

AZ ENERGIAELLÁTÁS IGÉNYOLDALI SÉRÜLÉKENYSÉGÉNEK ÉRTÉKELÉSE

MÓDSZERTAN

*Készült a „Kritikus energetikai infrastruktúra elemek
(villamosenergia-, gáz-, távhőrendszerek) éghajlati
és földtani sérülékenységeinek értékelése” c. projekt keretében*

2023

Készítette:

Energiastratégia Intézet Nonprofit Kft.

Közreműködők: Dr. Czakó Kálmán, Dr. Czira Tamás, Fejes Lilian, Incze Dóra, Dr. Maigut Vera,
Müller Olga, Dr. Nádor Annamária, Dr. Németh Kornél, Selmeczi János Pál, Szabó Péter, Taksz Lilla,
Varga Erika

Közreműködő szakmai partnerek:

FGSZ Földgázszállító Zrt. (FGSZ Zrt.)

Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (MEKH)

Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége (MaTáSzSz)

Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR Zrt.)

Magyar Villamos Művek Zrt. (MVM Zrt.)

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	3
1.1	A feladat indokoltsága.....	3
1.2	A tanulmány célja, elérendő eredmények	3
2	Háttér, szakirodalmi áttekintés	5
2.1	Szakpolitikai irányok és célok	5
2.2	Az éghajlati sérülékenység-vizsgálat elméleti keretei.....	10
2.3	Klímamodellek és jelentőségük az éghajlati sérülékenység-vizsgálatokban.....	11
2.4	"NATÉR továbbfejlesztése" projektben elért eredmények	13
2.5	Nemzetközi szakirodalmi kitekintés	18
3	A villamosenergia-ellátás igényoldali sérülékenysége	29
3.1	Hazai körkép a villamosenergia-igényekről.....	29
3.2	Sérülékenység-vizsgálat értelmezési keretei a villamosenergia-igények vonatkozásában 35	
3.3	A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre	36
3.4	A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere.....	40
4	A földgázellátás igényoldali sérülékenysége	44
4.1	Hazai körkép a földgázfogyasztásról	44
4.2	Sérülékenység-vizsgálat értelmezési keretei a földgázigények vonatkozásában.....	48
4.3	A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre	48
4.4	A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere.....	52
5	Távhőellátás igényoldali sérülékenysége	54
5.1	Hazai körkép a távhőellátásról	54
5.2	Sérülékenység-vizsgálat értelmezési keretei a távhőigények vonatkozásában	59
5.3	A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre	60
5.4	A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere.....	63
6	Irodalomjegyzék	66

Rövidítés- és fogalomjegyzék

EKR	Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszer
HTFS	Hosszú Távú Felújítási Stratégia
Klímatörvény	2020. évi XLIV. törvény a klímavédelemről
NEKT	Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve
NES	Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig
NÉS-2	Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia
NTFS	Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia
NYBZK NKft.	Nyugat-Balkáni Zöld Központ Nonprofit Kft.
SRES A1B; RCP8.5; RCP4.5	Klímamodellezésben használt forgatókönyvek (SRES A1B átlagos, RCP8.5 pesszimista, RCP4.5 optimista)

1 Bevezetés

1.1 A feladat indokoltsága

A jelenkori társadalom, gazdaság és mindennapi élet nagyon erősen függ az energiaellátástól. Ezt igazolja egy ország energiaszükségletének és GDP-jének összefüggése is. Mindamellet, hogy történelmi léptékben az energiaelőállítás és -fogyasztás az éghajlatváltozás kialakulásának egyik legfontosabb oka (a fosszilis tüzelőanyagok elégetése révén), az éghajlati elemek – elsősorban a hőmérséklet – is alakítói az energiaigényeknek a technológiai tényezők, a gazdaság szerkezete, és a fogyasztói szokások, lehetőségek mellett, ezért indokolt az energiaigények klímaváltozás hatására bekövetkező változásának vizsgálata. Az energiafogyasztás különböző típusai eltérő mértékben hőmérsékletfüggők, de összességében mind a villamosenergia-, mind a távhő-, mind pedig a földgázigények szoros kapcsolatban állnak a hőmérséklettel:

- távhőigények – több egyéb tényező mellett – elsősorban a fűtési időszaki külső hőmérséklettől függenek;
- a földgázigények gáziparban használt mérőszáma a napfokszám szintén a hőmérséklet függvénye;
- a MAVIR Zrt. 2019-ben kiadott, a fogyasztói igények előrejelzését célzó tanulmánya szerint (MAVIR, 2019A) mind a nyári, mind pedig a téli csúcsterhelés kapcsolatban áll a hőmérséklettel.

A fenti megállapításra építve a „*Kritikus energetikai infrastruktúra elemek (villamosenergia-, gáz-, távhőrendszerek) éghajlati és földtani sérülékenységeinek értékelése*” c. projekt igényoldalt vizsgáló munkacsomagjának hipotézise, hogy a változó éghajlati körülmények jelentős hatással lesznek az energiaigényekre, amit tovább erősít az épületek energiahatékonyságának utóbbi évtizedekben megvalósuló, egyre erőteljesebb ütemű fejlesztése, továbbá új energiafogyasztók megjelenése és elterjedése (pl. elektromos autók, hőszivattyúk). Hipotézisünk szerint az energiaigényekben várható változás az energiaszolgáltatásban működő szereplők számára sérülékenységeként jelentkezik, viszont a sérülékenység mértéke mind szektoronként, mind pedig területenként eltérő. A jelen tanulmány célja módszertan kialakítása az igényoldali sérülékenység különbségeinek értékelésére.

1.2 A tanulmány célja, elérendő eredmények

A „*Kritikus energetikai infrastruktúra elemek (villamosenergia-, gáz-, távhőrendszerek) éghajlati és földtani sérülékenységeinek értékelése*” c. projekt első munkacsomagja keretében az energiaellátás igényoldali sérülékenységeinek vizsgálatára kerül sor. Jelen módszertani tanulmány célja a KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítószámú „*NATÉR továbbfejlesztése*” című projekt keretében megkezdett, a távhő-, földgáz- és villamosenergia-ellátás éghajlati sérülékenységeit vizsgáló kutatások folytatása, kiterjesztése, az elkészült módszertanok továbbfejlesztése. A munkacsomag keretében számba vesszük azokat a folyamatokat, amelyek a jövőben várhatóan hatással lesznek az energiaigényekre, illetve a vizsgálat fókuszában álló hatások térbeli mintázatait is igyekszünk megmutatni. A hatások értékelését az éghajlati sérülékenység-vizsgálat keretrendszerében végezzük el.

A sérülékenység-vizsgálat elvégzéséhez szükséges annak meghatározása, hogy a sérülékenység-vizsgálat fogalmi keretei hogyan alkalmazhatók az energiaigények vonatkozásában. Ehhez a sérülékenység-vizsgálat fogalmainak kiterjesztésére van szükség. Az értékelés elvégzéséhez ki kell dolgozni azokat a konkrét indikátorokat és számítási módszertant, amelyekkel az így definiált sérülékenység vizsgálható. Ebben inputot jelenthetnek a „*NATÉR továbbfejlesztése*” projekt keretében elkészült tanulmányok, a szakági és tudományos szereplők korábbi tudományos dokumentumai, előrejelzései, továbbá az energiaszolgáltatásban résztvevő szereplők szakmai tudása, tapasztalatai, valamint a projekt keretében létrehozott munkacsoportok szakmai egyeztetései is.

A tanulmány eredményeként létrejön egy olyan módszertan, amely segítségével az energiaellátás igényoldali sérülékenysége vizsgálható. Feltárássra kerülnek az energiaellátás területén elérhető hazai területi adatok, továbbá meghatározásra kerülnek a sérülékenység-vizsgálathoz szükséges kitettség, érzékenységi és alkalmazkodóképességi indikátorok, annak érdekében, hogy országos léptékű adatok kerülhessenek integrálásra a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerbe (továbbiakban: NATÉR).¹

A projekt megvalósítása és a módszertan kialakítása során szorosan együtt működünk az energiaellátáshoz kapcsolódó különböző szakmai szervezetekkel: a Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetségével (továbbiakban: MATÁSzSz)², a Földgázszállító Zrt.-vel (továbbiakban: FGSZ Zrt.)³, a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.-vel (továbbiakban: MAVIR Zrt.)⁴, illetve a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatallal (továbbiakban: MEKH)⁵ és a Magyar Villamos Művek Zrt.-vel (továbbiakban: MVM Zrt.)⁶.

A projekt indítását követően, 2022-ben jelentős energiapolitikai változások zajlottak hazánkban és a nemzetközi szinten egyaránt. Ennek következményeként az energiaigényekben, illetve energiafelhasználásban olyan változások várhatóak, amelyek a korábban érvényes összefüggések alapján nem vizsgálhatók, jelentősen megváltoztatják az évek óta látható tendenciákat. Ezek részletes vizsgálata meghaladja ennek a módszertani tanulmánynak a lehetőségét. Ennek ellenére minden témakör esetében igyekszünk utalni a legutóbbi időszak fejleményeire és arra, hogy ezek potenciálisan milyen irányú változásokat okozhatnak az energiaigényekben, a sérülékenység-vizsgálatokban. Megfelelő adatok hiányában azonban ezeket nem tudjuk a részletes értékelésbe beépíteni.

¹ <https://nater.mbfisz.gov.hu/>

² <https://tavho.org/>

³ <https://fgsz.hu/>

⁴ <https://www.mavir.hu/web/mavir/home>

⁵ <http://www.mekh.hu/>

⁶ <https://mvm.hu/>

2 Hátér, szakirodalmi áttekintés

2.1 Szakpolitikai irányok és célok

Az energiafelhasználásra vonatkozó célok és az ezek elérését szolgáló intézkedések több, az utóbbi egy-két évben elfogadott stratégiai dokumentumnak és tervnek is a tárgyát képezik. A legfrissebb és a téma szempontjából legjelentősebb dokumentumok a 2020 januárjában elfogadott Nemzeti Energiastratégia 2030⁷ (továbbiakban: NES) és a Nemzeti Energia- és Klímaterv⁸ (továbbiakban: NEKT). A NEKT előrejelzéseit a Magyarországra adaptált TIMES modell⁹ adatai támasztják alá. A két dokumentum sok megállapításában épít egymásra. A fentiek mellett mind a helyzetelemzés, mind pedig a célok megismerése érdekében érdemes a IV. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv, a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia és a Hosszú Távú Felújítási Stratégia tervezetének áttekintése is. A fent említett dokumentumok célkitűzéseivel összhangban van és további kiemelt irányokat határoz meg a 2020-ban megjelent Klíma- és Természetvédelmi Akcióterv is. A célkitűzéseket a klímavédelemről szóló 2020. évi XLIV. törvény (továbbiakban: Klímátörvény) is rögzíti. Emellett pedig elfogadás előtt áll a Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia is, ami a kibocsátás-csökkentés hosszú távú céljait, a 2050-re vonatkozó klímasemlegességi célt határozza meg. A fenti dokumentumok vonatkozó (energiaigényeket és az igényoldali sérülékenységet közvetlenül érintő) szakterületi céljainak áttekintésével mutatjuk be az egyes területeken (villamos energia, földgáz, távhő) meghozott, vagy a jövőben tervezett intézkedéseket.

2.1.1 Az ország teljes energiafelhasználására vonatkozó megállapítások

A Klímátörvény 3. §-a kimondja, hogy

- (1) Magyarország az üvegházhatású gázok kibocsátását legalább 40%-kal csökkenti 2030-ig az 1990. évhez képest.
- (2) Magyarország 2030-at követően a végső energiafelhasználás 2005. évi szintet meghaladó növekedése esetén a növekményt kizárólag karbonsemleges energiaforrásból biztosítja.
- (3) Magyarország a bruttó végső energiafogyasztásban legalább 21%-os megújuló energiaforrás részarányt ér el a 2030. évig.
- (4) Magyarország a 2050. évre eléri a teljes klímasemlegességet, azaz az üvegházhatású gázok még fennmaradó hazai kibocsátása, valamint elnyelése a 2050. évre egyensúlyba kerül.

A NES alapján összefoglalóan elmondható, hogy Magyarország célja az, hogy a teljes energiafogyasztást sikerüljön úgy szinten tartani, hogy közben a GDP növekedése folyamatosan biztosított. (A szakirodalom erre a decoupling kifejezést használja, ami „a gazdasági fejlődés és a környezetterhelés szétválasztásának lehetősége”¹⁰.)

A végső energiafogyasztásra vonatkozó cél tekintetében a NES és a NEKT összhangban van a Klímátörvény vonatkozó céljaival. Ez a csökkenés a lakosság szintjén körülbelül 10%-os igénycsökkenést feltételez.

2.1.2 Villamos energia

A NES megállapítja, hogy a globális trendekkel összefüggésben a villamosenergia-igények növekedése várható a jövőben. A stratégia alapján (ami a NEKT modellezési eredményeire hivatkozik)

⁷ <https://www.kormany.hu/hu/dok?source=11&type=402#!DocumentBrowse>

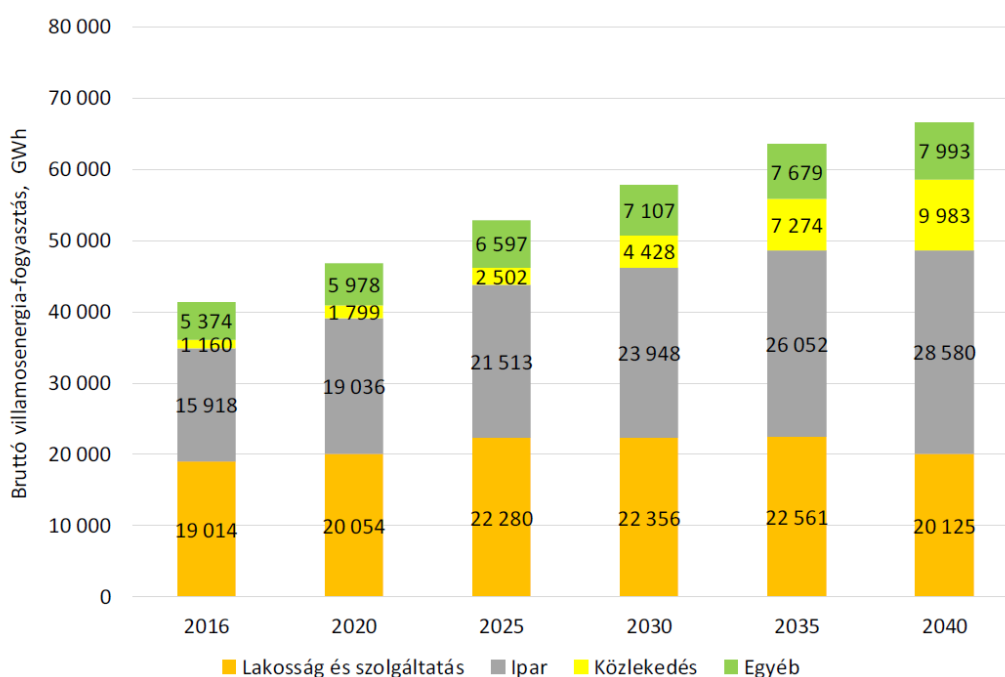
⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu_final_necp_main_hu.pdf

⁹ A Magyarországra adaptált TIMES modell lefedi a teljes magyar energiaszektort, beleértve az átalakítási ágazatokat, az ipari és a közlekedési szektor energiafelhasználását, illetve az épületekhez köthető energiafelhasználást. A modell báziséve 2016 (energiamérleg, villamosenergia-kereslet), a modellezhető időhorizont 2016-2050. A kereslet előrejelzésére használt módszertan múltbeli összefüggéseken alapuló ökonometriai előrejelzést (Cochrane Orcutt hibakorrekciós eljárással), valamint GDP, olajár, lakosság szám alapján készített előrejelzést foglal magába. A historikus adatok forrása a KSH.

¹⁰ <https://eionet.kormany.hu/korkoros-hatekony-fenntarthato-zold-jolet-vagy-jollet>

a hazai villamosenergia-fogyasztásban 2040-ig évi 1,92%-os átlagos növekedés várható. A növekedést két fő tényező magyarázza: egyrészt a GDP bővülésével az ipari termelés, ezáltal az iparban felhasznált villamos energia mennyisége is növekszik, másrészt a közlekedési szektorban az elektromos autók elterjedése várhatóan jelentősen megnöveli majd a fogyasztást. Az elektromos autók villamosenergia-igényének növekedése esetében ellentmondás látható a MAVIR Zrt. előrejelzésével, ami sokkal kisebb növekményt vár a közlekedés elektrifikációjától (lásd 3.1.2.3 fejezet).

A NES céljai szerint a lakossági és a szolgáltatási szektor felhasználása egy kezdeti gyors növekedést követően alacsonyabb növekedési pályára áll át. A trend több ellentétes hatás eredményeként rajzolódik ki: egyrészt növekszik a háztartási gépek elterjedtsége, ami növeli a villamosenergia-fogyasztást, ugyanakkor az energiahatékonyabb berendezések révén egy ellentétes hatást is tapasztalunk. A hőszivattyúk elterjedése viszont szintén a villamosenergia-fogyasztás növekedésével jár együtt. Az „egyéb” kategóriába sorolható a megnövekedett fogyasztással párhuzamosan növekvő elosztási veszteség értéke is. (1. ábra)



1. ábra: A villamosenergia-fogyasztás összetétele, 2016-2040, GWh
Forrás: NES

A lakossági igényeket potenciálisan befolyásolhatja, hogy a NES-ben és a Klíma- és Természetvédelmi Akciótervben leírtak szerint a villamosenergia-szektorban cél az okosmérők jelenleginél jóval szélesebb körű alkalmazása (1 millió okos fogyasztásmérő a villamosenergia-szektorban 2030-ra¹¹) és ezzel párhuzamosan jobb hálózat-kihasználásra ösztönző, rugalmas árazású szolgáltatási díjsomag-ajánlatok kidolgozása. A hálózat-kihasználtság változásának ösztönzése azért is fontos, mert a NES szerint energiafogyasztásunk, ezen belül villamosenergia-felhasználásunk hatékonysága elmarad az európai versenytársainkétól. Ha ezen sikerül változtatni, az egyben mérsékelheti az átlagos és a csúcsidei keresletnövekedést is.

Szintén a villamos energiához kapcsolódó igényoldali sérülékenységre lehet hatással a beépített fotovoltaikus kapacitás jelentős növelése (NES cél, hogy 2030-ra meghaladja a 6000 MW-ot, 2040-re pedig megközelítse a 12000 MW-ot; a NEKT és a NES vonatkozó célja a villamosenergia-

¹¹ A NES készítésekor a stratégia által hivatkozott MEKH adatok szerint 90 ezer okos fogyasztásmérő volt üzemben.

fogyasztásban a megújuló részarány legalább 20%-ra¹², 2040-re pedig közel 30%-ra történő növelése). A zöld részarány növekedése hozzájárul a Klíma és Természetvédelmi Akcióterv céljához, mely szerint 2030-ra a hazai villamosenergia-termelés 90%-ban karbon semleges lesz. A fenti cél a háztartási méretű kiserőművek nagyarányú növekedését is feltételezi¹³, ami összhangban van a decentralizált villamosenergia-termelés fejlesztésére vonatkozó NES céllal, vagyis, hogy a fogyasztók nagyobb számban váljanak maguk is termelővé (energiaközösségek). Ezzel a fogyasztók is a rendszerszintű szabályozási piac szereplőivé válhatnak és részt vehetnek az elosztóhálózati szűkületek menedzselésében, ami a keresleti oldal alkalmazkodási lehetőségeként értelmezhető folyamat. A NEKT a hűtés-fűtésben a napenergia felhasználásának növekedése mellett a hőszivattyúk jelentős elterjedésével is számol. Emellett mindkét dokumentum célul tűzi ki az energiaközösségek kialakításának támogatását és ösztönzését is.

A NES célja a villamosenergia-import arányának csökkentése, de hosszú távon várható az import fennmaradása (2040-re a NES szerint 20% alatti szinten stabilizálódik az import), így az ellátásbiztonság szempontjából fontos annak vizsgálata, hogy az importforrás országok exportképességét milyen tényezők befolyásolhatják. A NES szerint ilyen lehet egy régiós klíma havária (Közép-Európa egészét érintő extrém hideg, illetve meleg periódus és ezek hatása a nagyarányban elavult régiós erőműparkra). Az ellátásbiztonságot ronthatja a hazai földgáz-tüzelésű erőművekben a termelési tevékenység felfüggesztése (pl. alacsony energiaárak, vagy a vártnál gyorsabban növekvő CO₂ árak miatt), vagy a földgáz-import megbízhatóságának csökkenése. Az ellátásbiztonság vonatkozásában jelentős kihívást jelent a 2022-ben kitört orosz-ukrán háború, amelynek következtében kiemelt prioritássá emelkedett a földgáz beszerzési források diverzifikálása. Számításba kell venni az elektromos autózás csúcsidei igényekre kifejtett hatását, ami főleg a téli időszakban kockázatot jelenthet az ellátásbiztonság vonatkozásában. A közlekedés vonatkozásában a NES célja, az üzemanyag-felhasználás villamos energiával és egyéb alternatív megoldásokkal történő kiváltása. Az elektromos járművek terjedésére és a szükséges infrastruktúra kiépülésére vonatkozóan a Jedlik Ányos Terv 2.0. határoz meg részletesebb célokat, ami a jelenlegi vizsgálatot közvetetten érinti. Továbbá fontos a 2019-ben elindított Zöld Busz Program, amelynek keretében 2020 és 2029 között összesen 35,9 milliárd forint áll rendelkezésre a 25 ezer főnél nagyobb lélekszámú városok és közlekedési közszolgáltatók számára, elektromos meghajtású buszok és önjáró trolibuszok beszerzésének támogatására. A Program célja a közösségi közlekedésben résztvevő autóbussz-állomány cseréje a hazai buszgyártás ösztönzésével, az üzemeltetett buszok átlagéletkorának, a buszos közlekedés károsanyag-kibocsátási értékeinek és fenntartási, üzemeltetési költségeinek csökkentésével, továbbá az utazási szolgáltatások minőségének javításával. Emellett a vasút villamosítási fejlesztésekre és projektek előkészítésére is jelentős elképzelések vannak hazánkban a 2021-2027-es európai uniós fejlesztési forrásokból.

2021-ben elfogadásra került a Magyarország Nemzeti Hidrogén Stratégiája. A stratégia célul tűzte ki a nagyvolumenű karbonszegény és decentralizált karbonmentes hidrogén előállítását, az ipar termelési folyamatainak és termékhasználatának zöldítését hidrogén felhasználásával és ezekhez illeszkedően a villamosenergia- és (föld)gáz-infrastruktúra fejlesztést. Ennek keretében feladatként került például meghatározásra a földgázszállító, -tároló és -elosztóhálózat, illetve a felhasználói rendszerek fokozatos felkészítése a tiszta hidrogén befogadására és felhasználására, valamint a hidrogénalapú alkalmazások bevezetése a villamos energia szabályozási és rugalmassági szolgáltatások piacán.

A vizsgálatunkhoz csak közvetetten kapcsolódó, de az ország villamosenergia-ellátása szempontjából lényeges körülmény, hogy az elkövetkező években fontos energiapolitikai cél a Mátrai Erőmű átalakítása az energiatermelés ÜHG-kibocsátásának csökkentése céljából.

¹² A Klímátörvény legalább 21%-os megújuló energiaforrás részaránnyal számol.

¹³ Magyarországon 2013-ban alig 5 000 darab HMKE létezett, ám ez a szám 2018-ban már meghaladta a 40 000 darabot. (NES)

2.1.3 Földgáz

A NES és NEKT várakozásai szerint a földgázpiac az energiahatékonysági beavatkozások, az elektrifikáció és a dekarbonizációs törekvések következtében fokozatosan zsugorodik. Teljes gázfogyasztásunk a jelenlegi évi 10 milliárd m³-ról 2030-ra 8,7, 2040-re pedig 6,3 milliárd m³ alá süllyedhet.¹⁴ A földgázfelhasználás változását jelentősen befolyásolják a 2022-ben kitört orosz-ukrán háború következményei is. A NES szerint az energiaimport-szükséglet csökkentése és az ország mind szélesebb körű kapcsolódása a régiós áram- és földgázhálózatokhoz javítja az ellátásbiztonságot, így a földgázimport csökkentése energiatürelenséget szempontjából is lényeges kérdés.

A NES számszerű céljai a földgázfelhasználás tekintetében, hogy az éves lakossági földgáz-fogyasztás 2 milliárd m³-rel csökkenjen (ezzel 2030-ra éves szinten 1,54 milliárd m³-re csökkenne a közvetlen lakossági földgázfelhasználás), amiben az energiahatékonyság fejlesztése, az okosmérők szélesebb körű alkalmazása és a fűtés elektrifikációja (hőszivattyú elterjedése) is szerepet fog játszani. Cél emellett a távhőtermelésben a földgáz-felhasználás részarányának 50%-kal való csökkentése (amelyhez a megújuló források használatát a távhőtermelésben is ösztönző Zöld Távhő Program is hozzájárul), továbbá 2040-re a villamosenergia-termelés gázfelhasználásának egymilliárd m³ alá történő csökkentése. 2050-re az Európai Zöldmegállapodás¹⁵ értelmében a villamosenergia-termelés teljes egésze karbonsemlegessé válik majd.

2.1.4 Távhő

A NEKT és a NES megállapítja, hogy a fűtési/hűtési célú energiafelhasználásban komoly megtakarítási potenciál van, hiszen a lakásonként felhasznált energiamennyiséget tekintve Magyarország az EU legtöbbet fogyasztó tíz országa között van. Cél a végfogyasztói energiahatékonyság ösztönzése, az egyedi mérés és költségmegosztás technológiájának és elterjedtségének fejlesztése. Az épületek energiahatékonyságának fejlesztése lehetővé teszi az alacsony hőfokú fűtés megvalósítását, ami egyrészt megkönnyíti a geotermikus energia hasznosítását, másrészt a kisebb hálózati veszteség révén is csökkenti az előállítandó hő mennyiségét. Az így mérséklődő hőigények miatt a távhővezeték-rendszerben kihasználatlanul maradó kapacitásokra új fogyasztók csatlakoztathatók.

A távhő termelésben a stratégiai dokumentumok célja a földgáz részarányának jelenlegi 70% fölötti szintről 50% körüli szintre való csökkentése, amivel körülbelül 120 millió m³ földgázimport váltható ki. A földgázt felválthatja részben a megújuló energiaforrások fokozottabb felhasználása (pl. geotermia), a költséghatékonyság és hulladékkezelési hierarchia követelményeinek megfelelő hulladék, valamint a fenntarthatósági kritériumok alapján előállított biomassa felhasználásának növekedése. További cél a szennyvízkezelésből, depóniagázból és a mezőgazdasági eredetű biogáz hasznosításából származó hő felhasználásának növelése.

A stratégiák célja, hogy hosszabb távon a hazai távhőszolgáltatás egésze, középtávon legalább azon települések távhőrendszerei, ahol a települési szinten hálózatra adott távhő mennyisége eléri a 100.000 GJ-t, a vonatkozó uniós irányelv (lásd 5.1 fejezet) szerinti „hatékony távfűtés/távhűtés” kategóriájába essen, és így hatékonyan csökkentse az épületekhez köthető energiafogyasztást és üvegházgáz-kibocsátást. A hatékonyság az irányelv értelmében olyan távfűtést/távhűtést feltételez, amely legalább 50%-ban zöld energia, 50%-ban hulladékhő, 75%-ban kapcsolt energiatermelésből származó hő, vagy 50%-ban ilyen energiaforrások kombinációjának a felhasználásával működik.

¹⁴ A 2022-ben kitört orosz-ukrán háború és a földgázellátás bizonytalanságának hosszú távú hatásai a hazai energiarendszere és földgázigényekre pontosan még nem láthatók, ahogy az sem, hogy az energiaárak növekedése milyen hatással lesz a fogyasztásra és az energiahatékonyságra.

¹⁵ 2030-ra az Európai Zöldmegállapodás értelmében az Európai Bizottság azt javasolja, hogy az európai energiamix 40%-a zöld energiából származzon 2030-ra. Továbbá az Európai Bizottság javasolja, hogy az energiahatékonyság növelésével 36-39% növekedést lehessen elérni (Európai Zöldmegállapodás 2019).

2.1.5 Épületállomány energiafelhasználása

Mivel a háztartási szektor és a lakásállomány energiafogyasztása a teljes energiafelhasználás jelentékeny részét teszi ki, továbbá mert jelen módszertan célja az épületállomány változásából fakadó energiaigény-változások vizsgálata is, ezért indokolt a fent hivatkozott stratégiai dokumentumokban található, épületállományra fókuszáló megállapítások összegyűjtése.

A NES a jelenlegi helyzetre vonatkozóan megállapítja, hogy a lakott lakásállomány több, mint kétharmada energetikailag korszerűsítendő (közel harmada korszerű, vagy gazdasági okból nem indokolt a felújítása). A Nemzetközi Energiaügynökség adatai szerint a fűtés energiaintenzitásának javulása látható a 2000-es és 2016-os adatokat vizsgálva (2016-ban kissé meghaladta a 0,6 GJ/m²-t). A MEKH adatai szerint a NES készítésének idején hőszivattyúval 12 ezer, napelemes rendszerrel 31 ezer háztartás rendelkezett, a nem távfűtéssel fűtött lakások 38%-ában fűtöttek tűzifával. A hűtés energiafelhasználása egyelőre nem számottevő, de a jövőben részarányának növekedése várható.¹⁶

A lakossági egyedi fűtés és hűtés terén cél az energiahatékony, megújuló forrásokra támaszkodó megoldások arányának növelése. Az új építésű épületekre vonatkozó előírások következtében a háztartási méretű kiserőművek (továbbiakban: HMKE) további exponenciális növekedése várható. A cél, hogy 2035-re legalább 200 ezer háztartás rendelkezzen legalább 4 kW teljesítményű, tetőre szerelt napelemmel. A dokumentumok alapján szintén cél a hőszivattyúk használatának ösztönzése, valamint, hogy a biomasza égetése hatékony egyedi fűtőberendezésekben történjen. Ugyancsak cél a decentralizált közösségi fűtőművek létesítésének ösztönzése és a korszerűtlen kazánokkal rendelkező fogyasztók településközponti fűtésre való rákapcsolása a megfelelő adottságú, magas légszennyezettséggel terhelt településrészekben. A célszámok szerint a háztartási energiafogyasztásban a megújuló energia részaránya 2030-ra eléri az 50%-ot, a lakossági HMKE-kapacitások pedig a közel 1300 MW-ot. A lakossági hőszivattyúk száma tervezetten ugyanebben a célévben 100 ezer darab.

A lakossági épületállomány mellett a hazai mintegy 12-15 ezer közintézmény (kb. 960 ezer középületet számlál) épületállományának energiahatékony-ság-javításában is jelentős az energiamegtakarítási potenciál. Stratégiai célok a központi kormányzati épületállomány alapterületének évi 3%-os mélyfelújítása, valamint az egyéb közintézményi épületállomány példaértékű energetikai modernizálása. Külföldi tapasztalatok alapján 5 év alatt mintegy 15-30% körüli energiafelhasználás csökkenés érhető el a közintézményeknél.

