

KÖZLEKEDÉSI LÉTESÍTMÉNYEK ÉGHAJLATI KOCKÁZATELEMZÉSE ÉS AZ ERDŐK KLIMATIKUS HATÁSA

Írta és összeállította:

Csóka Gergely

környezet- és természetvédelmi szakértő

VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.

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.

Hegy Zoltán

környezetvédelmi szakértő, ügyvezető igazgató
VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.

Jurassza Karolina

környezetvédelmi szakértő, osztályvezető
VIKÖTI Mérnök Iroda Kft.

Klopfér 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

Budapest, 2021. november 10.

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 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 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.

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 kétségt kívül 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 kötelező létesítmények és tevékenységek esetében kötelező, hanem komoly gazdasági megfontolásokról és közegészségügyi szempontokról is kívánatosak ezen vizsgálatok.



1. ábra: Közlekedési létesítményekben keletkezett jelentős károk (bal oldalon: M1 autópálya teljes pályaszerkezetének beszakadása [Forrás: https://hvg.hu/cegauto/20100519_M1_beszakadt_foto], jobb oldalon: súlyos sinkivetődés 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.

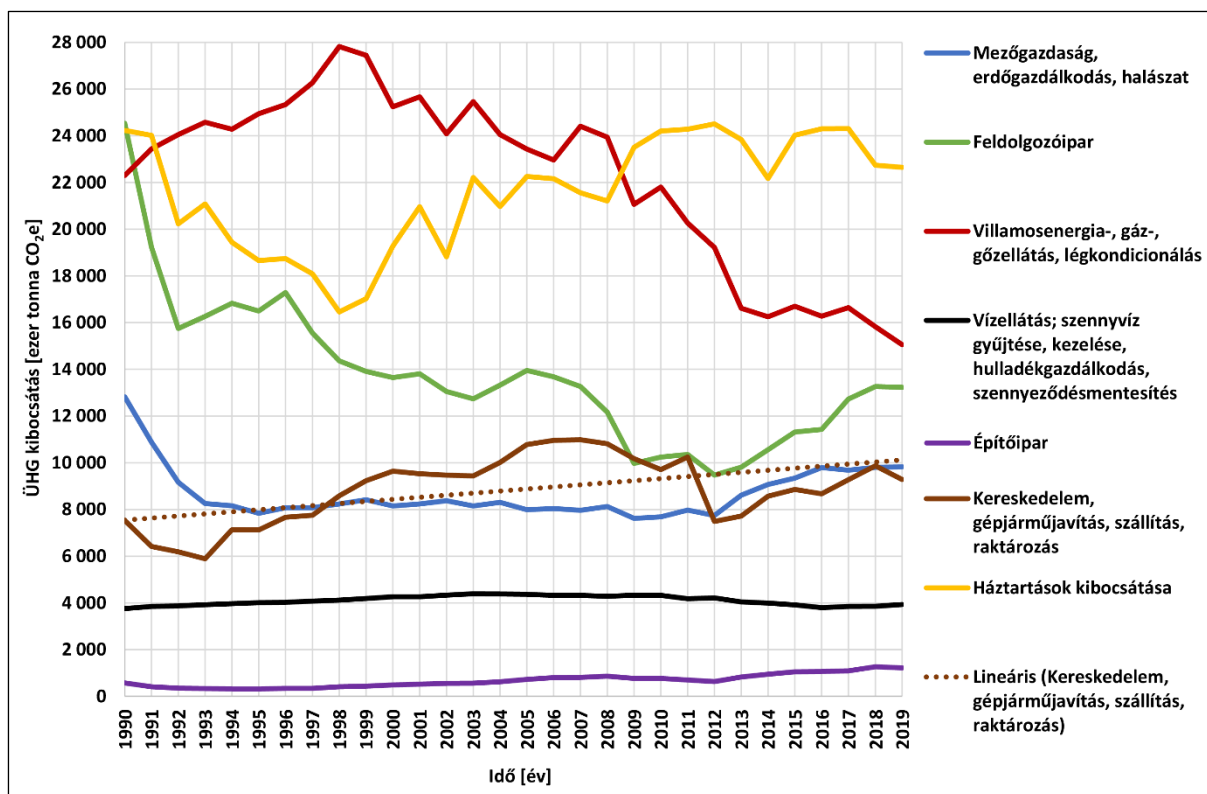
A közlekedési szektor hatása az éghajlatváltozásra:

