek között *azt feltételezték, hogy a népesség számának növekedése 1975-ben megáll* (ez már akkor is nonszensznek számított), 1990-ig stabilizálódik a tőke és az ipari termelés, szabályozzák a környezetszennyezést, az anyagokat újra feldolgozzák. *Ez a változat 2100-ig egyensúlyi állapotot mutatott.*

A **11. változat** alapelveiben hasonló, de a növekedés korlátozásának időpontját nem határozták meg olyan mereven, mint a 10. változatban, azt késleltetésekkel építették be a modellbe. *Az eredmény, hasonló volt az előzőhöz, de a népesség száma magasabb, az ipari termelés állandósult, amiből az is következett, hogy az átlagos életszínvonal ebben a modellváltozatban is alacsonyabb volt.*

A Meadows-féle jelentés végkövetkeztetése annak címéből is kiolvasható: **„A növekedés határai”** (*The Limits to Growth*). Vagyis a krízis csak úgy kerülhető el, ha az emberiség lélekszámát, termelő és fogyasztó tevékenységét mielőbb korlátozza. A modell óriási vitát váltott ki a tudósok körében. Maguk a modellkészítők is egyetértettek abban, hogy sok fontos tényezőt (részben azért, mert nem lehetett azokat számszerűen kifejezni), mint például az alkalmazkodás regionális különbségeit, a társadalmi különbségeket, vallási tényezőket stb.

Többen kifogásolták, hogy a Föld és a rajta lejátszódó természeti és társadalmi folyamatok nem homogének, azaz területileg szétszórtan jelentkeznek, így valószínű, hogy ha a modellben előre jelzett krízis bekövetkezne is, a helyi katasztrófákkal kezdődne, ill. lokális krízisek sorozata játszódna le. Vannak és voltak a modellel kapcsolatban fatalista álláspontok is. Az ilyen vélemények szerint az ember képtelen saját sorsának az egész bolygóra kiterjedő irányítására, és az egyetlen, amit tehet: várja, hogy mi fog történni.

Hosszabb távú prognózist a meteorológusoknak sem sikerült felállítaniuk, miért sikerülne ez egy világmodell esetében, amelynek egy sokkal bonyolultabb rendszer működését kellene előre jeleznie. (Megjegyezzük, hogy a világmodellek eltérő feltételek mellett különböző, lehetséges jövőképeket mutatnak be, tehát alapvetően különböznek a meteorológiai prognózisoktól).

3.1.3 Újabb modellváltozatok

A Római Klub **Pestel** és **Mesarovič**⁶¹ bírta meg egy újabb jelentés elkészítésével. Ők külön tanulmányozták a fejlődő és iparilag fejlett országokban lejátszódó folyamatokat, sőt ennél finomabb regionális bontást is alkalmaztak. Az ugyancsak számításokon alapuló tanulmány végső soron megerősítette a Meadows-féle modell végkövetkeztetéseit, miszerint a jelenlegi növekedés folytatása előbb-utóbb óriási hanyatláshoz vezet.

A sokak által és sokat vitatott, de nagy jelentőségű Meadows-féle világmodell jelentőségét az alábbiakban foglalhatjuk össze:

⁶¹ MESAROVIC, M. D., PESTEL, E.: *Mankind at the Turning Point*. Dutton, New York, 1974.

1. Felhívta a figyelmet arra, hogy a gazdasági fejlődésben és a népesség növekedésében a jelenlegi tendenciák (70-es évek eleje) **nem tarthatók fenn hosszú ideig**. (Ez még ma is érvényes megállapítás).
2. Az első olyan modell volt, amely széles körű adatbázisra támaszkodva, rendszerszemléletű megközelítésben, egzakt módszerek felhasználásával készített **globális szcenárióváltásokat** az emberi társadalom fejlődéséről.
3. Felhívta a figyelmet egy – történelmi léptékekkel mérve – **közelgi veszélyre**, amely **bekövetkezik**, ha az emberiség nem tesz ellenintézkedéseket.
4. Rámutatott arra, miszerint a környezeti problémák megoldása **új megközelítési módokat** és hatékony **társadalmi cselekvést** igényel.

Meadows és munkatársai húsz évvel később megismételték a számításaikat a közben eltelt idő eseményeinek figyelembevételével. Amikor az újabb (1990-es) adatokat betáplálták a számítógépbe, s az első eredményeket megkapták, látszott, hogy az emberiség a 70-es évek elején elemzett helyzetéhez képest új viszonyrendszerbe került környezetével. Egyre többen és többen foglalkoznak globális szinten is a környezeti problémák megoldásával. Ennek eredményeként sikerült javítani például az energiaszolgáltatás hatékonyságán, kifejlesztettek új, környezetkímélő anyagokat és technológiákat, nemzetközi egyezmények születtek a Föld egészét érintő problémák megoldása érdekében. A kedvező jelenségek mellett azonban léteznek a régóta megfigyelt folyamatok is: szegénység, erőforrások pazarlása, több szennyezőanyag környezetbe kerülése stb. Ezek a folyamatok viszont tovább csökkentették a Föld „életfenntartó kapacitását”.

Meadows és munkatársai ezért újabb, teljes körű elemzést végeztek, melyben 14 féle feltételrendszerrel futtatták le a számítógépes programot. Az alapvető kérdés, amelyre a választ keresték: *van-e még elég ideje az emberiségnek, hogy a világméretű katasztrófához vezető folyamatokat lefékezze, és elkerülje ezt a katasztrófát?*

A „**nulladik**” modellváltozatról eleve tudták, hogy valótlan feltételezésből indulnak ki. Ugyanis a Földet végtelennek tekintették. Ebben az esetben a népesség kb. 15 milliárdra emelkedne, aztán egyensúlyi állapotba kerülne. A gazdaságban akadálytalan lenne a növekedés, ezért 2100-ban 55-ször annyi terméket állítana elő, mint 1990-ben.

Ez a modell nem vette figyelembe a valós korlátozó tényezőket, ezért az így kapott eredmény teljesen irreális.

Az **1. modellváltozat (úgynevezett normál modell)** esetében az emberiség továbbra is úgy viselkedik, ahogy megszokta, nem vezet be alapvető változtatásokat a környezethez való viszonyában, a népesedési folyamatokban. Ebben az esetben a 21. század elején (2020–2030 körül) megindul a hanyatlás, a népesség csökkenése, s egészen a század végéig tart. Ekkorra a várható lélekszám és az élettartam is alacsonyabb lesz, mint 1990-ben volt. A szerzők hangsúlyozzák: *nem ez fog bekövetkezni*, de ha a jelenlegi tendenciák tovább folytatódnak, *ez következne be*.

A **2-5. modellváltozatokban** olyan adatokkal futtatták le a programot, amelyek az erőforrások lényeges növekedését, a környezetszennyezés elleni hatékony intézkedéseket, új technológiákat, a terméshozamok emelkedését és a talajerózió elleni védekezést

feltételezték. Ebből az következett, hogy még a 21. század folyamán bekövetkezne az általános gazdasági hanyatlás és a népesség csökkenése.

A **6. modellváltozatban** az előző feltételeket az erőforrások egyre hatékonyabb felhasználásával bővítették. Ebben a szimulált világban a környezetszennyezés elleni hatékony intézkedések, a mezőgazdasági hozamok növelése, a talajvédelem és az erőforrások kímélése jellemző. Mindehhez tökére van szükség, és két évtized múlva az intézkedések hatása érezhető lesz. Ilyen körülmények között a népességszám a 21. század közepén elérné a 10 milliárdot, majd a növekedés erősen lelassulna, végül megállna. A gazdaságban ennél korábban jelentkeznének a gondok: az ipari termelés, a megtermelt javak, mennyisége csökkenne, ezzel együtt az életszínvonal és a várható élettartam is alacsonyabb lenne.

Ha a 6. modellváltozat intézkedéseit sikerülne olyan gyorsan meghozni, hogy már 5 év után éreztetnék hatásukat, akkor az ipari termelés 20 évvel hosszabb ideig nőne, a népesség pedig 2 milliárddal több lehetne. (**7. változat**)

A **8. modellváltozattól** kezdve az előzőkhöz képest új feltételként vették figyelembe a születésszabályozás bevezetését. Ezt kombinálták valamelyik korábbi feltétellel, vagy feltételekkel.

Figyelemre méltó a **10. modellváltozat**, melyben a feltételek a következők: születés- és termeléskorlátozás, szennyezést csökkentő technológiák, erózió elleni védelem, erőforrás-kímélés jellemezné a világot már 1995-től kezdődően. Ilyen körülmények között, a népesség lassan 7,7 milliárdra emelkedne, s jó életszínvonalon élhetne. A várható átlagos élettartam magas lenne, s a környezetszennyezés kb. 2030-tól fokozatosan csökkenne. Ez az állapot legalább 2100-ig fenntartható lenne. Meadows és munkatársai oly módon is lefuttatták a programot, hogy azt feltételezték: a fent említett intézkedéseket csak 2015-ben fogják meghozni. Ebben az esetben a népességszám, az ipari termelés és a környezetszennyezés túl magas értékeket érne el. Még a hatékony technológiák sem tudnák megakadályozni a gazdasági hanyatlást és a népességszám csökkenését, amely a 21. század második felében bekövetkezne. A század végén azonban újabb fellendülés kezdődhetne.

Az előzőekben vizsgált modellek tehát a következőképpen látják az emberiség helyzetét és jövőbeli feladatait:

1. Több természeti erőforrás felhasználása és a nehezen bomló káros anyagok környezetbe bocsátása már túllépte a megengedhető határokat. Ha ezeknek az anyagoknak az emissziója és az energiafelhasználás nem fog lényegesen csökkenni, a következő évtizedekben ellenőrizhetetlen visszaesés fog bekövetkezni az élelmszer-termelésben, a hozzáférhető energiákészletekben és az ipari termelésben.
2. Ez azonban elkerülhető, ha két alapvető változtatást megvalósítunk: átfogóan revidáljuk azt a politikai gyakorlatot és azokat a módszereket, amelyek elősegítik a népességszám és fogyasztás növekedését; emellett jelentősen növeljük az energiafelhasználás és az anyagi erőforrások hasznosításának hatékonyságát.
3. A technika és a gazdaság fejlettsége még ma is lehetővé teszi egy hosszú távon létezni képes társadalom megvalósítását. Ez nem lehet olyan társadalom, amely problémáit állandó expanzióval kívánja megoldani, emellett olyannak kell lennie,

amely az életet jobban tiszteli. Egy ilyen társadalom megköveteli a rövid távú és hosszú távú célok összhangba hozását, biztosítani kell a lakosság elégséges ellátását, az igazságos elosztását, a megfelelő életminőséget, mindezt kisebb árutömeggel.

Ezek a végkövetkeztetések nem jelentenek prognózist, hanem egy olyan figyelmeztetést, amely egyúttal jelzi a kivezető utat is. Három alapvető gondolati modell lehetséges:

Az egyik azt hangsúlyozza, hogy véges világunknak *de facto* még sincs határa. Ezt a modellt követve biztos bekövetkezik az összeomlás.

A másik gondolati modell szerint a határok léteznek, és annyira megközelítettük azokat, hogy már nincs elég időnk cselekedni. Ez a modell is összeomláshoz vezet.

A harmadik modell szerint is léteznek határok, de még van idő a cselekvésre. Van elég energia, nyersanyag, pénz, környezeti kapacitás és emberi képesség arra, hogy alapvető változtatásokat valósítsunk meg, az emberiség harmadik nagy forradalmát: a környezeti forradalmat. Elvileg ez a modell is lehet téves, de a szerzők szerint minden jel, minden globális adat és a számítógépes elemzések is valószínűvé teszik, hogy ez a gondolati modell egy élhető jövő felé mutat.

A hetvenes évtizedre kérdésessé vált, hogy elegendőek-e az ásványi erőforrások a világ jövőbeni növekedése által teremtett igények teljes körű kielégítésére? Számos kísérlet történt a várható élettartam, a végső felhasználási időpontok becslésére, nagy többségben más és más eredménnyel. Ezt a változatosságot nem annyira az alkalmazott számítási módszerek és a jövőbeni technika gazdasági változásokra vonatkozó kiindulási feltételezések eltérése eredményezte, hanem inkább a meglévő erőforrások és a jövőbeni kereslet becslésének bizonytalansága. Ezért, egyebek mellett az alábbi tényezők a felelősek:

- ✿ nem ismerjük az új bányászati technológiák hatását, amelyek befolyásolni fogják a jövő bányászatát, annak kitermelési költségeit;
- ✿ a napjainkban ismert ásványkészletek a jövőben éppen úgy, mint a múltban új felfedezéssel bővíthetnek, amelyek mértéke bizonytalan;
- ✿ végül a felhasználásban az egyes nyersanyagok, technológiák, az arányok változása miatt helyettesíthetik egymást, amit szintén nehéz lesz előre látni.

3.1.4 A szűkösség és a helyettesíthetőség problémája

A kimeríthető erőforrásokkal szorosan összefügg a szűkösség problémaköre, hiszen azok az erőforrások, amelyek korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre, egyszer elfogy-
nak. A szűkösségnek alapvetően két típusát különböztetjük meg:

- ✿ a fizikai szűkösséget (ez mennyiségi korlát);
- ✿ az ökonómiai szűkösséget (ekkor az erőforrásnak 0-nál nagyobb ára van, többnyire erőforrás-járadék vagy bérleti díj keletkezik).⁶²

⁶² KERÉKES J., SZLÁVIK J. : *A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei*. KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft. Bp., 2003.

A szűkösen rendelkezésre álló erőforrások egyáltalán nem, vagy csak nagyon nehezen helyettesíthetők. Ennek ellenére ismertek az erőforrások szűkösségét enyhítő tényezők:

- * a technológiai újítások;
- * az erőforrás-kinyerés hatékonyságának növelése;
- * a helyettesítést elősegítő technológiák fejlődése;
- * a helyettesítés elősegítése a fogyasztásban;
- * a hulladékok, illetve maradványanyagok újrahasznosítása.⁶³

Abban az esetben, ha ez ilyen egyszerű volna, akkor egyik napról a másikra megoldódnának a problémáink, azonban számos nehézség van az erőforrás szűkösségének csökkentésében:

- * szennyező lehet és erőforrásigényt támaszt;
- * visszafordíthatatlan változást okoz (fajok kipusztulása);
- * a helyettesítés nem lehet teljes körű.⁶⁴

A várható élettartam meghatározása

A várható élettartam két tényező alapján számítható:

1. a készlet nagysága,
2. a várható fogyasztás.

A készlet meghatározásához kiindulási alapul szolgálhat: a teljes erőforrásbázis kiszámítása, a biztos készletek (műrevaló vagyon), a tartalék- és a reménybeli vagyon mértékének a felbecslése, meghatározása.

A teljes erőforrásbázis meghatározása⁶⁵

A legösszetettebb – igaz csak elméleti értékű – megközelítést a teljes erőforrásbázis kiszámítása jelenti. Ez úgy határozható meg – nem tüzelőanyag jellegű ásványoknál –, hogy az 1 tonnányi földben található elemi mennyiségeket megszorozzák a földkéreg 1 km mélységig terjedő mennyiségével.

Mivel az „elemi” készleteknek a technikai haladás ellenére is csupán elenyésző része lesz a gyakorlatban kihasználható, a kapott becslések nagyon optimisták. Ezzel szembeállítható azonban, hogy az elemi ásványok a felhasználás során nem semmisülnek meg, újrafelhasználásuk elméletileg lehetséges, tehát a kapott élettartamok nagyon is pesszimisták. A valóság viszont az, hogy a teljes erőforrásbázis kiszámításának az elmélete még az elemi ásványok esetében is megkérdőjelezhető. Ugyanis a nagyon alacsony koncentrációjú ásványok esetében nem tudhatjuk, hogy a technikai fejlődés egyáltalán lehetővé teszi-e majd a kitermelést olyan költségek mellett, amelyek a termékekre irá-

⁶³ CSETE M., HARAZIN P., SZENDRŐ G.: A természeti erőforrások fenntartása. Szerk. Pálvölgyi T., NFFT Műhelytanulmányok 3., BMGE Env in Cent Kft., Bp., 2011.

⁶⁴ SZLÁVIK J.: *Környezetgazdálkodás*. KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft. Bp., 2005.

⁶⁵ KERÉKES J., SZLÁVIK J.: *A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei*. KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft. Bp. 2003.

nyuló keresletet fenn képes tartani. Még bizonytalanabb az egyes fosszilis energiaforrások erőforrásbázisának a meghatározása. Ez esetben a becsléseket a lehetséges jövőbeni feltárásokról mostani ismereteink, azaz a múltbéli fejlődés tapasztalatai motiválják.

A következő kategória az ismert és biztos készlet. Ez három csoportra osztható:

1. a rentábilisen kitermelhető rész, ez a műrevaló vagyon,
2. a rentabilitáshoz közel álló vagyon, ez a tartalékvagyon,
3. a hosszabb távon sem rentábilis (szubmarginális) vagyon.

A műrevaló vagyon a már feltárt és a mindenkori kereslet, ár és technológiai színvonal mellett gazdaságosan kitermelhető lelőhelyek ásványvagyonát foglalja magában. A kitermelésnek az egyik alapvető feltétele az elérhető nyereség, a kitermelés gazdaságossága, amely a műrevalósági mutatóval mérhető.

A hazai ásványvagyon gazdasági értékelését minden vizsgálatkor két gazdasági paraméter, az úgynevezett költséghatár és a reálköltségek kiszámításával és összehasonlításával végzik. A termelési költséghatár annak a legkedvezőtlenebb erőforrásnak a reálköltségeivel egyenlő, amelyre a vizsgált időpontban fennálló igények kielégítése érdekében még szükség van. Az egyes előfordulási egységek akkor tekinthetők kitermelésre érdemesnek, vagyis minősülnek „műrevalónak” ha a reálköltségük (vagyis az adott tömbre tervezhető, az ismert alkalmazott technológiák alapján szükséges költségszint) a költséghatár alatt marad.

Ha $M > 1$, az ásványvagyon műrevaló, ha $M < 1$, műrevalótlan minősítésű. Minél nagyobb mértékben haladja meg a költséghatár a reálköltség mértékét, annál magasabb fokon műrevaló, vagyis annál értékesebb a vizsgálat tárgyát képező ásványvagyon. Ennek kifejezésére szolgál az „in situ” érték (E). Ez úgy határozható meg, hogy a reálköltségeket kivonjuk a költséghatárból, és a különbséget megszorozzuk a szóban forgó vagyon mennyiségével (Q).

$$E = Q(w-k) [Ft] \quad (3.1)$$

A vázolt értékelési módszer lényegéből következik, hogy egy-egy előfordulás „in situ” értéke időről időre változik (változnak a költségek, árak stb.).

Azok a készletek kerülnek a nemzeti vagyonba, amelyeknél a kitermelési költségek a költséghatár alatt vannak. Ez az értékelés csak az ásványvagyon jelen értékének számításához, illetve a bányászat során képződő bányajáradék képződéséhez ad támpontot. A jövőbeni bányanyitás gazdaságosságának a megítéléséhez azonban nem. (Problematikus a költségek 5-10 évre való előrejelzése, illetve a bánya több évtizedes élettartamára vonatkozó árak prognosztizálása.) Ezek alapján vitatható a bányajáradék nagyságának meghatározása. A marginális bánya az a bánya, ahol nem képződik járadék, de képződik normatív nyereség. A bányajáradék azzal a felhalmozható jövedelemrészsel egyenlő, amely meghaladja a normatív nyereséget (átlagos profitot). A bányajáradék nagysága függ:

- * az ásványvagyon nagyságrendjétől;
- * a geológiai viszonyoktól;
- * a kitermelés gépesíthetőségétől; a biztonsági és környezetvédelmi költségek alakulásától;

- ✿ a telepek minőségétől, például az ércek fémtartalmától, vagy az energiahordozók fűtőértékétől.

Az a (magán vagy állami) bányatulajdonostól függ, hogy milyen normatív nyereséget vár el és emiatt mi minősül gazdaságosnak. A piac szabad működése esetén nincs egyértelmű mérce egyetlen erőforrás biztos készleteire sem.

A biztos, gazdaságosan kitermelhető készletek mértéke bármely időpontban az alábbi tényezőktől függ:

- ✿ a keresleti szinttől, ami viszont sok összetevőből áll: jövedelem szint, gazdaságpolitika, fogyasztói ízlés, helyettesíthető termékek árszínvonala;
- ✿ a kitermelési és feldolgozási költségektől: ezeket részben a lelőhely természeti, geológiai adottságai, a telepek minősége, vastagsága, vízbefolyása stb., részben pedig a termelés többi tényezője (munkaerő, beruházási alapok) költségeinek az összessége adja;
- ✿ az erőforrástermékek árától: amely tükrözi a kereslet és a kínálat viszonyát;
- ✿ a helyettesítő termékek kínálatától és árától: ezt a mindenkori technológiai ismeretek befolyásolják, de az újrafeldolgozott nyersanyag költsége is hatással van rá.