Az épületállomány korszerűsítésének hosszú távú irányait kijelölő Hosszú Távú Felújítási Stratégia 2022-ben került elfogadásra. A stratégia átfogó célja annak megalapozása, hogy 2050-re a hazai épületállomány fenntarthatóan üzemeltethető, energia- és költséghatékony átalakulása megvalósuljon. Ennek érdekében 2050-ig a magán- és köztulajdonban lévő lakó- és nem lakás célú épületek felújításával egy közel nulla energiaigényű és dekarbonizált épületállomány¹⁷ elérése a cél, amelyhez a következő lépések szükségesek:

- 2030-ig a lakóépületállomány felújítási rátája érje el az évi 3%-os arányt (kb. 20%-os megtakarítást jelentene a lakóépületállomány energiafelhasználásában);
- 2030-ig a középületállomány 5%-os felújítási rátájának megerősítése;
- az épületek energetikai célú felhasználáshoz kapcsolódó CO₂ kibocsátás 60%-os csökkenése 2040-re és 90%-os csökkenése 2050-re a 2018-2020-as átlagos szintről.

¹⁶ A háztartási energiafogyasztásról bővebben lásd a 3.1.1.2. fejezetet.

¹⁷ A 114/2021. (III. 10.) Korm. rendelet alapján a közel nulla vagy annál kedvezőbb energiaigénnyel kapcsolatos előírásokat 2022. június 30-tól kell alkalmazni.

A HTFS intézkedései között szerepel emellett az Épületfelújítási Monitoring Rendszer (ÉMOR) létrehozása, amely alkalmas lesz a Stratégiában meghatározott intézkedések megvalósulásának hatékony és naprakész követésére.

A NEKT-ben foglalt célok között szerepelt az épületállomány ismételt, új nemzetközi szabványok figyelembevételével módosított épülettanúsítási módszer szerinti felmérése a 2020-as év folyamán. A felmérés állapotáról, eredményeiről egyelőre nem érhetőek el nyilvános információk.

Az épületek energiafelhasználása szempontjából szignifikáns eredményeket hozhat az energiahatékonysági kötelezettségi rendszer (továbbiakban: EKR), melynek célja a kötelezettek (villamos energia, földgáz és közlekedés célú üzemanyag kereskedők és/vagy egyetemes szolgáltatók, akik végső felhasználók számára értékesítenek) energiamennyiség utáni energiamegtakarítás elérése.

2.2 Az éghajlati sérülékenységek vizsgálata elméleti keretei

Az éghajlati sérülékenységek vizsgálata módszertana azon a megfigyelésen alapul, hogy a klímaváltozás által egy adott hatásviselőn okozott közvetlen és közvetett károk mértéke nem kizárólag a klímahatás nagyságától, hanem egyéb, a hatásviselőt jellemző faktoroktól is függ. Az egyes rendszerek (területek, ágazatok, egyéb hatásviselők stb.) klímaváltozással, illetve annak következményeivel szembeni sebezhetőségének vizsgálatához egy lehetséges eszköz az éghajlati sérülékenységek vizsgálata, ami az éghajlati hatások teljes láncolatának (közvetlen éghajlati hatások, közvetett hatások, társadalmi–gazdasági következmények) megismerésére épül és a kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes értékelésén alapul, lehetővé téve egységes módszertani keret biztosítását a kvantitatív éghajlati hatásvizsgálatokhoz.

A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerben (NATÉR) az éghajlati sérülékenységek értékelésére használt módszer a CLAVIER¹⁸ nemzetközi klímakutatási projektben kidolgozott CIVAS modell (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) (Pálvölgyi et al., 2008), 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.¹⁹

A modell a kitettség (exposure) → érzékenység (sensitivity) → várható hatás (impact) → alkalmazkodóképesség (adaptive capacity) → sérülékenység (vulnerability) összefüggésben vizsgálja az éghajlatváltozás hatásait. A módszer használatával megállapíthatjuk azt, hogy a különböző érzékenységet és alkalmazkodóképességet mutató rendszereknek az egyes klímahatások milyen mértékű sérülékenységet okoznak (Sütő, 2016). A modellben használt legfontosabb fogalmak a következők²⁰:

- A **kitettség** (*exposure*) az egy földrajzi helyre jellemző éghajlatváltozást mutatja meg. A különböző regionális klímaindikátorok változásairól (pl. a hőmérséklet értékeinek szélsőségei) adatokat és információkat a korábbi meteorológiai mérési adatsorokból, illetve klímamodellekből nyerhetünk.
- Az **érzékenység** (*sensitivity*) a hatásviselő rendszer viselkedése az időjárás függvényében. Ezen rendszerek érzékenysége a klímaváltozástól független, és elsősorban a fizikai paramétereiből tevődik össze.

¹⁸ CLAVIER (Climate Change and Variability: Impact on Central and Eastern Europe) – a projekt célja az volt, 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.

¹⁹ Az Európai Unióban kidolgozott és elfogadott környezetértékelési vizsgálati modell DPSIR („Driving Force – Pressure – State – Impact – Response”) - Hajtóerők – Terhelés – Állapot – Hatás – Válasz. A keretrendszer a társadalom és a környezet közötti kölcsönhatásokat, az egymástól való függésüket írja le. A társadalmi tevékenységek terhelik a környezetet, mennyiségi és minőségi átalakulásokat idézve elő benne, ugyanakkor a környezetben történő változások a társadalom válaszreakcióival járnak együtt.

²⁰ Éghajlatváltozás és alkalmazkodás – A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) kialakítása – Egy hatékony eszköz a megfelelő válaszokhoz alapján https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfgy.hu/files/files/NAT%C3%A9R_PR_HU_honlapra.pdf

- A **várható hatás** (*potential impact*) a kitettség és az érzékenység kombinációjaként határozható meg, amely egyaránt jellemző a földrajzi helyre és a vizsgált hatásviselő rendszerre.
- Az **alkalmazkodóképesség** (*adaptive capacity*) olyan nem-klimatikus tényező, amely magába foglalja a klímaváltozásra adott helyi társadalmi-gazdasági válaszokat és alkalmazkodási stratégiákat, amelyek célja a kedvezőtlen hatások enyhítése.
- A **sérülékenység** (*vulnerability*) komplex mutató, amely kombinálja a kitettséget, az érzékenységet, valamint az alkalmazkodóképességet. Megmutatja, hogy ugyanaz a várható hatás egy gyengébb alkalmazkodóképességű térségben súlyosabb következményekkel járhat.

Jelen projektben az éghajlati sérülékenység-vizsgálat módszerét adaptáljuk a kritikus energetikai infrastruktúrákra (villamos energia, gáz, távhő rendszerek) abból a célból, hogy az éghajlatváltozás energiaszolgáltatásokat veszélyeztető hatásait értékeljük.

2.3 Klímamodellek és jelentőségük az éghajlati sérülékenység-vizsgálatokban

Az éghajlati sérülékenység-vizsgálatokat az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testületének (IPCC) tudományos jelentései is részletesen tárgyalják. Ezek a nagy részletezettségű tudományos jelentések több ezer kutató és szakember munkáját szintetizálják és alapjául szolgálnak az üvegházhatású gázok csökkentését célzó (megelőzési – mitigációs) és a várható hatásokhoz való alkalmazkodást elősegítő (adaptációs) stratégiáknak. A korábbi, ún. 4. IPCC Értékelő Jelentésben (*IPCC AR4 WG1, 2007*) került meghatározásra a sérülékenység definíciója, valamint kitettségi, érzékenységi és alkalmazkodóképességi indikátorokat hoztak létre az éghajlati sérülékenység vizsgálatához. Ugyanakkor a legújabb, 5. IPCC Értékelő Jelentés (*IPCC AR5 WG1, 2013*) csupán érzékenységet és alkalmazkodóképességet definiál a sérülékenység függvényeként és éghajlati veszélyekre bontva tekinti a rendszer sérülékenységét – így nem is definiál kitettségi indikátorokat. Mivel az éghajlatváltozás nagysága a rendszer külső tényező okozta kitettségének részeként, a korábbi definíció szerint explicite leírható, így sok kutatás továbbra is ezt a megközelítést veszi alapul, noha ezzel a korábbi paradigmával az eredményekben rejlő bizonytalanságokkal kell szembenéznünk és a sérülékenység-vizsgálatokat eszerint kell értelmeznünk. Ezen bizonytalanságokat az alfejezetben később tárgyaljuk.

Az éghajlati indikátorok jövőbeli meghatározásához ismernünk kell az éghajlat várható alakulását. Ennek vizsgálata hasonló módon történik, mint az időjárás előrejelzése, de míg az utóbbi a légkör pillanatnyi (vagy legfeljebb egy-két hetes) állapotát igyekszik leírni, az éghajlati vizsgálatok az éghajlati rendszer viselkedését tekintik. Itt a folyamatok általában lassabban zajlanak, ezért a meteorológiai változók (hőmérséklet, csapadék, szél, nedvesség stb.) hosszú időn át felvett, általában több évtizedes statisztikáit vesszük alapul. A globális éghajlati rendszer viselkedését az egyes komponensek (légkör, óceán, bioszféra, jég- és földfelszín) fizikai törvényein alapuló, matematikai egyenletrendszerrel kifejezett, ún. *globális éghajlati modellekkkel (GCM)* tudjuk vizsgálni. Mivel ezeknek a modelleknek a horizontális rácsfelbontása még ma is 100 km körüli és futtatásuk rendkívüli számítási kapacitást igényel, ezért a lokális folyamatok pontosabb megismerésére ún. *regionális éghajlati modelleket (RCM)* használnak az éghajlatkutató központok. Az RCM-ek alkalmazásával a GCM-ek eredményeit határfeltételként skálázzuk le, melyet hazánkban az ELTE Meteorológiai Tanszékén (ELTE) és az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) végeznek. A Nyugat-Balkáni Nonprofit Kft. által üzemeltetett NATÉR rendszerben az említett két intézmény hazai futtatású modelljei mellett az intézmény munkatársai által feldolgozásra kerültek még további, ingyenesen elérhető, európai intézetekben futtatott RCM-ek is. Ezek az ún. EURO-CORDEX regionális modellek is nagyjából 10 km-es horizontális rácsfelbontással rendelkeznek és a hazai modellekénél nagyobb területen, teljes Európára rendelkezésre állnak (*Jacob et al., 2014*). A NATÉR-ben jelenleg megtalálható szimulációkat az **1. táblázat** **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.Hiba! A**

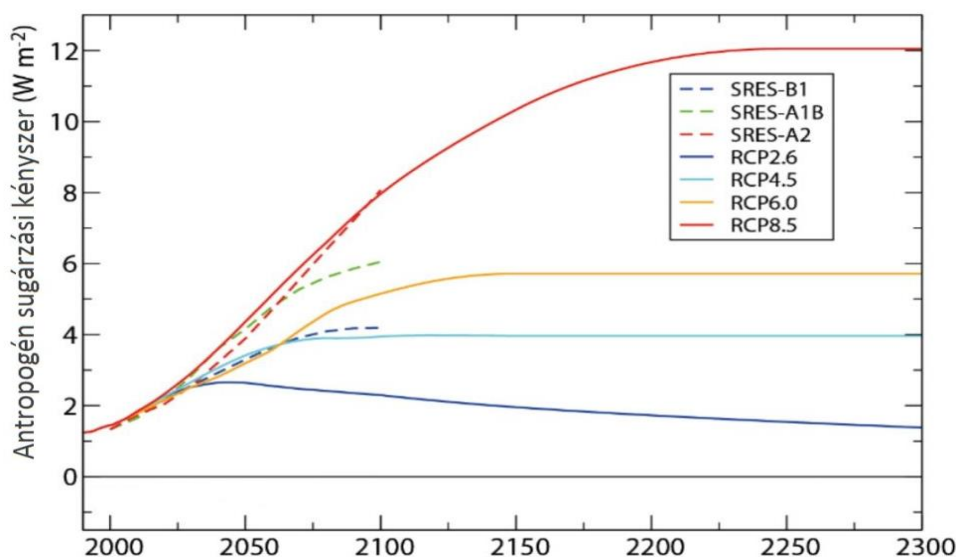
hivatkozási forrás nem található.Hiba! A hivatkozási forrás nem található. foglalja össze, amelyek a projekt során kiegészítésre fognak kerülni további modellfuttatásokkal is.

1. táblázat: A NATÉR rendszerben jelenleg elérhető regionális klímamodellek néhány jellemzője

Regionális modell	ALADIN-Climate4.5	RegCM3	ALADIN-Climate5.2	RegCM4.3	RCA4	RCA4
Globális határfeltétel	ARPEGE-Climate	ECHAM5	CNRM-CM5	HadGEM2-ES	CNRM-CM5	EC-EARTH
Forgatókönyv	SRES A1B	SRES A1B	RCP8.5	RCP4.5	RCP4.5, RCP8.5	RCP4.5, RCP8.5
Adatforrás	OMSZ	ELTE	OMSZ	ELTE	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX

Forrás: saját szerkesztés

A klímamodellek a természetes éghajlatalakító folyamatok (vulkánkitörések, napfoltok, a Föld pályaelemeinek módosulásai) mellett az emberi tevékenységet is figyelembe veszik, mely hatást a légköri üvegházgázok koncentrációján keresztül külső kényszerként, a rendszer sugárzási viszonyait módosító tényezőként tekintenek. Az ember által okozott éghajlatváltozást meghatározó gazdasági és politikai folyamatok jövőbeli alakulása nem ismert, ezért különböző ún. hipotetikus forgatókönyveket hoznak létre. A klímamodellekkel arra keressük a választ, hogyan reagál az éghajlat a kevésbé vagy jelentősen megváltozott jövőbeli sugárzási viszonyokra. Korábban a modellek az ún. SRES forgatókönyveket (Nakicenovic et al., 2000) alkalmazták a jövőre, amit mára felváltottak az ún. RCP forgatókönyvek (Moss et al., 2010)²¹. Ezek a sugárzási viszonyok tekintetében lehetnek átlagos (SRES A1B), pesszimista (RCP8.5) vagy optimista (RCP4.5) forgatókönyvek. A két forgatókönyvcsalád (SRES és RCP) egymáshoz való viszonyát a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Az ember okozta sugárzási kényszer változása az iparosodás előtti szinthez az SRES és RCP forgatókönyvekre 2000 és 2300 között
Forrás: IPCC AR5 WG1 (2013)

Az éghajlati modellek természetüknél fogva nem alkalmasak arra, hogy belőlük szezonális, több hónapra vagy évre vonatkozó előrejelzéseket készítsünk. Mivel ezek nem előrejelzések, ezért a jövőbeli évek vagy napok nem beazonosíthatók, azonban az eredményeikből számolt statisztikákon keresztül (átlagok, szórások, percentilisek, eloszlások) számszerű indikátorokat tudunk képezni. Nem lehetséges megadni, hogy pl. 2022 vagy 2040 nyarán milyen maximum-hőmérsékletekre számíthatunk, ezáltal mekkora lehet a hűtési igény, azonban azt igen, hogy a 2040-es években valamilyen valószínűség mellett milyen nyári maximumok várhatóak, amely a hűtési igény

²¹ Míg az SRES forgatókönyvek (Special Report on Emissions Scenarios) társadalmi-gazdasági folyamatokon alapulnak, addig az azt felváltó RCP-k (Representative Concentration Pathways) a sugárzási kényszer változásán. Az RCP-knél az előbbivel szemben lehetséges politikai és mitigációs lépések bevezetése is.

valamekkora növekedését eredményezi. Az éghajlati projekciókat általában egy 20-30-éves jövőbeli időszakra vizsgáljuk, mely gyakran a rövid távú adaptáció szempontjából fontos 2021–2050-re, illetve a hosszú távú stratégiáknál lényegesebb 2071–2100-ra vonatkozik. Az átlagos modellhibák kiküszöbölése végett egy múltbeli kontroll időszakot is megvizsgálunk, mely korábban az 1971–2000 időszak volt, azonban az éghajlati vizsgálatokban mára előfordul a jelenhez közelebbi vagy rövidebb referenciaidőszak használata is.

Fontos leszögezni, hogy a jövőbeli éghajlati modelleredmények nem tökéletesek és bizonytalanságokkal terheltek, amelyek közül kiemeljük az alábbiakat:

- 1) A természetes vagy belső változékonyság az éghajlati rendszer külső kényszer nélkül is fellépő tulajdonsága. Ezzel magyarázható például az egymást követő hidegebb vagy melegebb évek és évszakok váltakozása.
- 2) Mivel az éghajlati modellek nem azonos módszerekkel írnak le egyes fizikai folyamatokat (pl. a csapadékképződést), ezért azok válasza egy megváltozott külső kényszerre is mások lesznek. Ezt nevezzük modellbizonytalanságnak.
- 3) Az emberi tevékenység jövőbeli alakulása is bizonytalan, azaz nem mindegy, hogy a leírásukra használt forgatókönyvekből a modellek melyiket veszik figyelembe. Ezt forgatókönyv bizonytalanságnak nevezzük. Az egyes bizonytalanságok a különböző meteorológiai változókra más-más időskálán jelentkeznek, de a modelleredmények csakis az azokban rejlő bizonytalanságok megfelelő figyelembevételével értelmezhetők (Szabó és Szépszó, 2016). Egy jó hatásvizsgálat törekszik arra, hogy több regionális és globális klímamodell által több kibocsátási forgatókönyvet követő szimulációját tekintse, amely megfelelően reprezentálja a három bizonytalanságot, illetve ez alapján valószínűségi formában is megadható az egyes éghajlati indikátorokban bekövetkezett változás.

A legújabb regionális éghajlati modell az éghajlati skálán a legtöbb meteorológiai változót nagyon jól tudja szimulálni, azonban ahhoz, hogy pontos múltbeli indikátorokat számolhassunk a sérülékenységvizsgálat során, szükségünk van jó minőségű éghajlati megfigyelésekre is. Ezt egyrészt különböző statisztikák alkalmazásával elvégezhetjük a modellek validációját az adott változóra vagy származtatott indikátorra – vagyis, hogy mennyire tér el a múltbeli megfigyelt értéktől. Másrészt az így felmért múltbeli hibával korrigálhatjuk a jövőbeli modellezett értékeket különböző hibakorrekciós módszerek segítségével. Ma már a legtöbb, jó minőségű éghajlati sérülékenységvizsgálat, ahol van erre lehetőség, ilyen hibakorrigált adatokat vesz figyelembe a jövőre. Az általunk ismert és a projekt során felhasználható megfigyelési adatbázisok a következők: a NATÉR-ben is megtalálható, hazánkat lefedő CARPATCLIM-HU adatbázis, az azt felváltó, jelenleg legjobb hazai rácsponti HUCLIM adatbázis, a Kárpát-medence térségét érintő CARPATCLIM, az egész Európára létrehozott E-OBS, illetve a magaslégköri éghajlati indikátorokhoz szükséges ERA5 re-analízis. Ezen adatbázisok értelmezését és elemzését jelen alfejezetben nem részletezzük.

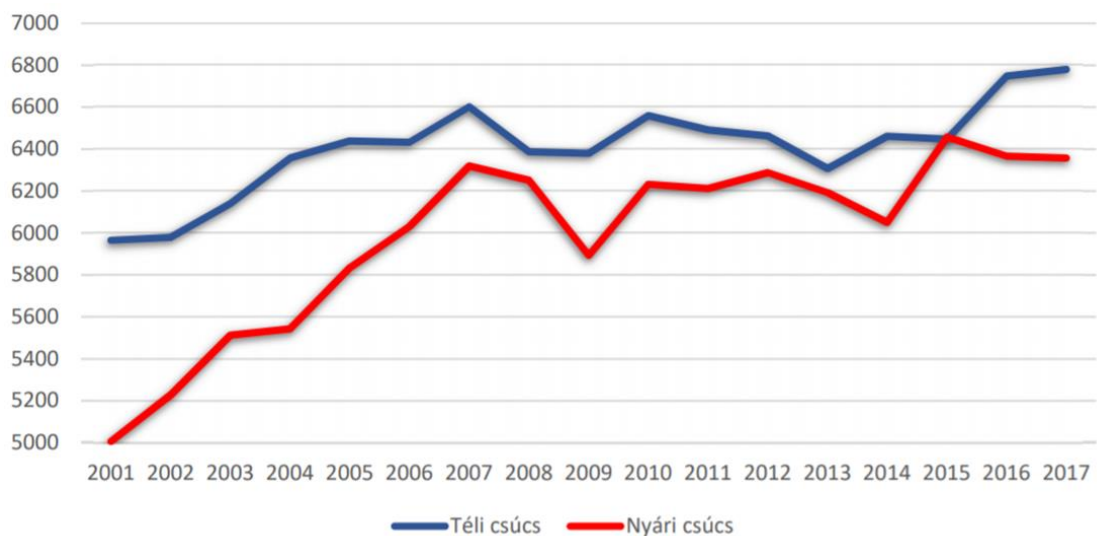
2.4 "NATÉR továbbfejlesztése" projektben elért eredmények

Az MBFSZ által 2016-2019 között megvalósított „NATÉR továbbfejlesztése” című projekt keretében már megkezdődött a villamosenergia-, távhő- és földgázellátás sérülékenységvizsgálatának módszertani megalapozása. A vizsgálat módszertanában különböző fázisig jutottak el az egyes tanulmányok. A következőkben ismertetjük a megalapozó tanulmányok legfontosabb eredményeit, illetve, azt, hogy a jelenlegi vizsgálatban milyen irányban szükséges ezeket továbbfejleszteni.

2.4.1 Villamosenergia-ellátás

Az elkészült tanulmányban röviden elemzik az országos villamosenergia-fogyasztásban az elmúlt néhány évtizedben megfigyelhető trendeket. Megállapítják, hogy a 2008-as gazdasági válság az energiafogyasztásban jelentős visszaesést jelentett, melynek oka elsősorban a feldolgozóipari

fogyasztás visszaesése volt. Mind a téli, mind pedig a nyári csúcsterhelés dinamikusan nőtt 2008 előtt, ezt követően stagnálás, illetve lassabb emelkedés következett. 2015 volt az első olyan év, melyben a nyári csúcsterhelés elérte és kissé meg is haladta a télit. (3. ábra)



3. ábra: A téli és nyári csúcsterhelések alakulása 2001-2017 között, GW
 Forrás: A magyar villamosenergia-rendszer 2017. évi adatai (hivatkozva: FICÉP, 2019)

A villamosenergia-fogyasztást befolyásoló tényezők között röviden megvizsgálták a klímaváltozást és annak hatásait, valamint a társadalmi–gazdasági trendek közül a népességszám változását, az egyszemélyes háztartások számának változását, a társadalom vertikális rétegződésének térbeli változását (területi egyenlőtlenségek növekedése). Bemutatják emellett a gazdasági változásokat, mert a GDP változása szoros kapcsolatban van a villamosenergia-fogyasztással. Az energiaárak esetében – a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont elemzésére hivatkozva – megállapítják, hogy a nagykereskedelmi árak növekedése önmagában nem fogja a fogyasztás csökkenését eredményezni. A műszaki-technológiai változások között a legjelentősebb várhatóan a légkondicionálók elterjedése, továbbá az elektromos autók számának növekedése lesz a jövőben.

A fenti, a jelenlegi helyzetet leíró megállapítások alapján a tanulmány javaslatot tesz azokra a NATÉR-ba integrálható indikátorokra, amelyek hosszú távon is előre jelezhetik a villamosenergia-ellátó szektor éghajlatváltozással kapcsolatos kitérttségét és érzékenységét. A villamosenergia-fogyasztást befolyásoló változások fent is bemutatott kategóriáiban (klímaváltozás, demográfia-társadalom, gazdaság, energiaár, műszaki-technológiai változások) meghatároztak lehetséges indikátorokat, továbbá becsülték azt, hogy az egyes változásoknak mekkora a bekövetkezési valószínűsége és mekkora hatással lennének a villamosenergia-fogyasztásra (a becslés módszerét nem közli a tanulmány).

A tanulmány jó inputként szolgál arra vonatkozóan, hogy a villamosenergia-igények változása esetében milyen tényezők figyelembevételére van szükség. Ezekhez konkrét javasolt indikátorokat is rendel, amelyek használata – az adatelérhetőség függvényében – megfontolandó jelen vizsgálat esetében is. Bár a tanulmány megemlíti azt, hogy az indikátorok „hosszú távon is előre jelezhetik a villamosenergia-ellátó szektor éghajlatváltozással kapcsolatos kitérttségét és érzékenységét” viszont az egyes indikátorokat nem sorolja be a sérülékenység-vizsgálati kategóriákba. Alkalmazkodóképességi indikátorokat nem fogalmaz meg a tanulmány, emellett számítási módszere sem tesz javaslatot, így arra sem, hogy az egyes indikátorokból hogyan legyen kiszámítva a sérülékenység. E hiányosságok kijelölik a jelen projektben követendő továbbfejlesztési irányokat.

2.4.2 Földgázellátás

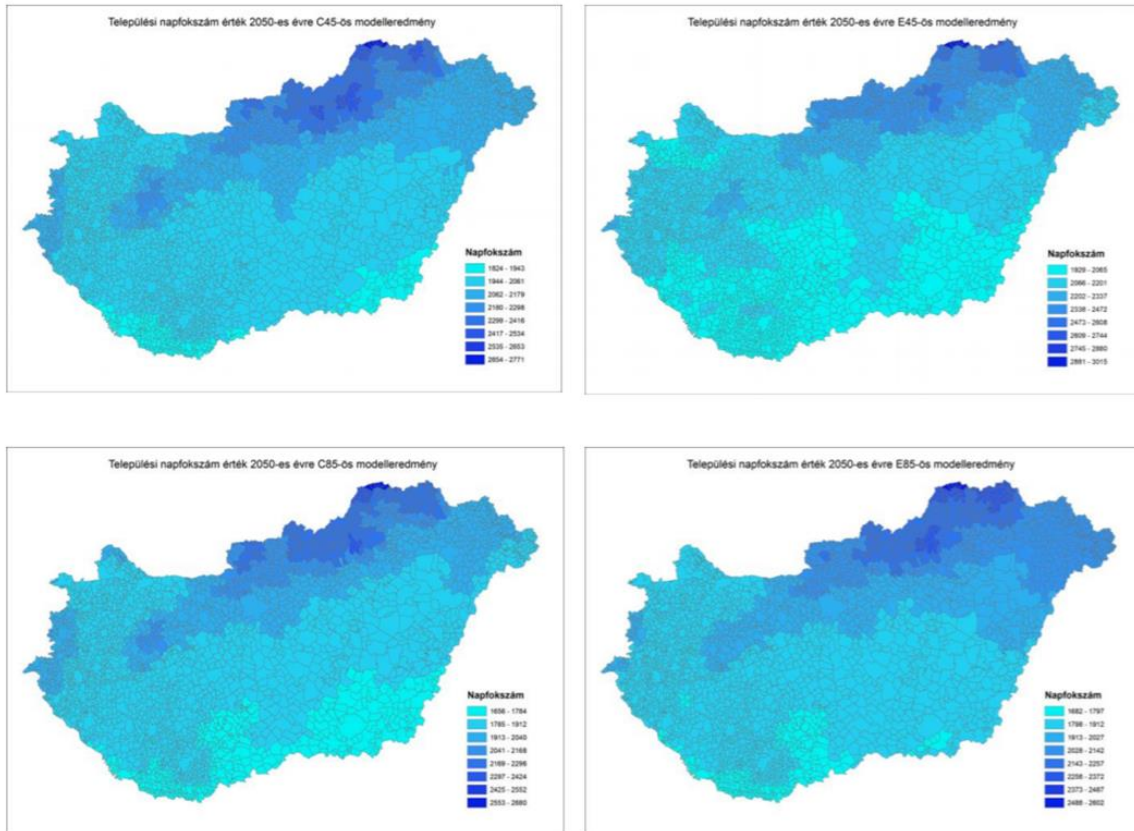
A földgázellátás sérülékenységet vizsgáló tanulmány a lakosság fűtési időszaki gázfogyasztását befolyásoló jövőbeli klimatikus viszonyokat a napfokszám²² értékek várható alakulásán, illetve annak valószínűsíthető következményein keresztül mutatja be négy klímamodell idősor elemzésével, a 2021-2100 közötti időszakban. A napfokszám a fűtési küszöbérték alatti hőmérsékletnek, a fűtési időszak hidegmennyiségével arányos értéke, amelyet az ÜKSZ (az FGSZ Zrt. Üzemi és Kereskedelmi Szabályzata) is meghatároz. A fűtési küszöbérték az a napi átlagos külső hőmérséklet, amely mellett a fűtőberendezések üzembe helyezése már szükséges. A sérülékenység-vizsgálat elméleti keretében a napfokszám változása kitettségi indikátornak tekinthető. A napfokszám hosszú távú vizsgálata lehetőséget biztosít a földgázpiaci szereplőknek (szállító, rendszerüzemeltető, elosztó, kereskedő, egyetemes szolgáltató), a felügyeleti szerveknek, valamint a szakpolitikai döntéshozóknak a földgázellátás várható fogyasztási trendjeinek elemzéséhez.

A jövőbeli napfokszám értékek számításához használt klímaadatok – napi középhőmérséklet-értékek – az EURO-CORDEX adatbázisból származnak. A kiválasztott modellkombinációk a CNRM-CM5 és EC-EARTH globális modellel meghajtott RCA4 regionális modell az RCP 4.5 és RCP 8.5 éghajlati forgatókönyvek alapján (összesen 4 modellkombináció).

A kutatás keretében elkészültek a négy modellkombináció alapján Magyarország minden településének éves napfokszám értékei, a 37 meteorológiai állomáshoz legközelebb eső modell-rácspontok éves napfokszám értékei, illetve a 253 összevont átvadó állomáshoz tartozó napfokszám értékek.²³ Az eredmények azt mutatják, hogy mind a négy modellszimuláció esetében egyértelműen látható a napfokszám csökkenése 2100-ig. (4. ábra)

²² A mutatót a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 19/2009. (I. 30.) Korm. rendelet is használja.

²³ Jelenleg a hazánkban a lakosság földgázellátása 348 fizikai átvadó ponton keresztül történik, de az FGSZ ezekből 253 ún. összevont átvadó pontot – és az ezekhez tartozó körzetet – képez, illetve tart nyilván. Ezekhez az összevont átvadó pontokhoz rendeli egy MEKH rendelet a 37 meteorológiai állomás valamelyikét.



4. ábra: Települési szintű napfokszám fedvények a 2050-es modellre
 Forrás: Geogold (2019)

A meteorológiai állomásokhoz legközelebb eső modelladatok vizsgálata lehetőséget adott arra, hogy megvizsgálják, hogy a jelenlegi szabályozás szerinti 37 meteorológiai állomásra vonatkozó középhőmérséklet-érték, illetve az abból képzett napfokszám megfelelő részletességgel képezi-e le az átadókörzetenkénti valós napfokszám értékek területi különbségeit. Ennek vizsgálatához kiszámításra került a négy klímamodell alapján az adott átadókörzethez jogszabály alapján rendelt meteorológiai állomás napfokszám értéke és az átadókörzethez tartozó települések napfokszámának lakosságszámmal súlyozott átlaga. Ez az érték elméletileg pontosabb az előbbinél, mert egyrészt a településekhez legközelebb eső klímamodellpontok közelebb vannak a településekhez, mint az átadókörzethez tartozó meteorológiai állomás, másrészt a lakosságszámmal való súlyozás a potenciális fogyasztók számának figyelembevételével módosíthatja az átadókörzet napfokszám értékeit.