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

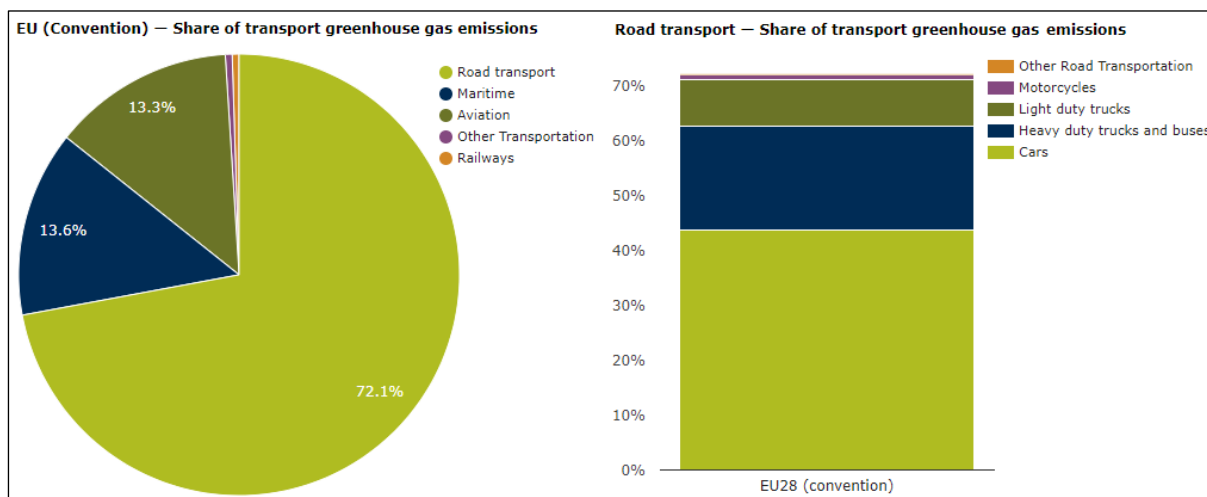
A fenti negatív hatások már most tetten érhetők. A hatások csökkentése érdekében már most cselekedni kell. Egyszerre kell alkalmazkodni, illetve a hatásokat csökkenteni. Szakértőként nagy felelősségünk van ebben.

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.

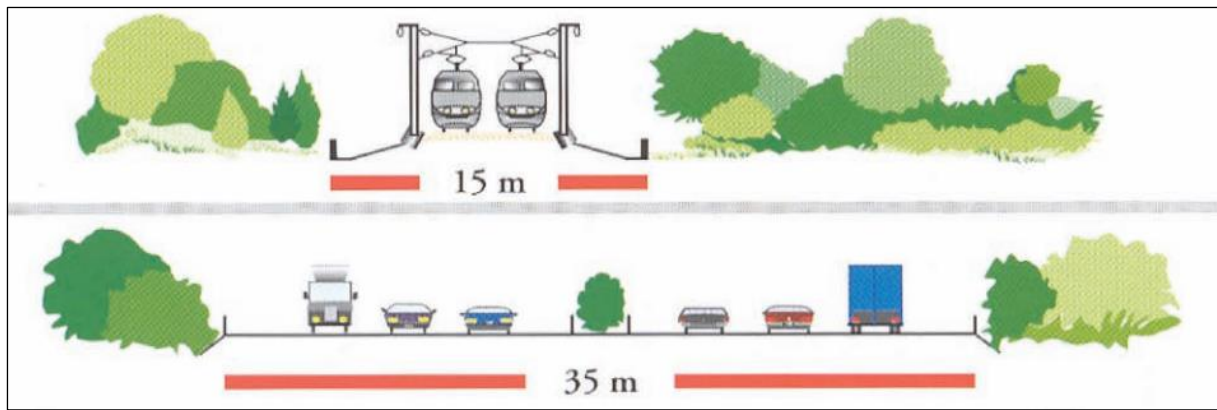


2. ábra: A nagyobb kibocsátásokkal rendelkező nemzetgazdasági ágak ÜHG kibocsátásai 1990 és 2019 között [saját ábra, adatok forrása: KSH]



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]

Jogszályi 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 kitétségeinek 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 nyomon követése;
- Annak bemutatása, hogy a tevékenység miként hat a feltételezhető hatásterület éghajlatváltozáshoz 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 al) alpont). Ne engedjük magunkat például arra rábeszélni, hogy túl drága egy adott mitigációs intézkedés, amely mellel 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.