A tartalékvagyon

A kutatásokkal feltárt készleteknek a következő kategóriáját a tartalékvagyon képezi. A tartalékok olyan lelőhelyek, mezők, amelyeket már felfedeztek, de az adott időpontban érvényes árszínvonal, valamint a rendelkezésre álló kitermelési technológia mellett nem aknázhatók ki gazdaságosan. A műrevalósági mutatójuk 0,8–1,0 között van.

A reménybeli vagyon

Végül azokat a lelőhelyeket, amelyeket csak földrajzilag határoltak be vagy még úgy sem, és felfedezésükre a jövőben számíthatnak, a reménybeli vagyon kategóriájába sorolhatjuk. Ezek a reménybeli készletek földtani megfontolások alapján becsült nagyságrendek.

A jövőre vonatkozó észrevételek

Figyelembe véve azokat a lehetőségeket, amellyel a társadalom a technika fejlődésének az eddigi tapasztalataira támaszkodva rendelkezik; teljesen valószínűtlen a Föld jelenleg ismert nyersanyagtartalékainak 100 éven belüli kimerülése. A jövőre vonatkozó szempontok:

- ✿ a technikai fejlődés;
- ✿ a fejlődő országoknak az ásványvagyonra alig ismert;
- ✿ elérhető közelségben van a tengerek és óceánok ásványanyagainak, növényi és állati nyersanyagforrásainak széles körű felkutatása és kitermelése;
- ✿ a világ szénhidrogén- és szénvagyonra több évtizedre elegendő: az uránércben levő energiának pedig jelenleg csak töredékét hasznosítjuk;
- ✿ a napenergia elméletileg a világ energiaszükségletének sokszorosát képes fedezni;
- ✿ a termőföldek hozamának növelése még messze van a lehetséges maximumtól.

A világgazdaság szerkezeti átalakulásának egyik jellegzetessége a természetierőforrás-igényes ágazatok (kohászat, élelmiszeripar stb.) arányának csökkenése.

Magyarország geológiai feltártsága

Hazánk geológiai feltártságát tekintve a legjobban megkutatott országok közé tartozik. A felszínközeli rétegek mintegy 50%-ának földtani ismertsége az utóbbi 25 évben végzett térképezések alapján – jónak mondható. A másik 50%-a csak a régebbi (40-50 éves) kutatások helyzetét tükrözi. Rosszabb a helyzet a felszín alatti, mélyebb rétegek ismeretében, ahol intenzív kutatások a hasadóanyag-, feketeköszén- és bauxitkutatás területén voltak 400-500, ill. 1000-1200 mélyséig. Az úgynevezett medenceterületek (szénhidrogén-kutatás) földtani ismeretsége sem teljes körű, bár itt is jelentős előrelépés történt (például makói gázlelőhely), bátran kijelenthetjük azonban, hogy meglepő, új „nagy felfedezésnek” nincs sok valószínűsége.

3.2 A ki nem meríthető erőforrások

Az erőforrások másik csoportját képezik a megújuló erőforrások, amelyek megfelelő védelem és technológia mellett képesek a megújulásra.

A véges erőforrásokhoz hasonlóan, viszonylag korán felmerült a kérdés: mekkora erőforrás-kapacitásra, potenciálra van szükség az emberiség ellátásához? A ki nem meríthető erőforrások – a termőföld, a víz, a levegő, a napsugárzás stb. – ki tudják-e elégíteni az egyre növekvő igényeket és egyáltalán, Földünk biológiai potenciálja mekkora népességet képes eltartani? A korlátozott erőforrásokat és a népesség exponenciális növekedését szem előtt tartva elkerülhetetlen az egy főre jutó termék csökkenése, egészen addig, amíg az éhezés és a betegségek vissza nem állítják az egyensúlyt az erőforrások és a népesség száma között.

Az előzőekben tárgyalt világmodellek éppen erre a kérdésre keresték a választ, és minden problémájuk ellenére rámutattak a Föld korlátozott eltartó képességére.

A mai helyzet jellemzői

Újabban a technikai fejlődés bővületében a megújuló erőforrásokról – mint például a Nap, a tengermozgás, a szél – születtek és születnek olyan becslések, amelyek az energiaforrások bőségéről számolnak be. E becslések szerint a Napból nyerhető teljes energiamennyiség 10 milliószor nagyobb energiafelhasználást tenne lehetővé, mint a jelenlegi. Arról persze a becslések nem szólnak, hogy az ember hogyan tudja ezeket az erőforrásokat energiává átalakítani, költségeit és a környezeti károkat elviselni.

4. FEJEZET

Az energiabiztonság problémája

Energiaforrásoknak a természet olyan anyagi rendszereit tekintjük, melyekből technikailag hasznosítható energia nyerhető, az adott társadalmi, politikai, műszaki fejlettségi stb. körülmények között gazdaságosan. A primer és szekunder energiaforrások megkülönböztetése azon alapszik, hogy milyen állapotváltoztatások szükségesek ahhoz, hogy a természetben talált energiaforrás technikai rendszerek energiái inputjaként hasznosítható legyen. A közvetlen hasznosítás igen ritka (különösen, ha figyelembe vesszük, hogy általános technológiai értelemben a szállítás és a tárolás is állapotváltoztatás). Primer energiaforrásokra jellemző, hogy technológiai hasznosításukat csak fizikai átalakítás előzi meg. A primer energiahordozóra legkézenfekvőbb példa a szén. A mosásból, a meddtől való szétválasztástól, a töréstől és az osztályozástól eltekintve a szén ugyanabban a kémiai alakban kerül felhasználásra, mint ahogy kibányásszák. A földgáz is ehhez hasonlóan csak kisebb mértékű technológiai kezelést igényel, el kell távolítani a korrozív szennyezőket. Primer energiahordozónak tekintik a kőolajat is, mivel a finomítóban fizikailag választják szét az egyes komponenseket (benzin, petróleum, gázolaj stb.), és eközben a komponensek kémiai összetétele nem, vagy gyakorlatilag alig változik. Mivel a kőolaj tömegkomponensei más kémiai összetételűek, mint maga a kőolaj, egyes szerzők ezeket is szekunder energiaforrásoknak tekintik.⁶⁶

Szekunder energiahordozó a koks, a kőszénleparlás eredménye, s a kokszolás mellékterméke a városi gáz is. Szekunder energiaforrás a villamos áram. (Érdekességként említjük meg, hogy néha a villamos áramot, s általában azokat az energiaforrásokat, melyek közvetlen hasznosításakor már nem állapítható meg, hogy milyen természeti energiaforrásból származnak – a villamos áramot előállíthatták atom- vagy vízerőműben stb. –, tercier erőforrásnak is szokták nevezni, hasonlóan a hőszolgáltatás energiahordozó közegeihez.)⁶⁷

A Nemzetközi Energia Ügynökség évente nyilvánosságra hozott jelentésében (IEA-WEO: International Energy Association World Energy Outlook) a világ energiataartalékainak és energiaszükségleteinek alakulását becsüli az elkövetkező évtizedekre. A párizsi székhelyű szervezet szerint a világ népességének 1,7 milliárd fővel történő növekedése várható 2010 és 2035 között. Így 2035-ben a Föld lakóinak száma már jelentősen meg-

⁶⁶ Kovács Ferenc: *Szösszenetek a nemzeti energiastratégia (2030) kapcsán*. Magyar Tudomány 2012/12., 1–5.
Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020. Bp., 2008. július.

⁶⁷ *Klíma. Az üvegházhatású gázok kibocsátás csökkentésének energetikai vonatkozásai, Éghajlat-politikai háttér tanulmány* Rev. 1 M. Sz.: 6233.

haladja majd a 8,5 milliárd főt. A népességnövekedés jelentős része Ázsiából és Afrikából származik. Például India lakosainak száma – az előrejelzések szerint – meghaladhatja majd az 1,5 milliárd főt, nagy valószínűséggel megelőzve ezzel Kínát is 2025 körül. Természetesen a népesség vázolt ütemű növekedése magával vonja a világ energiaigényének jelentős növekedését is. Ezt a folyamatot tovább erősíti, hogy a népességnövekedéssel párhuzamosan várhatóan az urbanizációs ráta értéke, azaz a városiasodás mértéke is jelentősen emelkedik. Az energiára vonatkozó előrejelzések egy másik sarkalatos pontja az energiaárak alakulása.

A jövőben várható változások elemzésére három különböző forgatókönyvet állítottak fel:

1. napjaink energiapolitikája nem változik;
2. az energiapolitika jelentősen megváltozik;
3. az energiaszektor szinte teljesen átalakul.

Az előrejelzések értelmében az energiaárak az elkövetkező 25 évben rendre jelentős emelkedést, gyenge növekedést, illetve csökkenést mutatnak az egyes szcenáriók függvényében (IEA-WEO, 2012). A világ primer energiaigénye 2010 és 2035 között várhatóan 25–42%-kal növekszik. Ez az igény a leggyorsabb emelkedést mutató, napjaink energiapolitikájára épülő forgatókönyv szerint évente 1,5%-kal, az energiapolitika megváltozását feltételező forgatókönyv szerint 1,2%-kal, az energiaszektor jelentős átalakítását előrevetítő szcenárió szerint pedig csupán 0,6%-kal emelkedik. Ezek alapján a globális energiaigény elmúlt két évtizedben tapasztalt évi 1,6%-os növekedési ütemében jelentős mértékű lassulás várható (IEA-WEO, 2012).

A közepesnek mondható, új energiapolitikát feltételező forgatókönyv szerint a jövőben várható energiaigény 59%-át a fosszilis energiahordozók biztosítják. Az energiaforrások közül továbbra is a kőolaj tölti be a legfontosabb szerepet, de részaránya a 2010-es 35%-os értékről 2035-re 27%-ra csökken. A szénalapú energiatermelés növekedési üteme is várhatóan fokozatosan lelassul az elkövetkező 25 évben. Ezzel párhuzamosan jelentős emelkedés várható a földgáz felhasználásában.

Az előrejelzések szerint 2035-re a megújuló energiaforrások részaránya a 2010-es 13%-ról 2035-re eléri a 18%-ot. A várható gyors emelkedési ütem a fosszilis energiahordozók drágulásával és a megújuló technológiák árának jelentős csökkenésével magyarázható.⁶⁸

A globális energiafelhasználás 12%-át a nukleáris energia biztosíthatja 2035-ben. Az addig üzembe helyezett erőművek összteljesítménye 580 GW-ra tehető, melynek jelentős részét (116 GW-ot) a kínai fejlesztések teszik ki. Várhatóan Korea, India és Oroszország is jelentősen növeli a nukleáris energiatermelését. A 2011 márciusában Fukushimaiban történt baleset miatt azonban ezen előrejelzések pontossága megkérdő-

⁶⁸ JOBBÁGY Sz.: *Hazai és EU energiabiztonság és a megújuló energiaforrások*, Hadmérnök 5 (3) 47–62 (2010).

jelezhető, hiszen a történet hatására több ország lépéseket tett nukleáris energiatermelésének beszüntetésére.

Az energiagazdálkodás célja a gazdaság különböző területeihez tartozó energiafogyasztók gazdaságos és zavartalan ellátása minőségileg és mennyiségileg megfelelő energiával, az energiaköltségek minimális értéken tartása mellett.

Az energiagazdálkodás feladata az energetikai folyamatok során fellépő energiaveszteségek, és ezzel az energiaszükséglet csökkentése (így például a berendezések, energia-hordozók, alkalmazott technológia helyes megválasztása révén stb.). Az energiával mint természeti erőforrással való gazdálkodáshoz kapcsolódik a rendelkezésre álló anyagi eszközökkel való gazdálkodás, az energiaköltségek csökkentése, az energetikai beruházások hatékonyságának növelése.

Az energiagazdálkodás a rendelkezésre álló energiaforrások és készletek leg gazdaságosabb felhasználásának és kihasználásának biztosítására és megszervezésére, az energiaszükséglet gazdaságos és biztonságos kielégítésére, az energiaveszteségek csökkentésére, a fölösleges veszteségforrások megszüntetésére irányuló gyakorlati tevékenységet jelenti.

Az energiagazdálkodás keretében az energia nemcsak fizikai és műszaki fogalomként jelentkezik, hanem mint gazdasági szükségletek kielégítésére alkalmas termelési vagy fogyasztási eszköz is. Az energiagazdálkodás természettudományi alapjait és a műszaki alkalmazását összefoglaló ismereteket energetikának is nevezik. Az energiagazdálkodás tudományának és gyakorlatának alapjai egyrészt az energetika, másrészt a gazdaságtudományok. Az energiagazdálkodás nem foglalkozik az energetika tárgykörének teljességével, hanem csak azokkal az energetikai folyamatokkal, amelyek egyben gazdálkodási problémákat is felvetnek. Így például általában nem foglalkozik azokkal a változatos, de rendszerint nagyon csekély energiamennyiséget érintő energetikai folyamatokkal, amelyek egy-egy gépszerkezet vagy mechanizmus működését érintik, nem foglalkozik továbbá a bioenergetikai folyamatokkal, az emberi munka végzésének az ergonómia tárgykörébe tartozó kérdéseivel, vagy az állati energia kifejtésének problémáival. Az energiagazdálkodás hármass – műszaki, gazdasági és környezetvédelmi – jellege végigvonul mindazon a sajátos műveleteken és folyamatokon, amelyek az energiagazdálkodás tárgyai. Az energiagazdálkodás határterülete az energetikai gépek és fogyasztói berendezések energiagazdálkodás szempontjából helyes szerkesztése és gyártása. A fogyasztói energiagazdálkodást szoros szálak fűzik az energiafelhasználási célt meghatározó ipari, mezőgazdasági, háztartási stb. technológiához.⁶⁹

Az átalakított, úgynevezett másodlagos energiahordozók az energiaátalakításhoz (fejlesztéshez, illetve termeléshez) felhasznált alapenergia-hordozókból nyerik energiataralmukat. Az energiaátalakítási folyamatokkal másodlagos energiahordozók előállítására, a kapott energiafajta fogyasztók közti elosztására a fogyasztói berendezések gazdaságos üzemeltetése, valamint az energiafelhasználás ellenőrzése az energiagazdálkodás sajátos területei.

⁶⁹ *Nemzeti Energiastratégia 2030 (2011): 77/2011 (X. 14.) Országgyűlési Határozat.* Magyar Közlöny. 119, 30210–30359. magyarkozlony.hu/pdf/10586.

Az energiagazdálkodás végső rendeltetése az energiafelhasználás, amelyben nemcsak az energiagazdálkodási szempontoknak, hanem a fogyasztók szükségleteiből kiinduló technológiai szükségleteknek is jelentősége, meghatározó szerepe van.

Az energiabiztonság fogalma a történelem során először az első világháborúban került elő, Churchill azon döntésével, mely szerint a brit haditengerészet energiaellátását szénről át kellett állítani kőolajra. A második világháború idején is elsősorban katonai-stratégiai döntések kapcsán használták a fogalmat.

A fejlett nyugati országokban az első olajválság idején kezdtek el komolyan foglalkozni az energiaellátás biztonságával, ami ekkor még pusztán gazdasági kérdés volt, hiszen az energiahordozók ára befolyásolja a gazdaság teljesítőképességét. Mára az energiabiztonság a nemzetközi biztonságpolitikai megbeszélések kiemelt témája lett. A Szovjetunió felbomlása, az Európai Unió bővítése, Ázsia és a Csendes-óceáni térség feltörekvő piacainak növekvő energiaigénye egyre függőbbé tette az országokat az energiahordozók birtokosaitól. Az évszázad közepétől a fosszilis energiahordozók kitermelése egyre bonyolultabb és drágább lett, és fokozatosan valósul majd meg. Egyre erősödik az éghajlatváltozás körüli vita, de az alternatív energiaforrások továbbra sem versenyképesek.⁷⁰ Az atomenergia békés célú felhasználására való törekvés a 2011-es Japán katasztrófa miatt megingott. Az energiaforrásokat birtokló országok sok esetben politikailag instabilak, az energiataralékok pedig egyre többször vannak kitéve fegyveres fenyegetésnek. Nem véletlen tehát, hogy az energiapolitika, azon belül is az ellátásbiztonság hatással van a nemzetközi kapcsolatok alakulására. Mi is tulajdonképpen az ellátásbiztonság? Pont a kérdés komplexitása az, ami miatt még nem alakult ki egységes definíció. A különböző meghatározások esetén mindig egy-egy kiemelt szempont dominál. A szemlélet a történelem során változott is, mára elsősorban külpolitikai szempontból vizsgálják az ellátásbiztonságot. Így az energiabiztonságra számos definíció született, Brown és szerzőtársai szerint például:

„Rugalmas energiarendszer, amely képes arra, hogy ellenálljon a fenyegetéseknek aktív, közvetlen biztonsági intézkedések (például: felügyelet), és passzív, közvetett intézkedések használatával (például: energiaforrások, energiahordozók diverzifikációja)”

Egy esetleges krízis szemszögéből, gazdasági értelemben megközelítve: *„annak a jólétnek a perspektivikus hiányára, azokra a potenciális veszteségekre utal, amit az energia árának vagy elérhetőségének változása eredményezne”*, vagy egészen egyszerűen *„az energia megbízható és adekvát kínálata elérhető áron”*.

4.1 Energiahordozó szerkezet

Magyarország bruttó primerenergia fogyasztása 2011-ben 25 Mtoe (toe egy tonna olaj 41868 MJ nettó fűtőegyenértékkel bír) volt, ami nagyjából megfelel a 2000-beli fogyasztás értékének. A két időszak között először egy lassú növekedés jellemezte hazánk

⁷⁰ *Köztisztületi Stratégiai Programok Megújuló energiák hasznosítása*, LOVAS R. szerk. MTA, 2010.

fogyasztását, ami 2005-ben 27,7 Mtoe értékkel tetőzött, majd ezt követően fokozatosan csökkent a mai szintre. A végső energiafogyasztás az EU-s 1103 Mtoe értéknek alig 1,5%-a, azaz 16 Mtoe volt 2011-ben.

4.1. táblázat: Magyarország energiaszükséglete %-ban kifejezve, forrás: Energy Policies of IEA Countries, 2000 Review, OECD/IEA. Paris, 2000.

Energiahordozó	1990	1998	2005	2010	2015
Szén	21,5	16,5	11,1	10,3	10,1
Kőolaj	29,9	28,8	26,8	27,3	27,7
Gáz	31,1	38,7	43,0	43,4	43,8
Atom	12,6	14,4	13,7	13,5	13,2
Vízi energia	0,1	0,1	0,10,1	0,1	0,1
Biomassza	1,2	1,3	1,4	1,4	1,2
Geotermikus	–		3,3	3,4	3,4
Nap, szél, egyéb	–				
Villamos energia import	3,4	0,3	0,6	0,6	0,5

A primerenergia-felhasználás összetételét mutatja a 4.1. táblázat. A szénfelhasználás csökkenő tendenciát mutat a hagyományos erőművek kiváltásával, illetve átalakításával, azonban még a csökkenő felhasználás mellett is a nyersanyag (barna- és feketekőszén) egyre nagyobb hányada importból származik, mivel ezek hazai termelése megszűnt vagy minimális.

Az energiahordozó struktúra a növekvő földgázfelhasználás irányába változott. A primerenergia-felhasználás tehát döntően fosszilis energiahordozó alapú, de emellett az atomenergiának is fontos szerepe van, illetve fokozatosan, de folyamatosan erősödik az egyéb kategória, amely jelentős részét az alternatív energiaforrások jelentik. A megújuló energia aránya tehát fokozatosan növekszik, 2010-ben a primerenergia-felhasználásban 7%, míg a bruttó végső energiafogyasztásban 8,7% volt, amely arány a 2004-es csatlakozás (4,4%) óta folyamatosan emelkedett, s ennek köszönhetően mára majdnem megkétszereződött.

Magyarország energetikai importfüggősége az európai átlag felett van. 2008-ban – az elmúlt évek stagnáló adatai mellett – a bruttó belföldi energiafelhasználás 61%-át import fedezte. A gáz iránti kereslet a vizsgált időszakban folyamatosan növekedett, ezt az igényt csak importtal lehetett kielégíteni.

Magyarországon több okból is a földgáz került a preferált energiahordozók körébe: első és talán legmeghatározóbb oka, hogy olcsóbb volt, mint a kőolaj. Másrészt az elterjedésének kedvezett az 1991-től Magyarországon meghirdetett településfejlesztési program, melynek köszönhetően óriási ütemben kezdett fejlődni a települések gázellátása. Harmadsorban a 90-es évek hírhedt olajszőkítéssel kapcsolatos botrányai is hozzájárultak a fűtőolaj fűtési célú felhasználásának kiszorításához. Mindezeknek köszönhető,

hogy Magyarországon ma kőolajat közvetlenül energiatermelésre nem használnak fel, csak végszükség esetén.