Három mintaterületen vizsgálták, hogy a meteorológiai állomások megfelelően leírják-e az átadó napfokszám értékét. A vizsgálat eredménye, hogy abban az esetben, ha a meteorológiai állomás távolabb esik az átadókörzettől, illetve, ha a távolság mellett a domborzati viszonyok miatt kis területen nagyobb hőmérsékletkülönbségek jelentkeznek a meteorológiai állomás és a lakosságszámmal súlyozott települési napfokszámértékek között jelentős különbség is adódhat.

Fontos emellett megjegyezni, hogy a vizsgált időszak nagy részében a modelleredmények alapján rendszeresen visszatérnek az átlagosnál jóval magasabb napfokszámú évek. A jelenlegi szabályozás szerint a tárgyévet megelőző 10 év legmagasabb napfokszám értékét kell figyelembe venni a következő fűtési szezonra lekötendő gázmennyiség, illetve tározói kapacitás meghatározásakor. Ezek a kiugró évek – a jelenlegi szabályozás fenntartása esetén – folyamatosan magasan tartják a lekötendő gázmennyiséget, ami ellátásbiztonsági szempontból fontos, de a piaci szereplők számára kedvezőtlen pénzügyi következményekkel járhat.

A „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében készült tanulmány a földgázellátásról a kitétségi indikátorként értelmezhető települési napfokszámértékek változását (4 modellkombináció alapján) vizsgálta, a sérülékenység-vizsgálat többi elemére nem tért ki. Az eredmények a jelenlegi vizsgálatban kitétségi indikátorként várhatóan hasznosíthatók lesznek.

2.4.3 Táv hőellátás

A „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében elkészült tanulmány alapvetése, hogy a kihasználtság romlása veszélyezteti a távhő rendszerek gazdasági fenntarthatóságát, ezért szükséges feltárni azokat a tényezőket, amelyek a kihasználtság változását okozhatják.

„A „kihasználtság” általános értelemben egy forgalomnak egy adott kapacitásra vetített értéke, amely a távhőrendszer különböző alrendszereire értelmezhető.” A kihasználtságot így alapvetően a kapacitás és a fogyasztás különbsége határozza meg. Ez utóbbi függ a fűtési jellegű igényektől, a hálózati melegvíz (HMV) igényektől és a hálózati veszteségtől. A fűtési jellegű igényeket elsősorban a napi átlagos külső hőmérséklet határozza meg (a megalapozó tanulmány a távlati vizsgálathoz elegendőnek véli ennek vizsgálatát), de emellett a szélerősség és napsugárzás hatása is számottevő lehet. A múltira vonatkozó hőmérsékleti adatok vizsgálata alapján a tanulmány megállapítja, hogy a vizsgált évek (1997-2011) fűtési időszak külső hőmérsékletének átlaga közel 1 fokkal növekedett, illetve ezzel párhuzamosan a fűtési időszak külső hőmérsékletének szórása csökkent. A tanulmány azt is megállapítja, hogy a külső hőmérséklet eloszlása jó közelítéssel a normál eloszlást követi.

A használati melegvíz (HMV) igények a vételezési szokásokat követően széles határok között mozognak. Erre a tanulmány nem tér ki, de alapvetően befolyásolja, hogy mekkora a lakossági és nem lakossági fogyasztók aránya (pl. egy iskola melegvízfogyasztása más mintázatot mutat, mint egy lakásé). A hálózati veszteség éves szinten ismertnek vehető (a hőforrási és hőközponti mérések különbözőlete), ami a hőelosztó hálózat kiterjedésétől, fektetési módjától, hőszigeteléstől és kapacitás kihasználásától függ.

A kihasználtságot a kihasználási óraszámval lehet mérni, amely vizsgálható a hőtermelő szintjén a lekötött kapacitásra, vagy a beépített kapacitásra (a tanulmány tartalmazza a számítás módját).

A fentiek mellett a fogyasztást befolyásolják még a fogyasztói fűtőkorszerűsítés, egyedi mérés és szabályozás (akár 20%-kal csökkenő fogyasztás), az épület hőszigetelése (akár további 30%-kal csökkenő fogyasztás). A HMV igényt csökkenthetik az épületekre szerelt napkollektorok, az elosztási hőveszteségek csökkenthetők vezetékfelújítással, új vezetékszakaszok építése viszont növelheti a veszteséget. „A hőfogyasztási és termelési tényezőket fentiek révén tágabb értelemben befolyásolják a klíma- és energiapolitikai intézkedések, a településfejlesztési tervek, a rendelkezésre álló források, támogatások, amelyek az adaptációs képességet is meghatározzák.” Emellett számításba kell még venni az egyéb versenyző fűtési módokat, amelyek új potenciális fogyasztók preferenciáit befolyásolhatják.

A kihasználtság változásának értékeléséhez a tanulmány készítői excel táblát hoztak létre, amelyben az alábbi bemenő adatokat tudják felvezetni a rendszert üzemeltető szakemberek.

- **Kitétség:** a fűtési időszakra jellemző napi átlagos külső hőmérséklet (tk) átlagértékek és szórás értékei, illetve a leghidegebb nap átlaghőmérséklete a bázis és a jövőbeli állapotra. A bázis a klímamodellek 1971-2000 közötti időszak modellezési átlaga (igazodva a NATÉR-ban használt bázisidőszakhoz), a jövőbeli állapot pedig a 2021-2050 közötti évek átlaga. Két modellkombináció (RCA4 regionális modell, EC-EARTH globális modell adatokkal meghajtott szimulációk adatai alapján, az RCP 4.5, illetve az RCP 8.5 forgatókönyvek) eredményei kerültek felhasználásra. Az adatok három térségre készültek el (Budapest, Kaposvár, Debrecen), a táblázat kiltöltésekor a kiltöltőknek a három közül a hozzájuk közelebb eső város adatait érdemes megadniuk. A kitétséget

tehát a fűtési időszaki külső hőmérséklet gyakorisági eloszlása és időtartam diagramja, és a fűtési és nyári időszak hosszának változása jelenti.

- **Érzékenység:** a távhőrendszer időjárásfüggése, melyet a tanulmány szerint a bázis időszakra (vagy sok évre visszamenő adatok híján a közelmúlt időszakra) vonatkozó tény adatok figyelembevételével kell számítani. A modellszámításhoz a bázis időszakra vonatkozóan meg kell adni a fűtés, használati melegvíz (HMV) és hővesztésre vonatkozó alapadatokat, amelyre vonatkoztatva a jövőbeli állapot számítható. Egyszerűsített vizsgálathoz használhatók a tanulmány által megadott arányszámok (6.2. fejezet).

Nem klimatikus tényezők hatása (amelyek az alkalmazkodóképességet befolyásolják): ide érthetők egyrészt az energiahatékonysági intézkedések (melyeknek hatása a fogyasztói vételezésekre a jelenlegi klimatikus viszonyok mellett ismertnek vehető), továbbá a piacbővítő intézkedések.

- **Sérülékenység:** a távhőrendszer kihasználtsága az alapállapotú csúcshőigényre és az akkor beépített, rendelkezésre álló kapacitásra vonatkoztatva (illetve kifejezve a bázis és a jövőbeli hőforgalomra (QT)).

A módszertant két mintaterületen tesztelték is. Az egyik mintaterület a Budapesti Távhőszolgáltató Zrt. (FŐTÁV) Észak-Budai távhőközrete, a másik pedig Kaposvár volt.

A tanulmány az igényoldali sérülékenységet tehát a kihasználtság változásán keresztül értelmezte. A vizsgálathoz indikátorokat rendelt (kitettség, érzékenység, alkalmazkodóképesség), továbbá a módszertant mintaterületeken is kipróbálta. A tanulmány hasznos alapokat szolgáltat a módszertan továbbfejlesztésére, továbbá gyakorlati alkalmazására. Ennek érdekében célunk előállítani országos, a fentieknél részletesebb adattáblákat a kitettségi indikátorokra vonatkozóan (múltra és jövőre vonatkozóan is). Emellett a távhőrendszer időjárásfüggésére vonatkozóan is részletesebb adatok állíthatók elő figyelembe véve az egyes távhőrendszerek fogyasztói struktúráját (lakossági és nem lakossági fogyasztás megoszlása). Célunk a nem klimatikus tényezők pontosabb becslése is: ebbe tartozik a jelenlegi felújítottság becslése, továbbá a jövőben potenciálisan megvalósuló épülethatékonysági beruházások hatásának vizsgálata is. Emellett a piacbővítés lehetőségeinek elemzése is szükséges annak érdekében, hogy számszerűen beépíthető legyen a vizsgálatba.

2.5 Nemzetközi szakirodalmi kitekintés

Az energiaszektor, mint a globális emissziós mérlegben a legfőbb üvegházhatású-gáz kibocsátó ágazat a visszacsatolási mechanizmusokon keresztül rendkívül komoly kihívásoknak néz elébe. A szektorban a termelési és a fogyasztói oldalon is egyöntetűen megjelennek a klímaváltozás következtében fellépő kedvezőtlen hatótényezők. Egyrésztől mind kormányzati, mind gazdasági, mind társadalmi oldalról jelentős nyomásnak van kitéve, amelynek hátterében többek között az egyre növekvő klímavédelmi igények megjelenése áll. Másrésztől ezzel egyidejűleg éppen a megváltozó éghajlat és időjárás közvetlen (energiatermelés folyamatát befolyásoló tényezők²⁴) és közvetett (pl. megnövekedett nyári hűtésigény), valamint az egyre jelentősebb általános fogyasztással bíró társadalom megnövekedett energiaigényei is megjelennek.

2.5.1 Energiaigények várható alakulása megváltozó éghajlat mellett

Nagy számszerűségű és egyre növekvő nemzetközi szakirodalom próbálja feltárni a jövőbeli energiahasználati trendeket és a mindehhez kapcsolódó üvegházgáz-kibocsátást. Ezen vizsgálatok jellemzően a globális energiafogyasztás nettó növekedésével számolnak a jövőben, de térben és

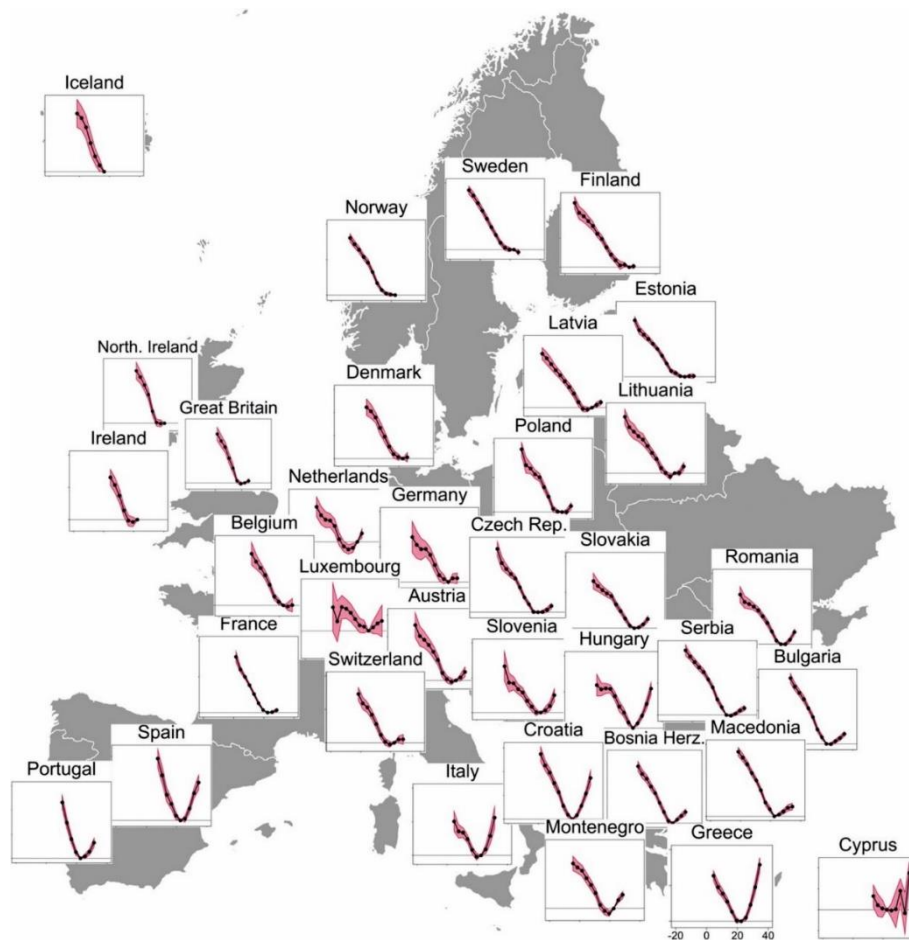
²⁴ pl. hűtővíz szűkösség; felszínközeli szélsőségek lecsökkenése; felhőborítottság növekedése; vízfolyások hozamának lecsökkenése és fokozott evapotranszpirációja

szocio-ökonómiai fejlettségben erősen differenciált kép tárul elénk a részletesebb felbontású elemzések során (DE CIAN–SUE WING, 2019). Noha a regionális elemzések nem feltétlenül tekinthetők reprezentatívnak, mivel az iparosodottabb államok nagyobb súllyal jelennek meg az elemzésekben, egyes országokról és régiókról elmondható, hogy végső energiafogyasztása a gazdaságuk méretének és szektorális felépítésének, valamint nem utolsósorban elfoglalt földrajzi szélességük (és/vagy egyéb meghatározó geográfiai pozíciójuk) függvényében változik (DE CIAN et al., 2013). Az átfogó szakirodalmi elemzések ugyancsak rámutattak, hogy az egyes térségekre lefuttatott elemzések eredményei nem hasonlíthatók össze kvantitatív módon, mivel rendkívül széles skálán mozognak az alkalmazott módszerek és megközelítések, továbbá az adatharmonizáció sok esetben nem valósítható meg (YALEW et al., 2020).

A klímaváltozás és az energiafelhasználás kapcsolatában a legáltalánosabban megfigyelhető jelenség a fokozott hűtési igény megjelenése és a fűtési szükségletek lecsökkenése. Mindez az egyre forróbbá váló nyarak és az enyhe telek egyértelmű következménye, de ezt a képet tovább árnyalja a további szélsőséges időjárási események következtében, olykor impulzusszerűen megjelenő energiafogyasztási kiugró események (pl. szélsőséges hőhullámok) gyakoriságának megjelenése. Hosszú távon azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni a lassabb megtérülési idejű kondicionáló beruházások (pl. szigetelések és egyéb építészeti, épületenergetikai megoldások) tágabb körben történő elterjedését, amelynek hatását az energiaigényre vonatkozó scenáriók viszonylag nagy hibahatárral tudják előre jelezni (LUNDGREN–KJELLSTROM, 2013).

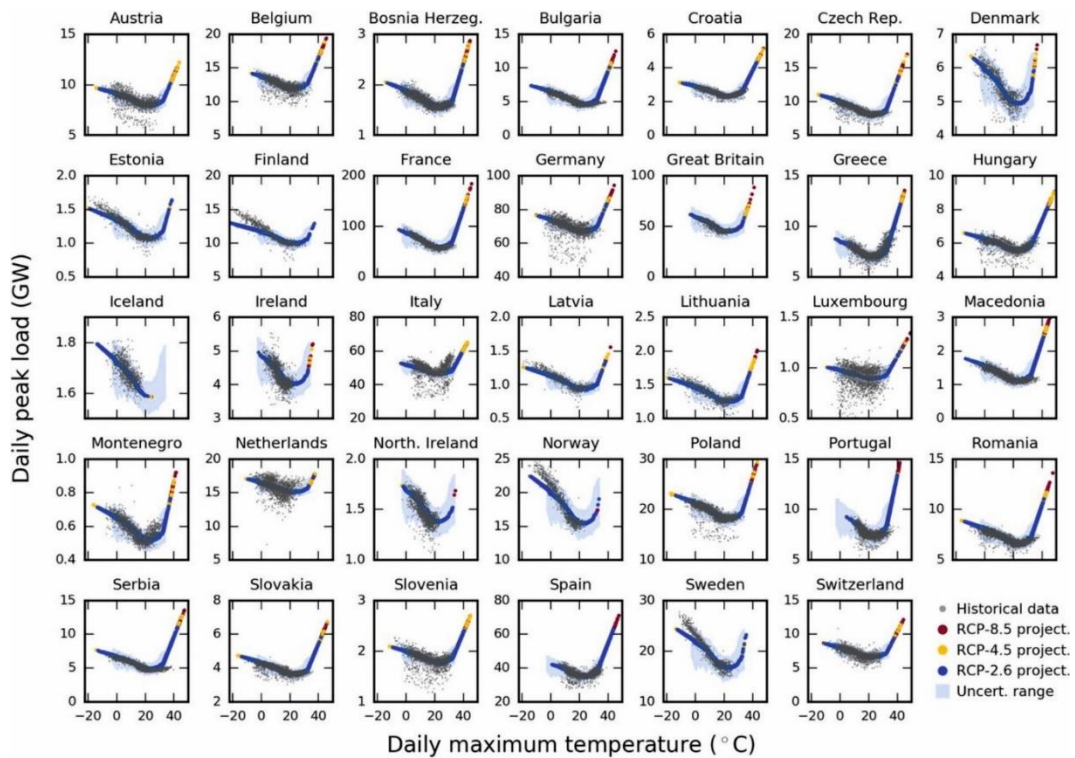
A globális léptékű kitekintésekben is megjelenő földrajzi szélességektől függő energiaigény változások, kisebb mértékben ugyan, de Európában is kimutatásra kerültek. Az európai népesség növekedését az energiahatékonyság növekedése várhatóan ellensúlyozza és csupán a klímaváltozásból adódó faktorok hatása elenyésző lesz az energiafelhasználásra vonatkoztatva, azonban ez nem jelenti, hogy a területileg differenciált képben nem jelennek meg növekvő energiaigénnyel fellépő régiók, területek.

A villamosenergia-fogyasztás jövőbeni alakulásának előrejelzésére egyedülálló módszert dolgoztak ki a Potsdam Institute for Climate Impact Research munkatársai. Kutatásaik keretében a teljes európai térségre elvégzett vizsgálatok szerint mind a csúcsfogyasztás mértékében, mind a teljes energiafogyasztásra vonatkoztatva megfigyelhető egy észak-déli polarizáció, továbbá egy szezonális nyári energiafogyasztási növekményt is ki tudtak mutatni 19 európai országban (WENZ et al., 2017). A felhasznált villamos energia mennyiségét a napi maximum-hőmérséklettel vetették össze, amelynek révén a téli fűtéshez kapcsolódó fogyasztás mellett jól kirajzolódott a dél-európai országokban a nyári légkondicionáló használatból adódó, magasabb hőmérsékleti értékekhez kapcsolódó energiaigénynövekedés (5. ábra).



5. ábra: Napi villamosenergia-csúcsfogyasztás a napi maximum-hőmérséklet függvényében
 Forrás: WENZ et al. (2017)

A jövőbeni változások előrejelzése szempontjából a jellemző hőmérséklet–energiafogyasztás görbék klímaszcenáriók alapján történő extrapolálásával megkapták a várható maximum-hőmérsékletekhez tartozó energetikai görbéket (6. ábra). Ezen a melegebb hőmérsékleti értékekhez tartozó fogyasztási értékek felé történő aszimmetrikus elmozdulás a domináns, melyben a dél-európai államok (pl. Spanyolország, Portugália, Franciaország, Görögország) rendkívüli többletigénye határozottan felülírja a téli fűtési igénycsökkenésből adódó változásokat.



6. ábra: A különböző klímaszenáriókhoz tartozó villamosenergia-csúcsfogyasztások változása a napi maximum-hőmérséklet függvényében

Forrás: WENZ et al (2017)

Az európai térségre előrejelzett energiafogyasztási változások efféle megközelítése az általános felmelegedés hatásait veszi csupán figyelembe. Ugyanakkor a fentebb bemutatott energetikai görbék fűtési periódusokhoz tartozó ága is érdemes a vizsgálatokra. Elsődlegesen természetesen a fűtési igények csökkenésével számolhatunk a jövőben, azonban ezt az általános trendet árnyalja a klímaváltozáshoz kapcsolódó szélsőséges időjárási események gyakoriságának a növekedése. Megbízható műszeres mérési adatokkal az 1880-as évek óta rendelkezünk, azóta a globális átlaghőmérséklet csaknem 1°C-ot emelkedett. Ennek a melegedésnek a döntő többsége az elmúlt 10-15 évben történt és a térbeli eloszlása sem egyenletes: a poláris területek melegedése többszöröse az alacsonyabb szélességek hőmérséklet változásának (ezt nevezzük arktikus amplifikációnak). A mérsékeltövi ciklontevékenyséért felelős Rossby-hullámok alakulása a meridionális hőmérséklet függvényében változik, minél kisebb ez a különbség, annál lomhább, nagyobb amplitúdójú magaslégtéri hullámok képződnek az arktikus amplifikáció miatt.

E folyamatnak köszönhetően a hidegbetörések és a meleg hullámok egyre szélsőségesebb váltakozása várható a jövőben. A csúcsfogyasztási rekordokat hozó (zord hideg, illetve forró) napok éppen ezekhez a hirtelen bekövetkező időjárási eseményekhez köthetők. Erre jó példaként szolgál a hazai 2021. február 11-i új áramfogyasztási rendszerterhelési rekord is, amelynek háttérében egy markáns hidegbetörés állt és a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR Zrt.) adatai alapján a rendszerterhelés elérte a 7119 MW-ot a késő délutáni órákban.

2.5.2 A fogyasztói igényváltozás előrejelzésének általános módszerei

Az energiafogyasztás igényváltozásainak előrejelzésére számos módszert dolgoztak ki az elmúlt években, amelyek esetében a számításkapacitások növekedése újabb irányvonalak megjelenését is eredményezte. Mesterséges neurális hálók, fuzzy algoritmusok, idősoros, autoregresszív mozgóátlag, regresszív modellek és genetikai algoritmusok egyaránt alkalmazásra kerültek (GHALEKHONDABI et al. 2017).

A megközelítések összetettségének a háttérben a nem-lineáris összefüggésrendszerek kaotikus viselkedése és az alkalmazott bemenő adatforrások száma, valamint a heterogenitása áll. A népesség- és gazdasági növekedés, az ágazati átrendeződések, az egyének és (gazdasági és politikai) szervezetek magatartásváltozásai, valamint a technológia olykor ugrásszerű fejlődési hullámai mind bizonytalansági tényezőket vonnak a rendszerbe (az előtekintés a múltbeli folyamatok kivetítéséből származik, a már jelenleg is megfigyelhető tendenciák beépítésével). Mindezen feltételeket még ki kell egészíteni a globális és regionális klímamodellek, csakugyan jelentékeny hibahatárokkal terhelt projekcióival. A legújabb globális modellek ökonometriai mutatókat és ezek becsült (pl. megosztott szocioökonómiai alternatívák - Shared Socioeconomic Pathways (O'NEILL et al., 2014) jövőbeni értékeit használják kiinduló állapotoknak, amelyre a Föld-rendszer modellek scenárióit ültetik rá, mint klimatikus sokkot (DE CIAN–WING, 2017; VAN RUIJVEN et al., 2019).

Ezen megközelítés alapján van Ruijven és munkatársai (2019) a villamosenergia-, kőolaj- és földgázigények változásait modellezték a lakosság, kereskedelem, ipar, mezőgazdaság és szállítmányozás viszonylatában 2050-ig. A kiinduló adatoknak 204 ország 1970–2014-es energiafogyasztási, fajlagos bevételi, árindexek és időjárási változók adatait vették figyelembe, melyek alapján ágazati energiaigény jövedelemrugalmassági és hőmérsékleti félrugalmassági összefüggéseket leíró függvényeket határoztak meg. Ezekből az elsődleges, „baseline” futtatásokból már kitűnt az energiafogyasztás általános hőmérsékletfüggése és érzékenysége a kiugróan hideg, illetve meleg napok gyakoriságára. A felismert függőségeket felhasználva a *Shared Socioeconomic Pathways* scenáriók alapján kiszámolták a 2050-re vonatkoztatott, de klímaváltozási hatásoktól mentes energiaigény értékeket. (A Shared Socioeconomic Pathways öt scenáriója [SSP1-SSP5] a mitigációs és adaptációs kihívásokhoz való országokénti alkalmazkodás alakulását hivatott leírni.)

A klímahatástól mentes projektált ökonometriai adatokra az RCP4.5 és RCP8.5 (évszázad végéig 4,5 és 8,5 W/m² sugárzási többletkényszerezettel számoló) klímascenáriók hatását vetítették rá. A számítások alapján globálisan 2050-re a felmelegedés hatására 11–27%-os, fokozottabb melegedés esetén 25–28%-os energiaigénytöbblet fog realizálódni. Európára vonatkoztatva az összes fűtési igények csökkenéséből adódó hatások (RCP4.5: -9– -11%; RCP8.5: -11– -14%) meghaladják a hűtési igénytöbbletet (RCP4.5: 4%; RCP8.5: 10–12%).

2.5.3 Energiatermelés és klímaváltozás

A felmerülő többletigények mellett a villamosenergia-szolgáltatást folyamatában is jelentős mértékben befolyásolja a klímaváltozás. A termoelektromos (nukleáris és fosszilis-alapú, valamint biomassa égetésen alapuló) erőművi termelés szolgáltatja a globális villamosenergia-termelésnek közel háromnegyedét (IEA, 2018). E termelési mechanizmus – főként a régebben épült erőművek (biztonságos) működtetésének alapvető követelménye a hűtővíz megfelelő mennyiségű és hőmérsékletű rendelkezésre állása²⁵. Az elmúlt évtizedben az egyre gyakoribb forró és száraz nyarak Európa, és az Egyesült Államok számos térségében az erőművi termelés csökkentését tették szükségessé a hűtővíz szűkösség miatt (FORSTER–LILLIESTAM, 2011). A hidrológiai és időjárási paraméterek modellezésén, illetve a villamosenergia-termelés numerikus szimulációján alapuló előrejelzési számítások szerint Európában 6,3–19%-os, az Egyesült Államokban pedig 4,4–16%-os nyári erőművi kapacitáscsökkenéssel kell számolnunk, csupán a lecsökkenő mennyiségű megfelelő hőmérsékletű hűtővíz miatt. Ezzel egyidejűleg a drasztikus (90%-ot meghaladó) termelés-csökkentési időszakok gyakorisága háromszorosára fog nőni a 2031–2060-as előrejelzési periódusban (VAN VLIET et al., 2012).

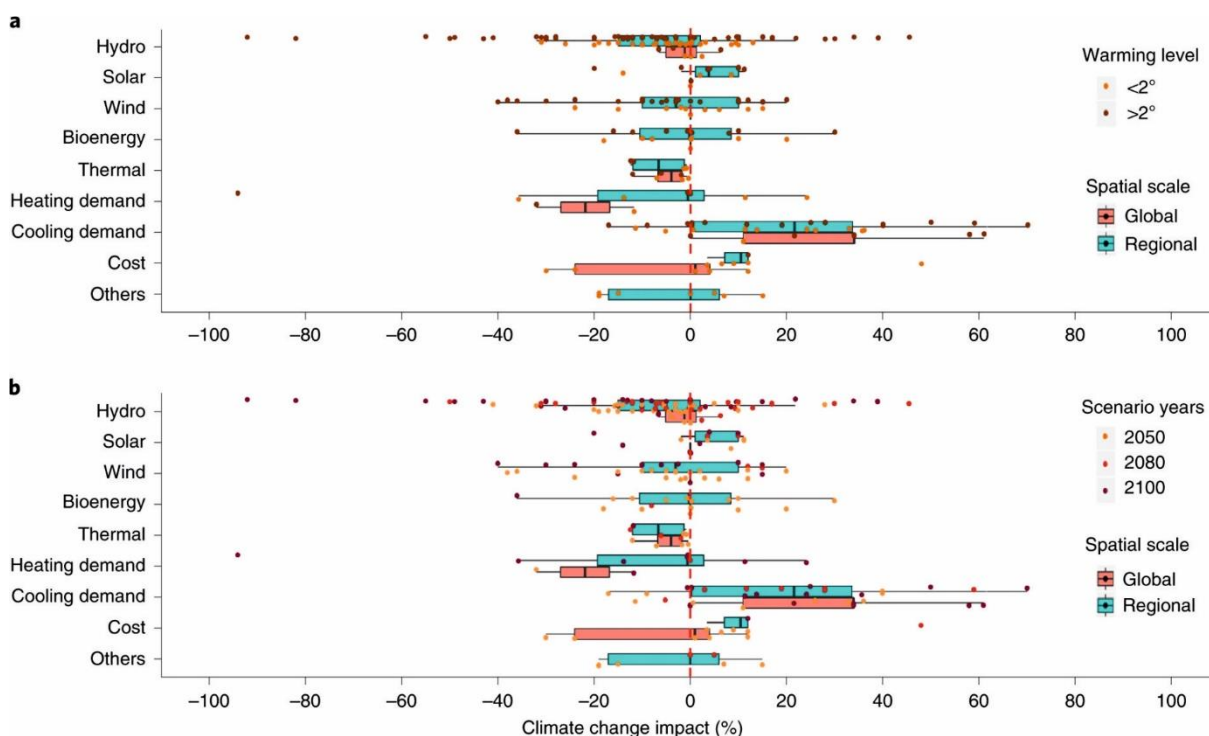
A különböző energiaforrásokat tekintve mindegyikről elmondható, hogy különböző mértékben ugyan, de érintett a klímaváltozás hatásaival szemben. A fentebbi, hűtővízhez kapcsolódó átfogó

²⁵ Az újonnan épült erőművek hűtésében egyre nagyobb szerepet játszik a száraz hűtésű hűtőtornyok, amelyek nem minősülnek kritikus infrastruktúra elemnek

problémakör mellett a kitermelés, szállítás és a klímaváltozás témaköréhez kapcsolódó társadalmi-gazdasági nyomás és egyéb hatásmechanizmusok szerepe sem alábecsülendő (IAEA, 2019).

A nukleáris energia elsősorban az uránbányászat és a hasadóanyagszállítás, majd lerakás éghajlat és időjárás függősége (pl. Ausztrália külszíni fejtéseinek kitermelését veszélyeztető csapadékesemények és áradások; a közepes- és nagyaktivitású radioaktív hulladék átmeneti tárolására kialakított létesítmények sérülékenysége), másodsorban pedig a társadalom éghajlatvédelemmel párhuzamosan erősödő környezetvédelmi attitűdjének a változásai által érintett. Ezen hatások azonban, vélelmezhetően nagyságrendekkel kisebbek, mint a hűtővíz kapcsán kiemelt tényezők. Ennek kapcsán FÖRSTER és LILLIESTAM (2011) egy hipotetikus közép-európai, 1400 MW kapacitású atomerőmű termelését modellezték 1–5°C hőmérséklet-növekedést és 10–50%-os hűtővízmennyiség csökkenést szimulálva. Számításaik szerint már a 2010-es években is évi 87 GWh/év termelés kiesést jelent mindez, de a +5°C-os scenárió esetében 1350 GWh/év értékkel kell már számolni, ami az éves teljes 12 TWh-s termelésnek rendkívül jelentékeny hányadát teszi ki. A modellezett erőmű esetében ez évi 81 millió eurónyi kiesett bevételt jelentene.

