

**Éghajlatvédelmi vizsgálatok
módszertana és az azt megalapozó
adatbázisok alkalmazása
Szakmai útmutató**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 84.**

**Éghajlatvédelmi vizsgálatok
módszertana és az azt megalapozó adatbázisok
alkalmazása
Szakmai útmutató**

**MMK FAP azonosító:
2021/117-KVT**

Budapest, 2021. november 15.

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozatának gondozásában, a 2021. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

Szépszó Gabriella, Allaga-Zsebeházi Gabriella, Lakatos Mónika, Szentes Olivér
Országos Meteorológiai Szolgálat (1. fejezet)

Taksz Lilla, Selmeczi János Pál, Dr. Czira Tamás
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
Nemzeti Alkalmazkodási Központ Főosztály (2. fejezet)

Csóka Gergely
VIKÖTI Kft. (3. fejezet)

Baka György
Zöldtárs Alapítvány (4. fejezet)

Szerkesztette:

Baloghné Gaál Zsófia
MMK Környezetvédelmi Tagozat

Lektorálta:

Reiniger Róbert

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ	7
BEVEZETŐ.....	8
1. A megfigyelt és a jövőben várható éghajlatváltozás meteorológiai jellemzői	10
1.1. Bevezetés.....	10
1.2. Az éghajlati rendszer.....	10
1.3. A múlt és a jelen éghajlata.....	14
1.3.1. Globális és európai változások	14
1.3.2. Magyarországi változások.....	17
1.4. A jövőben várható éghajlatváltozás	26
1.4.1. Éghajlati modellezés módszertana	26
1.4.2. Globális és európai változások	29
1.4.3. Magyarországi változások.....	32
1.5. Éghajlati adatok felhasználása	38
1.5.1. Mérési információk alkalmazása éghajlati hatásvizsgálatokban	38
1.5.2. Modelleredmények alkalmazása éghajlati hatásvizsgálatokban	40
1.6. Irodalom	42
2. A Nemzeti Alkalmazkodási és Térinformatikai Rendszer és módszertani háttere	45
2.1. A NATÉR módszertani háttere.....	47
2.2. A NATÉR és a hazai klímapolitikai tervezés	51
2.2.1. Országos szintű tervezés	51
2.2.2. Helyi tervezés.....	53
2.3. Sérülékenységvizsgálati eredmények a NATÉR-ban.....	54
2.3.1. Épületsérülékenység.....	55
2.3.2. Többlethalálozás a hőhullámok következtében	57
2.4. Hivatkozások.....	58
3. Közlekedési Létesítmények Éghajlati kockázatelemzése és az erdők klimatikus hatása.....	60
3.1. Bevezetés.....	60
3.2. Miért érintett a közlekedés?.....	60
3.3. Jogszabályi háttér	63
3.4. Szakmai kihívás, szükséges készségek.....	64

3.5.	Klímakockázat elemzés helye	66
3.6.	Klímakockázat elemzés lépései	67
3.7.	Érzékenységi vizsgálata	68
3.8.	Kitérttség vizsgálata	70
3.9.	Sérülékenység meghatározása	77
3.10.	Kockázatok elemzése, kezelése	79
3.11.	Erdők és fák szerepe	84
3.12.	Erdők és fák szerepe – hatások számszerűsítése	87
3.13.	Adaptációs intézkedések.....	91
3.14.	Üzemeltetési monitorozás.....	93
3.15.	Klímaváltozásra gyakorolt hatások	94
3.16.	Klímaváltozásra gyakorolt hatások – hatások számszerűsítése.....	94
3.17.	Összegzés	99
3.18.	Kitekintés, szükséges jövő.....	100
4.	Mezőgazdaság és Klímaváltozás: két tűz között!.....	101
4.1.	Bevezetés	101
4.2.	Helyzetértékelés.....	102
4.2.1.	Népesség.....	102
4.2.2.	Talaj	103
4.2.3.	Növénytermesztés	107
4.2.4.	Állattenyésztés	110
4.3.	Célok, feladatok.....	112
4.3.1.	Talaj	112
4.3.2.	Növénytermesztés	113
4.3.3.	Állattenyésztés	115
4.4.	Összefoglalás.....	116

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

Az utóbbi években már szinte szlogenné vált a karbonsemlegesség és a fenntarthatóság, azonban sok esetben ezeket a kifejezéseket csak a szavak szintjén használjuk, alkalmazásukat a hétköznapi gyakorlatba nem tudtuk megvalósítani. Ennek egyik oka valószínűsíthetően az ismerethiányra vezethető vissza. Éppen ezért célul tűztük ki, hogy gyakorló szakértőink számára segítsük tudásuk bővítését, hogy ezáltal minél átfogóbb ismeretekkel rendelkezzenek a klímavédelemről. Ennek érdekében a Magyar Mérnöki Kamara a környezetvédelmi szakértők részére klímavédelmi szakértői képzést és tanúsítást hozzon létre. Jelen dokumentum a klímavédelmi szakértői tudás megalapozásához készült, mely korábbi három éghajlatváltozással kapcsolatos segédanyagunkkal együtt széleskörű gyakorlati ismereteket nyújt szakértőinknek. A fejezetek összhangban vannak a képzés tananyagával, és segítik a felkészülést a klímaszakértői vizsga letételéhez is.

Jelen kötet a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozatának már a negyedik kiadványa, mely az éghajlatvédelemhez kapcsolódó szakmai ismeretek mutatja be. Célunk, hogy minél több ismeretet tegyünk elérhetővé a környezetvédelmi szakértők és minden érdeklődő számára, az új beruházások éghajlatvédelmi hatásainak és kitettségének hiteles és magas szakmai színvonalú vizsgálatához. Eddig is a környezetvédelmi szakértők feladata volt a beruházások tervezési folyamatában a környezetvédelmi szempontok érvényesítésének elérése, ami az elmúlt években kiegészült az éghajlatvédelmi szempontok vizsgálatával, a tervezett beruházás kitettségének, alkalmazkodóképességének és az okozott hatásainak vizsgálatával. A hagyományos környezetvédelmi szempontok érvényesítése sem mindig zökkenőmentes, új feladataink pedig még nagyobb tudást és még eredményesebb kooperáció megvalósítását igénylik. Az éghajlatvédelem, a fenntarthatóság, a biodiverzitás megőrzése, a minél kisebb ökológiai lábnyom elérése sokszor rövid távon csak költségnöveléssel érhető el vagy olyan új műszaki megoldásokkal, időigényes, gondos tervezéssel melyre nem mindig adnak lehetőséget a projekt keretei, melynek megvalósításában nem mindig motiváltak, partnerek a projekttöbbi résztvevői. Ezért is nagyon fontos, hogy szakértőink alapos és hiteles ismeretekkel rendelkezzenek, melyek segítségével eredményes munkát végezhetnek a valóban fenntartható beruházások, tevékenységek tervezésében.

Fontosnak tartjuk azt is, hogy a Magyar Mérnöki Kamara garanciája legyen a szakértelemnek, hiszen mai világunkban számos szakmailag megalapozatlan vélemény és hiteltelen „szakértői” munka jelenik meg. Az MMK Környezetvédelmi Tagozata által kidolgozott éghajlatvédelmi szakértői tanúsítási rendszer azt kívánja biztosítani, hogy ezen a területen csak megfelelő szakmai végzettséggel és szakmai gyakorlattal rendelkező szakemberek végezhesenek munkát, akik számára a folyamatos képzés lehetősége is biztosított és ez egyben elvárt feltétel is. Jelen kiadványunk a klímavédelmi szakértő képzés négy kiemelkedő témakörét foglalja magában, melyek a szakértők mindennapi munkáját tudják segíteni.

Az első fejezetben a magyarországi klimatológiai alapadatok és a klímamodellek szakmai hátterét mutatjuk be, az Országos Meteorológiai Szolgálat Klímamodellező Csoportjának összefoglalásában. Az OMSZ Klímamodellező Csoportja erőfeszítéseinek következtében a szakértők megbarátkozhatnak a valószínűségi jellegű éghajlati információkkal és az ezeken alapuló döntéshozatallal.

A második fejezet a jelenleg elérhető legszélesebb klimatológiai adatbázist mutatja be. Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodáshoz információra van szükség nem csak a klímametérek várható változásáról, hanem arról is, hogy azokra hogyan

reagálnak a különféle társadalmi-gazdasági rendszerek. Ezt hívatott biztosítani a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR).

A harmadik és negyedik fejezet egy-egy kiemelkedő ágazat, a közlekedés és a mezőgazdaság klímaváltozással való kapcsolatát, létesítményeinek érzékenységet és alkalmazkodási lehetőségeit hívatott bemutatni.

Bízunk benne, hogy szakmai útmutatónk újabb lehetőséget fog adni szakértőinknek az éghajlatvédelmi ismereteik bővítéséhez.

1. A megfigyelt és a jövőben várható éghajlatváltozás meteorológiai jellemzői

1.1. Bevezetés

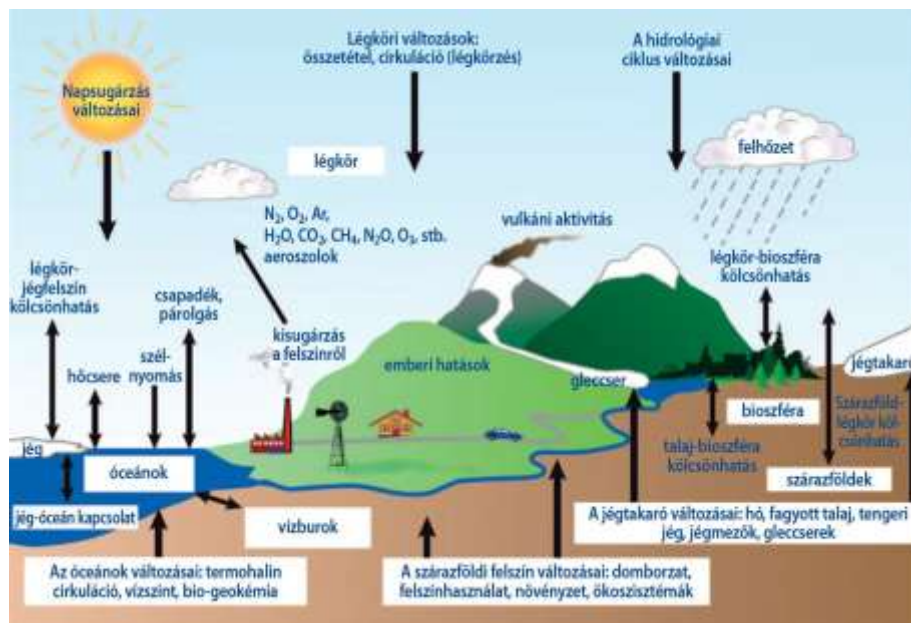
A Föld éghajlatának változása napjainkban intenzíven kutatott téma, mely a mindennapi életben és a médiában is egyre nagyobb figyelmet kap. Az éghajlatváltozás számos következménye (pl. bizonyos extrém éghajlati események intenzívebbé és gyakoribbá válása, új kártevők megjelenése) a mérések adta objektív bizonyítékok mellett a társadalom számára is nyilvánvaló. A jelenlegi gyors ütemben zajló éghajlatváltozás megkerülhetetlen probléma, melynek következményeire a társadalomnak és a gazdaságnak fel kell készülnie. Ez két módon lehetséges: az elkerülhetetlen változásokhoz való alkalmazkodással, valamint a még befolyásolható folyamatok mérséklésével. Ez egy interdiszciplináris probléma, ahol a különböző szakterületek képviselőinek együttműködésére és együttes fellépésére van szükség. A meteorológiai mérések és modelleredmények az alkalmazkodási feladatok kiindulási alapját képezik. Célunk, hogy az éghajlati mérések és modellezés tudományába betekintést nyújtsunk az Olvasónak, képet adjunk a legfrissebb tudományos eredményekről és gyakorlati útmutatókkal segítsük a mért és modellezett meteorológiai információk felhasználását. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) több éve tudatosan keressük a kapcsolatokat a felhasználókkal, hogy az eltérő igényekkel és felkészültséggel érkező szakembereknek támogatást nyújtsunk. Együttműködéseink mindvégig azonos szakmai elvek mentén történtek.

A továbbiakban áttekintjük Földünk éghajlati rendszerének elemeit, meghatározó folyamatait és azt, hogy miként játszik szerepet az ember ennek az összetett rendszernek a megváltoztatásában. Bemutatjuk, milyen információkkal rendelkezünk a földtörténeti korokban uralkodó klímáról és napjaink éghajlati tendenciáiról. Bevezetjük az Olvasót abba, hogyan lehetséges előrejelezni az éghajlat jövőbeli alakulását. Ismertetjük az erre szolgáló éghajlati modellezés alapjait, s a modellek legfontosabb eredményeit, különös tekintettel a Magyarországon várható változásokra. Végezetül összefoglaljuk, hogy milyen módon lehet az éghajlati adatokat felhasználni a klímaváltozás további hatásainak vizsgálatában.

1.2. Az éghajlati rendszer

Az éghajlati rendszer a légkör, a felszíni és a felszín alatti vizek, a szárazföld, a hó- és jégtakaró és az élővilág kölcsönható együttese (2.1. ábra). Működését alapvetően a Nap sugárzása szabályozza, illetve ennek a légkörön való áthaladása és a földrajzi eloszlása. Az alábbiakban áttekintjük az éghajlati rendszer komponenseit, legfontosabb kölcsönhatásait. A beérkező napsugárzásból származó hő Földön való elosztását a

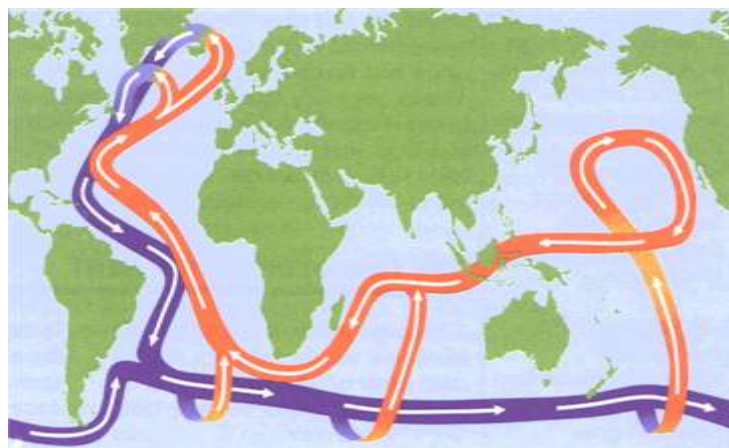
légköri cirkuláció és az óceáni vízkörzés végzi. A légkör a földi rendszer legdinamikusabban változó eleme, bármilyen hatásra néhány óra-nap alatt reagál. Összetevői lényeges szerepet töltenek be az éghajlat alakításában. Állandó koncentrációjú alkotóelemei (az oxigén, a nitrogén stb.) mellett a levegő olyan, kis koncentrációban jelen lévő gázokat és egyéb részecskéket tartalmaz, melyek a sugárzásátvitelt jelentősen befolyásolják. Az üvegházhatású gázok például a napsugárzás hatására felmelegített felszín által kibocsátott, valamint a légkör irányából érkező infravörös sugárzást elnyelik, majd minden irányban kisugározzák, melegítve ezáltal a felszínközeli légrétegeket. Ez egy természetes folyamat (nélküle kb. 33 °C-kal lenne alacsonyabb a földi átlaghőmérséklet), amit az emberi tevékenység felerősít. A hőtöbblet zöme a vízgőz és a szén-dioxid légköri jelenlétének köszönhető (Barcza et al., 2013). Míg a vízgőz természetes úton kerül a légkörbe, addig a szén-dioxid, a metán és a dinitrogén-oxid koncentrációja az emberi tevékenység hatására növekedett meg jelentősen az elmúlt 4 évtizedekben az iparosodás előtti szinthez képest. A szén-dioxidot magas légköri koncentrációja és hosszú tartózkodási ideje kiemeli a többi üvegházgáz közül: légkörbe kerülésétől számítva a szén-dioxid 50-200, a metán 9, a dinitrogén-oxid pedig 131 év után kerül ki (IPCC, 2013), ezzel szemben a légköri vízgőztartalom mindössze 10 nap alatt teljesen kicserélődik. A sugárzás-átvitelben fontos szerepet játszanak még a felhők, továbbá a szilárd és folyékony halmazállapotú aeroszol részecskék, melyek egy része szórja, visszaveri a beérkező napsugárzást, hűtő hatást gyakorolva a légkörre, míg a fényelnyelő tulajdonságú széntartalmú részecskék melegítik azt. Mind az aeroszokok, mind a felhők éghajlati rendszerre gyakorolt nettó hatásának becslése napjainkban is bizonytalan (IPCC, 2021).



2.1. ábra: Az éghajlati rendszer elemei és legfontosabb kölcsönhatásai.

A Föld felszínének mintegy kétharmadát borítja víz óceánok, tengerek, tavak és folyók formájában. Az óceánok nagy hőkapacitásuknak köszönhetően hatalmas energiát tárolnak és szállítanak a Föld különböző pontjai között, továbbá elnyelik a légköri széndioxid egy részét. Tehetetlenségüknél fogva egy adott kényszerhez lassan (évtizedek, évszázadok alatt) alkalmazkodnak, és lassú kényszerítő erővel bírnak a légköri folyamatokra. Az óceánok háromdimenziós áramlási rendszerét, az ún. *termohalin cirkulációt* (2.2. ábra) a légköri áramlások és a víz sűrűségkülönbségei hozzák létre. Az Atlanti-óceánban meleg, sós vizet szállító Golf-áramlat a magasabb szélességekhez érve lehűl, s a hőmérsékletcsökkenés és a nagy sótartalom következtében megnövekedett sűrűsége hatására Grönland térségében egy kis területen a mélybe ereszkedik. A leáramló sűrű, hideg víztömegek egy Dél-Afrika irányába haladó mélytengeri folyammá állnak össze, ami az Indiai-óceánon keresztül érkezik a Csendes-óceánba. A felszínen elszállított víz pótlására az óceán mélyéről az immár melegebb és kevésbé sós víztömeg felfelé emelkedik. A cirkuláció érzékeny része a leszálló ág, mert a vízszüllyedés kis területre koncentrálódik, amit ezekben a régiókban a sótartalomkülönbség tart fenn.

A krioszféra a sarki jégmezőket, a gleccsereket, a kontinentális felszínek hó- és jégtakaróit foglalja magában. Világos színe következtében a felszínére jutó napsugárzás jelentős részét visszaveri. A jég és hó magas albedója egy melegebb éghajlati rendszerben olyan folyamatokat indíthat el, melyek a hőmérséklet további emelkedését okozzák. Ugyanis, ha a hőmérsékletnövekedés következtében a jégtakaró elolvad, akkor a jégmentessé váló felszín rövidhullámú-sugárzás visszaverő képessége csökken. Ennek eredményeként a felszín több napsugárzást nyel el, ami később hosszuhullámú kisugárzás formájában hőtöbbletként jelenik meg a légkörben. Az ilyen típusú kölcsönhatást – amikor a kiváltott következmény erősíti a kiváltó okot – pozitív visszacsatolásnak nevezzük. A sarki jégtakarók a bennük raktározott édesvíznek köszönhetően kulcsszerepet töltenek be a termohalin cirkuláció vezérlésében is. Ha az észak-atlanti térségben nagy mennyiségű jég olvad el, akkor az édesvíz-bevétel hatására az óceán vize itt hígul. A felszíni víz sűrűség-csökkenésének következtében gyengül a leáramlás intenzitása, ami – miután ez az óceáni szállítószalag fő leszálló ága – maga után vonja a teljes szállítószalag gyengülését, esetleg leállását. Ez jó példa a negatív visszacsatolás folyamatára, amikor egy folyamat hatása az azt kiváltó ok ellen hat. Ugyanis míg a gyors hőmérsékletemelkedés miatt elolvadó jégtakaró gyengíti a termohalin cirkulációt, a Golf-áramlat által szállított hőtöbblet hiányában a hőmérséklet visszaesik a magasabb szélességeken. Ennek hatására itt néhány száz év után megindulhat a jégképződés, s a sókoncentráció növekedése újra vízszüllyedést generálhat.



2.2. ábra: A nagy óceáni szállítószalag; piros szín jelöli a meleg felszíni áramlást, kék szín a hideg mélyvízi áramlást (Broecker, 1987).

A kontinentális felszín szintén visszaveri a napsugárzás egy részét, ennek mértékét a talaj típusa és növényborítottsága határozza meg. A csupasz talaj albedója a színétől és összetételétől függően 5-40 %, míg a füves talaj a sugárzás 16-26 %-át, az erdők 5-20 %-át, a mezőgazdasági területek pedig 15-20 %-át verik vissza (Bartholy et al., 2013). A talajfelszín által végül elnyelt energia hosszúhullámú sugárzás formájában adódik át a légkörnek; illetve a víz párolgása során látens hőfelszabadulás révén, így a talaj a légköri vízgőz-tartalom egyik fontos forrása. Ezenkívül a légköri aeroszolok nagy hányada származik a kontinentális felszínről, különösen az iparosodott városi területekről, valamint a vulkánokból.

A bioszféra magában foglalja a növényzetet, az állatvilágot és az embert. Fontos szerepet játszik az üvegházhatású gázok légköri forgalmában: a növényzet elsősorban a szén-dioxid fotoszintézis általi kivonásában, az állatvilág a légköri metán-tartalom növelésében. Az ember számos módon járulhat hozzá az éghajlat módosításához, pl. a közlekedés, az ipari és mezőgazdasági tevékenység következtében üvegházhatású gázok, aeroszol részecskék és egyéb szennyező anyagok légköri kibocsátásával.

Az éghajlati rendszer elemei bonyolult nem-lineáris kapcsolatban állnak egymással. Az egyes komponensek eltérő igazodási ideje miatt a közöttük lévő kölcsönhatások meglehetősen széles időskálán zajlanak (pl. említettük, hogy míg a légköri vízgőz-tartalom 10 nap alatt kicserélődik, addig a világóceán vizének átkeveredéséhez több száz, esetleg több ezer év szükséges), ezért a földi rendszer soha nincs egyensúlyban, hanem a folyton változó kényszerek hatására mindig egy új egyensúlyi állapot felé tart. A rendszer összetettsége és nem-lineáris jellege miatt a kölcsönhatások rendkívül változatosan alakítják az éghajlatot – különösen a visszacsatolós folyamatok, amelyekre két alapvető példát láttunk az imént –, s ezek összessége eredményezi az éghajlati rendszer természetes változékonyságát.

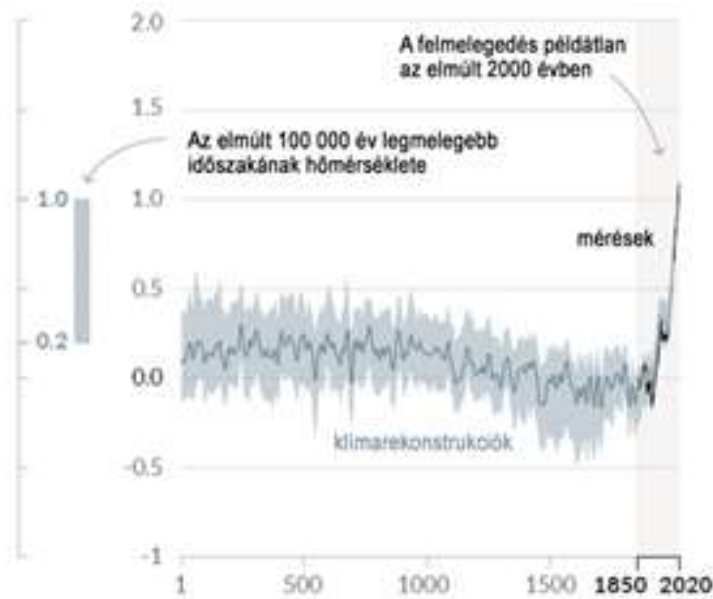
Ahogy a fejezet elején említettük, az éghajlati rendszer működését alapvetően a Nap sugárzása, ennek a légkörön való áthaladása (visszaverődése, szóródása, elnyelődése) és a földrajzi eloszlása szabályozza. Az olyan folyamatok, amelyek a sugárzás-átvitel bármely részét (a légkör tetejére érkező sugárzás mennyiségét, a légkörön való áthaladás körülményeit, az energiabevétel földrajzi eloszlását) befolyásolják, hatással vannak az éghajlatra. Ezek az éghajlatalakító tényezők lehetnek természetes és antropogén eredetűek (Götz, 2004). A természetes külső kényszer például a napsugárzás intenzitásának és a Föld pályaelemeinek (keringési ellipszis-pálya lapultsága, forgástengely keringési síkkal bezárt szöge stb.) ciklikus változásai, amelyek tíz-százezer éven keresztül fejtik ki hatásukat. A terresztrikus éghajlatalakító tényezők közé tartozó vulkántevékenység ezzel szemben rövid idejű, néhány éves hatást fejt ki az éghajlati rendszerre. Az antropogén tevékenység a 19. század második felétől nőtt olyan mértékűre, hogy számottevően módosíthatja az éghajlati folyamatokat.

Az éghajlatot a meteorológiai változók hosszabb időszak során mutatott statisztikai tulajdonságaival jellemezzük. A Meteorológiai Világszervezet 30 évben jelölte meg azt a legrövidebb időszakot, amin az éghajlat változása vizsgálható. Ez azonban nem egységes a különböző meteorológiai elemekre; pl. az évek között kis változékonyságot mutató átlagos szélsőérték esetében már 10 év is elegendő lehet a klimatológiai viszonyok vizsgálatára (Szépszó et al., 2006), a nagy évi ingadozású csapadékösszeg esetében viszont a hosszútávú tendenciák vizsgálatához 30 évnél is hosszabb időszak javasolt (Lakatos et al., 2012). Az időszak megválasztását meghatározza a rendelkezésre álló adatsorok hossza is, ezért az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) jelentéseiben például a modellkísérletek eredményeit 2-évtizedes időszakokon értékeli ki.

1.3. A múlt és a jelen éghajlata

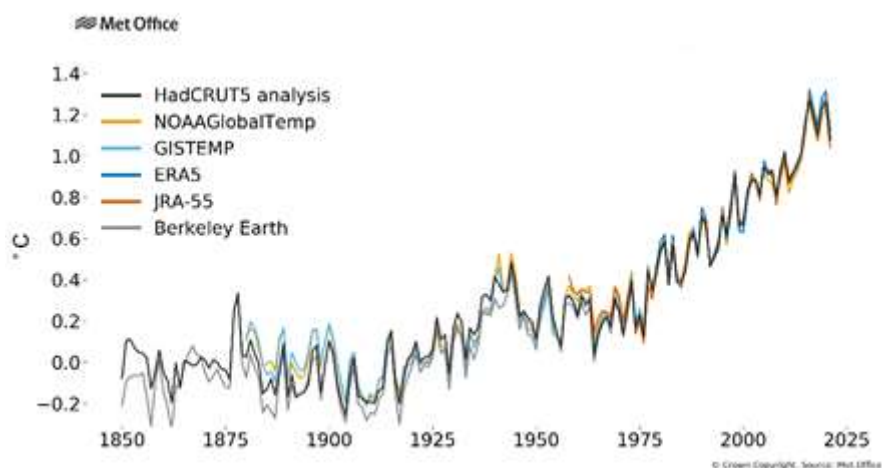
1.3.1. Globális és európai változások

Az IPCC legutóbbi, hatodik értékelő jelentése (IPCC, 2021) szerint az éghajlat megváltozása az egész klímarendszerben megfigyelhető. Az elmúlt 800 ezer évben nem volt ilyen magas a légköri szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid koncentrációja, mint ma. Az átlaghőmérséklet közel 125 ezer éve nem volt ilyen magas és az elmúlt 2000 évben nem volt ekkora ütemű melegedés a Földön (3.1. ábra).



3.1. ábra: A globális átlaghőmérséklet változásai (°C tízéves átlagokkal) az 1850–1900 időszakhoz viszonyítva paleoklimatológiai adatsorokból rekonstruálva (szürke görbe, 1–2000 időszak) és műszeres megfigyelések alapján (fekete görbe, 1850–2020 időszak). A bal oldali függőleges sáv annak a hőmérséklet-emelkedésnek a legvalószínűbb tartományát mutatja, amely az elmúlt kb. 100 000 év legmelegebb időszakában, a holocénben, kb. 6500 évvel ezelőtt lépett fel és több évszázadig tartott. A fehérén vonalazott szürke sáv a klímarekonstrukciók valószínű tartományát jelzi. Forrás: IPCC, 2021.

Ilyen hosszú időszak klímájáról közvetett megfigyelések, úgynevezett „proxy” adatsorok nyújtanak információt. A Proxy Adatbázis Hálózatban szerepelő adatbázisok között fellelhetők a fák évgyűrűi, a tengeri és édesvízi üledékek rétegzettsége, a cseppkövek, a korallok, a jégfurat minták, valamint a történeti feljegyzések alapján előállított idősorok. A segítségükkel rekonstruált globális felszínhőmérsékleti adatsorok alapján a középkori meleg időszakot egy lehűlési fázis követte kb. 1550-től 1850-ig. Ez a több évszázadig tartó hűvös periódus volt a „kis-jégkorszak”, ami az előző jégkorszak hidegfázisa óta a leghűvösebb időszak volt. A 19. század végére ez a hideg periódus lezárult. A közelmúlt néhány évtizedében bekövetkezett melegedés jelentős pozitív anomáliának számít, az átlaghőmérséklet mára 1,1 °C-ot emelkedett az iparosodás előtti időkhöz képest (3.2. ábra). Ezt az időszakot már sokkal pontosabban, mérőműszerek adataival tudjuk jellemezni.



3.2. ábra: A globális éves átlaghőmérséklet anomáliái az iparosodás előtti (1850–1900 időszakbeli) állapothoz képest hat globális hőmérsékleti adatbázis alapján.
Forrás: WMO, 2021.

Az éghajlatváltozás legnyilvánvalóbb tünete és egyben indikátora is az átlaghőmérséklet emelkedése, de ezen kívül a változó éghajlati körülményeknek még számos egyéb jelét tapasztaljuk. Az óceánok felmelegedésének üteme kiemelkedően gyors volt az elmúlt két évtizedben. A felhalmozott hő körülbelül 90 %-a az óceánokban raktározódik, ezáltal az óceánok felső 2000 méteres rétege rekord meleg volt 2020-ban. Az óceánok a légkörbe kibocsátott emberi eredetű CO₂ körülbelül 23%-át nyelik el, így egyre savasabbá válnak. A nyílt óceánfelszín pH-ja világszerte csökkent az elmúlt 40 évben, a jelenlegi érték legalább 26 000 éve a legalacsonyabb. A pH csökkenés viszont azzal is jár, hogy az óceánok CO₂-elnyelő képessége is csökken.

A globális átlagos tengerszint-változás elsősorban az óceánok felmelegedésének a következménye a tengervíz hőtágulása miatt. Ezen kívül a szárazföldi jégolvadás is emeli a tengerszintet. A globális felmelegedés hatására a Föld szinte minden pontján olvadnak a jég- és hótömegek. A becslések szerint az elmúlt évtizedben tapasztalt globális tengerszint-emelkedés közel kétharmadáért a grönlandi jégtakarók olvadása a felelős. Az északi-sarkvidéki tengeri jég is erőteljesen olvad – az elmúlt 4 évtizedben az átlagos tengeri jégborítás legalább 40 %-kal csökkent, az átlagos jégvastagság pedig kevesebb, mint a felére esett vissza. 2020-ban az Antarktisz az 1981–2010-es átlag közelében alakult a jégkiterjedés. Az antarktisi tengeri jég állapota 2005-ig viszonylag stabil volt, de azóta gyorsuló olvadás figyelhető meg.

Európa gyorsabban melegszik a globális átlagnál. A melegedés ugyanis nem egyenletesen oszlik el a Földön: az északi félteke magasabb szélességei és a sarkvidék térsége melegszik jobban. A szárazföldi területek éves középhőmérséklete 2011 és 2020 között 1,7–1,9 °C-kal volt magasabb, mint az iparosodás előtti időszakban (EEA, 2021). Kiemelkedő melegedést figyeltek meg az Ibériai-félszigeten, Közép- és Északkelet-

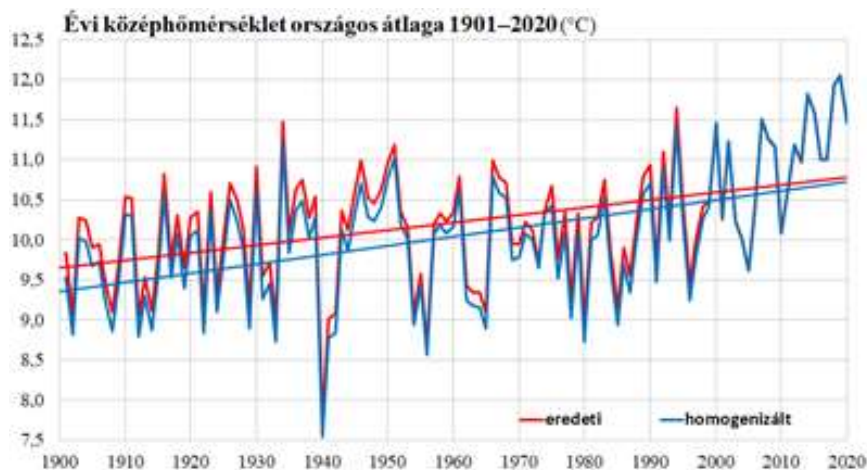
Európában, a hegyvidéki régiókban, valamint Skandinávia déli részén. A csapadék területi eloszlása változik: Európa csapadékos területei általában csapadékosabbak, a száraz régiók pedig szárazabbá válnak. Az éghajlattal kapcsolatos szélsőségek, például a hóhullámok, a nagycsapadékok és az aszályok gyakorisága és intenzitása sok régióban növekszik (EEA, 2017).

1.3.2. Magyarországi változások

A hazai meteorológiai mérési adatsorok elemzésével megismerhetjük, és folyamatosan nyomon követhetjük Magyarország éghajlatának jellemzőit, tetten érhetjük az éghajlat hosszú távú megváltozásának jeleit. Az OMSZ adatarchívumában tárolt – korábban évkönyvekben, ma már digitálisan rendezett – adatok biztosítják az ország éghajlatát vizsgáló kutatások és egyéb környezeti értékelések hiteles alapját.

A szervezett meteorológiai mérések kezdete óta a műszerek, a mérési körülmények és a mérések időpontja is többször változott. A változó mérési körülmények indokolatlan törést, inhomogenitást eredményezhetnek a mért adatsorokban, amik téves következtetésekre vezethetnek a nyers adatsorokon alapuló éghajlati elemzések során. Az automatikus adatellenőrzéshez, az adathibák javításához és az adathiányok pótlásához homogenizálási eljárást kell alkalmazni. Az OMSZ-ban kifejlesztett, matematikailag megalapozott MASH-módszer (Multiple Analysis of Series for Homogenization; Szentimrey, 1999) használata lehetővé teszi, hogy egy-egy állomás adatsorait úgy vizsgálhassuk, mintha a mérések mindig a jelenlegi mérőhelyen, azonos körülmények között folytak volna (3.3. ábra).

Az adatminőség mellett a mérőhálózatok fontos ismérve, hogy ezek adatainak felhasználásával milyen pontosan tudjuk reprodukálni a meteorológiai mezők térbeli eloszlását. A mérőhálózat adatainak ismeretében, interpoláció alkalmazásával becslést adhatunk a méréssel nem rendelkező helyeken a meteorológiai elemek értékére. Így az egész országra kiterjedően pontos térképeket készíthetünk. Az OMSZ-ban kidolgozott, kifejezetten meteorológiai elemek interpolációjára készült eljárás a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data bases; Szentimrey és Bihari, 2007). A Magyarország éghajlatára vonatkozó elemzésekhez a MISH és MASH eljárások alkalmazása garantálja a jó minőségű, térben és időben reprezentatív adatsorokat.



3.3. ábra: Az eredeti és a homogenizált országos középhőmérséklet alakulása 1901-től 2020-ig. A nyers adatok $1,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os, míg a homogenizáltak $1,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os emelkedést jeleznek.

A továbbiakban a hőmérséklet és a csapadék hazai változásait mutatjuk be. A múltbeli középhőmérséklet viszonyok vizsgálatához 1901-től 33, 1951-től 55, 1975-től 114, míg a csapadékösszeg esetében 1901-től 131, 1951-től 461 állomás adatait dolgoztuk fel. A hőmérséklet értékeiben bekövetkezett változások becslésére lineáris trendillesztést alkalmaztunk. A csapadékváltozásokat exponenciális trenddel becsültük, majd átszámítottuk százalékos változásra. A trendillesztést az 1981–2020 és az 1901–2020 időszakokra végeztük el. A legutóbbi 40 évre azért esett a választásunk, mert ez a legintenzívebb globális melegedés időszaka, ez írja le legjobban a jelenleg tapasztalható tendenciákat. A 120 év pedig az időszak egésze, amit vizsgálunk, az erre számolt becslések a legpontosabbak.

A trendegyenest meredeksége adja meg az egy évre jutó változást. Ennek és a változás időszakának a szorzata lényegében az adott időszak alatt bekövetkezett változás. A becslés statisztikai értelemben vett megbízhatóságát a változás 90 %-os megbízhatósági (konfidencia) intervallumának megadásával jellemezzük. Ez azt jelenti, hogy a változás ebbe az intervallumba esik 0,9 valószínűséggel, alsó határa szemléletesen a „legalább”, felső határa pedig a „legfeljebb” bekövetkezett változást jelenti. Nem szignifikáns a változás 90 %-os megbízhatósággal, ha az intervallum tartalmazza a 0-t, vagyis sem egyértelmű emelkedést, sem pedig egyértelmű csökkenést nem mutat az adatsor. A trendvizsgálat eredménye nagyban függ a választott időszaktól, annak a kezdetétől és a végétől. A 120 év alatt előfordultak hidegebb időszakok is, ezáltal kevésbé meredek a trendegyenest a hosszú sorra, mint 1981-től, amikor egy hidegebb periódus végén intenzív melegedés kezdődött.

A klímaváltozás jellemzésének része a meteorológiai változók napi értékein alapuló jellemzők megadása, pl. hogy hogyan fog alakulni a jövőben a hóhullámos napok száma. Ezek megváltozása számos területen (pl. emberi egészség, mezőgazdaság) jelentősebb

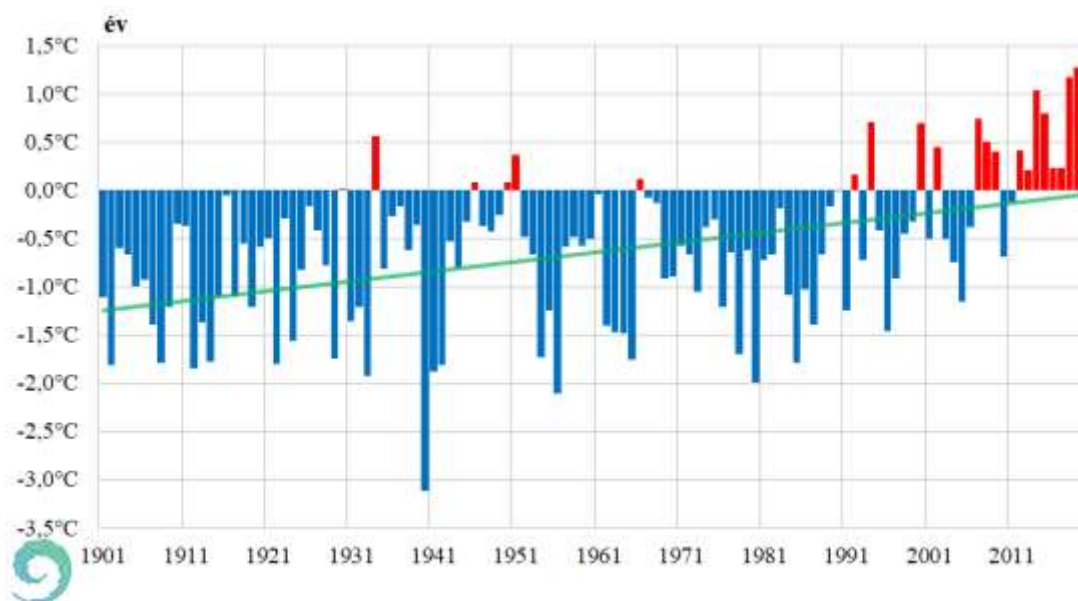
hatást fejt ki, mint a havi vagy évszakos átlagértékek módosulása, ezért vizsgálatuk fontos a célzott felkészülési tervek kialakításához. Számszerűsítésük éghajlati indexek segítségével történik, melyeket a meteorológiai változók (elsősorban a hőmérséklet és a csapadék) napi minimum, átlag-, maximum értékeiből vagy összegeiből származtatnak. A leggyakrabban használt indexek egy adott küszöbérték átlépésének gyakoriságát vagy afelett illetve alatt tartózkodás időtartamát jellemzik, pl. a *forró napokon* a maximumhőmérséklet meghaladja a 35 °C-ot, a *száraz időszakokban* a napi csapadék összege nem haladja meg az 1 mm-t. Az éghajlati indexek gyakran írnak le szélsőségeket, melyek statisztikai értelemben a meteorológiai változók eloszlásfüggvényének alsó és felső végein felvett ritkán előforduló értékek (pl. a hazánkban évi néhány alkalommal bekövetkező forró napok). Ugyanakkor néhány klímaindexet azért vizsgálunk, mert a globális változások kiemelt indikátorai. Ilyen például fagyos nap (amikor a minimumhőmérséklet nem éri el a 0 °C-ot), ami Magyarországon átlagosan az év negyedében előfordul, és szélsőséget csak a késő tavaszi, illetve a koraőszi időszakban jellemez. A 3. és 4. fejezetben tárgyalt éghajlati indexeket a 3.1. táblázat foglalja össze.