Az ország éves földgázigénye az elmúlt öt év során folyamatosan csökkent (11,5 milliárd m³-ről 9,1 milliárd m³-re). A földgázfogyasztás alakulásában a hőmérséklet változása, az ipari termelés, valamint a legnagyobb gázfogyasztók, azaz a villamos áramot termelő erőművek tüzelőanyag szükséglete játssza a legnagyobb szerepet. A földgáz felhasználásra jellemző az erős szezonálisitás. Ez elsősorban a lakosságiföldgáz- fogyasztás ingadozásának köszönhető, ahol a nyári fogyasztás mindössze tizede a télinek, az ipari fogyasztók jóval kiegyensúlyozottabb fogyasztási profillal rendelkeznek. Ma a leghidegebb téli napon hétszer több földgázt használunk, mint egy átlagos nyári napon. Az erős szezonálisitás a hőmérsékletfüggő gázfogyasztás magas hányadát jelzi, ezért a biztonságos téli ellátás érdekében nyáron tárolni kell a földgázt. A felhasználásra ezen kívül jellemző az erős fogyasztói rugalmatlanság, a legtöbb esetben nincs alternatívája a földgáznak. Az 1990-es évek derekán kezdődött gázprogram hatásra mind a közületek, mind a lakosság jelentős mértékben állt át földgázfogyasztásra. Az így megnövekedett nyersanyagigény magával hozta a gáz nagy mennyiségű importját, ami kiszolgáltatottá tette hazánkat a térség szeszélyes kül- és belpolitikai viszonyainak. A készletek csökkenése, egyre dráguló kiaknázása és szállítása miatt a földgáz ára az utóbbi években drasztikus növekedést mutatott. A legaktuálisabb és sajnos realisabb fenyegetettség az orosz–ukrán nézeteltérésen alapszik. A földgázbehozatal túlnyomó része Oroszországból érkezik. Ukrajnával napjainkban is zajló kisebb-nagyobb konfliktusai azzal fenyegetnek, hogy a nyomásgyakorlás legjelentősebb eszközeként Oroszország „elzárhatja a gázcsapot”. Tehát a vezeték, amin a nélkülözhetetlen nyersanyag érkezik, kiürülhet. Az ország gáztározói – a közületek azonnali kizárásával (korlátozásának sorrendjében) számolva – a lakosság felé 80 napig képesek csupán biztosítani annak gázszükségletét. 1990-ben a hazai és a behozott gáz aránya 45-55%-os viszonyt mutatott. A MOL már ekkor jelezte a hazai termelés jelentős várható csökkenését, mégis beindult a hazai gázprogram. Ennek hatására hazánkban az egyedi és távfűtéses hőigény 78%-át a földgáz elégíti ki. Ennek a mennyiségnek 80%-a orosz import. Ez a részarány figyelembe véve a Gazprom erősödését és hazai befolyását közeljövőben akár elérheti a 100%-ot.

Az importfüggőség növekedésének negatív hatását két módon lehet egyensúlyozni: egyrészt a földgázforrások diverzifikálásával, másrészt tárolói tartalékkapacitások létesítésével.

A 2006. januári orosz–ukrán gázvita miatt pár napig szünetelő gázellátás tette nyilvánvalóvá először (és nem akkor utoljára), hogy Magyarország energiaellátása európai viszonylatban is kimagasló mértékben függ a földgáztól. A magyar parlament példátlan egyhangúsággal fogadta el 2006. február 13-án a földgáz biztonsági készletezéséről szóló törvényt, ami 2006. április 1-jén lépett hatályba.

2009 januárjában az orosz–ukrán gázvita miatt Magyarország és a közép- és kelet-európai térség gázellátása is veszélybe került. A válság idején naponta 500 millió köbméter földgázzal kevesebb érkezett Magyarországra. Bár az ipari fogyasztók rövid ideig fogyasztási korlátozás alá estek, a lakossági ellátásban nem voltak zavarok. Napokig a földalatti földgáztárolók szolgáltatták Magyarország gázellátásának 90%-át. Azért nem

került sor súlyosabb ellátási zavarokra, mivel „a régióban Magyarország rendelkezik az ellátás szempontjából legjobb infrastruktúrával. A tárolókból ebben az időszakban 700 millió köbméter földgázt vettek ki, január 22-éig 10 napon keresztül működtek a tárolók csúcskapacitáson. A bányahatósági engedély alapján egyes tárolók túllépték a szokásos csúcskapacitást a gázválság idején. Így az 51,2 millió m³-es napi kitarólasági kapacitást a válság napjaiban 53,3 millió m³-re tudták megemelni.

Magyarországon öt földalatti földgáztároló létesítmény működik, melyek összesen 3740 millió m³ mobilgáz-kapacitással és 51,2 millió m³ napi kitarólasági kapacitással rendelkeznek. 2013-ban a Magyar Villamos Művek tulajdonába került.

4.1.1 A hazai gáztárolók

Zsana

Magyarország legnagyobb földgáztárolójának kiépítése 1992-ben kezdődött meg Zsanán. Az első kitarólasásra 1996 novemberében került sor, ekkor a tároló kapacitása 600 millió m³ volt. 1999-re a bővítési munkálatoknak köszönhetően 700 millió m³-rel 1,3 milliárd m³-re növelték a tároló kapacitását. A tároló geológiai adottságainak köszönhetően további bővítések során 1,54 milliárd m³-re növelték a kapacitást az ezredforduló után.

2008-ban újabb magyaránnyú fejlesztés történt. A beruházás során 600 millió m³-rel növelték meg a tároló kapacitását, mellyel a zsanai tároló a közép-kelet-európai térség egyik legnagyobb földgáztárolója lett. A bővítés 2009 őszére készült el. Ezzel Magyarország teljes földgáztároló kapacitása 3,8 milliárd m³-ről 4,4 milliárd m³-re nőtt.

Puszaederics

Puszaederics környékén már az 1920–1930-as években is folytak kőolaj- és földgázkutatói munkálatok. A puszaedericsi tározó az egykori Hahót–Edericsi letermelt földgázmezőn jött létre. Bár 1972–1979 között is tároltak földgázt a mezőben, a létesítmény csak 1979-ben készült el. A nyolcvanas évek végén 200 millió, 1991-től 300 millió m³ volt a puszaedericsi tároló kapacitása. Maguk a tárolók Puszaederics és Tófej községek területe alatt fekszenek, átlagosan 1500 méter mélyen.

Hajdúszoboszló

A hetvenes évek közepén vetődött fel, hogy a letermelt hajdúszoboszlói földgázmezőből földgáztárolót alakítsanak ki. Azért esett Hajdúszoboszlóra a választás, mivel a helyszínen a szakembergárda adott volt, valamint közel volt az egykori Szovjetunióból érkező importcsővezeték. 1976-ban a hajdúszoboszlói mezőn leállították a kitermelést, hogy elegendő párnagáz maradjon egy földgáztároló kialakításhoz. A munkálatok 1977-ben kezdődtek meg, 1979-ben elkészült a földgáz besajtolására szolgáló kompresszorállomás. 1980-ban 240 millió m³ földgázt sajtoltak be, 1981-ben a tároló kapacitását 400 millió köbméterre bővítették. A nyolcvanas évek során további bővítési munkálatok is folytak, a III. ütemű bővítés 1991-ben fejeződött be. A kilencvenes évek végétől átfogó rehabi-

litációs, rekonstrukciós munkálatok kezdődtek a tároló természetes elhasználódásából fakadó hibák kijavításra.

Kardoskút

A kardoskúti földgáztárolót 1978-ban helyezték üzembe, majd három ütemben került sor a tároló bővítésére. A tároló a kedvező geológiai viszonyoknak köszönhetően nagyban hozzájárult a dél-alföldi térség téli földgáz csúcsigényeinek kielégítéséhez. 2000 augusztusában egy gázkitörés jelentősen megrongálta a földgáztárolót, jelenlegi kapacitása 40 millió m³ földgáz.

A jövő szempontjából fontos az újonnan feltárt gázmező. Jelenleg a Makói-árokban fellelhető 3000 m vastag gázzal telített formációkban található gázfelhalmozódás, az állam tulajdonában van. A problémát az okozza, hogy a nagy mélységben 200 °C-ot meghaladó nagy pórusnyomású gáz hagyományos technológiákkal nem termelhető ki. Az országunknak sem a kitermeléshez szükséges műszaki háttere, sem a kutatásokhoz elengedhetetlen pénzügyi forrása sem adott. Az Egyesült Államokban és Kanadában korábban már sikerrel alkalmazott technológiával rendelkező vállalat viszont nyilvános pályázat útján megszerezte a kitermeléshez szükséges engedélyt.

Rendkívül tökeigényes eljárással eddig öt nagy mélységű kutat fúrtak (a legmélyebb 6085 m) és távvezetékeket építettek ki. A geológiai kutatások alapján elmondható hogy a jó minőségű földgáz jelenléte bizonyított, a termelés realitása műszaki és gazdasági kérdés. A Makói-árok e részéből kitermelhető földgázvagyron 90%-os valószínűségi szinten 620 milliárd m³, 50%-os valószínűségi szinten 1550 milliárd m³, 10%-os valószínűségi szinten 3300 milliárd m³, amelynek gazdaságos kitermelhetősége még nem bizonyított. A számok értékelhetősége miatt nézzük: hazánk jelenlegi éves földgázfogyasztás 15,2 milliárd m³/év, amelyből csupán 3,2 milliárd m³ a hazai termelés. Ebből megállapítható, hogy Magyarország földgázszükségletét a– amennyiben sikerülne kitermelni – minimum 40, maximum 200 évre fedezné!

4.1.2 Az atomenergia szerepe

A világon összesen 440 atomerőművi blokk üzemel, 31 országban (33 országban van atomerőmű, de két országban nem üzemelnek). Az 1986-ban az Ukrajnában bekövetkezett súlyos csernobili baleset után az atomerőmű-építés megtorpant. Jelenleg világviszonylatban a villamosenergia-termelés 16%-a származik az atomerőművekből. Gyakorlatilag csak Távol-Keleten épülnek új atomerőművek, Európában egyedül Finnországban hoztak létre egy 1600 megawattos blokkot. Ez a franciák és a németek által közösen kifejlesztett, legkorszerűbbnek tekinthető blokk típus. Egyidejűleg az öreg atomerőműveket fokozatosan leállítják. Ezzel magyarázható, hogy a vizsgált időhorizonton az atomenergia szerepe érdemben nem fog növekedni.

A ma működő atomreaktorok úgynevezett nyílt uránhasznosítási ciklust valósítanak meg: a dúsításkor keletkező szegényített urán és a kiegészített üzemanyag tovább nem hasznosul.

Ezért az eredeti, kibányászott természetes urán energiataralmára vonatkoztatott energiahasznosítási hatások a reaktorokban felszabaduló hőre számolva csupán 0,45-0,6%. Ha ezt szorozzuk az erőmű hatásfokával, akkor a termelt villamos energiához tartozó érték már csak 0,16-0,2%. A nyílt ciklusú atomerőművek üzemanyag-hasznosítása tehát rendkívül pazarló. Ennek ellenére az atomenergia versenyképes. Magyarországon a Paksi Atomerőmű termeli a legolcsóbban a villamos energiát.

Röviden szót kell ejtenünk az atomenergia-hasznosítás azon fontos előnyéről is, hogy nem jár szén-dioxid-kibocsátással. A világ összes atomerőműve mintegy 10 százalékkal csökkenti az éves szén-dioxid-kibocsátást. Egy másik szemléltető adat: az EU atomerőművei által ki nem bocsátott széndioxid mennyisége mintegy 75 millió személygépkocsi CO₂-emissiójával egyenértékű.

Az energiahasznosítás hatékonysága jelentősen növelhető lenne az úgynevezett kétszeresen zárt szimbiotikus atomerőmű-rendszer létrehozásával. Ebben a még energiatermelésre hasznosítható izotópokat és a nagy aktivitású és hosszú élettartamú (legsúlyosabb gondot okozó) radioaktív izotópokat szétválasztják. A hasznosítható izotópok a jelenleg működő termikus reaktorokban, úgynevezett gyors tenyészreaktorokban (ilyen már üzemel), illetve a kifejlesztendő új típusú kiegészítő gyorsreaktorokban hasznosulnak. A nagy aktivitású izotópokat pedig az ugyancsak még kifejlesztendő úgynevezett transzmutáló reaktorokban alakítják át. A zárt rendszert tehát sem a még hasznosítható izotópok, sem a nagy aktivitású hasadási, illetve bomlási termékek nem hagyják el. A rendszeren belül az említett reaktortípusok megfelelő aránya szükséges. Egy ilyen rendszer kialakítása azonban óriási kutatási és fejlesztési ráfordításokat igényel, ami csak széles nemzetközi összefogással biztosítható. Megvalósulása esetén a maghasadáson alapuló (fissziós) atomenergia-hasznosítás horizontja viszont 1000 éves távlatokban lenne mérhető.

Az atomenergia hasznosításának másik lehetősége a magfúzió. Ebben az esetben könnyű atommagokat egyesítünk (például deutérium- és trícium-atommagokat, miközben hélium keletkezik). Ekkor sokkal nagyobb energia szabadul fel, mint a maghasadás során (a hidrogénbombában játszódik le ilyen magfúzió).

A világ első, energiát termelő atomreaktora, azaz atomerőműve alig több mint ötven esztendővel ezelőtt kezdte meg működését. Az eltelt fél évszázad alatt, a többi műszaki alkotáshoz hasonlóan, az atomerőművek is jelentősen fejlődtek. Ötven év fejlődése hozott annyi változást, hogy érdemes az atomerőműveket is életkoruk szerint csoportosítani. A generációkra osztás bizonyos mértékig önkényes, ellenben növeli az áttekinthetőséget.

Első generációs atomerőművek: a múlt

Az első generáció tagjainak a nagy része – különösen a nyugati országokban – már befejezte működését, néhány esetben pedig átfogó rekonstrukcióval próbálják ezeket az atomerőműveket a mai biztonsági követelményeket kielégítő szintre hozni. Az Európai Unió, illetve annak néhány tagországa meglehetősen erős nyomást gyakorol, hogy az első generációs atomerőművi blokkokat mindenütt véglegesen leállítsák.

Ide tartoznak az első erőművek, amelyeket az ötvenes és hatvanas években, illetve a hetvenes évek elején helyeztek üzembe. Ezek jelentős része ma már nem üzemel,

a maradék pedig élettartama végén jár. Az első generációs erőművek sem jelentettek kimagasló biztonsági kockázatot, de tekintettel arra, hogy ez a generáció még a jelenleginél kevésbé szigorú biztonsági előírások figyelembevételével, a biztonsági kultúra alacsonyabb szintjén épült, az üzemeltetés sok, részben jogos kritikának van kitéve. A ma is üzemelő első generációs erőművek több biztonságnövelő átalakításon estek át.

Második generációs atomerőművek: a jelen

Az atomerőművek második generációjában már kiforrottabb műszaki megoldásokat alkalmaznak. Az előző generációval szerzett tapasztalatok alapján javultak a biztonsági, gazdaságossági és környezetvédelmi mutatók. A jelenleg működő atomerőművek 90%-a, a második generációhoz tartozik. A paksi atomerőmű mind a négy blokkja ennek a generációnak a képviselője.

A Pakson végrehajtott biztonságnövelő intézkedések eredményeként a magyar atomerőmű biztonsági mutatói semmiben sem maradnak el az ehhez a generációhoz tartozó nyugati atomerőművekétől, és ezt számos független nemzetközi vizsgálat is megerősítette. A második generációs atomerőművek az 1970-es évek közepétől-második felétől kezdték el működésüket és mára már hatalmas üzemviteli tapasztalat gyűlt össze a továbbfejlesztéshez.



4.1. ábra: A Paksi Atomerőmű látképe

Forrás: http://kitekinto.hu/bem-rakpart/2007/05/18/orosz_segitseg_a_paksi_erm_bviteshez/ (letöltés: 2014. 05. 26.)

Itt már a tervezés során is szigorúbb biztonsági elveket alkalmaztak, például mind-egyiket ellátták olyan nyomásálló burkolattal (*konténmenttel*), amely baleseti helyzetekben megakadályozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását.



4.2. ábra: A Paksi Atomerőmű egyik blokkja

Forrás: <http://www.alternativenenergia.hu/hamvas-istvan-a-paksi-atomeromu-vezerigazgatoja/22979>
(letöltés: 2014. 05. 26.)

A konténmentek hatékonyságát valós baleseti helyzetben bizonyította az Egyesült Államokban 1979 tavaszán bekövetkezett TMI baleset. A szakemberek döntő többsége a második generációs erőműveket biztonságosnak ítéli, a közvélemény azonban sok esetben nem osztja ezt a véleményt. Valószínűleg könnyebb lesz egy új generáció biztonságosságát elfogadtatni, mint a meglévő előítéleteket eloszlatni.

Harmadik generációs atomerőművek: a közeli jövő⁷¹

A ma építés alatt álló, illetve a közeli években építendő reaktorok már mind ehhez a generációhoz tartoznak. A harmadik generációs atomerőművek szabványosított terv szerint készülők és ezért gyors engedélyezési eljárásra alkalmas létesítmények, ami:

- ✿ a korábbiaknál jóval rövidebb építési időt (általában 4 év) tesznek lehetővé,
- ✿ egyszerűbb és robusztusabb kialakításúak, ami miatt kevésbé sebezhetőek az üzemi rendellenességekkel szemben,
- ✿ teljesebb belső biztonsággal és passzív védelmi tulajdonságokkal rendelkeznek,
- ✿ hosszabb – tipikusan 60 éves – üzemidőre tervezték.
- ✿ minimális a környezetre gyakorolt hatásuk,
- ✿ jobb a hasadóanyag-gazdálkodásuk (kevesebb hulladék).

⁷¹ SZATMÁRY Zoltán: *A jövő atomerőművei*. Magyar Tudomány, 2001/11.

Mindezek eredményeként a harmadik generációs atomerőművek az eddiginél olcsóbb és biztonságosabb villamosenergia-termelést tesznek lehetővé. Fontos jellemzője még a harmadik generációs atomerőműveknek, hogy széles teljesítményválasztékban állnak rendelkezésre, ami lehetővé teszi, hogy kisebb atomerőmű-egységeket is üzembe állíthassanak, ha a villamosenergia-rendszer nagysága vagy más szempont miatt erre lenne szükség.

Az első harmadik generációs atomerőmű 1998-ban kezdte meg működését Japánban. Valószínű, hogy a következő 20-30 évben alapvetően harmadik generációs atomerőművek épülnek az egész világon.

Ebbe a generációba tartoznak a fejlett (advanced) erőművek. Jelenleg ilyen épül Finnországban (APR 1600 – 1600 MW elektromos teljesítményű fejlett, nyomott vizes reaktor). A rajzasztalokon többféle ilyen erőmű készült, ám szinte semmi sem valósult meg belőlük. Ezek az erőművek tökéletesebbek a második generáció erőműveinél, mind gazdaságossági (hatásfok), mind biztonsági (fejlett biztonsági kultúra alapján tervezték) tekintetben, de lényegileg (típusok, üzemanyagciklusuk) nem különböznek azoktól.

E generációt jelenleg olyan kevés erőmű képviseli, hogy az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma nem tekinti megvalósult generációnak. A harmadik generáció hiánya tulajdonképpen a második generáció dicsérete, hiszen leváltására nem volt szükség.⁷²

Negyedik generációs atomerőművek: új alapelv⁷³

A műszaki fejlesztés azonban még tovább tekint előre és széles nemzetközi összefogással elkezdődött a negyedik generációs atomerőművek fejlesztése. Ez az új generáció – bár természetesen figyelembe veszi a második és a harmadik generációs atomerőművekkel szerzett tapasztalatokat – nem egyszerűen a korábbi típusok szisztematikus javításával, illetve továbbfejlesztésével jön majd létre, hanem teljesen új vagy megváltozott alapelvet, termelési célt és biztonsági követelményt kitűzve, az eddigiektől alapjaiban eltérő megoldásokat alkalmaz majd. Ezért is nevezik gyakran a negyedik generációs atomerőműveket innovatívnak.

A negyedik atomerőmű-generáció legfontosabb jellemzői a korszerűsített üzemanyag-ciklus, a fenntarthatóság, a gazdasági versenyképesség, a biztonság és megbízhatóság, a hatékony radioaktív hulladék-kezelés és a proliferációállóság.

Az új generációs reaktorokban olyan megoldások szükségesek, amelyek meggátolják a hasadóanyag felhasználását atomfegyverek előállítására.

Nagyon fontos továbbá, hogy a fejlesztés nemzetközi összefogással valósuljon meg. Ezért 2000-ben az Egyesült Államok egy kutatási-fejlesztési programot kezdeményezett, amelynek célja, hogy 2030-ra iparilag érett és kereskedelmileg hasznosítható negyedik generációs atomerőművek jöjjenek létre. A programhoz még nyolc ország csatlakozott,

⁷² SZATMÁRY Zoltán: *A jövő atomerőművei*. Magyar Tudomány, 2001/11.

⁷³ HALÁSZ L., HANKA L., VINCZE Á. a nukleáris erőművek negyedik generációjának és egy korszerűbb reprocesszási eljárás jövőbeli alkalmazásának lehetősége a nukleáris hulladékok növekvő mennyiségének és elhelyezési problémájának tükrében *Hadmérnök* 3 (3) 25–48 (2008).