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.

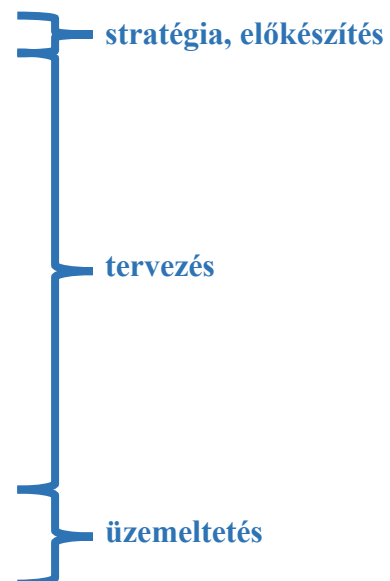
- elhivatott szakemberekként önmagában nehéz az objektív és részrehajlás nélküli vizsgálatok végzése;
- az éghajlatvédelem friss, pár éves szakág;
- néha a résztvevők szkeptikus, kételkedő hozzáállása;
- ritkán saját magunk reményvesztése;
- gyakran falak döngetése és ledöntése is szükséges lehet, amely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

Klímakockázat elemzés helye

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

- koncepciók, stratégiai dokumentumok;
- döntéselőkészítő tanulmányok (előtanulmányok, konfliktusfeltárás, helyzetfeltárás, előzetes megvalósíthatósági tanulmány);
- megvalósíthatósági tanulmány (tanulmányterv, költséghaszon elemzés);
- környezetvédelmi engedélyezéshez szükséges dokumentációk (EVD, KHT, EKHE kérelem);
- engedélyezési tervek;
- tender tervek;
- kiviteli tervek;
- üzemeltetésre vonatkozó tervek (pl.: havária terv, technológiai leírás, fenntartási terv, monitoring terv).



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.

Klímakockázat elemzés lépései

A Klimapolitika 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. Kitérttség 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.

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 hátradölnénk, 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-olvadás-fagyás ciklusok ismétlődése, amely gyakorlatilag a természetben is megfigyelhető fizikai, vagy mechanikai kőzetmállás. 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, transzformátor állomások, 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
- erdőtüzek gyakoriságának és mértékének növekedése

A fentiek alapján megkülönböztetünk éghajlati indikátorokat (pl. forró napok éves átlagos száma a klímaperiódusban), 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
	Erdőtüzek gyakoriságának és mértékének növekedése	magas	magas	közepes

Kitettség vizsgálata

A kitettség 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 volumene alapján.

A kitettséget 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 időszakokra 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 értékeket 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 a klímakockázati útmutatóhoz” c. kiadvány adatai és térképei (<https://www.palyazat.gov.hu/tmutat-projektek-klimakockzatnak-beclshez-s-cskkentshez#>);

Sokakban felmerülhet az a kérdés, hogy probléma-e, hogy nem túpontos, 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 modelladatokat, hanem 2-3 rácspontra, majd azokat átlagoljuk.
- Ne egy-egy klímamodell adataival dolgozzunk, hanem több, úgynevezett klímamodell-projekció 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

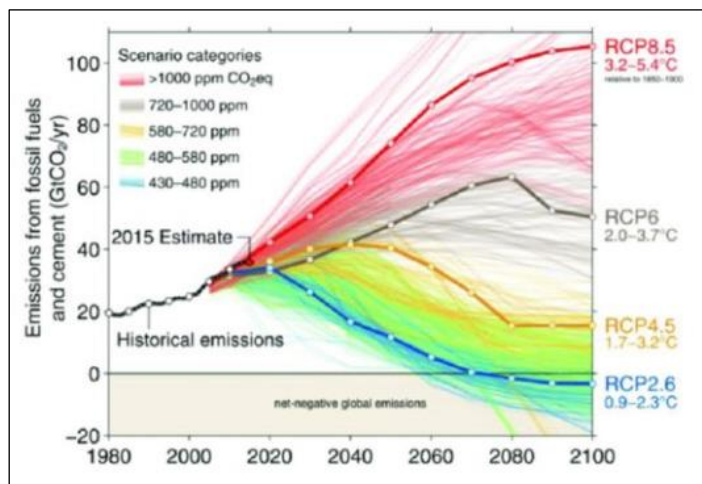
- A fenti táblázatban lévő háromféle regionális klímamodell kétféle globális modellt vesz figyelembe, mint határfeltétel, ezzel hat variációt adva, amelyeket egy pesszimista és egy optimista kibocsátási forgatókönyv feltételezésével futtattak, amely így összesen 12 db projekciót ad eredményül.
- Gyakran 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 csapadékadatok várhatóan legmegbízhatóbban előrejelző klímamodelleket, 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 összehangolása, 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 kitétségi adatokra és azok elemzésére példa