3.1. táblázat: A vizsgált éghajlati indexek.

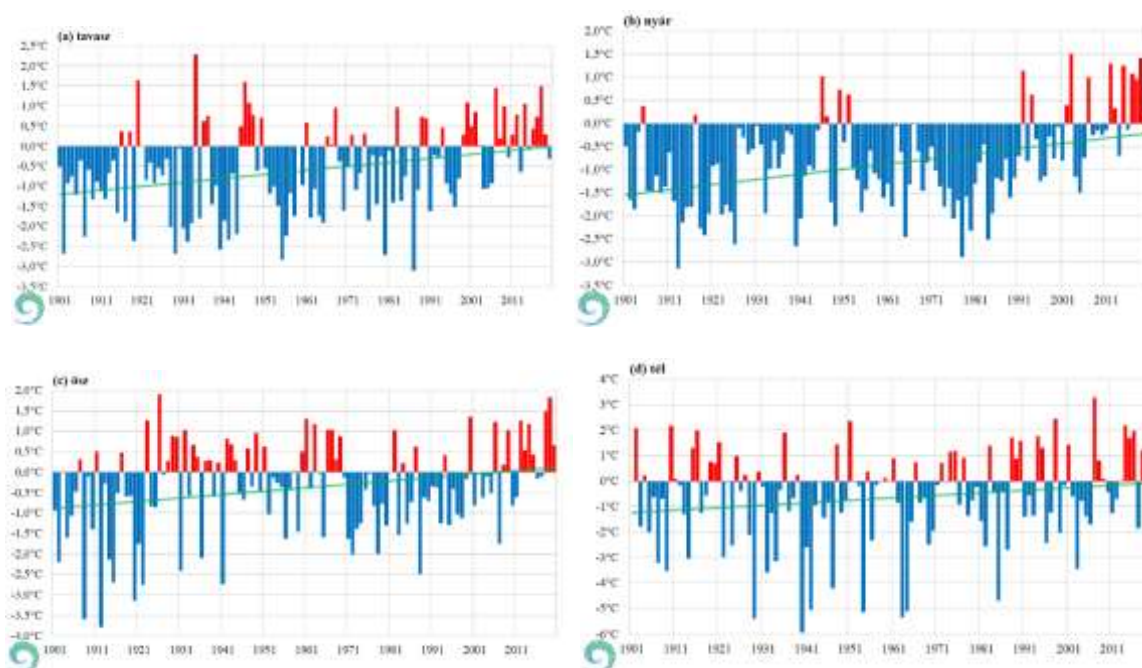
Index neve	Definíció
Fagyos nap	A napi minimumhőmérséklet 0 °C alatt marad
Hőhullámos nap	A napi átlaghőmérséklet eléri a 25 °C-ot
Csapadékos nap	A napi csapadékösszeg meghaladja az 1 mm-t
Nagy csapadékos nap	A napi csapadékösszeg meghaladja a 10 mm-t
Extrém csapadékos nap	A napi csapadékösszeg meghaladja a 20 mm-t
Csapadékintenzitás	A csapadékösszeg és a csapadékos napok számának hányadosa
Száraz időszak maximális hossza	A leghosszabb időszak, amikor a napi csapadékösszeg nem éri el az 1 mm-t

Hőmérséklet

Magyarország éves és évszakos középhőmérsékleteinek idősora a globális tendenciákkal összhangban alakul, azonban a kisebb terület miatt nagyobb változékonyságot mutat. A változások szemléltetése érdekében az éves és évszakos értékek anomáliáit, vagyis a jelen éghajlati állapotot leíró, 1991–2020 időszak átlagértékétől való eltéréseit ábrázoljuk grafikonon a 20. század elejétől 2020-ig (3.4. ábra). A 3.5. ábra pedig a négy évszak középhőmérsékletének alakulását szemlélteti 1901-től.



3.4. ábra: Az éves középhőmérsékletek országos átlagának anomáliái (°C) 1901 és 2020 között az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítva, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.



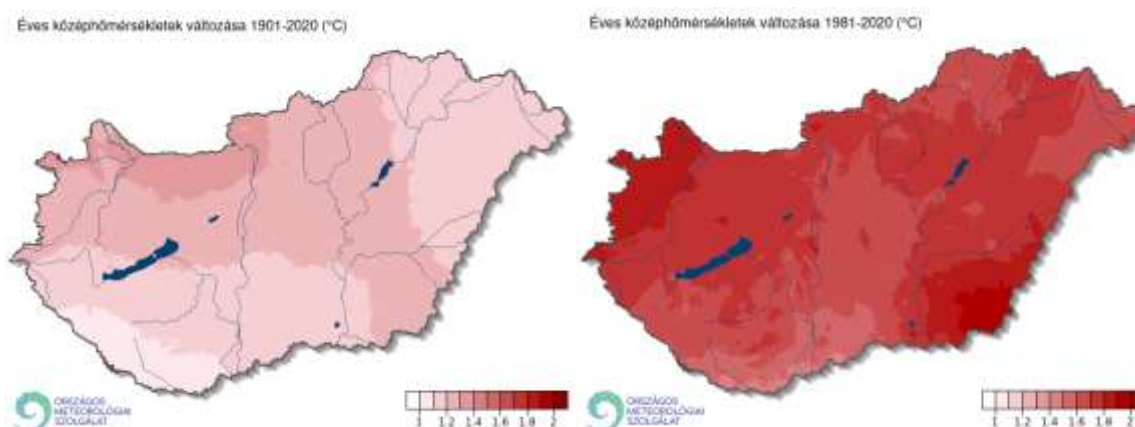
3.5. ábra: Az évszakos középhőmérsékletek országos átlagának anomáliái (°C) 1901 és 2020 között az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítva, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.

Az éves, valamint az összes évszakos középhőmérsékletekben bekövetkezett emelkedés mindkét vizsgált időszakban szignifikánsnak tekinthető 90 %-os bizonyossággal (3.2. táblázat). Érdekes megfigyelni, hogy a közelmúltban a melegedés mértéke nagyobb volt, mint a teljes 120 év során, aminek a gyorsuló melegedésen kívül az az oka, hogy a teljes időszakban hűlő periódusok is előfordultak.

3.2. táblázat: A magyarországi éves és évszakos középhőmérsékletek országos átlaga, valamint változása az 1901–2020 és az 1981–2020 időszakban a 90 %-os megbízhatósági intervallum alsó és felső határával.

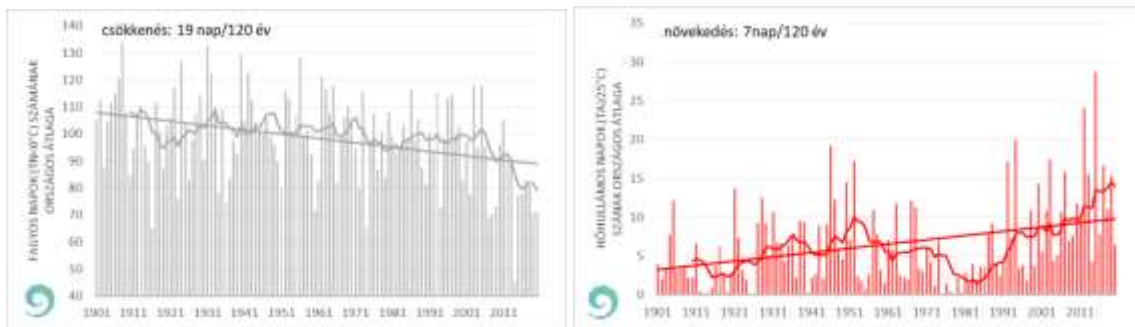
	Átlag 1991-2020 [°C]	Változás 1901-2020 [°C]	Változás 1981-2020 [°C]
Év	10,8	1,2 (0,9 - 1,6)	1,7 (1,2 - 2,2)
Tavaszi	11,2	1,2 (0,6 - 1,7)	1,4 (0,6 - 2,2)
Nyár	20,8	1,3 (0,9 - 1,8)	2,1 (1,4 - 2,8)
Ősz	10,7	1,0 (0,4 - 1,6)	1,5 (0,7 - 2,2)
Tél	0,4	1,2 (0,2 - 2,1)	1,9 (0,4 - 3,4)

A melegedés mindkét időszakban az ország egész területén megfigyelhető (3.6. ábra), de eltérő mértékben. Ahogyan az idősoroknál már említettük, az elmúlt 40 évben a melegedés sokkal jelentősebb volt, mint a 120 év egésze során, továbbá más a melegedés területi eloszlása is a két periódusban.



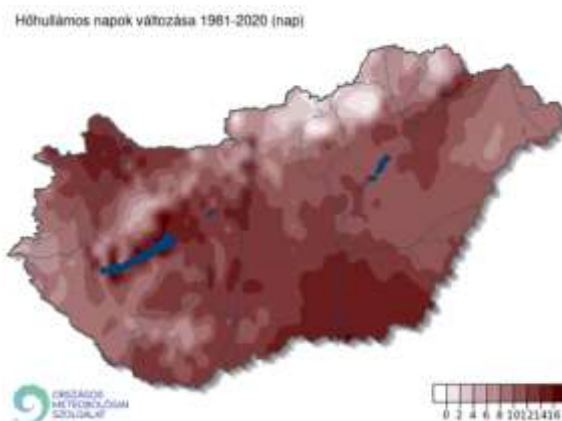
3.6. ábra: Az éves középhőmérséklet változása az 1901–2020 (balra) és az 1981–2020 (jobbra) időszakokban.

Az alacsony, illetve a magas hőmérsékleteken alapuló számos éghajlati index közül kettő alakulását mutatjuk be. A fagyos napok számának csökkenése és a hóhullámos napok számának növekedése egyaránt a melegedő tendenciát jelzi (3.7. ábra). A hűvösebb és a melegebb periódusok a szélsőség indexek értékeiben is tükröződnek, de fontos kiemelni, hogy a múlt század nyolcvanas éveitől, de még inkább a kilencvenes évektől szembetűnő az extrém meleg időjárási helyzetek gyakoribbá válása. A szélsőséges hőmérsékletekben bekövetkezett szignifikáns változások arra utalnak, hogy a klímaváltozás a magas hőmérsékletekkel kapcsolatos szélsőségek egyértelmű növekedésével és az alacsony hőmérséklettel kapcsolatos szélsőségek egyértelmű csökkenésével járt az elmúlt 120 év során térségünkben. A változások nemcsak 1901-től, hanem 1981-től is szignifikánsak (90 %-os megbízhatóság mellett) mindkét vizsgált hőmérsékleti klímaindex esetén. Az ábrákon az évenkénti értékek mellett a tízéves mozgóátlagot is bemutatjuk, ami elfedi az évek közötti változékonyságot.



3.7. ábra: A fagyos napok (balra) és a hőhullámos napok (jobbra) számának országos átlaga a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel 1901 és 2020 között, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.

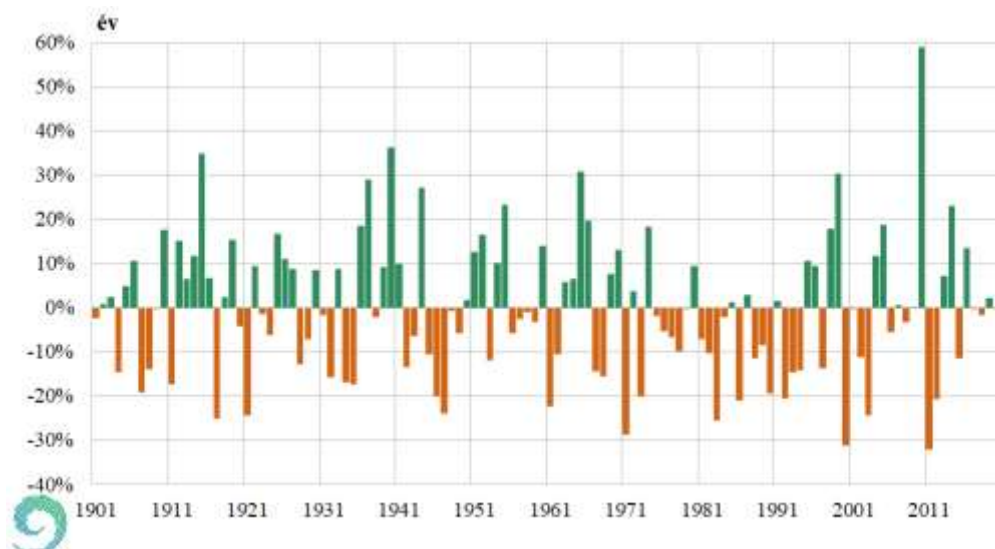
A legutóbbi 40 évben igen intenzív melegedésnek vagyunk tanúi. A hőhullámos napok száma a kisalföldi és a dél-alföldi régiókban emelkedett leginkább, a növekedés 1981-től több, mint kéthetes az említett területeken (3.8. ábra).



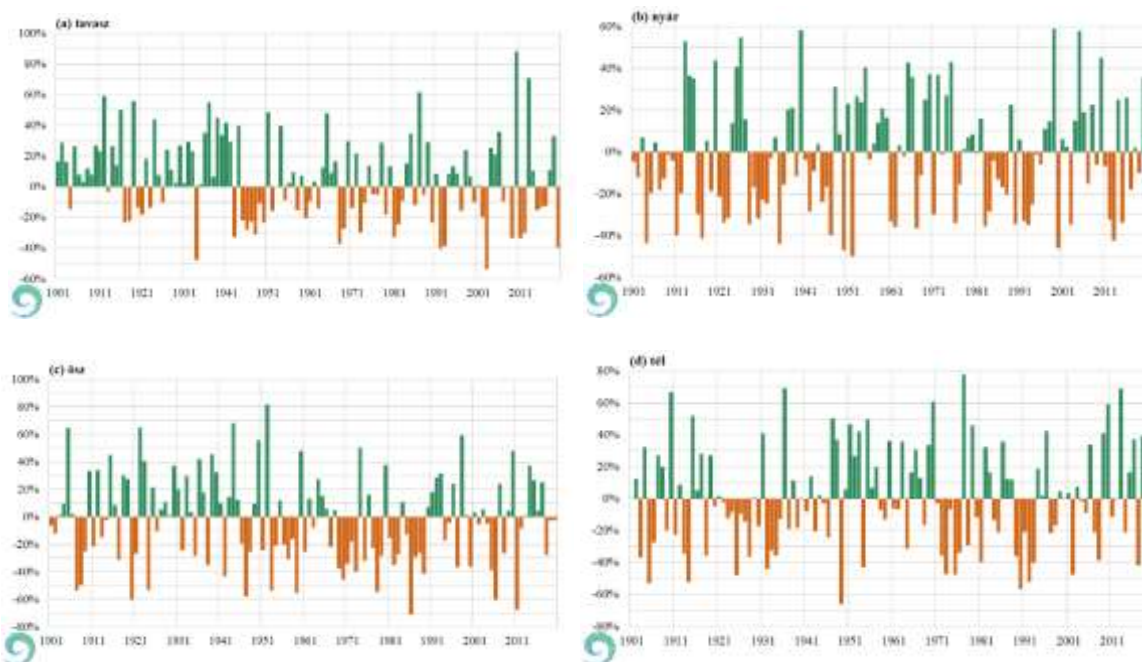
3.8. ábra: Hőhullámos napok számának változása az 1981–2020 időszakban.

Csapadék

Magyarországon az éves csapadék mennyisége a 20. század elejétől tekintve némileg csökken, az elmúlt évtizedekben viszont növekedés figyelhető meg. A csapadék évről évre nagy változékonyságot mutat, a több éven át tartó csapadékos vagy száraz időszakok ritkák. Tartósan csapadékos évek az 1910-es években, valamint 1940 körül fordultak elő (3.9. ábra), hosszabb – csapadékosabb év nélküli – száraz időszak pedig csak az 1980-as évek környékén lépett fel. Az évszakos csapadékváltozások (3.10. ábra) sokkal nagyobb időbeli változékonyságot mutatnak, mint az éves anomáliák idősora.



3.9. ábra: Az éves csapadékösszeg országos átlagának anomáliái (%) 1901 és 2020 között az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítva, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.



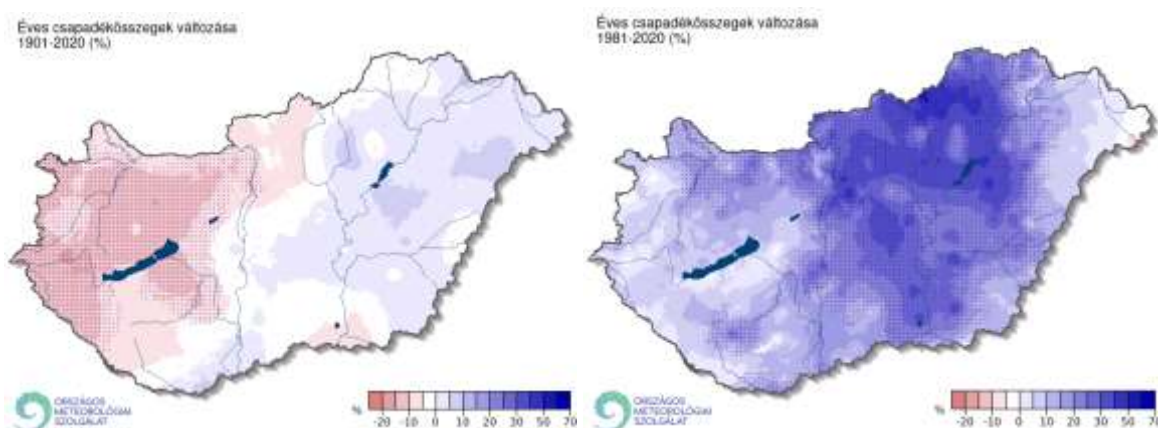
3.10. ábra: Az évszakos csapadékösszegek országos átlagainak anomáliái (%) 1901 és 2020 között az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítva, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.

A 3.3. táblázatban közöljük az országos csapadékösszeg 1991–2020 időszakra vonatkozó sokévi átlagát, valamint a változás mértékét az 1901–2020 és az 1981–2020 időszakokra a 90 %-os megbízhatósági intervallum alsó és felső határával. Szignifikáns változásról 1901-től csak a tavaszok esetében, valamint 1981-től az éves csapadékösszegeknél beszélhetünk.

3.3. táblázat: Az éves és évszakos csapadékösszeg országos átlaga, valamint változása az 1901–2020 és az 1981–2020 időszakban a 90 %-os megbízhatósági intervallum alsó és felső határával. A szignifikáns változást kiemelés jelöli.

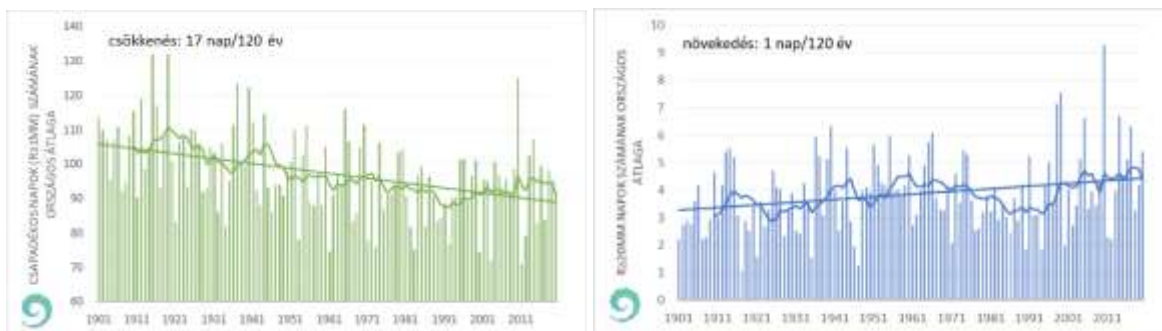
	Átlag 1991-2020 [mm]	Változás 1901-2020 [%]	Változás 1981-2020 [%]
Év	617	−4,0 (−11,5 - 4,1)	16,5 (0,3 - 35,3)
Tavaszi	139	−17,2 (−27,7 - −5,1)	1,7 (−22,8 - 34,0)
Nyári	203	7,2 (−7,6 - 24,5)	19,0 (−7,0 - 52,3)
Őszi	158	−10,6 (−26,4 - 8,6)	27,2 (−9,0 - 77,8)
Téli	116	5,7 (−11,6 - 26,5)	22,4 (−9,2 - 65,0)

A csapadék nemcsak időben, hanem térben is nagyon változékony, így a hosszútávú tendenciákat nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetén. Bár összességében Magyarországon az éves csapadék mennyisége a vizsgált 120 év alatt némileg csökken, de az Alföld nagy részén növekedést tapasztalunk (3.11. ábra). Az elmúlt negyven évben pedig különböző mértékben, de az ország egészén növekedés figyelhető meg.

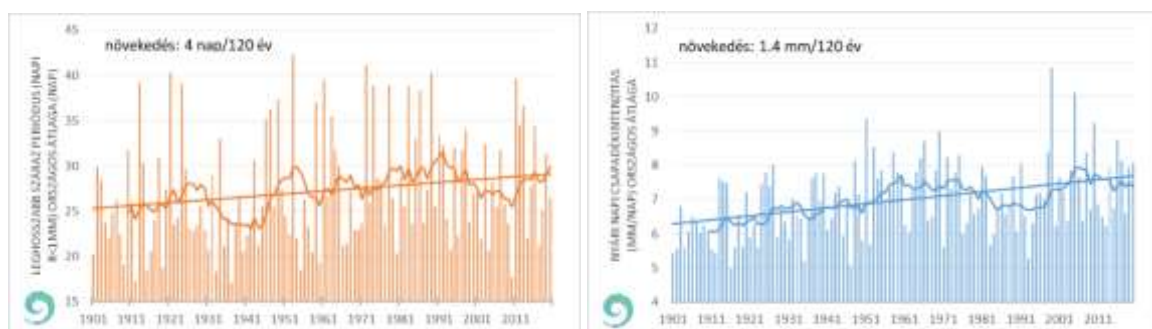


3.11. ábra: Az éves csapadékösszeg változása (%) az 1901–2020 (balra) és az 1981–2020 (jobbra) időszakokban. A 90 %-os megbízhatóság mellett szignifikáns változást fekete pontok jelölik.

Az átlagosnál bőségesebb csapadékkal vagy tartós szárazsággal járó események, periódusok előfordulási gyakoriságát néhány csapadék index idősorával jellemezzük. Kevesebb a csapadékos nap országos átlagban, ahogyan a jelenhez közelítünk, s a 20 mm-t meghaladó csapadékú napok pedig növekedést mutatnak (3.12. ábra). A száraz időszakok hossza is nőtt a 20 század eleje óta, emellett a napi intenzitás, más néven átlagos napi csapadékos nap szintén megnövekedett (3.13. ábra). Az átlagos napi csapadék növekedése arra utal, hogy a csapadék egyre inkább rövid ideig tartó, intenzív záporok, zivatarok során hullik. Az ábrákon feltüntetett, 1901 és 2020 közötti változások szignifikánsak 90 %-os megbízhatósággal.



3.12. ábra: A csapadékos napok (balra) és a 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok (jobbra) számának országos átlaga a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel az 1901 és 2020 között, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.



3.13. ábra: A leghosszabb száraz időszak (balra) és a nyári napi csapadékintenzitás (jobbra) országos átlaga a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel 1901 és 2020 között, homogenizált és interpolált rácsponti értékek alapján.

Rövidebb időszak, az 1981 és 2020 közötti évek változásait vizsgálva megállapítható, hogy a 20 mm fölötti csapadékú napok száma szignifikáns, 2 napos emelkedést jelez. A csapadékos napok száma nőtt 1981 és 2020 között, rövidülni látszanak a leghosszabb száraz időszakok, emelkedő trendet mutat a nyári csapadékintenzitás, de ezek a változások statisztikailag nem szignifikánsak országos átlagban. Az 1981–2020 időszakban a nyári csapadékintenzitás több területen megnövekedett, jellemzően az ország középső és északi részein, helyenként 3mm/napot meghaladó mértékben (3.14. ábra).



3.14. ábra: A nyári átlagos napi csapadékintenzitás változása az 1981–2020 időszakban. A 90 %-os megbízhatóság mellett szignifikáns változást fekete pontok jelölik.

1.4. A jövőben várható éghajlatváltozás

A jövőben várható változásokat a modellezés eszközeivel írhatjuk le, és azt is a modellek segítségével tanulmányozhatjuk, hogyan válaszol az éghajlati rendszer egy feltételezett kényszerre. Az éghajlati rendszer folyamatait kormányzó fizikai törvények felírhatók matematikai egyenletrendszer formájában, amely közelítő módszerek segítségével oldható meg. A közelítés során az előrejelzési tartományt egy háromdimenziós ráccsal fedjük le, s ennek rácspontjaiban írjuk le a meteorológiai állapothatározók időbeli megváltozását a ráctávolságnál kisebb skálájú folyamatok hatását ún. *parametrizációk* alkalmazásával figyelembe véve.

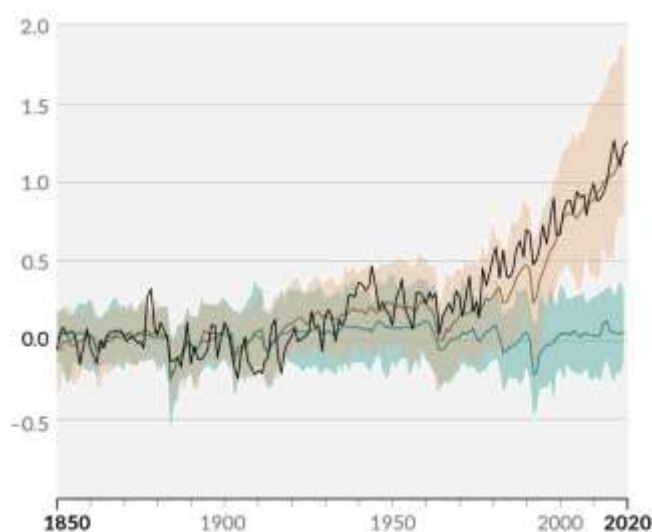
1.4.1. Éghajlati modellezés módszertana

A teljes földi rendszer viselkedését az egyes (óceáni, légköri stb.) komponensekre felírt modellek összekapcsolásával létrehozott ún. *kapcsolt globális éghajlati modellekkel* tudjuk tanulmányozni, melyekben az emberi tevékenység hatását az üvegházgázok légköri koncentrációján keresztül, külső kényszerként veszik figyelembe. Napjainkra a nagy klímakutató központokban fejlesztett globális éghajlati modellek már képesek megbízhatóan leírni az éghajlati rendszer elemeinek viselkedését a közöttük lévő összetett kölcsönhatásokkal együtt, és jól használhatók az éghajlatváltozás planetáris jellemzőinek (pl. a sarki jégtakaró, az áramlási viszonyok, a monszunrendszerek változásai) vizsgálatára. Mivel rendkívüli számításigényük miatt korlátozottan tudnak információt nyújtani az éghajlatváltozás helyi vonatkozásairól, a részletek feltárására ún. *regionális éghajlati modelleket* használunk, amelyek segítségével egy kiválasztott területre koncentrálva, finomabb rácsfelbontás alkalmazásával pontosíthatjuk a nagyskálájú globális információkat (4.1. ábra). A regionális szimulációk számára a globális modellek írják le a tartományon kívül zajló folyamatokat, s az erre vonatkozó információt a regionális modell a terület oldalsó határain veszi figyelembe.



4.1. ábra: Az éghajlat regionális változása az éghajlati rendszert ért külső kényszer hatására.

Hogy az elmúlt évtizedek éghajlati tendenciáiban az emberi tevékenység döntő szerepet játszik, azt globális modellkísérletekkel igazolták (4.2. ábra). A kísérletek során Földünk átlaghőmérsékletének elmúlt 150 éves alakulását vizsgálták. Az első kísérlet szimulációiban csak a természetes éghajlatalakító kényszereket (pl. a vulkánkitöréseket, a napsugárzás változásait) vették figyelembe. Ezek az eredmények összhangban vannak a 19. század végi és 20. század eleji mérésekkel, ugyanakkor nem tükrözik a megfigyelésekben mutatkozó növekedést az ezt követő évtizedekben. A 20. század második felének hőmérsékleti viszonyait csak azok a modellszimulációk voltak képesek visszaadni, amikben a természetes éghajlatalakító tényezők mellett az emberi hatásokat is figyelembe vették.



4.2. ábra: A globális éves átlaghőmérséklet változásai (oC) 1850 és 2020 között az 1850–1900 időszakhoz viszonyítva műszeres megfigyelések (fekete görbe) és globális modellkísérletek eredményei (zöld és barna sáv) alapján. A zöld sáv azon modellkísérletek eredményeit tartalmazza, amelyekben csak természetes éghajlatalakító tényezőket vettek figyelembe, míg a barna sáv azon modellkísérletek eredményeit fedí le, melyekben emellett az emberi tevékenység hatását is beépítették. A zöld és a barna görbe a megfelelő modellkísérletek eredményeinek átlagát reprezentálja. Forrás: IPCC, 2021.

Az éghajlat jövőbeli viselkedésének modellezése bizonytalanságokkal terhelt, melyek az alábbi forrásokból származnak:

Az éghajlati rendszer belső tulajdonsága a természetes változékonyság, melynek köszönhetően a rendszer külső kényszer nélkül is folyamatosan változik. Rövidebb időskálán ezzel magyarázható pl. az átlagosnál melegebb és hidegebb évek váltakozása.

A bizonytalanság másik lényeges összetevője abból ered, hogyan írjuk le a klímamodellekkel az éghajlati rendszerben zajló folyamatokat. Ugyan minden klímamodell az éghajlati rendszer viselkedését jellemzi közelítő módon, mégis a fizikai folyamatok leírása különbözőképpen történik az egyes modellekben. Ez a globális eredményekben eltérésekhez vezet, melyek a regionális leskáázás során tovább

nőhetnek. A regionális modellek alkalmazása esetén a bizonytalanságot tovább növeli a tartomány mérete és elhelyezkedése is. A legjelentősebb bizonytalanság a felhő- és csapadékképződéssel kapcsolatos folyamatok leírásából ered, így elsősorban ennek köszönhető a csapadékszimulációk nagyfokú bizonytalansága.

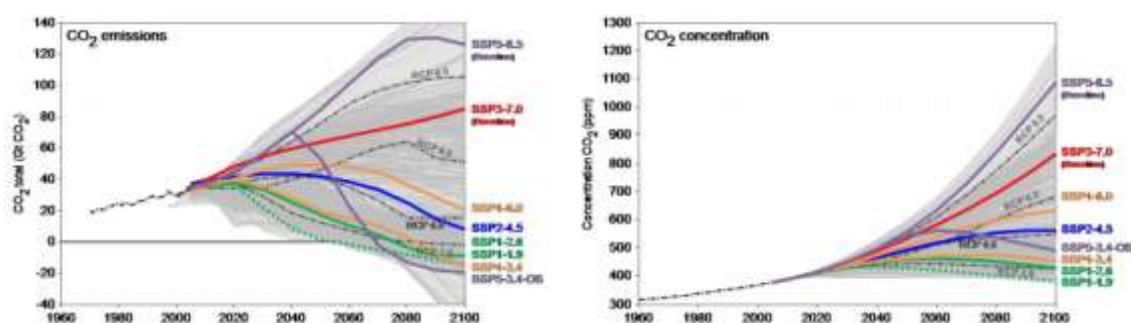
A modellszimulációkban a természetes éghajlatalakító folyamatok mellett az emberi tevékenység hatását is figyelembe kell vennünk. Az antropogén tevékenység éghajlatmódosító hatását meghatározó politikai, gazdasági és társadalmi folyamatok jövőbeli alakulását azonban nem tudjuk egyértelműen előrejelezni, ezért ennek leírására különböző (pl. alacsony, magas, közepes mértékű kibocsátáshoz tartozó) ún. *forгатókönyveket* definiáltak. Ezeket a hipotetikus scenáriókat az éghajlati modellek az üvegházgázok koncentrációjának különböző jövőbeli időszoraiént veszik figyelembe, s a klímamodellekkel arra keressük a választ, hogyan reagálna az éghajlati rendszer az ezek által kiváltott sugárzási kényszer-változásra. Mivel ezek a kísérletek feltételezéseken alapulnak, nem előrejelzéseknek, hanem *projekcióknak* nevezzük őket.

Az IPCC 3. és 4. értékelő jelentésének alapot adó globális modellkísérletekben az ún. *SRES* (Special Report on Emissions Scenarios; Nakicenovic et al., 2000) scenáriókat használták. Ezeknek négy alapváltozata van, melyek a 21. században várható népességszám-változás, gazdasági és technológiai fejlődés alapvető jellemzőiben térnek el. Az A-val jelölt forгатókönyveket a gyors gazdasági fejlődés, míg a B-val jelölt scenáriókat a környezettudatos technikai megoldások jellemzik. Mindkét forгатókönyv-családban egy-egy változat reprezentálja a népesség néhány évtizeden belül bekövetkező csökkenését és a problémák globális megoldását, valamint a népességszám folyamatos növekedésével párhuzamosan a helyi szintű gazdasági és társadalmi megoldások elterjedését. Az A1 scenárión belül további három csoportot különböztethetünk meg aszerint, hogy milyen arányban tervezi a fosszilis energiahordozók és a megújuló energiaforrások felhasználását (a 4.3. fejezetben szereplő A1B mindkettő kiegyensúlyozott alkalmazásán alapul).

A jelenleg használt forгатókönyvek figyelembe veszik a nemzetközi mitigációs törekvéseket, amihez kijelölték a jövőbeli sugárzási kényszer és légköri üvegházgáz-koncentráció változásának néhány lehetséges, egymástól jól megkülönböztetett, reprezentatív menetét (Meinshausen et al., 2011). Az IPCC 5. értékelő jelentésében (IPCC, 2013) használt ún. *RCP* (Representative Concentration Pathways; Moss et al., 2010) scenárió-családnak négy reprezentatív tagja van: (i) az RCP8.5 egy intenzíven növekvő üvegházgáz-kibocsátást feltételező forгатókönyv; (ii) az RCP4.5 és (iii) az RCP6.0 scenáriókban a kibocsátás nem sokkal 2100 után adott szinten stabilizálódik; (iv) az RCP2.6 egy intenzív mitigációs scenárió, melyben egy korai koncentrációcsúcs

elérése után kibocsátás-csökkentés következik be. A forgatókönyveket aszerint nevezték el, hogy az általuk leírt koncentrációnövekedés 2100-ra mekkora sugárzási kényszer változást (pl. az RCP8.5 esetében $8,5 \text{ W/m}^2$ -t) jelent az iparosodás előtti értékhez képest.

Az IPCC 6. értékelő jelentésének (IPCC, 2021) alapot szolgáltató legújabb modellkísérletekhez fejlesztették ki az ún. *SSP* (Shared Socioeconomic Pathways) scenáriókat. Ezek egyesítik a népességszám, a gazdasági növekedés, a technológiai fejlődés, a városiasodás stb. segítségével leírt társadalmi és gazdasági fejlődési pályákat és a számszerűen meghatározott mitigációs célokat. Öt fő SSP forgatókönyvet különítettünk el: (i) az SSP1 a kiegyensúlyozott, fenntartható fejlődést; (ii) az SSP2 a megkezdett úton való továbbhaladást; (iii) az SSP3 a helyi szempontok és érdekek érvényesülését; (iv) az SSP4 a társadalmi és gazdasági különbségek növekedését; (v) az SSP5 pedig a fosszilis üzemű gyors fejlődést reprezentálja. A mitigációs célokat a 2100-ra kitűzött sugárzási kényszer értékkel jellemzik, s a forgatókönyvcsaládban a korábbinál több mitigációs alternatívát is figyelembe vesznek. Például az SSP családban megjelentek a zero kibocsátás-csökkentéssel (SSP3-7.0) vagy a nagyon intenzív mitigációval (SSP1-1.9) számoló scenáriók. A 4.3. ábra az SSP és RCP scenáriók különböző jellemzőit hasonlítja össze.



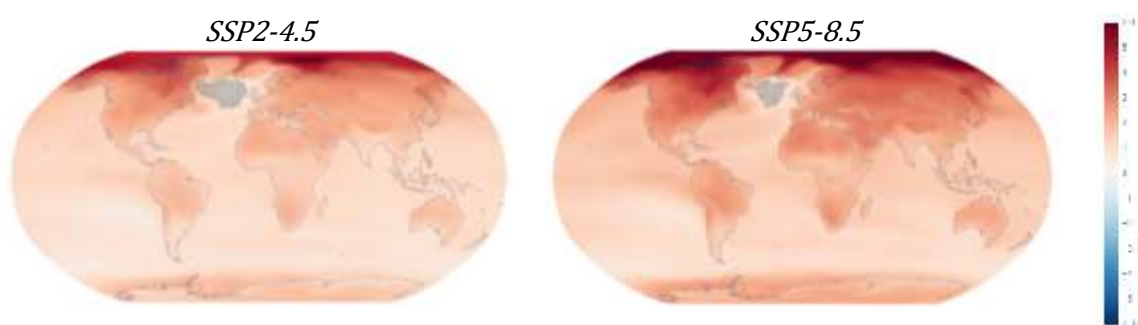
4.3. ábra: Az SSP és az RCP forgatókönyvekben jellemző szén-dioxid kibocsátás és koncentráció értékek a 21. század folyamán (O'Neill et al., 2016 alapján).

1.4.2. Globális és európai változások

A modelleredmények interpretációja akkor korrekt, ha a beválásuk valószínűségéről is tartalmaz információt. Ennek eszköze az ún. *ensemble technika*, amikor együttesen értékeljük több modellkísérlet eredményeit (pl. több modell eltérő forgatókönyvekkel készült szimulációs eredményeit), melyek mindegyike az éghajlati rendszer fejlődésének egyaránt lehetséges leírását adja. A jövőbeli változások irányáról és mértékéről így nyert valószínűségi információk alapján a felhasználó megalapozottabb döntést tud hozni, mint egyetlen szimuláció eredményének használatával.