A fosszilis energiahordozók kibányászása is komoly kihívások elé néz. A külfejtéses szénbányák esetében a regionálisan megnövekedő csapadékmennyiség miatt, az olaj- és gázkitermelés kapcsán pedig a permafroszt olvadása, a sivatagi térségek egyre gyakoribbá váló por- és homokviharai, valamint a világtengerek szintváltozása következtében veszélyesebbé váló nyílttengeri szélsőséges időjárási események miatt lesz nehezebb a kitermelés. A melegedő éghajlat hatással van a hűtési mechanizmusokon túl az energiatermelés hatékonyságára is, melynek következtében 10°C-os hőmérséklet-növekedés 0,5–0,7%-os veszteséget jelent a szén-, 1–1,3%-ot a gáz-alapú erőművek esetében (PETRAKOPOULOU et al., 2020).



7. ábra: A (a) jövőbeni hőmérséklet-növekedés, valamint a (b) különböző időszakra vonatkoztatott klímascenáriók előrejelzett hatásai az energiaszektorban

Forrás: YALEW et al (2020)

A zöld energiatermelés tekintetében a megváltozó éghajlati és időjárási feltételek közvetlenül hatással vannak a megtermelt energia mennyiségére és költségeire. A szakirodalmi adatok területileg eltérő hatásokkal számolnak, azonban számos általános tendencia is megfigyelhető (7. ábra; 2. táblázat). A tanulmányok a fotovoltaikus energiatermelés jövőjére vonatkozóan enyhe pozitív előjelű

változásokat jeleznek előre, ugyanakkor a besugárzás jellemző növekedését árnyalja a melegebb hőmérsékleti viszonyok melletti enyhén lecsökkenő energiatermelési hatékonyság. Mindemellett a sivatagosodással párhuzamosan megnövekedő légköri porkiülepedés következtében szintén lecsökken a napelempanelok hatékonysága, ráadásul a sivatagosodó régiókban a táblák tisztítása a vízhiány miatt további extraköltségekkel jár. A szélerőművek kapcsán sokkal diverzebb kép alakul ki bennünk a szakirodalmi adatok alapján. A területi differenciáltság itt sokkal inkább megjelenik már, és a származtatott meteorológiai paraméterek bizonytalansága is előre vetíti a szektorra vonatkozó előrejelzések hibahatárainak megnövekedését. Hasonlóan erős a bizonytalanság a biomassza tekintetében, ahol a légköri szén-dioxid koncentráció megnövekedésének növény fiziológiai kedvező hatásait enyhítik a hőstressz és a szárazság kedvezőtlen folyamánnyai (YALEW et al., 2020).

2. táblázat: Az energiatermelést befolyásoló klímaváltozáshoz köthető hatások összefoglalása

Energiaszektor	Éghajlati változó	Hatás
Földgáz, szén és nukleáris	Levegő- és vízhőmérséklet	Hűtővíz mennyisége és minősége
	Levegő- és vízhőmérséklet; szélesebb és páratartalom	Hűtési hatékonyság, turbinák termelési hatékonysága
	Szélsőséges időjárási események	Külszíni fejtések eróziója; kitermelés szünetelése
Olaj	Szélsőséges időjárási események	Kitermelés (on- és offshore) szünetelése; szállítási nehézségek; olajfinomítók leállása
	Levegő- és vízhőmérséklet	Olajfinomítók hűtővíze
Biomassza	Levegő- és vízhőmérséklet	Megfelelő feltételekkel rendelkező földterületek rendelkezésre állása; terméshozamok
	Szélsőséges időjárási események	Sivatagosodás
	Szén-dioxid szint	Fotoszintézis hatékonysága, terméshozamok
Vízenergia	Levegő- és vízhőmérséklet; szélsőséges időjárási események	Rendelkezésre álló összes és szezonális vízmennyiség
		Evapotranszpiráció következtében történő vízmennyiség-csökkenés
Szélenergia	Szélesebb és szélirány mintázatváltozások	Közvetlen kapacitásbefolyásoló tényező
	Szélsőséges időjárási események	Káresemények
Fotovoltaikus energia	Hőmérséklet, csapadék, páratartalom	Nettó besugárzás változása (felhőzeti hatás)
		Hatékonyságcsökkenés
	Szélsőséges időjárási események	Panelok bekoszolódása légköri por kiülepedése által (soiling)
Geotermikus energia	Levegő- és vízhőmérséklet	Hűtési hatékonyság
Hullámenergia	Szél és szélsőséges időjárási események	Közvetlen kapacitásbefolyásoló tényező; káresemények

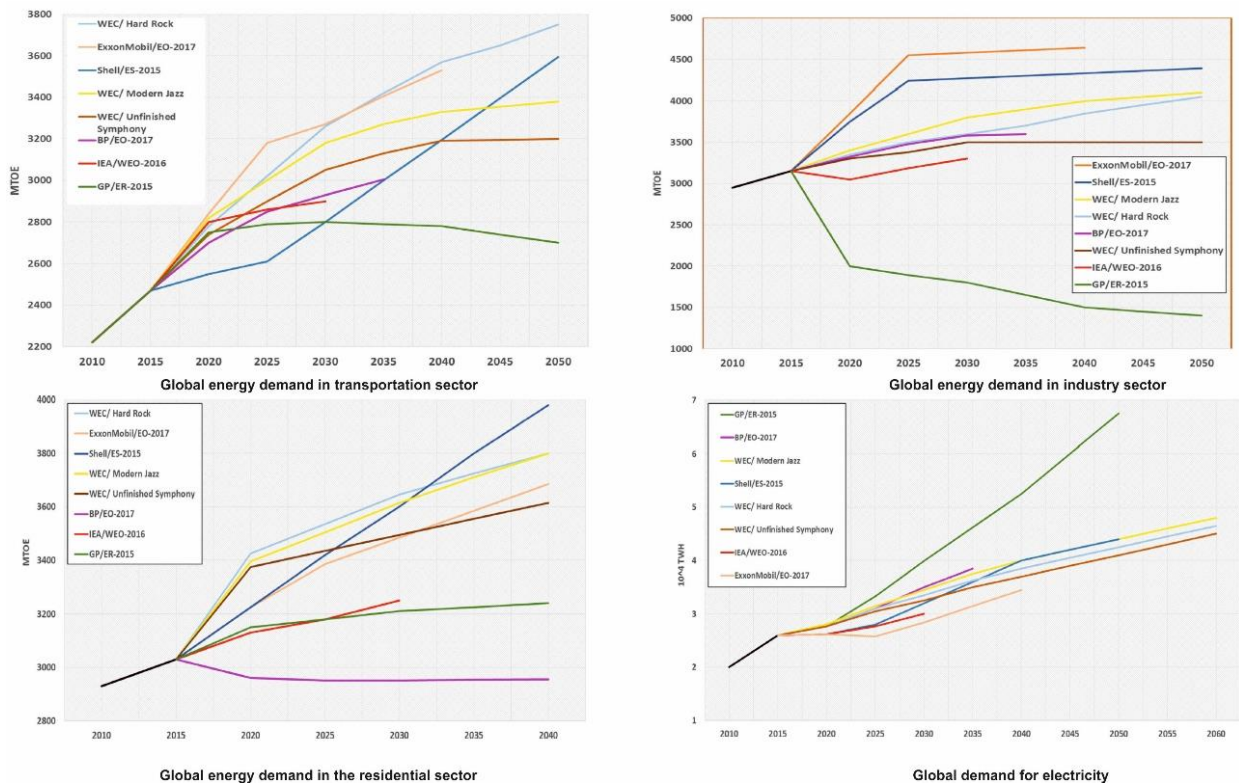
Forrás: SCHAEFFER et al. (2012)

A megtermelt energia szállítása, fogyasztókhoz való eljuttatása is kihívásokkal terhelt mai, változó éghajlatú világunkban. A villamos áram vezetékhálózatának áteresztő képessége csökken a növekvő hőmérséklet következtében (8°C-os nyári hőmérséklet-növekedés mellett 3–5%-os; általánosan 0,4%/°C veszteség) és a belógásnövekmény²⁶ következtében az áramvezető sodrony földfeletti magassága szabványtalanná válhat. A vezetékhálózat az egyre gyakoribbá váló szélsőséges időjárási események (pl. szélviharok, ráfagyásos epizódok, fokozottabb villámtevékenység) kapcsán is károsan érintett. A kőolaj és földgáz szállítása esetében a több ezer kilométeres csővezetékben keletkező károk (permafroszt olvadása, földcsuszamlások, áradások) és szivárgások róhatók fel a klímaváltozás kedvezőtlen hatásaiként.

Ahogy az eddigiekből is kitűnt, az egyes energetikai ágazatokra vonatkozóan számos publikáció jelent meg a klímaváltozás hatásaival szembeni sérülékenység vizsgálatára vonatkozóan. Az energiaigények jövőbeni alakulására vonatkozó projekciók megalkotásának egyik oka az ellátottság sérülékenységének a vizsgálata volt. Mindezen túl mivel mind az energiafogyasztást, mind a termelést egyaránt befolyásolja a klímaváltozás, míg az éghajlatváltozás legfőbb hajtómechanizmusaként számontartott megnövekedett légköri üvegházgáz-koncentráció kialakulásában rendkívüli szerepe van az energetikai iparnak és a fogyasztásnak is. Mára már egyértelmű törekvések jelentek meg a kisebb karbonintenzitású ágazatok preferálása, támogatása mellett a stratégiai tervezésben, amelyre az energiaágazat szereplőinek is lépniük kell. Mindezek együtteseként a nagy energetikai társaságok (és részben az egyes országok is) mára már fel kell, hogy készüljenek a klímaváltozás ezen közvetlen és közvetett hatásaira. A különböző szereplők elkészítették saját forgatókönyveiket a jövő energiaiparára vonatkozóan, hogy ők mire is számítanak 2050-re. Az energetikai cégek közül a Shell (Global Energy Scenarios by 2050 [ES-2015]), a British Petroleum (BP Energy Outlook-2017 [EO-2017]) és az ExxonMobil (2017 Outlook for Energy [EO-2017]), az energiapolitikai elemzések közül a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA – International Energy Agency World Energy Outlook [WEO-2016]) kitekintése, a Világ Energia Tanács (World Energy Council) „Modern Jazz”, „Unfinished Symphony” és „Hard rock” szcenáriói, valamint a Greenpeace és az Európai Megújuló Energia Tanács forgatókönyve alapján kerülnek bemutatásra az alábbiakban a szektor által várt jövőbeni változások (GHASEMIAN et al. 2020).

Az energiafogyasztás oldaláról a szállítás, az ipar, a lakosság és a villamos energia szempontjai kerülnek előtérbe (8. ábra). A szállítás kapcsán a jövőben egyöntetűen növekvő energiaigényekkel számolnak, amelynek ütemében és tartósságában való eltérést az ágazat kevésbé környezetszennyező és kisebb karbonintenzitású hajtóanyagokra történő átállásának a mértékére és időpontjára vonatkozó projekciók (illetve a Greenpeace esetében inkább „vágynak”) különbségei állnak. Az ipari energiafogyasztás növekvő trendjében a dekarbonizációs folyamatok az előrejelzések szerint változást hozhatnak a közeljövőben, de ennek mértéke nagyban függ a kormányzati és kormányközi szabályozásoktól és globális gazdasági állapotváltozóktól. A lakossági energiafogyasztás esetében megfigyelhető mérsékelt növekedést a jövőben, a projekciók alapján az épületállomány megújulásából és felújításából, valamint a klímabarát gondolkodásmód elterjedéséből adódó energiafogyasztási stagnálás válthatja fel. A villamosenergia-igény az áramtermelés kisebb karbonintenzitásúvá alakításának gyorsabb üteme (összehasonlítva pl. a szállítással), a technológiai fejlődés, valamint a zöld energiaforrások költséghatékonyságának javulása miatt a jövőben globálisan várhatóan tovább növekszik.

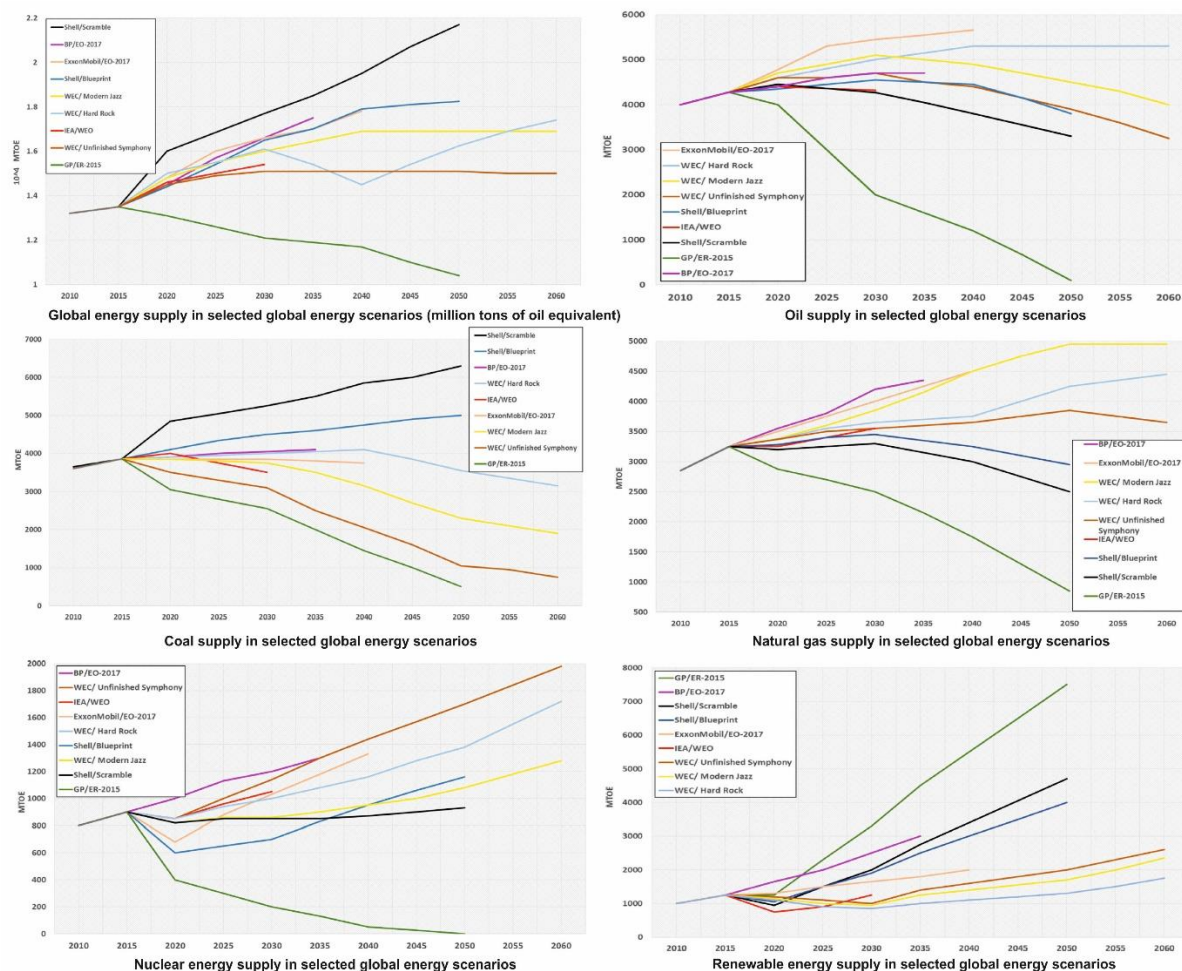
²⁶ A belógásnövekmény a nem elegendő felszín feletti szabad magasságra értendő.



8. ábra: A globális energiaigények alakulása a szállítás, a lakosság, az ipar és a villamos energia szempontjából

Forrás: GHASEMIAN et al. (2020)

Az energiatermelésre vonatkozó projekciók a teljes termelésre is kitérnek (9. ábra). Ebben az esetben is kilóg a sorból a Greenpeace víziója, amely a mihamarabbi teljes dekarbonizációval és a megújuló arányának drasztikus növekedésével számol. Az IAE-WEO előrejelzése szintén optimista képet fest a jövőbeni klímacélok betartása szempontjából, és amennyiben ez realizálódna, akkor a Párizsi Egyezményben foglaltak ez esetben valószínűleg teljesülnének is. Gazdaságunkban elfoglalt különösen fontos szerepe miatt a kőolajra vonatkozó előrejelzések mindig is nagy érdeklődésre tartottak számot. A projekciók további növekedéssel számolnak az olaj tekintetében, melyet azután enyhe részarány csökkenés fog követni. A szén, mint az egyik legolcsóbb energiaforrás a jövőben is jelentékeny hányadát fogja adni a globális energetikai piacnak, azonban a jellemző előrejelzési trendek a visszaszorulás irányába mozdulnak el, de klímavédelmi okokból kifolyólag a becslült jövőbeni értékek még mindig túlságosan magasnak mondhatók. Várhatóan a dekarbonizációs folyamatok részeként drasztikusabb visszaeséssel is számolhatunk majd. A földgáznak a villamosenergia-termelésben betöltött szerepe az elkövetkező években minden bizonnyal továbbra is meghatározó lesz. A földgáz átmeneti technológiai szerepe egy klímabarátabb energetikai világ felé az alacsony fajlagos szén-dioxid emissziójából, valamint a földgáztüzelésű erőművek technológiai adottságaiból (pl. nagy rugalmasság, magas hatékonyság, rövid kivitelezési idő, alacsony beruházási költség) is származtatható. A nukleáris energia hatékonyságával a többi energiaforrás nem tud versenyezni, neutrális üvegházgáz-kibocsátása szintén jól indokolja, hogy miért számolnak az előrejelzések a nukleáris energiatermelés mértékének növekedésével. A megújuló kapcsán a trendek lényegében egyezők a különböző scenáriókban, de a mértékek már közel sem.



9. ábra: A globális energiatermelés alakulása az összes termelt energia, a kőolaj, kőszén, a földgáz, a nukleáris és megújuló energia szempontjából

Forrás: GHASEMIAN et al. (2020)

2.5.4 Alkalmazkodási lehetőségek

Társadalmi-gazdasági-politikai nyomásra az energetikai szektornak a kibocsátás csökkentés irányába kell mozdulnia, mindemellett természetesen a klímaváltozás szerteágazó hatásaihoz alkalmazkodnia is kell az ágazatnak. A fentebb felsorolt kedvezőtlen folyamatokkal szembeni védekezés és felkészülés számos összefoglaló műben megjelenik (IAEA, 2019; EBINGER–VERGARA, 2011). Egy klímareziliens energiaszektor megvalósításához új technológiai fejlesztések, átfogó előzetes elemzések szükségesek. Az energiahordozók kitermelésétől, szállításától, az energiatermelés folyamatán át, az energiaszolgáltatásig és a felhasználásig, minden egyes lépésben megvan a lehetősége egy biztonságosabb és a klímaváltozás hatásaival szemben ellenállóbb szektor kialakításának.

Az alkalmazkodási lehetőségekről a szakirodalom meglehetősen diverz képet fest. Jellemzően az új létesítmények telephelyének klímahatásokat is figyelembe vevő kiválasztását, a szélsőségesse váló időjárási viszonyokkal szemben ellenállóbb létesítmények kialakítását, a hűtővíz új technológiák általi takarékosabb felhasználását vagy éppen a száraz hűtési mechanizmusok alkalmazását szorgalmazza. Mindezen ajánlások a problémafeltárás és a sérülékenységi elemzések eredményei alapján lényegükben magától értetődőnek tekinthetők.

A klímaváltozással és hatásaival szemben sikeresen fellépni kívánó európai közösségi célkitűzések szintén befolyással vannak az energia szektor jövőjére. Az Európai Bizottság „*A stabil és alkalmazkodóképes energiaunió és az előrettekintő éghajlat-politika keretstratégiája*”²⁷ c. dokumentumban fogalmaz meg az Európai Unió tagállamai számára előremutató ajánlásokat és közös európai célokat, mitigációs (megelőzési, azaz dekarbonizációs) célokkal is összefüggő alkalmazkodási lehetőségeket. A dokumentum szerint az energiaforrások, -szállítók és -útvonalak diverzifikációja kulcsfontosságú szerepet játszik abban, hogy az energiaellátást biztonságossá és rugalmassá lehessen tenni. Szintén megjelenik az energiaszektor jövőjét alapjaiban befolyásoló célként, hogy az EU importfüggőségét csökkentése érdekében és a globális éghajlatváltozással kapcsolatos kihívások kezelése céljából lépéseket kell tenni az uniós kőolajfogyasztás csökkentése érdekében. Az uniós energiatermelés tekintetében a megújulóakra kell helyezni a hangsúlyt, amelyekre nagy szükség van a dekarbonizációs célkitűzések teljesítéséhez, de emellett szerepet kapnak a hagyományos (az egyes tagállamok döntésének függvényében) és a nem hagyományos fosszilis erőforrások is. A nem hagyományos források (például a palagáz) felhasználásával történő olaj- és gázkitermelés ugyanis szintén nyitva álló lehetőséget jelent, amennyiben megfelelő figyelmet fordítanak a nyilvánosság általi elfogadottsággal és a környezeti hatásokkal kapcsolatos kérdésekre. Mindezen közvetlen ajánlásokon túl az energiahatékonyság növelésével tovább lehetne javítani az Unió energia ellátásbiztonságát és csökkenteni az energiaszükségletét, ezen energiaigényekre vonatkozó ajánlások elsősorban az épületek energiahatékonyságának javítása és a karbonszegény közlekedési ágazat szempontjából fogalmazznak meg az energia szektort közvetetten érintő javaslatokat.

Az Európai Bizottság 2019-ben tette közzé „*Az európai zöld megállapodás*” című közleményét. Az ebben megfogalmazottak szerint az energiarendszer további dekarbonizációja elengedhetetlen a 2030-ra és 2050-re vonatkozó éghajlatvédelmi célkitűzések teljesüléséhez. (Európai Bizottság, 2019)

A „*Nemzeti Energia és Klímatervek összegzése*”²⁸ c. dokumentum hasonló következtetésekre jut az energetikai szempontból releváns témakörökben. A „méltányos átállás” keretében a szénágazat közvetlenül érintett, mivel az Unió kivezeti a széntüzelésen alapuló energiatermelést. Ez jelentős kihívást jelent azoknak a térségeknek, amelyek gazdasága nagymértékben függ ettől az energiaforrástól. (Összesen 21 tagállam már vagy szénmentes (Észtország, Lettország, Litvánia, Belgium, Málta, Luxemburg, Ciprus), vagy kötelezettséget vállalt a szén (beleértve a lignitet és a tőzeget is) fokozatos kivezetésére, konkrét határidőt feltüntetve a NEKT-ekben. Két tagállam (Szlovénia, Csehország) még mérlegeli a széntüzelés fokozatos leépítésének körülményeit, míg négy tagállam (Lengyelország, Románia, Bulgária, Horvátország) nem készített tervet a kivonásra.) A Kormány 1452/2022. (IX.19.) Korm. határozata alapján az MVM Mátra Energia Zrt. működési engedélyeinek 2029-ig történő meghosszabbításának lehetőségét szükséges megvizsgálni. Magyarország a NEKT-ben 2030-ra vállalta a szén és lignit kivezetését a hazai villamosenergia-termelésből.

²⁷ https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF

²⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0564&from=EN>

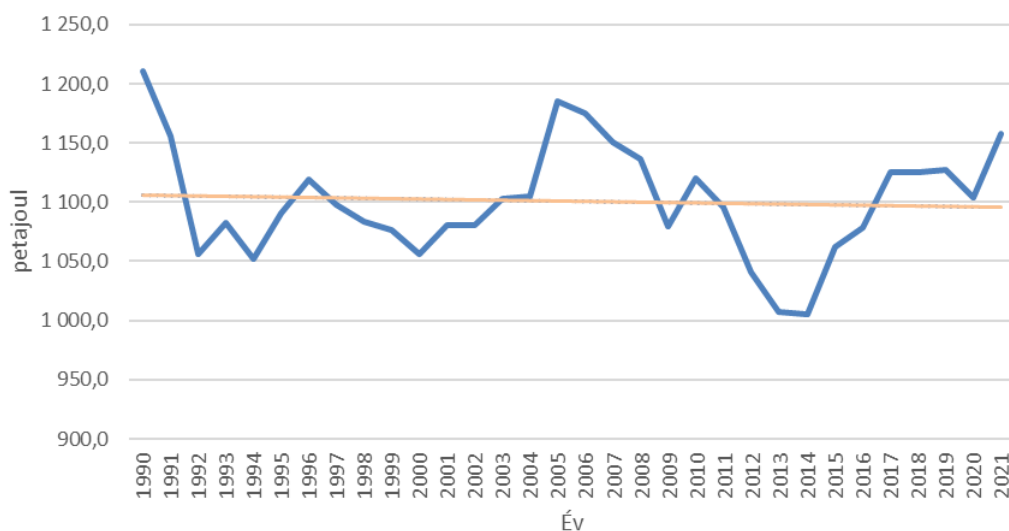
3 A villamosenergia-ellátás igényoldali sérülékenysége

3.1 Hazai körkép a villamosenergia-igényekről

3.1.1 Általános helyzetkép

3.1.1.1 A HAZAI VILLAMOSENERGIA-FOGYASZTÁS ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

Hazánk primer energiafelhasználása 2021-ben 1 157,5 PJ volt.²⁹ A primer energiafelhasználás az utóbbi három évtizedben lassú csökkenő trendet mutat Magyarországon. A 2015-2017-et követő háromévi fogyasztásbővülés után 2018-ban és 2019-ben enyhe csökkenés volt megfigyelhető (KSH, 2020), majd 2021-re a primerenergiafelhasználás újra növekedett. (10. ábra)

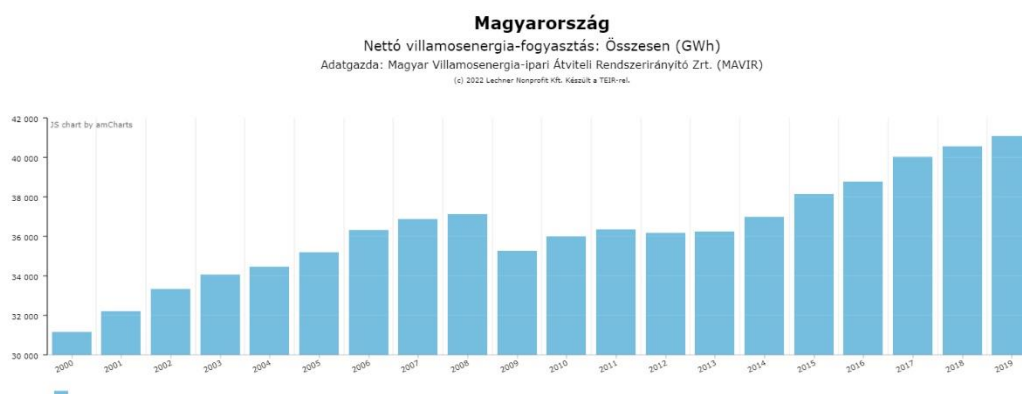


10. ábra: Primer energiafelhasználás Magyarországon 1990 és 2021 között
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása KSH, MEKH)

A 2018-ban mért hazai teljes villamosenergia-felhasználás a 2017-es évhez képest stagnált, de hosszabb időtávon – az utóbbi két évtized adatait vizsgálva – viszont a villamosenergia-felhasználás enyhe emelkedő trendet mutat. A rendszerváltást követően a nettó³⁰ villamosenergia-fogyasztás jelentősen visszaesett, majd folyamatos növekedésnek indult 2008-ig. A gazdasági válság hatására újabb kisebb csökkenés volt megfigyelhető, majd néhány év stagnálás után, 2014 után a fogyasztás újra jelentősen emelkedett párhuzamosan az ipari teljesítmény növekedésével. (11. ábra)

²⁹ Előzetes adat. Forrás: <https://www.ksh.hu/energiagazdalkodas>

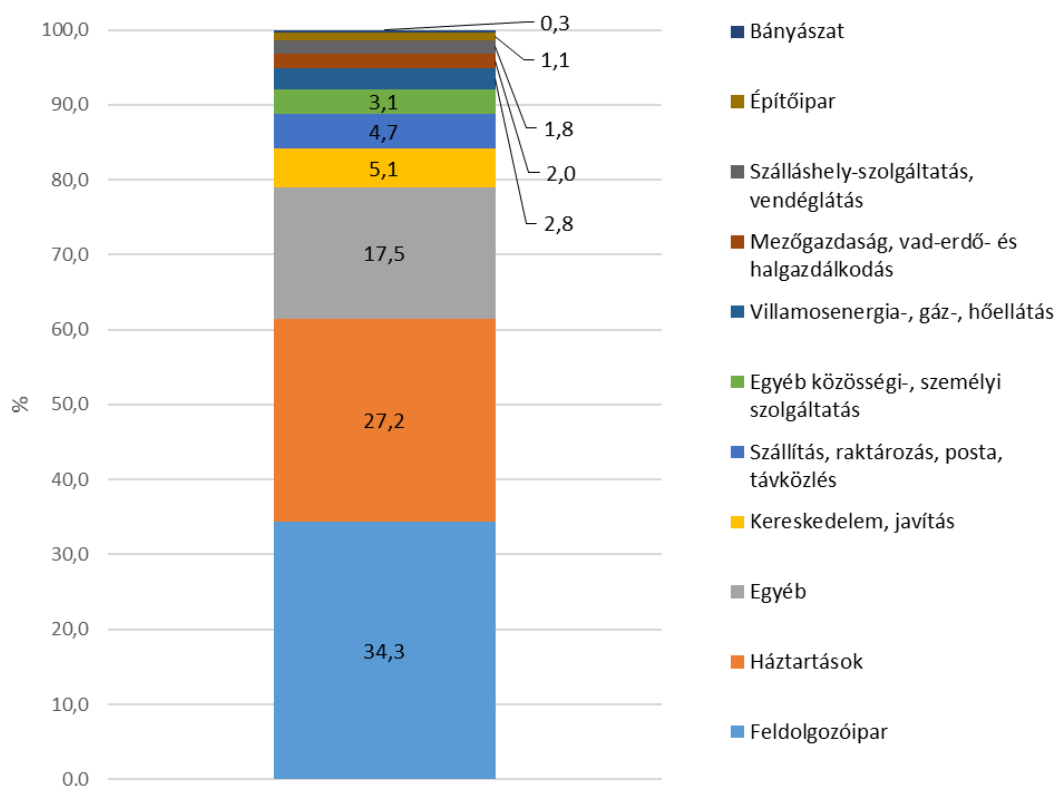
³⁰ Nem tartalmazza az erőművek önfogyasztását és a hálózati veszteséget.