úgy mint Argentína, Brazília, Dél-Afrika, Dél-Korea, Franciaország, Japán, Kanada és Nagy-Britannia. Később a résztvevők köre Svájjal bővült.

Ezek a jövő erőművei. Jelenleg még a tervezés szintjén sem léteznek, de létrehozásuk érdekében komoly nemzetközi projekt indult, melyet az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma (Department of Energy, DOE) kezdeményezett. A projekt célja az atomenergia elfogadtatása. A DOE megítélése szerint erre a harmadik generációs erőművek nem alkalmasak, mert bár műszaki kifogás nem merül fel ellenük, nem jelentenek áttörést azokon a területeken (például üzemanyagciklus), ahol áttörés nélkül a további fejlődés nem garantálható. Érdemes megjegyezni, hogy az egész program bevallott célja az is, hogy értelmes, színvonalas kutatómunkával lássa el a kutatókat, és hosszú távon is vonzza a tehetséges fiatalokat a nukleáris szakmába. A tehetséges kutatók megtartása és utánpótlásának biztosítása a ma működő (zömmel második generációs) atomerőművek biztonságának is feltétele. Továbbá a fejlett országok nyilvánvalóan szeretnék elkerülni, hogy a nukleáris szakmát csakis a fejlődő országokban műveljék, ami a jelenlegi tendenciákból következne, hiszen a csekély számú épülő atomerőmű döntő többsége fejlődő országokban épül, és a kutatás súlypontja is oda kezd áthelyeződni.

Milyen lesz a negyedik generáció? A fizikusok már régóta tudják, hogy az atomreaktorokban az energiatermelés mellett lehetséges a hasadóanyag bővített újratermelése. Más szóval ki lehet alakítani úgy egy reaktort, hogy több hasadóanyagot termeljen, mint amennyit elhasznál. Ezeket a reaktorokat szemléletesen szaporító reaktoroknak nevezték el. Már ipari méretű berendezésekben bizonyították egy ilyen konstrukció megvalósíthatóságát. A negyedik generációs reaktorok fejlesztésében közel 100 koncepcióból választották ki azt a hat fő reaktorfejlesztési irányt, valamint az azokat megalapozó üzemanyagciklus témacsoportokat, amelyek mentén tervezik a jövő atomenergetikáját megteremteni. Ebben jelentős szerepet kapnak a szaporító reaktorok különféle változatai.

A kiválasztott reaktortípusok a következők:

- ✿ Nagyon magas hőmérsékletű reaktor (VHTR)
- ✿ Szuperkritikus vízű reaktor
- ✿ Sóolvadékos reaktor
- ✿ Nátriumhűtésű szaporító reaktor
- ✿ Ólomhűtésű szaporító reaktor
- ✿ Héliumhűtésű szaporító reaktor

A Paksi Atomerőműben jelenleg 4 db, egyenként 440 MW-os úgynevezett VVER 440/V 213 típusú nyomott vizes, kétkörös reaktorblokk üzemel. Egy reaktorhoz 2 db 220 MW-os gőzturbina tartozik. A gőzturbina háromfázisú, egy nagy- és két kisnyomású kettős áramlású házból áll, közbenső cseppeleválasztóval és túlhevítővel, két megcsapolással, kondenzációs berendezéssel. A turbinába belépő frissgőz 44 bar nyomású, 255 °C hőmérsékletű telített gőz. A reaktor névleges terhelés mellett egy üzemanyag-töltéssel kb. 7000 üzemóraig működhet, ezt követően a reaktor aktív zónáját át kell rakni. Az atomerőmű üzemeltetése során elvégzett fejlesztéseknek (turbínák átalakítása, szekunderkörü rekonstrukció, új típusú üzemanyag alkalmazása stb.) köszön-

hetően a blokkok teljesítménye 465 MW_e, a folyamatos üzemi idő csaknem 8000 óra/év lett. Később összetett átalakítási folyamatok révén a reaktorok hőteljesítményének növelését is elérték, így 2009 óta mind a négy reaktorblokk névleges villamos teljesítménye 500 MW.

Az atomerőmű üzemeltetése folyamán folyékony, szilárd és gáznemű radioaktív közegek és hulladékok keletkeznek. A folyékony radioaktív közegek (víz) tisztítása kétféle: ioncserés és desztillációs eljárással történik. A gáznemű radioaktív közeget aeroszol és adszorpciós szűrők tisztítják. A gázok megfelelő tisztítás után a szellőző kéményen keresztül jutnak a szabadba. A folyékony és a szilárd hulladékok térfogat-csökkentés után kerülnek a végleges tárolójukba. Az erőmű frissvíz-hűtésű. A hűtővizet a Dunából nyerik.

Az 1980-as évek derekán jelentős erőfeszítések történtek a paksi atomerőmű bővítésére. Az iparág eredetileg további VVER-440/213 típusú blokkok építését tervezte, de ez a törekvés meghiúsult, mivel a Szovjetunióban akkorra a VVER-1000 blokkok szabványosítását és sorozatgyártását határozták el. A nyolcvanas évek második felében 2 darab VVER-1000 blokk építésének előkészítése folyt. A VVER-1000 típus számos egysége bizonyított már akkorra, több országban (Bulgária, a mai Oroszország és Ukrajna) megbízhatóan működtek. Jelentős, mintegy 3 milliárd forintos előkészítő munkát végeztek el a helyszínen, elsősorban a tereprendezés, feltöltés, a telephelyi szállítási infrastruktúra építésének előkészítése terén. A beruházás helyszínétől az 1–4. blokkok tengelyétől északra elhelyezkedő területet szánták. A korábbi építkezést kiszolgáló létesítményeket (raktárak, előgyártó műhelyek, betonüzem, közművek) nem bontották el, hiszen mindez használható lett volna az új program során. Igen, csak lehetett volna. A beruházás előkészítését a rendszerváltás idején a kormány leállította (hivatalosan 1990-ben). Kivételt képezett az ország akkori egyetlen olyan középiskolája, amelyet kifejezetten a leendő szakembergárda kiképzésére hozott létre az atomerőmű –, ez ma is eredményesen működik.

A következő jelentősebb esemény 1996–97-hez kötődik. A Magyar Villamos Művek Rt. által kiírt kapacitásnövelési tenderen három pályázattal is indulni kívánt a Paksi Atomerőmű Rt. Három potenciális szállító kb. 600 MW egység teljesítményű blokkjainak építéséről készült megvalósíthatósági tanulmány, egy- és kétblokkos kiépítésben: az AECL CANDU-6 típusú blokkja, a Westinghouse AP-600 blokkja (amely épp akkor kapta meg a típusengedélyét), és az Atomsztrójeexport VVER-640, tervezés alatt lévő típusa. A tenderen való részvétel feltétele volt az előzetes környezeti hatástanulmány elkészítése és hatósági elfogadása, amely – tekintettel arra, hogy ennek időigénye igen jelentős az atomerőművek esetében – nem volt megvalósítható a megadott időkeretek között, ezért az atomerőművi pályázat a tenderen nem vehetett részt. Végül a 200 MW feletti kategóriában egyetlen pályázó sem nyert, így sem szénttüzelésű, sem lignittüzelésű, sem nukleáris blokk nem épülhetett. A 200 MW alatti kategóriában néhány földgáztüzelésű erőmű kapott létesítési engedélyt, ezeket általában – hálózati elosztóközpontokba telepítve – gyors kiegészítésre használja a rendszerirányító. A nyolcvanas évek közepétől több más ajánlkozás volt új atomerőmű építésére, így például francia ajánlat is volt 1000 MW-os blokkok építésére.

A Magyar Országgyűlés 2009. március 30-án elvi jóváhagyását adta Pakson új atomerőművi blokk(ok) létesítésének előkészítését szolgáló tevékenység megkezdéséhez. Az előkészítés után 2013-ban a kormány megállapodást kötött Oroszországgal az új erőművi blokkok megépítéséről. A beruházás részleteiről közölték, hogy 2 darab AES-1200 típusú orosz gyártmányú reaktor kerül beépítésre, egyenként 1200 MWe teljesítménnyel, melyek a jelenleg üzemelő 4 darab paksi blokk teljesítményének a 120%-át teszik ki. A blokkok megépítésével tender nélkül a Roszatomot bízták meg. Paksra a VVER reaktorcsalád (szó szerinti fordításban víz-víz energetikai reaktor) MIR-1200-as típusát szánják. Ez utóbbi rövidítés egyszerűen „modernizált nemzetközi reaktort” jelent. A Roszatom-csoport két tagja, az Atomsztrójexport vállalat és az OKB Hidroprasz tervezőintézet éppen azért vonták be a cseh Skodát a korábbi típus továbbfejlesztésébe, hogy így garantálják: a MIR-1200 valóban megfelel majd az EU-ban működő áramszolgáltatók és az EU-tagállamok nukleáris hatóságai támasztotta elvárásoknak. Az előbbi sem csekélység, egy ötezer tételből álló követelménylistának kell megfelelniük a berendezéseknek. Ma már csak olyan atomerőművek épülhetnek Európában, amelyekben úgynevezett 3+ generációs reaktorblokkok termelik a hőt. Ezek legnagyobb előnye, hogy teljesen passzív biztonsági rendszerekkel szerelik fel őket, amelyek nem igényelnek sem elektronikus, sem mechanikus vezérlést. A biztonságot maguk az erőműben zajló fizikai folyamatok garantálják. A Paksra szánt MIR-1200-ban négy ilyen passzív rendszer van. Fukushimaiban a reaktor belseje nem kapott elég hűtést, felrepedtek a fűtőelem-rudak, és cirkónium burkolatuk anyaga reakcióba lépett a hűtővízzel. Emiatt hidrogéngáz fejlődött, ami robbanást okozott. Ha a MIR-1200-nál ilyen helyzet áll elő, akkor a robbanásveszélyes gázt elégetik az úgynevezett elvonó (rekombinátor) egységek. Ha kilyukadna a reaktortartály, a fűtőelemek olvadékát a tartály alá épített, speciális kompozitanyagból készült csapda fogja fel, megakadályozva, hogy az olvadékban újra beinduljon a láncreakció. Az oroszok egyelőre egy kínai erőmű (Tianwan) új blokkjába szerelték fel ezt a technológiát, és ezzel épülnek a leningrádi és a novovoronyezsi erőművek új blokkjai is. Utóbbiak a következő években indulnak el, így Paks II. indulásáig (2024) körülbelül 10 éve üzemelnek majd. Az atomerőműveket lekapcsolt állapotban (vagy baleset esetén) is folyamatosan hűteni kell. A radioaktív bomlás ugyanis nem állítható le egyik napról a másikra, ezért a reaktorban, sőt a gőzfejlesztőben ilyenkor is folyamatosan termelődik a hő. Ennek a maradványhőnek az elvezetésére két passzív rendszer szolgál. E rendszerek akkor is működnek, ha a reaktorblokkban egyáltalán nincs áram. Az Atomenergiaprojekt dokumentációja szerint leállás esetén 72 órán át nem kell hozzányúlniuk az operátoroknak a reaktorblokkhoz, utána kell elkezdeni az aktív hűtést. Kolcsinszkij szerint a csapda és a maradványhő-elvezetés a legjelentősebb innováció az új reaktortípusban.

Röviden érdemes talán érinteni a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének kérdését is. Ma az a felfogás, hogy minden ország oldja meg a hulladék elhelyezését. Ez a kis és közepes aktivitású hulladékok esetében talán elfogadható álláspont (nálunk most folyik a mórággyi gránittömbben az előkészítő vágathajtás). A nagy aktivitású hulladékok esetében viszont nem ez a helyes megoldás. Hiszen itt vagyunk Európa közepén, öt kis ország hat atomerőművel. Racionális és kézenfekvő lenne egy közös tároló létesítése,

mert a keletkező hulladék térfogata viszonylag kicsi. Nem szabad ugyanis megfeledezni arról, hogy a nagy aktivitású hulladékokat (a hosszú felezési idők miatt) ellenőrzött módon, több ezer évig kell tárolni. Az EU támogatásával e kis országoknak össze kellene fogni. E probléma súlya jelentősen mérsékelhető, ha a kiégett kazettákat az 1994-ben aláírt megállapodás szerint (mint ahogy korábban is) a jövőben vissza tudjuk szállítani Oroszországba.

A paksi telephelyről származik a hazai termelés közel 40%-a. Jelenleg (és évek óta) igen magas, 74% körüli a paksi atomerőmű üzemeltetésének társadalmi elfogadottsága.

4.2 Energiastratégia

Az energetika, vagyis az energia előállítása és felhasználása az emberi létezés egyik leg-alapvetőbb megnyilvánulása. Energia (értsd külső energia) felhasználás nélkül az emberi létezés elképzelhetetlen. Az energiafelhasználás és az emberi élet minősége között szoros összefüggés van. Az energiának kiemelt fontossága van a klímavédelem területén, tekintettel arra, hogy a klímaváltozást okozó antropogén hatás kb. $\frac{3}{4}$ -e az energetikával kapcsolatos, legalábbis a ma elterjedt értékrend szerint. Amikor klímavédelmi okból csökkenteni akarjuk az energiafelhasználást, akkor nem kevesebbet várunk el, mint hogy az ember változtassa meg szokásait, alkalmazzon új gyakorlatot az energiafelhasználásban, vagy mondjon le bizonyos energiát igénylő szolgáltatásokról vagy javakról. A materiális szempontok szerint értelmezett életszínvonal folyamatos emelkedéséhez szokott emberrel rendkívül nehéz elfogadtatni a klímavédelmet szolgáló fájdalmas intézkedéseket. A klímavédelem szempontjai kiemelt helyen szerepelnek az európai országok és az EU energiapolitikájában. Így van ez a magyar energiapolitikában is.⁷⁴ A klímavédelem (általánosabb megfogalmazással fenntarthatóság) mellett azonban az energiapolitikáknak két további pillére van, nevezetesen

- * az ellátásbiztonság és
- * a versenyképesség.

A három pillér érdekei alapvetően ellentétesek. Ha az energetika klímavédelemre költ, akkor romlik a versenyképessége. Ha a rövid távú versenyképességre koncentrál, akkor árt a fenntarthatóságnak és rontja az ellátásbiztonságot stb.

Az ország energiahatékonyság-politikai mozgásterét jelentősen meghatározó EU-jogszabályok közül az egyik az energiahatékonyságról szóló 2006/32/EK direktíva. Ez meglehetősen határozottsággal megállapítja a célt (9% energiamegtakarítás 9 év alatt), és megadja a lehetséges intézkedések körét. A konkrét intézkedések kidolgozása azonban a tagállamok feladata marad. A direktíva szerint a tagországoknak energiamegtakarítási célt kell kitűzniük, be kell építeniük jogrendszerükbe a cél megvalósításához szükséges eszközöket, cselekvési programot kell kidolgozniuk, és biztosítaniuk kell a programok

⁷⁴ Lovas R. (szerk) Köztisztületi Stratégiai Programok Megújuló energiák hasznosítása, MTA, 2010.

végrehajtásához szükséges finanszírozást. A direktíva elsősorban promóciós jellegű intézkedések alkalmazását várja, illetve számít a közsféra példamutató lépéseire. Érdekes és előremutató eleme a direktívának, hogy elvárhatóvá teszi, hogy az energiaszolgáltatók vegyenek részt a fogyasztói energiahatékonyság javítását célzó programokban. A direktíva kötelező hatású intézkedéseket a technológia területén irányoz elő, szorgalmazza az energiafogyasztó készülékek szabványosításának továbbfejlesztését.

Az energiahatékonyság növelése alapvető prioritás, mert ez az egyetlen olyan eszköz, ami az energiapolitika valamennyi alapkövetelményének teljesítéséhez hozzájárul.

Energiahatékonyságról akkor beszélünk, ha az energiafogyasztás lényegesen lassabban növekedik, mint a GDP. Az energiapolitikának a követelmény első részére, azaz az energiafogyasztás növekedési ütemére van befolyása. A legfontosabb feladatok az alábbiak:

1. Az energiatermelés hatásfokának javítása, például technológiai korszerűsítéssel vagy a kapcsolt energiatermelés részarányának növelésével.
2. Az energiafelhasználás csökkentése
 - hatásfoknöveléssel,
 - energiatakarékos készülékek alkalmazásával,
 - épületenergetikai korszerűsítéssel (hőszigetelés, fűtési rendszer korszerűsítése),
 - az energiaszállítási veszteségek csökkentésével,
 - az energiatakarékosság fokozásával,
 - az energia- és környezettudatos szemlélet erősítésével.

Mindezek révén el kell érni, hogy az energiahatékonyság hazánkban 2020-ra érje el az EU mai, 2030-ra pedig az EU akkori átlagát. Ez megvalósítható, ha a GDP évi 4%-kal, míg az energiafelhasználás csupán évi 0,7%-kal növekedik. A modernizáció következtében a villamos energia összenergián belüli szerepének növekedése várható, a bruttó villamosenergia-fogyasztás növekedése várhatóan az összenergia-növekedés 2-3-szorosa lesz.

Rövid távon, 2010-ig az éves energiaigényt 75 PJ-lal kell csökkenteni. Ennek érdekében tárcaközi együttműködés keretében Nemzeti Energiahatékonysági Akciótervet kell kidolgozni.

A megújuló energiahordozók részarányának növelése egyszerre csökkenti Magyarország importfüggését és javítja a fenntartható fejlődés feltételeit, benne a környezet- és klímavédelmi célok teljesíthetőségét. Támogatás nélkül azonban a megújuló energiák alkalmazása ma még általában nem gazdaságos és a szélenergia alkalmazása rendszerszabályozási problémákat is okoz. A megújuló energiák alkalmazásával nem célszerű túllépni a támogatások még tolerálható és a rendszerirányítás által még kezelhető szintjét.

Megújuló energiaforrásként Magyarországon a biomassa, a bioüzemanyag és kisebb mértékben a szélenergia, valamint lokálisan (decentralizáltan) a geotermikus energia és a napkollektoros hőtermelés jön számításba. A geotermikus energia hasznosításnál nevesített szerepet kap az új energiapolitikában a hőszivattyúk elterjesztése.

A biomasszaerőmű-kapacitás csak részben és átmenetileg támaszkodhat a hagyományos erdőgazdálkodásra, a távlati bázist az energiaültetvényekkel kell biztosítani. 2030-ig mintegy 210-230 ezer hektár energiaültetvény telepítését lehet reálisnak tekinteni.

A megújuló energiák körében kiemelt szerepet kap a bioüzemanyag-termelés. Ezzel kapcsolatban célul kell kitűzni, hogy az üzemanyag-fogyasztás biohányada 2020-ra 6,5%-ra nőjön. A megújuló forrásból termelt villamos energia hányada 2025-re legyen 7%. Ennél gyorsabb növekedést célzó EU-célkitűzést hazánk csak akkor fogadhat el, ha indikatív jellegű, azaz nem automatikusan kötelező az egyes tagországokra. Megújuló áramtermelésnél elsősorban a biomassa és a szélenergia jöhet számításba.

Összességében 2030-ig a megújuló energiafelhasználás részaránya mintegy 10%-ot érhet el. Az új energiapolitika több szempontból is kiemelten kezeli az atomenergiát:

- ✿ könnyű és biztonságos beszerezhetőség,
- ✿ hosszú időre történő készletezhetőség miatt az ellátásbiztonság leghatékonyabb eszköze,
- ✿ jelentősen hozzájárul az ÜHG-kibocsátás csökkenéséhez,
- ✿ segíti az olcsóbb energiatermelést, ezért növeli a nemzetgazdaság hatékonyságát.

Ezért a paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbításán túl nyitott opciónak kell tekinteni új atomerőművi blokk(ok) 2030 előtt történő üzembe helyezését.

4.2.1 Energiastratégiák típusai

Az energiaellátás egy adott terület – legyen az régió, vagy ország – gazdasági és társadalmi működéséhez elengedhetetlen. Ezzel magyarázható annak stratégiai súlya. Az energiabiztonság létrehozása és fenntartása végett pedig a különböző országok és régiók energiastratégiát alakítanak ki. Ezeknek a stratégiáknak két megközelítése létezik, melyek között a különbségeket elsősorban megalkotójuk geopolitikai helyzete határozza meg, mivel ez befolyásolja mind gazdasági, mind politikai céljaikat.

Offenzív stratégia

Ez a megközelítés azon országok sajátja, akik energiahordozók szempontjából szerencsés helyzetben vannak, és jelentős tartalékokkal rendelkeznek elsősorban szénhidrogénekből. Esetükben a stratégia célja a biztos felvevőpiacok felkutatása, és az energiahordozók minél nagyobb gazdasági és politikai nyereséggel való értékesítése. Érthetően, az ellátásbiztonság ezeken a területeken nem játszik nagy szerepet. A legfontosabb kérdések közé tartozik például, hogy hová fektessék be az energiahordozókból származó bevételt, vagy milyen külpolitikai célok szolgálatába állítható az energiastratégia. Sokszor ez a nemzetközi politikai életben betöltött szerepük erősítésének az eszköze, a belpolitikában pedig a vezetés hatalommegtartásának az eszköze. Ezért általában védik is az energiaszektort külső vállalatok befolyásától államosítás (Venezuela) vagy átpolitizálás (Oroszország) útján.