Az összeállított szimuláció-együttes akkor reprezentálja jól a „valós” bizonytalanságot, ha minden fontos bizonytalanságtípust a súlyának megfelelően veszünk figyelembe. Az ilyen ensemble rendszerek készítése kiterjedt nemzetközi együttműködést igényel, mivel általában még a legnagyobb klímakutató központoknak is „csupán” arra van kapacitása, hogy az általuk fejlesztett kapcsolt globális modellt néhány scenárió figyelembevételével lefuttassák. A globális klímaszimulációk elvégzését a CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) projektek hangolják össze. A CMIP5 (Meehl et al., 2007) és CMIP6 (Eyring et al., 2016) együttműködésekben a legmodernebb légkör-óceán általános cirkulációs modelleket használják, a jövőbeli emberi tevékenység leírására a CMIP5-ben az RCP, míg a CMIP6-ban az SSP forgatókönyv-család alkalmazásával.

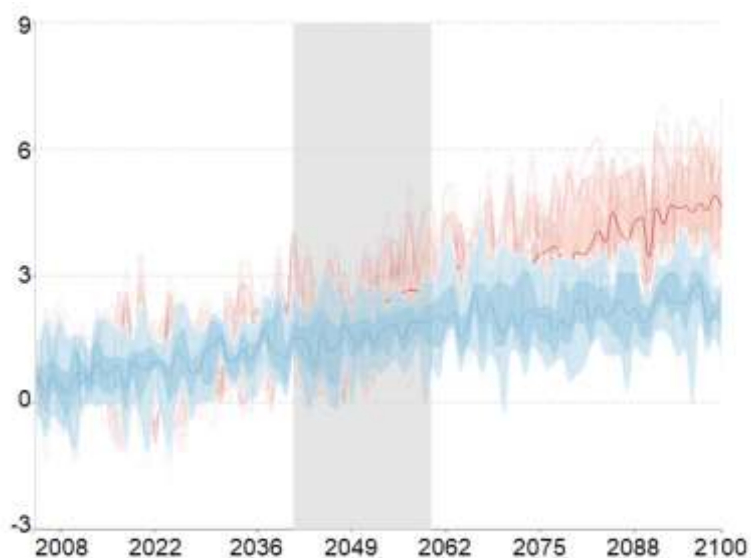
A várható változásokat többévtizedes jövőbeli időszakokra számszerűsítik, és a jövőre vonatkozó modelleredményeket a közelmúltbeli állapotokat jellemző ún. *referencia időszaktól* vett eltérések formájában adják meg. A CMIP6 34 globális modellkísérlete alapján az éves átlaghőmérséklet emelkedésének mértéke a 2041–2060 időszakban a szárazföldi területek felett elérheti az 1 °C-ot, sőt, ha az antropogén kibocsátás változatlan tendenciát követ, akkor meghaladhatja a 2 °C-ot is az 1986–2005 időszak átlagához képest (4.4. ábra). A déli féltekén a melegedés kevésbé intenzív, míg az északi félteke magasabb szélességeken fekvő tájain, pl. a sarkkörtől északra az átlaghőmérséklet akár 4-5 fokkal is növekedhet (a választott forgatókönyvtől függően). Az észak-atlanti óceáni területeken jelzett kis változások nem szignifikánsak. A globális modelleredmények alapján valószínű, hogy folytatódik az északi sarki jégmezők olvadása, a szubpoláris tengerek sótartalmának csökkenése, és ennek következtében a termohalin cirkuláció gyengülése.



4.4. ábra: Átlagos hőmérsékletváltozás (°C) 2041–2060-ra az 1986–2005 időszakhoz képest globális klímodell-szimulációk eredményei alapján. Az antropogén tevékenység leírására az SSP2-4.5 (fent) és az SSP5-8.5 (lent) forgatókönyveket alkalmazták. A satírozás a nem szignifikáns változást jelöli. Forrás: IPCC (2021).

A regionális éghajlatváltozás vizsgálatánál szintén lényeges a szimulációk egységes koncepció mentén történő megvalósítása, s itt is nagy jelentőséggel bírnak azok a nemzetközi projektek, amelyek keretében a résztvevő országok intézményei közösen valósítják meg és értékelik ki a projekciókat. A WCRP (World Climate Research Programme) által 2009-ben kezdeményezett CORDEX együttműködés (Jones et al., 2011) Európára koncentráló ága, a EURO-CORDEX (Jacob et al., 2013) az RCP forgatókönyvekkel és a CMIP5 globális modellváltozatokkal készült szimulációk leskálázását hajtja végre 50 és 10 km-es felbontású regionális klímamodellekkel.

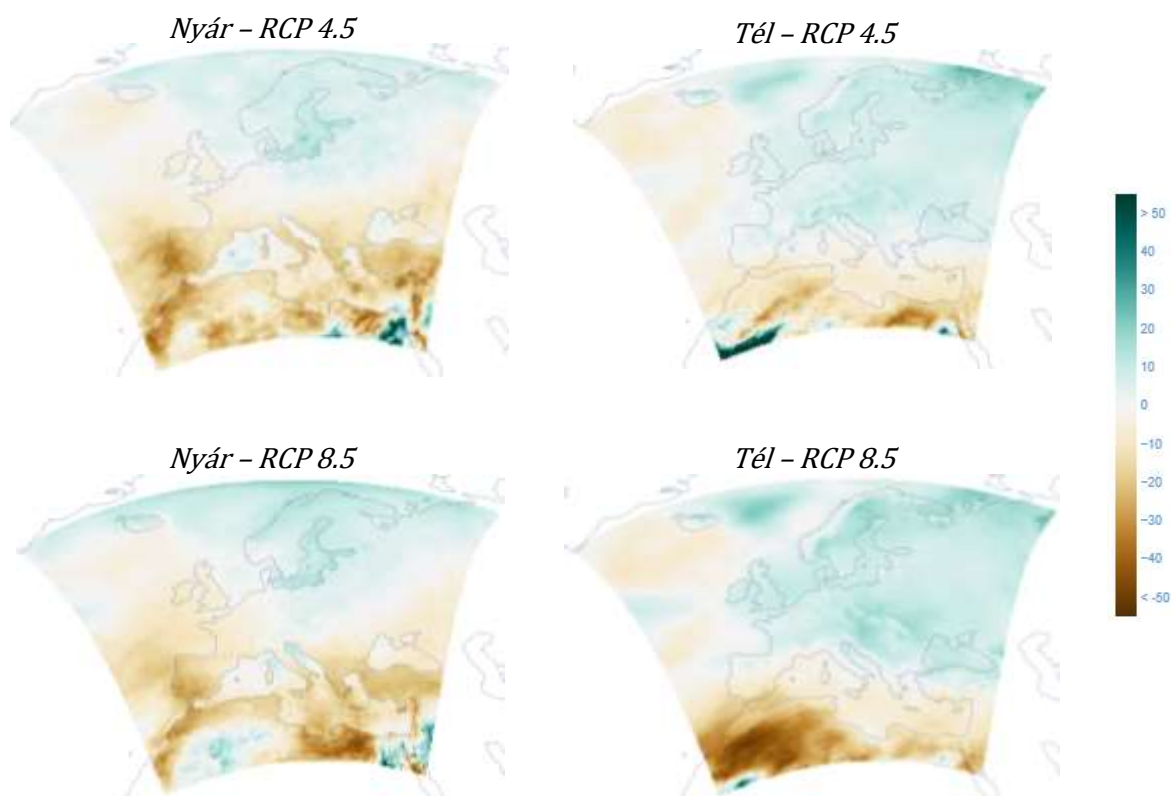
A EURO-CORDEX modellszimulációk eredményei alapján az éves átlaghőmérséklet Nyugat- és Közép-Európában átlagosan 0,9–2,2 illetve 1,4–2,7 fokkal növekszik 2041–2060-ban az 1986–2005 időszak átlagához viszonyítva attól függően, hogy a kísérletekben az RCP4.5 vagy az RCP8.5 scenáriót alkalmazták (4.5. ábra). Jóval nagyobb az eltérés az évszázad végén: 2081–2100-ban a térségben várható melegedés 3 °C alatt (1,6–2,8 °C) maradhat visszafogott antropogén tevékenység mellett, míg változatlan körülmények között meghaladhatja azt (3,3–5,3 °C).



4.5. ábra: Átlagos hőmérsékletváltozás (°C) Nyugat- és Közép-Európában 2006 és 2100 között az 1986–2005 időszakhoz képest regionális klímamodell-szimulációk eredményei alapján az antropogén tevékenység leírására az RCP4.5 (kék) és az RCP8.5 (piros) forgatókönyvet alkalmazva. A különböző erősségű árnyékolás a 10. és 90. illetve a 25. és 75. percentilist fogja közre, míg a kiemelt görbe az adott scenárió csoportba tartozó modellfuttatások mediánját reprezentálja. Forrás: IPCC (2021).

A nyári csapadékmennyiség változása a regionális klímamodellek eredményei alapján eltérő módon alakul Európa különböző részein: az északi tájakon többnyire kismértékű növekedés várható, míg Dél-Európában a csapadék csökkenése valószínű (4.6. ábra). Ez Spanyolországban akár 30-40 %-os csökkenést is jelenthet 2041–2060-ban. A Kárpát-medence a két terület határán helyezkedik el. Ez azonban nem azt

mutatja, hogy hazánkban nem kell a nyári csapadék változására számítanunk az évszázad közepéig, hanem arra hívja fel a figyelmet, hogy a különböző modellszimulációk nagyon eltérő eredményeket adnak térségünkre (ugyanis a 4.6. ábrán jelölt változások statisztikailag nem szignifikánsak). Télen Európa nagy részén a csapadék növekedését jelzik a modellek mind alacsony, mind magas antropogén kibocsátás mellett. Általánosságban is kijelenthető, hogy a csapadék változásai nem mutatnak kapcsolatot a forgatókönyv-választással.



4.6. ábra: A nyári (jobbra) és a téli (balra) csapadékösszeg átlagos változása (%) Európában 2041–2060-ra az 1986–2005 időszakhoz képest regionális klímamodell-szimulációk eredményei alapján az antropogén tevékenység leírására az RCP4.5 (fent) és az RCP8.5 (lent) forgatókönyvet alkalmazva. A változások nem szignifikánsak. Forrás: IPCC (2021).

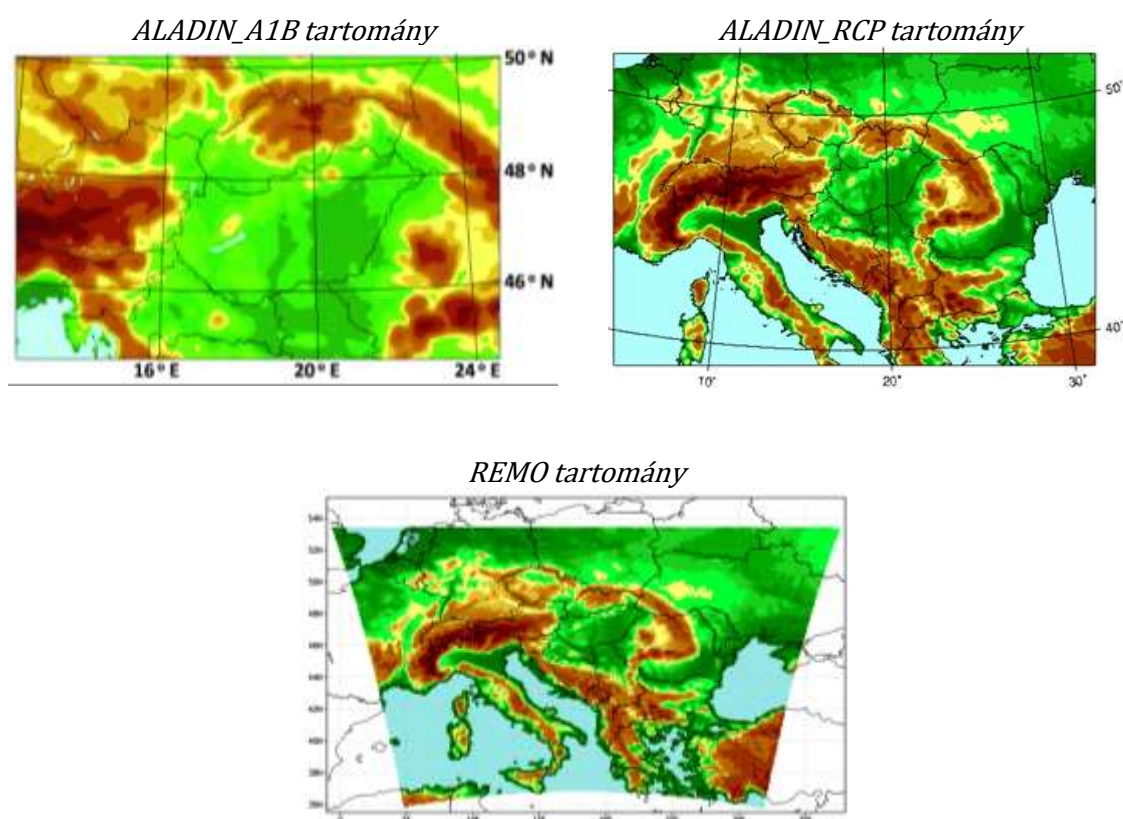
1.4.3. Magyarországi változások

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál két regionális klímamodellt adaptáltunk és futtatunk a Kárpát-medencére: az időjárás-előrejelzésben is használt, nemzetközi együttműködésben fejlesztett ALADIN modell klímaváltozatát (Bán et al., 2021), illetve a hamburgi Max Planck Intézetben kifejlesztett REMO modellt (Szépszó, 2014). A modellekkel az elmúlt években többféle felbontáson és tartományon készültek kísérletek, elsőként a közepes szennyező-anyag kibocsátást feltételező A1B SRES scenárió, majd az RCP forgatókönyvek közül az RCP4.5 és RCP8.5 változatok használatával. A SRES forgatókönyvekkel készült szimulációk számára a határfeltételt

közvetlenül globális klímamodellek nyújtották, míg az RCP scenáriókkal készült kísérletek esetében a globális eredmények leskalázása két lépésben történt egy-egy 50 km-es felbontású ALADIN-Climate illetve REMO szimuláció közbeiktatásával. Az továbbiakban bemutatott eredményeknek alapot adó modellkísérletek főbb jellemzőit a 4.1. táblázat foglalja össze, tartományukat pedig a 4.7. ábra mutatja. A Magyarországon várható változásokat a 2021–2050 időszakra ismertetjük, mely lényeges a következő évtizedekre szóló tervezés szempontjából. A jövőre vonatkozó modelleredményeket a közelmúltbeli állapotokat jellemző 1971–2000 időszakhoz viszonyítva adjuk meg.

4.1. táblázat: Az ALADIN-Climate és REMO modellekkel készülő éghajlatváltozási szimulációk jellemzői.

Modell	Határfeltétel	Felbontás	Forgatókönyv	Időszak
ALADIN-Climate	CNRM-CM5	10 km, 31 szint	A1B	1961–2100
ALADIN-Climate	CNRM-CM5 > ALADIN-Climate	10 km, 31 szint	RCP4.5	1961–2100
ALADIN-Climate	CNRM-CM5 > ALADIN-Climate	10 km, 31 szint	RCP8.5	1961–2100
REMO	ECHAM5/MPI-OM	25 km, 20 szint	A1B	1961–2100

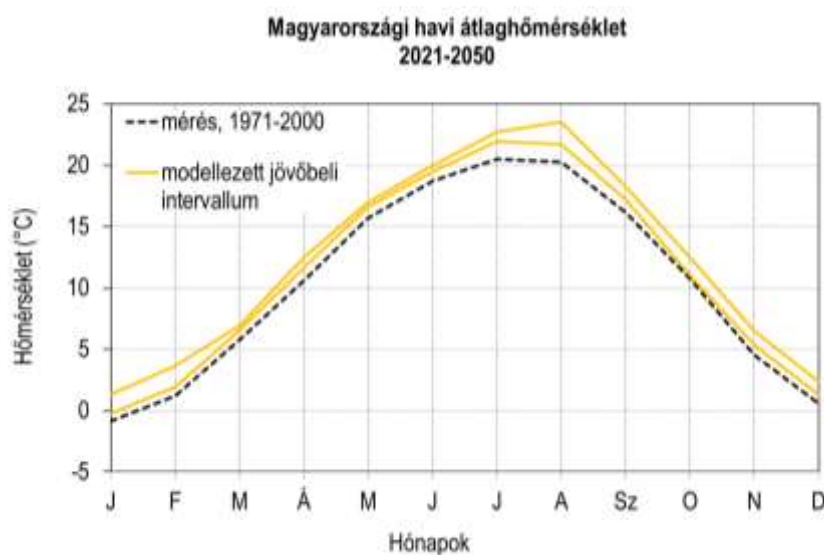


4.7. ábra: Az ALADIN és REMO modellkísérletek tartományai.

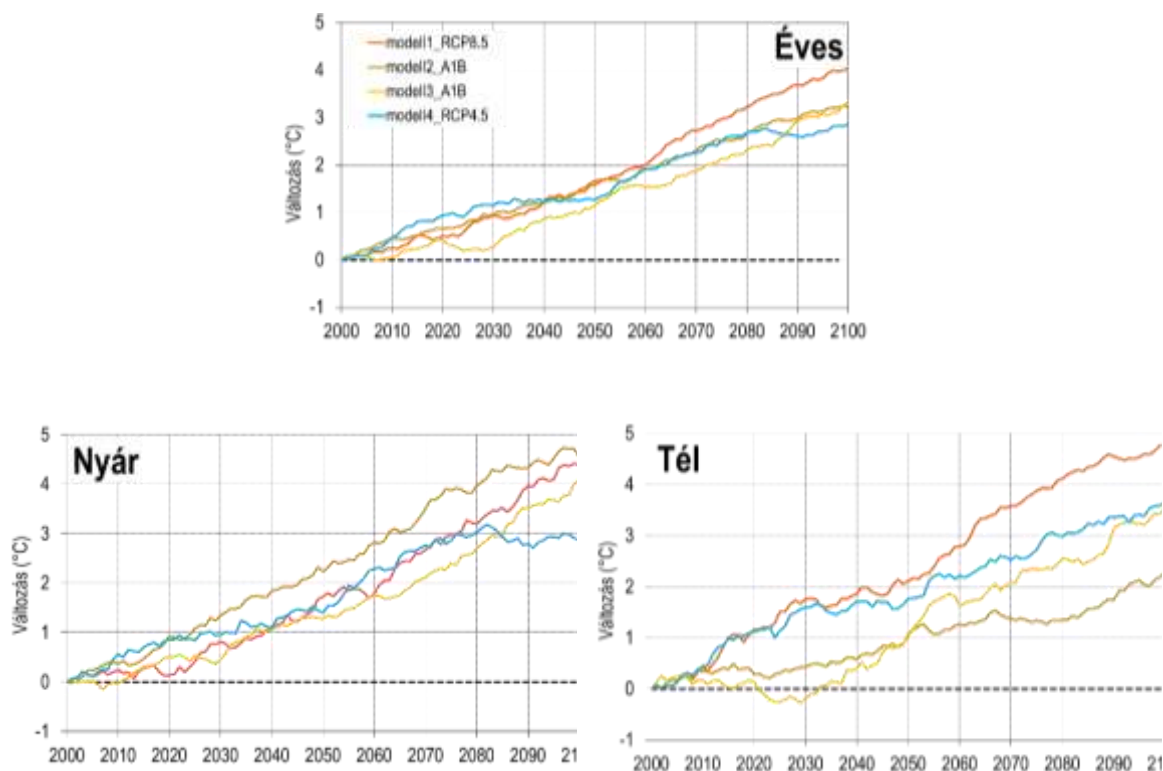
Hőmérséklet

A vizsgált éghajlati modellek eredményei egyöntetűen az éves átlaghőmérséklet növekedését jelzik Magyarországra a 21. században: 2021–2050-re 1,1-1,7 °C-kal, míg 2071–2100-ra 2,9-4 fokkal (4.8. ábra) emelkedhet az 1971–2000 időszakhoz képest. Azonban a melegedés nagysága nem azonos az egyes évszakokban: tavasszal és ősszel a várható változás mértéke kisebb, de a legmelegebb és leghidegebb évszak átlaghőmérséklete az éves átlagnál nagyobb mértékben változhat (4.8 és 4.9. ábra). Az augusztusi átlaghőmérséklet akár 23,5 °C is lehet 2021–2050-ben, míg a 1971–2000-ben a legmelegebb két nyári hónap (július és augusztus) hőmérséklete ennél átlagosan 3 °C-kal hidegebb volt. A leghidegebb hónap (január) átlaghőmérséklete mindössze egy modellkísérlet alapján esik 0 °C alá a jövőben.

A hőmérsékletváltozás mértéke különösen az évszázad második felében mutat egyértelmű kapcsolatot a forgatókönyv-választással: gyorsan emelkedő szennyezőanyag-kibocsátás mellett kb. 2-3 fokkal nagyobb változással kell számolni, mint egy visszafogott antropogén tevékenység esetén. Az optimista (RCP4.5) forgatókönyvvel a melegedés erősödése tél kivételével megtorpanhat az évszázad végén. Mindezek mellett fontos megjegyezni, hogy továbbra is számíthatunk az éves és évszakai átlaghőmérséklet évek közötti változékonyságára, azaz arra, hogy lesznek az átlagosnál alacsonyabb értékek (pl. az átlagosnál hűvösebb nyár, melegebb év).



4.8. ábra: A magyarországi havi átlaghőmérséklet (°C) 1971–2000-ben mérések alapján (fekete), valamint a 2021–2050-ben várható legkisebb és legnagyobb értéke négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján (sárga vonalakkal körülhatárolt intervallum).



4.9. ábra: Az éves, a nyári és a téli magyarországi átlaghőmérséklet változása (°C) a 2000–2100 időszakon négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján. Az egyes évekhez tartozó érték a megelőző harminc év átlaghőmérsékletének eltérését mutatja az 1971–2000 időszakhoz képest.

A csupán néhány fokos hőmérséklet-emelkedés jelentős változásokat eredményezhet a ritkán előforduló, szélsőséges események gyakoriságában. Hőhullámos nap a múltban évente átlagosan 3 napon fordult elő, azonban a következő 30-éves periódusban már legalább egy héttel, de akár három héttel is gyakoribb lehet (4.2. táblázat). A nagyobb mértékű változás az ország déli, délkeleti területein várható, ahol a múltban is a legtöbbször fordult elő hőhullámos nap. A melegedés következtében a fagyos napok száma egyértelműen csökkenni fog: országos éves számuk a múltban 94 nap volt, ami várhatóan 12-23 nappal csökkenhet az évszázad közepéig.

4.2. táblázat: A fagyos napok és a hőhullámos napok éves számának legkisebb és legnagyobb várható változása (nap) 2021–2050-ben az 1971–2000 időszakhoz képest négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján.

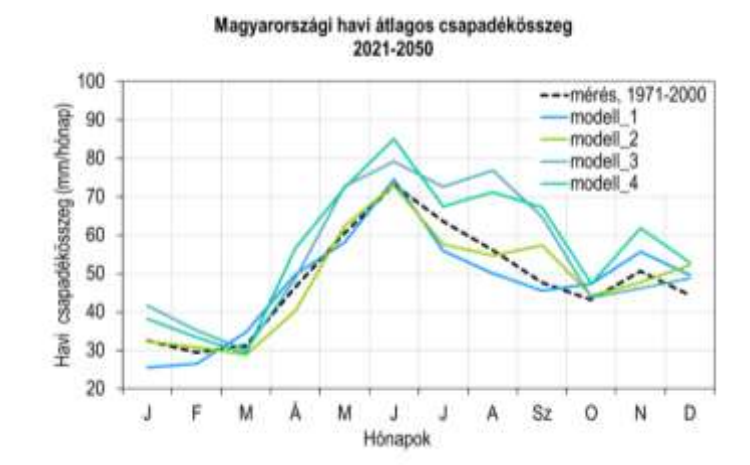
Fagyos napok száma	-23–(-12)
Hőhullámos napok száma	8–21

Csapadék

A csapadék jövőben várható változásának iránya és mértéke sokkal kevésbé egyértelmű, mint a hőmérsékleté. Ez egyrészt a modellekben a csapadékképződési

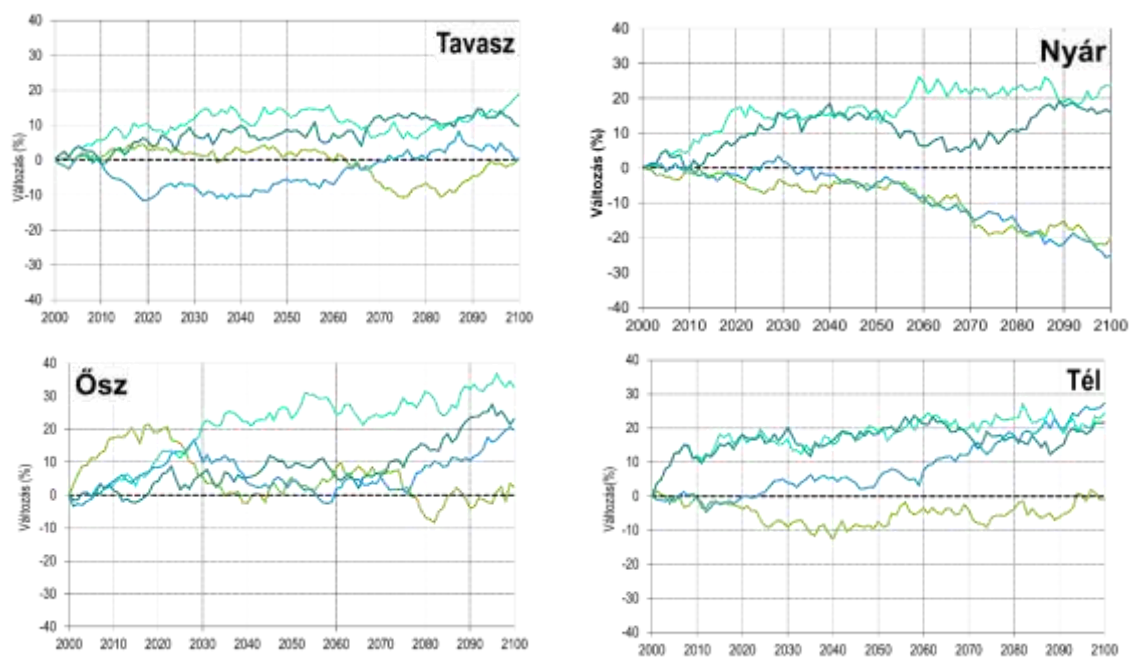
folyamatok leírására alkalmazott többféle közelítő eljárással, másrészt a csapadék térbeli és időbeli változékonyságával magyarázható.

Az OMSZ modellszimulációi alapján a 21. század első felében az éves csapadékösszeg jelentős mértékű csökkenése nem valószínű, a múltbeli átlagos érték körüli, vagy legfeljebb 20 %-os növekedés várható. A csapadék éven belüli eloszlása továbbra is tükrözni fogja a nedves kontinentális éghajlatra jellemző csapadékeloszlást, a legcsapadékosabb hónapunk 2021–2050-ben is június lehet, de a novemberi másodmaximum már csak két modellszimulációban jelenik meg markánsan (4.10. ábra).

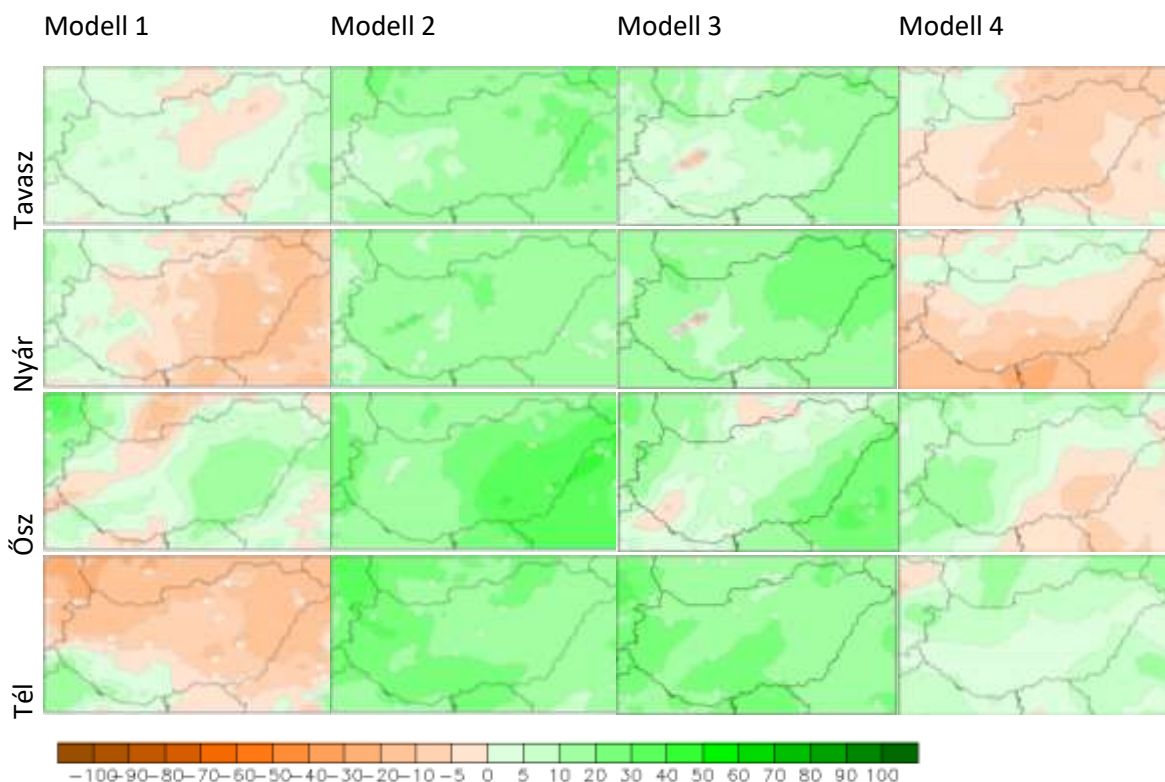


4.10. ábra: A magyarországi átlagos havi csapadékösszeg (mm/hónap) 1971–2000-ben mérések alapján (fekete), valamint a 2021–2050-ben várható értéke négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján (zöld és kék).

Az egyes évszakokat tekintve 2050-ig ősszel minden modellszimuláció az országos átlag növekedését jelzi (4.11. ábra), ugyanakkor lehetnek olyan területek, ahol a múltbeli átlaghoz képest kevesebb csapadék hullik (4.12. ábra). Tavasszal és télen a modellek többsége szintén pozitív változási irányt valószínűsít. Nyáron azonban nagyobb a bizonytalanság: szárazodás és csapadéktöbblet hasonló valószínűséggel fordulhat elő, ugyanakkor a növekedés mértéke országos átlagban nagyobb (kb. 15 %), mint a csökkenésé (4-5 %). Nagyobb, 20 %-ot elérő csapadékcsökkenés az ország déli, vagy keleti területein lehetséges. Az évszázad végére már ugyanolyan mértékű csapadéktöbbletet és -hiányt mutatnak a modellek. Megjegyezzük, hogy az európai modelleredmények hasonlóan bizonytalanok a térség nyári csapadékváltozásait tekintve.



4.11. ábra: Az évszakos magyarországi csapadékösszeg változása (%) a 2000–2100 időszakon négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján. Az egyes évekhez tartozó érték a megelőző harminc év csapadékösszegének eltérését mutatja az 1971–2000 időszakhoz képest.



4.12. ábra: Az évszakos csapadékösszeg változása (%) 2021–2050-ben az 1971–2000 időszakhoz képest négy regionális klímamodell-szimuláció eredményei alapján.

A hosszan tartó csapadékmentes időszakok, illetve a rövid idő alatt lehulló nagy mennyiségű csapadékok számos területen okozhatnak jelentős károkat. A múltban a leghosszabb száraz időszakok (amikor a napi csapadékösszeg 1 mm alatti) nyáron átlagosan 15 napig, míg ősszel és télen átlagosan 21-22 napig tartottak. A modellszimulációk eredményei alapján a 2021–2050 időszakban ősszel egyértelműen, valamint tavasszal és télen nagyobb valószínűséggel rövidebb száraz periódusra számíthatunk, míg nyáron – ahogy az átlagos csapadékváltozásnál – bizonytalan a változás iránya (4.3. táblázat). Az intenzív csapadékeseményeket a 10 mm-t meghaladó csapadékösszegű napok számával számszerűsítjük. A múltban évente átlagosan 16 ilyen nap fordult elő, melyből a legtöbb (átlagosan 6 nap) nyárra esett. A jövőben tavasz kivételével minden évszakban – átlagosan 1 nappal – több nagycsapadékos napra számíthatunk.

4.3. táblázat: A száraz időszakok maximális éves és évszakos hosszának, valamint a 10 mm-t meghaladó csapadékösszegű napok éves és évszakos számának legkisebb és legnagyobb várható változása (nap) 2021–2050-ben az 1971–2000 időszakhoz képest négy regionális klímamodell-szimuláció alapján.

	Éves	Tavasz	Nyár	Ősz	Tél
Száraz időszakok maximális hossza	-1-0	-1-2	-1-1	-2-0	-3-5
10 mm-t meghaladó csapadékösszegű napok száma	1-3	0	0-1	0-1	0-1

1.5. Éghajlati adatok felhasználása

Az éghajlatváltozás hatásai a természeti környezetet és minden szektort érintenek, s ezek a hatások a jövőben fokozódnak. A felkészüléshez a meteorológiai változások különböző területekre kifejtett hatásait célzott és objektív vizsgálatokkal mérjük fel, s ezek eredményei beépül(het)nek az alkalmazkodással kapcsolatos stratégiai döntéshozatalba. Az éghajlatváltozás részleteinek feltérképezésekor (lényegében a kitettség elemzéseknél) két forrásra támaszkodhatunk: egyrészt a rendelkezésre álló mérések birtokában jellemezhetjük a közelmúlt és a jelen éghajlatát; másrészt éghajlati modellek segítségével szimulációkat végezhetünk a 21. században várható változások számszerűsítésére.

1.5.1. Mérési információk alkalmazása éghajlati hatásvizsgálatokban

Az Európai Unió irányelveknek megfelelően, Magyarország Kormánya által biztosított források lehetővé tették az Országos Meteorológiai Szolgálat számára, hogy 2021. január 1-jétől megvalósítsa hazánkban a nyílt meteorológiai adatpolitikát. Ennek értelmében az OMSZ az odp.met.hu nyílt adatszerveren keresztül, a Meteorológiai Adattárban ingyenesen és szabadon felhasználhatóan rendelkezésre bocsátja

megfigyelési és mérési adatait, egyéb időjárási és éghajlati információit. Ezek értelmezését, felhasználását leírások segítik. Az Adattár archív adatokkal történő feltöltése folyamatos. Az éghajlatváltozás nyomon követését segítik a 20. század elejétől elérhető állomási adatsorok és az 1971-től letölthető rácsponti adatsorok.

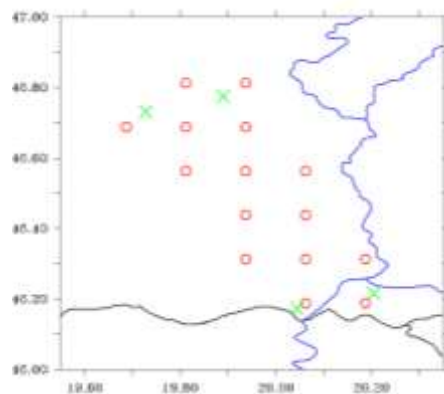
OMSZ megfigyeléseken alapuló trendelemzések és klímamodell szimulációk eredményei képezik a 2018 és 2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia meteorológiai alfejezetét. Ez is segíti a stratégiai tervezést és a döntéshozatalt. A publikusan elérhető havi, éves, évszakos és éves éghajlati értékelők az aktuális időszakot, s annak szélsőségeit az éghajlatváltozás tükrében mutatják be.

Az OMSZ a különböző szektorokból érkező felhasználói igényeket célzott produktumokkal szolgálja ki. A jelen éghajlati viszonyokat leginkább jellemző, 1991–2020 standard időszak adatai alapján éghajlati hatástanulmányok készülnek, egy adott időszakban előfordult szélsőségek lekérhetőek a digitális adatbázisból. A statisztikus klimatológia eszközeivel becslés készíthető például magas vagy alacsony hőmérsékletek, erős szellőkések, rövid idejű csapadék részösszegek visszatérési idejére, tervezési értékeire. Számos éghajlati indikátor (pl. a hőségnapok, forró napok, hőhullámos napok, fagyos napok, zord napok, magas küszöb fölötti csapadékú napok, viharos napok előfordulása) operatíván előáll az adatbázisban, s összetettebb sektorspecifikus indikátorok kifejlesztése is megvalósítható.

Új szolgáltatás érhető el csapadékvíz elvezetés méretezéséhez mérnökök számára. Az intenzívebbé váló csapadékhullás miatt szükségeszerű a csapadékvíz elvezető hálózatok tervezésénél alkalmazott, az 1970-es években elkészített csapadékmaximum függvények aktualizálása. Az OMSZ honlapján (<https://www.met.hu/eghajlat/csapadekintenzitas>) kialakított felületen évente frissülő csapadékintenzitás adatok tölthetők le csapadékvíz-hozam számításához tervezési, méretezési feladatok kiszolgálása céljából. A letölthető mértékadó intenzitás értékek 101 mérőhelyre vonatkozóan készültek automata mérések alapján. A tervező a helyszín megadása után letöltheti a tervezéshez szükséges intenzitás értéket. Módszertani leírás és tervezői segédlet is segíti a felhasználók munkáját. Az ingyenes tervezői adatszolgáltatás biztosításához a szükséges fejlesztést az Országos Vízügyi Főigazgatóság (Települési Vízgazdálkodási Osztály) megbízásából a Magyar Mérnöki Kamara (Vízgazdálkodási és Vízépítési Tagozat) szakmai közreműködésével az Országos Meteorológiai Szolgálat készítette.

1.5.2. Modelleredmények alkalmazása éghajlati hatásvizsgálatokban

A tervezéshez, hatásvizsgálathoz szükséges megfelelő adatok összeállítása egy többlépéses, iteratív-konzultatív folyamat, amiben egyeztetjük és közelítjük a felhasználói igényeket, valamint a modelladatok kínálta lehetőségeket. Az éghajlati modelladatok térbeli és időbeli felbontása például megszabja, hogy egy terület éghajlatváltozásáról milyen részletes információk adhatók. A regionális klímamodellek horizontális felbontása ma még 10 km-nél többnyire nem finomabb, ezért a tervezési feladatokban meghatározott pontbeli vagy vonalas területre vonatkozó lokális adatigény esetén mindig az adott területet lefedő modellbeli rácspontok átlagáról adunk információt (5.1. ábra).



5.1. ábra: Példa egy célterületre és az azt lefedő modellbeli rácspontokra. A célterületet befoglaló négyzög zöld x, a 10 km-es felbontású modell rácspontjait piros körök jelölik. A fekete vonal az országhatárt, a kék vonal a vízfolyásokat jelöli.

A modelleredmények természetüknél fogva hibával terheltek, amit figyelembe kell venni a jövőre vonatkozó projekciók kiértékelése során (különben a nyers modelleredmények téves információt adhatnak a várható változások mértékéről vagy irányáról). Ezt megtehetjük változásértékeket megadásával: a jövőre vonatkozó modelleredményeket a saját referencia-időszakához viszonyítva értelmezzük (pl. 4.9. vagy 4.12. ábra). Így a jövőre és a múltra vonatkozó szisztematikus modellhibák a különbség-képzéssel részben eliminálják egymást. (Például ha a múltbeli mérésekkel történő validációs vizsgálatok során feltártuk, hogy egy regionális éghajlati modell 1 °C-kal alábecsüli a magyarországi nyári átlaghőmérsékletet az 1971–2000 időszakon, feltételezzük, hogy egy jövőbeli 30-éves időszakon, pl. 2021–2050-ben hasonló mértékű lesz a modelleredmények hibája.) Az éghajlati projekciók adataiból ezeket a hibákat ún. *hibakorrekcióval* el is távolíthatjuk, mielőtt további felhasználásra rendelkezésre bocsátjuk őket. Ilyenkor a legegyszerűbb módszer esetében például a változásértékeket hozzáadjuk a mérések referencia-időszakra (jellemzően 1971–2000-re) számított értékeihez (pl. 4.8. ábra). Ehhez nagyon lényeges, hogy a

referencia-időszakra rendelkezésünkre álljanak a korrigálni kívánt meteorológiai változók megfigyelt értékei.