11. ábra: Nettó villamosenergia-fogyasztás összesen
 Forrás: TeIR

Az ágazati megoszlás alapján a teljes villamosenergia-fogyasztás közel harmada (32,2%) a feldolgozóiparhoz kötődik, és a lakossági fogyasztás részesedése 2018-ban országos szinten 27,2% volt. Míg az utóbbi másfél évtizedben a lakossági villamosenergia-fogyasztás viszonylag stabilan alakult (a 2008-as válság hatására sem változott jelentősen), az ipari és szolgáltatási ágazatokat növekedés jellemezte, ami a 2008-as válság után megtört ugyan, de azóta fogyasztásuk újra növekvő pályára állt (MAVIR, 2019A). (12. ábra: A nettó villamosenergia-fogyasztás ágazati megoszlása 2019-ben

Forrás: TeIR)

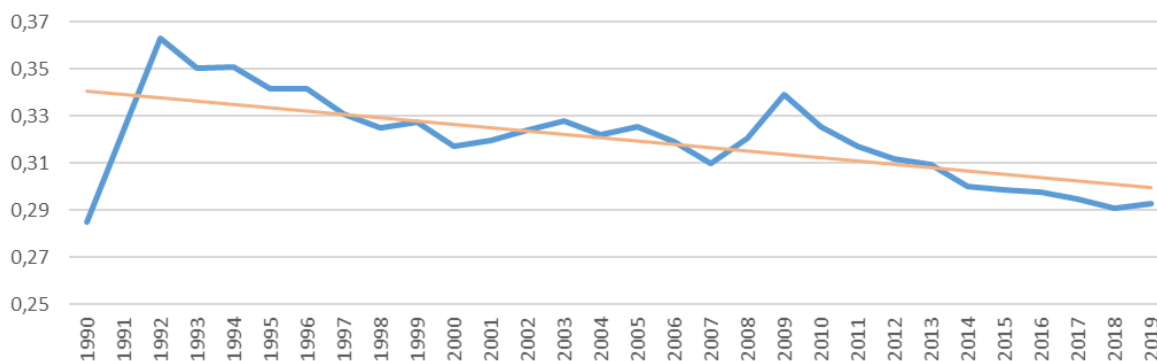


12. ábra: A nettó villamosenergia-fogyasztás ágazati megoszlása 2019-ben
 Forrás: TeIR

A villamosenergia-szolgáltatás kapcsán fontos mutató, a **csúcsterhelés** jellemzése, amely hasonló tendenciát mutat a villamosenergia-fogyasztáshoz: az 1990-et követő emelkedő tendenciát a 2008-as válság megtörte, majd lassú növekedés és stagnálás után 2013-tól újra a csúcsterhelés emelkedése figyelhető meg. A 2018-as csúcsterhelést (ami minden korábbinál magasabb terhelés volt) tartós hideg előzte meg, majd 2019 januárjában a korábbi csúcs is megdőlt és a terhelés megközelítette a 7000 MW-ot. Az évi csúcsterhelést jellemzően télen regisztrálják, 2015-ben azonban júliusban volt a legmagasabb a rendszerterhelés. Az éves csúcsok növekedése mellett a nyári csúcsterhelés emelkedése is megfigyelhető, továbbá, hogy a nyári csúcsterhelések napját az elmúlt években kiugróan magas napi középhőmérséklet jellemezte (MAVIR, 2019A). A MAVIR Zrt. a Századvég Zrt.-vel közösen megvizsgálta a 2018. évi, 2019. év eleji fogyasztási csúcsok okait és arra jutottak, hogy azokat különböző tényezők eredményezték, melyek között megtalálható a külső időjárási okok következtében megnövekedett fogyasztás (főleg nagyfogyasztói) és a hálózati veszteség is (esetenként extrém magas átviteli veszteség), amit a 2019. év eleji csúcs esetén fokozott az alacsony külső megvilágítottság és ennek következtében a kisfogyasztói igények növekedése is.

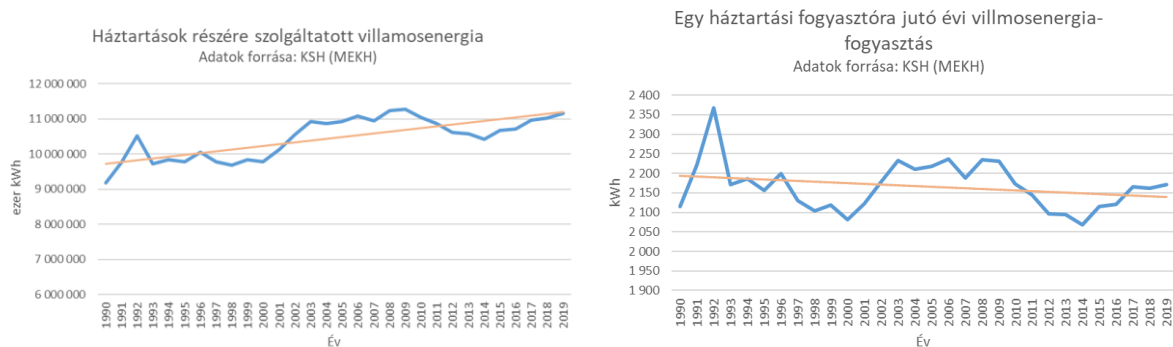
3.1.1.2 HÁZTARTÁSOK VILLAMOSENERGIA-FOGYASZTÁSA

A háztartások villamosenergia-fogyasztása a teljes nettó villamosenergia-fogyasztás 27,2%-át tette ki 2018-ban a MAVIR Zrt. adatai szerint. A MEKH adatai alapján a háztartások részére szolgáltatott villamos energia 29,1%-a volt a teljes villamosenergia-fogyasztásnak. Bár az adatok között kismértékű eltérés van, az elmúlt három évtized adatainak vizsgálata alapján látható, hogy a lakossági villamosenergia-fogyasztás részaránya a teljes fogyasztáson belül csökkenő trendet mutat. Bár a villamosenergia-fogyasztás a GDP-vel nagyon szoros összefüggést mutat (FICÉP, 2019), a lakossági fogyasztás viszonylag stabil (a válságok a múltban nem voltak rá jelentős hatással), ezért a lakossági fogyasztás részaránya jellemzően akkor emelkedik, amikor más szektorok (főleg ipar) fogyasztása csökken. Ez látható az adatokból 1990 után, illetve 2008 után. (13. ábra: Háztartások részére szolgáltatott villamos energia aránya az összes szolgáltatott villamos energiából Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH, MEKH)131313)



13. ábra: Háztartások részére szolgáltatott villamos energia aránya az összes szolgáltatott villamos energiából Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH, MEKH)

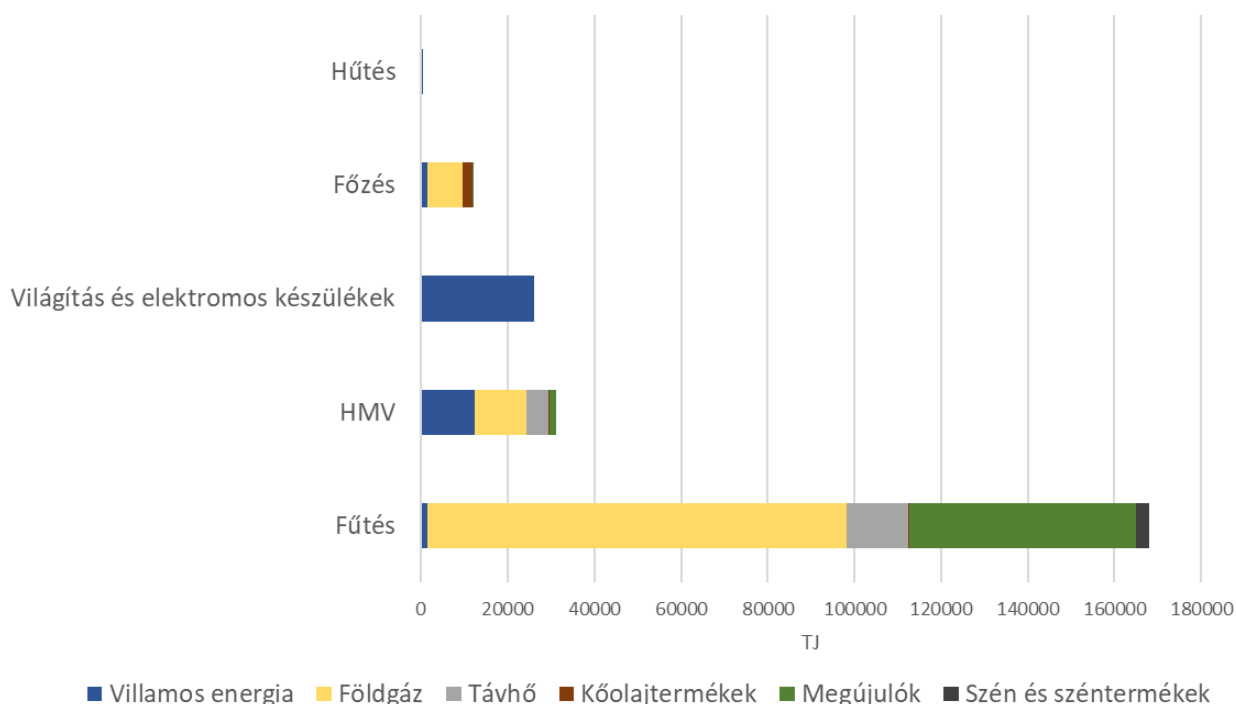
A háztartások részére szolgáltatott villamos energia mennyisége országosan lassú növekedést mutat, míg az egy háztartási fogyasztóra eső évi villamosenergia-fogyasztás csökken. Ez azt valószínűsíti, hogy a fogyasztók száma viszont emelkedik, amit az adatok is alátámasztanak. A MEKH adatai alapján a háztartási fogyasztók száma dinamikusan és folyamatosan emelkedik, 1990-es évek elején jellemző 4,4 millió háztartási fogyasztó a 2010-es évek végére meghaladta az 5,1 milliót, amiben feltehetően a villamosenergia-ellátás szélesebb körű elterjedése mellett az egyszemélyes háztartások számának növekedése is szerepet játszott. (14. ábra)



14. ábra: Háztartások részére szolgáltatott villamos energia és egy háztartási fogyasztóra jutó évi villamosenergia-fogyasztás, 1990-2019

Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH, MEKH)

A háztartások végső energiafogyasztása 2019-ben a következőképpen oszlott meg. A legtöbb energiát a háztartások a fűtésre használták, amely a vizsgált évben még nagyon kis arányban (0,8%) valósult meg villamos energia bázison. A hűtésre használt energia egyelőre elenyésző mennyiségű, 2019-ben 569 TJ volt, viszont a megelőző évhez képest 70%-kal nőtt. A háztartások használati melegvíz (HMV) igényének 39,6%-a villamos energia alapú. A villamosenergia-fogyasztás legnagyobb részét a háztartási gépek és világítás céljából felhasznált villamos energia teszi ki. A főzés céljából használt energia 12,4%-a villamos energia. (15. ábra)

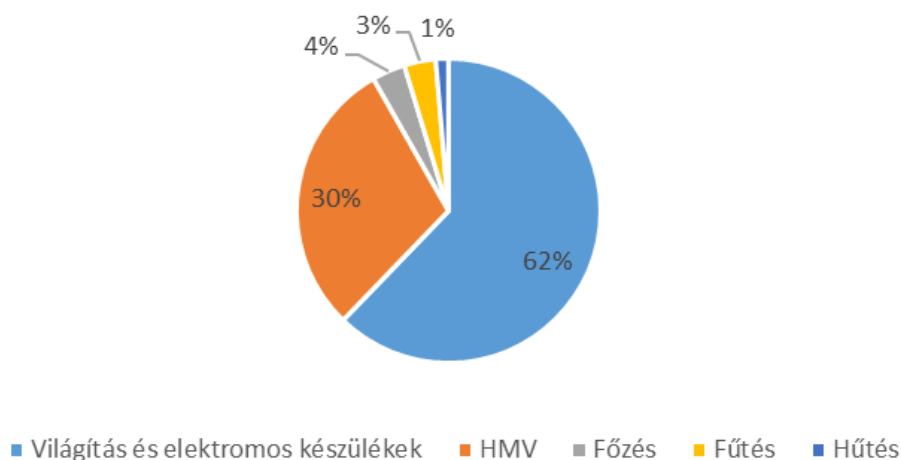


15. ábra: Háztartások végső energiafogyasztása (TJ), 2019

Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: TEIR, MEKH)

A háztartási villamosenergia-fogyasztás különböző célok szerinti megoszlását 2018-ban a következő diagram (16. ábra) mutatja. Az elektromos készülékek és a világítás céljára használják a háztartások a legtöbb villamos energiát, amit a használati melegvíz (HMV) követ. A fűtés és hűtés együttesen nagyon kis arányt tette ki a 2018. évi fogyasztásnak. Az elektromos háztartási eszközök

növekedésével várhatóan növekedni fognak a háztartások villamosenergia-igényei (FICÉP, 2019), amiben a hűtési igények növekedésének továbbá a hőszivattyús és az elektromos fűtés elterjedésének jelenetős szerepe lehet.



16. ábra: A háztartási villamosenergia-fogyasztás megoszlása célok szerint, 2019
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: TEIR, MEKH)

3.1.2 A villamosenergia-igények előrejelzésének hazai módszertana és eredményei

Az energiaigények változása – főleg, ha azok gyorsan következnek be – kihívások elé állíthatják a szolgáltatókat. A jövőben várható energiafelhasználás rendszeres tervezése és ennek felülvizsgálata szükséges a biztonságos és folyamatos energiaellátás biztosítása érdekében. A villamos energia esetében a rendszerirányító (MAVIR Zrt.) évenként, különböző kutatóhelyek pedig esetenként készítenek előrejelzéseket a jövőbeli igényekről hazánkban. A következőkben ezek módszertanát és eredményeit mutatjuk be röviden.

3.1.2.1 AZ IGÉNYELŐREJELZÉS MÓDSZERTANI MEGFONTOLÁSAI

A villamosenergia-igények előrejelzésére több megközelítés is létezik. A Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont tanulmánya (REKK 2011) alapján az előrejelzés módszertanának kiválasztásakor több szempontot is mérlegelni kell.

- Alapvetően az előrejelzés lehet **alulról építkező, vagy felülről lebontó** (*bottom-up, top-down*). Utóbbi esetében egy ország teljes energiafogyasztására teszünk előrejelzést, azt nem bontjuk meg komponenseire. Ebben az esetben jellemző, hogy egyéb, a villamosenergia-fogyasztással szorosan összefüggő indikátorok (pl. GDP) változása alapján becslik a fogyasztást. Hátránya, hogy feltételezi, hogy a múltban fennálló kapcsolatok a jövőben is ugyanúgy létezni fognak (MAVIR, 2019A). Ehhez képest az alulról építkező módszer a fogyasztás szerkezetének részletes megismerésén és a mozgatórugók megértésén alapul. Hátránya, hogy hatalmas adatigénye van, de a részletezettsége bármilyen mélységig növelhető.
- Az előrejelzési módszertanba bevonhatók olyan **külső változók**, amelyek megfelelően erős kapcsolatot mutatnak az energiafogyasztással és változásuk viszonylag jó biztonsággal előrejelezhető. A GDP-t jellemzően ilyen indikátorként szokták használni, bár a 2008-as válság után több fejlett országban gyengül a két folyamat közötti kapcsolat (MAVIR, 2019A).
- Az energiafogyasztás rövid távú ingadozásainak fontos hajtóereje az időjárás (főleg a hőmérséklet). Az **időjárási információk bevonásával** kiszűrhető az energiafogyasztási trendekből az időjárás hatása, így a valódi trendek pontosabban megismerhetők. A

megismert tanulmányok szerint az időjárás hatásait a villamosenergia-igényeket a rövid távon befolyásolók közé sorolják, míg a hosszú távon befolyásolók jellemzően gazdasági és társadalmi természetűek. Ez az éghajlatváltozás napjainkban is már megjelenő hatásai (pl. extrém, szélsőséges időjárási események) kapcsán egyre jobban napirendre kerül.

3.1.2.2 MEGLÉVŐ HAZAI ELŐREJELZÉSI MÓDSZERTANOK BEMUTATÁSA

A MAVIR Zrt. minden évben elkészíti „A magyar villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése” c. dokumentumot. 2018-at megelőzően a MAVIR Zrt. gazdasági előrejelzések alapján készítette ezen előrejelzéseit, 2018-ban viszont már az alulról felfelé építkező módszertan is figyelembevételre került. A 2019-es előrejelzés is hibrid módszertan alapján készült, amit az új trendek beépítése (hőszivattyúk, klímák, elektromos gépjárművek terjedése) és a klímaváltozás okozta hatások beépítése is indokolt. A modellezéshez az ENTSO-E számára kifejlesztett TRAPUNTA (*Temperature regression and load projection with uncertainty analysis*) szoftvert alkalmazták. A modellezéshez szükséges hőmérsékleti, sugárzási és szélesebbesre vonatkozó adatsorok az ENTSO-E Összeurópai Éghajlati Adatbázisból származnak. A létrejövő regressziós modellel a jövőbeli fogyasztás bármelyik klímaévre szimulálható órás bontásban. Lehetőség van trendszerűen megjelenő, új fogyasztási kategóriák beépítésére is, így a modellezésbe bekerült az elektromos gépjárművek száma és töltési szokásai, a különböző hőszivattyú és klíma típusok fűtési és hűtési igényekben várható térnyerése, az adatbankok terjedése okozta zsinór igények növekménye is. Az előrejelzés foglalkozik a klímaváltozás hatásaival, röviden ismerteti az elmúlt tendenciákat (pl. csúcsterhelés szempontjából kritikus átlaghőmérsékletű napok számának változása), illetve a klímamodellek alapján várható változásokat, de a számításban klímamodell eredményeket nem használnak fel, hanem a 2012-2016 közötti adatokból előállított normalizált klímaév képezi a számítás alapját (az elmúlt években tapasztalt időjárási extrémítások figyelembevétele érdekében).

A Századvég tanulmányát (SZÁZADVÉG, 2018) a MAVIR Zrt. igényelőrejelzése mutatja be (MAVIR, 2019A). Ez alapján elmondható, hogy ebben bottom-up módszert alkalmaztak. „Az ipar villamosenergia-igénye ágazatonként került meghatározásra, alapvetően a termelési érték jövőbeli alakulása és a fajlagos villamosenergia-fogyasztás (figyelembe véve az esetleges energiahatékonysági fejlesztések hatásának) becslésével. Kevés szereplős iparágak esetén (például vegyipar, kőolaj feldolgozás) egység szintű, tehát adott cégekre vonatkozó elemzés készült. Az élelmiszeripar, mezőgazdaság esetén még részletesebb, például adott állat állományváltozásának előrejelzésével készült el a fogyasztás becslés. A tercier szektor esetén a fogyasztás becslése több esetben adathiánnyal küszködött, melyet személyes interjúk és kérdőívek segítségével hidaltak át. A háztartások villamosenergia-fogyasztása a világítás, háztartási gépek, főbb elektronikai berendezések, klímák és bojlerok penetrációjának és fogyasztásának becslésével került meghatározásra.

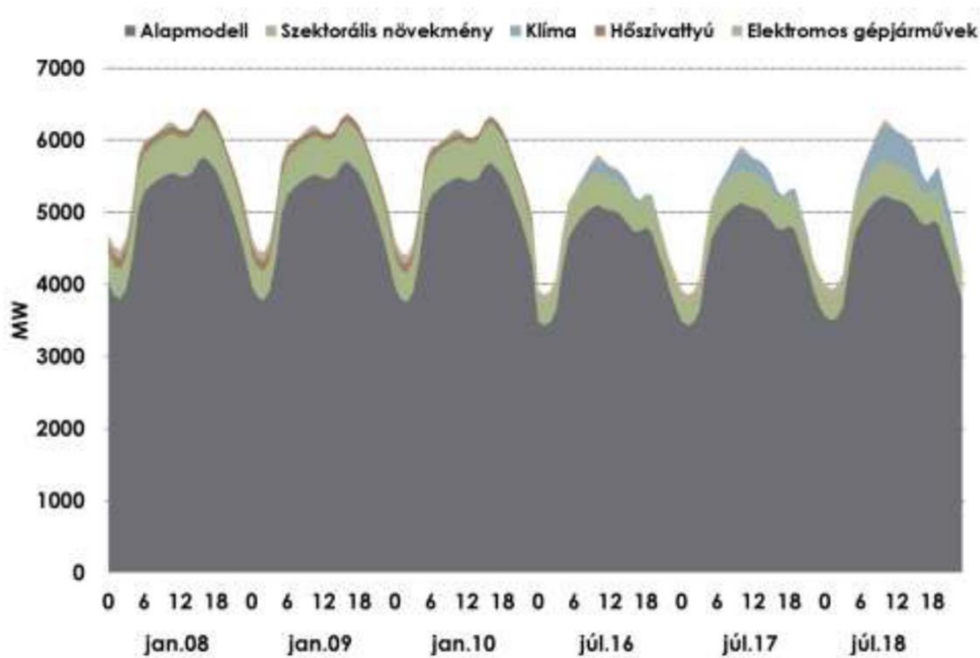
A Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont 2011-ben készített előrejelzést a villamosenergia- és gázigényekre vonatkozóan 2020-ig. A módszertanban megvizsgálták, hogy a fűtési (HDD) és hűtési napfokszám (CDD) egységnyi változása mekkora hatással van a napi villamosenergia-fogyasztásra. A kapott érték alapján korrigálták a hőmérséklettel egy közel 20 éves időszak évi fogyasztási adatait és azt kapták eredményül, hogy a vizsgált esetben és időszakban a hőmérséklet évek közötti változékonyságának nem volt jelentős hatása az éves fogyasztásra. (REKK, 2011)

3.1.2.3 A HAZAI ELŐREJELZÉSEK EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA

A MAVIR Zrt. legutóbbi előrejelzési eredményeinek bemutatása előtt érdemes röviden megvizsgálni a korábbi évek előrejelzéseinek helytállóságát is. Áttekintve a korábbi évek igényelőrejelzéseinek eredményeit az látható, hogy jellemzően a MAVIR Zrt. becslései jelentősebb energiaigény-növekedést jeleztek előre, mint a későbbi tényadatok. Ennek oka, hogy a 2008-as válság miatt nagy energiafogyasztás-visszaesést az előrejelzés érthető módon nem láthatta előre, majd 2008 után a gazdasági előrejelzések gyorsabb konszolidációt feltételeztek. Ugyanez igaz volt a

csúcsterhelés előrejelzésére is. 2014 után viszont a vártnál jelentősebb GDP növekedés miatt a prognózisok alulmaradtak a későbbi tényfogyasztásokhoz képest.

A legutóbbi, 2019-es modellezés során a jövőbeli fogyasztás három változata került kialakításra (alap, kisebb és nagyobb igénynövekedés). Az alapváltozat szerint a nettó villamosenergia-fogyasztás 2034-re meghaladja a 46 ezer GWh-t, ami a jelenlegi fogyasztáshoz képest több, mint 6500 GWh növekményt jelent. A növekmény elsősorban az ipari szektorhoz kötődik, előrejelzésük szerint a növekmény hűtési és fűtési villamosenergia-igények és az elektromos gépjárművek fogyasztásának a nettó villamosenergia-fogyasztáshoz képesti aránya 2034-re sem haladja meg a teljes igény 5%-át. A hálózati veszteség nettó fogyasztásra vetített arányában kismértékű, fokozatos csökkenést feltételeznek a 2010-es 10,5%-os szinthez, illetve a 2018-as 8,3%-os szinthez képest. A bruttó villamosenergia-fogyasztásra vetített erőművi önfogyasztás esetében eleinte szintén enyhén csökkenő, majd növekvő tendenciával számoltak az előrejelzés készítői. A csúcsterhelésre vonatkozóan az előrejelzés mindhárom forgatókönyve folyamatos, de eltérő mértékű növekedést prognosztizál. Modellezték azt is, hogy a klímák, a hőszivattyúk és az elektromos járművek elterjedése a téli és nyári időszakban milyen hatással lenne a csúcsterhelésre, amit a 17. ábra szemléltet.



17. ábra: Terhelési görbék a 2029-es sarokévre
Forrás: MAVIR (2019A)

3.2 Sérülékenység-vizsgálat értelmezési keretei a villamosenergia-igények vonatkozásában

A jelen projekt keretében a villamosenergia-ellátás igényoldali sérülékenység-vizsgálatának célja annak értékelése, hogy az éghajlatváltozás hatásai várhatóan hogyan érintik a villamosenergia-igényeket és ezzel a változással szemben a villamosenergia-ellátás rendszere mennyire sérülékeny, illetve mely paraméterek befolyásolják a sérülékenység mértékét.

A villamosenergia-felhasználásnak jól becsülhető napi, heti és évi menete van. A közép távú igényváltozásokra legnagyobb mértékben az ipari termelés van hatással. Ennek ellenére azért is szükséges az éghajlatváltozás hatásainak a figyelembevétele, mert bizonyos időjárási paraméterek (vagy ezek együttállása) hozzájárulhat a terhelési csúcsok kialakulásához és az energiafelhasználás növekedéséhez.

A jelenlegi ismereteink alapján úgy látjuk, hogy az éghajlatváltozás két fő módon van hatással a villamosenergia-igényekre: a nyári hőségidőszakok gyakoribbá válásával növekszik a hűtési igény (1), illetve – bár a téli átlaghőmérséklet inkább nő – szokatlan hideg időszakok előfordulhatnak, amelyek a fűtési energiaigényeket rövid időre jelentősen növelhetik (2). Mindkét folyamat erősödésében jelentős szerepet játszanak társadalmi-gazdasági és technológiai tényezők is. Míg előbbit fokozza a hűtőberendezések elterjedésének növekedése, addig utóbbi az elektromos fűtési módok elterjedése következtében fokozódhat.

A vizsgálatban a fentiekhez kapcsolódóan *kitettségként* értékeljük azoknak az éghajlati paramétereknek a változását, amelyek a csúcsterhelések kialakulásában – az elmúlt időszakok adatai alapján – közrejátszhatnak. Emellett – amennyiben erre vonatkozó adatok elérhetőek lesznek – egyes jelentős villamosenergia-fogyasztó eszközök térségi, területi potenciális jövőbeli elterjedését is érdemes megvizsgálni.

Az *érzékenységet* az fogja megmutatni, hogy adott területegységen a villamosenergia-fogyasztás mennyiben hőmérsékletfüggő. Feltételezzük, hogy azokon a területeken, ahol elterjedtebb az elektromos fűtés, vagy jelentősebbek a hűtési igények, ott a terhelés és a hőmérséklet szorosabb összefüggése kimutatható. Ennek kapcsán vizsgálható az, hogy a nagyobb hőmérsékletfüggés milyen egyéb mutatókkal korrelál (pl. térségi GDP, lakosság jövedelmi helyzete stb.).

A két komplex mutatóból előállított *várható hatás* azt fogja megmutatni, hogy a klímaváltozás hatására várható terhelésnövekedés kockázata Magyarország egyes térségeiben milyen mértékű lesz.

A logikai keretrendszerben *alkalmazkodóképességként* olyan mutatókat vonhatunk be, amelyek a hatásokat, jelen esetben a térségi (akár váratlan) terhelésnövekedés hatásait ellensúlyozni tudják. Ilyen lehet például a pontosabb menetrendtartás (aminek egy eszköze pontosabb meteorológiai előrejelzések előállítása, vagy a terhelések fogyasztóoldali kiegyenlítése).

3.3 A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre

A sérülékenységvizsgálat elvégzéséhez olyan adatokra van szükségünk, amelyek megmutatják a kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképességi mutatók területi különbségeit, így általuk kirajzolódik az éghajlatváltozás villamosenergia-igények változására gyakorolt hatása és sérülékenysége. Jelen vizsgálatban alapvetően a hatások számszerűsítésére, értékelésére, valamint az alkalmazkodóképességi paraméterek meghatározására törekszünk. Az alkalmazkodóképesség a legnehezebben számszerűsíthető indikátor a vizsgálatban: jellemzően megállapítható, hogy a rendszer milyen jellemzői segítik az alkalmazkodását (vagy milyen beavatkozások javítanák az alkalmazkodóképességet), de ezekhez nehezen rendelhetőek adatok, különösen olyanok, amelyek a területi különbségek kimutatására alkalmasak, ezért a sérülékenység területi különbségeinek meghatározására nem kerül sor.

3.3.1 A villamosenergia-igényekre vonatkozó adatok elérhetősége

A vizsgálatban két jelenséget, a nyári és a téli csúcsterhelés növekedését szeretnénk vizsgálni (mint az éghajlatváltozással leginkább összefüggő, a rendszer több pontján problémát okozó jelenség). A vizsgálathoz rendelkezésünkre álló adatok azonban sajnos hiányosak (a helyi csúcsok vizsgálatához megfelelő részletettségű adatok egyáltalán nem állnak rendelkezésünkre), ezért a sérülékenységvizsgálat elvégzéséhez közelítő adatokat kell használnunk.

A projektben jelenleg az átviteli hálózatra fókuszálunk, partnerünk a MAVIR Zrt. Az elosztói engedélyesek bevonására nem került sor, ezért terhelési adatok számunkra kizárólag az átviteli hálózat csomópontjaira érhetőek el napi szinten. Ezekon azonban számos olyan hatás felfedezhető, ami nincs kapcsolatban az éghajlatváltozással vagy egyáltalán a hőmérséklettel. Éppen ezért ezek az adatok csak korlátozottan használhatók a vizsgálat szempontjából. A következőkben bemutatott indikátorok ezért a sérülékenység erős közelítésére alkalmasak.

3.3.2 Javasolt indikátorok

3.3.2.1 KITETTSÉG

A kitettséget a **nyári csúcsterhelés** esetében két tényezőre bontottuk szét: az éghajlatváltozás hatásait a hűtési foknap változásával mérjük, míg az időjárástól független – de a villamosenergia-fogyasztásra és csúcsterhelésre gyakran az előbbinél jelentősebb hatást gyakorló – nem klimatikus tényezők hatásait a megyei GDP növekedési rátájával, illetve a járási népesség várható változásával mérjük.

Indikátor	Hűtési foknap május-szeptember közötti összege
Számítási mód	ha $T_{ave} \leq 22 < T_{max}$ -> $(T_{max} - 22)/4$; ha $T_{min} < 22 < T_{ave}$ -> $[(T_{max} - 22)/2] - [(22 - T_{min})/4]$; ha $T_{min} \geq 22$ -> $T_{ave} - 22$
Mértékegység	foknap
Adatok felbontása	rácsponti adatbázis
Adatgazda/adatforrás	NYBZK NKft.

Indikátor	A GDP megyei szintű éves átlagos növekedési rátája, 2045–2050, %, 2014-es árakon
Számítási mód	n.r.
Mértékegység	%
Adatok felbontása	megyei adat
Adatgazda/adatforrás	NATÉR

Indikátor	Teljes népesség száma járási szinten, 2051-re a 2011-es népesség százalékában
Számítási mód	n.r.
Mértékegység	%
Adatok felbontása	járás adat
Adatgazda/adatforrás	NATÉR

A 2016-2019 közötti időszakok csúcsidei rendszerterheléseink MAVIR Zrt. által elvégzett vizsgálata alapján³¹ az látható, hogy a kiugró rendszerterhelések egyik jelentős oka – az igények időszakos megemelkedése mellett – az átviteli hálózat vesztesége is. Emiatt a **téli csúcsterhelésre** vonatkozó éghajlati kitettség mérésére a fűtési foknap mellett (melynek csökkenésére számítunk) indikátorként használjuk a fagypont körüli csapadékos napok számát is, aminek klímamodelleken alapuló, hosszú távú vizsgálata önmagában is érdekes lehet a hálózati veszteségek szempontjából.