Defenzív stratégia

Ez a stratégia azokra az országokra jellemző, amelyek energiaellátásuk biztosításához külső forrásra szorulanak. Elsődleges cél az energiaellátás biztonságának megteremtése, melyhez gazdasági és politikai eszközöket használnak. Ezen országok importfüggősége

elkerülhetetlen, tehát nagy szükségük van nemzetközi kapcsolatainak megfelelő irányítására. Itt már nem csak az állam van jelen, céltól függően a piac is részt vesz az energiaellátásban. Fontos feladat a megelőzés, tervezés és a válsághelyzetekre való felkészülés. Ide tartozik az energiakrízis fogalma is, vagyis az az állapot, amikor egy ország energiaellátásában törés következik be (amit az árak gyors emelkedése kísér), és veszélyt jelent a gazdasági és a nemzetbiztonságra. Ennek gazdaságra vonatkozó eleme a GDP, politikai pedig a nemzetbiztonsági fenyegetettség.

4.2.2 Az ellátásbiztonság dimenziói

Az ellátásbiztonságot szintén rengeteg tényező befolyásolhatja, e tényezők alapján jöttek létre a különböző vizsgálati szempontok, az ellátásbiztonság dimenziói. Külső ellátásbiztonság alatt az energiaellátás nemzetközi szintjét értjük, vagyis azokat a nemzetközi kapcsolatokat, amelyeket az ország vagy régió az ellátásbiztonság érdekében ápol, miközben igyekszik stratégiai pozícióba kerülni. Ide tartoznak a beszerzési forrással kapcsolatos döntések, például, hogy milyen térségből szerezzük be a szükséges mennyiségű energia-hordozót, mennyire diverzifikáltan lehet ezt megtenni, milyen kapcsolatrendszert kell hozzá kialakítani? A politikai vetületén kívül a külső dimenzióhoz tartozik a határon átnyúló infrastruktúrák létrehozásával kapcsolatos munka, az energiagazdaság nemzetközi jogi kereteinek ismerete és egyéb gyakorlatban is érvényesülő feladatok.

Belső ellátásbiztonság alatt a nemzeti szint feladatai értendők. Ez főleg technológiai szemlélet, amely az alapanyagok rendelkezésre állásának feltételezése mellett keresi a megoldást olyan feladatokra, mint az országon belüli infrastruktúra megteremtése, vagy az energiapiac szereplői működési kereteinek meghatározása. A külső és belső dimenzió összefügg, egymást feltételezik.

Gazdasági dimenzió a vizsgálatok harmadik szemléletmódja lehet. Ennek két alapvető tényezője a háztartások jóléte, valamint a gazdaság versenyképessége. Ahogy a gazdaságok fejlődnek, az energiaellátás szerepe egyre inkább felértékelődik, egyre nagyobb lesz azon iparágak gazdasági részesedése, amelyek függnek a folyamatos villamosenergia-ellátástól. Klasszikus példája ennek az információs technológiák és az elektronika fejlődése. Ugyanez a helyzet a szolgáltatások terén is, például a pénzügyek területén.

Társadalmi dimenzió alatt értjük a háztartások és a világ mindennapi életének energiaellátáshoz kötött működését, amit a modern életforma kialakulása hozott magával.

Mindennapi életünk során jelentős mennyiségű energiát használunk el, de mára egy esetleges kimaradás társadalmi költsége többszörösen meghaladja azt az értéket, amennyibe az így el nem fogyasztott energia került volna.

A politikai dimenzió az energiaellátásban az állam szabályozó szerepére utal, amelyen keresztül a kül- és az energiapolitika megteremti az ellátásbiztonság feltételrendszerét.

Ezen túl az energiapolitika a hatalom megszerzésének és megtartásának is hatékony eszköze lehet.

A környezeti dimenzió igyekszik felhívni a figyelmet a klímaváltozásra, az atomerőművek működési kockázataira és minden egyéb problémára, amellyel az ember ener-

giafelhasználásán keresztül természeti károkat okoz. Ide tartozik a környezetszennyező megoldások háttérbe szorítása, a megújuló vagy minél kevésbé szennyező energiaforrások előnyben részesítése. A versenyképes energiahordozók felhasználása tehát ellentétben áll a környezeti biztonság megteremtésének feladatával.

Néhány országban ma is különös jelentőséggel bír a **katonai dimenzió**. Az energiaellátás a katonai egységek mozgósításához elengedhetetlen, nem csak az üzemanyagok, de ma már a villamos energiával működő informatikai rendszerek miatt is. Az energiahordozókkal való ellátottság, az azok feletti ellenőrzés stratégiai fegyverként is felhasználható.

Mindezen túl az energiaforrások feletti rendelkezés még napjainkban is jelentős konfliktusforrás.

4.3 Megújuló energiaforrások

4.3.1 Szélenergia⁷⁵

A szélerőművek legfőbb sajátossága, hogy időjárásfüggők, azaz villamos teljesítményük a szélesebbesség függvénye, bizonyos érték alatt a szolgáltatott teljesítmény pedig zérus. Elsősorban ez a sajátosság határozza meg villamos teljesítményük értékelését, az elérhető primerenergia területén mutatott megtakarításukat, valamint a szennyezést csökkentő hatásukat. Hazánkban az eddig telepített szélerőművek esetében a névleges szélesebbesség a 10–14 m/s (36–50 km/h) tartományba esik, s 2–3 m/s szélesebbesség alatt (amelynek előfordulási gyakorisága hazánkban még a rotorok magasságában is számottevő) nem adnak le villamos teljesítményt. A szélesebbesség kiszámíthatatlan változása miatt a szél-erőművek nem mindig állnak a fogyasztók rendelkezésére, azaz egy ugyanolyan beépített villamos teljesítményű szél-erőmű és fosszilis erőmű nem azonos értékű a fogyasztói ellátás szempontjából. Az országos villamoselosztó-rendszer csak akkor működhet kelendő biztonsággal, ha a szél-erőművekből származó pillanatnyi teljesítmény mellett, amit vételez és továbbít a fogyasztók felé, egy időben kihasználatlan tartalékként rendelkezésre áll ugyanennyi szabad erőművi teljesítmény vagy szabadon lehívható import. A szélesebbesség csökkenése esetén ugyanis ezek beléptetése elkerülhetetlen. Természetvédelmi, környezetvédelmi szempontok figyelembevételével gazdaságosan telepíthetők szél-erőművek. A szélenergia egy rendkívül környezetbarát, korszerű energiaforrás, ezért a jövő energiaellátásának az egyik kulcseleme lehet. Ugyanakkor egy nem szabályozható, időjárásfüggő technológia. Így a szélenergia széles körű elterjedésének eléréséhez az energiatárolás gazdaságos biztosítását kell megoldani, melynek a villamosenergia-rendszer szabályozhatósága, befogadó képessége szab határt. Az ország 2020-as célkitűzése

⁷⁵ Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008-2020 Budapest, 2008. július.

így értelemszerűen a villamosenergia-rendszer szabályozhatósági korlátjához igazodik, ami a jelenlegi ismeretek alapján kb. 740 MWe összteljesítményig képes a szélenergiát befogadni. Természetesen ez az érték a későbbiekben a hálózat rugalmasabbá tételével tovább növelhető.

A nagyobb szél erőmű parkok mellett olyan kisebb szélkerekek, törpe turbinák elterjedésével is számol a cselekvési terv, amelyek időszakosan termelnek hálózatra, és elsősorban a helyi autonóm energiaellátásában töltenek be fontos szerepet. A szakértői becslések szerint 2020-ig ezek megjelenése kb. 10 MWe villamos energia összteljesítménnyel várható. A fentiek alapján 2020-ig tehát szélenergiából 750 MWe kapacitás kiépítését lehet reálisan megcélózni.⁷⁶

4.3.2 Geotermikus energia⁷⁷

Geotermikus energia vonatkozásában Magyarországon a geotermikus gradiens jelentősen meghaladja a világszerte, ami az ország egyik természeti kincse. A jelenlegi tényleges geotermikusenergia-hasznosításunk viszont még nagyon kicsi (a hasznosított 3,6 PJ geotermikus energia az összes primerenergia-felhasználásnak csupán 0,3%-a). Jelentős potenciál rejtezik a geotermikus energia hőellátásban történő szerepének növelésében (geotermikus energiával fűtött lakások száma 10 000-re tehető), ami Magyarországon bizonyos területeken (például kertészetek) már jelenleg is elterjedt fűtési módozat. A geotermikus energia esetében a kútelésítés és visszasajtolás közvetlen költségén kívül a hőellátási és elosztási rendszer kiépítésének ráfordításai miatt a legjelentősebb korlátozó tényezőt a finanszírozás biztosítása jelenti. Lényeges, hogy hazai körülményeink között a termálvíz hőellátásra történő hasznosításakor lényegesen nagyobb fajlagos földgázkiváltás érhető el, mint a villamosenergia-termelésnél, azaz a korlátozottan rendelkezésre álló termálvizet nem célszerű villamosenergia-termelésre fordítani.

A geotermikus hőellátás célja lehet épületfűtés, használati melegvíz-szolgáltatás, fürdők víz- és hőellátása, üvegházak hőellátása stb. Ezek az igények külön-külön vagy együtt is megjelenhetnek, esetenként a minél komplexebb hőhasznosításra kell törekedni. A célok között az épületek hőellátása a kiemelt feladat. A földhő hőszivattyúval is hasznosítható. Amíg a nagyobb hőmérsékletű termálvíz közvetlen hőhasznosítása előnyös, de korlátozott, addig a földhő / környezeti hő hőszivattyús hasznosítására szinte korlátlan lehetőség áll a rendelkezésre. A hőszivattyús hőtermelésben – a termálvíz közvetlen hőhasznosításához mérten – a kielégített hőigényt tekintve 2020-ig 10–15 PJ) indokolt tervezni, ez pedig azt eredményezi, hogy hőszivattyús hőellátással 1–1,5-szörös földgázkiváltás (5–7,5 PJ) érhető el a termálvíz közvetlen hasznosításához képest.

⁷⁶ KASZA A.: *A napenergia és szélenergia alkalmazásának lehetősége hazánkban*. Hadmérnök 4 (2) 29–40. (2009)

⁷⁷ KÖRMENDI K., SOLYMOSSI J.: *A villamosenergia-krízis kezelése Magyarországon*, Hadmérnök 3 (2) 40–50. (2008)

4.3.3 Napenergia⁷⁸

A napenergia vonatkozásában az elvi potenciál több tízezer MW teljesítmény lehet, a legjelentősebb korlátozó tényező a területigény és a költségek. A napenergia aktív hasznosításának két módja: a napenergia termikus hasznosítása, illetve a napenergia villamosenergia-termelés célú hasznosítása.

A napenergia termikus hasznosításának elterjedt és jellegzetes eszközei az épületek besugárzott felületére (tetőre) szerelt napkollektorok.

A termikus napenergia-hasznosító berendezések leggazdaságosabban használati meleg víz (HMV) előállításra alkalmasak, éves átlagban 30-50%-os hatásfokkal hasznosítják a napenergiát. A legnagyobb besugárzási időszakban a szezonális hasznosítás hatásfoka elérheti a 90%-ot is, ezért a szezonálisan üzemelő létesítményekben a legjobbak az alkalmazás lehetőségei (melegvíz-előállítás, medencefűtés). Azonban a komplex (melegvíz-előállítás, fűtésrészegítés, megújuló energiaforrások kombinálása) termikus hasznosítás egész évben hatékonyan működő energiaforrás lehet. A ma használatos napenergia-hasznosító technológiák éves átlagos hőenergia-hozama Magyarországon mintegy 1500 MJ/m², ebből az öt legmelegebb hónap (május–szeptember) alatt hasznosítható 1080–1260 MJ/m².

Villamos energia tekintetében az egyik irányzatot a fotovillamos napelemek jelentik, amelyek a napsugárzást közvetlenül alakítják át villamos energiává. A másik irányzatot a különböző naphőerőművek képviselik, amelyek a hagyományos hőerőművek hőmechanikai energiaátalakítás termodinamikai körfolyamatán alapulnak. A számított hazai elméleti potenciál jelentős növekedést tenne lehetővé, azonban a terület fejlesztésénél figyelembe kell venni a technikai és gazdasági potenciál korlátozó tényezőit, és a komparatív előnyöket/hátrányokat más megújuló energiát előállító technológiákkal szemben. A napenergia-hasznosítás területén a következő években várható, hogy a technológiai fejlődés eredményeképpen a berendezések ára csökken, teljesítményük és hatásfokuk növekszik, ezáltal a fotovoltaiikus (PV) rendszerek egyre versenyképesebb piaci terméké válnak.

A termikus napenergia-hasznosítás területén leginkább a családi házak, a közintézmények és az önkormányzati létesítmények melegvíz-ellátása, a fotovoltaiikus napelemrendszerek tekintetében a kettős hasznosítás fog leginkább előnyt élvezni, azaz a legfontosabb cél a saját energiatermelés, amelyet a többlet zöldenergia-értékesítés egészíthet ki. A fotovillamos eljárás a jövőben is elsősorban a villamos energiával el nem látott területek (országutak, tanyák) ellátásában játszhat szerepet, mert itt a napelemes autonóm áramforrás összességében olcsóbb lehet, mint a hálózati csatlakozás kiépítése.

Ezzel párhuzamosan a PV-rendszerek árának csökkenésével megjelenhetnek Magyarországon az első naperőművek is.

⁷⁸ BAKOSNÉ DIÓSZEGI M., SOLYMOSI J.: *Lágyszárú mezőgazdasági növényekből előállított pellet vizsgálata az energiabiztonság növelését szolgáló lehetőség szemszögéből*. Hadmérnök 3 (3) 14–24 (2008)

4.3.4 Biomassza⁷⁹

A biomassza mint energiaforrás alapvetően különbözik a széntől független forrásoktól (például 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 energia célú hasznosításnál, hogy összhangban maradjon a fenntarthatóság elveivel.

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.*”

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 – például égetés, elgázosítás, lepárlás (pirólízis) – révén a biomasszából *biohő*, *bio villanyáram*, valamint a közlekedés számára *bioüzemanyag* nyerhető.

A biomassza energetikai hasznosításának fő érve Magyarország primer energiainport függősége, az ellátás biztonságának növelése és az árstabilitás lehet. Ugyanakkor nem téveszthető szem elől, hogy a biomassza feltételesen megújuló primer energiaforrás, ezért energetikai hasznosításának tervezése során mérlegelni szükséges azokat az energetikai, társadalmi, ökológiai stb. bizonytalanságokat, ellenérveket és várható előnyöket is, amelyek a termesztés, a szállítás és a felhasználás során felmerülhetnek. Az élelmiszer célú mezőgazdasági termelés energetikai célú termeléssé alakítása egy lehetséges módja a termelés fenntartásának, a főleg mezőgazdasági termékek felhasználásának és a foglalkoztatásnak. Ez azonban a biomassza-felhasználási törekvések egyik legátadhatóbb pontja is egyben, ha figyelembe vesszük a termesztés területi lehetőségeinek szükségességét, az élelmiszer-ellátás biztonságát.

Lényeges és alapvető bizonytalanságot jelent a biomassza alapú energiatermelés életciklus-szemléletű energiámérlegének kérdése. Számos egymással ellentmondó energiámérleg készült, amelyek általában nem számolnak az úgynevezett virtuális energiafelhasználással. Például a biodízel előállításához számtalan segédanyagot használnak fel, amelyeket szintén elő kell állítani, logisztikai létesítmények sorát kell felépíteni. Ezek szállítási, vízfelhasználási és hulladékkezelési energetikai vonzata rendre kimarad a készülő mérlegekből. A biomassza erőművek, illetve bioüzemanyagot előállító üzemek méretgazdaságossági problémái is befolyásolhatják az energiámérleget.

⁷⁹ BAKOSNÉ DIÓSZEGI M.: *Hazai Energiabiztonság növelésének lehetősége*, Hadmérnök 4 (2) 5–15 (2009).

Nagyléptékű biomassza-erőművek helyett decentralizált, megújuló alapú fűtőműveket kell létesíteni, de csak ott, ahol a biomassza megfelelő mennyiségben helyben rendelkezésre áll.

Az iparszerű energetikai célú növénytermesztés a talaj fokozott tápanyagellátását igényli, fokozott műtrágyahasználat, talajművelés jellemzi. E beavatkozások a talajvízszint és talajminőség romlását, a mikroba közösségek elsorvadását vonják maguk után, amely az ökológiai rendszerek megújulását veszélyezteti. A mezőgazdasági alapú megújuló energiahordozók hasznosításának – az energetikai célú növénytermesztésnél fenntarthatósági szempontokból egyértelműen kedvezőbb – egyéb lehetőségei is vannak.

Az alábbiakban a biomassza különböző alkalmazási lehetőségeit környezeti szempontból vizsgálva az alábbi sorrend alakul ki:

1. Biogáz, depóniagáz hasznosítása. Az állattartásból, hulladékgazdálkodásból származó magas metántartalmú melléktermék energetikai hasznosítása (például helyi hőhasznosítás és villamosenergia-betáplálás, gázelosztó hálózatra termelés, közlekedési biogáz felhasználása) kiemelkedő jelentőségűnek tekinthető az energiagazdaság környezeti és fenntarthatósági törekvéseinek integrációjában. Hatásait tekintve különösen a légszennyezés csökkentése, a levegőminőség javítása, a globális légszennyező hatások csökkentése szempontjából fontos. Különös jelentőséget ad neki, hogy a termelt biogáz tisztításával a földgázimport részleges kiváltása is lehetővé válik.

A megújuló energetikai eljárások között különleges helyet foglal el a biogáz előállítás. Ezzel az anaerob technológiai eljárással sikeresen lehet „kezelni” a szennyezések szerves frakcióját. A hulladék kialakulását nem szünteti meg, ugyanakkor arra kiválóan alkalmas, hogy környezetbe kerülését megakadályozza, lehetőséget nyújtva közben „zöld energia” előállítására. Ily módon, a környezetre káros anyag felhasználásával számunkra fontos termék (energia) nyerhető.

A szerves anyagokban lekötött szén elgázosodása a biogáz. Mindenből nyerhető biogáz, aminek az alapja szerves anyag (szénhidrát, szerves zsír, fehérje).

A biogáz alapanyagai:

1. fás vagy lágyszárú növényzet;
2. mezőgazdasági hulladék;
3. állati trágya;
4. állati hulladék (tetem);
5. szennyvíz.

Bárhol, a természetben található szerves anyag bomlása közben keletkezik biogáz. A folyamat – ami a mesterségesen létrehozott biogáztelepen zajlik le – csupán biztosítja és egyenletesebbé teszi a természet útján amúgy is bekövetkező kémiai reakció egyenletességét és jó hatásfokát.

A szerves anyag lebontását a metánbaktériumok végzik. Ezek optimális működéséhez az alábbi feltételek szükségesek:

1. oxigénmentes környezet;
2. állandó 20-30 °C feletti hőmérséklet, sötétség;

3. 50% feletti nedvességtartalom;
4. 7-7,5 pH érték;
5. elegendő nitrogéntartalom.

Ezeknek a követelményeknek egy tartály tesz eleget (úgynevezett fermentor). A különböző alapanyagokat aprítás és homogenizálás után juttatják el a speciális tartályba. Állandó hőmérsékleten tartva folyamatos keverés mellett az anyag az anaerob térben lebomlik 2/3 részt metánra és 1/3 részt szén-dioxidra.

A metán %-os értéke adja a biogáz értékét, energiataralmát. A földgázhoz képest, ami csaknem 100%-os metántartalmú a biogáz kb. 55-70%-os metántartalommal rendelkezik. A metántartalom nagyban függ az alapanyag összetételétől. A minőséget, illetve az energiahozamot lehet növelni úgynevezett elő-, illetve utófermentorok sorba állításával. Az előbbi a kb. 30-35 °C-os mezofil fermentor, az utóbbi az 50-55 °C-os termofil fermentor.

Biogáz főként baktériumok aktivitása során keletkezik, habár néhány gomba, illetve alacsonyabb rendű állati szervezet is részt vesz az anyagok lebontásában. A mikrobák szaporodása és a biogáz képződése természetben igen lassan megy végbe. A bomlási-átalakulási folyamat minden egyes anyagnál más és más ütemben zajlik. A cellulóz alapú anyagok lebomlási ideje nagyon hosszú: 40-50 nap, míg az állati eredetű anyagoké csupán 8-20 nap.

A bioenergia felhasználása összefügg a földhasználatra gyakorolt hatásával. Az olyan kifejezések, mint „megújuló”, „alacsony üvegházhatású gáz kibocsátással 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.

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. Az üvegházhatású gáz kibocsátás 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.

A gáztermelés is hasonlóan alakul, mint a folyamat időtartama. A gyorsan lebomló anyag arányos idő alatt nagyobb mennyiségű gázt termel. Nagyon fontos tehát, hogy a hulladékokat úgy válogassák össze, hogy a leghatékonyabb legyen a biogázüzem működése. Csak több komponensű biomasszával biztosítható a kiegyensúlyozottabb gáztermelés.