Az eredmények megfelelő értelmezéséhez elengedhetetlen a felhasznált információk és módszerek bizonytalanságának figyelembevétele (5.2. ábra). A projekciók bizonytalansága több globális és regionális modellel, valamint több forgatókönyv figyelembevételével végrehajtott szimulációk együttes vizsgálatával számszerűsíthető. Ez a modelleredmények felhasználása során kétféle megközelítéssel elégíthető ki:

- 1.) A hatásvizsgálat különböző modellkísérletekből származó kiindulási adatokkal is elvégzésre kerül, aminek eredményeképpen a különböző irányú/mértékű meteorológiai változásokra bekövetkező eltérő hatások vizsgálhatók. Például a különböző mértékű/irányú csapadékváltozás hogyan hat a Duna vízhozamára, ezáltal a hajózhatóságára. Egy ilyen vizsgálathoz lefolyási modellre van szükség, amihez a hatásvizsgáló szakember korrigált napi meteorológiai változókat használ fel.
- 2.) A tervezéshez, döntéshozatalhoz az éghajlatváltozás lehetséges irányait a különböző modellkísérletekből származó meteorológiai változók több évtizedes időszakon tekintett statisztikai jellemzőivel írjuk le. Például egy adott feladatban 10 regionális éghajlati modell eredményeiből meghatározzuk, hogy az éves átlagos csapadékösszeg milyen értékhatárok között változhat 2021–2050-ben. A modelleredmények ilyen formában való közlése információt ad az adott meteorológiai paraméter jövőbeli változásának bizonytalanságáról. (Ha a modellszimulációk átlagát tekintenénk, az könnyen elfedné a változás mértékét, például abban az esetben, ha pozitív és negatív irányú változás, mint csapadékcsökkenés és -növekedés egyaránt lehetséges.) A tervezésben, döntéshozatalban érdemes költség-haszon becslést végezni az egyes éghajlatváltozási kimeneteket figyelembe véve.



5.2. ábra: A modelleredményeken alapuló számszerű hatásvizsgálatok elvégzésének folyamatábrája.

1.6. Irodalom

- [1] Barcza Z., Bartholy J., Bihari Z., Lakatos M., Mészáros R., Pieczka I., Pongrácz R., Práger T., Radics K., 2013: Klímaváltozás (szerk.: Bartholy J., Pongrácz R.). Elektronikus egyetemi jegyzet, ELTE Meteorológiai Tanszék.
- [2] Bartholy J., Mészáros R., Geresdi I., Matyasovszky I., Pongrácz R., Weidinger T., 2013: Meteorológiai alapismeretek (szerk.: Bartholy J., Mészáros R.). Elektronikus egyetemi jegyzet, ELTE Meteorológiai Tanszék.
- [3] Bán, B., Szépszó, G., Allaga-Zsebeházi, G., Somot, S., 2021: ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results. *Időjárás* 125, 4, 647–674 (nyomtatás alatt).
- [4] Broecker, W.S., 1987: The biggest chill. *Natural History*, 96, 74–82.
- [5] EEA, 2017: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA Report No 1/2017
- [6] EEA, 2021: <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures>
- [7] Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., 2016: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* 9, 1937–1958, doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016.
- [8] Götz G., 2004: A klímadinamika alapjai. Kézirat, Meteorológiai Tudományos Bizottság, Légekördinamikai Munkabizottság, 41 pp.
- [9] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- [10] IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou). Cambridge University Press, in Press.
- [11] Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsman, A., Martin, E., Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2013:

EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, Springer Berlin Heidelberg, 1–16.

- [12] Jones, C., Giorgi, F., Asrar, G., 2011: The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX. An international downscaling link to CMIP5. *CLIVAR Exchanges* 56, 16 (2), 34–40.
- [13] Lakatos M., Szépszó G., Bihari Z., Krüzselyi I., Szabó P., Bartholy J., Pongrácz R., Pieczka I., Torma Cs., 2012: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: közelmúlt és jövő. A magyarországi eredmények összefoglalása az IPCC szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről szóló Tematikus Jelentéséhez (SREX) kapcsolódóan, 11 pp.
- [14] Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J., Stouffer, R., Taylor, K., 2007: The WCRP CMIP3 multimodel dataset – A new era in climate change research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 88, 1383–1394.
- [15] Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J-F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., van Vuuren, D.P.P., 2011: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109, 213, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- [16] Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756, doi: 10.1038/nature08823
- [17] Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000: IPCC special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf
- [18] O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B.M., 2016: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development* 9, 9, 3461–3482, doi: 10.5194/gmd-9-3461-2016
- [19] Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). *Proceedings of the 2nd Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary, WMO, WCDMP-No. 41, 27–46.

- [20] Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.
- [21] Szépszó G., 2014: A REMO regionális éghajlati modellen alapuló klímadinamikai vizsgálatok a Kárpát-medence éghajlatának jellemzésére. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola, Földrajz–Meteorológia Program.
- [22] Szépszó G., Horányi A., Kertész S., Lábó E., 2006: Magyarországi szélklimatológia előállítása globális mezők dinamikai leskálázásával. Magyar Meteorológiai Társaság elő-adássorozata, beszámolókötet, 82–93.
- [23] WMO, 2021: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts>
- [24] State of the global climate 2021, WMO provisional report
- [25] https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/home_rseklet_es_csapadektrendek/

2. A Nemzeti Alkalmazkodási és Térinformatikai Rendszer és módszertani háttere

„Az éghajlati rendszer egészét érintő közelmúltbeli változások léptéke és az éghajlati rendszer számos elemének jelenlegi állapota példátlan az elmúlt évezredekben”¹ olvashatjuk az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület legfrissebb jelentésében. A testület korábbi jelentései sem hagytak kétséget afelől, hogy a Föld éghajlata jelentős változáson megy keresztül, de a 2021-ben megjelent Hatodik Értékelő Jelentés minden eddiginél határozottabban állítja, hogy ebben egyértelműen jelentős szerepet játszik az emberi tevékenység és a többlet szén-dioxid kibocsátás.

A jelenkori éghajlatváltozás hatásai már hazánkban is mérhetők és értékelhetők. A nyári átlaghőmérséklet emelkedése, az extrém időjárási jelenségek gyakoribbá válása és az éven belüli, valamint területi csapadékeloszlás megváltozása – mint az éghajlatváltozás legközvetlenebb hatásai – szinte minden nemzetgazdasági szempontból fontos ágazatot érintenek, így közvetlen, vagy közvetett módon kockázatot jelenthetnek többek között az egészségügy, a mezőgazdaság, az erdészet, a vízgazdálkodás, a turizmus szektorokban, a településeken és a vonalas infrastruktúraelemekben, érintve ezzel a hétköznapi élet szinte minden területét.

A Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (továbbiakban NÉS-2) Magyarország klímapolitikaistartégiája, amelyben az éghajlatváltozás elleni védekezés mindhárom fő pillére hasonló súllyal jelenik meg:

- **mitigáció** – a kibocsátások csökkentése;
- **adaptáció** – a már megjelent, vagy várható hatásokhoz való alkalmazkodás és felkészülés;
- és **szemléletformálás**.

A stratégia célja, hogy „lefedtesse azokat a célkitűzéseket, amelyek megvalósításával az éghajlatváltozás által előidézett hatások hosszútávon kezelhetők.” (NÉS-2) Ennek érdekében átfogó és specifikus célokat, továbbá utóbbiakon belül konkrétabb beavatkozási területeket határoz meg. A stratégia egyik specifikus célja az éghajlati sérülékenységi vizsgálata, ami segítséget nyújthat az éghajlatváltozás következményeinek pontosabb megismerésében és azok területi különbségeinek vizsgálatában.¹ Ezzel a stratégia célzottan megfogalmazza azt az információigényt, ami a Nemzeti Alkalmazkodási Tér- informatikai Rendszert (NATÉR)² életre hívta.

¹ Az éghajlati sérülékenységvizsgálat módszeréről részletesen lásd a 2. részt.

² <https://nagis.hu/>

A klímaváltozás hatásainak területi különbségei, illetve ennek térinformatikai dimenziói már azelőtt is megjelentek, hogy ez a NÉS-2-ben nevesítve lett volna. 2016-tól már törvény határozta meg, hogy az országnak rendelkezni kell az alkalmazkodási tevékenységet támogató információbázissal.³ 2014-ben lépett életbe a NATÉR működését meghatározó Kormányrendelet, amely kijelölte az Üzemeltetőt, a rendszer főbb céljait és feladatait.³

Szakpolitikai előzménynek tekinthető a VAHAVA Jelentés (Láng – Csete – Jolánkai, 2007.), ami kiemelte, hogy Magyarország jelentős területi egyenlőtlenségei felerősíthetik a klímaváltozás hatását. Ezt követően különböző nemzetközi és hazai kutatási programokhoz kapcsolódóan került kidolgozásra a klímasérülékenység regionális értékelésének módszertana (Pálvölgyi–Czira–Fancsik, 2016)⁴.

Ezt a módszertant alkalmazták a NATÉR információbázisát jelentő kutatások, amelyek számos partnerszervezet bevonásával, több, klímaváltozás által érintett ágazatot lefedve készültek el. A NATÉR egy multifunkciós térinformatikai rendszer, amely klímamodelleken alapuló, objektív adatokkal segíti elő a klímaváltozás hatásaihoz való alkalmazkodást szolgáló jogalkotást, stratégiaépítést, döntéshozást és a szükséges intézkedések megalapozását Magyarországon.

A rendszert a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, mint a magyarországi klímapolitikai háttérintézmény 2013-2016 között a *„Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer kialakítása”* című projekt keretében hozta létre. A NATÉR projekt az Izland, Liechtenstein és Norvégia által létrehozott európai Gazdasági térség (EGT) támogatási Alap finanszírozási mechanizmus keretében nyújtott támogatásokból jutott pénzügyi forrásokhoz.

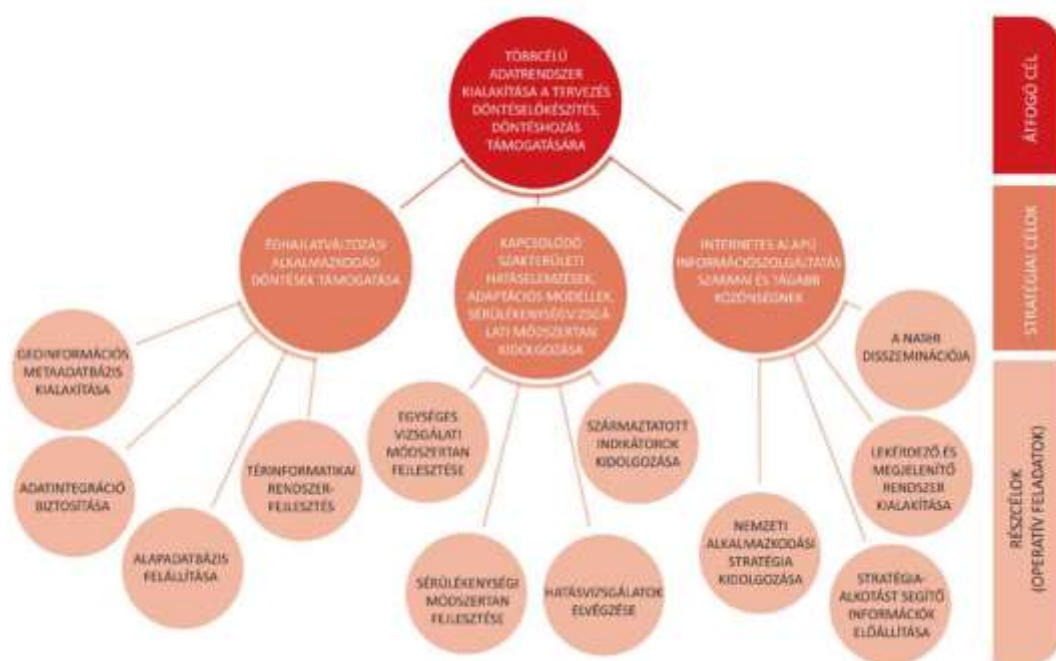
Ezt követően *„A NATÉR továbbfejlesztése”* projekt 2016-2019 között KEHOP forrásból valósulhatott meg. A rendszer továbbfejlesztésének célja volt többek között új klímamodell-eredmények beépítése, a már elkészült kutatások mélységének és körének bővítése az éghajlatváltozás további ágazatokra gyakorolt hatásainak vizsgálatával. A továbbfejlesztés során kiemelt szempont volt, hogy a rendszer könnyen kezelhető, könnyen kinyerhető információkat nyújtson, így különösebb informatikai képzettség nélkül is lekérdezések, kiexportálható tematikus jelentések, alkalmazkodási részterületek helyzetét bemutató összeállítások legyenek elérhetőek

³ 2007. évi LX. törvény az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye és annak Kiotói Jegyzőkönyve végrehajtási keretrendszeréről - Megállapította: 2016. évi CXXXVIII. törvény 1. § (2). Hatályos: 2016. XII.21-től

⁴ A folyamatról bővebben lásd a hivatkozott cikkben.

az érdekeltek számára, ezzel is növelve a rendszer gyakorlati felhasználhatóságát (MBFSZ NAKFO, 2019).

A rendszer a klímaváltozással kapcsolatos döntéshozásban, a várható hatások értékelésében és ezzel az alkalmazkodás támogatásában és az információs szolgáltatásban, szemléletformálásban egyaránt használható. Kifejezett célja, hogy a klímaváltozás hatásait minél több érintett ágazatban bemutassa, egységesebb képet adva a várható változásokról és a köztük fennálló kölcsönhatásokról. Utóbbi célt szolgálta, hogy mindkét projektszakasz széles körű partnerségben valósult meg, így a NATÉR-ban szereplő adatok a közvetlen klímahatások mellett számos ágazatban, többek között az emberi egészség, mezőgazdaság, erdészet, turizmus területén is eredményeket tud felmutatni.



1. ábra: A NATÉR célrendszere Forrás: Sütő, 2016.

2.1. A NATÉR módszertani háttere

Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodáshoz információra van szükség nem csak a klímaparaméterek várható változásáról, hanem arról is, hogy azokra hogyan reagálnak a különféle társadalmi-gazdasági rendszerek, illetve a felkészülés érdekében rendelkezésre állnak-e olyan kapacitásaik, amelyekkel a várható hatásokat csökkenteni tudják. A regionális éghajlati sérülékenységvizsgálat abból a feltételezésből indul ki, hogy egy rendszert érő változások nem egyforma hatásokat váltanak ki a rendszer különböző szereplői, alrendszerei esetében. A sérülékenységvizsgálat lehetővé teszi, hogy objektív adatok alapján

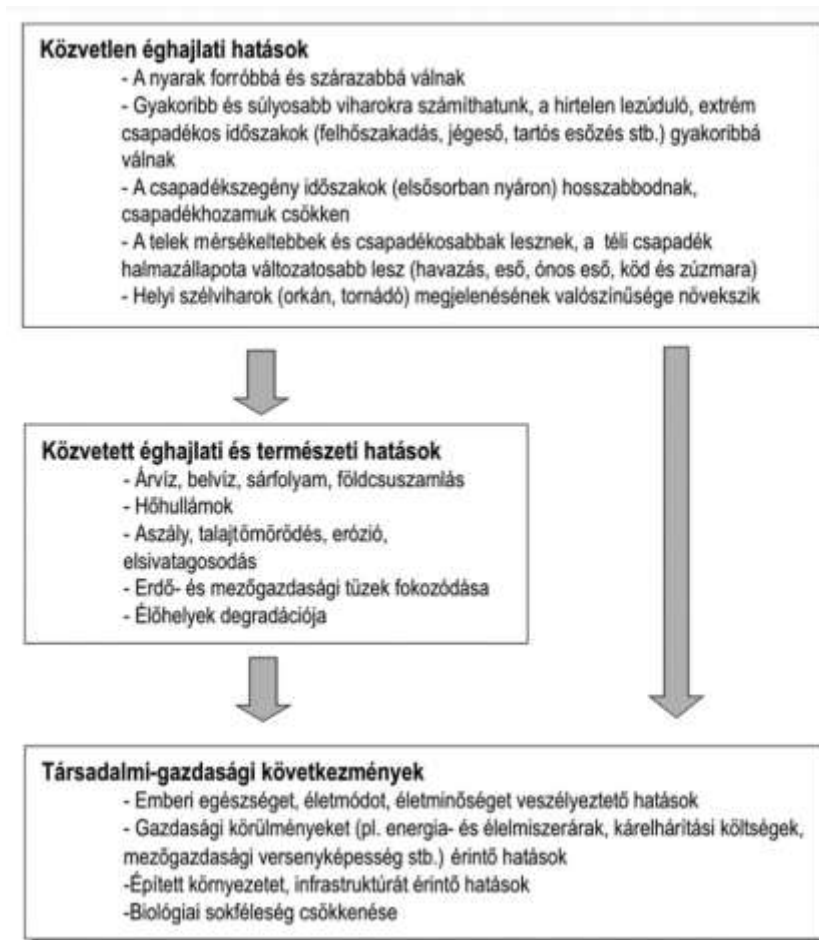
összehasonlíthatóvá váljon az egyes területek éghajlatváltozással szembeni sérülékenysége.

A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerben (NATÉR) az éghajlati sérülékenység értékelésére használt módszer a CLAVIER⁵ nemzetközi klímakutatói projektben kidolgozott CIVAS modell (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) (Pálvölgyi–Hunyady, 2008 hivatkozva Selmeczi–Pálvölgyi–Czira, 2016), amely az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület Negyedik Értékelő Jelentésében (IPCC 2007) közzétett megközelítésen alapul és a környezeti állapotértékelésben széles körben alkalmazott, az Európai Unióban kidolgozott vizsgálati modellhez hasonló elvet követ.⁵⁵

A modell a kitettség (exposure) → érzékenység (sensitivity) → várható hatás (impact) → alkalmazkodóképesség (adaptive capacity) → sérülékenység (vulnerability) kontextusban vizsgálja az éghajlatváltozás hatásait. A módszer használatával megállapíthatjuk azt, hogy a különböző érzékenységet és alkalmazkodóképességet mutató rendszerekben az egyes klímahatások milyen mértékű sérülékenységet okoznak (Selmeczi–Pálvölgyi–Czira, 2016).

Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elvégzéséhez részletesen fel kell tárni azokat a körülményeket, kölcsönhatásokat, amelyekben a vizsgálni kívánt komplex éghajlati hatás megfigyelhető. Annak érdekében, hogy a hatások komplex láncolatát feltárjuk, el kell különítenünk a közvetlen és közvetett éghajlati hatásokat, illetve az ezekből potenciálisan fakadó társadalmi-gazdasági következményeket. (Pálvölgyi–Czira, 2011).

⁵ CLAVIER (Climate Change and Variability: Impact on Central and Eastern Europe) – a projekt célja, hogy segítse a közép- és kelet-európai országok alkalmazkodását az éghajlatváltozás hosszú távú hatásaihoz és az egyre gyakoribbá váló szélsőséges klímaeseményekhez, valamint a megváltozott politikai és gazdasági helyzethez.



2. ábra: Közvetlen és közvetett éghajlati hatások, komplex társadalmi-gazdasági következmények (Pálvölgyi, 2008; hivatkozva Selmeczi-Pálvölgyi-Czira, 2016)

A fentiek szemléltetésére vegyünk egy példát a mezőgazdaság területéről. A „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében az Agrárgazdasági Kutató Intézet által készített tanulmány (AKI, 2018) megállapítja, hogy a hőmérséklet és csapadék változása hatással van a mezőgazdasági termelésre és – hivatkozva többek között az AGRATÉR projektkeretben készült tanulmányra – a klímaváltozás a termésátlagok változását okozhatja a szántóföldi növénytermesztésben. A csapadék és hőmérséklet megváltozása tekinthető a közvetlen klímahatásnak, ami közvetett hatásként az aszálykockázat növekedéséhez vezethet. Az aszályok gyakoribbá válása a mezőgazdasági termelés gazdaságosságát ronthatja, vagy extrém esetben a globális élelmiszer-ellátás problémáihoz is hozzájárulhat (társadalmi-gazdasági következmények).

A közvetett éghajlati hatások és még inkább a komplex társadalmi-gazdasági következmények mértékét számos, a klímaváltozástól független faktor is befolyásolja. Maradva a mezőgazdaság példájánál, a károk nagyságát nem csak a csapadékhiány mértéke határozza meg, hanem az is, hogy a csapadék- és hőmérsékletváltozásra jobban, illetve kevésbé érzékeny növények megoszlása milyen a területen, van-e

lehetőség öntözésre, van-e egyéb olyan beavatkozás, ami a károkat enyhíteni tudja. Ahhoz tehát, hogy a társadalmi-gazdasági következmények becsülhetők legyenek számos, a klímaváltozáson túlmutató szempontot is figyelembe kell venni.

A klímahatásoknak ezt a komplexitását igyekszik megragadni a sérülékenységvizsgálat, amelyben a közvetlen éghajlati hatások (kitettség) mellett a hatásviselő érzékenysége és alkalmazkodási lehetőségei együttesen kerülnek értékelésre.

A modell fő elemei a következők (Pálvölgyi et al., 2010; hivatkozva Selmeczi–Pálvölgyi–Czira, 2016):

- **„Komplex éghajlati problémák, hatásviselő rendszerek:** A modell alkalmazásának első lépéseként meg kell határozni, hogy milyen – a társadalmi, gazdasági, környezeti térben egyaránt jelentkező – komplex éghajlati problémákkal írjuk le a kistérségi szintű éghajlatváltozást, és ezeknek „kik”, milyen rendszerek a hatásviselői.
- **Kitettség (*exposure*):** Kistérségi szintű éghajlatváltozás; azaz „helyben” hogyan változik a klíma. Eltérően az érzékenységtől (amely a hatásviselőt jellemzi), a kitettség csak földrajzi helyre jellemző, amelyről adatok, információk a klímamodellekből nyerhetők.
- **Érzékenység (*sensitivity*):** A hatásviselő (pl. mezőgazdaság, emberi egészség, építmények állapota) időjárásfüggő viselkedése (pl. aszályhajlam, erdőtűzkockázat). A hatásviselő rendszerek érzékenységét függetlennek tekintjük a klímaváltozástól, és elsősorban a hatásviselő rendszerre jellemző.
- **Várható hatás (*potential impact*):** Az érzékenység és a kitettség kombinációja, amely egyaránt jellemző a földrajzi helyre és a vizsgált hatásviselő rendszerre (pl. mortalitással súlyozott városi hőszigetelés).
- **Alkalmazkodóképesség (*adaptive capacity*)** és egyéb nemklimatikus faktorok: A helyi társadalmi-gazdasági válaszok „ereje” a klímaváltozásra (például a mezőgazdasági alkalmazkodás egy formája az öntözés, amely többek között a mezőgazdasági jövedelmezőségtől függ).
- **Sérülékenység (*vulnerability*):** Komplex mutató, amely a várható hatásokat kombinálja az alkalmazkodóképességgel; figyelembe veszi, hogy ugyanaz a várható hatás egy gyengébb alkalmazkodóképességű kistérségben súlyosabb következményekkel járhat.”

2.2. A NATÉR és a hazai klímapolitikai tervezés

A NATÉR egyik fontos célkitűzése, hogy az éghajlatváltozáshoz kapcsolódó döntéshozást támogassa nem csak országos, hanem helyi szinten is. A következőkben röviden bemutatjuk a NATÉR és a klímapolitikai tervezés különböző szintjeink kapcsolatát és esetleges korlátait.

2.2.1. Országos szintű tervezés

Országos szinten hazánkban a Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia a klímapolitika fő stratégiai dokumentuma. A NÉS-2-t 2018-ban fogadta el az Országgyűlés és bár a mitigáció területén azóta több terv és stratégia is napvilágot látott (Nemzeti Energia- és Klímaterv, Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia, Nemzeti Energiastratégia), az adaptáció ezekben egyáltalán nem, vagy sokkal kevésbé hangsúlyosan jelent meg, ezért az alkalmazkodás területén továbbra is ez a dokumentum adja a legátfogóbb képet a szükséges cselekvési irányokról.

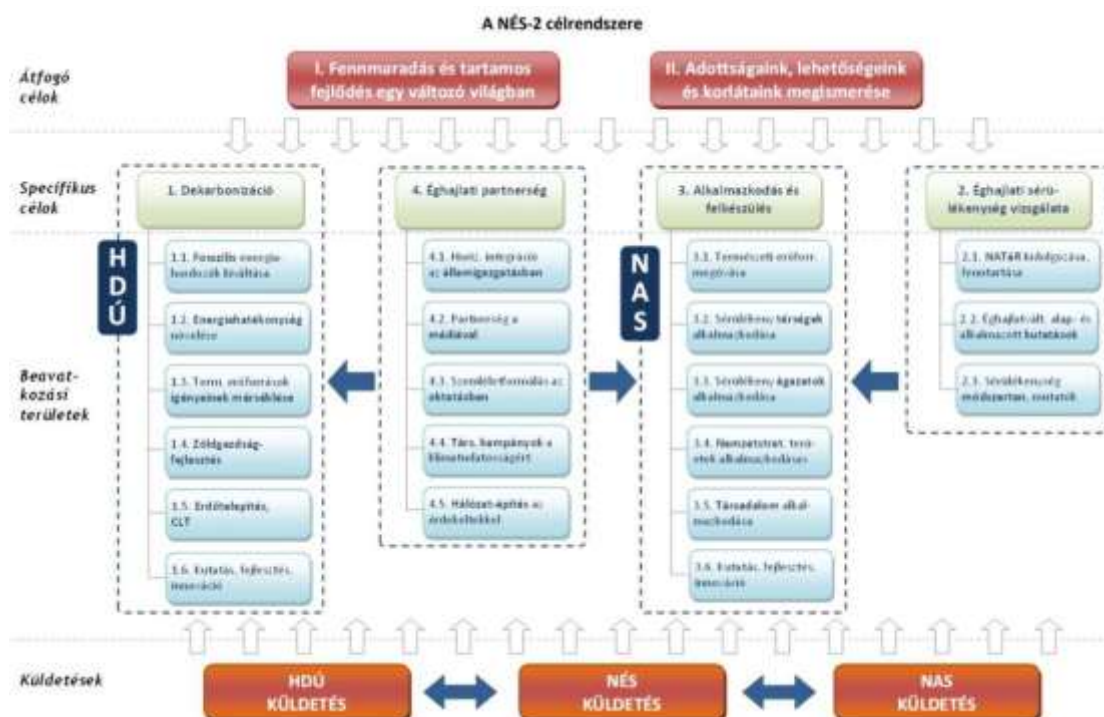
A NÉS-2 kapcsolata a NATÉR-al kettős: egyrészt a stratégiában megfogalmazódik az igény arra, hogy éghajlati sérülékenységvizsgálatokkal értékeljék az éghajlatváltozás hazai már jelen lévő és várható hatásait, illetve ezen belül a célok között a NATÉR kidolgozása és fenntartása is szerepel; másrészt a NATÉR eredményei az alkalmazkodási munkarész (Nemzeti Alkalmazkodási Stratégia, NAS) helyzetelemző fejezeteiben már hasznosultak is, így hozzájárultak a rövid, közép és hosszú távú cselekvési irányok kijelöléséhez is.

A NAS-ban ágazati bontásban szerepelnek az egyes ágazatokat érő legjelentősebb klímahatások. Az érintett ágazatok a következők:

- emberi egészség;
- mezőgazdaság;
- katasztrófavédelem és biztonságpolitika;
- épített környezet, terület- és településfejlesztés, terület- és településrendezés, településiinfrastruktúra;
- közlekedés;
- hulladékgazdálkodás;
- energiagazdálkodás;
- turizmus.

A klímahatások ágazati bemutatását egészítik ki a NATÉR keretében előállított eredmények az emberi egészség, a mezőgazdaság, az erdészet, természetes élőhelyek,

villámárvíz-veszélyeztetettség, és az ivóvízellátás sérülékenysége (mintaterület) témakörében.



3. ábra: A NÉS-2 célrendszere (Forrás: NÉS-2)

A kiegészítést indokolja, hogy Magyarországon eltérő okokra visszavezethető területi egyenlőtlenségek figyelhetők meg, amelyeket az éghajlatváltozás hatásai tovább mélyíthetnek, mert az egyes térségek éghajlati sérülékenysége eltérő mértékű, ami egyaránt fakad a térségek különböző adottságaiból és a várható klímahatások különbségeiből. Emiatt az országos léptékű értékeléseknél részletesebb, területileg differenciált éghajlati sérülékenységvizsgálatokra van szükség. Az első NATÉR eredmények alapján a NÉS-2 megállapítja, hogy

- A hőhullámok okozta egészségügyi sérülékenység szempontjából az Alföld déli és keleti része, valamint az Északi-középhegység és környező területei minősülnek a leginkább érintettnek.
- A mezőgazdaság területén fontos eredménye, hogy a nyári aszályhajlam várható fokozódása csak a tavaszi vetésű szántóföldi növények esetében eredményez jelentős termésátlag-romlást, az őszi vetésű szántóföldi növények várhatóan még javuló termésátlagokat is elérhetnek a század utolsó harmadára. A területi különbségek alapján megállapítható, hogy a sérülékenység mértéke az ország déli részén, mindenekelőtt Baranya, Tolna, Bács-Kiskun, valamint Csongrád megyékben kiemelkedő mértékű.
- A NATÉR vizsgálatok alapján jelentős eltérések mutathatók ki a fajok között klímaérzékenység tekintetében: legérzékenyebb a bükk, amelyet a

kocsánytalantölgy és a cser követ, mérsékelten érzékenynek tekinthető a feketefenyő, míg a legkevésbé érzékeny az akác, a kocsányos tölgy és az erdei fenyő. A legerősebben sérülékeny területek az Alföldön, a Duna-Tisza közén annak is elsősorban déli részén; a Balaton környékén; a Mezőföldön; továbbá a Komárom– Esztergomi-síkság, valamint a Kisalföld nyugati részein találhatók.

- A természetes élőhelyeket vizsgálva a NATÉR vizsgálatai alapján megállapítható, hogy a klímaváltozás hatása várhatóan az élőhelyek többségére – azon belül kiemelkedő mértékben az erdőkre – vonatkozóan kedvezőtlen lesz. A különböző regionálisan leskálázott klímamodelleredmények alapján a Dél-Dunántúl déli területein fekvő élőhelyek, a Kisalföld északnyugati részén, az Alpokalján, a Balatontól délre fekvő térségben, a Duna-Tisza köze középső részén, a Nyírségben és a tőle délre fekvő területeken lévő élőhelyek tartoznak a kiemelt és fokozott sérülékenységi kategóriába.
- Az egyes települések villámárvizekkel szembeni veszélyeztetettsége rendkívül mozaikos területi eloszlást mutat. Az átlagosnál fokozottabban veszélyeztetett térségek a Mecsek, a Keszthelyi-hegység, a Bakony, a Cserhát, a Cserehát, valamint a Bükköt és Mátrát övező hegylábi területek, de az ország szinte valamennyi dombvidéki területe közepesen veszélyeztetett.

A NÉS-2 mellett a NATÉR eredményei más országos léptékű stratégiában és egyéb dokumentumban is hasznosultak, például a 2020-ben elfogadott *az éghajlatváltozás Kárpát-medencére gyakorolt esetleges hatásainak tudományos értékeléséről szóló Jelentésben*⁶, amelynek célja volt, hogy részletes, tudományos vizsgálatok által igazolt tájékoztatást adjon az éghajlatváltozás Kárpát- medencét érintő hatásairól az egyes szektorok tekintetében.

2.2.2. Helyi tervezés

„A NATÉR továbbfejlesztése” című projektnek kifejezett célja volt, hogy a NATÉR eredményeit az önkormányzatok számára is könnyebben felhasználhatóvá tegye. Ezt célozták többek között az új modulok a rendszeren belül, illetve a tervezés helyi szintjeinek szóló képzések és tájékoztató kiadványok. A klímaváltozás helyi hatásairól korábban kevés olyan információforrás állt az önkormányzatok rendelkezésére, ami

⁶ Jelentés az éghajlatváltozás Kárpát-medencére gyakorolt esetleges hatásainak tudományos értékeléséről, <https://2015-2019.kormany.hu/hu/dok?page=2&source=11&type=402&year=2020#!DocumentBrowse>

alapján nem csak egy-egy mintaterületre, hanem országosan lehet megállapításokat tenni a klímaváltozás várható hatásairól.

2017-2020 között előbb a megyei önkormányzatok, majd a települési önkormányzatok európaiuniós KEHOP forrásból klímastratégia készítésére pályázhattak és klímavédelemhez kapcsolódó szemléletformáló programokat valósíthattak meg. A térségi és helyi stratégiák elkészítését módszertani útmutató támogatta. A fenti célt részben sikerült elérni azáltal, hogy a megyei és települési klímastratégiákban megjelentek a NATÉR hivatkozások.

Fontos azonban megjegyezni, hogy a NATÉR-ban szereplő adatok előállításának módja miatt szükségszerűen jelentős bizonytalanságokkal kell számolnunk, és az eredmények területi értékelése is óvatosságra int. Ennek oka egyrészt, hogy a sérülékenységvizsgálatok nem abszolút sérülékenységet jelölnek, hanem az egyes területegységek összehasonlíthatóságának megteremtését célozzák. Emellett – a bemenő adatok felbontása miatt – nem alkalmasak arra, hogy egy bizonyos területi aggregátság alatt pontos megállapításokat tehessünk ez alapján. Az eredmények értékelésekor emellett a felhasznált klímamodellek bizonytalanságát is figyelembe kell vennünk.

A fentiek arra hívják fel a figyelmet, hogy a NATÉR jól használható az országosnál alacsonyabb szintű értékelésekben, de az onnan nyert eredményeire szükséges kiegészíteni, pontosítani a helyben rendelkezésre álló egyéb adatokkal is.

2.3. Sérülékenységvizsgálati eredmények a NATÉR-ban

A NATÉR-ban használt módszertan fogalmainak és gyakorlati alkalmazhatóságának szemléltetése érdekében érdemes néhány konkrét példát megvizsgálnunk. A következőkben a NATÉR térképi felületén nyilvánosan elérhető két tematika bemutatásán keresztül mutatjuk be a kitettség, érzékenység, várható hatás, alkalmazkodóképesség és sérülékenység fogalmakat. Olyan tematikákat választottunk, amelyek segítségével az egyes sérülékenységvizsgálatban használt fogalmak jól szemléltethetők.

Felhívjuk a figyelmet, hogy a NATÉR ágazati éghajlati sérülékenységvizsgálati tematikáifolyamatosan bővülnek, illetve megújulnak, ahogy a klimatológiai adatbázisai is, ezzel segítve a szakembereket, kutatókat, döntéshozókat az éghajlati alkalmazkodási információk naprakészen tartásában és rendszerezésben. Jelenleg a következő tematikák érhetők el:

- Éghajlatváltozás
- Felszín alatti vízháztartás

- Ivóvízbázis
- Villámárvíz
- Földtani veszélyforrások
- Ökológia
- Ökoszisztéma szolgáltatás indikátor
- Erdőgazdálkodás
- Szántóföldi növénytermesztés
- Felszínborítás, földhasználat
- Hőhullámok
- Szélsőséges időjárási helyzetek közúti balesetekre gyakorolt hatása
- Demográfia, társadalomtudomány
- Gazdaság
- Turisztikai klimatológia
- Turizmus ágazat komplex sérülékenysége
- Épületsérülékenység
- Klímaváltozási attitűdök

2.3.1. Épületsérülékenység

A települési épületállomány klímasérülékenységének értékelését lehetővé tevő módszertant a Lechner Nonprofit Kft. készítette a Nemzeti Alkalmazkodási Központ által létrehozott új klimatológiai adatbázisból leválogatott éghajlati indikátorok segítségével a „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében.⁷ A kutatás célja az volt, hogy a hazai települések épületállományának sérülékenységét értékelje a következő klímahatásokkal szemben:

- 30 mm-t meghaladó mennyiségű csapadékkal érintett napok éves átlagos számának változása
- Szélvész, heves szélvész, orkán (85 km/h-t meghaladó széllesek) jelenséggel érintett napok éves átlagos számának változása
- Hirtelen hőmérsékleteséssel (10°C 3 óra alatt) érintett napok éves átlagos számának változása

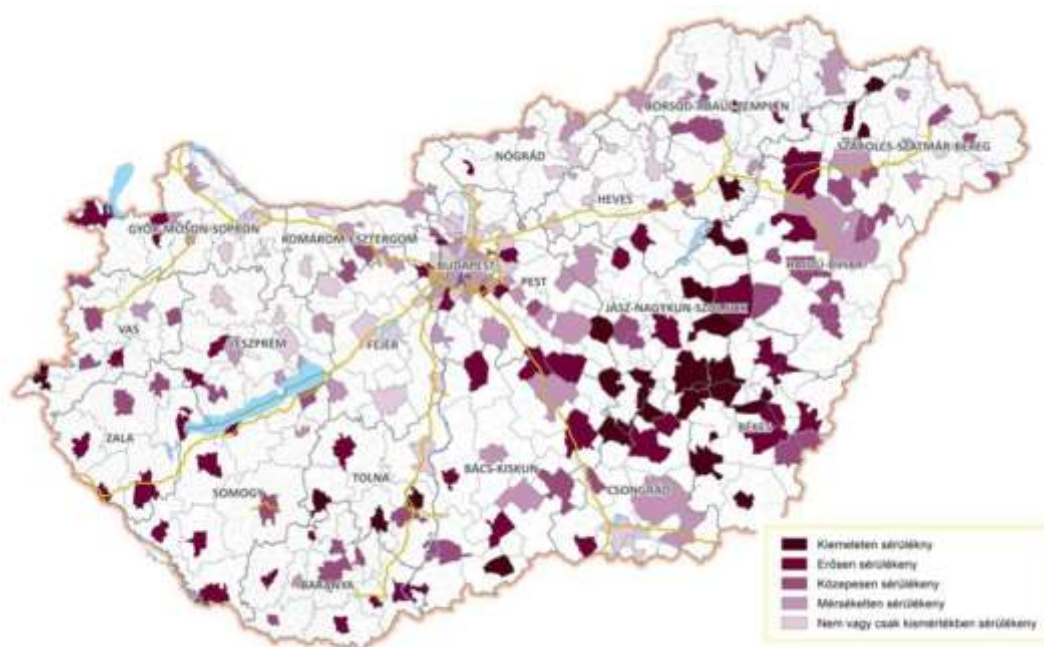
Mindhárom *kitettség* mutató vizsgálata két modell (CNRM-CM5, EC-EARTH), két kibocsátási forgatókönyv (realista RCP4.5 és a pesszimista RCP8.5), valamint két időablak (2021-2050, 2071-2100) alapján történt.

⁷ A módszertanról bővebben lásd a kutatási jelentést: https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfisz.hu/files/files/Epuletallomany_NATeR2.pdf

A települési érzékenység értékeléséhez a Magyarországon jellemző épülettípusok érzékenységét vizsgálták meg. Ehhez előállítottak egy 17 elemből álló épülettípológiát és ezek szerkezeti jellemzői alapján pontozták a különböző épülettípusok érzékenységét a fenti klímahatásokkal szemben. A települések érzékenységét az adja meg, hogy a különböző érzékenységű épületek milyen arányban fordulnak elő az épületállományukban. Mivel a kutatás során csak a 10 ezer főnél népesebb települések épületállományának megoszlása volt elérhető a készítőik számára (a 2011-es Népszámlálás alapján), így az érzékenységet csak ezekre a településekre tudták kiszámítani. A kisebb településeknek azonban a NATÉR erre a célra létrehozott moduljában lehetőségük van saját becsléseik alapján a létrehozott tipológiába besorolni az épületállományukat, így elvégezve az éghajlati sérülékenységvizsgálatot⁸.