Indikátor	Fűtési foknap október-március közötti összegének változása
Számítási mód	lásd Országos Meteorológiai Szolgálat ³²
Mértékegység	foknap
Adatok felbontása	rácsponti adatbázis
Adatgazda/adatforrás	NYBZK NKft.

³¹ A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2019

³² https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3238

Indikátor	Fagypont körüli és csapadékos napok együttes előfordulásának éves változása
Számítási mód	Azok a napok, amikor a maximum-hőmérséklet 0 fok feletti, a minimum hőmérséklet 0 fok alatti és van csapadék
Mértékegység	nap
Adatok felbontása	rácsponti adatbázis
Adatgazda/adatforrás	NYBZK NKft.

3.3.2.2 ÉRZÉKENYSÉG

Az érzékenység vizsgálatához azt kellene ismernünk, hogy a kitettségi indikátorok változására mennyire reagál érzékenyen a villamosenergia-ellátás, az ellátásban milyen pontokon okoz problémát az (esetenként váratlan,) extrém rendszerterhelés. A projekttegyeztetéseken ezzel kapcsolatban felmerült információk alapján az átviteli hálózat esetében nem releváns információ az, hogy a többletterhelés helyileg hol keletkezik. A MAVIR Zrt. számára problémát a csúcskörüli igények kielégítése jelenti, ennek viszont nem tudunk területiséget adni – ami a sérülékenységvizsgálatnak egy fontos eleme lenne. Az elosztói hálózatot üzemeltetők számára viszont releváns információ lehet, hogy hol várható az igények növekedése. Az utóbbi szereplőktől viszont a projekt keretében – pl. a hálózat állapotáról, ami befolyásolhatná az érzékenységet – nem tudunk információhoz jutni. Ennek következtében – közelítő megoldásként – olyan jellemzőket próbálunk feltárni és vizsgálni, amelyek nagyobb kockázattal vezetnek helyi terhelési csúcsok kialakulásához.

A **nyári csúcsterhelés** sérülékenységvizsgálata esetében érdemes megvizsgálni a MAVIR csomóponti terhelési adatainak hőmérsékletfüggését, illetve azt, hogy a változékonyságnak az egyes csomópontok esetében mekkora részét magyarázza a napi átlaghőmérséklet (regresszió). Amennyiben ez értékelhető eredményt ad, úgy felhasználását érdemes megfontolni a vizsgálatban a fogyasztás hőmérsékletfüggésének országos változékonyság-becslésére.

Indikátor	A csomóponti terhelés hőmérsékletfüggése
Számítási mód	A csomóponti terhelési adatok változékonyságának hőmérséklettel való összevetése (regressziószámítással). Az adott csomópontoz legközelebb eső mérési pont adatainak hozzárendelésével.
Mértékegység	
Adatok felbontása	csomóponti adatok
Adatgazda/adatforrás	MAVIR Zrt.

Az érzékenység mérésére – mint a jóléti fogyasztás egy mérőszáma – javasolt felhasználni a 2016-os Mikrocenzus adatait, melyből járási adat nyerhető arra vonatkozóan, hogy a lakásállomány mekkora részét szerelték fel a 2016-ot megelőző tíz évben klímával. Feltételezzük egyrészt azt, hogy – bár a klímaberendezések elterjedése a 2016 követő hat évben jelentősen nőtt – a területi mintázat nem változott, másrészt azt, hogy ez az indikátor a hűtési igények területi különbségeinek becslésére alkalmas.

Indikátor	Klímával felszerelt lakások aránya a járási lakásállományban
Számítási mód	„A lakások száma, ahol az elmúlt tíz évben az alábbi munkálatokat végezték el: klíma felszerelése” osztva a járási lakásállománnyal
Mértékegység	%
Adatok felbontása	járási adatok
Adatgazda/adatforrás	KSH Mikrocenzus 2016

A jelentősebb városok jelenléte – egyrészt gazdasági szerepüknel fogva, másrészt a lakosságkoncentráció miatt – érzékenységi faktorként értelmezhető. Emiatt javasoljuk a vizsgálatban figyelembe venni érzékenységi indikátorként a nagyvárosok jelenlétét.

Indikátor	Nagyvárosok jelenléte
Számítási mód	Százezer fő lakosságszámot meghaladó városok jelenléte (kételemű: igen/nem)
Mértékegység	
Adatok felbontása	járás
Adatgazda/adatforrás	KSH

A **téli csúcsterhelés** érzékenységének vizsgálatához használható a csomóponti adatok hőmérsékletfüggése indikátor (a fenti megkötésekkel).

Indikátor	A csomóponti terhelés hőmérsékletfüggése
Számítási mód	A csomóponti terhelési adatok változékonyságának hőmérséklettel való összevetése (regressziószámítással). Az adott csomóponthoz legközelebb eső mérési pont adatainak hozzárendelésével.
Mértékegység	
Adatok felbontása	csomóponti adatok
Adatgazda/adatforrás	MAVIR Zrt.

A téli csúcsterhelés növekedéséhez hozzájárulhat hosszabb távon az elektromos fűtés elterjedése is, ezért javasolt megvizsgálni azt, hogy az egyes területeken hogyan alakul az új építésű lakások között azoknak az aránya, amelyek nem csatlakoznak a gázhálózatra (ennél pontosan információt adhatna a szolgáltatóktól származó adat az elektromos fűtéshez kapcsolódó kedvezményes tarifák elterjedtségéről, de sajnos ilyen adatokhoz a projekt keretében nem férünk hozzá). Azt feltételezzük, hogy ez az adat jó közelítést ad az elektromos fűtés elterjedtségének országon belüli mintázatának vizsgálatához (figyelembe véve azt, hogy elektromos fűtést számos esetben nem új építésű lakásokban is kialakíthatnak, illetve, hogy hagyományos szilárd tüzelés kialakítását is jelezheti ez az adat – tehát ebből az indikátorból csak óvatos következtetéseket tehetünk).

Indikátor	Új építésű lakások között a gázbekötéssel nem rendelkezők aránya, 2011-2019
Számítási mód	Az időszakban az új építésű lakások száma, csökkentve azokkal, amelyek gázvezetékekkel ellátottak.
Mértékegység	%
Adatok felbontása	település
Adatgazda/adatforrás	KSH

3.3.2.3 VÁRHATÓ HATÁS

A várható hatást a kitétségi és érzékenységi indikátorok együttes értékelése fogja megmutatni. A számítási módszert a 3.4.2 fejezet mutatja be.

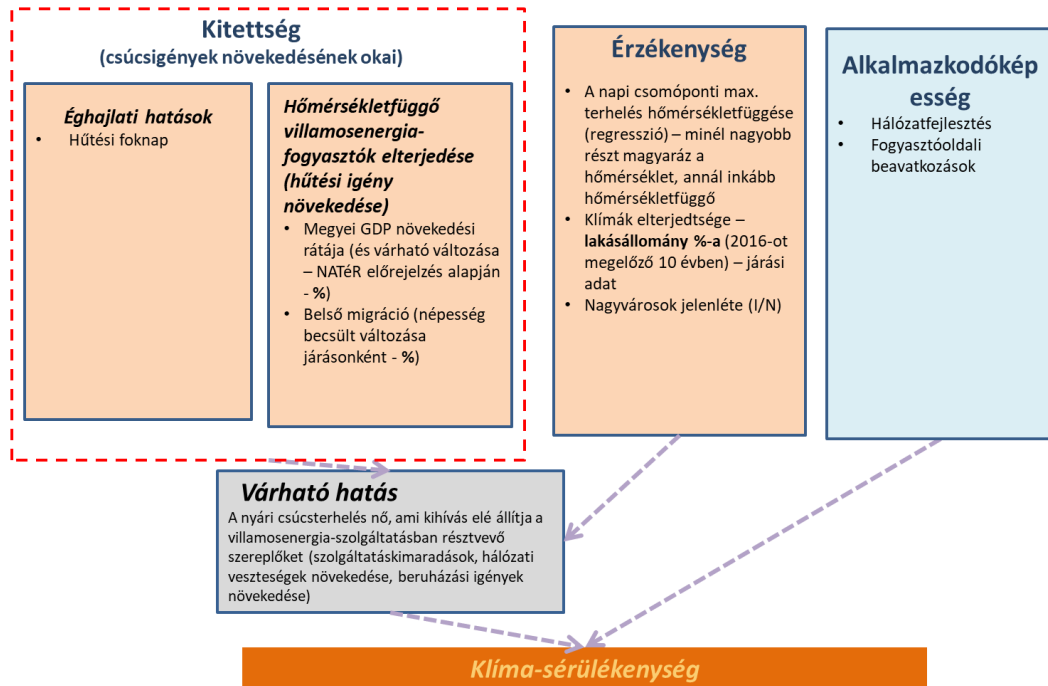
3.3.2.4 ALKALMAZKODÓKÉPESSÉG

A jelenlegi projekt igényoldali munkacsomagjában a villamosenergia-ellátás sérülékenységének vizsgálata a leginkább adathiányos terület. Ez az alkalmazkodóképességi indikátorokra különösen igaz, ezért az alkalmazkodóképességi mutatók bevonására a számításba jelen projekt keretében nincs lehetőségünk – a vizsgálat a várható hatás becsléséig jut el.

Ennek ellenére fontos megemlíteni, hogy a vizsgálat logikájában alkalmazkodóképességként értelmezhetők azok a beavatkozások, amelyek vagy a csúcsterhelés nagyságát csökkentik, vagy a hálózat ellenállóképességét növelik. Így egyrészt a hálózatfejlesztés, másrészt pedig a fogyasztóoldali beavatkozások felhasználhatók lennének az alkalmazkodóképesség becslésére, amennyiben ezekre területileg értelmezhető adatok rendelkezésre állnának.

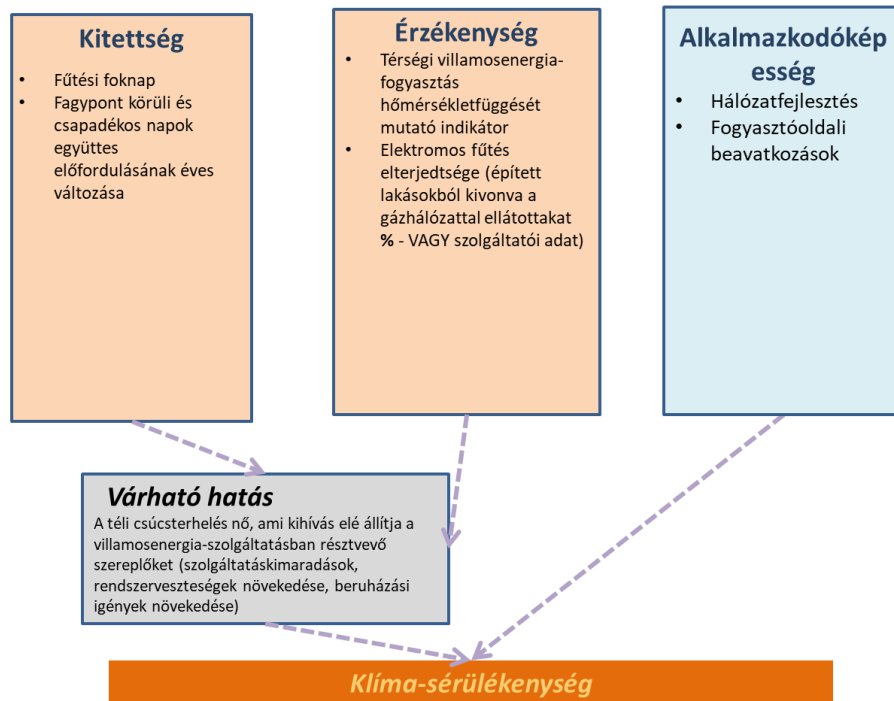
3.4 A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere

3.4.1 Hatásláncok bemutatása



Hatásviselő: a villamosenergiaszolgáltatásban résztvevő szereplők

18. ábra: A villamosenergia-szolgáltatás igényoldali sérülékenysége (nyári csúcs)
Forrás: saját szerkesztés



Hatásviselő: a villamosenergiaszolgáltatásban résztvevő szereplők

19. ábra: A villamosenergia-szolgáltatás igényoldali sérülékenysége (téli csúcs)
Forrás: saját szerkesztés

3.4.2 Számítási metodika

A fent bemutatott indikátorok területi felbontását figyelembe véve úgy látjuk, hogy a várható hatások vizsgálata járási szinten lehetséges. Az első lépés tehát az indikátorok számítása, majd járási szintre történő aggregálása.

3. táblázat: Az éghajlatváltozás nyári csúcsterhelésre gyakorolt hatásának számítását megalapozó indikátorok összefoglaló táblázata

Kód	Indikátor	Felbontás	Járáshoz rendelés menete
VT_K_hűtfok	Hűtési foknap	rácsponti	A járás területére eső pontok átlagolása (vagy egyéb térinformatikai módszer)
VT_K_gdp	A GDP megyei szintű éves átlagos növekedési rátája, 2045–2050, %, 2014-es árakon	megyei	Minden járás annak a megyének az értékét kapja, amelyikben található
VT_K_lakónép	A teljes népesség száma járási szinten 2051-re a 2011-es népesség százalékában	járás	
VT_É_hőmfügg	A csomóponti terhelés hőmérsékletfüggése	csomópontok	a járás területére eső csomópontok értékének átlagolása
VT_É_klíma	Klímával felszerelt lakások aránya a járási lakásállományban	járás	
VT_É_nagyváros	Nagyvárosok jelenléte	járás	

Forrás: saját szerkesztés és gyűjtés

A számítás javasolt menete a következő:

1. Indikátorok számítása és járáshoz rendelése
2. A komplex kitettségi indikátor számítása
 - a. VT_K_gdp, VT_K_lakónép normalizálása és az értékek összeadása, majd a létrejött indikátor újbóli normalizálása (annak érdekében, hogy ne kétszeres súllyal vegyük figyelembe a számításban)
 - b. VT_K_hűtfok normalizálása (vagy kategóriaképzés)
 - c. az éghajlati kitettség és a hűtési igényre vonatkozó kitettség összeadása
3. A komplex érzékenységi indikátor megalkotása
 - a. VT_É_hőmfügg indikátor felhasználási lehetőségének vizsgálata
 - b. VT_É_klíma indikátor normalizálása
 - c. 0 vagy 1 érték adása azoknak a járásoknak, amelyekben található százezer főnél nagyobb város
 - d. a két (három) indikátor értékeinek összeadása és újbóli normalizálása
4. A normalizált komplex kitettség és komplex érzékenység értékek összeadásával kapjuk meg a várható hatást

A **téli csúcsterhelés** esetében a fent bemutatottakhoz hasonlóan járunk el.

4. táblázat: Az éghajlatváltozás téli csúcstermelésre gyakorolt hatásának számítását megalapozó indikátorok összefoglaló táblázata

Kód	Indikátor	Felbontás	Járáshoz rendelés menete
VNY_K_fűtfok	Fűtési foknapok összegének változása	rácsponi	A járás területére eső pontok átlagolása (vagy egyéb térinformatikai módszer)
VNY_K_fagypont	Fagypont körüli és csapadékos napok együttes előfordulásának éves változása	rácsponi	A járás területére eső pontok átlagolása (vagy egyéb térinformatikai módszer)
VNY_É_elektrfűt	Új építésű lakások között a gázbekötéssel nem rendelkezők aránya, 2011-2019	települési	A települési értékek összesítése járásonként
VT_É_hőmfűgg	A csomóponti terhelés hőmérsékletfüggése	csomópontok	A járás területére eső csomópontok értékének átlagolása

Forrás: saját szerkesztés és gyűjtés

A számítás elvégzésének javasolt menete a következő:

1. Az indikátorok értékének számítása és járáshoz rendelése
2. A komplex kitettségi indikátor kiszámítása
 - a. az éghajlati indikátorok normalizálása, értékük összeadása, majd újbóli normalizálása
3. A komplex érzékenységi indikátorok számítása
 - a. VT_É_hőmfűgg indikátor használati lehetőségeinek vizsgálata, amennyiben használható, úgy normalizálása
 - b. VNY_É_elektrfűt indikátor normalizálása
 - c. A két indikátor értékének összeadása, majd újbóli normalizálása
4. A várható hatás indikátor számítása
 - a. a kitettségi és érzékenységi indikátor értékeinek összeadása

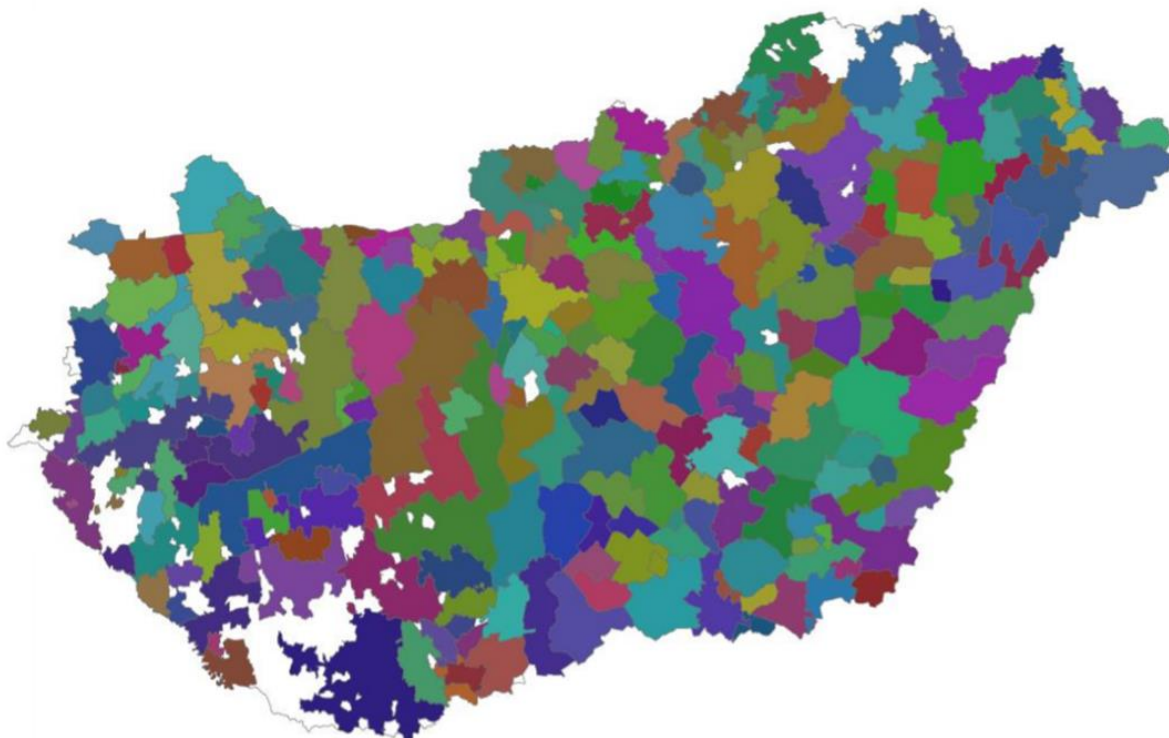
4 A földgázellátás igényoldali sérülékenysége

4.1 Hazai körkép a földgázfogyasztásról

4.1.1 Általános helyzetkép

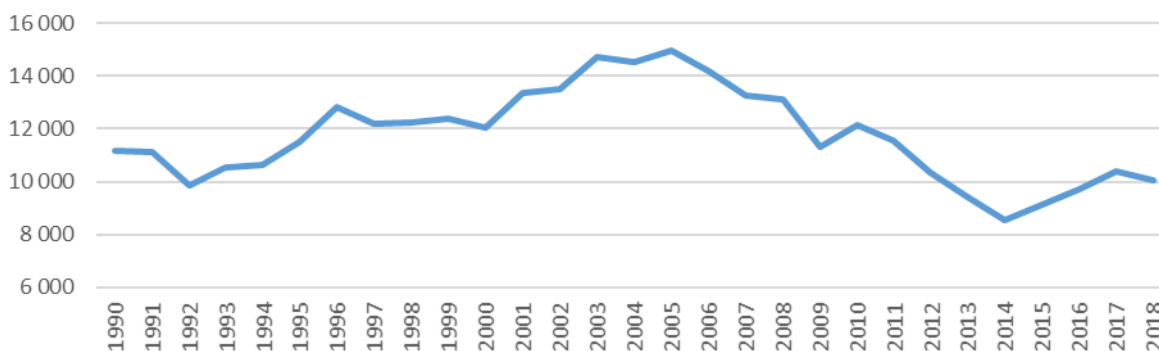
4.1.1.1 HAZAI FÖLDGÁZFogyasztás és Termelés

Hazánkban a lakosság földgázellátása 357 fizikai átadóponton keresztül történik, amelyekből az FGSZ Zrt. 253 összevont átadó pontot és az ezekhez tartozó körzeteket tartja nyilván. (GEOGOLD, 2019)



20. ábra: Gázátadó körzetek
Forrás: Geogold (2019)

A hazai energiaszektorban az energiaigényes iparágak rendszerváltást követő visszaszorulásával, illetve a szénbányászat termelésének jelentős csökkenésével az energiahordozók közül a földgáz vált meghatározóvá. A magyarországi földgázfogyasztás 2005-től való csökkenése az utóbbi 5-6 évben megállt és kb. 9-10 milliárd m³ körül stabilizálódni látszik, ahogyan az alábbi ábra is mutatja.

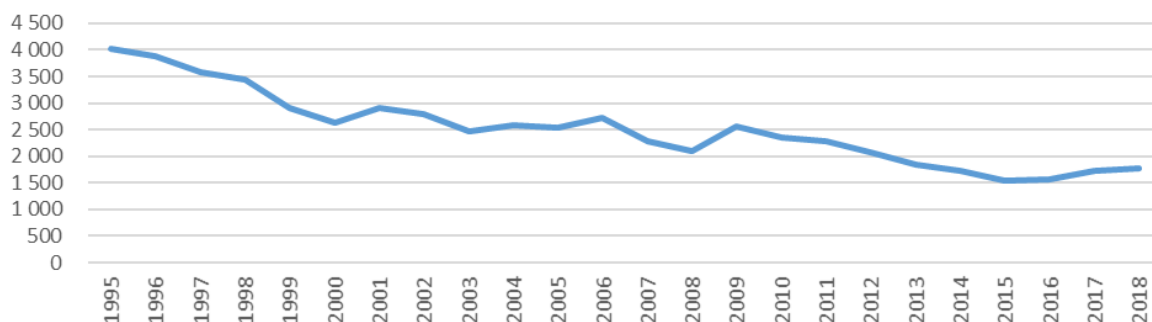


21. ábra: Hazai földgázfogyasztás (millió m³)
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: EUROSTAT)

Az importfüggőségünket a hazai termelés mérsékli. A hazai gáztermelés az ezredforduló után nagyjából az igények negyedét fedezte. Az elmúlt 5 évben a hazai földgáztermelés csökkenését sikerült megállítani és 1,5 – 2 milliárd m³-re stabilizálni. A Kormány 2030-ban 2,4 milliárd m³-es hazai hagyományos földgáztermeléssel számol, 2040-ben pedig 1,6 milliárd m³-rel³³.

Földgázimport igényét hazánk az elmúlt két évtizedben alapvetően oroszországi forrásokból fedezte. Az ellátásbiztonság fokozása érdekében az elmúlt évtizedben növelték a földalatti földgáztárolók kapacitását, így a térségben kiemelkedő mennyiségű tárolókapacitással rendelkezik az ország, valamint a szomszédos országokkal kiépültek az interkonnektorok.

Az alábbi ábra a hazai termelőktől a szállítóvezetékbe átvett, keverőköri átadással csökkentett termelés (millió m³) változását mutatja.



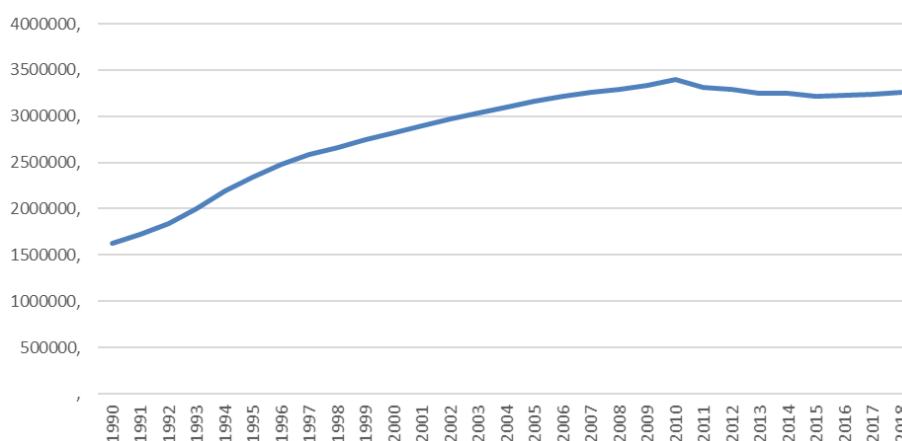
22. ábra: A hazai termelőktől a szállítóvezetékbe átvett, keverőköri átadással csökkentett termelés [millió m³]
Forrás: A magyar földgázrendszer 2013-2018. évi adatai (MEKH)

³³ Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig

A 2022-ben a globális energiapiacra zajló változások, illetve az orosz-ukrán háború következtében fellépő bizonytalanságok a földgázimportban jelentős változásokat generálhatnak a hazai földgázigényben, illetve a helyettesítő energiaforrások ellátási útjainak kiépítésében is. Ezeket a folyamatokat a jelen módszertani tanulmány – a várható hatások bizonytalansága miatt – nem tudja figyelembe venni.

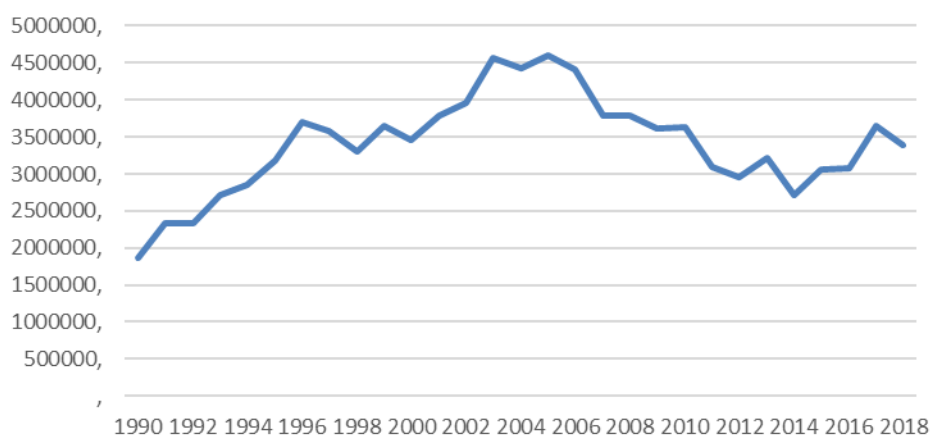
4.1.1.2 FÖLDGÁZ FOGYASZTÓK TÍPUSAI ÉS A FOGYASZTÁS MEGOSZLÁSA

A földgázfogyasztásnak 2018-ban közel 47%-át tette ki a lakossági fogyasztás. Az azt megelőző években az arány enyhén növekedett. A MEKH éves jelentése szerint 2019-ben 3 280 000 lakossági fogyasztó volt Magyarországon, közel 300 településen pedig nem volt elérhető vezetékes gázellátás.



23. ábra: A háztartási gázfogyasztók száma (db) 1990-2018 között
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH)

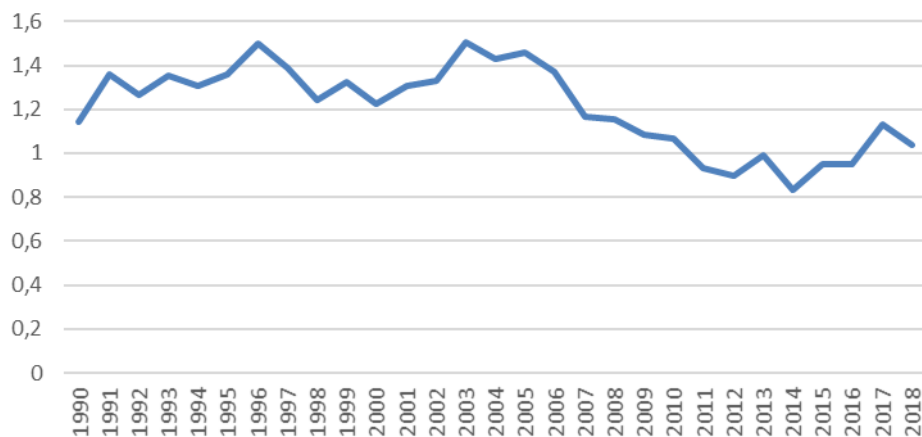
A háztartási gázfogyasztók száma 1990-2010 között folyamatosan és dinamikusan nőtt, 20 év alatt megkétszereződött, majd 2010 utána enyhe csökkenés, illetve stagnálás következett.



24. ábra: A háztartások részére szolgáltatott gáz mennyisége (ezer m³)
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH)

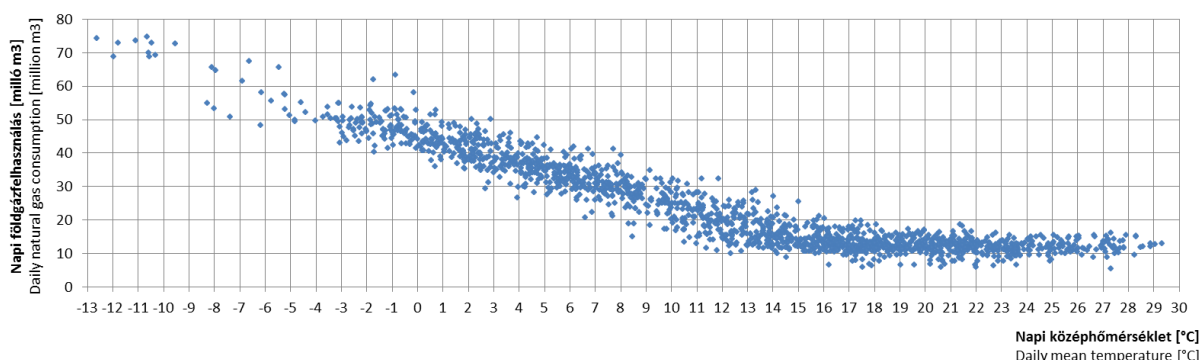
A háztartások részére szolgáltatott földgáz mennyisége koránt sem mutat ilyen egységesen bővülő képet. A legmagasabb értéket 2004-2006 között látjuk, amit jelentős visszaesés követett, majd 2014-et követően újra növekedésnek indult.

Ezzel párhuzamosan az egy háztartási fogyasztóra eső átlagos háztartási gázfogyasztás is széles skálán mozgott az utóbbi években. Jelentős csökkenés 2005 után figyelhető meg, amelyet a vizsgált időszak végén enyhe növekedés követ. (25. ábra)



25. ábra: Egy háztartási fogyasztóra eső átlagos háztartási gázfogyasztás (ezer m³)
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH)

A földgázt a fűtési célú fogyasztás mellett technológiai célra is felhasználják. A fűtési célú fogyasztás mértéke a napi középhőmérséklet függvényében alakul. Az alábbiak a MEKH által kalkulált hőmérsékletfüggő és attól nem függő fogyasztás szétválasztásának módszerét ismertetik. A módszer a hőmérsékletfüggő fogyasztás a napi középhőmérséklet-változás fogyasztásbeli változásának számítására is kitér.