2. Mező- és erdőgazdasági melléktermékek decentralizált alkalmazása. Az agromelléktermékek 20 MW kapacitást meghaladó erőművi alkalmazása (például szalmaerőmű) fenntarthatósági szempontból nem kívánatos; többek között amiatt, hogy a jelentős szállítási igények átbillenthetik a negatív tartományba e beruházások szén-dioxid- és energiámérlegét.

3. Erdei biomassa (tűzifa) lokális, decentralizált alkalmazása hőtermelésre. Lényeges, hogy a tűzifa megújuló képessége gyengébb a fanyesedék megújuló képességénél, ezért – még a kisléptékű, helyi alkalmazások során is (például háztartási fűtés, falufűtés) – figyelembe kell venni a helyi termőhelyi adottságokat és ezek függvényében kell a támogatási rendszert kialakítani. Az erdei biomassa felhasználásánál azt a helyi hőtermelést kell előtérbe helyezni, mely az energiaátalakítási értéklánc mentén jobb hatásokkal biztosítható. Ennek révén javul az energiahatékonyság, nő a megújuló energiaforrások aránya, kedvezően hat az erdők védelmére, csökkenti a globális légszennyező hatásokat. Ugyanakkor hasonló lokális légszennyezési problémák merülhetnek fel, mint a fent említett mezőgazdasági melléktermékek esetében.

4. Energetikai célú ültetvényeken termelt fás szárú biomassa alkalmazása hő- és villamos erőművekben. E hasznosítási mód környezeti szempontból hátrányosnak tekinthető. Ez szoros kapcsolatban áll a művelés intenzív jellegével, s így a vizekre, a talajra és a biológiai sokféleségre gyakorolt negatív hatásokkal. Mivel az ültetvények öntözés és kemikália igénye jelentős, figyelembe kell venni a térség vízkészleteit és felszín alatti vízbázisának sérülékenységét. Lényeges, hogy energetikai rendeltetésű ültetvényeket mezőgazdasági termelés szempontjából kevésbé értékes, természetvédelmi szempontból pedig nem érzékeny, marginális területeken szabad csak tervezni, így az élelmiszerbiztonság szempontjából kisebb kockázatot jelent.

5. Bioüzemanyagok gyártása és felhasználása. Az EU közösségi energiapolitikája és a hazai Energiastratégia is jelentős hangsúlyt helyez a hazai erőforrások használatára, a helyben előállítható bioüzemanyagokra. A bioüzemanyagok szintje a hazai közlekedésben az európai átlagnak megfelelően alakult, jelenleg 4,2% az energiatartalom alapján. Az E85 igényt hazai termelésből fedezzük, a szükséges etanolt kukoricából állítjuk elő első generációs technológiával. A jelenleg versenyképes árat az E85 etanol tartalmának jövedékiadó-mentessége biztosítja. A bioüzemanyagokra való átállás a fosszilis üzemanyagokhoz képest kedvezően hat a levegőminőségre, és ezen keresztül az emberi egészségre. Ugyanakkor a bioüzemanyagok termesztése és feldolgozása során több kockázat is felmerül; különösen érzékeny terület az élelmiszer-biztonság és a természetvédelem. A bioüzemanyagok gyártása és felhasználása során tekintettel kell lenni a fenntarthatósági kritériumokra, például ne generáljon túl magas szállítási igényeket az alapanyag szállítása, ne szorítsa ki az élelmiszer-termelést, s szem előtt kell tartani az erdő-, táj- és talajvédelmet. A bioüzemanyagok gyártásánál a melléktermékek hasznosítására is hangsúlyt kell helyezni. Egyértelműen a második generációs bioüzemanyag-technológiákat célszerű preferálni, melyek kedvezőbb környezeti vonatkozásokkal jellemezhetők, azonban ezek nagyüzemi technológiai, költség/haszon viszonyai ma még nem teljes körűen ismeretesek.

6. Erdei biomassa (tűzifa) alkalmazása hő- és villamos erőművekben. 2009-ben a villamosenergia-termelés 8%-a származott megújuló forrásból, aminek kétharmada tűzifa és rönkfa eredetű. E hasznosítási mód a megújuló alapú hő- és villamosenergia-

termelésen belül a legkedvezőtlenebb környezeti teljesítményértékekkel rendelkezik. Különösen természetvédelmi szempontból hordoz környezeti kockázatokat és gerjeszt környezeti konfliktusokat az intézkedés, mely nem segíti az erdők természetvédelmét, a természetközeli faösszetételű erdők megtartását, a zöldfelületek mozaikosságának növelését, a tájkép megóvását, a táji értékek optimális hasznosítását, a biológiai sokféleség megóvását. Mindezek alapján az erdei biomassa (tűzifa) alkalmazását minimalizálni szükséges, és törekedni kell a tarvágások elkerülésére, ugyanakkor a szálaló fakitermelés preferálására. A megújuló energia részaránya a végső energiafelhasználáson belül 6,6% volt 2008-ban, ezzel az EU-tagországok közt az alsó egyharmadban foglalunk helyet. A megújuló energiahordozók hasznosításának túlnyomó része biogén forrású energiatermelés (erdészetből és mezőgazdaságból származó biomassa, biogáz, bioüzemanyagok). Nem elhanyagolható hazai sajátosság, hogy a megújuló energiaforrásból jelentős részt képvisel a tűzifa szénrel való együttégetése rossz hatékonyságú, régi erőművekben, amelyek kiváltása fenntarthatósági és energiahatékonysági szempontok alapján is indokolt. Ezt levonva még kisebb a hazai megújuló arány, körülbelül csupán 2-2,5%.

4.3.5 Bioüzemanyagok⁸⁰

Napjainkban a folyékony, úgynevezett bioüzemanyagok két fontosabb csoportja terjedt el: a növényi eredetű alkoholok (bioetanol) és a növényi olajokból átészterezéssel előállított biodízel.

A bioetanol gyártásának alapanyaga lehet magas cukortartalmú növény (például cukorrépa, cukornád, cukorcirok) vagy olyan anyagot tartalmazó növények, melyet cukorra lehet alakítani (például keményítő tartalmú kukorica, búza, burgonya stb., vagy cellulóz tartalmú fa, fűfélék, gabonaszárak, szalma). A bioetanol-termelés így széles körű nyersanyagbázisra épülhet, valamint lehetőséget kínál a jelenlegi mezőgazdasági melléktermékek és hulladékok felhasználására is. Magyarországon elsősorban a kukorica, búza és a csicsóka, valamint a cukorrépa jelentheti az elsőgenerációs bioetanol-gyártás nyersanyagbázisát. A közeljövő technológiáját azonban a cellulóz alapú, úgynevezett másodikgenerációs bioetanol-előállítás jelenti. Ennek technológiája jelenleg kísérleti fejlesztés alatt áll, szélesebb körű elterjedése 2015 után várható. Az alapanyagok előállítását tekintve hazánkban kedvezőek a feltételek a bioetanol előállításához. Évente átlagosan 6-7 millió tonna kukorica terem, amelyből egyre kevesebbet használnak fel takarmányozásra, ugyanakkor nő az export és az ipari feldolgozásra kerülő kukorica mennyisége. A hazai előállítású kukorica lényegesen nagyobb nagyságrendben áll rendelkezésre, mint amennyi a közeljövőben várható hazai felhasználás. A kukorica alapú etanol mennyisége akár a 700-800 ezer tonnát is elérheti évente, amely többszöröse a magyarországi motorüzemanyag-gyártók és forgalmazók 2010-ig várható igényének.

⁸⁰ *Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020.* Bp., 2008. július.

Magyarország ökológiai adottságai kevésbé kedveznek a biodízel fő alapanyagának – mivel a napraforgó étkezési célú felhasználása az elsődleges – a repcének, amelynek termésterülete mintegy 240-280 ezer hektáron behatárolt. Átlagos hozamok mellett 100-110 ezer tonna biodízel nyerhető. Ez nem fedezi teljes egészében a várható hazai dízelüzemanyag-igényt, amely 120-130 ezer tonnára tehető évente.

Becslések szerint a jelenlegi hazai energetikai célú repcetermelés területét meg lehet duplázni és a hazai motorüzemanyag-gyártók igényét célszerű minél nagyobb százalékban hazai forrásból fedezni. Ez teljesülni látszik a tervezett és bejelentett biodízel gyártó üzemek output-kapacitása alapján, amely összesen több mint 400 ezer tonnára tehető. Ez mintegy 1,3 millió tonna olajosmag feldolgozását tenné szükségessé, ami a jelenlegi termelést alapul véve nem elégíthető ki.

Bioetanol benzinkomponensként motorbenzinbe keverve oktánszámnövelő adalékanyagként használható. Bioetanol a jelenleg hatályos motorbenzin szabványnak megfelelően max. 5%-ban keverhető a benzinbe. Bizonyos autógyárak jelezték, hogy várhatóan 2013 után piacra kerülő Otto-motoros modelljeikben kb. 10-15% bioetanol tartalmú üzemanyag is felhasználható lesz majd, üzemeltetési problémák nélkül. Ennél nagyobb arányban bioetanol tartalmú benzin használatához a motor átalakítására vagy speciálisan erre a célra készült járműre van szükség.

A biodízel esetében az alapanyag-bázis szűkebb, Magyarországon a napraforgó és a repce jelenti a biodízel széles körben alkalmazható növényi bázisát. A biodízel szintén különböző arányokban keverhető a hagyományos dízelolajba.

A maximum 5% biodízelt tartalmazó B5-ös üzemanyagot gyakorlatilag bármelyik dízelmotorban módosítások nélkül lehet alkalmazni. Ennél magasabb bekeverési arány lehetőségét a modern dízelautók gyártóinak bevonásával vizsgálják, várható a 7 tf%-os bekeverési arányt tartalmazó dízelüzemanyag-szabvány bevezetése. Napirenden van a 10 tf% biodízel tartalmú dízelüzemanyag-szabvány is, melynek felhasználása az új dízel üzemű gépkocsik többségében problémákat okozhat.

Vitatott kérdés a bioüzemanyagok energiamérlege és a teljes életciklusra vonatkozó környezeti hatásuk. Miközben a bioüzemanyagok felhasználása során a növény által a légkörből megkötött szén-dioxid szabadul fel, addig a növénytermesztés és előállítás során jelentős mennyiségű, fosszilis eredetű üvegházgáz kerülhet a környezetbe. A bioüzemanyagok használata csak akkor jelenthetne valódi alternatív energiaforrást, ha az előállításához is megújuló forrásokat használnánk. Ezzel szemben a földművelésnél, a műtrágyák és gyomirtók gyártásánál, a leparlásnál és a finomításnál, valamint a szállításkor is többnyire fosszilis energia felhasználásra kerül sor, ami rontja a bioüzemanyagok energiamérlegét. További aggályokra adhat okot, ha a bioüzemanyagok alapanyagául szolgáló növényeket környezetvédelmi szempontból értékes területeken termelik. Nemzetközi kutatások eredménye szerint a bioetanol és biodízel teljes életciklusra vonatkozó energiamérlege (output-input aránya) a közelmúltban végbement technológiai fejlődésnek köszönhetően – átlagosan 1,4 arányszámmal – egyértelműen pozitív, de az első generációs etanolé a legalacsonyabb az alternatív motorhajtóanyagok között. Az első generációs bioetanol várhatóan 10 éven belül kiszorítják a második generációs üzemanyagok, ezért nem indokolt a nagykapacitású etanolüzemek beruházásának támogatása, bár az

első generációs üzemek a későbbiek során relatíve kisebb költségekkel átalakíthatóak második generációs bioüzemanyag-gyárakká. A Nemzetközi Energia Ügynökség Magyarországról készített 2006-os elemzése megállapítja, hogy az etanolüzemek megfelelő megoldást jelenthetnek a hazai kukoricafelesleg felszívására. A hazai termékfelesleg fölötti kapacitás kiépítése viszont nem tekinthető elfogadhatónak, mivel az már versenyt jelenthet a hazai élelmiszer- és takarmány-ellátással szemben.

Az első generációs bioüzemanyagok jelentősége

Az első generációs üzemanyagok közé hagyományosan a cukor- és keményítő-tartalmú anyagokra alapozott bioetanol, valamint a szántóföldi növényekből és állati eredetű melléktermékekből készített biodízel sorolják. A kőolajtermelés mintegy 1,5%-át tették ki az első generációs bioüzemanyagok, a többedik generációsak részaránya elhanyagolható (a megújulókon belül mintegy 0,5%) volt. Az előrejelzések szerint az olajfogyasztást jóval meghaladó, 42%-os növekedés várható a bioüzemanyagok termelésében, s ennek már jelentős hányada második generációs hajtóanyag (várhatóan elsősorban cellulóz-alapú etanol) lesz.

Újabb generációs hajtóanyagok⁸¹

Az újabb generációs hajtóanyagok közös jellemzője, hogy:

- * vagy olyan alapanyagok (például: lignocellulózok, alga) felhasználásával készülnek, melyek élelmiszer-ipari célra nem (vagy nem jellemzően) használhatók fel, ilyen módon az előállítható hajtóanyagok potenciális mennyisége nagymértékben megnövekszik,
- * vagy hagyományos alapanyagokból (növényi olaj, szénhidrát) állítják elő őket, de jóval fejlettebb technológiával és jobb minőségben, ami felhasználhatóságukat javítja (például: biobutanol, TBK-biodízel).
- * Jóval kisebb a károsanyag-kibocsátásuk az első generációs üzemanyagoknál, a mezőgazdaságon kívül pedig az erdészetekben is munkahelyeket teremtenek, valamint képesek felhasználni mezőgazdasági melléktermékeket (szalma, hígtrágya) is. Önköltségük, valamint fajlagos beruházási költségük azonban jelenleg magasabb az első generációs üzemanyagokénál – különösen a cukornád alapú bioetanolénál, bár a komplex üzemek gazdaságossága az utóbbi időben jelentősen nőtt.

A jelenleg is gyakorlati jelentőséggel bíró cellulózalapú bioetanol mellett a legperspektivikusabbnak tűnő újabb generációs biohajtóanyagok legfontosabb jellemzői:

Biobutanol: az etanolnál hosszabb szénatomláncú magasabb fűtőértékű (a benzin 90%-át), bár kisebb oktánszámot eredményez. A nagyfokú hasonlóság és a vízmentesség a benzinnel könnyebb keverhetőséget, és a csővezetékes szállítást is lehetővé teszi.

⁸¹ BA1 Attila: *Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái*, Magyar Tudomány. 2011 (7) 861–871.

Biogázolaj: nagy nyomáson (cca. 60 bar) és magas hőmérsékleten (360–380 °C) növényi olajokból előállított magas (50% fölötti) normálpárártalommal rendelkező hajtóanyag, melynek főbb tulajdonságai (fűtőérték: 44 MJ/kg, viszkozitás: 2,9–3,5, cetánszám: 70–90) felülmúlják nemcsak a biodízel, hanem a gázolaj jellemzőit is.

TBK-biodízel: növényi olajok rövid szénláncú zsírsavak alkilésztereivel történő részleges átészterezésével kapott hajtóanyag. 30%-kal magasabb O₂-tartalma miatt hatékonyabb és tisztább az égése, magasabb a fűtőértéke (38–39 MJ/kg) a hagyományos biodízelnél, jó a viszkozitása, a végtermék alacsonyabb jód száma (100–110) miatt a napraforgóból is előállítható ezen eljárással szabvány minőségű biodízel. A folyamat során a hagyományos eljárásához képest kb. 10%-kal több biodízel képződik, ugyanakkor a glicerinképződés elmarad. Működő biodízelüzemek is könnyen átállíthatók az új technológiára.

Biometanol: szerves hulladékból pirólízissel előállított, téli üzemelésre is kiválóan alkalmas, az etanolnál alacsonyabb hőmérsékleten elégő, jóval kevesebb káros anyagot (különösen NO_x-et) kibocsátó üzemanyag. Előállítható a biodízelgyártás melléktermékéből (glicerinből) is. Energiatartalma közel megegyezik a benzinnel. A hagyományos szemétegetéssel szemben a folyamatban nem keletkeznek dioxinok és kátrány. Hazai viszonyok között hulladékból elvileg 30 Ft/kg költséggel előállítható a hagyományos eljárások 100 Ft/kg-os költségével szemben.

Dimetil-éter: rendszerint szintézisgázból közvetlenül vagy az ebből előállított biometanolból vízelvonással termelhető gáz, mely 5–8 bar nyomáson cseppfolyósítható és ilyen módon cseppfolyósított propán-butánnal is keverhető. Nemcsak adalék- és üzemanyagként, hanem gázturbinák, üzemanyagcellák működtetésére is alkalmazható. Életciklusa során a legtöbb bioüzemanyagnál kevesebb káros anyagot bocsát ki.

Hidrogén: a hajtóanyagok közül legnagyobb az energiasűrűsége (120 MJ/kg), jól tárolható és sokféle célra felhasználható. Jelenleg 50%-át földgázból, 30%-át kőolajból, 16%-át szénből állítják elő, ám megújuló alapanyag (biogáz, bioetanol, szél/napenergia-ával történő vízbontás) esetén életciklusa elvileg teljesen CO₂-semleges tehető. A víz átalakításának hatásfoka elektrolízissel eléri a 60–85%-ot. Elterjedését a kapcsolódó infrastruktúra kiépítésének drágasága gátolja leginkább. A hagyományos (fosszilis alapú) előállítási módokkal a hidrogén önköltsége 2009-ben 400–700 Ft/kg, szélerőműves hidrolízis esetén 1500–1600 Ft/kg, napelemmel pedig 6000–6200 Ft/kg körül mozog.

4.3.6 Vízi energia

Az EU 25 országaiban a vízenergia az összes energiefelhasználás 24%-át tette ki 2004-ben. A vízenergia a megújulókból származó energiefelhasználásban a biomassza után a második helyen áll, de jelentősége csökken az utóbbi években.

A vízenergia-potenciált ugyanis Európa nyugati fele már többnyire kiaknázza. Magyarországon a jelenleg meglévő 31 vízerőmű összteljesítménye 55 MW, villamosenergia-termelése közel 190 GWh/év, ami a teljes hazai villamosenergia-felhasználás kevesebb, mint fél százaléka. Az előállított villamosenergia kb. 90%-át a négy jelentősebb

vízerőmű (Kiskörei, Tiszalöki, Kesznyéteni és az Ikervári erőművek) termeli meg. A kis vízfolyások vízerő készlete mintegy 40 MW elméleti teljesítmény és 240 GWh/év elméleti energiatartalmat képvisel. A gyakorlatban hasznosítható vízerőkészlet 10 MW körül van, ami kb. 60 GWh/év termelésnek felel meg.

Magyarország vízenergia-adottságai csak részben kedvezőek, ugyanis kevés a hegyvidéki terület, országosan eltérő a csapadék eloszlása mind térben, mind időben, továbbá a nagy vízhozamú folyóink kis esésűek. Hasznosítása elsősorban vízgazdálkodási, árvízvédelmi és környezetvédelmi kérdés. A vízenergia esetében, a nagyobb duzzasztóművek létesítése helyett célszerűbb kisebb kapacitású erőművek építése, illetve korszerűsítése. A cselekvési terv ezért a vízenergia vonatkozásában a kisebb folyók szabályozhatóságában fontos szerepet betöltő, már meglévő duzzasztókba beépíthető törpe vízerőművekkel, valamint a folyómedrekbe telepített átáramlásos turbinákkal számolt. A törpe vízerőművek telepítési lehetőségeinek, helyszíneinek számba vétele alapján 2020-ig összesen 16–17 MWe beépített villamosenergia-teljesítmény installálása tűnik reálisnak. A vízerőművek leginkább a járási energiaellátásban, azaz lokális környezetben, saját energiafelhasználás céljából jelenthetnek hatékony és gazdaságos megoldásokat. Amennyiben telepítésük során a környezetvédelmi és vízgazdálkodási szempontok érvényesítésre kerülnek, akkor a vízenergia az egyik legbiztosabb energiaforrás, ami ezen túlmenően kiválóan szabályozható, így a villamosenergia-rendszer szabályozhatóságához is hozzájárul.