Vizsgált terület	Hőségnapok éves száma (periódusokra számított átlagok, szögletes zárójelben 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]

* A bemutatott eredmények 12 regionális modellszimuláció eredményén alapulnak. A számértékek a 12 modellszimuláció 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 időszakra bemutatott adatok mért/megfigyelt átlagok.

<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>	
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: Csapadékinintenzitás kitétségi adatok és azok elemzésére egy példa

Vizsgált terület	Visszatérési idő	Csapadékinintenzitás [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.							
<i>Magyarázat</i>							
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:							
$72 \frac{\text{mm}}{\text{óra}} = 12 \frac{\text{mm}}{10 \text{ perc}} = 120\,000 \frac{\text{liter}}{10 \text{ perc} \cdot \text{hektár}} = 200 \frac{\text{liter}}{\text{másodperc} \cdot \text{hektár}}$							
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 vízvezetést tervező szakági kollégáknak, vagy éppen a beruházónak jelezzük, hogy adott esetben nagyobb biztonsággal megfelelne a vízvezetés méretezése, ha nagyobb csapadékinintenzitási értékekkel készülnének a számítások. A jelenleg érvényes tervezési útmutatókban elavult csapadékgörbék található 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 igen költséges helyreállítási feladatokat jelentenek.

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 veszélyeztetettségről, és ennek megfelelően magas töltésen vezetik a tervezett utat, valamint belvíz levezetést szolgáló többlet átérsekkel kalkuláltak. Egy ilyen nyilatkozat során a kockázatelemzésünkbe elegendő ezt leírni, és tovább nem kell foglalkozni a belvíz veszélyeztetettséggel.

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

- Magas (szélsőséges) hőmérsékleti értékek (pl. forró napok számának növekedése)
- Csapadérintenzitás 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

Kockázatok értékelése, 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 túpontos, 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 érdemesebb 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 érhetőek 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 méretezésekor 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 aszfaltechnológiai receptúrák meghatározása nagyon komoly szakmai tudást igényelnek, amelyekkel például egy környezetmérnök szakértő bizonyosan nem rendelkezik. Ugyanakkor figyelembe véve a vonatkozó útügyi műszaki előírások előírásait, a modellezett forgalmi viszonyokat, valamint a kitétségi 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 kockázatbecslésére 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 műszaki 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 hőmérsékleti értékek 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 karbantartási igény, 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>			
Hóhullámok hatására az érintettek rosszul létének bekövetkezése.	3	3	A tervezett autótutat használók résztvevőire nagyobb 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

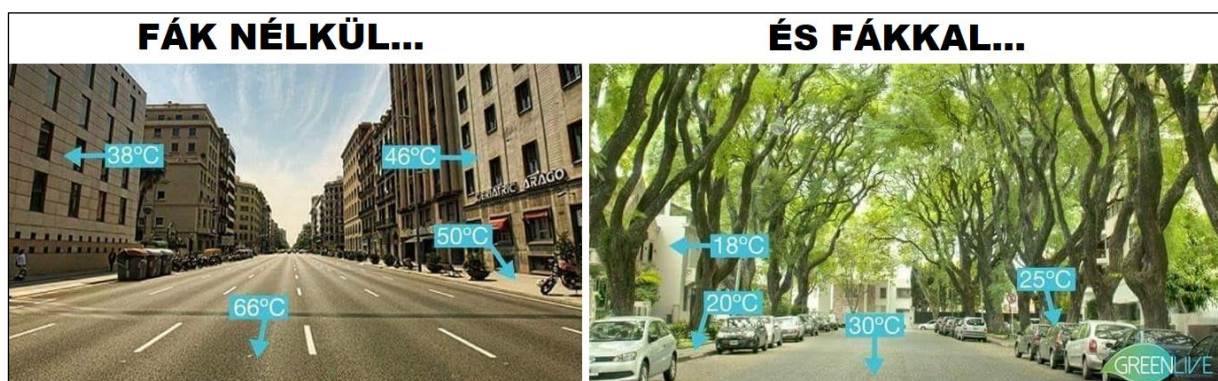
		Következmény, vagy hatás				
		jelentéktelen	kicsi	közepes	nagy	katasztrofális
A bekövetkezés valószínűsége	ritka					
	nem valószínű			A magas hőmérsékleti értékek miatti aszfaltkárosodások kialakulása. A csapadékintenzitás növekedésével időszakos elöntések kialakulása. A csapadék intenzitásának növekedése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