26. ábra: A napi középhőmérséklet hatása a földgázfelhasználásra
Forrás: A magyar földgázrendszer 2018. évi adatai (MEKH)

A fenti diagramon látható a napi földgázfelhasználás és a hozzá tartozó napi középhőmérséklet. Az adatok a 2011. április 26-a és 2015. december 31-e közötti időszakot fedik le. A belföldi földgázfelhasználás a 15,35 °C fok feletti hőmérséklet esetén már nem függ a napi középhőmérséklettől. 1 °C napi középhőmérséklet-változás átlagosan 2 101 400 m³ napi földgázfelhasználás-változást okoz 15,35 °C alatt.

4.1.2 A földgázigények előrejelzésének hazai módszertana

A *Nemzeti Energiastratégia 2030* gázigényekre megfogalmazott célja szerint az energiahatékonysági beruházások és a megújuló technológiák alkalmazásának terjedése miatt a fűtési célú gázfogyasztás 2030-ra évi 2 milliárd m³-rel fog csökkenni. Az ipar gázfogyasztása elsősorban a gazdasági növekedés ütemétől függ majd; a dokumentum előrejelzése szerint 2030-ra 2 milliárd m³ fölé emelkedhet. A dokumentum szerinti a teljes hazai gázfogyasztás a jelenlegi évi 10 milliárd m³-ról 2030-ra közel 8,7 milliárd m³-re csökken, 2040-re pedig 6,3 milliárd m³ alá süllyedhet.

4.2 Sérülékenység-vizsgálat értelmezési keretei a földgázigények vonatkozásában

A földgázigények esetében az éghajlatváltozással összefüggő probléma, amit vizsgálni szeretnénk, az a fűtési időszaki hőmérséklet emelkedéséből fakadó igénycsökkenés és ebből fakadóan a földgázellátás rendszerének kihasználtság-romlása. Feltételezzük, hogy a földgázhálózat működtetési költségei függetlenek az adott szakaszon forgalmazott gáz mennyiségétől, így az alacsonyabb kihasználtság rosszabb gazdasági fenntarthatóságot jelez. A vizsgálat alapegysége a gázátadó körzet lesz.

Kitettségként értékeljük ennek következtében a fűtési időszaki átlaghőmérséklet emelkedését, amit a napfokszám változásával tudunk vizsgálni. Emellett azonban figyelembe kell vennünk olyan folyamatokat is, amelyek – bár nem szorosan függenek össze a klímaváltozás hatásaival – a földgázigényekre jelentős hatással lehetnek. Említhetők például a földgázfogyasztás csökkentésére vonatkozó stratégiai célok (lakossági földgázfogyasztás csökkentése, távhőellátásban a földgázfelhasználás csökkentése, tüzelőanyagváltás), emellett egyéb demográfiai folyamatok is (belső migráció, elvándorlás, elöregedés Magyarország bizonyos területein).

Érzékenység alatt a földgázigényekhez kapcsolódó sérülékenység-vizsgálatban azt vizsgáljuk, hogy a földgázhálózat jelenlegi kihasználtsága milyen mértékű. Ez megmutatja azt, hogy hol vannak a legrosszabban kihasznált vezetékszakaszok, ami jövőbeli kihasználtságra vonatkozó információ területi különbségeire is utal.

A *várható hatás* azt fogja megmutatni, hogy az egyes gázátadó körzetekben várhatóan hogyan alakul a földgázhálózat kihasználtsága, figyelembe véve a jelenlegi kihasználtságot és a klímaváltozás következményeit.

A várható változásokhoz történő *alkalmazkodás* több módja is elképzelhető, de mindezek megvalósíthatósága, mind pedig mérési, becslési lehetőségei eltérők. Alkalmazkodóképeségként értelmezhető az alacsony kihasználtságú szakaszokon a földgázforgalmazás leállítása, ez azonban törvényileg szabályozott. A hatékonyság javítása szempontjából a hálózati mérési különbszet (HMK) csökkentése is lehetőségként értelmezhető. Az üzemeltető ösztönzése egy jövőbeli uniós metánkibocsátási kvótarendszer segítségével elősegíthető (EURÓPAI BIZOTTSÁG 2021). Szintén a várható hatásokat csökkenti a hálózat fenntartási költségeinek csökkentése. A csökkenő forgalom miatt a forgalomtól független HMK (szivárgási veszteség rész) arányaiban nőni fog, de abszolút értékében nem fog változást jelenteni hálózati szinten. A potenciális indikátorok meghatározása során szükséges a fenti szempontok vizsgálatba történő bevonási lehetőségeinek értékelése.

4.3 A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre

4.3.1 A földgázigényekre vonatkozó adatok elérhetősége

Jelenlegi ismereteink szerint a földgázigényekre vonatkozóan kevés nyilvánosan elérhető adatforrás áll rendelkezésre. A TeIR-ben a KSH adatok alatt elérhető a települések teljes és lakossági földgázfogyasztása, illetve a földgázfogyasztók száma. Az adatok előállításának módja azonban számunkra nem pontosan ismert. A projekt keretében az FGSZ-től megkaptuk az átadó állomások napi földgázadatait, ami a projekthez szükséges területiséget megfelelően biztosítja.

4.3.2 Javasolt indikátorok

4.3.2.1 KITETTSÉG

A földgázrendszer igényoldali kitettségét két jelenség mentén vizsgáljuk: az éghajlati kitettséget a napfokszám változásával, míg az energiahatékonyság javulását – ami szintén fogyasztáscsökkentést eredményezhet – egy múltbeli statisztikai adatokon alapuló komplex mutatóval fogjuk jellemezni.

Az éghajlati kitettséget a napfokszám bázisidőszakhoz (1981-2010) viszonyított változásával fogjuk mérni több klímamodell alapján a 2021-2050 és 2071-2100 időszakra.

Indikátor	Napfokszám változása
Számítási mód	A 16 foknál alacsonyabb átlaghőmérsékletű napokon a napi átlaghőmérséklet 16 foktól mért különbségének napi összege.
Mértékegység	napfok/év
Adatok felbontása	rácsponti adatbázis
Adatgazda/adatforrás	NYBZK NKft.

Az energiahatékonyságot és az adott területegységen jellemző földgázfelhasználási trendeket³⁴ egy komplex indikátorral tervezzük mérni, amely három elemből áll:

- az egy lakásra eső lakossági fogyasztás trendje utal a területegységen jellemző energiahatékonyság változására;
- a 2011-2019 között épített lakások között a földgázfűtésűek megoszlása arról ad információt, hogy mennyire jellemző a tüzelőanyagváltás az új építésű lakások esetében;
- a népességszám prognosztizált változása azt mutatja meg, hogy hol lesznek a csökkenő és növekvő népességszámú területek az országon belül, ami jelentős hatással lehet az energiafogyasztásra.

Indikátor	Egy lakásra eső lakossági fogyasztás trendje, 2000-2018
Számítási mód	„Háztartások részére szolgáltatott gáz (m ³)” osztva a „Háztartási gázfogyasztókból fűtési fogyasztók (darab)” számával minden évben; az éves értékekre helyezett trendvonal meredeksége
Mértékegység	
Adatok felbontása	települési
Adatgazda/adatforrás	KSH (szerverre letöltve)

Indikátor	2011-2019 között épített lakások között a földgázfűtésűek megoszlása
Számítási mód	„Az év folyamán épített, gázvezetékkel ellátott lakások” összesítve a 2011-2019 időszakra, osztva „Épített lakások (üdülők nélkül) db” 2011-2019 időszakra összesített adatsorával
Mértékegység	%
Adatok felbontása	települési
Adatgazda/adatforrás	KSH (teir.hu)

Indikátor	Járási népességszám prognosztizált változása
Számítási mód	A teljes népesség száma járási szinten 2051-re a 2011-es népesség százalékában – NATÉR alapján
Mértékegység	
Adatok felbontása	járási
Adatgazda/adatforrás	NATÉR demográfia rétegcsoport

4.3.2.2 ÉRZÉKENYSÉG

Az érzékenységgel azt szeretnénk mérni, hogy a vizsgált területegység földgázfelhasználására mennyire hat erősen a fűtési időszakban jellemző átlagos hőmérséklet megváltozása, illetve a más okokból megvalósuló fogyasztáscsökkenés. A vizsgálat abból indul ki, hogy a földgázellátás

³⁴ A földgázfelhasználásban megfigyelhető, 2022-t követő változásokra a vizsgálatban nincs lehetőségünk kitérni.

működtetése és a forgalmazott mennyiség között nincs egyenes arányosság, így a csökkenő földgázfelhasználás gazdasági szempontból hátrányos.

Az így értelmezett érzékenység vizsgálatához három indikátor kialakítását javasoljuk, amelyek részben átfednek, de mégis különböző jellemzőit vizsgálják a jelenségnek.

A hazai földgázellátás éghajlati érzékenységének vizsgálatához az FGSZ Zrt. biztosította számunka a kiadási pontok napi fogyasztási adatait 2011 és 2021 között. Ezek az adatok jelentik az érzékenységvizsgálat alapját.

Az adott kiadási ponton jellemző fogyasztás hőmérsékletfüggésének vizsgálatával azt tudjuk megvizsgálni, hogy az adott területen a fogyasztás mennyire függ a hőmérséklet változásától. Ehhez a napi fogyasztási adatok mellé rendeljük az adott napi átlaghőmérsékletet és a két adatsor összefüggését vizsgáljuk. Azt feltételezzük, hogy minél nagyobb fogyasztásváltozást eredményez adott ponton a hőmérséklet-változás, éghajlati szempontból a terület annál érzékenyebb.

Indikátor	Egy fok hőmérséklet-csökkenésre eső átlagos fogyasztásnövekedés
Számítási mód	A vizsgált időszakra (2011-2021) eső napok átlaghőmérséklet szerinti sorba rendezése, minden fokhoz az átlagos napi fogyasztás hozzárendelése, majd az adatsorra fektetett egyenes meredekségének számítása VAGY a két adatsor közti korreláció számítása
Mértékegység	
Adatok felbontása	kiadási pont
Adatgazda/adatforrás	FGSZ Zrt.

A fenti összefüggéshez hasonló az információtartalma a hőmérsékletfüggetlen fogyasztásnak. Ezzel azt szeretnénk megvizsgálni, hogy a kiadási ponton forgalmazott éves mennyiségekhez képest mekkora az a rész, ami nem függ a hőmérséklet-változástól. A napi középhőmérsékleti adatok mellé helyezett fogyasztási adatok jellemzően azt mutatják, hogy bizonyos hőmérséklet alatt a fogyasztás nagyon erős összefüggést mutat a hőmérséklet változásával, afölött szinte független tőle. Azt feltételezzük, hogy minél nagyobb részt tesz ki a hőmérsékletfüggetlen fogyasztás az éves forgalmazásból, éghajlati szempontból annál kevésbé érzékeny az adott terület földgázigénye.

Indikátor	Hőmérsékletfüggetlen fogyasztás aránya az éves teljes forgalmazásból
Számítási mód	A vizsgált időszakban (2011-2021) minden napi fogyasztáshoz az adott napi átlaghőmérséklet hozzárendelése, majd annak vizsgálata, hogy az adott ponton milyen napi átlaghőmérséklet felett válik a fogyasztás függetlenné a hőmérséklettől és ezeket a napokat milyen átlagos fogyasztás jellemzi. Ennek az átlagos fogyasztásnak a szorzata az év napjaival és összevetése az évben látható teljes fogyasztással (VAGY a teljes időszak egyben is vizsgálható, ha nem feltételezzük, hogy a hőmérsékletfüggetlen fogyasztás aránya évente nagy változékonyságot mutatott VAGY a nyári félév átlagfogyasztásának és a fűtési félév átlagfogyasztásának hányadosa)
Mértékegység	%
Adatok felbontása	kiadási pont
Adatgazda/adatforrás	FGSZ Zrt.

A kiadási pontok jelenlegi kihasználtsága közelítő adatként szolgálhat annak meghatározására, hogy jelenleg mennyire gazdaságos az adott területen a földgázellátás. Azt feltételezzük, hogy minél magasabb a kihasználtság, annál kevésbé érzékeny az adott terület földgázellátása.

Indikátor	Kiadási pont kihasználtsága
Számítási mód	Az adatot az FGSZ Zrt. által átadott adatsor tartalmazza. A „Gázátadó maximális kapacitása m ³ /nap” és a 2017-2021 között mért legnagyobb napi fogyasztás hányadosa.
Mértékegység	%
Adatok felbontása	kiadási pont
Adatgazda/adatforrás	FGSZ Zrt.

4.3.2.3 VÁRHATÓ HATÁS

A várható hatást a kitettségi és érzékenységi indikátorok együttes értékelése fogja megmutatni. A számítási módszert a 4.4.2. fejezet mutatja be.

4.3.2.4 ALKALMAZKODÓKÉPESSÉG

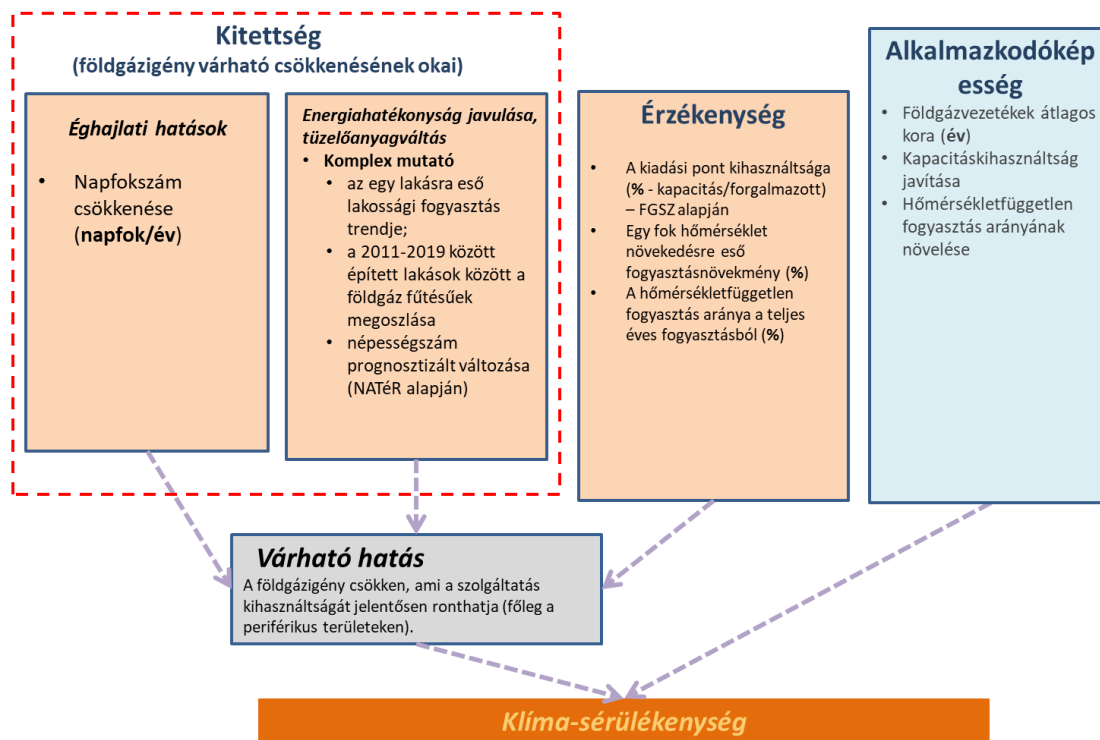
A sérülékenységvizsgálat módszertanában az alkalmazkodóképesség mutatja meg azt, hogy az adott esetben negatív várható hatásokat a vizsgálat alanya mennyiben képes elhárítani, kompenzálni. A földgázellátás igényoldali sérülékenységére értelmezve a kérdést, azt kell megvizsgálunk, hogy a várható hatás – várhatóan a földgázfelhasználás csökkenése – ellensúlyozására, vagy a rendszer működési hatékonyságának növelésére milyen lehetőségek vannak és ezek mennyire jellemzők az egyes kiadási pontok esetében.

Az igényoldali sérülékenységvizsgálat problémafelvetéséből kiindulva, az éghajlati hatásokhoz való alkalmazkodásként értelmezhető, ha az egyes területeken sikerül a hőmérsékletfüggetlen fogyasztás arányát, vagy a kihasználtságot javítani. Szintén alkalmazkodóképességként értelmezhetők azok a beavatkozások, amelyek a hálózati veszteséget csökkentik, így javítják a hatékonyságot.

Mivel az alkalmazkodóképesség sérülékenységvizsgálatba történő bevonásához nem rendelkezünk megfelelő adatokkal, így azokat a számításba nem vonjuk be, csak szövegesen térünk ki az értékelésükre.

4.4 A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere

4.4.1 Hatásláncok bemutatása



Hatásviselő: a földgázszolgáltatás együttese, vizsgálat alapegysége a gázátadó körzet

27. ábra: A földgázellátás igényoldali sérülékenységének vizsgálata

Forrás: saját szerkesztés

4.4.2 Számítási metodika

A fent bemutatott indikátorok együttes értékeléséhez szükséges egyrészt azonos területegységhez rendelni az adatokat, másrészt súlyozni a komplex mutatók egyes elemeit.

A vizsgálat alapegységét a kiadási pontokhoz rendelhető gázátadó körzetek jelentik, minden létrejövő adatot ezekhez kell rendelni.³⁵

5. táblázat: A földgázellátás igényoldali sérülékenységének számítását megalapozó indikátorok összefoglaló táblázata

Kód	Indikátor	Felbontás	Átadóközrözetekhez rendelés menete
F_K_napfok	Napfokszám változása	rácspont	Az átadóközrözet területére eső rácspontok átlaga
F_K_fogy	Egy lakásra eső lakossági fogyasztás trendje, 2000-2018	település	A komplex indikátor megalkotása, majd az átadóközrözet területére eső települési eredmények átlagolása (lakosságsszámmal súlyozva)
F_K_újép	2011-2019 között épített lakások között a földgázfűtésűek megoszlása	település	

³⁵ A gázátadó körzetek téradatbázisa a NATÉR továbbfejlesztése projekt keretében elkészült. Lásd az ehhez kapcsolódó kutatási jelentést.

F_K_néesség	Járási népességszám prognosztizált változása	járás	
F_É_emel	Egy fok hőmérséklet-csökkenésre eső átlagos fogyasztásnövekedés	kiadási pont	területi felbontása megfelelő
F_É_hőmfügg	Hőmérsékletfüggetlen fogyasztás aránya az éves teljes forgalmazásból	kiadási pont	területi felbontása megfelelő
F_É_kihasznált	Kiadási pont kihasználtsága	kiadási pont	területi felbontása megfelelő

Forrás: saját szerkesztés

A várható hatás számítása a következő:

1. Éghajlati kitettség (napfokszám változása) számítása
2. Energiahatékonyság, tüzelőanyagváltás – komplex kitettség számítása
 - a. ennek keretében az egyes indikátorok települési értékeinek számítása
 - b. F_K_néesség indikátor esetében minden, az adott járásba eső település a járási adatot kapja
 - c. mindhárom adatsor normalizálása
 - d. a három adatsor normalizált értékeinek összeadása eltérő súlyozással (F_K_fogy (3); F_K_újép (1); F_K_néesség (1))
3. Komplex kitettség számítása
 - a. az éghajlati és komplex energiahatékonysági kitettség normalizálása és az értékek összeadása (azonos súllyal)
4. Komplex érzékenység számítása
 - a. A három adatsor számítása, normalizálása és összesítése a következő súlyokkal: F_É_emel (3); F_É_hőmfügg (1); F_É_kihasznált (2).
5. Várható hatás számítása:
 - a. Komplex kitettség és komplex érzékenység adatsorok normalizálása, majd összeadása
 - b. Az értékek három részre osztása (a várható hatás magas, közepes, alacsony)

5 Távhőellátás igényoldali sérülékenysége

5.1 Hazai körkép a távhőellátásról

5.1.1 Általános helyzetkép

5.1.1.1 A HAZAI TÁVHŐSZOLGÁLTATÁS ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A távhőszektor igény oldali sérülékenysége szempontjából legfontosabb alapfogalmak az alábbiak³⁶.

- **Távhő:** az a hőenergia, amelyet a távhőtermelő létesítményből hőhordozó közeg (gőz, melegített víz) alkalmazásával, távhővezeték-hálózaton keresztül, üzletszerű tevékenység keretében a felhasználási helyre eljuttatnak.
- **Távhőszolgáltatás** alatt azt a közszolgáltatást értjük, amely a felhasználónak a távhőtermelő létesítményből távhővezeték hálózaton keresztül, az engedélyes által végzett, üzletszerű tevékenység keretében történő hőellátásával fűtési, illetve egyéb hőhasznosítási célú energiaellátásával valósul meg.
- **Távhőszolgáltató** az a gazdálkodó szervezet, amely meghatározott településen, vagy annak egy részén a távhő üzletszerű szolgáltatására engedélyt kapott, a távhő termelő pedig az a gazdálkodó szervezet, amely a távhő termelésére kapott engedélyt. A két szervezet sok esetben azonos, ám nem szükségszerűen, így az igény oldali sérülékenység vizsgálat szempontjából mind a termelőket, mind a szolgáltatókat szükséges vizsgálni.
- A **felhasználó** a távhővel ellátott épületnek, építménynek, épületrésznek a távhőszolgáltatóval közszolgálati szerződéses jogviszonyban álló tulajdonosa, több tulajdonos esetén a tulajdonosok közössége. A felhasználó lehet lakossági (lakóépület és vegyes célra használt épület tulajdonosa, tulajdonosainak közössége vagy bérlője), egyéb, illetve ún. külön kezelt intézmény (KKI). Ez utóbbiak közé tartoznak a központi költségvetési szervek és azok intézményei, helyi önkormányzatok és azok költségvetési intézményei, valamint a normatív állami támogatásban részesülő, közfeladatot ellátó nonprofit egyéb intézmények.
- A **használati melegvíz** (HMV) távhővel felmelegített közműves ivóvíz.
- **Szolgáltatott hő:** a felhasználók részére technológiai, fűtési, illetve használati melegvíz-készítési célra az átadási ponton fizikailag átadott hő.
- **Távhőszolgáltatók által értékesített hő:** a tárgyidőszakra vonatkozóan kiszámlázott, valamint a tárgyidőszakban elszámolt hőmennyiségek összege.

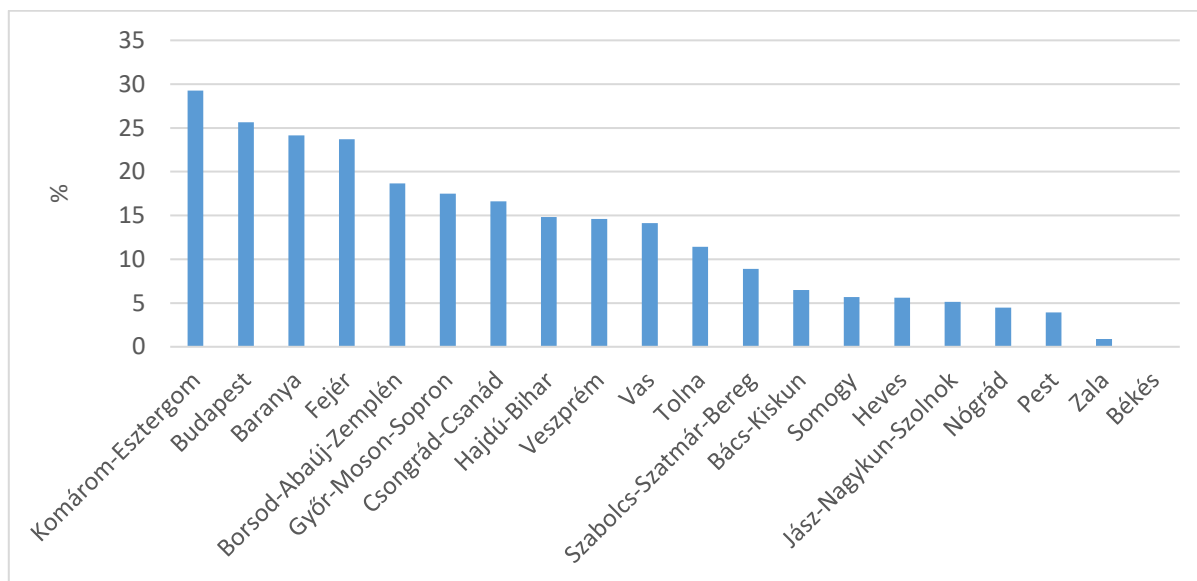
A távhőszolgáltatás és távhőtermelés engedélyezője a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal.

A távhőellátás Magyarországon elsősorban lakossági és közületi fűtési és használati melegvíz szolgáltatásokra terjed ki, az ipari hőenergia-ellátás kevésbé jellemző. A szolgáltatást igénybe vevők körébe főként lakossági és intézményi (közületi) fogyasztók tartoznak, jellemzően kisebb-nagyobb lakónegyedekre koncentráltan. Az összes díjfizető száma 2021-ben 682 280 volt, ebből lakossági 663 117 (a teljes lakásállomány kb. 15%-a).

Az országban összesen 93 távhővel ellátott település található, a távhővel ellátott lakások jelentős területi különbségeket mutatnak. A távfűtésbe bevont lakások aránya 2021-ben Komárom-Esztergom megyében (29,3%), Budapesten (25,6%) és Baranya megyében (24,1%) volt a legmagasabb, míg Békés és Zala megyében alig van jelen. (28. ábra) Hazai adottság, hogy a távhővel

³⁶ a Távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény 3§-a ill. az ezen törvény végrehajtásáról szóló 157/2005 (VIII. 15.) Korm. rendelet 17/a §-a alapján

ellátott fogyasztóknál jellemzően nincs más, teljes értékű alternatív fűtési mód: a már kiépült épületgépészeti infrastruktúra csak jelentős költségek árán lenne átalakítható.



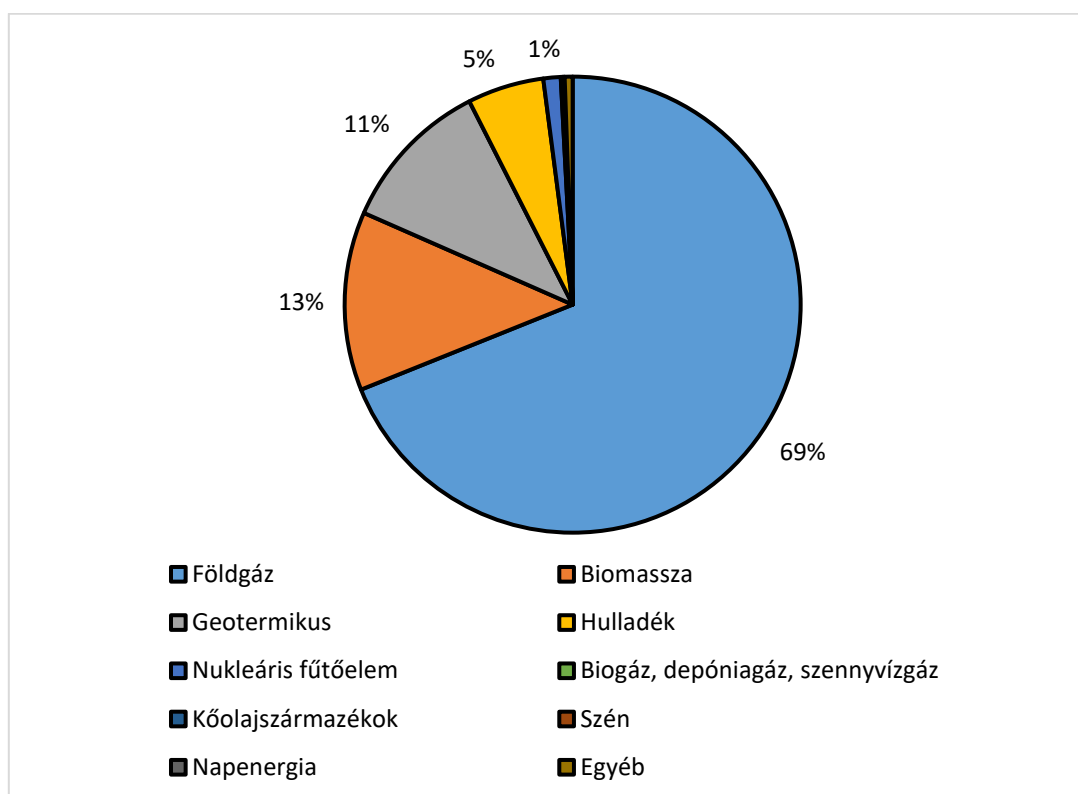
28. ábra: Távfűtésbe bekapcsolt lakások aránya (%) (2021)
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH, teir.hu)

A távhő rendszerek összes beépített hőteljesítménye 7905,8 MW, a rendelkezésre álló hőteljesítő képesség 6810,8 MW. A 138 távhő termelői engedélyesből (MEKH–MaTáSzSz 2019) a tisztán földgázzal üzemelő rendszerek száma 118 városban, a földgázzal és egyéb fosszilis energiahordozóval (fűtőolaj, tüzelőolaj, szén stb.) működő rendszerek 13 településen (Veszprém, Budapest, Csorna, Dombóvár, Győr, Dunaújváros, Miskolc, Pécs, Sopron, Szekszárd, Debrecen, Dorog, Nyíregyháza) található meg.

2021-ben csak biomasszát hasznosító távhőtermelők mindössze 5 településen található (Szolnok, Mohács, Pécs, Pornóapáti, Tiszaújváros), a biomassza mellett más energiahordozót (tipikusan földgáz, illetve esetenként szén, vagy fűtőolaj) is hasznosító rendszerek 13 településen (Almásfüzitő, Ajka, Salgótarján Baja, Komló, Körmend, Mátészalka, Pécs, Szombathely, Tata, Tatabánya, Keszthely, Záhony).

2021-ben a geotermikus távfűtéssel rendelkező települések száma 9 (Cserkeszőlő, Csongrád, Győr, Makó, Miskolc, Mátészalka, Szarvas, Szigetvár, Vasvár), 4 további településen hasznosítottak 2021-ben még részben geotermikus energiát (Nagyatád, Hódmezővásárhely, Szentes, Szentlőrinc), míg termálvizes városfűtéssel (távhő szolgáltató nélküli, egyedi termálvizes csővezeték mentén középületek fűtése) 15 település rendelkezett (ez utóbbiak azonban a jelen projekt szempontjából nem relevánsak).

A földgáz, mint felhasznált energiahordozó túlsúlyát a 2918. ábra is szemlélteti.