4.3.7 Megújuló energiaforrás alapú villamosenergia-termelés⁸²

Magyarország az Európai Unióhoz való csatlakozáskor kötelezettséget vállalt arra, hogy a megújuló bázisú villamosenergia-termelés részaránya 2010-re eléri a 3,6%-ot. A tagországok közül Magyarország a legalacsonyabb vállalást tette, amelyet a 2005-ben elért 4,5%-kal elsőként sikerült is teljesítenie. A részarány teljesítése néhány, korábban széntüzeléses erőművi blokkok tisztán biomassza tüzelésre történő átállításának, valamint a megújuló energiaforrásokkal kevert vegyes tüzelésre való áttérésének volt köszönhető. A megújuló energiaforrásokkal termelt villamos energia aránya a teljes villamosenergia-fogyasztáson belül 13,7%-ot ért el 2004-ben az EU 25-ben, nagy országok közötti eltérésekkel. A vízenergia-felhasználásnak köszönhetően kiemelkedik Ausztria, Svédország és Lettország, egyéb megújuló energiaforrásainak köszönhetően szintén magas részarányal rendelkezik Szlovénia, Dánia, Portugália. Magyarország a 2004-ben elért 2,3%-kal a sereghajtók között helyezkedik el. Az EU 25 megújulóenergia-felhasználás növekedése az elmúlt évtizedben csak a villamosenergia-ágazatban volt jelentős. Nagy részben a 2001-ben elfogadott uniós irányelvnek köszönhetően az EU25 átlaga 2010-re várhatóan eléri a 19%-ot, amivel közel kerül a megújuló villamos energia részarányára

⁸² *Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020.* Bp., 2008. július.

vonatkozó 21%-os célkitűzéshez. Az elmúlt évtizedben a növekedés a szélenergia terén különösen erős volt, és szintén jelentős fejlődést mutat a biomassza alapú villamosenergia-termelés. Az érvényes EU irányelvek és az azokból következő hazai támogatási rendszer jelenleg elsősorban a megújuló energiaforrások felhasználásával történő villamosenergia-termelést, illetve a megújulók közlekedésben való térnyerését preferálja. Ennek következtében Magyarországon is erre a két területre irányulnak állami ösztönzők. A „zöld” áram-termelést a magyar jogszabályok az átvételi kötelezettséggel és az átvételi árba épített közvetlen árkiegészítéssel támogatják, míg a bioüzemanyagok terjedését adómentesség, adó-visszatérítés, adódifferenciálás révén. Nem vonatkozik külön támogatási rendszer azonban a megújuló energiaforrásból származó hőtermelésre. A támogatások eredményeképpen a 2003-as év óta erőteljesen nőtt Magyarországon a biomassza villamosáram-termelésre történő felhasználása. 2005-ben a megújuló energiaforrások felhasználásával előállított áram 4,5%-át, 2006-ban pedig egy jelentősebb visszaesés eredményeként 3,7%-át tette ki az összes villamosenergia-igénynek. (A 2007. évi adatok alapján a megújuló energiahordozó bázisú villamosenergia-termelés az előző évi 1624 GWh-ról 2019 GWh-ra nőtt, ezzel a zöldáram részaránya a villamosenergia-felhasználásban 4,6%-ra emelkedett.) A 2006. évi visszaeséssel együtt is sikerült azonban teljesíteni azt a 2010-re kitűzött 3,6%-os részarányt, amelyet Magyarország az uniós csatlakozást követően a 2001/77/EK irányelvvel összhangban vállalt.

A megújuló alapú villamosenergia-termelés 2003 utáni felfutása legnagyobb részben annak volt köszönhető, hogy a meglévő erőművi kapacitásokat átállítottak biomasszatüzelésre (Pécsi Erőmű – 49 MW, Kazincbarcikai Erőmű – 30 MW, Ajkai Erőmű – 20 MW), valamint meglévő szenes erőművekben, átalakítás nélkül, tűzifa és egyéb mezőgazdasági termékek szénrel való együtt tüzelésére álltak át (Tiszapalkonyai és Mátrai Erőmű).

Ez a két technológia tekinthető a megújuló energiafelhasználás legolcsóbb és leggyorsabban realizálható formájának. Egy-két kivételtől eltekintve azonban ezeket a technológiákat rendkívül alacsony hatásfok jellemzi: az átalakított erőművek villamosenergia-előállításának átlagos hatásfoka 30% alatti. Bár korszerűbb technológiák mind a villamosenergia-, mind a hőenergia-termelésben rendelkezésre állnak, a megújuló hőtermelés támogatásának hiányában az erőművek nem ösztönöztek a hő hasznosításában. A biomasszán felül a megújuló alapú áramtermelés kb. 12%-át a vízenergia, további 6%-át pedig kommunális hulladék felhasználásával állították elő 2006-ban. A jövőben a szélenergia jelentőségének növekedése várható, ahogy fokozatosan megépülnek, és termelni kezdenek azok a szélerőművek, amelyek a 2006 tavaszán engedélyezett 330 MW beépített szélerőművi teljesítményen osztoznak. A megújuló alapú villamosenergia-termelésben 2006-ban mintegy 17%-os visszaesés figyelhető meg. Ennek indoka, hogy a tűzifán kívül biomassza címén különböző mezőgazdasági melléktermékeket (például szőlőtörköly, húsliszt) is felhasználtak az erőművek, amely alapanyagok azonban nem állnak stabilan rendelkezésre. Részben erre hivatkozva csökkentette a Magyar Energia Hivatal 2006-ban a Mátrai Erőműtől és más biomasszát használó erőművektől kötelezően átveendő „zöldáram”-mennyiséget. A korlátozásnak azonban elsődlegesen pénzügyi indoka volt.

4.3.8 Megújuló energiaforrás alapú hőenergia-termelés⁸³

A megújulók hőtermelési célú támogatására egyelőre nem vonatkozik egységes európai szabályozás. Egyes tagországok mégis támogatják a megújulók felhasználását a hőtermelésben, elsősorban beruházási kedvezmények biztosításával. Az egységes hőpiaci támogatási szabályok szükségességét az Európai Unió is felismerte: a Bizottság 2006-os döntése alapján ki kell dolgozni egy „megújuló hő” irányelvet, amely számszerű célkitűzéseket tartalmaz a megújulók felhasználására vonatkozóan a fűtés és hűtés területén.

Az EU-15-ök megújuló alapú hőtermelése 2001-ben 1767 PJ (42,2 Mtoe), a 2004-ben csatlakozott országoké pedig 234 PJ (5,6 Mtoe) volt, amely egyaránt kb. 11%-os részarányt képviselt az összes hőigényen belül. A megújuló alapú hőtermelés legnagyobb részben az Unióban is biomasszán alapul, az elhanyagolható maradék 2/3-1/3 arányban oszlik meg a geotermikus- és a napenergia között. A biomassza-felhasználás csaknem 60%-át a háztartások tűzifaigénye teszi ki, 15% körüli a közcélú kogeneráció és 10% feletti az ipar részaránya. A megújuló alapú hőtermelés hazai helyzetének áttekintése előtt az energiapolitikában a mai napig alacsony prioritást élvező hőpiaci jellemzőit tekintjük át röviden. A hőpiac külön vizsgálatát indokolja, hogy Magyarország 2005. évi 926,5 PJ volumenű közvetlen (végső) energiafelhasználásának több mint felét (mintegy 490 PJ-t) hőigények ellátására fordították. A hőigények nagy részét a hazai éghajlati viszonyok által determinált épületfűtés (illetve egyre növekvő hűtés), és az úgynevezett használati melegvíz-készítés összesen ~330 PJ volumenű hőigénye teszi ki. Ebből ~291 PJ a decentralizált hőpiacon (azaz az egyedi fűtés és használati melegvíz), ~39 PJ pedig a centralizált vagyis távhő-piacon jelentkezik. Az ezek fedezésére fordított végső energiafelhasználás ~376 PJ. Ettől eltérő jellegű igényt jelent az ipar ~92 PJ volumenű technológiai hőigénye, amelyekre az időjárásnak nincs meghatározó befolyása, és az előbbiekhöz képest általában csak jóval magasabb hőmérsékletszinten elégíthető ki.

Annak ellenére, hogy a hőpiac volumenében igen jelentős, a hőenergia a végső energiafelhasználás statisztikailag „rejtőző” szegmense, miután a hőtermelés jellemzően (kb. 5/6 részben) helyileg, a végfelhasználóknál decentralizáltan történik. A statisztikákban önálló kategóriaként csak a távhő és a technológiai hőfelhasználás jelenik meg, míg a végül hő formájában decentralizáltan felhasznált energia nagyobb részének tekintetében csak az előállításához felhasznált energiaforrásokat mutatja ki az energiastatisztika. A hőpiaci energiaforrás-felhasználásában a földgáz játszik meghatározó szerepet. A decentralizált – főzési célú igények nélküli – hőpiacon a kiépült földgázhálózat, a földgáz bázisú hőtermelés magas komfortja és a kedvező ár együttesen azt eredményezte, hogy a hőellátás több mint ¾-ét földgáz felhasználásával biztosítják.

A megújulók (túlnyomórészt tűzifa) együttes részesedése még a fosszilis szilárd energiaforrásokénál is kisebb. A hőpiaci igények kielégítésének centralizált formája a távhőellátás, amikor a végső felhasználókhöz hőtávozterék-rendszeren juttatják el

⁸³ *Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020.* Bp., 2008. július.

a központilag előállított hőenergiát. A ~63 PJ volumenű távhőpiac Magyarországon az összes hőigénynek csak viszonylag kis hányadát ($\sim 1/6$ -át) képviseli, amelynek mintegy kétharmadát villamosenergia-termeléssel kapcsolatan állítják elő. A földgáz- és villamosenergia-ellátástól eltérően a távhő esetében a műszaki adottságok miatt nincs országos hálózat, vagy együttműködő rendszer, a települések szintjén, illetve sokszor a településeken belül is kisebb-nagyobb önálló, „szigetüzemi” rendszerek működnek.

A távhőre felhasznált tüzelőanyagoknak is döntő hányada (több mint 80%-a) földgáz, a megújulók pedig csupán 1,5% körüli részarányt képviselnek. A 2006. évi, összesen közel 55 PJ volumenű megújuló energiafelhasználásból a hőtermelés céljára fordított ~36 PJ forrásonkénti bontása a következő ábrán látható. A megújuló alapú hőtermelésben – a zöldáram-termeléshez hasonlóan – a biomassa képviseli a legjelentősebb volument és részarányt, ezen felül a geotermikus hőtermelés tekinthető viszonylag jelentősnek. Ez a megoszlás – amely jellegében azonos az Unióéval – jól tükrözi a hőpiac rendelkezésére álló megújuló energiaforrások hazai adottságait és lehetőségeit is. A megújulók hazai részaránya a hőigények kielégítésében 2006-ban tehát összességében nem érte el a 10%-ot, felhasználói oldalon tehát viszonylag nagy a megújulókkal elvben kiváltható hőigény. A tényleges kiváltásnak azonban számos akadálya van, amelyek közül a legfontosabbak a következők:

- ✱ A megújuló alapú hőtermelő projektek megtérülési ideje igen hosszú (általában jóval meghaladja a tíz évet). Elsősorban a geotermikus energia (és a napenergia) felhasználhatósága jön szóba.
- ✱ A megújuló alapú hőtermelő megoldások alkalmazása esetén a csúcsgények fedezésére hagyományos hőforrás létesítésére is szükség lehet a (táv)hőfogyasztók fizikai elérése egyes megújuló energiaforrásokkal (például termálvíz) ésszerű beruházási költségek mellett általában nem lehetséges.
- ✱ A hőtermelés szempontjából legígéretesebb szilárd biomassa felhasználásánál a szállítás és a komoly helyigényű tárolók kialakítása jelentős korlátozó tényező.
- ✱ A szigorú környezetvédelmi előírások betartása (például a kiemelt termálvíz visszacsajtolásának követelménye, illetve villamosenergia-igényessége) sok esetben eleve kizárja alkalmazhatóságukat.
- ✱ A magyarországi távhőrendszerek jelentős részében korszerű kapcsolt energiatermelés történik, így a megújuló hőtermelés megvalósítása egyes esetekben csak viszonylag kis kihasználással lehetséges, ami az amúgy is drága beruházás megtérülési mutatóit tovább rontja.

4.3.9 A megújuló energiafelhasználás villamosenergia-rendszer szabályozhatóságára gyakorolt hatásai⁸⁴

A megújuló energiaforrásból villamos energiát termelő erőműveknek lokális és a villamosenergia-rendszer egészének üzemét is befolyásoló hatásai vannak. Minden olyan erőműegység, amely nem szabályozható és előre nem jelezhető módon termel villamos energiát, rontja a rendszerirányító fizikai szabályozási lehetőségeit, amelyek jelenleg sem tekinthetők megfelelőnek. A magyar villamosenergia-rendszer a forrásoldal szempontjából meglehetősen rugalmatlan, aminek kereskedelmi és műszaki indokai is vannak:

- ✿ A szabályozható nagyerőművek (50 MW felett) értékesítése a 2003. évi piacnyitást követően jelentősen csökkent, döntően az import villamos energia versenye miatt, valamint a zöldáram- és a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés kötelező átvétele miatt.
- ✿ A nagyerőművek fizikai képességei az alkalmazott technológiák életkora miatt korlátozott: a termelőkapacitások zömét adó, hagyományos alaperőművek jó részét a 70-es, 80-as években épült hőerőművek, amelyek a teljesítményszabályozásban lassúak, energetikai hatékonyságuk pedig alacsony.

Mindezek miatt a hazai villamosenergia-rendszer az év túlnyomó részében nem felel meg az európai országok villamosenergia-rendszeregyesülése által támasztott ellátás-biztonsági előírásoknak. A megújulók fokozatos térnyerése a rendszerszabályozási problémákat tovább súlyosbítja, a decentralizált zöldáram termelése pedig a hálózatfejlesztés igényét is felveti.

A kedvező kötelező átvételi árak és a szabályozás egyéb elemeinek köszönhetően nagy mennyiségű szélerőmű-fejlesztési szándék jelent meg a piacon: 1500 MW fölötti kapacitásra vonatkozó engedélykérelem érkezett 2006 tavaszáig a Magyar Energia Hivatalhoz. A MEH a rendszerirányító véleményét figyelembe véve mintegy 330 MW szélerőmű-teljesítményben korlátozta azt a kapacitást, amelyre engedély adható. A hivatal mérlegelte, hogy az új kapacitások még elviselhető rendszerszabályozási, rendszerbiztonsági helyzetet eredményezzenek, figyelembe véve a hazai villamosenergia-rendszer jelenlegi és a közeljövőben várható forrásoldali összetételét, a fogyasztási szokásokat, a rendelkezésre álló tartalékkapacitások műszaki paramétereit és mértékét. További kapacitások rendszerbe integrálhatóságának feltétele, hogy a rendszerszabályozási problémák megoldhatók legyenek.

A megújuló energiaforrások felhasználásával termelt villamos energia mennyisége 2005. év végére meghaladta a 3,6%-os részarányhoz tartozó, 2010-re prognosztizált 1600 GWh értéket. A gyorsuló növekedés azonban csak néhány rossz hatásfokú és környezetszennyező, széntüzelésű erőmű részlegesen biomassza-együttégetésre történő

⁸⁴ *Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020.* Bp., 2008. július.

átalakítása után indult meg. Az átalakított erőművek villamosenergia-termelésének átlagos hatásfoka alacsony, vagyis ezek az erőművek energetikai szempontból korszerűtlen technológiát képviselnek. Az átalakított erőművek jelentős részében a biomassza-felhasználás elsősorban fa felhasználását jelenti. Erdészeti számítások alapján ez a hazai erdőállomány kitermelési lehetőségeinek mintegy 70-80%-át teszi ki. A további lehetőségek kihasználását azonban több tényező is erőteljesen korlátozza:

- ✿ a kiskereskedelmi tűzifa ára jelentősen emelkedett az elmúlt években, vagyis a felhasználás további jelentős bővülése a jelenlegi fapiaci egyensúly megbomlásához vezethet,
- ✿ a meglévő blokkok bővítésének egy határon felül korlátját jelentheti a tüzelőanyag-ellátás, mivel az erőművektől gazdaságos távolságra lévő alapanyagok nagyrészt felhasználásra kerültek,
- ✿ a szénrel történő együtt tüzelésnek, a bekeverhető biomassza-részaránynak tüzeléstechnikai korlátjai is vannak.

A különféle támogatási programok lassú realizálódási üteme miatt a mezőgazdasági eredetű biomassza-felhasználás egyelőre nem tudott jelentősebb piaci részesedést elérni. A jelenlegi technológiai adottságok mellett már középtávon is arra kell számítani, hogy a szenes erőművek fő technológiai berendezései kiöregednek, cseréjük vagy jelentős felújításuk válik szükségessé, tehát még a jelenlegi részarány megtartásához is további beruházásokra, új kapacitások kiépítésére van szükség. Alternatívát új, zöldmezős blokkok létesítése jelenthet, ezek költségei azonban jelentősen meghaladják a meglévő blokkok átalakításának, de különösen az együtttüzeléshez szükséges átalakításoknak a költségeit. A megújuló energiaforrásból termelt villamos energia részarányára vonatkozó célok növekedésével így arányosan nő az ahhoz szükséges kapacitások fajlagos költsége, és ebből eredően a megtermelt áram önköltsége.

4.3.10 A megújuló energiaforrások helyzete a hőpiacon⁸⁵

A megújuló energiaforrásokra alapozott energiatermelés gazdaságosságával kapcsolatban általánosságban kijelenthető, hogy a hőtermelő technológiák esetében a villamosenergia-termelő technológiákhoz képest lényegesen magasabb megtérülési idő jellemző. Míg a kedvező átvételi árnak és a termelt villamos energia kötelező átvételének köszönhetően a villamosenergia-termelésben viszonylag kedvező, 10 év körüli megtérülés várható, addig a hőtermelő technológiáknál csak 12-20 év közötti.

Amíg a megújuló bázisú villamosenergia-termelés output oldalon támogatásban részesül, a megújuló alapú hőtermelésnél nincs ilyen támogatás. A hőtermelési célra létesített beruházások ezért általában gazdaságtalanok, és tömeges elterjedésük ilyen

⁸⁵ *Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020.* Bp., 2008. július.

feltételek mellett nem is várható. További nehezítő körülmény, hogy a megújulók beruházási oldalán is kedvezőtlen a hőtermelés helyzete, mert a pályázati támogatások ugyan mindkét piac számára elérhetőek, de az erőműszektor egyéb módon is hozzájut(hat) támogatási forráshoz, például a Kiotói Jegyzőkönyv alapján megvalósuló Együttes Végrehajtás keretei között.

A megújulók decentralizált hőpiacon való hazai elterjedését gátolja a legnagyobb felvevőpiacot jelentő lakossági és kommunális szektor pénzügyi helyzete, az ilyen célokra rendelkezésre álló beruházási forrásainak szűkösége. A távhőszektor pedig, amely kézenfekvő és koncentráltabb felvevőpiaca lehetne a megújuló energiáknak, ma gyakorlatilag a fennmaradásáért küzd.

A rendelkezésre álló megújuló energia volumen felhasználása szempontjából is hátrányos helyzetű a hőpiac. A hőtermelés alapvető megújuló energiaforrását a biomassza képezi. Ugyanakkor a több oldalról támogatott megújuló alapú villamosenergia-termelés gyors növekedésével párhuzamosan nem nőtt a biomassza-kínálat.

Nem csak a termesztett energianövények területén, de még az erdőgazdálkodási hulladékok területén sem történt számottevő bővülés, ami árfelhajtó hatású keresleti piac kialakulását eredményezte, tovább rontva a megújulók hőpiaci rentabilitását. A dráguló, szűk keresztmetszetté váló biomassza leghatékonyabb felhasználásának elősegítését jelenthetné a zöldáram átvételi árának olyan formában történő differenciálása, hogy a megújuló bázisú kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésnél az átvételi ár magasabb lenne, mint a hőenergia-termelés nélküli villamosenergia-termelés esetében.

Alapanyag-problémák

Jelentős kockázatot jelent a biomassza alapú fejlesztések tüzelőanyag ellátása, illetve a bioüzemanyagok gyártásához szükséges mennyiségű alapanyag felhasználói igényekkel történő összehangolása. Az elmúlt években a támogatott zöldáram-termelés hatásaként tapasztalt, tűzifa felhasználásra alapozott növekedés a jövőben nem lesz fenntartható. A hazai megújuló energiaforrás-felhasználás dinamikus növekedésének feltétele, hogy a mezőgazdaság fenntartható módon megtermelje a szükséges alapanyagokat, és ezek mennyisége igazodjon a felhasználói igényekhez.

4.4 A fenntartható fejlődés energetikai indikátorai⁸⁶

4.4.1 Energiaintenzitás

Az energiaintenzitási mutatószám egy adott naptári évre vonatkozóan a bruttó belföldi energiafelhasználás aránya a GDP-hez viszonyítva, ahol az energiafelhasználás kilogramm-olajegyenértékben (kgoe) szerepel. A GDP számbavétele változatlan, 2001. évi áron történik. A mezőgazdaság, az ipar és a szolgáltatás esetében a mutató a nemzet-

⁸⁶ *Fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon*. KSH, 2011.

gazdasági ág végső energiafelhasználása és a bruttó hozzáadott értékének hányadosként jön létre. A bruttó hozzáadott értéket szintén 2000. évi, változatlan áron számítjuk. A mutatószám megmutatja, hány egység energia szükséges egy egység bruttó hazai termék, illetve bruttó hozzáadott érték előállításához. Az energaintenzitás csökkenése így az energiahatékonyság növekedésével jár.