A települések alkalmazkodóképességét egy komplex mutatóval mérték, feltételezve, hogy az épületállománnyal kapcsolatos települési alkalmazkodóképesség függ egyrészt az önkormányzat és lakók társadalmi-gazdasági helyzetétől, illetve az önkormányzat gazdasági helyzetétől és tudatosságától. A komplex mutatóba olyan indikátorokat válogattak be, amelyekkel a fenti tényezők közelíthetők.

A komplex sérülékenység az épülettípusok vizsgált klímahatásokra vonatkozó eltérő érzékenysége, az eltérő érzékenységű épületek településen belüli megoszlása és a komplex alkalmazkodóképességi indikátor egyesítésével készült el.



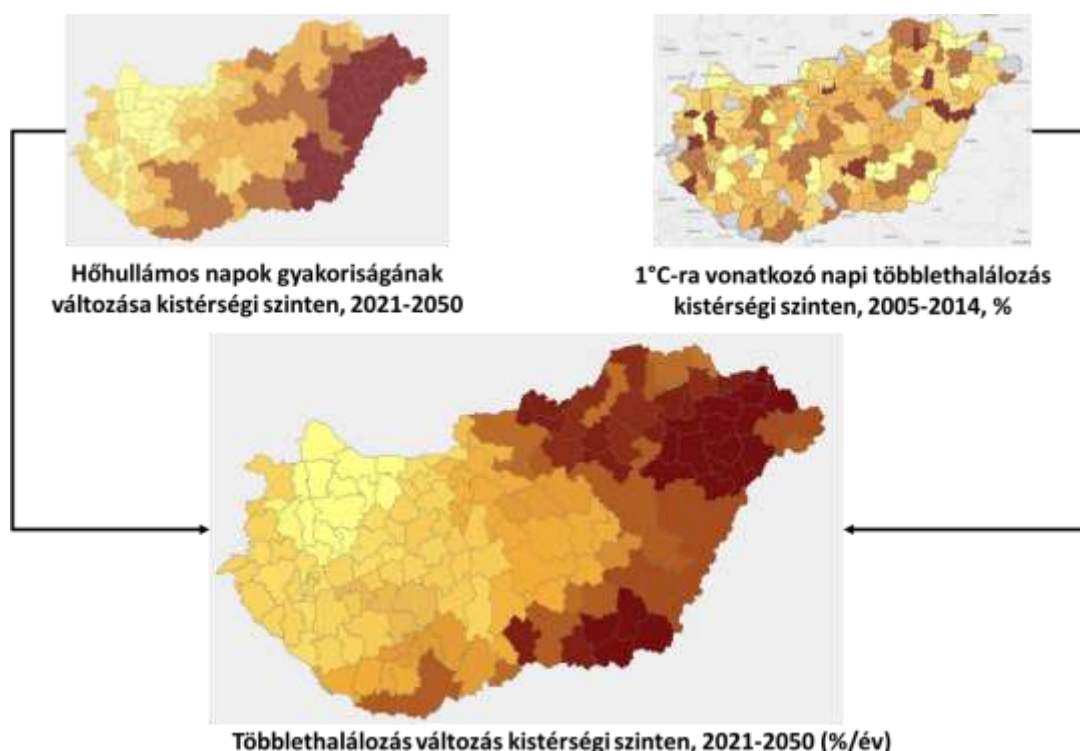
4. ábra: 10 ezer főnél népesebb települések épületállományának komplex sérülékenysége 2021-2050 (CNRM-CM5, RCP 4.5 alapján) Forrás: Lechner, 2018

⁸ Az eszköz önkormányzatok számára elérhető itt: <https://nater.mbfisz.gov.hu/hu/node/128>

2.3.2. Többlethalálozás a hőhullámok következtében

Az emberi egészség klímaváltozással kapcsolatos sérülékenysége témában mind a NATÉR kialakításához kapcsolódóan a KRITÉR⁹ projekt keretében, mind pedig a NATÉR továbbfejlesztése projektben készült egy-egy kutatás. A most bemutatott eredmények a KRITÉR projekt keretében készültek el az Országos Környezetegészségügyi Központ vezetésében.

A kutatásban arra keresték a választ, hogy a hőhullámok hatására a jövőben várhatóan mennyivel fog megnőni a hőmérséklettel összefüggő halálozás. A *kitettségi* adatokat az ALADIN-Climate klímamodell projekciói szolgáltatták, amelyek segítségével megvizsgálták, hogy 2021–2050 és 2071–2100 között hogyan fog változni az egyes kistérségekben a hőhullámos napok száma. *Érzékenységgént* a hőhullámos napokon az átlaghőmérséklet 1 °C-os többlethőmérséklet- növekedésre számított relatív napi halálozás növekedés kistérségi értékeit vizsgálták a 2005-2014-es halálozási adatok alapján. Ez utóbbi megmutatta annak területi különbségeit, hogy a hőmérséklet emelkedésére az egyes térségek mennyire érzékenyen reagálnak.



5. ábra: Többlethalálozás a hőhullámok hatására
Térképek forrása: <https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>

⁹ „A klímaváltozás okozta sérülékenység vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrákra” c. projekt a NATÉR társprojektjeként valósult meg. <https://www.met.hu/KRITeR/hu/kezdo/index.php>

Az érzékenység és kitettséget együtt értékelve kapjuk meg a *várható hatást*, ami ebben az esetben azt mutatja meg, hogy a jelenlegihez hasonló érzékenységet feltételezve a jövőben, várhatóan hogyan fog alakulni a többlethalálozás.¹⁰ A kutatás alkalmazkodóképességi indikátorokat nem épített be, így az elkészült eredmények a várható hatásokat mutatják (a kitettséget és érzékenységet kombinálják)¹¹.

2.4. Hivatkozások

- [1] Agrárgazdasági Kutató Intézet: Éghajlatváltozási alkalmazkodás-kutatás a hazai mezőgazdaságban. (2018). Készítette az Agrárgazdasági Kutató Intézet a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat megbízásából a KEHOP-1.1.0-15-2016- 00007 azonosítószámú „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében
- [2] IPCC AR4 WG1 (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- [3] IPCC, (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- [4] Lechner Nonprofit Kft. (2018): Magyarországi épületállomány éghajlatváltozási sérülékenység-vizsgálatát települési szinten lehetővé tevő módszertan. Készítette a Lechner Nonprofit Kft. a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat megbízásából a KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítószámú „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében. https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfisz.hu/files/files/Epuletallomany_NATeR2.pdf
- [5] Második Nemzeti Éghajlatváltozás Stratégia (2018) <https://magyarkozlony.hu/dokumentumok/6bcb816077f795960249fcc31c699245299be2da/letolt-es>
- [6] Láng István - Csete László - Jolánkai Márton (szerk.) (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások ésválaszok. Budapest: Szaktudás K., 220 p.
- [7] Pálvölgyi T., Czira T., Dobozi E., Rideg A., Schneller K. (2010): „A kistérségi szintű éghajlatváltozási sérülékenység-vizsgálat módszere és eredményei.” Klíma21 Füzetek, 62., 88–102. o.
- [8] Pálvölgyi T.: Az éghajlatváltozás hatásai az épített környezetre és az infrastruktúrára. In: Fodor I., Suvák A. (szerk.) (2008): A fenntartható fejlődés és a megújuló

¹⁰ Bővebben az eredményekről lásd a projekt záró kiadványát: https://www.met.hu/downloads.php?fn=/KRITeR/doc/zaro/KRITER_zaro_final.pdf

¹¹ Akkor beszélhetnénk sérülékenységről, ha a kitettség és érzékenység mellett alkalmazkodóképességi indikátorokat is számba vennének.

természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében. MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs.

- [9] Pálvölgyi, T., Czira, T., Fancsik, T. (2016): Tudományos alapú döntéselőkészítő információk alkalmazása a „klímabiztos” közpolitikai tervezésben. In: Pálvölgyi-Selmeczi (szerk): Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Budapest, p. 9-15.
- [10] https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfgi.hu/files/files/NATeR_esszekotet_2016.pdf
- [11] Pálvölgyi, T., Czira, T. (2011): Éghajlati sérülékenységi szintek a kistérségek szintjén. In: Tamás, P., Bulla, M.: Sebezhetőség és adaptáció. A reziliencia esélyei. MTA Szociológiai Kutatóintézet. Budapest.
- [12] Pálvölgyi, T., Hunyady, A. (2008): Common methodological framework of CLAVIER Impact Case Studies. In: Database on the statistical-empirical interrelations between the high resolution climate indicators and the parameters of impact issues. CLAVIER Report, www.clavier-eu.org
- [13] Selmeczi, P., Pálvölgyi, T., Czira, T. (2016): Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elemzési értékelési módszertana In: Pálvölgyi-Selmeczi (szerk): Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Budapest, p. 9-15. https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfgi.hu/files/files/NATeR_esszekotet_2016.pdf
- [14] Sütő, A. (szerk) (2016): Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer. Összegző tanulmány. Budapest. https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfgi.hu/files/files/Osszegzo_HU.pdf
- [15] Vásárhelyi, Cs.; Selmeczi, J. P., Czira, T., Dr. (szerk.) (2019): A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer továbbfejlesztésének eredményei. Kidolgozta a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Nemzeti Alkalmazkodási Központ Főosztálya (MBFSZ NAKFO). Budapest.

3. Közlekedési Létesítmények Éghajlati kockázatelemzése és az erdők klimatikus hatása

3.1. Bevezetés

A segédlet jelen fejezetének elolvasása, illetve alkalmazása előtt fontosnak tartjuk az alábbiak figyelembevételét.

- A jelen munkarész nem kíván és nem tud évekig aktuális segédlet lenni, illetve számos módszer csak egy a sok közül. Jelenleg az éghajlatváltozás vizsgálata és módszertanai folyamatos fejlődésben vannak, így ami ma aktuális, az lehet, hogy holnap már idejét múlt. Jelen segédlet több helyen is inkább csak jó szemléletet kíván adni.
- A segédlet a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozata által folytatott Klímavédelmi szakértői tanúsítás képzési anyagai közül az „Épített környezetklímavédelme - vonalas (közlekedési) létesítmények” című előadás írott és bővített változata, meghagyva az előadás tagolását, alcímeit és közvetlen stílusát. A munkarész abban a szellemiségben készült, hogy segédlet szakértőktől szakértőknek.
- Bár igyekeztünk a segédlet jelen fejezetében sok mindenre kitérni, nem feltétlen tartalmaz minden releváns vizsgálatot. Továbbá fontos azt is kiemelni, hogy a segédlet a többi fejezetével együtt tud csak teljes rálátást biztosítani az éghajlatváltozással kapcsolatos problémákra, feladatokra és megoldásokra.
- A segédletben a klímaváltozás fogalom alatt az antropogén eredetű és gyorsuló globális éghajlatváltozást értjük.

3.2. Miért érintett a közlekedés?

Elsőre nem is gondolná az ember, hogy egy monstrum autópálya, vagy egy nagyvasúti beruházás is lehet sérülékeny az éghajlatváltozással szemben, illetve elsőre talán a közlekedési ágazatnak a klímaváltozást fokozó meghatározó szerepe sem egyértelmű mindenkinek, pedig előbbi jelentős lehet, utóbbi pedig megkérdőjelezhetetlenül jelentős. Az talán mindenki számára egyértelmű, hogy a közlekedési létesítmények közvetlen kapcsolatban vannak az időjárással, illetve az éghajlattal. Az erdők vizsgálata azért kap nagyobb hangsúlyt jelen fejezetben, mivel a közlekedési létesítmények egyik alapvető tulajdonsága miatt – gyakran a természeti környezetben hosszan kígyózó nyomvonalak – nagyobb eséllyel érintenek erdőterületeket, mint például az üzemi létesítmények.

A Magyar Mérnöki Kamara Klímavédelmi szakértői tanúsítás képzési anyagai között található, jelen témát feldolgozó előadásban számos olyan fotó került bemutatásra, amelyen közlekedési létesítmények valamilyen katasztrófa esemény közben, vagy után láthatók. Az **1. ábra** is ilyen fotókat mutat be. A búcsúszentlászlói vonatkisiklás kivizsgálásánál írt zárójelentésben szerepel többek között, hogy „A baleset bekövetkezésének közvetlen oka, hogy a haladó vonat alatt vágánykivetődés alakult ki, amelyben szerepet játszott a napok óta tartó nagyon meleg időjárás”.

Fontos kijelenteni, hogy a fotókon bemutatott katasztrófák, károk és balesetek nem feltétlenül az időjárás, vagy a klímaváltozás hatásai, illetve nem feltétlenül azért következtek be, mert rossz volt a tervezés, vagy a kivitelezés, vagy az üzemeltetés. Ugyanakkor az, hogy az ilyen és ezekhez hasonló esetek milyen gyakran és milyen súlyossággal fordulnak elő a jelenben és a jövőben, már kétségtelenül köthetők a klímaváltozás közvetlen és közvetett hatásaihoz. Ezekkel nem csak azért szükséges foglalkozni, mert a 314/2005.(XII. 25.) Korm. rendelet 2017. júniusi változtatásával az előzetes vizsgálati és a környezeti hatásvizsgálati eljárás köteles létesítmények és tevékenységek esetében kötelező, hanem komoly gazdasági megfontolásokból és közegészségügyi szempontokból is kívánatosak ezen vizsgálatok.



1. ábra: Közlekedési létesítményekben keletkezett jelentős károk (bal oldalon: M1 autópálya teljes pálya- szerkezetének beszakadása

[Forrás: https://hvg.hu/cegauto/20100519_M1_beszakadt_foto], jobb oldalon: súlyos sínkivetődés a Kaposvár és Budapest közötti vasútvonalon

[Forrás: http://www.kbsz.hu/dokumentumok/2008-335-5_zj.pdf])

Az éghajlatváltozás hatása a közlekedési szektorra:

- a létesítményben keletkező fizikai károk,
- a létesítmény által biztosított szolgáltatásban történő negatív változások,
- a létesítményt használók körében egészségügyi kockázatok növekedése.

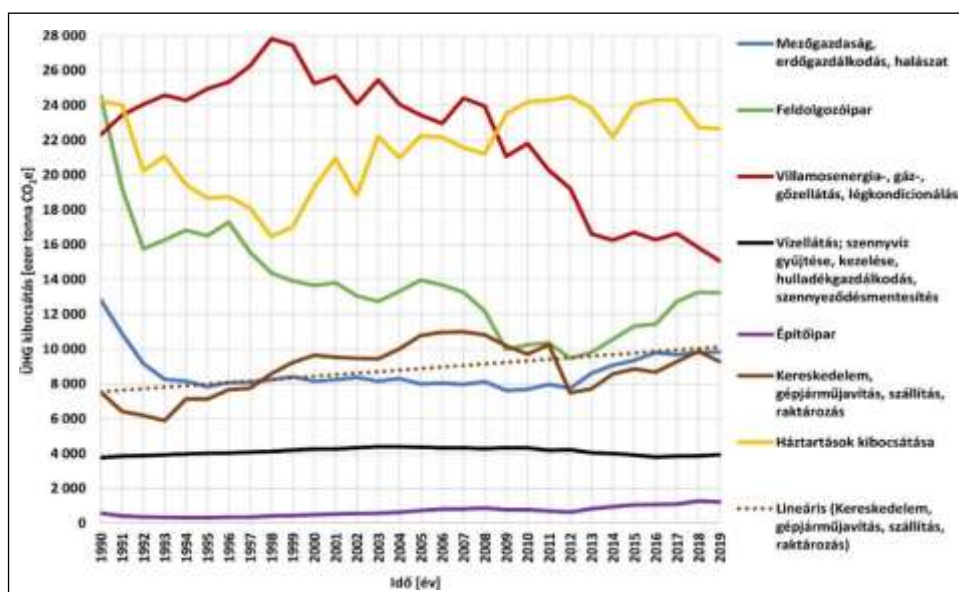
A közlekedési szektor hatása az éghajlatváltozásra:

- ÜHG kibocsátás,
- zöldmezős projektek (főként út) kapcsán megváltoztatott felszínborítású területek,
- közlekedési módok közötti megoszlás.

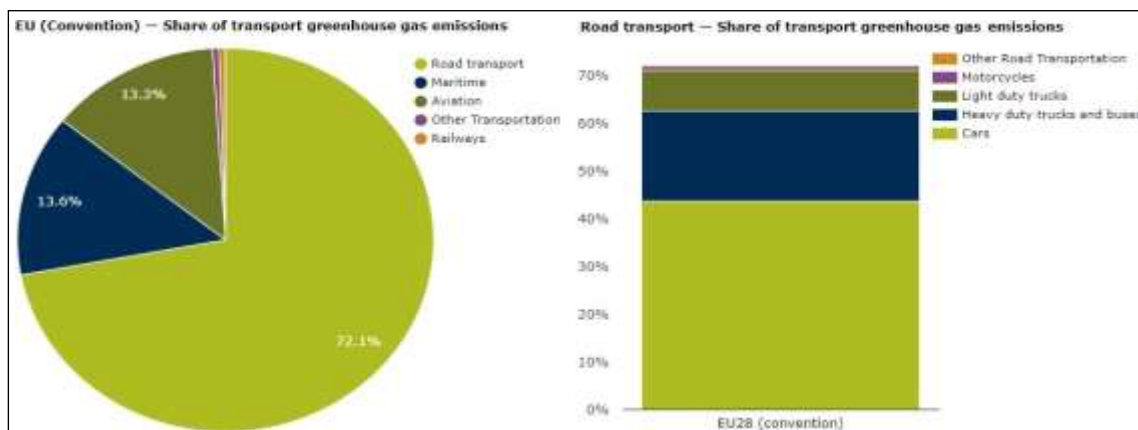
A fenti negatív hatások már most tetten érhetők. A hatások csökkentése érdekében már most cselekedni kell. Egyszerre kell alkalmazkodni, illetve a hatásokat csökkenteni. Szakértőkként nagy felelősségünk van ebben.

A **2. ábra** alapján látható, hogy a „Kereskedelem, gépjárműjavítás, szállítás, raktározás” ágazat kibocsátása a bemutatott időszakban emelkedő tendenciát mutat, amely azért figyelemre méltó, mivel a belsőégésű motorok folyamatosan fejlődnek, egyre kisebb károsanyag kibocsátásokat okozva, továbbá egyre nagyobb arányban közlekednek olyan közúti gépjárművek, amelyek nem okoznak ÜHG kibocsátást. Látható, hogy mindezek ellenére jelentős kibocsátási hányaddal rendelkezik a közlekedési szektor, illetve minden erőfeszítés ellenére is növekedett az utóbbi 30 évben a belőle származó kibocsátás.

A **3. ábra** bal oldali részén az látható, hogy az Európai Unióban a közlekedési ÜHG kibocsátások 72,1%-a kötődött a közúti közlekedéshez, míg a jobb oldali részén az látható, hogy ez a 72,1% milyen forrásokból, milyen megoszlásokkal állt elő. Látható, hogy a személyi közlekedésnek is jelentős szerepe van, ha azt személygépjárművekkel végzik az emberek.

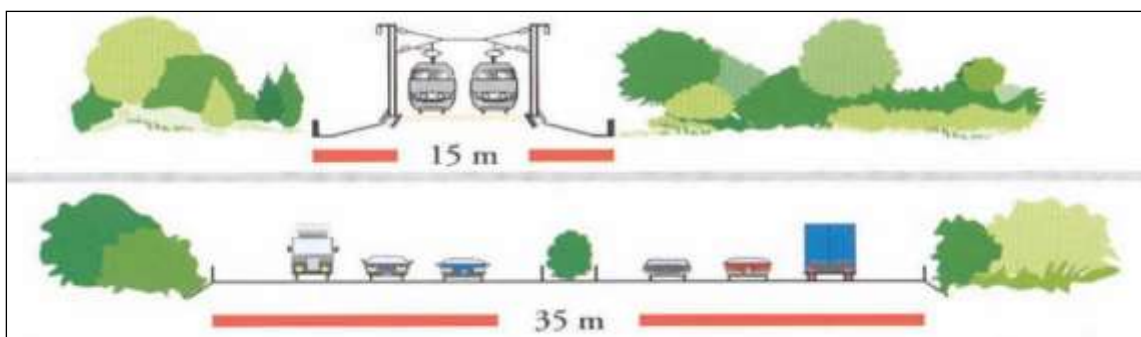


2. ábra: A nagyobb kibocsátásokkal rendelkező nemzetgazdasági ágak ÜHG kibocsátásai 1990 és 2019 között [saját ábra, adatok forrása: KSH]



3. ábra: ÜHG kibocsátások megoszlása források szerint az EU-ban
[Forrás: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-transport-ghg-emissions-1/#tab-dashboard-01>]

A 4. ábra segítségével Dr. Kazinczy László (†) tanár úr azt szemléltette, hogy egy zöldmezős projekt kapcsán mennyivel kisebb területfoglalással jár keresztmetszetben – azonos szállítási kapacitás mellett – egy vasút, mint a közút. A kisebb területfoglalás környezetvédelmi szempontból természetesen előnyösebb. Ha ehhez azt is hozzávesszük, hogy ezek hosszú nyomvonalas létesítmények, akkor a két közlekedési mód között még nagyobb lesz a területfoglalások közötti különbség, amely gazdaságossági szempontból sem elhanyagolható.



4 ábra: Az autópálya és a nagysebességű vasúti pálya keresztmetszeti mérete azonos szállítási teljesítmény esetén [Forrás: http://www.sinekvilaga.hu/documents/archive/Sinek_Vilaga_2010_5.pdf]

3.3. Jogszabályi háttér

A 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet 2017. júniusi módosítása alapján a KHT-k és EVD-k kötelező tartalmi elemei az alábbi éghajlatvédelemmel kapcsolatos pontokkal egészültek ki:

- Érzékenységelemzés – részletes adatokkal alátámasztottan;
- Telepítési hely és a feltételezhető hatásterület kitettségének értékelése (távlati 30-30 év vonatkozásában);

- Az egyes éghajlati tényezőkre vonatkozóan a lehetséges hatások elemzése;
- A hatások vonatkozásában készített kockázatértékelés;
- Az éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás bemutatása, és ezek nyomonkövetése;
- Annak bemutatása, hogy a tevékenység miként hat a feltételezhető hatásterületéghajlatváltozáshoz való alkalmazkodási képességére;
- Az egyes üvegházhatású gázok várható éves kibocsátásának számszerűsítése (csak KHT-k esetén);
- Lehetséges csökkentést, illetve ellentételezést szolgáló intézkedések bemutatása;
- Üvegházhatású gázok megkötésére vagy növényzet általi elnyelésére való hatás vizsgálata (csak KHT-k esetén);

Látható, hogy az ÜHG-k kibocsátására és elnyelésére vonatkozóan csak a KHT-k során szükséges kitérni. Ezzel kapcsolatban, amennyiben komolyabb EV köteles létesítmény vizsgálatát végezzük, úgy érdemes lehet ugyanúgy elvégezni a számításokat. Adott esetben egy jól felépített MS Excel táblázattal könnyen lehet, hogy gyorsan és minimális ráfordítással számszerűsíteni tudjuk a hatásokat.

Azt se engedjük, hogy a jelenlegi túlzottan is megengedő jogszabályi keretek félrevezessenek (példa: 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet 6. sz. melléklet 4. pont alpont). Ne engedjük magunkat például arra rábeszélni, hogy túl drága egy adott mitigációs intézkedés, amely mellesleg a kibocsátásaink csak felét képes megkötni, és a költségek miatt ez a minimális mitigációs intézkedés sem kerül megvalósításra. Miközben az igazság az, hogy a tervezett beruházás összköltségének például csak 0,1%-a lett volna a ráfordítandó összeg (kinek mi a drága). Ne feledjük, hogy számos intézkedésünk csak közép-, vagy hosszútávon térül meg, amelynek a pontos költséghaszon kimutatása sok esetben még gyerekcipőben jár hazánkban.

3.4. Szakmai kihívás, szükséges készségek

Az alábbi felsorolásban foglalható össze, hogy milyen ismeretek és készségek szükségesek ahhoz, hogy magas szakmai színvonalon lehessen éghajlatvédelmi vizsgálatokat végezni.

- meteorológiai
- biológiai
- informatikai
- mérnöki
- statisztikai

- tájépítészeti
- erdészeti
- környezetpolitikai
- pszichológiai
- (profi) kommunikáció
- kockázatelemzés
- rendszer szemlélet

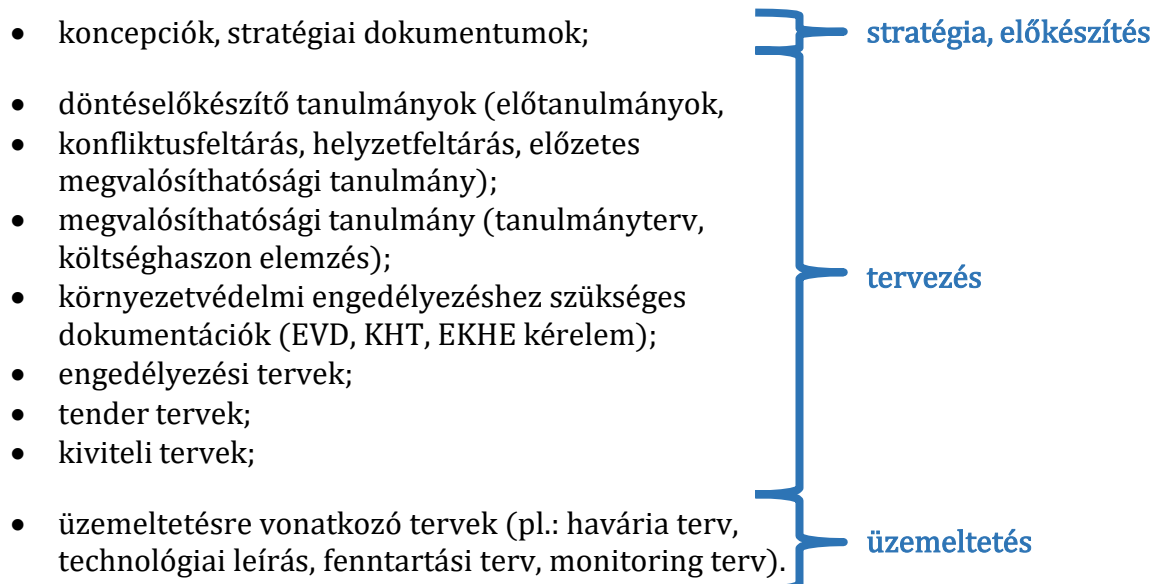
Talán kijelenthető, hogy a fentiekkel egyszerre lehetetlen rendelkezni. Mindezt tovább árnyalja, hogy jelenleg az alábbiak tovább nehezítik az éghajlatvédelmi szakértői tevékenység végzését.

- elhivatott szakemberekként önmagában nehéz az objektív és részrehajlás nélküli
- vizsgálatok végzése;
- az éghajlatvédelem friss, pár éves szakág;
- néha a résztvevők szkeptikus, kételkedő hozzáállása;
- ritkán saját magunk reményvesztése;
- gyakran falak döngetése és ledöntése is szükséges lehet, amely nem könnyű.

A fentiek összességében komoly szakmai kihívást jelentenek a környezetvédelmi szakértőknek, amelyet talán a legegyszerűbben azzal lehet megkönnyíteni, hogy szakértői csapatban kell dolgozni. Nem szükséges egy embernek mindenhez érteni, amennyiben lehetőség van rá, két-három szakértő kolléga jól ki tudja egymást egészíteni, ezzel magasabb színvonalra emelve az adott vizsgálatokat. Hozzá kell tenni, hogy a csapatmunka sokszor megkerülhetetlen, például amennyiben egy olyan létesítményt vizsgál valaki, amivel pályafutása során még nem találkozott, olyankor az adott tervezőmérnökökkel több körben is egyeztetnie szükséges, hogy mélységeiben megismerje az adott létesítményt, és a vele kapcsolatos kölcsönhatásokat.

3.5. Klímakockázat elemzés helye

Létesítmények, tevékenységek előkészítése, tervezése és üzemeltetése során az alábbi fázisokban szükségesek az éghajlatvédelmi vizsgálatok.



Látható, hogy a fentiek teljesen felölelik a stratégiai, előkészítési munkálatokat, magát a tervezési folyamatot, és adódnak feladatok az üzemeltetés idejére is. Természetesen minden fázisban különböző mélységben és kidolgozottságban szükséges az éghajlatvédelmi vizsgálatok elvégzése. Ugyanakkor kijelenthető, hogy egy létesítmény, vagy tevékenység klímavédelmi vizsgálatának már akkor el kell kezdődnie, amikor valaki épp megálmodja, majd pedig soha véget nem érő feladatnak kell lennie. Az éghajlatvédelmi vizsgálatok különböző fázisokba történő integrálásának szükségessége jól szemléltethető, ha például azt nézzük, hogy a közlekedési módok megoszlásának klímabarátabbá tételét a stratégiai dokumentumok során lehet leginkább elérni.

KHT-k és EVD-k készítése során kötelező éghajlatvédelmi vizsgálatokat végezni, amely kapcsán az alábbi előnyök sorolhatók fel.

- Sokszor nincsenek végleges műszaki tervek (ez persze egyben nehézség is lehet).
- A hosszú tervezési folyamat során lehet annak az elején, vagy a végén egyaránt.
- Több lehetőségünk van adaptációs intézkedések megfogalmazására, mint későbbi tervfázisok során.
- Adott esetben több alternatív változat is rendelkezésre állhat.

- A megfogalmazott javaslatok a környezetvédelmi engedélybe kerülve nagyobb súlyt kapnak a későbbiekben.
- A további tervfázisokban a szaktervezők már a kezdetektől figyelembe tudják venni a klímavédelmi intézkedéseket.

Gyakran felmerül az igény későbbi tervfázisokban is (engedélyezési terv, kiviteli terv, vagy építés alatt) klímakockázati vizsgálatokra. Ezen vizsgálatok akár a beruházás finanszírozhatóságát is befolyásolhatják. Ilyen esetekben is adódnak előnyök, amelyek például az alábbiak.

- Betervezett műszaki megoldások felülvizsgálata.
- Intézkedési javaslatok pontosabb megfogalmazásának lehetősége a kivitelezés és üzemeltetés időszakaira.
- Rávilágítás a létesítmény gyenge pontjaira.

3.6. Klímakockázat elemzés lépései

A Klímapolitika Kft. által 2016-ban lezárt „Részletes módszertani leírás a klímakockázati útmutatóhoz” c. kiadványa (a továbbiakban: Útmutató) alapján az alábbi fő lépéseket különböztetjük meg a klímakockázati elemzéseknél.

- 1.) A klímaváltozás várható hatásai a tervezett beruházásra;
 - a.) Érzékenység meghatározása;
 - b.) Kitértség meghatározása (figyelembe véve a tervezett hasznos élettartamokat is);
 - c.) Sérülékenység meghatározása;
 - d.) Kockázatok feltárása;
 - e.) Releváns kockázatok elemzése (figyelembe véve a tervezett intézkedéseket);
 - f.) Adaptációs intézkedések meghatározása (azon releváns kockázatoknál, ahol elemzésünk alapján ez lehetséges, egyben szükséges) – tervezés, kivitelezés, üzemeltetés fázisokra;
- 2.) A tervezett beruházás várható hatásai a klímaváltozásra;
 - a.) ÜHG kibocsátások meghatározása (kivitelezés és üzemelés/üzemeltetés fázisokra egyaránt);
 - b.) Mitigációs intézkedések meghatározása.

3.7. Érzékenység vizsgálata

Meg kell vizsgálni, hogy az adott létesítmény, valamint annak allétesítményei, kapcsolódó létesítményei, használói mennyire érzékenyek a várható éghajlatváltozás egyes aspektusaival, és az ezekkel összefüggésbe hozható egyéb jelenségekkel szemben.

Ehhez meg kell ismernünk a

- tervezési paramétereket,
- tervezett hasznos élettartamokat,
- méretezéseket,
- a tervezést/méretezést befolyásoló éghajlati adatokat,
- biztonsági tényezőket;
- továbbá a várható éghajlatváltozással szembeni ellenállóképességet.

A fentiek elvégzésekor nagyon fontos

- a szakági tervezőkkel, mérnökökkel és szakértőkkel való egyeztetések;
- a sémák, sablonok mellőzése;
- ha szükséges, speciális éghajlati indikátorok alkalmazása (itt is és a kitétségnél is).

Speciális éghajlati indikátorok alkalmazásának szükségességére jó példa a következő szituáció. Adott egy vizsgálandó aszfalt pályaszerkezetű közút, ha a hideg szélsőségek közül kizárólag csak a fagyos napok számát vizsgáljuk (amelyről köztudott, hogy gyorsítja a pályaszerkezetek leromlását), úgy elsőre hátradőlnénk, mivel a fagyos napok száma minden klímamodell alapján Magyarországon folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. Ugyanakkor tudni szükséges, hogy nem maga a fagyás teszi tönkre a pályaszerkezetet, hanem a fagyás-olvas-fagyás ciklusok ismétlődése, amely gyakorlatilag a természetben is megfigyelhető fizikai, vagy mechanikai közetmállás. Tehát nem feltétlenül jó a pályaszerkezetnek, ha csökken a fagyos napok száma, mert ez maga után vonhatja azt is, hogy növekszik azon napok száma, amikor a napi minimumhőmérséklet fagypont alatti, a napi maximumhőmérséklet pedig fagypont feletti. Ha a klímaperiódusokban ezen napok száma növekszik, az káros a pályaszerkezetre, és feltételezhetően csak magasabb karbantartási költségekkel lehet fenntartani a szükséges és biztonságos útviszonyokat az adott közút tervezett élettartama alatt. Tehát egy vizsgálandó speciális klímaindikátor lehet azon napok éves átlagos száma a klímaperiódusban, amikor a napi minimumhőmérséklet fagypont alatti, a napi maximumhőmérséklet pedig fagypont feletti.

A vizsgálatok összetettségére jó példa nagyvasúti beruházások esetében az érintett szakágak és/vagy létesítmények felsorolása (állomási épületek, peronok, transzformátorállomások, szivárgó hálózat, beton burkolatú árkok, felsővezeték és szabályozók, távközlés, biztosítóberendezés (pl. ETCS), térvilágítás, váltófűtés, műtárgyak, közművek, környezetvédelmi létesítmények). Ahhoz, hogy helyesen meg tudjuk határozni a fentiek klímaváltozással szembeni érzékenységét, szükséges a fentiek beható ismerete.

A szükséges vizsgálatokat és egyeztetéseket követően gyakran kapunk olyan eredményeket, hogy a közlekedési fő- és allétesítmények az alábbi éghajlati indikátorokkal, vagy klímaváltozással összefüggésbe hozható jelenségekkel szemben magasan, vagy közepesen érzékenyek.

- átlagos felszínközeli (2 méter magasságban) hőmérséklet növekedése
- hőmérsékleti szélsőségek (pl. hőségnapok ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$), vagy forrónapok ($T_{\max} \geq 35\text{ °C}$) száma) gyakoriságának és intenzitásának növekedése
- csapadékintenzitás növekedése
- megnövekedett UV sugárzás, csökkent felhőképződés
- zúzmaraképződés gyakoriságának és mértékének növekedése
- viharos időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése
- belvizek gyakoriságának és mértékének növekedése
- árvizek gyakoriságának és mértékének növekedése
- villámárvizek gyakoriságának és mértékének növekedése
- talajmozgások gyakoriságának és mértékének növekedése
- erdőtűzek gyakoriságának és mértékének növekedése

A fentiek alapján megkülönböztetünk éghajlati indikátorokat (pl. forró napok éves átlagos száma a klímaperiodusban), és klímaváltozással összefüggésbe hozható jelenségeket (pl. belvíz, árvíz).

A fentieket osztályozni kell, hogy például a fizikai infrastruktúra ezekre magasan, közepesen, alacsonyan érzékeny, vagy nem érzékeny. Erre példa lehet az alábbi mátrix.

1. táblázat: Érzékenységi mátrixra példa (csak példa, nem alkalmazható bármilyen esetben)

		Várható hatás		
		Fizikai infrastruktúra	Közlekedési szolgáltatás	Közlekedési létesítmények hatása a környezetre
Éghajlati jellemzők várható változása	Átlagos felszínközeli hőmérséklet növekedése	magas	alacsony	közepes
	Magas hőmérsékleti szélsőségek gyakoriságának és intenzitásának növekedése	magas	magas	közepes
	Csapadékintenzitás növekedése	magas	magas	közepes
	Hideg szélsőségek csökkenése/csökkenés a fagyos napok számában	alacsony	alacsony	alacsony
	Megnövekedett UV sugárzás, csökkent felhőképződés	közepes	közepes	alacsony
	Viharos időjárási események számának és intenzitásának növekedése	magas	magas	alacsony
	Belvizek gyakoriságának és mértékének növekedése	magas	közepes	közepes
	Árvizek, villámárvizek gyakoriságának és mértékének növekedése	magas	magas	közepes
	Talajmozgások gyakoriságának és mértékének növekedése	magas	magas	alacsony
	Erdőtűzek gyakoriságának és mértékének növekedése	magas	magas	közepes

3.8. Kitétség vizsgálata

A kitétség értékelésekor (Evaluation of exposure, EE) annak felmérése és osztályozása történik, hogy az érzékenységi vizsgálatban beazonosított, érzékenynek minősített létesítmények, használók és a létesítmény környezete mennyire van, illetve lesz kitéve a káros éghajlati tényezőknek, vagy a klímaváltozással összefüggő jelenségeknek, ezek változásából eredő hatásoknak a vizsgált beruházás földrajzi elhelyezkedése, és volumenek alapján.

A kitétséget a jelenlegi és a jövőbeni éghajlati viszonyok szerint is vizsgálni kell, akár több távlati klímaperiódusban is. Az éghajlatkutatók között jelenleg az az elfogadott szakmai álláspont, hogy klímaperiódusnak minimum 30 éves időszak tekinthető. A jelenleg alkalmazott legtöbb éghajlati modell 2100-ig rendelkezik eredményekkel, ebből adódóan, ha a teljes évszázadot le kívánjuk fedni éghajlati adatokkal, úgy az alábbi idő-szakokra bontható az évszázadunk: 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.

Amennyiben közlekedési fő- és allétesítményeket vizsgálunk, úgy szinte minden esetben megállapítást nyer, hogy a tervezett hasznos élettartamok (az az időszak, amely során várhatóan magasabb anyagi ráfordítások nélkül üzemeltethető az adott létesítmény) együttesen mindhárom fenti klímaperiódust érintik. Tehát érdemes mindhárom klímaperiódusra adatokat beszerezni és vizsgálni, ugyanakkor az értékelésnél figyelembe kell venni azt is, hogy például egy 15-20 éves tervezett hasznos élettartamú, 2025-ben átadásra kerülő pályaszerkezetre nem fognak hatást gyakorolni az évszázad végi, 2071- 2100 időszak éghajlati paraméterei.

Fentiekből következik, hogy nagyon fontos tudni vizsgálataink során, hogy a különböző vizsgált létesítményeket milyen hasznos élettartamokra tervezik, méretezik a szakági mérnökök.

Példa közúti fejlesztés tervezett hasznos élettartamaira (csak példa, nem alkalmazható bármilyen esetben):

- Útépítés (alap) 15-20 év
- Útépítés, kopóréteg (aszfalt) 15-20 év
- Útépítés alépítmény (földmű) 75 év
- Vízépítés 50 év
- Kisebb műtárgyak 50 év
- Nagyobb műtárgyak 100 év
- Forgalomtechnika 7-12 év
- Közművek 50 év
- Magasépítés 50 év
- Környezetvédelmi létesítmények 20 év
- Terület előkészítés/szerzés >100 év
- Kertészet/Kertépítés 15 év

Kitettségi vizsgálatok során a vizsgálható klímaindikátorokra és jelenségekre példa lehet az alábbi felsorolás:

- felszínközeli hőmérséklet változása;
- hőmérsékleti szélsőségek (pl. hőségnapok vagy forró napok száma) gyakoriságának és intenzitásának változása;
- csapadékintenzitás változása (pl. 10, vagy 60 perces csapadékok különböző visszatérési gyakoriságú értékei);
- UV sugárzás, felhőképződés változása;
- zúzmaraképződés gyakoriságának és mértékének változása;
- viharos időjárási események gyakoriságának és intenzitásának változása;

- belvizek gyakoriságának és mértékének változása;
- árvizek gyakoriságának és mértékének változása;
- villámárvizek gyakoriságának és mértékének változása;
- talajmozgások gyakoriságának és mértékének változása;
- erdőtüzek gyakoriságának és mértékének változása.