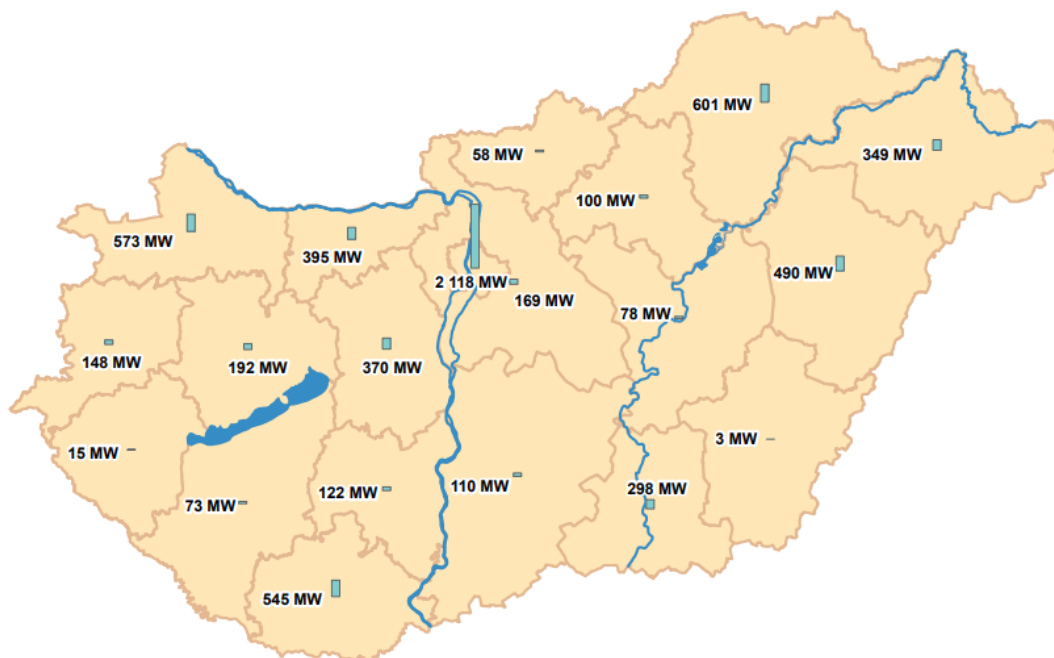


18. ábra: A távhőszolgáltatásban felhasznált energiahordozók megoszlása, 2021
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: MEKH- MaTáSzSz)

Mindezek a számok aláhúzzák a távhő rendszerek erős földgáz függését, és mindazon klímaváltozással szembeni sérülékenységeket, amelyek a földgáz rendszereket érinthetik.

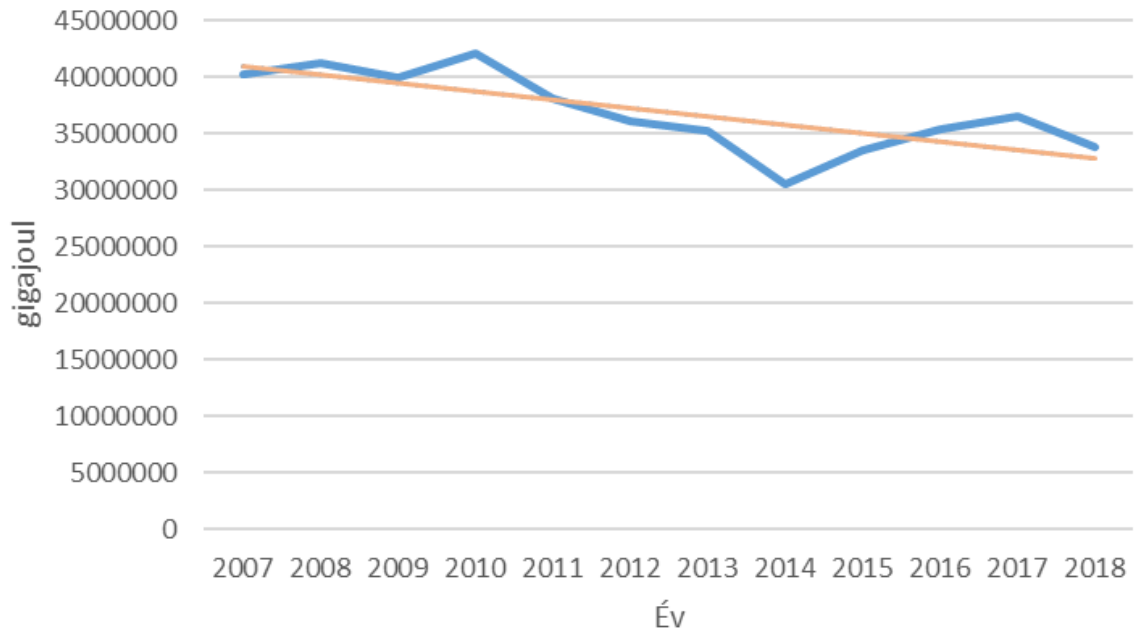
A megújuló energiaforrások távhőszektorban jelen lévő alacsony részaránya igazolja, hogy a távhő, mint klímaadaptációs/klímamitigációs eszköz kihasználtsága („zöld hő”) a hazai adottságokhoz képest nagyon alacsony, különösen az 2012/27/EU (energiahatékonysági) irányelv 2. cikkelyében megfogalmazottak tükrében. Az irányelv szerint a „hatékony távfűtés/távhűtés olyan távfűtési vagy távhűtési rendszer, amely legalább 50 %-ban megújuló energia, 50 %-ban hulladékhő, 75 %-ban kapcsolt energiatermelésből származó hő vagy 50 %-ban ilyen energiák és hők kombinációjának felhasználásával működik”.

A távhőtermelők hőtéljesítő képességének országos eloszlása meglehetősen egyenetlen képet mutat, tükrözve a nagyvárosi központok jelentős hőpiacait (30. ábra).



30. ábra: Távhőtermelők rendelkezésre álló hőtéljesítő képességének megyénkénti eloszlása
Forrás: MATASzSz 2021

A távhőszolgáltatók által értékesített hőmennyiség 2021-ben összesen 27 765 303 GJ volt, ebből a lakosságnak értékesített hőmennyiség 20 835 993 GJ, míg az egyéb felhasználóknak értékesített hőmennyiség 6 929 310 GJ volt (MEKH–MATASzSz 2021). A szolgáltatott távhőn belül a lakosság részaránya széles skálán mozog. A távhőigények elmúlt időszakban bekövetkezett csökkenését a 3131. ábra mutatja be.



31. ábra: Távhőellátásra felhasznált hőmennyiség
Szerkesztette: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (adatok forrása: KSH)

A távhőszolgáltatók méretbeli és területi eloszlásában és az általuk kiadott hőmennyiségben jelentős különbségek vannak.



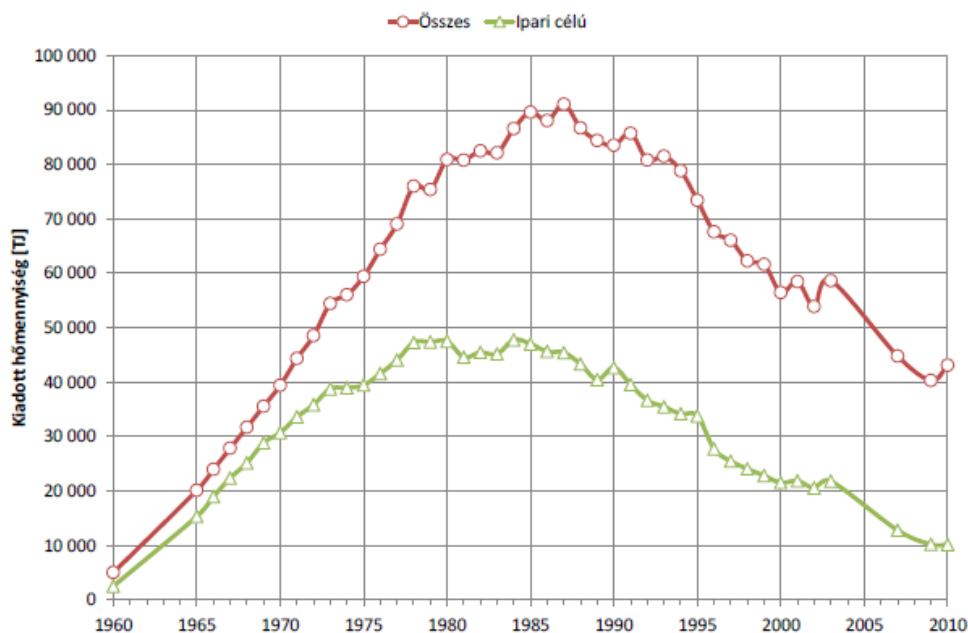
32. ábra: Távhőszolgáltatással ellátott települések a szolgáltatott hőmennyiség szerint (MATÁSzSz 2021)

A mindösszesen 101 távhőszolgáltató által értékesített összes hőmennyiség több, mint a felét (14 737 233 GJ) a 1000 TJ-nál nagyobb éves hőmennyiséget értékesítő 5 db távhő szolgáltató adta (Pétáv Kft. – Pécs, Debreceni Hőszolgáltató Zrt., Mihő Kft. – Miskolc, Főtáv Zrt. (Jelenlegi nevén: BKM Nonprofit Zrt.) – Budapest, Győr-Szol Zrt. – Győr). A vizsgálatunkban elsősorban a 100.000 GJ feletti éves hőkiadású szolgáltatókat és rendszereiket vizsgáljuk, de azoknak az adatoknak az esetében, ahol ez lehetséges, célunk országos adatbázis létrehozása.

5.1.2 A távhőigények előrejelzésének hazai módszertana

A hazai távhőigények hosszú távú becslésére (a számunkra jelenleg elérhető információk szerint) nincs általános, minden szolgáltató által használt módszertan vagy részletes becslés.

Az elmúlt időszaki adatok alapján látható, hogy a távhőigények csökkenő tendenciát mutatnak. A távhőszektor egyik legnagyobb kihívását várhatóan a tovább csökkenő hőigények fogják jelenteni. Ennek okai között szerepel az ipar leépülése (főleg az 1990-es években volt jelentős ennek a hatása), a mérés szerinti elszámolás bevezetése, a fogyasztó oldali korszerűsítések, a fogyasztói energiatudatosság fokozódása, de hosszabb távon mindenképp számolni kell a klímaváltozás/melegedés miatti csökkenő hőigényekkel is. Ugyanakkor mindenképp meg kell említeni mindennek a pozitív hozadékát is: a kb. 35 PJ évi primer energiamegtakarítás mintegy évi 2 millió tonna szén-dioxid kibocsátás elmaradását, illetve kb. 1 milliárd m³ földgázimport csökkenését jelenti (ORBÁN 2017). Arra azonban nem érhető el adat, hogy a várható igénycsökkenés az egyes szolgáltatókat milyen mértékben fogja érinteni.



33. ábra: A távhőszektorban kiadott hőmennyiségek csökkenése
Forrás: ORBÁN 2017

A távhő fejlesztés jövőképe (ORBÁN 2017) három pilléren nyugszik: elsősorban az összköltség 70-80%-át kitevő olcsó hőforrásokon (az optimális hőforrás-mix elérése), de a hatékony elosztás és a magas kapacitáskihasználás is fontos tényezők.

5.2 Sérülékenységvizsgálat értelmezési keretei a távhőigények vonatkozásában

A távhőigények esetében a sérülékenységvizsgálat annak értékelését célozza, hogy a távhőszolgáltatás mennyire sérülékeny az éghajlatváltozás hatásaiból fakadó hőmérséklet-emelkedéssel szemben, amit az energiahatékonysági beavatkozások tovább fokoznak.

Kitettségként értékeljük a fűtési időszak átlaghőmérsékletének növekedését, amit a hőfokgyakorissággal, a fűtési napok számának várható változásával és a hőfokhíddal vizsgálhatunk³⁷. Emellett – mint jelentős, a fűtési igényeket befolyásoló tényezőt – figyelembe kell vennünk az energiahatékonysági beavatkozások már mérhető hatásait is.

Az *érzékenységet* a fogyasztás hőmérsékletfüggésével vizsgálhatjuk, feltételezve, hogy érzékenyebb az a távhőszolgáltatás, amely esetében magasabb a hőmérsékletfüggő fogyasztás aránya.

Várható hatásként a fentiek alapján arról fogunk információt kapni, hogy az egyes távhőszolgáltatók esetében milyen mértékű változást fognak eredményezni az éghajlatváltozás és az energiahatékonysági beavatkozások várható hatásai.

Alkalmazkodóképességként azokat a folyamatokat értékelhetjük, amelyek ellensúlyozni tudják az egységnyi igények csökkenéséből fakadó hatásokat. Ilyen lehet például az új fogyasztók bekapcsolásának, vagy a veszteségek csökkentésének lehetőségeire vonatkozó információk vizsgálatba való bevonása.

A vizsgálatban a távhőellátást (termelést és szolgáltatást) vizsgáljuk és elsődleges célunk a 100.000 GJ feletti éves hőkiadású szolgáltatók és rendszereik vizsgálata. Hazánkban közel 30 városban találunk ilyen távhőrendszereket.

5.3 A vizsgálatba bevonandó indikátorok köre

5.3.1 A távhőigényekre vonatkozó adatok elérhetősége

A távhőszolgáltatás területileg széttagolt, ennek eredményeként a távhőszolgáltatással kapcsolatos adatok elérhetősége sem egységes. A jelen projekt keretében egyrészt rendelkezésünkre álltak a távhőellátással kapcsolatos KSH adatok (melyek a KSH honlapján, illetve TeIR-en keresztül érhetők el). A KSH által gyűjtött adatok települési felbontásúak, illetve évente állnak rendelkezésre a távhőfogyasztókra, illetve távhőfogyasztásra vonatkozóan.

A fenti adatok mellett a jelenlegi vizsgálatban hasznosítani tudjuk a MaTáSzSz által elvégzett primer vizsgálat eredményeit. A szervezet kérdőívet készített, amelyet tagjai számára megküldött. A kérdőívet 17 távhőszolgáltató töltötte ki. A felhasználható adatok ezért ebből az adatforrásból – bár a projekt szempontjából a leghasznosabbak – nem teljeskörűek. Arra viszont alkalmasak, hogy azon távhőszolgáltatók/települések esetében, amelyek választ adtak a kérdőívre, elkészítsük a sérülékenységvizsgálatot.

5.3.2 Javasolt indikátorok

5.3.2.1 KITETTSÉG

A távhőszolgáltatás sérülékenységeinek vizsgálata során a fűtési célú hőigényre koncentrálnunk, mert ez teszi ki a szolgáltatás túlnyomó részét. A fűtési hőigényt a fűtési időszak átlagos hőmérsékletének növekedése mellett az energiahatékonysági beavatkozások is csökkentik. A távhő esetében ez azért is különösen fontos, mert a Mikrocenzus 2016-os eredményei szerint a távhővel fűtött lakások az országos átlagnál jelentősen jobban felújítottak energetikailag.

Az éghajlati kitettség mérésére a fűtési foknap változását használjuk (több klímamodell alapján az 1981-2010 közötti bázisidőszakhoz viszonyítva 2021-2050, 2071-2100 időablakra vizsgálva).

Indikátor	Fűtési foknap október-március közötti összegének változása
------------------	--

³⁷ A hőfokhíd számításánál a korlátosságot az jelenti, hogy e mutatót csupán teljes hónapokra lehet kalkulálni. Mindeközben a 157/2005. (VIII. 15.) Korm. rendelet a fűtési szezon szeptember 15-től május 15-ig határozza meg. Ennek következtében a hőfokhíd a „csonka hónapok” miatt a sérülékenységvizsgálat során a szeptembertől-májusig tartó időszakban kerül számításra a vizsgálat során.

Számítási mód	lásd Országos Meteorológiai Szolgálat ³⁸
Mértékegység	foknap
Adatok felbontása	rácsponti adatbázis
Adatgazda/adatforrás	NYBZK NKft.

A távhővel fűtött épületek energiahatékonyságának növekedését egy komplex indikátorral mérjük, ami két elemből áll: egy fűtött m³-re eső szolgáltatott hő 2019-ben (MaTáSzSz felmérés alapján); a Mikrocenzus alapján a távfűtéssel fűtött lakások felújítottsága. Bár az épületek energetikai állapota – eltérően a kitettségi indikátorok logikájától – a lenti adatokból nem becsülhető a jövőre nézve, azt feltételezzük, hogy a területi mintázat a felújítottságban nem fog változni, ezért mégis értelmezhető kitettségként. Annak ellenére, hogy a jó energetikai állapot kívánatos, a jelenlegi vizsgálatunk szempontjából az energiahatékonyabb lakásállomány jelenléte a területen magasabb kitettséget jelent.

³⁸ https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3238

Indikátor	Egy m ³ fűtött térfogatra eső hőfelhasználás
Számítási mód	A hőközvetben „A távfűtésbe bekapcsolt felhasználók közül a különböző típusúak fogyasztása GJ-ban” 2019-es értéke összesítve a különböző típusú fogyasztókra, osztva a „Lakások fűtött térfogat (m ³) 2019-ben” indikátorral. Amennyiben egy szolgáltatónak több hőközrete is van, úgy javasolt a hőközreteket együttesen vizsgálni (összes fogyasztás/összes m ³).
Mértékegység	GJ
Adatok felbontása	szolgáltatónként
Adatgazda/adatforrás	MaTáSzSz felmérés

Indikátor	Távhővel fűtött lakások felújítottsága
Számítási mód	Az összes távhővel fűtött lakás közül azok aránya, amelyek szigetelésen estek át. Az indikátort a két %-os adat átlaga adja meg.
Mértékegység	%
Adatok felbontása	járásonként ³⁹
Adatgazda/adatforrás	KSH Mikrocenzus 2016

5.3.2.2 ÉRZÉKENYSÉG

Az érzékenységi indikátorokkal azt szeretnénk megvizsgálni, hogy a távhőszolgáltatás mennyire reagál érzékenyen az éghajlati és energiahatékonysági kitétségből adódó keresletcsökkenésre. Ehhez egyrészt szeretnénk megvizsgálni azt, hogy a szolgáltatás mennyire hőmérsékletfüggő az adott településen (erre csak korlátozott lehetőségeink vannak), továbbá, hogy jelenleg mennyire hatékony a működés, ami a jelen vizsgálatban szintén érzékenységgként értelmezhető.

Indikátor	A fogyasztás hőmérsékletfüggése
Számítási mód	„A távfűtésbe bekapcsolt felhasználók közül a különböző típusúak fogyasztása GJ-ban” évente, korrigálva a fűtési időszak átlaghőmérsékletével az adott településen
Mértékegység	GJ
Adatok felbontása	szolgáltatónként
Adatgazda/adatforrás	MaTáSzSz felmérés

Indikátor	Távhőrendszer hővesztesége (%) 2019-ben
Számítási mód	
Mértékegység	%
Adatok felbontása	szolgáltatónként
Adatgazda/adatforrás	MaTáSzSz felmérés

³⁹ A járásokénti adat bizonyos esetekben megfeleltethető (ha az adott járásban csak egy településen egy távhőszolgáltató van), más esetekben viszont nem feleltethető meg a szolgáltatói adatnak.

5.3.2.3 VÁRHATÓ HATÁS

A várható hatást a kitétségi és érzékenységi indikátorok együttes értékelése fogja megmutatni. A számítási módszert a 0 fejezet mutatja be.

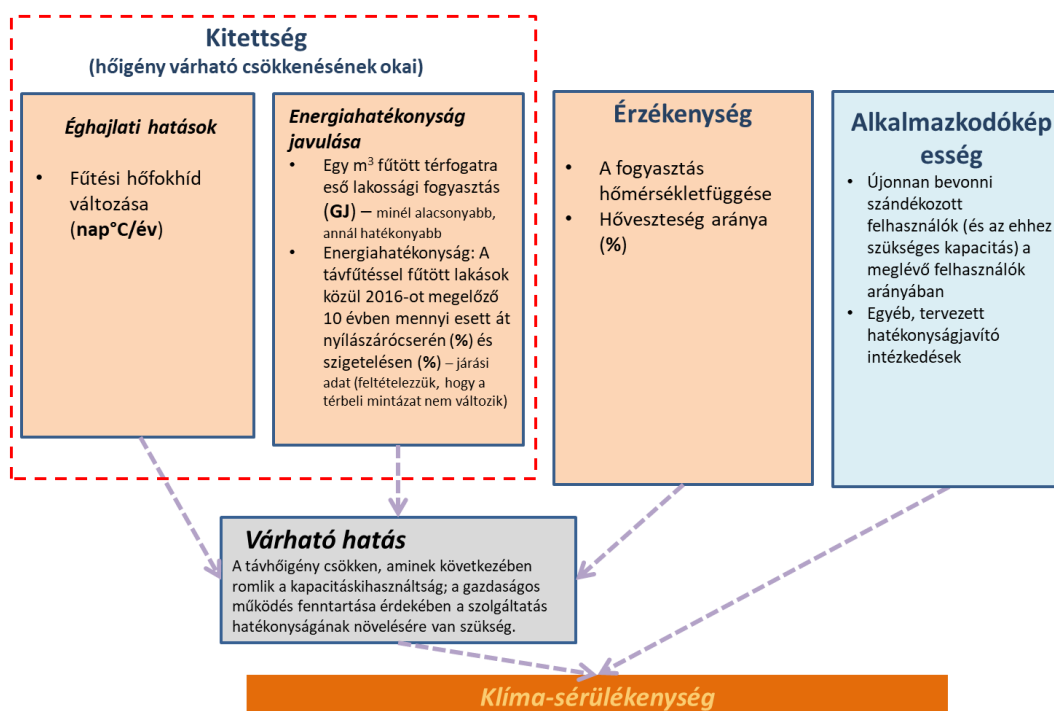
5.3.2.4 ALKALMAZKODÓKÉPESSÉG

A jelenlegi vizsgálatban alkalmazkodóképességként értelmezzük azokat a lehetőségeket, potenciális beavatkozásokat, amelyek a kitétség eredményeként bekövetkező fogyasztáscsökkenés hatásait ellensúlyozni tudják. Erre vonatkozóan nincsenek jól számszerűsíthető, így a vizsgálatban felhasználható adataink, ezért a sérülékenység meghatározása helyett csak a várható hatás értékelésig tudunk eljutni.

Ennek ellenére fontos megemlíteni, hogy a jelenlegi vizsgálat logikájában alkalmazkodóképességként értelmezhetnénk azt, hogy potenciálisan be tud-e vonni az adott szolgáltató újabb fogyasztókat, illetve tervez-e valamilyen hatékonyságjavító beavatkozást. Ezek a kérdések a MaTÁSzSz felmérésében szerepeltek, de a válaszok összehasonlítására csak szövegesen van lehetőség.

5.4 A sérülékenység-vizsgálat javasolt módszere

5.4.1 Hatásláncok bemutatása



Hatásviselő: a távhőtermelő és távhőszolgáltató együttese

34. ábra: A távhőellátás igényoldali sérülékenységének vizsgálata
Forrás saját szerkesztés

5.4.2. Számítási metodika

6. táblázat: A távhőellátás igényoldali sérülékenységeinek számítását megalapozó indikátorok összefoglaló táblázata

Kód	Indikátor	Felbontás	Településhez rendelés menete
T_K_foknap	Fűtési foknapok összegének változása	rácsponti	Az adott települések területére eső rácspontok átlaga (vagy egyéb, a térinformatikában használt módszer)
T_K_térfogat	Egy m ³ fűtött térfogatra eső hőfelhasználás	szolgáltató	Amennyiben egy szolgáltató van egy településen, úgy az adat az adott szolgáltató hőközzeti adatainak átlaga lesz. Ha több szolgáltató van egy településen, akkor a szolgáltatók adatait kell átlagolni (a forgalmazott hőmennyiséggel súlyozva)
T_K_felújít	Távhővel fűtött lakások felújítottsága	járás	A vizsgálat települések annak a járásnak az eredményét kapják, amelyben található (leggyakrabban járásonként egy olyan település van, ahol van távfűtés)
T_É_hőmfügg	A fogyasztás hőmérsékletfüggése	szolgáltató	Amennyiben egy szolgáltató van egy településen, úgy az adat az adott szolgáltató hőközzeti adatainak átlaga lesz. Ha több szolgáltató van egy településen, akkor a szolgáltatók adatait kell átlagolni (a forgalmazott hőmennyiséggel súlyozva)
T_É_hőveszt	Távhőrendszer hővesztése (%) 2019-ben	szolgáltató	Amennyiben egy szolgáltató van egy településen, úgy az adat az adott szolgáltató hőközzeti adatainak átlaga lesz. Ha több szolgáltató van egy településen, akkor a szolgáltatók adatait kell átlagolni (a forgalmazott hőmennyiséggel súlyozva)

Forrás: saját szerkesztés

A várható hatás számításának lépései a következők:

1. Az indikátorok számítása
2. Minden indikátor településhez rendelése (az összetettebb indikátorok csak azokra a településekre számíthatók, amelyek esetében minden indikátor rendelkezésre áll)
3. A komplex kitétségi indikátor számítása, ennek keretében
 - a. az éghajlati kitétség értékének normalizálása;

- b. a komplex energiahatékonysági kitettség számítása (a két összetevő számítása külön-külön, a T_K_térfogat indikátor szorzása (-1)-gyel (beforgatás) és a két indikátor értékeinek összeadása)
4. A komplex érzékenységi indikátor számítása, ennek keretében
 - a. A két indikátor számítása és normalizálása;
 - b. Az indikátorok normalizált értékének összeadása.
5. A normalizált komplex kitettségi és komplex érzékenységi indikátorértékek összeadásával kapjuk meg a várható hatást kifejező indikátort (ügyelve arra, hogy a mutatók egy irányba nézzenek).

6 Irodalomjegyzék

157/2005. (VIII. 15.) Korm. rendelet a távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény végrehajtásáról

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0500157.kor>

De Cian, E. & Wing, I. S. (2017): Global energy consumption in a warming climate. *Environ Resource Econ.* 1–46. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0198-4> (2017).

De Cian, E., Lanzi, E., Roson, R. (2013): Seasonal temperature variations and energy demand. *Climatic Change* 116, 805–825 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0514-5>

De Cian, E., Sue Wing, I. Global Energy Consumption in a Warming Climate. *Environ Resource Econ* 72, 365–410 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0198-4>

Ebinger, J., Vergara, W. (2011). *Climate Impacts on Energy Systems: Key Issues for Energy Sector Adaptation.* World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2271> License: CC BY 3.0 IGO.

Európai Bizottság (2019): Az európai zöld megállapodás, Brüsszel, 2019.12.11., COM (2019) 640 final

Európai Bizottság (2021): A Bizottság új uniós keretet javasol a gázpiacok dekarbonizációjára, a hidrogén alkalmazásának előmozdítására és a metánkibocsátás csökkentésére, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/IP_21_6682

Európai Zöldmegállapodás (2019): Európai zöld megállapodás – Az első klímasemleges kontinens megteremtése - https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hu

FICÉP (2019): A magyarországi villamosenergia-ellátás éghajlati szempontú értékelése. Készítette: FICÉP Építőipari Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat megbízásából a „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében. https://nater.mbsz.gov.hu/sites/nater.mfgy.hu/files/files/FICEP_NATeR_villamosenergia_s_erulekenyseg_tanulmany.pdf

Forster, H. & Lilliestam, J. Modeling thermoelectric power generation in view of climate change. *Regional Environ. Change* 4, 327–338 (2011).

Förster, H., Lilliestam, J. Modeling thermoelectric power generation in view of climate change. *Reg Environ Change* 10, 327–338 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0104-x>

Geogold (2019): A gázellátás éghajlati szempontú értékelése. Készítette: Geogold Kárpátia Kft. a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat megbízásából a „NATÉR továbbfejlesztése” projekt keretében.

Ghalekhondabi, I., Ardjmand, E., Weckman, G.R. et al. An overview of energy demand forecasting methods published in 2005–2015. *Energy Syst* 8, 411–447 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12667-016-0203-y>

Ghasemian, S., Faridzad, A., Abbaszadeh, P. et al. An overview of global energy scenarios by 2040: identifying the driving forces using cross-impact analysis method. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* (2020). <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02738-5>

- IEA, World gross electricity production, by source, 2018, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2018>
- International Atomic Energy Agency, Adapting the Energy Sector to Climate Change, , IAEA, Vienna (2019).
- 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.
- IPCC AR5 WG1 (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 p.
- JACOB, D., PETERSEN, J., EGGERT, B. et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14, 563–578 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- KSH (2020): Magyarország számokban, 2019. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 2020.
- LUNDRÉN K, KJELLSTRÖM T. Sustainability Challenges from Climate Change and Air Conditioning Use in Urban Areas. *Sustainability*. 2013; 5(7):3116-3128. <https://doi.org/10.3390/su5073116>
- MAVIR 2019A. A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2019. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. Budapest, 2019.
- MAVIR 2019B. A Magyar Villamosenergia- rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2019. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. Budapest, 2019.
- MEKH-MATÁSZSZ 2019: A magyar távhőszektor 2018. évi adatai. Budapest, 2020.
- MEKH-MAVIR 2019. A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2018. évi adatai. Magyar Energetikai- és Közműszabályozási Hivatal; Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. Budapest, 2019.
- MOSS, R., EDMONDS, J., HIBBARD, K. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756 (2010). <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- 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., ROEHL, 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, United Kingdom, 570 p.

- O'NEILL, B.C., KRIEGLER, E., RIAHI, K. ET AL. 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122, 387–400 <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- ORBÁN, T. (2017): Távhő fejlesztési lehetőségek, jövőkép - Budapesti Műszaki Egyetem, Energetikai Szakkollégium Budapest, 2017. május 4. <https://www.eszk.org/rendezvenyeink/archivum/archivum-2017/tavho-fejlesztési-lehetosegek-jovokepek>
- PETRAKOPOULOU, F., ROBINSON, A., OLMEDA-DELGADO, M. 2020 Impact of climate change on fossil fuel power-plant efficiency and water use, *Journal of Cleaner Production*, 273,
- REKK 2011. Forecasting demand for electricity and natural gas in Central and South-East Europe. In: Security of energy supply in Central and South-East Europe. REKK. Budapest, 2011.
- SCHAEFFER, R. et al. 2012. Energy sector vulnerability to climate change: a review. *Energy* 38, 1–12
- Sütő A. (szerk.) 2016. Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer. Összegző tanulmány. Budapest, 2016. https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfgi.hu/files/files/Osszegzo_HU.pdf
- SZABÓ, P., SZÉPSZÓ, G. 2016. Quantifying Sources of Uncertainty in Temperature and Precipitation Projections over Different Parts of Europe. In: *Mathematical Problems in Meteorological Modelling. Mathematics in Industry* (eds.: Bátkai, A., Csomós, P., Faragó, I., Horányi, A., Szépszó, G.), Springer International Publishing, 207–237.
- SZÁZADVÉG GAZDASÁGKUTATÓ ZRT. 2018. A magyar villamosenergia-felhasználás várható alakulása 2040-ig. 2018. szeptember.
- VAN RUIJVEN, B.J., DE CIAN, E. & SUE WING, I. 2019. Amplification of future energy demand growth due to climate change. *Nat Commun* 10, 2762. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10399-3>
- VAN VLIET, M., YEARSLEY, J., LUDWIG, F. et al. 2012. Vulnerability of US and European electricity supply to climate change. *Nature Clim Change* 2, 676–681 <https://doi.org/10.1038/nclimate1546>
- WENZ L, LEVERMANN A, AUFFHAMMER M 2017. North south polarization of European electricity consumption under future warming. *Proc Natl Acad Sci* 114:E7910–E7918).
- Yalew, S.G., van Vliet, M.T.H., Gernaat, D.E.H.J. et al. 2020. Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios. *Nat Energy* 5, 794–802 <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0664-z>