Magyarországon az energaintenzitás mutatója 1995 és 2007 között nemzetgazdasági szinten közel 33%-kal csökkent. Ebben szerepet játszott a gazdaság szerkezetének jelentős átalakulása, valamint az energiatermelés és felhasználás hatékonyságának növekedése is. Az iparban jelentős átstrukturálódás ment végbe, az energaintenzív ágazatok súlya jelentősen visszaesett, helyét a feldolgozóipar modern, kisebb energiaigényű és magas hozzáadott értékű termékeket gyártó egységei vették át. Ennek köszönhetően az ipar energaintenzitása 55%-kal csökkent 1995 és 2007 között. A mezőgazdaság és a szolgáltatás energaintenzitása is mérséklődött a vizsgált időszakban, ez utóbbi használja fel a legkevesebb energiát a bruttó hozzáadott értékhez viszonyítva (84,4 kgoe/ezer euró).

A fenntartható stratégiánk szerint a veszélyes vagy szennyezőanyag-kibocsátási szintjei nem haladhatják meg a környezetasszimilációs képességét. 1988-ban fogadták el a szófiai jegyzőkönyvet, ami a nitrogén-oxidok kibocsátásának és azok országhatárokon való átáramlásának szabályozásáról szól. Az ebben megfogalmazott előírások szerint a nitrogén-oxidok kibocsátását 1994-re az 1987-es szintre kellett csökkenteni. E jegyzőkönyvhöz Magyarország is csatlakozott

4.4.2 Közvetlen energiafelhasználás

A közvetlen energiafelhasználás indikátora az egyes gazdasági ágazatok közvetlen energiafelhasználását adja meg tonna-olajegyenértékben (toe; egy tonna olaj 41 868 MJ nettó fűtőegyenértékkel bír).

Hazánkban a közvetlen energiafelhasználás 1995–2008 között 8,5%-kal növekedett. Ez a változás azonban nem volt egyenletes, az időszak eleji csökkenést 2000-tól bővülés váltotta fel, 2006-tól viszont újabb mérséklődés figyelhető meg. A 2006-ban végrehajtott állami megszorító intézkedések hatása mutatható ki a csökkenés okait vizsgálva. Ez a háztartások energiafogyasztásán is megfigyelhető, a szektort különösen érzékenyen érintették az intézkedések, fogyasztása 2008-ban 4,5%-kal múlta alul az 1995-ös szintet.

Az ipar energiafelhasználása a vizsgált időszak elején csökkent, az elmúlt években inkább stagnálás figyelhető meg. A mezőgazdaság energiafogyasztása a korábbi stagnálást követően csökkent 2004 után. Az Európai Unióba való belépés, az ágazat ezzel járó hazai piacvesztése a termelés volumenében és ezzel együtt az energiafelhasználásban is csökkenést hozott. A szolgáltató szektorban az időszak elejétől kezdve növekedés volt a jellemző egészen 2004-ig, ezután itt is felhasználáscsökkenés következett be. Eltérően az eddigiektől, a közlekedés energiafelhasználása kapcsán folyamatos növekedésről beszélhetünk, 2008-ban közel 81%-al múlta felül a szektor az 1995-ös szintet. A közúti közlekedés térnyerése – különösen a vállalati szektorban – a mai napig tart.

7.4.3 Megújuló energiaforrások

Ez az indikátor bemutatja a megújuló (vízerőműi és szélenergiás villamos energia, napenergiából előállított hő- és villamos energia, geotermikus energia) és a megújítható (biomassza, biogáz, bioüzemanyagok, kommunális hulladék) energiaforrások felhasználása révén megtermelt primer energia mennyiségét kilotonna-olajegyenértékben (toe; egy tonna olaj 41 868 MJ nettó fűtőegyenértékkel bír).

Az Európai Unió és a tagállamok célja, hogy a fosszilis energiaforrásoktól való függés mérséklődjön, emellett a különböző káros anyagok – köztük kiemelten az üvegházhatású gázok – kibocsátása csökkenjen. A megújuló és megújítható energiaforrások használata hozzájárul e célok eléréséhez. Magyarország – adottságait figyelembe véve – vállalta, hogy 2020-ra megújuló és megújítható forrásból fedezi energiaszükségleteinek 13%-át. (Az uniós átlag célértéke 2020-ra 20%.)

A visegrádi országok közül hazánkban a legalacsonyabb a megújuló és megújítható energiaforrások részesedése a végső energiafelhasználásból 2006-ban (5,5%) és 2008-ban (6,6%) is. E tekintetben Szlovákia áll az élen, ott 2008-ban 8,7, Lengyelországban 7,9, Csehországban 7,6% ez az arány. Az Európai Unió 27 országának átlaga 2008-ban 10% volt.

Hazánkban 1995 és 2008 között a megújuló és megújítható energiaforrásokból termelt primer energia csaknem megkétszereződött. A megújuló szél- és napenergia hasznosítása az időszak végén kezd kimutatható szerepet játszani az energiatermelésben. A hazai besugárzási viszonyok alapján a nappól nyerhető hő- és villamos-energia kapacitásunk jóval meghaladja a jelenlegi felhasználást, ennek ellenére igen lassan terjed alkalmazásuk. A geotermikus energia felhasználásában nem történt jelentős előrelépés a vizsgált időszakban.

A megújítható energiaforrások terén látványos változás történt, a biomasszát alkotó fa (főleg tűzifa) és hulladékai felhasználása jelentősen (64%-kal) nőtt, valamint a biogáz és a bioüzemanyagok termelése is dinamikusan emelkedett az időszak végén. A biomassza-felhasználás látványos növekedése nagyban köszönhető a meglévő erőművi kapacitások egy részében (Pécs, Kazincbarcika, Ajka) történt biomassza-tüzelésre való átállításnak.

4.4.4 Az energiafogyasztás üvegházhatású gáz intenzitása

Ez az indikátor bemutatja az energiafelhasználás üvegházhatású gáz intenzitását, ami az energiafelhasználással kapcsolatos ÜHG-kibocsátás és a bruttó energiafelhasználás hányadosa.

A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégiában foglaltak szerint az üvegházhatású gázok kibocsátásának szabályozását, mérséklését elsősorban az energiafelhasználás, az építkezési szokások, a közlekedési igények, illetve az ipari tevékenységek megváltoztatásával kell elérni.

Az egységnyi energiafelhasználásra jutó ÜHG-kibocsátás folyamatosan csökkenő tendenciát mutat Magyarországon, a visegrádi országokban és az Európai Unióban

egyaránt. Ennek okai a fejlettebb technológiák alkalmazása az ipari folyamatokban, valamint a gazdaság és a társadalom szereplőinek növekvő környezettudatossága lehetnek.

Energiainport-függőség

Azt fejezi ki, hogy egy adott ország milyen mértékben szorul importált energiaforrásokra a hazai energiaigények teljesítése érdekében. Az indikátort úgy számolhatjuk ki, hogy a nettó import mennyiségét elosztjuk a bruttó belföldi energiafelhasználás és a tankerek összegével.

A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégia energiagazdálkodási fejezete szerint „hosszú távon meg kell célozni, hogy a fosszilis energiahordozók használata és az energiahordozók importja minimálisra csökkenjen, esetleg megszűnjön”. Ennek eléréséhez elengedhetetlen a megújuló energiahordozók részarányának – adottságoknak megfelelő – növelése.

Hazánk primer energiahordozók tekintetében jelentős importra szorul saját forrásaiknak szűkössége miatt. Nemcsak primer, de szekunder energiahordozókat is importálunk, ilyen például a benzin vagy a villamos energia.

Magyarország energetikai importfüggősége az európai átlag felett van. 2008-ban – az elmúlt évek stagnáló adatai mellett – a bruttó belföldi energiafelhasználás 61%-át import fedezte. A gáz iránti kereslet a vizsgált időszakban folyamatosan növekedett, ezt az igényt csak importtal lehetett kielégíteni. A szénfelhasználás csökkenő tendenciát mutat a hagyományos erőművek kiváltásával, illetve átalakításával, azonban még a csökkenő felhasználás mellett is a nyersanyag (barna- és feketekőszén) egyre nagyobb hányada importból származik, mivel ezek hazai termelése megszűnt vagy minimális.

Primer energiaellátás energiaforrások szerint

Ez az indikátor a villamos energia, a hőenergia és az egyéb, rendelkezésre álló energiaforrások formájában felhasznált energia összes mennyiségét adja meg, egy főre vetített tonna-olajegyenértékben. Az indikátor figyelembe veszi az elsődleges termelés, a behozatal és a készletváltozás nagyságát, de nem tartalmazza az exportált mennyiséget.

A fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) bányászatához és elégetéséhez köthető a szén-dioxid-, valamint a metánkibocsátás legjelentősebb része globális szinten. Az üvegházhatásra gyakorolt kedvezőtlen hatásuk miatt cél, hogy ezen gázok légköri koncentrációja csökkenjen, ami az energiafogyasztás átalakításán, csökkentésén keresztül valósulhat meg. Az elmúlt évtizedekben megfigyelhető a magas szén-dioxid-kibocsátású energiaforrások (elsősorban szén) háttérbe szorulása a kevésbé szennyező földgáz javára. Ez az Európai Unió esetében együtt járt az energiainport-függőség fokozódásával, ami az ellátás biztonságát is jelentősen befolyásolja.

Magyarországon az egy főre jutó primer energiaellátás értéke mérsékelten, de folyamatosan emelkedett 2000 óta. Hazánkban is megfigyelhető a szén szerepének csökkenése, elsősorban a földgáz javára. A 2008-as közel 2700 toe/1000 fő érték azonban még így is alacsonynak számít az Európai Unión belül, ahol a 27 ország átlaga 3600 toe/1000 fő volt ugyanabban az évben.

Közlekedési célú bioüzemanyag-felhasználás

A közlekedési célú bioüzemanyag-felhasználás indikátora megadja a közlekedés bioüzemanyag-felhasználás arányát a teljes üzemanyag-felhasználásra vetítve.

Az EU 2006-ban megújított stratégiája célul tűzte ki, hogy 2010-re a közlekedési ágazatban használt üzemanyag 5,75%-ának bioüzemanyagnak kell lennie (2003/30/EK irányelv), és meg kell fontolni arányuk 8%-ra való emelését 2015-re. A bioüzemanyagok használata a klímavédelem mellett ellátás-biztonsági szempontból is jelentőséggel bír, általa az olajimport-függőség csökkenését is várják.

A 2009/28/EK irányelv megerősítette a korábban megfogalmazott célt, miszerint 2020-ra az EU minden tagállamában legalább 10%-ra növelik a bioüzemanyagok használatát a közlekedés területén.

A megújított irányelv nagy hangsúlyt fektet a cél elérésének fenntarthatóságára is. Nem alkalmazható olyan bioüzemanyag, ami élettartamában a fosszilis energiahordozókhoz képest kevesebb, mint 35%-os szén-dioxid megtakarításhoz, valamint negatív hatással van a biológiai sokszínűségre, az élelmiszer-termelésre és a földhasználatra.

A hazai stratégia⁸⁷ összhangban az uniós irányelvekkel – foglalkozik a bioüzemanyagok felhasználására vonatkozó célkitűzéssel, eszerint „ösztönözni kell a megújuló energiaforrások nagyobb arányú felhasználását, a fosszilis üzemanyagok helyettesítését a közlekedésben.

Magyarországon a közlekedési célú bioüzemanyag felhasználása a jogszabályi háttér megteremtése után 2005-ben kezdődött meg, és 2007-ben még nem érte el az 1%-ot a teljes üzemanyag-felhasználáson belül. Az EU-27 átlaga 2007-ben nem érte el a célérték időarányos adatát.

⁸⁷ *Nemzeti Energiastratégia 2030 (2011): 77/2011 (X. 14.) Országgyűlési Határozat Magyar Közlöny, 119, 30210–30359. magyarkozlony.hu/pdf/10586.*

IRODALOMJEGYZÉK

- 65/2009. (III. 31.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet módosításáról.
- A Budapesti Víz Világtalálkozó Zárónyilatkozata, Budapest, 2013. október 8–11.
- A Kormány 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozata Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról
- A Tanács 1998. november 3-i 98/83/EK irányelve az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről.
- BAI Attila: Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái, Magyar Tudomány 2011/7., 861–871.
- BAKOSNÉ DIÓSZEGI M.: Hazai Energiabiztonság növelésének lehetősége. Hadmérnök 2009 4. (2) 5–15.
- BAKOSNÉ DIÓSZEGI M., SOLYMOSSI J.: Lágyszárú mezőgazdasági növényekből előállított pellet vizsgálata az energiabiztonság növelését szolgáló lehetőség szemszögéből Hadmérnök 3/2008 14–24.
- BÁNDY Gy.: Környezetvédelmi kézikönyv, 4. átdolgozott kiadás, KJK-Kerszöv Kiadó, Bp. 2002.
- BEREK Tamás–DÁVIDOVITS Zs.: Vízbiztonsági terv az ivóvízellátás minőségirányítási rendszerében, Hadmérnök VII. évfolyam 3. szám, 2011. szeptember
- BEREK Tamás – PELLÉRDI Rezső: ABV (CBRN) kihívásokra adott válaszlépések az EU-ban. Bolyai Szemle XX. évf. 2011/2.
- BEREK Tamás: Vagyonvédelmi koncepció kialakításának sajátosságai veszélyes anyagok vizsgálatát biztosító létesítmények esetében. Hadmérnök, VI. évf. 2011/4.
- BIRÓ G.: Élelmiszer-higiéniá. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., 1994.
- BISWAS, N. R.: Is the environment a security threat? Environmental security beyond securitization. International Affairs Review 20 (1), 1 (2011)
- BUDAY-SÁNTHA Attila: Környezetgazdálkodás. Dialóg Campus Kiadó, Budapest–Pécs, 2002.
- COSTANZA, R., DALY, H. E.: Natural Capital and sustainable development, Conservation Biology, 1992/1., 37–46.
- E. PETZOLD-BRAEDLEY, A. CARIUS, Á. VINCZE: Responding to Environmental Conflicts: Implications for Theory and Practice NATO Science Series Vol. 78. Kluivert Academic Press Dordrecht, 2001.
- Európai Talaj Karta („European Soil Charter” – 1972).
- Fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, KSH, 2011.
- FORRESTER, J. W.: World Dynamics, Wright-Allen Press, Cambridge, 1971.
- FÖLDI L., HALÁSZ L.: Környezetbiztonság, Complex Kiadó, Budapest, 2009.
- FÖLDI L., HALÁSZ L.: Környezetbiztonság, Complex Kiadó, Budapest, 2011.
- Biztonsági tanulmányok – Biztonságpolitika. Szerk. Gazdag F., Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2011.
- Gazdasági növekedés Magyarországon. Műegyetem Kiadó, Budapest, 2005.
- Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. Grandolfo M (Editor): Plenum Press, New York, 1983.

- HADNAGY I.: *A biztonság korszerű értelmezése – avagy a biztonság ma már sokkal bizonytalanabb, mint korábban bármikor*
<http://www.vedelem.hu/letoltes/tanulmany/tan135.pdf> 2014. 02. 04.
- Hadtudományi lexikon*. Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1995.
- HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem, környezetbiztonság*, Zrínyi, Budapest, 2000.
- HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem II.*, Zrínyi, Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2007.
- HALÁSZ L., FÖLDI L.: *Környezetvédelem II.*, Zrínyi, Budapest, 2007.
- HALÁSZ L., HANKA L., VINCZE Á.: *A nukleáris erőművek negyedik generációjának és egy korszerűbb reprocesszási eljárás jövőbeli alkalmazásának lehetősége a nukleáris hulladékok növekvő mennyiségének és elhelyezési problémájának tükrében*. Hadmérnök 3 (3) 25–48, 2008.
- ISO 22000 (MSZ EN 22000:2005) élelmiszerbiztonsági irányítási szabvány http://takibyte.hu/iso_22000.htm 2014. 02. 06.
- JOBBÁGY Sz.: *Hazai és EU energiabiztonság és a megújuló energiaforrások* Hadmérnök 5 (3) 47–62. 2010.
- KASZA A.: *A napenergia és szélenergia alkalmazásának lehetősége hazánkban*. Hadmérnök 4 (2) 29–40. (2009).
- KEINER, M. (ed.): *The Future of Sustainability*. Springer, München, 2006.
- KEREKES J., SZLÁVIK J. : *A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei*. KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft. Budapest, 2003.
- KERÉNYI A.: *A környezetvédelem jövőbe mutató alapelve: a fenntartható fejlődés*. Debreceni Szemle 2002/4. 584–598.
- KERÉNYI A.: *Általános környezetvédelem*. Mozaik Stúdió, Szeged, 1998.
- Klíma. Az üvegházhatású gázok kibocsátás-csökkentésének energetikai vonatkozásai, Éghajlatpolitikai háttér tanulmány* Rev.1 M. Sz.: 6233.
- KOVÁCS Ferenc: *Szösszenetek a nemzeti energiastatégia (2030) kapcsán*. Magyar Tudomány 2012/12., 1–5.
- KÖRMENDI K., SOLYOSI J.: *A villamosenergia-krízis kezelése Magyarországon*, Hadmérnök 3 (2) 40–50 (2008).
- LÁNG István: *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon*, Akadémiai Kiadó, 2002
- Köztisztületi Stratégiai Programok Megújuló energiák hasznosítása*, Szerk. Lovas R., MTA, 2010.
- MEADOWS, D., RICHARDSON, J., BRUCKMANN, G.: *Sötétben tapogatózva. A világmodellelés első évtizede*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1986, 53–138.
- MESAROVIC, M. D., PESTEL, E.: *Mankind at the Turning Point*, Dutton, New York, (1974).
- Miért van szüksége az Ön vállalatának HACCP-re?* <http://www.standardteam.hu/haccp-szolgalatas.html> 2014. 02. 06.
- MOSER M., PÁLMAI Gy.: *A környezetvédelem alapjai*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 2006
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008–2025*.
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium*, 2007.
- Nemzeti Energiastatégia 2030* (2011): 77/2011 (X.14.) Országgyűlési Határozat Magyar Közlöny 119, 30210–30359. magyarkozlony.hu/pdf/10586.

- OSEPCHUK J. M. (editor): *Biological Effects of Electromagnetic Radiation*. I E E E Press, New York, 1983.
- PADÁNYI József: *A védelmi szféra változása Magyarországon (1990–2010)*. In: *Húsz éve szabadon Közép-Európában: Demokrácia, politika, jog*. Szerk. Simon János. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2010. 11. 25 – 2010. 11. 26. Budapest, Konrad Adenauer Alapítvány, 2011, 339.
- PADÁNYI József: *National defence research on the effects of climate change*, HADTUDOMÁNY (ONLINE) 1: pp. 30–40. (2013)
- CSETE M., HARAZIN P., SZENDRŐ G.: *A természeti erőforrások fenntartása*. Szerk. Pálvölgyi T., NFFT Műhelytanulmányok 3., BMGE Env in Cent Kft., Budapest, 2011.
- PAPP S., KÜMMEL, R.: *Környezeti kémia*. Tankönyvkiadó. Budapest, 1992.
- PRESSMAN, A. S.: *Electromagnetic Fields and Life*. Plenum Press, New York, 1970.
- RODLER I.: *Élelmiszerhigiéne*. 2. kiadás, Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1997.
- RODLER M.: *Az élelmiszerbiztonság kockázatának kérdései*. Konzervújság, 1994.
- SOMLYÓDY L.: *Töprengések a vízről: lépéskényszerben*. Magyar Tudomány. 2008/4., 462–473. <http://www.matud.iif.hu/08apr/09.html>
- STEFANOVITS P., FILEP Gy., FÜLEKY Gy.: *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999.
- STEFANOVITS, P.: *Magyarország talajai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971.
- Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008–2020*. Budapest, 2008. július.
- SZABÓ JÓZSEF (SZERK.): *Hadtudományi lexikon A-Zs I-II*. 144. oldal, Magyar Hadtudományi Társaság, 1995. ISBN 963 04 5226 x
- SZATMÁRY Zoltán: *A jövő atomerőművei*. Magyar Tudomány, 2001/11. [4.13]
- SZENDREI G.: *Talajtan*, Egyetemi jegyzet, ELTE Eötvös Kiadó, 1998.
- SZLÁVIK J.: *Fenntartható fejlődés vagy növekedés?* In: Szerk. Dombi Ákos. ????
- SZLÁVIK J.: *Környezetgazdálkodás*. KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft., Budapest, 2005.
- Útmutató ivóvíz-biztonsági tervrendszerek kiépítéséhez, működtetéséhez*, Az Országos Környezetegészségügyi Intézet tájékoztatója, 1/2009. <http://www.antsz.hu/portal/portal/ivoviz.html> letöltés 2012. 04.15.
- ÜRMÖSI K.: *A biztonság, a biztonság fogalma* Hadtudományi Szemle 6(4) 147 (2013)
- WACKERNAGEL, M., REES, W. E.: *Ökológiai lábnyomunk*, Föld Napja Alapítvány, Budapest, 2001.
- Wikipedia: elektromágneses sugárzás http://hu.wikipedia.org/wiki/Electrom%C3%A1gneses_sug%C3%A1cz%C3%A1s 2014. 02. 05.
- WWF International: *Living Planet Report*. 2006, Gland, Switzerland, 2006.