A fenti adatokat általában több helyről lehet/kell beszerezni. A következő felsorolásban néhány példát mutatunk be adatforrásokra.

- OMSZ internetes oldalán szabadon hozzáférhető térképek, grafikonok és adatok (www.met.hu);
- OMSZ - Meteorológiai Adattár (<https://met.hu/omsz/tevekenysegek/adattar/>);
- OMSZ csapadékintenzitás értékeit bemutató internetes oldala (<https://www.met.hu/eghajlat/csapadekintenzitas/>);
- hivatalos OMSZ adatkérés (klimaker@met.hu);
- KlimAdat online térinformatikai adatbázis (<https://klimadat.met.hu/hu/kezdo/index.php>);
- NATÉR térinformatikai adatbázis (<https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>);
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat internetes oldalának térképszervere (<https://map.mbfisz.gov.hu/>);
- Magyarországi Erdészeti Webtérkép (<https://erdoterkep.nebih.gov.hu/>);
- Hivatalos adatszolgáltatás kérése a Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztályától (https://nfk.gov.hu/erdeszeti_foosztaly);
- Vízügyi Geoinformatikai Portál (<https://geoportal.vizugy.hu/atlasz/>);
- A Klímapolitika Kft. által 2017-ben közzétett „Részletes módszertani leírás aklímakockázati útmutatóhoz” c. kiadvány adatai és térképei (<https://www.palyazat.gov.hu/tmutat-projektek-klimakockzatnak-beckslshez-s-cskkentshez#>);

Sokakban felmerülhet az a kérdés, hogy probléma-e, hogy nem túlpontos, egzakt számokkal kell dolgozni a kitettség vizsgálatánál, hiszen távoli jövőre vonatkozó modellbecslésekről van szó. Amire az az egyszerű válasz, hogy nem. Az adatok bizonytalanságának problematikáját többlépcsőben, többféleképpen is lehet kezelni vizsgálataink során. Ezekre az adott fejezetrészeknél felhívjuk a figyelmet.

Kitettségvizsgálatok során már az adatok beszerzésénél is lehetőségünk van csökkenteni az adatok bizonytalanságából eredő kockázatokat az alábbiak szerint.

- Törekedjünk arra, hogy minél pontosabb, és szakmai körökben is védhető, megbízható adatokkal dolgozzunk (pl. Gibsz Jakab 100 Ft-os adatai kontra OMSZ 500 Ft-os hivatalos validált, ellenőrzött adataiból álló adatszolgáltatása).
- Megjegyzendő, minél több, minél megbízhatóbb és adott esetben specifikus adatra van szükségünk, annál drágább lesz az adatszolgáltatás. Az ebből fakadó problémák oldhatók azzal, ha már az ajánlatadási fázisban kalkulálunk a drágább adatokkal.
- Kisebb, pontszerű létesítmények esetében ne 1 db rácspontra kérjünk éghajlati modell adatokat, hanem 2-3 rácspontra, majd azokat átlagoljuk.
- Ne egy-egy klímamodell adataival dolgozzunk, hanem több, úgynevezett klímamodellprojekció együttes elemzését végezzük, amire egy jó példa a **2. táblázat**.

2. táblázat: Példa klímamodell-projekciókra [Forrás: OMSZ]

Srsz.	Regionális modell	Határfeltétel	Kibocsátási forgatókönyv
1.	CCLM4-8-17	EC-EARTH	RCP4.5
2.	CCLM4-8-17	EC-EARTH	RCP8.5
3.	CCLM4-8-17	HadGEM2-ES	RCP4.5
4.	CCLM4-8-17	HadGEM2-ES	RCP8.5
5.	RACMO22E	EC-EARTH	RCP4.5
6.	RACMO22E	EC-EARTH	RCP8.5
7.	RACMO22E	HadGEM2-ES	RCP4.5
8.	RACMO22E	HadGEM2-ES	RCP8.5
9.	RCA4	EC-EARTH	RCP4.5
10.	RCA4	EC-EARTH	RCP8.5
11.	RCA4	HadGEM2-ES	RCP4.5
12.	RCA4	HadGEM2-ES	RCP8.5

- A fenti táblázatban lévő háromféle regionális klímamodell kétféle globális modellt vesz figyelembe, mint határfeltétel, ezzel hat variációt adva, amelyeket egy pesszimista és egy optimista kibocsátási forgatókönyv feltételezésével futtattak, amely így összesen 12 db projekciót ad eredményül.
- Gyakran több projekció alkalmazásával csökkenteni lehet a bizonytalanságokat, azonban megjegyzendő, hogy lehetnek olyan esetek, amikor jobb csak 1-1 modellszimulációval dolgozni, és azokat külön-külön kiértékelni. Például hidrológiai modelleknél, ha az adott vízfolyás távlati

lefolyásadataira vagyunk kíváncsiak, akkor nem érdemes sok projekciót átlagolni, mert akkor elveszik a vízgyűjtő éghajlati adatai és a vízfolyás lefolyásadatai közötti fizikai kapcsolat. Ilyen esetben jó megoldás lehet, ha kiválasztjuk a csapadékatokat várhatóan legmegbízhatóbban előrejelző klímaszimulációt, majd külön kiértékeljük az adatokat egy pesszimista és egy optimista forgatókönyvvel.

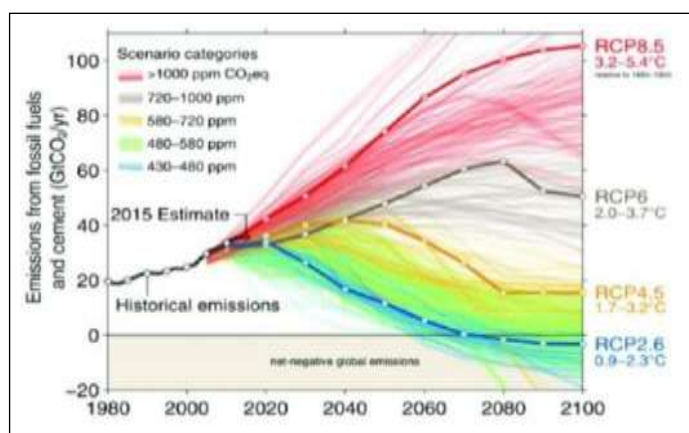
- Amennyiben több projekcióval dolgozunk, úgy a kockázatbecslés megbízhatóságát tovább növelhetjük, ha nem csak a projekciók átlagait elemezzük, hanem egyéb statisztikai adatokat is vizsgálunk, például minimum, maximum, medián, felső- és alsó kvartilis. Ezek segítségével láthatjuk, hogy az adott éghajlati paraméter mennyire megbízható.

Az érzékenységi és kitettségi vizsgálatokkal kapcsolatban fontos kiemelni, hogy ezek komplexitása (éghajlati modellek kiválasztása, különböző forgatókönyvek alkalmazása, adatszolgáltatás módja, bizonytalanságok kezelése, adatigények és lehetőségek össze- hangolása stb.) miatt érdemes (vagy elengedhetetlen) bevonni a vizsgálatokba éghajlati modellekkel foglalkozó szakembereket.

Az **5. ábra** a kibocsátási forgatókönyvek bizonytalanságait szemlélteti. Az ábrát követően két példát mutatunk be a kitettségi adatokra vonatkozóan, valamint arra is, hogy ezeket hogyan lehet elemezni.

Az első példa (**3. táblázat**) öt különböző létesítmény hőségnapokra (napi maximum hőmérséklet túllépi a 30 °C-ot) vonatkozó adatait tartalmazza, valamint azokat elemzi.

A második példa (**4. táblázat**) négy különböző létesítménynél hasonlítja össze a mért csapadékintenzitás adatokat, várható, előrebecsült adatokkal, valamint a tervezési munkálatok során sokszor használt átlagos adatokkal.



5. ábra: RCP kibocsátási forgatókönyvek és bizonytalanságaik

[Forrás: <https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/>]

3. táblázat: Hőmérsékleti kitettség adatokra és azok elemzésére példa

Vizsgált terület	Hőségnapok éves száma (periódusokra számított átlagok, szögletes zárójelek között a min. és max. értékek) [nap/év] *			
	1971-2000	2010-2039	2040-2069	2070-2099
egy északnyugat-magyarországi vasútvonal	17	24 [19 - 28]	33 [27 - 41]	43 [27 - 75]
egy közép-dunántúli gyorsút	12	16 [13 - 18]	22 [18 - 25]	28 [18 - 48]
egy észak-dunántúli autópálya	13	18 [15 - 22]	25 [21 - 31]	34 [22 - 64]
egy kelet-magyarországi autópálya	22	28 [25 - 33]	37 [31 - 46]	45 [31 - 84]
egy északkelet-magyarországi autópálya	13	17 [13 - 22]	23 [19 - 30]	30 [19 - 58]
<p>* A bemutatott eredmények 12 regionális modellszimuláció eredményén alapulnak. A számértékek a 12 modell-szimuláció átlaga, a szögletes zárójelben lévő intervallum pedig a 12 modell alapján a legkisebb és legnagyobb várható átlagos érték az adott 30 éves időszak vonatkozásában. Az 1971-2000 időszaknál bemutatott adatok mért/megfigyelt átlagok.</p>				
<p><i>Adatok elemzésénél és értékelésénél segítséget ad a változás irányának és mértékének a meghatározása, amelyre jó szemléltetés az arányok meghatározása, majd az adatok színezése az alábbiak szerint.</i></p>				
Átlagok növekedésének arányai	0-50%			
	50-100%			
	100-150%			
	150-200%			

Látható a **3. táblázat** adatai alapján, hogy az évszázadban előrehaladva egyre több hőségnap várható, illetve hogy az adatok szórásstartománya kismértékben, de egyre jobban növekszik (az átlagoktól való nagyobb eltérése a minimumoknak és maximumoknak).

A bemutatott éghajlati modelladatok bármilyen jellegű felhasználása tilos!

A bemutatott adatokat kizárólag a kockázatelemzések sajátosságainak könnyebb megértése érdekében szemléltetjük.

4. táblázat: Csapadékintenzitás kitettségi adatok és azok elemzésére egy példa

Vizsgált terület	Vissza- térési idő	Csapadékintenzitás [liter/(másodperc · hektár)]					
		1998-2016		2070-2099 *		Tervezési értékek (általában)	
		10 perces	60 perces	10 perces	60 perces	10 perces	60 perces
egy közép-dunántúli gyorsút	2 éves	154	51	186	62	203	57
	4 éves	200	67	245	82	270	74
	10 éves	252	84	310	104	365	100
	100 éves	374	125	460	154	675	185
egy észak-dunántúli autópálya	2 éves	159	55	184	64	203	57
	4 éves	206	71	237	81	270	74
	10 éves	260	89	301	102	365	100
	100 éves	386	130	452	153	675	185
egy kelet- magyarországi autópálya	2 éves	149	63	168	71	203	57
	4 éves	198	85	228	97	270	74
	10 éves	255	110	294	127	365	100
	100 éves	388	175	451	203	675	185
egy északkelet- magyarországi autópálya	2 éves	171	59	191	66	203	57
	4 éves	215	75	245	85	270	74
	10 éves	266	94	306	108	365	100
	100 éves	385	138	450	161	675	185
* OMSZ által nem elfogadott előrejelzés.							
Magyarázat							
Első lépésként a különböző adatforrásokból származó adatok különböző mértékegységeit azonos dimenzióba kell hozni. Ennek megfelelően az OMSZ [mm/óra] intenzitás adatait át kell váltani a tervezési útmutatóban alkalmazott [liter/(másodperc hektár)] intenzitás mértékegységre. Példa egy OMSZ-os 10 perces csapadék 72 mm/óra értékének átváltására:							
$72 \frac{\text{mm}}{\text{óra}} = 12 \frac{\text{mm}}{10 \text{ perc}} = 120000 \frac{\text{liter}}{10 \text{ perc} \cdot \text{hektár}} = 200 \frac{\text{liter}}{\text{másodperc} \cdot \text{hektár}}$							
Értékelés:	a jelenlegi, vagy a távlati intenzitásérték meghaladja a tervezési útmutatóban lévő						
	a jelenlegi, vagy a távlati intenzitásérték nem haladja meg a tervezési útmutatóban lévő						

A 4. táblázat példája arra is jó lehet, hogy a tervezési folyamat során a vízelvezetést tervező szakági kollégáknak, vagy éppen a beruházónak jelezzük, hogy adott esetben

nagyobb biztonsággal megfelelne a vízelvezetés méretezése, ha nagyobb csapadékkintenzitási értékekkel készülne a számítások. A jelenleg érvényes tervezési útmutatókban elavult csapadékgörbék találhatók kizárólag (frissítésük jelenleg folyamatban van). Mind a megbízói, mind a szaktervezői oldalról egyre gyakrabban merül fel az igénye a frissebb csapadékadatokkal való munkavégzésnek. Ezek természetesen újabb – akár többkörös egyeztetéseket – vonnak maguk után, ugyanakkor egy kockázatbecsléskor ez a szakértőknek feladatát kell képezze. Az egyre intenzívebb csapadékesemények, valamint a villámárvizek miatt egyre gyakrabban fordulnak elő elöntések és kimosódások, amelyek magas baleseti kockázatokat, illetve adott esetben költséges helyreállítási feladatokat jelentenek.

3.9. Sérülékenység meghatározása

Miután elvégeztük az érzékenységi, majd a kitettségi vizsgálatokat is, elkészíthető a sérülékenységi mátrix, amire egy példa az **5. táblázat**.

5. táblázat: Sérülékenységi mátrixra példa

		Kitettség		
		Alacsony	Közepes	Magas
Érzékenység	Alacsony			
	Közepes			
	Magas		felszínközeli hőmérséklet növekedése; hőhullámok gyakoriságának és intenzitásának növekedése; csapadék intenzitásának növekedése; árvizek gyakoriságának és mértékének növekedése	belvizek gyakoriságának és mértékének növekedése

A fenti táblázatban piros színezéssel a magas, sárga színezéssel a közepes, zöld színezéssel az alacsony valószínűségű sérülékenységet fejezzük ki. Azon paraméterekkel nem szükséges foglalkozni, amelyek kitettsége, vagy érzékenysége alacsony, mivel azok vagy nem lesznek érintve az adott paraméterrel, vagy ha érintve is lesznek, arra nem érzékenyek.

Azon létesítmények, amely valamely éghajlati paraméterrel, vagy klímaváltozással összefüggő jelenséggel szemben sérülékenynek bizonyultak, azokat a kockázatelemzés

során kiemelt figyelemmel kell kezelni, illetve a szaktervezőkkel át kell beszélni, hogy a tervezett kialakítás már önmagában jelent-e kellő alkalmazkodási képességet. Adódhat olyan szituáció például, hogy magas a kitettsége és az érzékenysége is a belvizek kialakulásának, ugyanakkor a szaktervezők megkeresésünkre lenyilatkozzák, hogy tudnak a belvíz veszélyeztetettségéről, és ennek megfelelően magas töltésen vezetik a tervezett utat, valamint belvíz levezetést szolgáló többlet átereszekkel kalkuláltak. Egy ilyen nyilatkozat során a kockázatelemzésünkbe elegendő ezt leírni, és tovább nem kell foglalkozni a belvíz veszélyeztetettséggel.

Közlekedési létesítmények vizsgálatai során gyakran adódnak az alábbi közepes, vagy magas valószínűségű sérülékenységek.

- Magas (szélsőséges) hőmérsékleti értékek (pl. forró napok számának növekedése)
- Csapadékintenzitás növekedése
- Viharos időjárási események számának és intenzitásának növekedése
- Növekvő UV sugárzás
- Belvizek gyakoriságának és mértékének növekedése
- Árvizek gyakoriságának és mértékének növekedése
- Villámárvizek (klasszikus, és városi típusú) gyakoriságának és mértékének növekedése
- Talajmozgások gyakoriságának és mértékének növekedése
- Erdőtüzek gyakoriságának és mértékének növekedése

3.10. Kockázatok elemzése, kezelése

Az alábbi ábrán azt szemléltetjük, hogy milyen is a rossz hozzáállás a kockázatelemzések során.



6. ábra: Kockázatelemzések során tanúsított rossz hozzáállásra példa [Forrás: <https://imgflip.com/memegenerator> és saját szerkesztés]

A kockázatelemzések és -értékelések során fontos pontosan definiálni, hogy mik az éghajlati kockázat legfontosabb jellemzői a döntéshozó számára. Ezek magukba foglalják az alábbiakat:

- változás nagyságrendje és iránya,
- statisztikai adatok és elemzés megbízhatósága,
- alapul szolgáló időszak hossza.

A fentiekkel az alapadatok (távlati modellezett éghajlati paraméterek) esetleges pontatlanságaiból adódó bizonytalanságokat tudjuk kezelni, ezzel segítve, hogy a kockázatelemzéseink megbízhatóbbak legyenek. A fentiekre néhány példát az alábbiakban részletesebben kifejtünk.

- Ha a forró napok átlagos éves száma 1961-1990 között 5 nap; 2011-2040 között 10 nap; 2041-2070 között 15 nap; 2071-2100 között 20 nap, akkor láthatjuk, a paraméter az évszázad során a vizsgált területen folyamatosan monoton növekvő. Emiatt, ha az évszázad végén még nagyobbak is a bizonytalanságok, bátran lehet akár az évszázad végére is olyan intézkedéseket javasolni, amelyekkel segítjük a forró napokkal szembeni ellenállóképességet. Ugyanez nem lenne igaz, ha stagnálnának, vagy hullámoznának az adatok.
- Említettük már a statisztikában rejlő lehetőségeket. Megbízhatóbbnak tekinthetünk egy olyan adatot, amely mellett azt látjuk, hogy kisebb a szórás, vagy az átlagtól/mediántól nem esik messze a minimum, vagy maximum érték.
- Figyelembe veendő az is, hogy jelenleg a klímamodellek megbízhatóbban jelzik előre a hőmérsékleti értékeket, mint a csapadékadatokat.
- A távlati éghajlati paraméterek minden esetben legyenek hibakorrigáltak.
- A távlati éghajlati paraméterek megbízhatóbbak, ha változást mutatnak be. Tehát nem azt az eredményt kell letölteni a modellből, hogy pontosan hány fok lesz 2071 és 2100 között az adott területen, hanem azt, hogy az 1961-1990 referencia időszakhoz képest hány fokkal lesz melegebb 2071 és 2100 között. Ezt követően, ha van egy megbízható hőmérsékleti értékünk a vizsgálati területre az 1961-1990 közötti időszakra, akkor ahhoz már hozzáadhatjuk a modellezett változásértéket. Ezzel a módszerrel pontosabb eredmény érhető el, amelynek az az oka, hogy az éghajlati modellek nagyjából ugyanakkora hibával dolgoznak a jelenben, mint a jövőben, tehát ha különbségértéket veszünk figyelembe, akkor kiküszöbölésre került ez a hibalehetőség.

- Ha a vizsgált éghajlati paraméter előállításához 40-50 éves idősorok is rendelkezésre álltak, akkor bizonyosan megbízhatóbb, mintha csak 10-20 éves idősorok álltak volna rendelkezésre.

A fentieket összefoglalva kijelenthető, hogy a vizsgálatainkhoz szükséges éghajlati modelladatok nem túlpontos, egzakt számok, ez azonban nem probléma, és nem lehetetleníti el, vagy akadályozza a munkánkat. Megfelelő statisztikai és kockázatbecslő, - elemző módszerekkel nagyban növelhető vizsgálataink megbízhatósága. Ha eredményként az adódik, hogy a lehetőségekhez képest (utalva a kezdeti feltételekre) pontosnak tekinthető a kockázatbecslésünk, úgy bátran javasoljunk akár magasabb költségekkel járó intézkedéseket vagy méretezéseket. Amennyiben úgy ítéljük meg, hogy csak közepes mértékben tekinthető pontosnak a kockázatbecslésünk, úgy már érdekesebb lehet nem feltétlen a legköltségesebb megoldásokat javasolni. Amennyiben pedig úgy ítéljük meg a fentiek alapján, hogy kockázatbecslésünk kevésbé tekinthető pontosnak, úgy inkább kerüljük a magasabb költségekkel járó intézkedéseket. Megjegyezzük, sokszor alacsony költségekkel is komoly, nagy eredmények érhetők el, amelyeket bármikor javasolhatunk, ha szükségesnek ítéljük azokat.

Az alábbiakban egy gyakorlati példa kerül bemutatásra, hogy egy aszfalt pályaszerkezetű útnál hogyan dönthető el viszonylag egyszerűen, hogy várhatóan ellenálló lesz-e a pályaszerkezet a prognosztizált magas hőmérsékleti értékekkel szemben, vagy sem.

Ahhoz, hogy az útpályán megjelenjenek süllyedések és nyomvályúk, egyszerre két tényezőnek kell fennállnia. Kitettnak kell lennie a magas hőmérsékleti értékekkel szemben, és magasnak kell lennie rajta a forgalomnak is. A pályaszerkezet felső, kopórétege kellően rugalmas, ugyanakkor, ha a méretezések figyelembe vett (nehéz) gépjármű tengelyek elhaladásának a száma kisebb, mint a későbbi valós, akkor ezek hatásai összeadódnak, és kialakulhatnak az úthibák. A pályaszerkezetek méretezése, a megfelelő rétegrend és vastagságok, valamint aszfalttechnológiai receptúrák meghatározása nagyon komoly szakmai tudást igényelnek, amelyekkel például egy környezetmérnök szakértő bizonyosan nem rendelkezhet. Ugyanakkor figyelembe véve a vonatkozó útügyi műszaki előírások előírásait, a modellezett forgalmi viszonyokat, valamint a kitettségi vizsgálatok eredményeit, lehetséges az alábbi táblázatban bemutatásra kerülő kockázatbecslés, amelynek eredményeivel felkereshetők a műszaki szaktervezők, vagy akár a beruházó.

6. táblázat: Aszfalt pályaszerkezetű utak pályaszerkezetének várható ellenállóképességének kockázat- becslésére példa

Vizsgált terület	Szakaszhatárok	Tervezési forgalom [millió db] *	Terhelési osztály *	Terhelési osztályhoz tartozó tervezési forgalom intervallum *
„XY” gyorsút	0+000 - 5+300 km sz.	5,89	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
	5+300 - 8+900 km sz.	5,83	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
„XY” autópálya	0+000 - 5+300 km sz.	23,55	K	$10,0 < TF \leq 30,0$
	5+300 - 8+900 km sz.	21,94	K	$10,0 < TF \leq 30,0$
	8+900 - 9+990 km sz.	20,90	K	$10,0 < TF \leq 30,0$
„XY” autóút	0+000 - 1+500 km sz.	7,95	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
	1+500 - 3+100 km sz.	9,07	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
	3+100 - 4+750 km sz.	7,53	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
	4+750 - 6+134 km sz.	7,89	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
	6+134 - 8+329 km sz.	8,42	E	$3,0 < TF \leq 10,0$
* Tervezési forgalmak számítása, terhelési osztályok besorolása: ÚT 2-1.202 [e-UT 06.03.13] útügyi mű-szaki előírás alapján				
Magyarázat a színezésre:				
Terhelési osztály	alsó tartomány	közép tartomány	felső tartomány	
E	3,0 - 5,3	5,3 - 7,6	7,6 - 10,0	
K	10,0 - 16,7	16,7 - 23,4	23,4 - 30,0	

A 6. táblázat segítségével felosztottuk egy alsó, egy középső, valamint egy felső tartományra a különböző terhelési osztályokhoz tartozó tervezési forgalom intervallumokat. Amennyiben a modellezett tervezési forgalom a terhelési osztályhoz tartozó tervezési forgalom intervallum alsó, vagy középső tartományába esik, úgy várhatóan kicsi, vagy kisebb a valószínűsége annak, hogy az üzemeltetés során kialakulnak az említett úthibák. Amennyiben viszont a modellezett tervezési forgalom

a felső tartományba esik, úgy várhatóan nagyobbak a kockázatok, és érdemes a szaktervezőkkel, vagy a beruházóval egyeztetni egy esetleges erősebb pályaszerkezet építésével kapcsolatban.

Kockázatok becslésére, elemzésére további általános példákat mutatunk be alább, felhasználva az Útmutató javaslatait.

7. táblázat: Közlekedési létesítmények kockázatbecslésére, -elemzésére példa

Kockázat típusa	A bekövetkezés valószínűsége *	Következmény nagyságának értékelése **	Hatása
<u>Eszközökben keletkezett kár (műszaki, üzemeltetési)</u>			
A magas hőmérsékletiértékek miatti aszfaltkárosodások kialakulása.	2	3	Rövidebb élettartam, gyakoribb karbantartási igény, baleseti kockázat növekedése.
A csapadékintenzitás növekedésével időszakos elöntések kialakulása.	2	3	Az útszakaszon forgalomkorlátozásokra kell számítani, gyakoribb karbantartásiigény, baleseti kockázat növekedése.
Árvízzel, belvízzel való elöntések, és a töltés kimosódása.	3	3	Az útszakaszon forgalomkorlátozásokra kell számítani; töltés helyreállítási munkálatok szükségesek lehetnek.
<u>Biztonság és egészség</u>			
Hőhullámok hatásáraaz érintettek rosszul létének bekövetkezése.	3	3	A tervezett autótutat használók résztvevőirenagyobb a közlekedésbiztonsági kockázat.
A csapadék intenzitásának növekedése miatt a pálya vízzel való időszakos borítottsága.	2	3	Lassul a forgalom, megnövekszik az eljutási idő, illetve nem helyes sebesség megválasztásakor megnövekszik a balesetveszély

* 1: ritka (5% évente); 2: nem valószínű (20% évente); 3: közepes valószínűség (50% évente); 4: valószínű (80% évente); 5: majdnem bizonyos (95% évente)

** 1: jelentéktelen; 2: kicsi; 3: közepes; 4: nagy; 5: katasztrofális

8. táblázat: Példa egy kockázatok kategorizálására szolgáló mátrixra

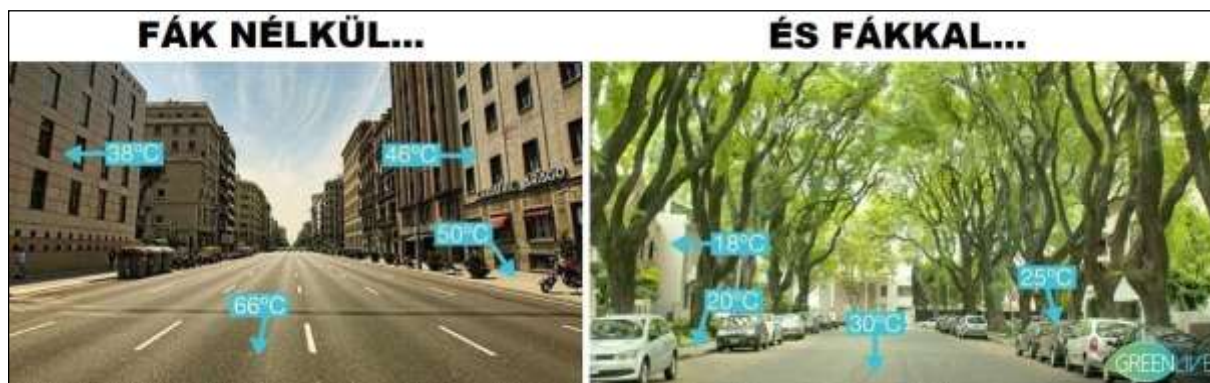
		Következmény, vagy hatás				
		jelentéktelen	kicsi	közepes	nagy	katasztrofális
A bekövetkezés valószínűsége	ritka					
	nem valószínű			A magas hőmérsékleti értékek miatti aszfaltkárosodások kialakulása. A csapadékintenzitás növekedésével időszakos elöntések kialakulása. A csapadék intenzitásának növekedése miatt a pálya vízzel való időszakos borítottsága.		
	közepes valószínűség			Árvízzel, belvízzel való elöntések, és a töltés kimosódása. Hőhullámok hatására az érintettek rosszullét-ének bekövetkezése		
	valószínű					
	majdnem bizonyos					

3.11. Erdők és fák szerepe

Parkok, fasorok, fák, vagy erdők telepítése egyszerre felel meg mitigációs és adaptációs intézkedésnek, amely – figyelembe véve az éghajlatvédelmi intézkedések tárházát egyedülálló.

Adaptáció: árnyékolás, párologtatással a mikroklíma javítása (hűtés -> „kiváló légkondi”) (7. ábra)

Mitigáció: CO₂ kibocsátás csökkentés, vagy szénmegkötés



7. ábra: Példa városi növénytelepítés és faültetés hatására [Forrás: <https://ekoguru.pl/baza-wiedzy/betonoza-i-ogrodoza-czyli-kilka-slow-o-klimacie-miasta/>]

Gyakran merül fel az a kérdés, hogy vajon elegendő-e, ha mindent beültetünk fákkal? Folytathatjuk-e pazaroló, erősen kibocsátó életmódunk, ha közben mindent beültetünk erdőkkel?

Alapvető emberi tulajdonság, hogy sokszor hajlamosabbak vagyunk inkább fűszálakba kapaszkodni, mintsem szembenézni a valósággal. Erre jó példa, hogy azt keressük, vajon ha felhasználjuk a fák szénlekötését, akkor az mekkora kibocsátást tudna ellensúlyozni. Egy kocsányos tölgyes (a teljes erdő szénlekötésével számolva) az intenzív növekedési szakaszában, kb. 9,3 t/év/ha CO₂ megkötésével számolva, Magyarország 2017-es teljes, 79 millió tonna CO₂e kibocsátásának megkötéséhez az ország 91%-át kellene erdősítenünk pluszban, ami lehetetlen, főleg ha figyelembe vesszük, hogy afák szénlekötése a koruk függvényében változik, amikor pedig a fák elhalnak, maguk is szénkibocsátókká válnak.

Konklúzió: nem elegendő a megkötések növelése, alapvetően a kibocsátásaink csökkentésére volna szükség! Azonban az erdők számos egyéb kedvező hatása miatt mindenképpen törekedni kell a minél nagyobb mértékű erdő- és növénytelepítésekre.

Nyomvonalas létesítmények esetén gyakran adódik erdőterület érintettség, ezzel kapcsolatban az alábbiakat fontos tudni.

2009. évi XXXVII. törvény (a továbbiakban: Erdőtörvény) 7. § (1) bekezdése alapján az erdők az alábbi természetességi kategóriákba vannak sorolva:

- a.) természetes erdők
- b.) természetyszerű erdők
- c.) származék erdők
- d.) átmeneti erdők
- e.) kultúrerdők
- f.) faültetvény

Az Erdőtörvény vonatkozó előírásai alapján erdő érintettsége esetén csereerdő telepítése kötelező bárhol az országban, amennyiben legalább 0,5 hektár

- a.) természetes erdő, vagy
- b.) természetyszerű erdő érintett.

A Magyarország és egyes kiemelt térségeinek területrendezési tervéről szóló 2018. évi CXXXIX. törvény (a továbbiakban: TrT) vonatkozó előírásai alapján bármilyen mértékű érintettség, valamint bármilyen természetességi kategóriájú erdő érintettsége esetében kötelező a csereerdő telepítése, amennyiben az érintettség

- Budapest, vagy Pest megyének a TrT 1/1. mellékletben felsorolt, a budapesti agglomerációhoz tartozó valamelyik település, vagy
- a Balaton Kiemelt Üdülőkörzethez tartozó egyik település (a TrT 1/2. melléklete alapján) területén adódik.

Csereerdő alatt röviden azt értjük, hogy a kivett erdőterülettel azonos méretű erdő kerül telepítésre.

Érvek a minél kisebb erdő kivágások mellett, illetve a minél nagyobb, lehetőség szerint minimum a teljes kivágott terület csereerdősítése mellett:

- A Magyarország és egyes kiemelt térségeinek területrendezési tervéről szóló 2018. évi CXXXIX. törvény 39. §-a értelmében a budapesti agglomerációban összességében nem csökkenhet az erdőterület nagysága, a Balaton esetében a parti és partközeli települések esetében szintén nem csökkenhet összességében az erdőterület nagysága a 69. § alapján.
- A 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet 6. számú melléklete, amely a környezeti hatástanulmány általános tartalmi követelményeiről szól, ott a várható környezeti hatások becsléséről és értékeléséről szóló 4. pont, al) alpontja azt írja elő, hogy alkalmazzunk, illetve mutassunk be olyan, lehetséges alkalmazkodási intézkedéseket, valamint az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését, illetve ellentételezését szolgáló intézkedéseket, amelyek éghajlati, ökológiai és környezeti szempontból hasznosak, továbbá megvalósításuk nem jár aránytalanul magas költséggel.
- Nemzeti Erdőtelepítési Program (NEtP): a program céljai között szerepel az erdővel való borítottság folyamatos növelése, amelynek értelmében 35-50 év alatt el kell érni a 27%-os erdőborítottságot Magyarországon (jelenleg ez a szám 20-21% körüli).
- Nemzeti Erdőstratégia: támogatja a NEtP 27%-os erdősültségi arány célszámot.

- A második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS-2): A IV.6.2. sz. fejezet írja, az alkalmazkodás és felkészülés specifikus céljai között: „A természeti erőforrások készleteinek és minőségének megőrzése, illetve tartamos hasznosítása a fenntarthatóság felé való átmenet elősegítése érdekében”, továbbá a IV.3.4. fejezet mutatja be az éghajlati alkalmazkodással kapcsolatos erdőgazdálkodási teendőket, ahol a rövid távú cselekvési irányok között szerepel többek között a következő: „Az erdőterületek nagyságának növelése szükséges...”
- Középkorú, vagy idős faegyedek, vagy erdők kivágását követően legalább 40-80 évet szükséges arra várni, hogy a fákkal, vagy erdővel beültetett területen újra azokat az ökoszisztéma szolgáltatásokat élvezhessük, amelyeket addig adtak a fák, vagy az erdő.

3.12. Erdők és fák szerepe – hatások számszerűsítése

Az alábbi két szituáció adódik, amikor az erdőkkel kapcsolatosan szükséges a hatások számszerűsítése.

- Erdők kivágásának hatása, annak becslése a NIR alapján (kvázi, mint egy kibocsátásnak).
- Csereerdőktelepítésének hatása, annak becslése egy erre alkalmas (CASMOFOR) szénforgalmi modellel (CO₂ megkötés, elnyelés).

Erdők kivágásával adódó kibocsátás becslése

Módszertan forrása: „National Inventory Report for 1985-2019 Hungary” című, 2021. áprilisában kiadott jelentés.

Letölthetők a különböző jelentések PDF állományai a <https://unfccc.int/documents> oldalról. A jelentések készítése minden, gazdagnak tekintett ország, így minden EU tagország számára évente kötelező, így érdemes lehet évről évre felkeresni a legfrissebb jelentést, és azzal dolgozni.

A 2021. áprilisi NIR 6.5.3. sz. fejezete alapján az erdők kivágásának hatását az alábbiak szerint szükséges számolni, mint kibocsátás.

$$C = (V \cdot D) \cdot (1 + R) \cdot CF \quad (1)$$

ahol

C a kivágásra kerülő erdő szénkészlete adott időben, tonnában kifejezve, [tC/ha]

V a kivágott erdő tényleges fakészlete (ha ez nem ismert, úgy az ország erdeinek

átlagos élőfakészlete, amely fafajonként a lenti táblázatban található), [m³/ha]

D az erdőben található főbb fafaj(ok) bázissűrűsége, [t biomassa/m³] **(9.táblázat)**

R a föld alatti biomassa figyelembe vételéhez szükséges dimenzió nélkülszorzó [-] **(9. táblázat)**

CF a vizsgált biomassa széntartalma [t C/t biomassa]

A *C* szénkészletet 44/12 t CO₂/t C hányadossal (közelítőleg 3,67) szorozva kapható meg a hektáronkénti CO₂ érték, amelyet az erdőkivágás egyszeri kibocsátásának tekintünk. A fenti paraméterek számításokhoz szükséges értékeit a következő **9. táblázat** foglalja össze.

9. táblázat: Erdők kivágásával adódó kibocsátások becsléséhez felhasználható adatok

Vizsgált erdő átlagos élőfakészlete <i>V</i> [m ³ /ha] ¹		Vizsgált fafaj bázissűrűsége <i>D</i> [t biomassa/m ³] ²		Vizsgált biomassa széntartalma <i>CF</i> [t C/t biomassa] ²	
Fafaj, vagy fafajcsoport	Érték	Fafaj, vagy fafajcsoport	Érték	Fafaj, vagy fafajcsoport	Érték
Kocsányos tölgy	233,34	Kocsányos tölgy	0,57	lombhullatók	0,48
Kocsánytalan tölgy	233,34	Kocsánytalan tölgy	0,61	tűlevelűek	0,51
Egyéb tölgyek	233,34	Egyéb tölgyek	0,55	A föld alatti biomassa figyelembe vételéhez dimenzió nélküli szorzó <i>R</i> [-] ²	
Csertölgy	228,46	Csertölgy	0,64		
Bükk	361,97	Bükk	0,59		
Gyertyán	183,62	Gyertyán	0,58		
Fehér akác	119,16	Fehér akác	0,59	Fafaj, vagy fafajcsoport	Érték
Juharok	200,11	Juharok	0,52	minden esetben	0,25
Szilek	200,11	Szilek	0,58	<p>FORRÁSOK:</p> <p>1 https://nfk.gov.hu/ vag http://www.ksh.hu/ (az adott fafajcsoport összes területe adott évben / az adott fafajcsoport összes fatérfogata adott évben)</p> <p>A táblázatban szereplő értékek 2018-as adatok, így frissítésre szorulnak a hivatkozott források fel- használásával!</p>	
Kőrisek	200,11	Kőrisek	0,56		
Egyéb kemény lomb	200,11	Egyéb kemény lomb	0,50		
Nemesnyarasok	159,57	Nemesnyarasok	0,34		
Hazai nyarasok	197,91	Hazai nyarasok	0,36		
Fűzek	266,08	Fűzek	0,36		
Égerek	254,79	Égerek	0,43		
Hársak	254,79	Hársak	0,48		
Egyéb lágy lomb	254,79	Egyéb lágy lomb	0,48		
Erdei fenyő	286,20	Erdei fenyő	0,42		

Feketefenyő	286,20	Feketefenyő	0,47
Közönséges lucfenyő	286,20	Közönséges lucfenyő	0,39
Vörösfenyő	286,20	Vörösfenyő	0,49
Egyéb tűlevelűek	286,20	Egyéb tűlevelűek	0,37

² 2021-es kiadású NIR-ből.

Példa: Egy 10 hektár területű akácos kivágása az alábbi kibocsátással jár a fenti módszer alapján:

$$119,16 \cdot 0,59 \cdot 1,25 \cdot 0,48 \cdot 3,67 \cdot 10 = \sim 1\,548 \text{ tonna CO}_2 \text{ a kibocsátás.}$$

A fenti módszerrel kapcsolatban fontos figyelembe venni az alábbiakat.