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-ogrodzoza-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 a fák 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) természetszerű 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) természetszerű 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, a) 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.

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).
- Csereerdők telepítésének 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, [t C/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] (10. táblázat)
 R a föld alatti biomassa figyelembe vételéhez szükséges dimenzió nélküli szorzó [-] (10. 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 V [m ³ /ha] ¹		Vizsgált fafaj bázissűrűsége D [t biomassa/m ³] ²		Vizsgált biomassa széntartalma CF [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 R [-] 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		
Juharok	200,11	Juharok	0,52	Fafaj, vagy fafajcsoport	Érték
Szilek	200,11	Szilek	0,58	minden esetben	0,25
Kőrisek	200,11	Kőrisek	0,56	<p style="text-align: center;">FORRÁSOK:</p> <p>¹ https://nfk.gov.hu/ vagy http://www.ksh.hu/ (az adott fafajcsoport összes területe adott évben / az adott fafajcsoport összes fatérfogata adott évben) A táblázatban szereplő értékek 2018-as adatok, így frissítésre szorulnak a hivatkozott források felhasználásával!</p> <p>² 2021-es kiadású NIR-ből.</p>	
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		

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 akácost 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 fentiek 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 készítése során,
 - 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-tól.

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/casmofofor/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 a 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 növekedési fázisban [t CO ₂ /ha]	Növekedési fázis hossza [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.

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
 - Vízelvezés, átereszek, árkok megfelelő méretezése
 - Pihenők tervezése (ivóutakkal)
 - Fokozott növénytelepítés alkalmazása
 - Csereerdők javaslata
 - Változtatható jelzésekű 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 semleges 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

11. 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

12. táblázat: Sínkivetődésekkel és síntörésekkel kapcsolatos néhány jellemző

Sínek törése	<ul style="list-style-type: none"> - Villamosoknál a burkolt, sínkörülöntéses technológiájú vágányoknál gyakoribb - 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 szélöklések (viharok),
- és a fokozott zúzmaraképződés

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

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 állapotfelvételek (főleg szélsőséges időjárási eseményeket, körülményeket követően)
 - Útrepedések
 - Sínegyenletlenségek
 - Sínhőmérsékletek
 - Nyomvályúk, süllyedések, kátyúk
 - Bitumen „kiizzadása”
 - Padka felhízása, szegély kialakulása
 - Kimosódások
 - Vízelvezető rendszerek feltöltődése, szűkülése, stb.

Klímváltozásra 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.

Klímváltozásra 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 CO₂e 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.
 - Járműtípusonként (minimum a 3,5 tonna alatti és feletti gépjárművek megkülönböztetésével, de adott esetben akár 5-6-8 járműtípus alkalmazásával)
 - Útkategóriánként (autópálya, autótűt, 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 járműparkhoz 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 (CO_{2e}) 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 mindenkori 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 CO_{2e} 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!)

Futásteljesítmény adatok [járműkm/nap]							
Úttípus	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 (külsőterületen)	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	
Úttípus	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 (külsőterületen)	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			
ÚTTÍPUS	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 (külsőterületen)	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	

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 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 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 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.

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 (környezetvédelmi 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 tárnai az adott létesítmény/tevékenység üvegházhatás fokozását is (ha van neki).
- Ahova csak lehetséges, oda integrálni szükséges az adaptációs és mitigációs intézkedéseket.
- Javaslatok megfogalmazása: tervezéshez, építéshez és üzemeltetéshez egyaránt.

Kitekintés, szükséges jövő

- Integrálás a létesítmény/tevékenység minden tervezési építési és üzemeltetési fázisába.
- 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.