- Átlagos fakészlet használata esetén nem pontosan az adott, érintett erdőterületünk kibocsátását fogja eredményül adni (ahhoz terepi erdészeti fatömeg felmérési munkálatok szükségesek).
- Amennyiben rendelkezünk az érintett erdők koráról is adatokkal, úgy pontosítható a módszer, ha nem a fenti táblázat szerinti élőfakészlet adatokkal dolgozunk, hanem a megadott internetes források (vagy konkrét erdészeti modellek, ún. fatermési táblák) segítségével kiszámítjuk az adott korra jellemző értékeket. Tehát például, ha tudjuk, hogy egy 20 éves akácot vágunk ki, akkor nem feltétlenül kell a fenti országos átlagos értékkel kalkulálni, számolhatunk a 20 éves akácok átlagos élőfakészlet adataival, ha megkeressük, hogy az országban hány m³ 20 éves akácunk van, és azok mekkora területi kiterjedéssel rendelkeznek.
- A módszer a jelenlegi formájában egyetlen erdőrészletre egy közelítés, amelynek pontossága az erdőrészletek számának növelésével javul. Például, ha a számítás során élőfakészletnél 119,16 m³/ha értéket alkalmazunk, de a kivágásra kerülő akácunk egy 5 éves állomány, úgy a tényleges élőfakészlete a fentinek csak a töredéke, vagyis a kibocsátást fölébecsüljük; viszont, ha idős akácok kerül kivágásra, úgy a kibocsátást alábecsüljük.
- A módszer arra lett kifejlesztve, hogy gyakorlatiasan, országos átlagban minél jobban, a NIR-ben alkalmazott módszerrel minél konzisztensebben végezze el a becslést.
- A fentiek ellenére a módszert bátran alkalmazhatjuk KHT-k és EVD-k készítésesorán,
 - mivel jelenleg még nincs olyan jogszabályi kötelezés, hogy minden kibocsátást el kell nyeletni,
 - illetve mivel a legtöbb beruházásnál a kibocsátások között az erdők kivágásával okozott kibocsátás arányaiban nem meghatározó,

- továbbá mivel a módszer pontosítható, ha egyrészt évről évre frissítjük az adatokat, valamint, ha pl. figyelembe vesszük a kivágásra kerülő fafajok életkorát, és a kornak és fafajnak megfelelő átlagos élőfakészlet adatokkal dolgozunk.

A módszer pontossága jelentősen fokozható akkor, ha ismerjük a ténylegesen kitermelt erdők helyét és bekérjük a megfelelő fakészlet-adatokat fafajonként az illetékes erdőgazdálkodótól vagy az NFK-től.

Mitigációs intézkedés (pl. csereerdő telepítése) hatásának becslése

A becsléshez alkalmazhatjuk a CASMOFOR modellt, amellyel kapcsolatosan az alábbiakat szükséges figyelembe venni.

A CASMOFOR-ral előállított eredmények publikálásakor az alábbiak szerint szükséges hivatkozni a modellre:

Somogyi, Z. 2019. CASMOFOR (verziószám: 6.1).

Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest. Weblapcím:

<http://www.scientia.hu/casmofor/index.php>

A modellre történő hivatkozást tartalmazó munkák címét, esetleg másolatát szükséges megküldeni az alábbi címre:

Somogyi Zoltán (e-mail: somogyi.zoltan@uni-sopron.hu)

Ha ellátogatunk a megadott webcímre, akkor láthatjuk, hogy lehetőségünk van használni egy, a CASMOFOR modell segítségével kidolgozott online CO₂ kalkulátort, vagy pedig letölthetjük magát a modellt, amely egy MS Excel fájlokból álló csomag.

A letölthető MS Excel fájlokkal szerteágazóbb és pontosabb számításokat végezhetünk. Mivel jelenleg nem létfontosságú nagyon precíz számítások végzése, így csak az Online kalkulátorral foglalkozunk a továbbiakban.

A becsült CO₂ megkötés számszerűsítésénél válasszuk a

- normál erdőgazdálkodást (ennek oka, hogy szinte egész Magyarországon normál (vágásos üzemmódú) erdőgazdálkodást folytatnak, pl. 2018-ban: 90,8 / 9,2 volt az arány a normál javára);
- közepes termőhelyet (mivel általában nincs pontos adatunk a termőhelyről, így közepes termőhelyi adottságok feltételezésével tévedünk a legkevésbé);

- az eredményekből a kezdeti intenzív növekedésből származó éves megkötés számot alkalmazzuk, azon belül is a biomasszáét (ne a teljes erdőét) (**10. táblázat**).

10. táblázat: CASMOFOR online CO₂ kalkulátorral kapható eredmények

Fafaj	CO ₂ megkötés a növekedésfázisban [t CO ₂ /ha]	Növekedési fázishossza [év]	Átlagos CO ₂ megkötés a növekedési fázisban [t CO ₂ /év/ha]
Kocsányos tölgy	283	46	6,2
Akác	141	15	9,4
Nemesnyár	72	10	7,2

Megjegyzés: Egy rosszul megválasztott erdőállomány akár nettó kibocsátóvá is válhat, ha az állomány betegeskedik és folyamatos benne a fák elhalása is.

3.13. Adaptációs intézkedések

Közlekedési létesítmények során például az alábbi adaptációs intézkedések javasolhatók (a teljesség igénye nélkül):

- Tervezés
 - Nyomvonal, magassági vonalvezetés gondos megválasztása
 - Rézsűvédelem (erózióvédelem), támfalak gondos méretezése
 - Vízelvezetés, átereszek, árkok megfelelő méretezése
 - Pihenők tervezése (ivókutakkal)
 - Fokozott növénytelepítés alkalmazása
 - Csereerdők javaslata
 - Változtatható jelzésképű táblák (VJT-k) tervezése
 - Megfelelő pályaszerkezet (típus, anyag, keverék, rétegrend)
- Kivitelezés
 - Munkásokat érő hatások figyelembe vétele
 - Gondos kivitelezés
 - Tervezett/előírt (megfelelő) receptúra alkalmazása
 - Technológiai utasítások szigorú betartása (pl. kötőtpálya esetében a sem-leges hőmérsékleti tartomány)
 - Korszerű, alacsony károsanyag-kibocsátású munkagépek alkalmazása

- Üzemeltetés
 - Munkásokat érő hatások figyelembe vétele
 - Gondos üzemeltetés (rendszeres és szakszerű karbantartások)
 - Monitorozás
 - Változtatható jelzésekű táblák (VJT-k)
 - Élettartam végén megfelelő kezelés

A fenti felsorolás kapcsán felhívjuk a figyelmet arra, hogy minden fázisban szükséges intézkedések javaslata.

Síntörésekre, vágányok kivetődésére példák

10. táblázat: Sínkivetődések elkerülése érdekében tehető adaptációs intézkedésekre példák

Intézkedés jellege	Adaptív intézkedések
Reagáló intézkedések	<ul style="list-style-type: none"> - Vágány hőmérsékletének mérése - Vágány hőmérsékletének előrejelzése - Sebességcsökkentés a kritikus helyeken
Megelőző intézkedések	<ul style="list-style-type: none"> - Új anyagok és szerkezeti megoldások használata - Fenntartási gyakorlat javítása - Semleges hőmérsékleti tartomány megváltoztatása

11. táblázat: Sínkivetődésekkel és síntörésekkel kapcsolatos néhány jellemző

Sínek törése	<ul style="list-style-type: none"> - Villamosoknál a burkolt, sínkörülöntéses technológiájú vágányoknál gyakoribb <ul style="list-style-type: none"> - Főleg télen fordul elő - Oka: építéskor a semleges hőmérsékleti tartománynál magasabb hőmérsékleten való sínrögzítés (villamosvágányokat általában nyári szünetben, kisebb forgalmi viszonyok mellett építenek) - A burkolt, sínkörülöntéses technológiával épült vágányokat nem lehet kilélegeztetni, amely vágánytípusok a villamosoknál gyakoribbak (nyitott vágányokat villamosoknál könnyebb, mert gyakoribb a megszakítás, rövidebb szakaszok vannak egybehegesztve)
Sínek kivetődése	<ul style="list-style-type: none"> - Nyáron fordul elő - Oka: építéskor a semleges hőmérsékleti tartománynál alacsonyabb hőmérsékleten való sínrögzítés - Döntően nyitott vágányok vannak, azonban nagyon hosszúak az egybehegesztett szakaszok

Közlekedési létesítmények tervezése/építése során sokszor kapcsolódó műveletként jelentkezik a villamos távvezetékek kiváltása. Ezekkel kapcsolatban az alábbi adaptációs intézkedések javasolhatók.

Villamos légvezetékek

- beton alapjainak,
- tartószerkezetének

megerősítése is szükséges lehet, mivel az egyre

- fokozódó széllekedések (viharok),
- és a fokozott zúzmaraképződés

egyre gyakrabban okozzák a villamos légvezetékek tartószerkezetének kidőlését, és/vagy a vezetékek szakadását.

3.14. Üzemeltetési monitorozás

Az alábbi felsorolásban foglaljuk össze a lehetséges intézkedéseket.

- Adatok és információk gyűjtése
 - Mikor és milyen adaptációs intézkedés került megvalósításra
 - Az esetleges károk, állagromlások precíz dokumentálása, kiegészítve az adott időjárási viszonyokkal
- Ellenőrző lista, vagy nyomkövetési és értékelési terv készítése
- Az adaptációs intézkedések hatékonyságának elemzése
- Folyamatos állapotfelvetelek (főleg szélsőséges időjárási eseményeket, körülményeket követően)
 - Útrepedések
 - Sínegyenletlenségek
 - Sínhőmérsékletek
 - Nyomvályúk, süllyedések, kátyúk
 - Bitumen „kiizzadása”
 - Padka felhízása, szegély kialakulása
 - Kimosódások
 - Vízvezető rendszerek feltöltődése, szűkülése stb.

3.15. Klímaváltozásra gyakorolt hatások

A **13. táblázat** röviden összefoglalja, hogy a közlekedési létesítmények hogyan hatnak a klímaváltozásra.

13. táblázat: Közlekedési létesítmények klímaváltozásra gyakorolt hatásainak összefoglalása

Kockázati tényező	Várható hatás	Hatáscsökkentő intézkedés
Területfoglalás: erdő, mezőgazdasági stb. területek csökkenése, ezzel módosítva a terület ÜHG megkötését, valamint a helyi klímát.	Az útkorona által igénybe vett területen megszűnik a növényzet ÜHG megkötése, valamint csökken a felszínborítás albedója, ezzel tovább fokozva a helyi hőmérsékleti viszonyok emelkedését.	Növénytelepítés az út mellett. Csereerdők telepítése.
Üvegházhatású gázok kibocsátása az építési, kivitelezési időszakban.	Munkagépek és szállítójárművek ÜHG kibocsátása. Felvonulási utakon, depóterületeken a fa- és cserirtások, amely további kibocsátást okoz.	Korszerű, alacsony károsanyag kibocsátású munkagépek és szállítójárművek alkalmazása. Az építkezést követően olyan területrendezés, amely lehetővé teszi a növényzet visszatelepülését.
Üvegházhatású gázok kibocsátása az üzemelés során.	Az úthálózaton közlekedő gépjárművek ÜHG kibocsátása.	Hasznos, kibocsátásokat csökkentő hálózatfejlesztések. Európai kibocsátási normák jogszabályi keretrendszere.

3.16. Klímaváltozásra gyakorolt hatások – hatások számszerűsítése

Közlekedési létesítmények esetében az alábbi hatásokat szükséges számszerűsíteni.

- Erdőérintettség hatása
 - Erdők kivágásának hatása
 - Csereerdők telepítésének hatása
- Építkezés hatása
- Üzemelés hatása

fentebb már bemutatásra került

Építkezés hatása

Egy gyorsforgalmi út esetében például nem ritka az akár 50000-150000 tonna CO₂ e kibocsátás.

Az EGIS csoport által 2010 novemberben kiadott, és az interneten közzétett, (elérési út: <http://siteresources.worldbank.org/INTEAPASTAE/Resources/GHG-ExecSummary.pdf>) „Introduction to Greenhouse Gas Emissions in Road Construction and Rehabilitation” c. tanulmánya (a továbbiakban: EGIS tanulmány) alapján az alábbiak szerint lehet becsülni a különböző úttípusok fajlagos kibocsátását **(14. táblázat)**.

14. táblázat: Az EGIS tanulmány Table 2 – Typical unit GHG emissions of various road categories (t CO₂ eq. /km) című táblázata

Expressway	National Road	Provincial Road	Rural Road – Gravel	Rural Road – DBST
3234	794	207	90	103

A fenti fajlagos értékek tehát kilométerenként értendők. Ezen adatokat figyelembe véve például egy 40 km-es autópálya szakasz építése kapcsán 129 360 tonna CO₂e kibocsátás becsülhető.

Üzemelés hatása

Jelen segédletben a vasúti közlekedés üzemelésének ÜHG kibocsátásaival nem foglalkozunk, mivel a vizsgálat tárgyát képező vasútvonalak legtöbbször villamosítottak, vagy a fejlesztés kapcsán kerülnek villamosításra. Ebből fakadóan elhanyagolható az ÜHG kibocsátásuk. Adott esetben érdekes lehet a módváltó hatások számszerűsítése, azaz a vasúti fejlesztés hatására hogyan csökkennek a közúti kibocsátások.

Ahhoz, hogy egy közúti fejlesztés üzemelésének ÜHG kibocsátását ki tudjuk számítani, részletes adatszolgáltatásokra lesz szükségünk. A következőkben ezekre vonatkozóan tárgyaljuk a legfontosabb kritériumokat.

A számításokhoz az alábbi adatokra van szükség

- Forgalmi modell
 - Területi kiterjedésének mérete befolyásolja a végeredményként kapható számokat.
 - Általánosságban: minél kisebb a modell területi kiterjedése, annál magasabb kibocsátások adódhatnak.
 - A nyomvonal hosszától függően érdemes lehet akár egy fél megye területére, vagy egy megye, akár régió területére bekérni az adatokat, ha azok rendelkezésre állnak.
- A forgalmi modellből a futásteljesítmény adatokkal szükséges dolgozni.

- Jarműtípusonként (minimum a 3,5 tonna alatti és feletti gépjarművek megkülönböztetésével, de adott esetben akár 5-6-8 jarműtípus alkalmazásával)
 - Útkategóriánként (autópálya, autóút, külterületi főút/mellékút, belterületi utak)
 - Két állapotra és azok különbségére lesz szükség.
 - Távlati, a beruházás megvalósítása melletti „vele” állapot (TV)
 - Távlati, a beruházás megvalósítása nélküli „nélküle” állapot (TN)
 - A fentiek különbségéből (TV-TN) számítható ki a fejlesztés tényleges hatása.
 - Felhasználva a HBEFA német emisszió katasztert (kb. 6-8 év a magyar lemaradás a német jarműparkhoz viszonyítva – egy BME kutatás szerint – ez alapján alkalmazhatunk például 10 év lemaradást is, a biztonság javára való tévedéssel).
- Forrás: <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- A HBEFA nem ingyenes emissziókataszter, ugyanakkor drágának sem mondható, érdemes ezt megvásárolni.
- A HBEFA adatok közül érdemes a jelenlegi éveket figyelembe venni a távlati forgalmak mellett, ezzel a biztonság javára tévedve. Például, ha a vizsgált év a 2021, úgy a HBEFA bázisév 2011 lesz, ahonnan a fajlagos kibocsátási értékeket vesszük.
 - A futásteljesítmény adatokkal, valamint a HBEFA fajlagos kibocsátási adatokkal kiszámítható a CO₂, CH₄ és az N₂O, majd pedig a CO₂e kibocsátás (az ózonnal nem foglalkozunk, mivel annak jelentősebb mértékű keletkezése csak nyáron, erős napsütésben, és magasabb forgalmak mellett jellemző).
 - Szén-dioxid egyenérték (CO₂e) számítása (az IPCC 5. jelentése alapján)*:
 - CO₂: 1-szeres súly,
 - CH₄: 28-szoros súly,
 - N₂O: 265-szörös súly.

* (a súlyozó értékek alkalmazásakor érdemes lekövetni a mindenkor legfrissebb IPCC jelentéseket)

A fenti módszerre egy számítási példát mutat be a **15. táblázat**

A **15. táblázat** minden adata fiktív és közel sem valós!

A táblázatban logikusan, egymás után jönnek a lépések, illetve igyekeztünk olyan adatokat alkalmazni, amelyek könnyen lekövethetők, akár fejben számolással is.

A lenti példával a fiktív közúti fejlesztés hatására +45,7 tonna CO₂e kibocsátás adódik évente a vizsgált térségben.

Megjegyezzük, hogy vannak olyan jól kitalált közúti fejlesztések, hogy csökkennek az eljutási idők, vagy rövidülnek az utak, vagy kedvezőbb lesz a módok közötti megoszlás stb. és ilyen esetekben akár negatív értéket is felvehet a számítási végeredményünk, azaz a fejlesztés hatására a vizsgált térségben csökkennek az ÜHG kibocsátások.

15. táblázat: Közúti fejlesztés üzemelésének ÜHG kibocsátására becslés – példa
(Figyelem! A táblázatban szereplő összes adat fiktív és közel sem valós!)

(Figyelem! A táblázatban szereplő összes adat inközös közérselemzés.)

Futásteljesítmény adatok [járműkm/nap]							
Útípus	Távlati "vele" állapot (TV)		Távlati "nélküle" állapot (TN)		Különbség (TV-TN)		
	SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t	SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t	SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t	
Autópálya (kül- és belterületen)	1000	700	900	500	100	200	
Autóút, gyorsút (kül- és belterületen)	2000	600	1800	500	200	100	
Országos fő- és mellékút, magánút (külső területen)	3000	500	2700	450	300	50	
Országos fő- és mellékút, magánút (belterületen), helyi fő- és mellékút, gyűjtőút, egyéb út	4000	100	3000	90	1000	10	
Útípus	Komp.	Fajlagos kibocsátási értékek [g/km]					
		SZGK (<3,5 t)		THGK (>3,5 t)			
Autópálya (kül- és belterületen)	CH ₄	0,3000		0,8000			
	N ₂ O	0,2000		0,7000			
	CO ₂	4,0000		4,5000			
Autóút, gyorsút (kül- és belterületen)	CH ₄	0,2000		0,7000			
	N ₂ O	0,1000		0,6000			
	CO ₂	3,0000		3,5000			
Országos fő- és mellékút, magánút (külső területen)	CH ₄	0,1500		0,6500			
	N ₂ O	0,1000		0,6000			
	CO ₂	2,0000		2,5000			
Országos fő- és mellékút, magánút (belterületen), helyi fő- és mellékút, gyűjtőút, egyéb út	CH ₄	0,1000		0,6000			
	N ₂ O	0,1000		0,6000			
	CO ₂	1,0000		1,5000			
ÚTÍPUS	Komp.	Számított kibocsátások - részeredmények [g/nap]					
		Távlati "vele" állapot (TV)		Távlati "nélküle" állapot (TN)		Különbség (TV-TN)	
		SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t	SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t	SZGK <3,5 t	THGK >3,5 t
Autópálya (kül- és belterületen)	CH ₄	300,0	560,0	270,0	400,0	30,0	160,0
	N ₂ O	200,0	490,0	180,0	350,0	20,0	140,0
	CO ₂	4000,0	3150,0	3600,0	2250,0	400,0	900,0
Autóút, gyorsút (kül- és belterületen)	CH ₄	400,0	420,0	360,0	350,0	40,0	70,0
	N ₂ O	200,0	360,0	180,0	300,0	20,0	60,0
	CO ₂	6000,0	2100,0	5400,0	1750,0	600,0	350,0
Országos fő- és mellékút, magánút (külső területen)	CH ₄	450,0	325,0	405,0	292,5	45,0	32,5
	N ₂ O	300,0	300,0	270,0	270,0	30,0	30,0
	CO ₂	6000,0	1250,0	5400,0	1125,0	600,0	125,0
Országos fő- és mellékút, magánút (belterületen), helyi fő- és mellékút, gyűjtőút, egyéb út	CH ₄	400,0	60,0	300,0	54,0	100,0	6,0
	N ₂ O	400,0	60,0	300,0	54,0	100,0	6,0
	CO ₂	4000,0	150,0	3000,0	135,0	1000,0	15,0
Számított időszak	Komp.	Számított kibocsátások - végeredmények					
		Távlati "vele" állapot (TV)		Távlati "nélküle" állapot (TN)		Különbség (TV-TN)	
Napi kibocsátások [tonna/nap]	CH ₄	0,002915		0,002432		0,000484	
	N ₂ O	0,002310		0,001904		0,000406	
	CO ₂	0,026650		0,022660		0,003990	
	CO ₂ e	0,720420		0,595302		0,125118	
Éves kibocsátások [tonna/év]	CH ₄	1,1		0,9		0,2	
	N ₂ O	0,8		0,7		0,1	
	CO ₂	9,7		8,3		1,5	
	CO ₂ e	263,1		217,4		45,7	

3.17. Összegzés

A segédlet jelen munkarészének elolvasását követően újra kihangsúlyozzuk az alábbiakat.

- A jelen munkarész nem kíván és nem tud évekig aktuális segédlet lenni, illetve számos módszer csak egy a sok közül. Jelenleg az éghajlatváltozás vizsgálata ésmódszertanai folyamatos fejlődésben vannak, így ami ma aktuális, az lehet, hogy holnap már idejét múlt. Jelen segédlet több helyen is inkább csak jó szemléletet kíván adni.
- A segédlet a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozata által folytatott Klímavédelmi szakértői tanúsítás képzési anyagai közül az „Épített környezet klímavédelme - vonalas (közlekedési) létesítmények” című előadás írott és bővített változata, meghagyva az előadás tagolását, alcímeit és közvetlen stílusát. A munkarész abban a szellemiségben készült, hogy segédlet szak- értőktől szakértőknek.
- Bár igyekeztünk a segédlet jelen fejezetében sok mindenre kitérni, nem feltétlen tartalmaz minden releváns vizsgálatot. Továbbá fontos azt is kiemelni, hogy a segédlet a többi fejezetével együtt tud csak teljes rálátást biztosítani az éghajlatváltozással kapcsolatos problémákra, feladatokra és megoldásokra.
- A segédletben a klímaváltozás fogalom alatt az antropogén eredetű és gyorsulóglobális éghajlatváltozást értjük.

Az érzékenységi és kitettségi vizsgálatokkal kapcsolatban külön kiemeljük, hogy ezek komplexitása (éghajlati modellek kiválasztása, különböző forráskönyvek alkalmazása, adatszolgáltatás módja, bizonytalanságok kezelése, adatigények és lehetőségek összehangolása stb.) miatt érdemes (vagy elengedhetetlen) bevonni a vizsgálatokba éghajlati modellekkel foglalkozó szakembereket.

A segédlet jelen fejezetének legfontosabb konzekvenciái az alábbiak.

- A tervezett létesítmény/tevékenység beható ismerete elengedhetetlen.
- Fontos az éghajlati, időjárási paraméterek, mint bemenő adatok ismerete.
- Szintén fontos a tervezés folyamatának megismerése (jelenlegi folyamat elismerése).
- Minden szaktervező, projektvezető ismerje a feladatait, szerepét (környezet-védelmi szakértőnek ebben mediátor szerepe is van).
- Egyeztetések kezdeményezésének fontossága (folyamatos, nem egyszeri kommunikáció).
- Az éghajlatvédelmi vizsgálatokat és kockázatelemzéseket szakértői és/vagy szaktervezői csapatnak kell készíteni.

- Fontos a folyamatos, minden fázisra kiterjedő klímatudatos műszaki tervezés.
- Mellőzni kell a sablonokat és sémákat.
- Fel kell tární az adott létesítmény/tevékenység üvegházhatás fokozását is (havan neki).
- Ahova csak lehetséges, oda integrálni szükséges az adaptációs és mitigációs intézkedéseket.
- Javaslatok megfogalmazása: tervezéshez, építéshez és üzemeltetéshez egyaránt.

3.18. Kitekintés, szükséges jövő

- Integrálás a létesítmény/tevékenység minden tervezési építési és üzemeltetésifázisába.
- A klímaváltozással kapcsolatos ismeretek integrálása a különböző műszaki és gazdasági képzésekbe.
- A vizsgálatok a monitoringra és az üzemeltetésre való kiterjesztése.
- Szabványok, műszaki előírások és segédletek felülvizsgálata.
- Az adaptációs és mitigációs intézkedések kötelező érvényre juttatása (jogi szabályozással) elengedhetetlen. Ez jelenleg túlságosan megengedő.
- A klímavédelmi szakértői tanúsítvány beemelése a környezetvédelmi szakértői jogosultságok közé, mint ötödik szakértői jogosultság (SZKV-1.5.) – a szükséges jogszabályok módosításával. Majd ezen módosításokat követően a klímavédelmi szakértői tevékenység végzését ezen szakértői jogosultság meglétéhez kell kötni.
- A stratégiai vállalásoknak megfelelően a fejlesztési irányok újrapriorizálása.

A segédlet jelen fejezetének elkészítését támogatta, lektorálta és segítette:

Danyi Rita környezetvédelmi tervezőmérnök VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.	Fleisz Bálint környezetvédelmi szakértő
Gaál Júlia környezetvédelmi tervezőmérnök VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.	Hegyi Zoltán környezetvédelmi szakértő, ügyvezető igazgató VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.
Jurassza Karolina környezetvédelmi szakértő, osztályvezető VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.	Klopfer András környezetvédelmi tanácsadó
Dr. Pájer-Gálos Borbála egyetemi docens Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar	Dr. Somogyi Zoltán tudományos tanácsadó Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet
Veres Dóra környezetvédelmi szakértő VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.	Allaga-Zsebeházi Gabriella meteorológus Országos Meteorológiai Szolgálat

4. Mezőgazdaság és Klímaváltozás: két tűz között!

4.1. Bevezetés

A körülöttünk elterülő földfelület legnagyobb használója a mezőgazdaság. Magyarország 93.000 km² teljes területéből (ami a mezőgazdaság megszokott mértékegysége szerint 9,3 millió hektár, röviden „ha”) a mezőgazdaság 4,9 millió hektáron (52,7 %) gazdálkodik.

További 1,9 millió hektár (20,4 %) az erdőkkel borított terület, a többi a települések, utak, egyéb létesítmények területe.

A mezőgazdaság felelőssége már csak e tekintetben is jelentős, hogy mit „művel” ezen a több mint félországnyi területen. A jó gazda gondosságával fenntartható módon használja, műveli a földet (a termőföldet), vagy a rövidtávú haszonmaximalizálás érdekében lepusztítja a mezőgazdaság meghatározó termelőeszközét.

A termőföld a forrása az általunk elfogyasztott élelmiszerek csaknem 100 %-ának. A termőföldön termesztett őszi búza lisztjéből sütik a kenyerünket, vagy a termőföldön termesztett kukoricán hizott sertésből készül a hétvégi rántottszelet. A termőföld talajának összetétele, minősége, szervesanyag, ásványianyag és mikrokozmosz (pl. a talajbaktériumok milliárdjai) jellemzői meghatározzák a rajta termesztett növények tápanyagtartalmát is. „És az ételed legyen az orvosságod!” szólás-mondás alapján régóta tudjuk, hogy az egészséges étel az ember egészségének egyik meghatározó eleme. De mennyire egészséges növények teremnek a „minél több termést bármi áron” cél érdekében agyonvegyszerezett, agyonműtrágyázott és gépekkel 50-100 éve meggyötört talajon?

Minél többen vagyunk a Földön, minél több terméket állítunk elő, minél többet fogyasztunk, az annál több üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátással jár. A mezőgazdaság (az erdőgazdálkodás, valamint az egyéb területhasználatok együttes) ÜHG kibocsátása a globális kibocsátás 24 %-a, az IPCC 2014-es jelentése szerint. Amennyiben a mező- gazdaság által előállított növényi és állati alapanyagokat az élelmiszeripari feldolgozással együtt vizsgáljuk (az un. élelmiszer-ellátási láncot: a természeti területek művelésbe vonásától a mezőgazdasági termelésen át a csomagolásig, az élelmiszerek áruházi kiszállításáig és hűtéséig, a hulladékkezeléssel bezárólag) az már a globális ÜHG kibocsátás 34 %-át eredményezi. A fogyasztói társadalmak ezzel az ÜHG teherrel ellátott élelmiszer mennyiség 1/3-át dobják ki a kukába. Mi a mezőgazdaság mozgástere az egyre növekvő népesség ételmezési kényszere mellett, van-e lehetőség az ÜHG kibocsátás szinten tartására, esetleg csökkentésére? Vagy a termelés további intenzifikálásával pl. nagyobb nitrogén-

műtrágya adagok használatával, a nagyobb dinitrogén-oxid (N₂O) üvegházhatású gáz kibocsátásának csapdájába vagyunk zárva? Van-e még időnk az ENSZ Párizsi klímacsúcsán a francia mezőgazdasági miniszter (Stéphane Le Foll) által vizionált „az év 365 napján zöldellő növényekkel kössük mega fölös széndioxidot (CO₂) és a talaj szerves anyaga tárolja azt” elképzelés globális elterjesztésére? Versenyt futunk az idővel.

A következő oldalakon a mezőgazdaság és a klímaváltozás kapcsolatát nagyon-nagyon érintőlegesen bemutatva, vertikálisan a szántóföld felszíne (esetenként a növények felszín alatti gyökérzónája) és a troposzféra (az emberiség által kibocsátott gázok 95 %-a ebben a földfeletti 15-20 km-es légrétegben halmozódik fel) között ki- rándulunk. Horizontálisan a szántóföld, Magyarország, az EU és a Föld területét érint- jük.

Egyébként csak a jövőnkről lesz szó... ásóra, kapára föl!

4.2. Helyzetértékelés

4.2.1. Népeség

A jelenlegi Földi népesség és annak várható alakulása teljesen egyértelmű, parancsoló üzenetet küld a mezőgazdaság felé: megszülettünk, élünk és életben akarunk maradni, tehát táplálkoznunk kell! A mai időszámításunk kezdetekor kb. 200 millió emberélt a Földön. A XX. század elejétől azonban valami nagyon megváltozott, ami a népesség csaknem exponenciális, a jelenben is tartó növekedését eredményezte.

- 1900-ban: 1,5 milliárd ember
- 1930-ban: 2 milliárd (+ 30 év)
- 1960-ban: 3 milliárd (+ 30 év)
- 1975-ben: 4 milliárd (+ 15 év)
- 1987-ben: 5 milliárd (+ 12 év)
- 1999-ben: 6 milliárd (+ 12 év)
- 2011-ben: 7 milliárd (+ 12 év)
- 2023-ban: 8 milliárd (az utóbbi évekre jellemző kb. 80 millió fő/év nettó népeségnövekedést figyelembe véve)
- 2056: 10 milliárd (ENSZ előrejelzés).

A népeségnövekedés okai összetettek, a következő történések valószínűleg közrejátszottak: az egészségügyi rendszer fejlődése, a nagy energia tartalmú fosszilis energiahordozók (kőolaj, földgáz) elterjedése, az ezek által is támogatott gyors technológiai fejlődés, a műtrágyák és növényvédőszeres tömeges felhasználása a mezőgazdaságban. A népesség alakulása azért elválaszthatatlan a mezőgazdaság és a

klímaváltozás ügyétől, mert egyrészt kényszerhelyzetet teremt a mezőgazdasági termelés számára, több embernek több élelmiszert (alapanyagot) kell előállítani, másrészt több ember nagyobb ökológiai lábnyoma, a több ÜHG kibocsátás tovább növeli a mezőgazdaság éghajlatváltozás hatásainak való kitettségét. A globális klímadilemma egyik központi kérdése a „gazdag észak” (fejlett fogyasztói társadalmak, nagy múltbeli és nagy jelenlegi 1 főre jutó ÜHG kibocsátással) és a „szegény dél” (fejletlen-elmaradott társadalmak, alacsony múltbeli és alacsony jelenlegi 1 főre jutó ÜHG kibocsátással) között a jövőre vonatkozó ÜHG kibocsátás ütemezése. És ha az alábbi online világmérő (<https://www.worldometers.info/>) adatait (2021. október 14.) megtekintjük, akkor talán a „szegény délnak” kellene több lehetőséget adni a kibocsátások növelésére: Alultáplált emberek száma a világon: 854.915.001 fő (a népesség kb. 11 %-a). Túlsúlyos emberek száma a világon: 1.716.175.499 fő (a népesség kb. 22 %-a). Elhízott emberek száma a világon: 791.997.134 fő (a népesség kb. 10 %-a).

4.2.2. Talaj

„A talaj a legfontosabb összekötő elem a globális környezeti problémák - aklímaváltozás, a vízgazdálkodás és a biodiverzitás veszteségei - között.”

José Luis Rubio a Talajmentés Európai Szövetségének elnöke

A talaj (föld, termőföld) a Föld legkülső szilárd burka, amely a növények termőhelyéül szolgál. Alapvető tulajdonsága a termékenység, vagyis az, hogy kellő időben és a szükséges mennyiségben képes ellátni a rajta élő növényzetet vízzel és tápanyagokkal. A talaj feltételesen megújuló, megújítható természeti erőforrás. Megújulása azonban nem automatikus, működésének fenntartása állandó tudatos tevékenységet és odafigyelést követel. A talaj legfontosabb tulajdonságai:

- Fotoszintetizáló szervezetek biotermelésének közege.
- Baktériumok, gombák, és fejlettebb heterotróf szervezetek élő és bújóhelye, valamint tápanyagforrása.
- Víz tároló, tápanyag szolgáltató, átalakító és puffertoló (tompító) rendszer.
- Elhalt szerves maradványok lebontásának, átalakításának a közege.
- Vízrel mozgó szennyezőanyagok megkötő, szűrő és lebontó közege.

Amikor a talaj felszínén, vagy a talajban bármilyen műveletet végzünk, vagy megváltoztatjuk a talajra ható éghajlati, vagy benapozási viszonyokat, akkor hatásfolyamatok sorozatát indítjuk el. Magyarországon a mezőgazdaságilag művelt területeken fellépő problémákat a vízerózió, szélrózsió, szikesedés, talajsavanyodás és

fizikai degradáció jelenti. Az elmúlt 100 évben a termőföldre gyakorolt a legnagyobb hatású beavatkozások:

- 1.) **A rendszeres szántás, talajforgatás**, amely a talaj szervesanyagtartalmát a levegő oxigénjével összekeverve berobbantja a szervesanyagokat lebontó aerob mikroszervezetek szaporodását, ezáltal csökken a szervesanyag tartalom és a szerves szén oxidálásával CO₂-t juttat a légkörbe. A talajok fizikai degradációját a talajművelés okozza: a nehézgépek a talajszerkezet romlását, porosodását, tömörödését, eketalp réteg kialakulását eredményezik.
- 2.) **Túlhajtott kemizálás**: Az elmúlt század a kémia százada, a műtrágyák, a peszticidek, az iparszerű termelési rendszerek intenzív termesztés technológiáinak kora volt, erősen kizsigerelve a termőtalajt, nem hagyva időt a biológiai regenerálódásra. Ennek következtében a termés hozamok növeléséért legtöbb gazdálkodó egyre több műtrágya felhasználásával próbálja megoldani. Kutatások szerint mindezek a tényezők olyan stresszt okoztak a talajban, hogy jelentősen csökkent a talaj egészségét, termőképességét fenntartó ökoszisztéma, élővilág, biodiverzitás. Az 1970-es évek végén a magyarországi talajok 13%-a erősen, 42%-a közepesen ill. gyengén savanyú kémhatású volt. A talajok savanyodása az 1980-as évektől gyorsult fel, és vált az egyik legveszélyesebb degradációs folyamattá. A savanyodás folyamata a talajok kb. 50%-ánál mérszárnyat és termékenység csökkenést eredményezett. A talajok savasodása számos egyéb talajtulajdonság változását vonja maga után, pl. megváltozik a pufferkapacitása a potenciálisan felvehető tápanyagok és toxikus elemek szempontjából, lecsökken a termőképessége. Változást okoz a talajlakó életközösségekben is, a talajlakó élő szervezetek száma lecsökken. A talaj savanyodást elsősorban a helytelen műtrágyázás, kisebb mértékben a levegő szennyezés okozta száraz és nedves savas ülepedés (főként NO_x, SO₂ emisszióból) okozza.
- 3.) **A lejtős (dombvidéki) és szélerózióra hajlamos területek nem megfelelő művelése**: A talajerózió az ország területének kb. 25%-át, azaz 2,3 millió ha hegy- és dombvidéki területet veszélyeztet. Az ország területének kb. 16%-át veszélyeztető szélerózió (defláció) elsősorban a Duna-Tisza-közi, nyírségi és somogyi területeken jelentkezik. A becslések szerint a víz- és szélerózió miatt évente átlagosan 80-100 millió m³ talaj, ezáltal 1,5 millió t szervesanyag pusztul le. A legnagyobb gondot tehát a termőképés humuszréteg elvékonyodása, helyenként teljes csonkolódása jelenti, azaz a termőtalajvesztés ill. a talaj termőképességének csökkenése. (Környezetmérnöki Tudástár Sorozat, 17. kötet Környezetállapot-értékelés, monitorozás Szerkesztő: Dr. Bulla Miklós)

A hazai helyzethez képest az Európai Unió talajainak állapota még kedvezőtlenebb:

- a talajok 60 %-a vízerózió és szélrózió által veszélyeztetett,
- a talajok 40 %-ában kevés a szervesanyag (Dél-Euróba, Franciaország, Egyesült Királyság, Németország),
- A mezőgazdasági terület 10 %-a toxikusan szennyezett,
- A talajok 90 %-a gyenge biológiai aktivitású,
- 1990 –2000 között, 10 év alatt! az Európai földek 2,8 %-án (27 millió ha) változott meg a földhasználat (városok, utak, stb.) **(EU Talajvédelmi Tematikus Stratégia, 2006.)**

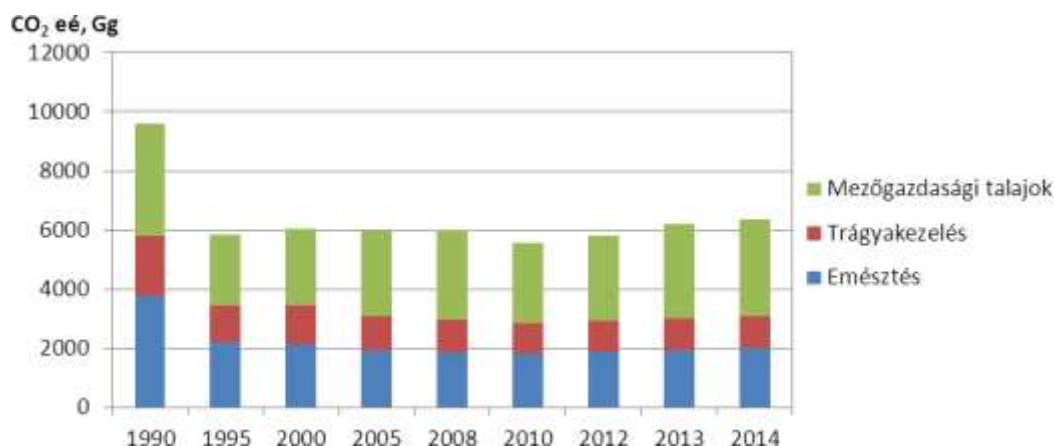
Miközben pl. 2007-ben az Európai lakosság által elfogyasztott növényi-és állati eredetű termékek előállításához szükséges földterületek 40%-át a világ más kontinensein (Európán kívül) művelték. **(Magyar Természetvédők Szövetsége: Rejtett Hatások)**

A talaj minőségére ható egyik legjelentősebb tényező az Unió esetében is a mezőgazdaságban alkalmazott művelési rendszer. A talaj szervesanyag-tartalmának és biológiai sokféleségének, valamint ebből következően a talaj termékenységének csökkenése mögött igen gyakran a mezőgazdaságban alkalmazott nem fenntartható gyakorlat – így a törekeny egyensúlyú talajokon végzett mélyszántás és az eróziót elősegítő termények, mint a kukorica termesztése – húzódik meg.

Miközben a mezőgazdaság túlgépesítésének, túlművelésének káros következményeit egyértelműen jelzi a talajok minőségromlása, addig a jelenleg is érvényes hazai szabályozás szerint: a mezőgazdasági termelő a jövedéki adóról 2016. évi LXVIII. törvény

117. § (1) szerint évente hektáronként legfeljebb 97 liter gázolaj megfizetett adója 82 százalékának a visszaigénylésére jogosult.

Miért jelent gondot a termőföld állapotának romlása az éghajlatváltozás már jelenleg is meg tapasztalható szélsőséges időjárási eseményei gyakoriságának növekedésével összefüggésben?



1. ábra: Az üvegházhatású gázok kibocsátásának alakulása a mezőgazdaságban Magyarországon. (OMSZ,2014, 1 Gg= 1 millió kg)

Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai a talajokra: aszályok, özönvízszerű esőzések, hőszéllármók, szélviharok. A talaj magasabb szervesanyag- és humusztartalma az, amely mintegy „szivacs módjára” gyűjti, tárolja magába a nagymennyiségű csapadékot és képest azt hosszabb időszakon keresztül a természetett növények rendelkezésére bocsátani, ezáltal átvészalni az aszályos időszakokat.

A talaj szerves anyaga az élőhelye a talaj rendkívül összetett mikrokozmoszának, a mikroorganizmusok milliárdjainak. Itt most csak a baktériumokra és a gombákra utalunk. Egy-egy gramm talajban többszáz féle baktérium és akár 5-600-féle gombafaj is élhet.

Baktériumok: A fehérjét az ammonifikáló baktériumok bontják le aminosavakra, majd ammóniává. Az ammóniából azután a nitrifikáló baktériumok nitrátot készítenek. A baktériumoknak ez a tevékenysége teszi lehetővé, hogy a talajban a növények számára felvehető nitrogén álljon rendelkezésre. Előfordulnak olyan baktériumok, amelyek a nitrogénvegyületeket nem a talaj szerves anyag készletéből állítják elő, hanem a légkör szabad nitrogénjét kötik meg. Ezek a nitrogéngyűjtő baktériumok a pillangósvirágú növények gyökereiben levő gumókban élő rizóbiumok.

Gombák: A baktériumok mellett a talajban különböző gombák fordulnak elő, amelyek gombafonalaikkal a növények körüli talajt hálózák be és teszik elérhetővé az ott található tápanyagokat.

1. táblázat: A gyökérszóna 1 g talajában mérhető mikroorganizmusok száma búza gyökereket tartalma- zó és gyökerektől mentes talaj esetében, valamint a rizoszféra-faktor R/S (Rouatt és mtsai 1960) (Rizoszféra alatt a talaj azon szűk zónáját értjük, amelyben a gyökerek által kiválasztott kémiai anyagok hatásukat kifejtik.)

Szervezetek	A rizoszféra talaja	Gyökérmentes talaj	R/S
Baktériumok	1200*10 ⁶	53*10 ⁶	5-50
Actinomycetes	46*10 ⁶	7*10 ⁶	1-10
Gombák	1*10 ⁶	0,1*10 ⁶	5-10
Protozoák	2*10 ³	1*10 ³	1-3
Algák	5*10 ³	25*10 ³	0,2
Speciális baktériumok:			
Ammónifikálók	500*10 ⁶	4*10 ⁶	125
Anaerob gáztermelő baktériumok	39*10 ⁴	3*10 ⁴	13
Denitrifikálók	126*10 ⁶	0,1*10 ⁶	1260
Aerob cellulózbontók	70*10 ⁴	10*10 ⁴	7

Tehát a talajok rendszeres forgatásával:

- elporosítjuk a talajt, továbbá eketalpréteget hozunk létre (csökkentjük az egyre nagyobb intenzitású csapadékok helyben tartásának, befogadásának lehetőségét),
- kipárologtatjuk a még talajban levő vizet,
- károsan változtatjuk meg a vertikális rétegződésű mikrovilág (aerob, anaerob baktériumok) elhelyezkedését, ezáltal többlet szervesanyagot oxidálunk légköri széndioxiddá. A szervesanyag csökkenése rontja a talajok víz- és tápanyagszolgáltató képességét.

4.2.3. Növénytermesztés

A talajban található szerves szén a légkörből kötődik meg, mégpedig a zöld növényzet által, a folyamat neve fotoszintézis:



Mi történik a fotoszintézis keretében a növény által előállított szőlőcukorral (C₆H₁₂O₆) és a belőle keletkező szervesanyagokkal? A növények földfeletti biomasszájából a szén 2/3-ad része visszakerül a légkörbe (ennek egyrészét a terméssel elvisszük a szántóföldről) és csak 1/3 része épül be a lebomlás során a talajba hosszú életű talajalkotó szerves anyaggá. A növények földalatti gyökérzete a földfeletti biomasszájának a 20-40 %-át teszi ki, ami helyes talaj- és mezőgazdálkodással ott tartósan megkötve is marad. Folyékony szénútvonalnak nevezik azt az utat, amelyet a megkötött szén tesz meg a növények levélzetétől a gyökereikig, mégpedig hihetetlen sebességgel. Az összes fotoszintetizált szén 10-40 %-a egy órán belül áthalad a

gyökéren és gyökérváladákként jelenik meg a talajban, táplálva a talajéletet. (Forrás: Eric Toensmeier: The Carbon Farming Solution)

A talajok természetes állapota – a növénytermesztés céljából történő művelésbe vétel előtt – a növényzettel, bokrokkal, fákkal állandóan borított talajfelszín volt. A természetes vegetáció által a fotoszintézis során termelt szervesanyagok részben a gyökérváladákon, részben az elhalt növényi- és gyökér részeken keresztül folyamatosan növelték a talaj szervesanyagtartalmát. Ez a talajállapot az intenzív növénytermesztéssel alapvetően megváltozott. A korábbi soknövényes vegetációt felváltotta az egynövényes, sok külső inputot (gép, üzemanyag, vetőmag, műtrágya, vegyszer) felhasználótechnológia.

2 táblázat: A Magyarországon a szántóföldekre jelenleg jellemző növénytermelési szerkezet és felszínborítás

<i>Növény</i>	<i>Vetés időszaka</i>	<i>Betakarítási időszaka</i>	<i>A talaj növényzettel fedett</i>	<i>Az elővetemény után a talaj fedetlen</i>
Kukorica	április	szeptember-október	6-7 hónap	búza után: 9 hónap
Őszi búza	október	június	9 hónap	kukorica után: 1 hónap
Napraforgó	április	szeptember	6 hónap	búza után: 9 hónap
Káposzta repce	szeptember	június	10 hónap	búza után: 2 hónap

A növények termesztése közötti időszakokban a talajok hosszabb-rövidebb ideig fedetlenek.

A fedetlen talaj lejtős területen könnyebben erodálódik (a lezúduló csapadék elszállítja a talajt) és az erózió a szervesanyagokban gazdagabb felső réteget károsítja. A könnyű, homoktalajokat a szél könnyebben szállítja el, a fedetlen talajból a nedvesség könnyebben kipárolog. A termesztés során elvégzett talajműveletek (előkészítés, magágy kialakítása, vetés, növényápolás, növényvédelem, tápanyagutánpótlás, betakarítás) és felhasznált anyagok (vetőmag, vegyszerek, műtrágya, üzemanyag) elsődleges célja a minél nagyobb termés elérése. A termesztés során okozott talajkárok csak akkor váltak/válnak fontossá, ha a termés maximalizálását korlátozzák. A szántóföldön betakarított és onnan elszállított terméssel (pl. 6,0 t/ha őszi búza, 10 t/ha kukorica) a szántóföld talajának tápanyagtartalma csökken, különösen ha még a melléktermékeket (búza szalma, kukorica szár) is elszállítják, pl. biomassza erőműben eltüzelni. A terméssel kivont tápanyagok utánpótlását korábban szervesstratégiákkal és zöldtrágya növényekkel, az utóbbi 60-80 évben műtrágyákkal pótoljuk.

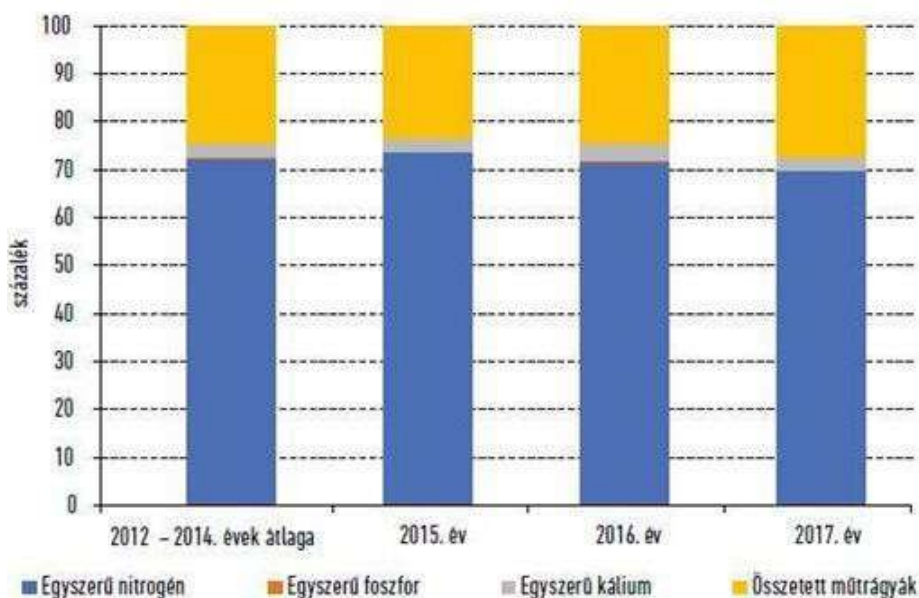
Ez a gyakorlatban NPK (nitrogén, foszfor és kálium) visszapótlását jelenti, aminek következtében a talaj mezo- és mikroelem tartalma lecsökken. (Ennek következményei

nyilvánvalóan megjelennek a termesztett növények beltartalmi értékeinek változásában is.)

A legnagyobb mennyiségben felhasznált nitrogén műtrágyák (különösen az egy adagban 50 kg/ha hatóanyag fölötti mennyiségben kijuttatva) talajsavanyító hatása régótaismert.

A talajok kémhatásának változása a talajban lejátszódó, igen sokrétű és egymással gyakran szoros összefüggésben lévő folyamatokra van kihatással:

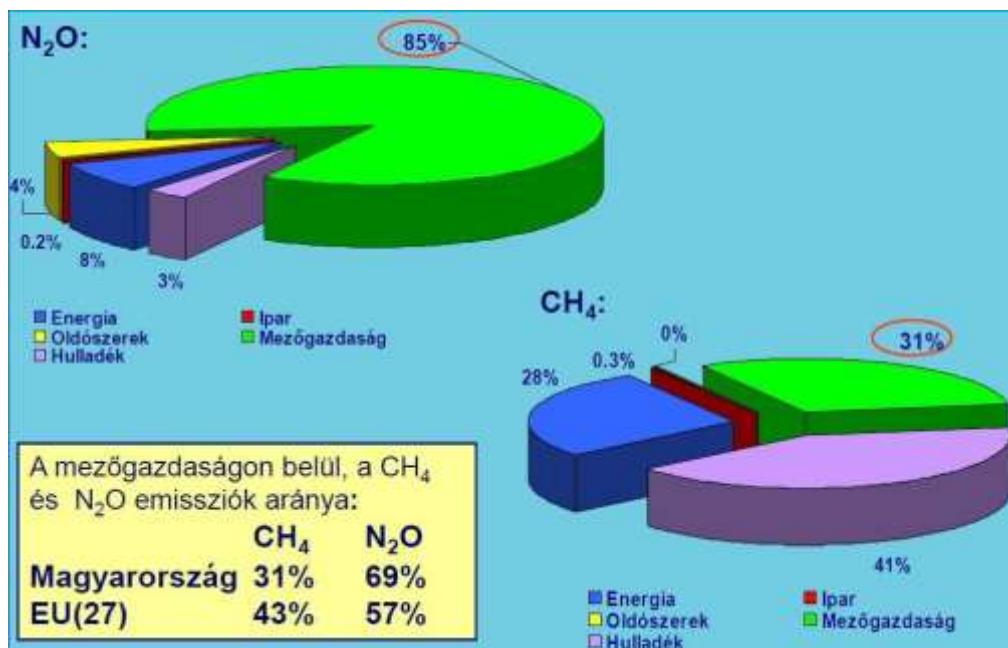
- csökken a szervesanyagok mineralizációjának üteme, az ammonifikáció és a nitrifikáció intenzitása, a gyökérzet tápanyagfelvevő-képessége, a talaj kationcserélő kapacitása,
- megnövekszik a talaj Al-, Fe-, Mn- és nehézfém tartalmának mobilitása, a tápelemek kilúgzási vesztesége.



Forrás: AKI

2. ábra: A hazai mezőgazdasági termelők által megvásárolt műtrágya típusok megoszlása természetes súlyban, AKI (Agrárgazdasági Kutatóintézet)

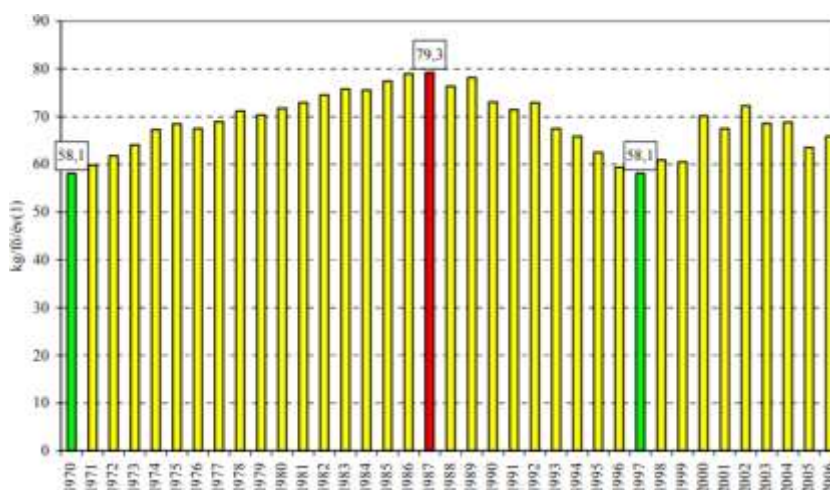
Az előbbieken túl a hazai ÜHG leltárban a mezőgazdaság produkálja a dinitrogén-oxid (N_2O) 85 %-át.



3. ábra: A magyar mezőgazdaság ÜHG súlya a nemzeti leltárban, 2009. (OMSZ)

4.2.4. Állattenyésztés

Az állattenyésztés a tányérunknál kezdődik. Ha hetente csak 1-2 húsos napot tartunk, ami nagyszüleink idejében általános volt, akkor egy extenzív állattenyésztés is képes megtermelni a szükséges húsmennyiséget, ez Magyarországon nagyjából 30-35 kg/fő/év húsfogyasztást jelentett az 1930-as években. Amennyiben hetente hétszer tartalmaz a főételzés húst és a többi étkezésekben is előfordulnak a húskészítmények, akkor már nagylétszámú szakosított állattartó telepekre van szükség a 60-80 kg/fő/év közötti húsfogyasztás alapanyagainak megtermelésére.



4. ábra: Az 1 főre jutó húsfogyasztás Magyarországon, 1970-2006 között (Az állati eredetű élelmiszerek fogyasztásának alakulása Magyarországon, Balogh Viktória, Agrártudományi Közlemények, 2009/34)

A világ húsfogyasztása az elmúlt 20 évben megduplázódott, 2019-ben elérte a 360 millió tonnát. A két legfőbb ok a globális népesség- és jövedelemnövekedés voltak. A fogyasztás bővülésének üteme az elmúlt években lassult, de az OECD prognózisa szerint 2028-ig további 13 százalékos növekedéssel számolnak. A fejlett országokban 68,6 kiló volt az egy főre jutó átlagos húsfogyasztás 2019-ben. A leggazdagabb országokban összesen 121 millió tonna hústerméket értékesítettek: 48 millió tonna szárnyast, 41 millió tonna sertést, 29 millió tonna szarvasmarhát és 2,7 millió tonna birkát. A fejlődő országokban az átlag több mint 50 százalékkal alacsonyabb, 26,6 kiló volt.

De miért gond a nyugati világ 70-80 kg-os (USA és Ausztrália 100 kg fölötti) éves egy főre jutó húsfogyasztása és annak további globális növekedése? Azért, mert az állattenyésztésnek rendkívül magas az ÜHG kibocsátása. A globális állattartás ÜHG kibocsátása 18 %, míg a globális közlekedése „csak” 14 %. Az állattartás használja az összes mezőgazdasági terület 70 %-át. Az Amazonas vidékén korábban erdős területek 70 %-át marhalegelők foglalják el, és a maradék területeken állati takarmánynövényeket termesztnek. (FAO, 2006.) Az állattartás jellemző ÜHG kibocsátásai: széndioxid, metán, dinitrogén-oxid. Az állattartás ÜHG kibocsátásai az alábbi technológiai és élettani részekből állnak össze:

- Nagy földterületen történő takarmánytermesztés.
- A takarmányok szállítása a termesztés helyeiről az átmeneti tárolókba, takarmánykeverő üzemekbe, illetve az állattartó telepekre. (pl. az állati takarmányok fehérjetartalmát biztosító szójababból várhatóan az idén több mint 81 millió tonna árut exportálnak. A legnagyobb exportőr az USA 38,65 millió tonnával. Brazília és Argentína állnak még a dobogó második és harmadik fokán 25,6 és 7 millió tonnával. A legnagyobb importáló országok listáját Kína magasan vezeti 42,5 millió tonnával az EU 13 millió tonnás éves behozatala előtt.)
- A kérődző állatok (szarvasmarha, juh, kecske) emésztése során keletkező gázok (a szarvasmarha kibőgött gázfázisának 30-40 %-a metán, 1 db szarvasmarha összes ÜHG kibocsátása 1,49 tonna CO₂e, a Klímabarát Települések ÜHG leltára alapján).
- Trágyakezelés, hígtrágyakezelés.

A klímaváltozás hatásai az állattartásra rendkívül sokrétűek:

- a takarmányok mennyiségének és minőségének változása (aszálykárak, hóhullámok stb. következtében),
- az itatóvízhez való hozzáférés változása,
- hőstressz hatása az állatállományra,

4.3. Célok, feladatok

4.3.1. Talaj

Az EU Bizottsága szerint a Green Deal (Zöld Egyezség) a Farm to Fork (F2F, „a földtől a villáig”) stratégia, valamint az EU biodiverzitási és éghajlati stratégiája révén valósul meg, amelyet 2020 májusában tettek közzé.

A Green Deal 2030-ra az alábbi célokat fogalmazza meg:

- 1.) A talajok egészségének visszaállítása, illetve meghatározó mérhető minőségváltozás és ökoszisztéma szolgáltatás az európai talajok 75 %-án.
- 2.) Az ökológiai termelés növelése a művelhető területek 25 %-ára.
- 3.) A talaj szerves-anyagának évenkénti 0,4 %-os növelése (www.people4.soil.eu).
- 4.) A peszticidek, a mezőgazdasági kemikáliák, mesterséges éleldegen anyagok (xenobiotikumok) 50 %-al való csökkentése.
- 5.) A városiasodás és közlekedés miatt lefedett területek felszabadítása, újrahasznosítása a jelenlegi 13 % helyett 50 %-ra.
- 6.) A talajbiológiai funkciók és a biodiverzitás helyreállítása legalább 30-50 %-al.
- 7.) Az ételmisszer és faimport, a talajdegradáció csökkentése 20-40 %-al.

A Green Deal célok megvalósíthatóságát, annak ÜHG kibocsátásra, termelésre és fogyasztói árakra gyakorolt hatását több hatástanulmány vizsgálta, itt most röviden a „Szimulációs tanulmány az F2F-stratégia termelésre gyakorolt hatásáról, kereskedelem, jólét és környezet a CAPRI-modell alapján által” tanulmányra utalunk (Prof. Dr. Dr. Christian Henning (Kiel Egyetem) és Dr. Peter Witzke (EuroCare, Bonn), amely alapvetően a Németországi hatásokra fókuszált, kitekintéssel az EU-ra.

- A termelés csökkenése a marhahús esetében -20%, a tej esetében -6,3% körül között mozog, valamint -21,4 % és -20 % a gabonafélék és az olajos magvak esetében az EU egész területén. Az állatok száma még tovább csökkenne, az hízó marhák esetében pedig -45% -os csökkenés és -13,3% a tejelő tehenek és fiatal szarvasmarhák esetében, míg a gabona- és olajos magterületek csak -2,6%-kal, illetve -6%-kal csökkent. Az N-mérleg 50%-os csökkentéséhez képest minden más F2F intézkedés mérsékeltebb termelési kiigazításokat eredményezne, amelyek általában elmaradnak 10% alatt.
- A termelés erőteljes csökkenése ugyanolyan jelentős áremelkedést von maga után EU -ban és Németországban. A legerősebb árhatásokat a marhahús esetében lehetett megfigyelni, a +58%-os növekedéssel, ezt követi a

sertéshús +48% -os növekedéssel, majd a nyers tej körülbelül +36%-os növekedése.

- A mezőgazdaság ÜHG kibocsátása -109 millió t CO₂e (a mezőgazdasági globális felmelegedési potenciál (GWP) -29% -os) csökkenését jelenti a kiindulási értékhez képest.

Az egyes GWP-komponenseket tekintve az N₂O-kibocsátás -37,5%-kal csökken, míg a CH₄ -kibocsátás -22,7%-kal csökken. Az ÜHG-kibocsátás tekintetében a legerősebb hatás az 50% -os N- műtrágya csökkenésénél, ami az ÜHG-kibocsátás-26%-os csökkenését eredményezi. Minden más intézkedés csak alacsonyabb csökkentési arányokat eredményezne, amelyek mindegyike kisebb, mint -5%, kivéve a peszticidek 50%-os csökkentését, ami - 5,5%-os csökkentést jelentene.

4.3.2. Növénytermesztés

Az ENSZ által 196 ország részvételével megtartott Párizsi klímacsúcson „4 per 1000” nemzetközi kezdeményezést Franciaország indította el 2015. december 1 -jén.

A kezdeményezés célja annak bemutatása, hogy a mezőgazdaság, és különösen a mezőgazdasági talajok kulcsszerepet játszhatnak az élelmezésbiztonság és az éghajlatváltozás tekintetében.

A javaslat alapvetően az alábbi két régóta ismert tényre épít:

- A légköri széndioxid megkötésének (befogásának), ezáltal a légköri CO₂ csökkentésének leghatékonyabb módja a növényi fotoszintézis,
- A globális talajok 2-3 -szor több szenet tartalmaznak, mint a légkör.

Ha ez a szén-dioxid 0,4%-kal évente emelkedne a talaj első 30-40 cm-es rétegében (a talaj szerves anyagának növekedésével), akkor a légkörben a szén-dioxid (CO₂) éves növekedése jelentősen csökkenne.

A fenti cél teljesítése érdekében a mára már globálissá vált kezdeményezés a következő intézkedéseket javasolja:

- Csökkenteni kell az erdőirtást,
- Ösztönözni kell azokat az agroökológiai gyakorlatokat, amelyek növelik a talajban található szerves anyagok mennyiségét, és megfelelnek az évi 4 ‰ célnak.
- Ne hagyja a talajt fedetlenül és végezzenek kevesebb talajművelést a szénvesztés csökkentése érdekében.

- Valójában minél jobban borítja a talajt, annál inkább gazdag lesz a talaj szerves anyagokban és ezáltal szénben.
- Táplálja a talajt trágyával és komposzttal.
- Helyreállítani a terményeket, legelőket és a leromlott erdőket, valamint bolygónk száraz és félszáraz területeit.
- Például ültessen fákat és hüvelyeseket (amelyek a nitrogént is megkötik a talaj légköréből, elősegítve a növények lombnövekedését).
- Gyűjtse össze a vizet a növények lábánál.

A „4 per 1000” kezdeményezés javaslatai lényegében a talajmegújító mezőgazdaság alapelveivel vannak összhangban, melyek az alábbiak (a talajegészség 5 alapelve):

- 1.) Folyamatos talajtakarás
- 2.) Minimális talajbolygatás
- 3.) Növényi diverzitás
- 4.) Élő növények és gyökerek 365 napon keresztül
- 5.) Az állatállomány integrációja

A talajmegújító mezőgazdaság egyik hazai képviselője (Kökény Attila) szerint Magyarország éves széndioxid kibocsátása (47.7 millió tonna CO₂/ 2018. év), a hazai 4,5 millió hektár termőföldön évi 0,2 % szénmegkötéssel teljes mértékben megköthető lenne.

3. táblázat: A jelenleg uralkodó, iparszerű mezőgazdaság és klímaadaptációt jobban szolgáló talajmegújító mezőgazdaság közötti különbségek

	Iparszerű, talajforgató mezőgazdaság	Talajmegújító mezőgazdaság
Víz megtartás	A felső 30 cm-ben, kevés	akár 70-80 cm mélységig, több
Hirtelen lehulló csapadék	Belvizet okoz	Elnyeli
Tápanyagforrás	Műtrágyából	Talajból, feltáró közti élőlényeken át
Talajszerkezet	Nincs, gyenge	Kiépült, fejlett
Terméshozam	Magas, a talajkimerülés után csökken (vagy minősége, tápanyagtartalma csökken)	Átállás után magas
Szervesanyag tartalom	Alacsony, csökken	Magas, növekszik
Gazdasági haszon, ha az iparszerű=1	1	1,7-2
Műtrágya használat	Magas	Alacsony, vagy nincs
Növények ellenálló képessége	Alacsony	Magasabb

Dr. Hetesi-Dr. Molnár: Mezőgazdaság az éghajlatváltozás korában

4.3.3. Állattenyésztés

Az állattenyésztés - mint ahogyan azt korábban már írtuk- a tányérunknál kezdődik. Jelenleg a fejlett világ húsfogyasztása stagnál, a fogyasztásban a vörös húsok aránya csökken, a fehér húsoké nő. A fejlődő országok húsfogyasztása növekszik, számukra a húsevés a jólét, a fejlődés jele. Élettani, egészségi szempontból egyáltalán mennyi hús (húskészítmény) elfogyasztására van szüksége egy átlagembernek?

Az aminosavakból felépülő állati fehérjéből napi szinten 50-60 gramm (18-22 kg/fő/év) hús az a mennyiség, amit a dietetikusok javasolnak ahhoz, hogy a szervezet esszenciális aminosav- szükséglete biztosítva legyen. Ha azonban a napi fehérjeigényt teljes mértékben állati húsokból szeretné valaki fedezni, akkor ahhoz 200-240 gramm (73-87 kg/fő/év) hús elfogyasztása szükséges.

Tekintettel arra, hogy a napi fehérjeigény kielégítése növényi alapon is történhet, ezért rendkívül nagy lehetőség van az állati eredetű fehérjék mennyiségének csökkentésére, ezáltal az állattartás ÜHG kibocsátásainak csökkentésére. (1 kg marhahús előállítás pl. 36,4 kg CO₂-dal egyenlő melegítőképességű ÜHG kibocsátásához vezet.)

Húsok 100 grammjának fehérjetartalma: csirkehús 23 %, kacsahús 19 %, marhahús 16 %, sertéshús sovány 21%, sertéshús közepes 17 %, sertéshús kövér 14,5 %.

Növények 100 grammjának fehérjetartalma: szárazbab 22 %, sárgaborsó 21,7 %, csicseriborsó 20,5 %, szója 41,6, lencse 26 %.

Az állattartás volumenének csökkentése nélkül (kevesebb állat, kevesebb emésztési eredetű metán kibocsátás, kevesebb trágya, kevesebb lekötött takarmánytermő terület stb.) erősen korlátozottak az állattartás egyéb ÜHG csökkentési lehetőségei. (Például a szakosított sertéstelepek túlnyomó részén bevezetett hígtrágyás technológiában keletkező hígtrágya átmeneti tárolása és mezőgazdasági hasznosítása során keletkező metán és dinitrogén-oxid mennyiségének csökkentése.)

Az állattartás mennyiségének visszaszorítása, csökkentése (ezáltal a vegetáriánus táplálkozás szorgalmazása) számos globális környezeti és éghajlati előnnyel jár:

- hatalmas itatóvíz megtakarítás,
- 1/3-dal kevesebb fosszilis energia felhasználás,
- 3,4 millió, ha takarmánytermelő terület egy része felszabadul,
- jelentős mennyiségű élelmezési célú gabona keletkezik,
- nagy ÜHG kibocsátás csökkenés.

4.4. Összefoglalás

- 1.) A mezőgazdaság rendkívül nagy kihívás előtt áll, napról napra egyre több embert kell/kellene élelmeznie a Földön. A XX. századba (1990-ben) kb. 1,5 milliárd földlakó lépett át, majd az egészségügyben és a mezőgazdaságban bekövetkezett óriási fejlődés következtében a 2. világháború után el kezdtünk szaporodni. Ez a népességnövekedés az 1970-es évektől kezdődően 12-14 év alatt újabb és újabb 1 milliárnyi népességnövekedést jelentett. Ez a robbanásszerű létszámnövekedés jelenleg is tart, évente kb. 80 milliónyi a nettó földlakógyarapodás, tehát 2023-ban valószínűleg elérjük a 8 milliárdos népességet. Az előrejelzések szerint a későbbiekben csökken majd a népességnövekedés, de 2055-2060-ra már 10 milliárdos népességet jeleznek az ENSZ demográfusai, azon a Földön, aminek az ökológiai eltartóképességét az ökológiával foglalkozó szakemberek 1980-as években kb. 4 milliárdos népességnél mondták még fenntarthatónak. A klímaváltozás megállításának, visszafordításának egyik legnagyobb kihívása ennek a brutális népességnövekedésnek a kezelése, a Földi népesség és a Föld ökológiai eltartóképességének összhangba hozása.
- 2.) A mezőgazdaság meghatározó termelőeszköze a termőföld, a talaj tragikus és jelenleg is romló állapotban van. A jelenlegi iparszerű mezőgazdaság a talajokat a következő 50-60 évben teljesen tönkreteszi, ami szöges ellentétben áll a hazai talajtan professzora, Stefanovits Pál akadémikus hitvallásával: "A talajon nemcsak állsz, hanem élsz is!".
- 3.) A mezőgazdaság az éghajlatváltozást okozó üvegházhatású gázok (széndioxid, metán, dinitrogén oxid) jelentős részét bocsátja ki. A globális üvegházgáz kibocsátáson belül az állattartás ÜHG kibocsátása 18 %. Az EU 28 tagországnak a szektoronkénti ÜHG aránya átlagosan a következő; 78% energiaszektor (harmada a közlekedés), 10,1% mezőgazdaság, 3,7% hulladékkezelés (EAA, 2019).
- 4.) A mezőgazdaság az éghajlatváltozás első számú elszennvedője. Magyarországon, a legnagyobb területen termesztett kukorica termésátlaga 2020-ban 8,6 t/ha volt, amely történelmi rekordot jelentett. Az előző évből áthúzódó csapadékhiány, a késői tavaszodás, az aszály és a nyári hőhullámok következtében 2021 évben kb. 6,0 t/ha országos termésátlag várható.
- 5.) A jelenlegi anyag (műtrágya, vegyszer, vetőmag) és energia intenzív (gépek, üzemanyagok) mezőgazdasági technológiák fenntartásához óriási gazdasági (multinacionális cégek) érdek fűződik. (Ez egyben borítékolja a talajok további romlását is!). Az ENSZ részes felek éghajlatváltozási glasgow-i konferenciáján (COP26, 2021. október 31- november 12.) a fosszilis vállalatok képviselőinek delegációja nagyobb volt, mint bármelyik országé, vagy más vállalaté. A Global

Witness szerezte meg azt a listát, amely felsorolja név szerint a delegációk képviselőit, és azt találta, hogy a fosszilis vállalatoktól összesen 503 ember jelent meg a COP26-on, míg a legnagyobb országos delegáció Brazíliáé, 479 delegálttal.

- 6.) A tudás intenzív és fenntartható mezőgazdasági váltás, a talajmegújító és a talaj szénmegkötő, szénmegtartó kapacitásának növelését szem előtt tartó váltás nagyon lassan halad. Átállási idő a szántóföldön 6-8 év, de előtte még az oktatási rendszernek is át kellene állnia.
- 7.) A szántóföldi területek 2/3-án takarmányt termesztünk az állatoknak, azért hogy húst együnk. Az állattenyésztés hatalmas ÜHG kibocsátását a húsfogyasztás visszaszorításán és a vegetáriánus táplálkozás erősítésén keresztül elő kell mozdítani. (Ezzel váltással több ország hivatalos álláspontja is éppen ellenkező, pl. a magyar kormány „Együnk több sertéshúst” kormányzati kampánya.)
- 8.) Óriási és nagyon gyors szemléletváltásra van/lenne szükség a fogyasztásban (és nem csak a húsfogyasztásban) és a mezőgazdasági termelésben már 2030-ig. (Lásd. IPCC és Európai Unió felhívásait)
- 9.) A Föld lakosságának legvagyonosabb 1 százaléka kétszer annyi szén-dioxidot termel, mint a legszegényebb 50 százalék együttléve. (Cambridge-i Fenntarthatósági Bizottság Jelentése, 2021. április).

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1.	NÉMETH András, MILÁVECH Richárd	Iparban használatos vízminőségek
2.	DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István	Mérések a gáziparban
3.	DR. BARNÁ Lajos, EÖRDÖGHÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József	A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4.	BORBÁS Lajos Dr.	Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5.	BERENCSI Miklós, BERECHKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFY Krisztina	Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6.	TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András	A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7.	DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András	Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8.	KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó	A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9.	BLAZSOVSZKY László	A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10.	CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter	Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11.	NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza	A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ütiügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12.	DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta	Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13.	DR. SZILÁGYI Zsombor	Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14.	S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté	Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15.	DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÜRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin	Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16.	DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor	Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17.	TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila	Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18.	FENYVESI Zsolt	Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

- | | | |
|-----|--|---|
| 19. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet) |
| 20. | DR. DIVÓS Ferenc | Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek |
| 21. | DR. KARÁCSONYI Zsolt | Faanyagok tartós szilárdsága |
| 22. | BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula | Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez |
| 23. | ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András | Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye |
| 24. | JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső | Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján |
| 25. | DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László | Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal |
| 26. | DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos | Korszerű támszerkezetek tervezése |
| 27. | HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán | Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II. |
| 28. | KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint | Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata |
| 29. | GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz | Hőteljesítménymérési tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében |
| 30. | GARBAI László Dr., SÁNTA Róbert Dr., JASPER Andor Dr. | A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés |
| 31. | LADÁNYI Gábor Dr. | Diagnosztika a karbantartásban |
| 32. | MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András | KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018) |

2019.

- | | | |
|-----|---|---|
| 33. | BLAZSOVSZKY László | Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése |
| 34. | DR. SZILÁGYI Zsombor | A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon |
| 35. | FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. | Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén |
| 36. | VARRÓ Beáta, DR. KIS András | Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával |
| 37. | MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György | Munkatér határoló szerkezetek |
| 38. | KORSÓS András, RÁDULY Zsolt | A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei |
| 39. | GERGELY Edit, DR. BEZEGH András | Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására |

- | | | |
|--------------|---|---|
| 40. | DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr.,
GERGELY Edit | Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok) |
| 41. | GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László,
SZÉKELY Bence | Híddaruk méretezési segédlete (2019.) |
| 42. | FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY
András, NAGY Attila Balázs, CSOTT
Róbert | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló
szituációkban |
| 43. | DR. KARÁCSONYI Zsolt | Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében |
| 44. | DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor,
VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin | Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek
egyszerű energetikai és gazdasági számításai |
| 45. | PRIMUSZ Péter, PhD. | Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése
talajstabilizációk figyelembevételével |
| 46. | NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor,
KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért | Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai
rendszereinek tervezése |
| 47. | JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely,
KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás,
KNOLMÁR Marcell, RAUM László | Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető
rendszereket |
| 48. | DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert | Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás
csomópontokban |
| 49. | JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit | Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi
utakon |
| 50. | DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel | Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok
projektlapjai |
| 51. | DR. MÓGA István | Beruházási projektek szabályozási és szabvány
környezete, Tervezési követelmények meghatározása |
| 52. | DR. GÁBORI László, DR.
BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI
Gábor, RÁTKAY Tamás | Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere
(Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök
Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár |
| 53. | VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán,
SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI
Attila | Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész
értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I. |
| 2020. | | |
| 54. | DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor | JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület
megvalósításának – tervezés építés – módszerére |

- | | | |
|-----|---|---|
| 55. | DR. SZILÁGYI Zsombor | A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában |
| 56. | VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám | A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére |
| 57. | KÁDI Ottó | A gyalogosközlekedés közúti keresztezései |
| 58. | MOLNÁR Szabolcs | „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei |
| 59. | VÁRDAI Attila | Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez |
| 60. | DR. BEJÓ László | Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban |
| 61. | JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső | Szakmai útmutató vízellátási-művelési tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához |
| 62. | FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József | Munkagödörök és földművek víztelenítése |
| 63. | HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor | Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához |
| 64. | DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Az Informatikai Tervező tervezési segédlete |
| 65. | NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza | Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén |
| 66. | LENGYEL István | Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet) |
| 67. | NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért | Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis |
| 68. | FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár) |
| 69. | DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán | Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására |

2021.

- | | | |
|-----|---|---|
| 70. | BLAZSOVSZKY László | A gázipar és a kéményseprő-ipar határterületeinek szabályozási anomáliái a szakmagyakorlók és a felhasználók szemszögéből |
| 71. | FORGÁCS Lajos Dr., NAGY Gábor, RÉV Zoltán | Kórháztervezés új szempontjai a 21. században - Korszerű kórházak infrastrukturális egységei |
| 72. | HOLÉCZY Ernő, KISS Albert Miklós, KOVÁCS István, Dr. TAKÁCS Bence Géza, Dr. TÓTH Zoltán | M.2.-2021. Mérnökgeodéziai tervezési segédlet |
| 73. | Dr. BEJÓ László | Az ipar 4.0 alkalmazási lehetőségei a faipar területén |

- | | | |
|-----|---|--|
| 74. | BORBÉLY Dániel, HUDACSEK Péter, KARNER Balázs, KOVÁCS László, SÁNDOR Csaba | Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze |
| 75. | FELFÖLDI Krisztina, JÁMBOR András, TÓTH Sándor, BÜKI Gábor, GÓDOR Balázs | Emelőgépek időszakos vizsgálatának eljárásrendje |
| 76. | GYURKOVICS Zoltán, RÉBAY Lajos, NAGY Bernát | Szakmai útmutató az épületgépész felelős műszaki vezetők és műszaki ellenőrök számára |
| 77. | Dr. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel, PAPP Ábrahám | Hulladék hő hasznosítás - hűtés és fűtés összekapcsolása
Segédlet az elemzéshez és gyakorlati példák bemutatása |
| 78. | CZINE Ferenc, HIRKÓ György | Elektromos meghajtású mikromobilitási eszközök -
Jellemző paraméterek |
| 79. | KALMÁR Tamás, dr. LÁNYI Péter, HÓZ Erzsébet | Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és úthasználók tapasztalatai alapján |
| 80. | VARGA Tamás, FARKAS Péter János, Dr. TOKODY Dániel, ZSARNOVSZKI Attila, MÉSZÁROS Tamás, VERESS Árpád | Építményvillamossági tervezés robbanásveszélyes környezetben |
| 81. | Dr. VONA Márton, Dr. BALATONYI László, TÉCSŐY István | Dombvidéki víz visszatartás, kisvízfolyások szabályozása természet közeli megoldásokkal
Kisléptékű vízvisszatartás, kistelepülés-léptékű vízmegtartó megoldások |
| 82. | ZANATHY Valéria, BUZÁS Györgyi, TÓTH László | Acélszerkezetek korrózió elleni védelme –
Acélszerkezetek korrózió elleni védelmére vonatkozó szabványok, előírások, szakami tapasztalatok összefoglalása |
| 83. | JÓZSA Bálint, DOHÁNY Máté | DDI avagy a fordított gyémánt csomópontok vizsgálata és magyarországi alkalmazhatósága |
| 84. | SZÉPSZÓ Gabriella, ALLAGA-ZSEBEHÁZI Gabriella, LAKATOS Mónika, SZENTES Olivér, TAKSZ Lilla, SELMECZI János Pál, Dr. CZIRA Tamás, CSÓKA Gergely, BAKA György | Éghajlatvédelmi vizsgálatok módszertana és az azt megalapozó adatbázisok alkalmazása |
| 85. | ZSIGMONDI András, MARIÁN Gábor, WÉBER László | A műszaki egyenértékűség és helyettesítő termék egyenértékűségének megállapítási módjai |
| 86. | NAGY János, HORVÁTH Rita, KAPITOR György, MERTLI Ferenc, PAPP Ábrahám, SITKU György, Dr. ZSEBIK Albin | Világítástechnika - segédlet az EKR dokumentáció készítéséhez – Alapismeretek és mintapéldák |
| 87. | CSENDES János, VELLER Tamás | Épületautomatika – Összefüggésben az
Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszerrel |