

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

VÍGH ENIKŐ ZITA

**SZENT ISTVÁN EGYETEM
KAPOSVÁRI CAMPUS
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR**

2020

SZENT ISTVÁN EGYETEM
KAPOSVÁRI CAMPUS
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
REGIONÁLIS ÉS AGRÁRGAZDASÁGTANI INTÉZET

Doktori Iskola Vezetője:
PROF. DR. FERTŐ IMRE
MTA doktora

Témavezető:
PROF. DR. FERTŐ IMRE
MTA doktora

**A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A
NÖVÉNYTERMESZTŐK GAZDASÁGI DÖNTÉSEIRE**

Készítette:
VÍGH ENIKŐ ZITA

KAPOSVÁR
2020

TARTALOMJEGYZÉK

Ábrák jegyzéke

Táblázatok jegyzéke

Rövidítések jegyzéke

1. BEVEZETÉS	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	13
2.1. Szisztematikus irodalmi áttekintés módszertana	14
2.1.1. Keresési és kiválasztási stratégia.....	14
2.1.2. Adatkinyerés folyamata.....	17
2.2. Szisztematikus irodalmi áttekintés eredményei.....	18
2.2.1. Nemzetközi hatékonyságelemzés általános jellemzői.....	18
2.2.2. Nemzetközi hatékonyságelemzés empirikus értékelése.....	24
3. HAZAI KONTEXTUS	53
3.1. A klímaváltozás tapasztalatai	53
3.1.1. Globális meteorológiai tapasztalatok	53
3.1.2. A hazai meteorológia tapasztalatok.....	56
3.1.3. A klímaváltozás hatása a mezőgazdaságra.....	59
3.2. A klíma várható alakulása	62
3.2.1. A jövőben várható globális meteorológiai előrejelzések	63
3.2.2. A jövőben várható hazai meteorológiai előrejelzések.....	63
3.2.3. A klímaváltozás előre jelzett hatásai a mezőgazdaságban	64
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	66
4.1. Felhasznált adatok	66
4.2. Alkalmazott módszerek	70
4.2.1. Mérés nem parametrikus burkolófelület-elemzés módszerrel	71
4.2.2. Mérés parametrikus sztochasztikus határelemzés módszerrel	76

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	83
5.1. A burkolófelület-elemzés eredményei.....	83
5.3. Sztochasztikus határelemzés eredményei.....	91
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	101
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	107
8. ÖSSZEFOGLALÁS	109
9. SUMMARY	112
10. Köszönetnyilvánítás	115
11. Irodalomjegyzék	116
12. A disszertáció témaköréből megjelent publikációk	134
13. A disszertáció témakörén kívül megjelent publikációk	137
14. Szakmai önéletrajz	138

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: A szisztematikus irodalmi áttekintés folyamatábrája.....	17
2. ábra: A klímaváltozás hatékonyságának témájában megjelent cikkek	19
3. ábra: Alkalmazott adatszerkezet.....	22
4. ábra: Vizsgált ágazatok megoszlása.....	23
5. ábra: Vizsgálatban résztvevő cikkek alkalmazott mintái	24
6. ábra: A felszíni levegőhőmérséklet megfigyelt változásai.....	54
7. ábra: Az éves csapadékmennyiség változásai.	55
8. ábra: CRS és VRS határok	72
9. ábra: Vetési, növekedési és generatív szakaszok középhőmérséklete	78
10. ábra: Vetési, növekedési és generatív szakaszok csapadékösszege	79
11. ábra: DEA eredmények Boxplot ábrázolása	85

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: Cikkek megoszlása a vizsgált lektorált folyóiratokban	20
2. táblázat: Leggyakrabban vizsgált országok.....	23
3. táblázat: Extrém klimatikus események	29
4. táblázat: Fejlődési fázisok	31
5. táblázat: Humán erőforrás	32
6. táblázat: Környezeti jellemzők megváltozásának hatásai	34
7. táblázat: Üzemi jellemzők	39
8. táblázat: Burkoltgörbe elemzés eredményei	42
9. táblázat: Vizsgálatban résztvevő cikkek adatforrásai.....	49
10. táblázat: A felhasznált változók leíró statisztikája, 2002-2013.....	69
11. táblázat: A parametrikus módszerben alkalmazott változók leíró statisztikája, 2002-2013.....	82
12. táblázat: Simar-Wilson eredmények	87
13. táblázat: Eredmények	92

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

CRS	Constant Return to Scale – <i>Konstans Mérethozadék</i>
ÉME	Éves Munkaerő Egység, egyetlen olyan személy munkaidő ráfordításának felel meg, aki egész éven át teljes munkaidőben végez mezőgazdasági tevékenységet egy mezőgazdasági vállalkozásban.
ESDB	European Soil Data Base – <i>Európai Talaj Adatbázis</i> , 10x10 km-es raster adatokat tartalmaz, az adatokat több forrásból nyeri és olyan változókat tartalmaz, amelyek felhasználhatók a talaj állapotának vizsgálatához.
FADN	Farm Accountancy Data Network a <i>Mezőgazdasági Számviteli Információs Hálózat</i> (FADN) a mezőgazdasági üzemek pénzügyi, vagyoni helyzetét felmérő európai uniós reprezentatív információs rendszer. Magyarországi alrendszere a Tesztüzemi Információs Hálózat, ismertebb nevén tesztüzemi rendszer, ami a közösségi előírások teljesítésén túl kiszolgálja a hazai információs igényeket is.
Fagyos napok	Azon napok száma az adott időintervallumra vonatkozóan, ahol a minimum hőmérséklet kisebb mint 0 °C.

Fenológia	A fenológiai jelenségek a növény fejlődésének látható jelei, egyben az egyes élettani szakaszok határpontjai. A fenológiai jelenségek szabályszerű rendben követik egymást, ezért pontos képet adnak a fejlődés üteméről.
Forró napok	Azon napok száma, ahol a hőmérséklet meghaladja a 35 °C-ot.
Generatív fázis	A harmadik fenológiai fázis, a generatív időszakban a növények generatív részei fejlődnek, ekkor történik a termés hozása és termésének beérése.
Germináció	Az őszi vetésű növények átvészelik a kedvezőtlen (jellemzően téli) környezeti hatásokat és nyugalmi állapotba kerülnek, majd újra képessé válnak a fejlődésre.
Globálsugárzás	A naptól érkező közvetlen sugárzás, valamint az égbolt más részéről érkező szórt sugárzás összege.
GWP	Global Warming Potential – <i>Globális Felmelegedési Potenciál</i> , légköri gázok üvegházhatást fokozó tulajdonsága (hőenergia megkötő képessége). Megmutatja, hogy egy adott gáz egységnyi idő alatt hányszor több hőt nyel el és sugároz vissza az atmoszférába a CO ₂ -hoz képest, lehetővé teszi 1 kg ÜHG x kg CO ₂ egyenértékre való átváltását A GWP-t a

különböző gázok üvegházhatásának számszerűsítésére használják, adott időintervallumra nézve.

Higrikus jelleg A relatív nedvesség, a felhőzet és a csapadék összességéből adódó feltételek.

Hőségnapok Azon napok száma, ahol a maximum hőmérséklet meghaladja a 30 °C-ot.

Invazív fajok Az invazív vagy özönfajok térhódítását a természetes és természetközeli élőhelyeket veszélyeztető legjelentősebb tényezők közt tartják számon. Számos növény- és állatfaj őshazájától távol, szándékos telepítés vagy véletlen behurcolás következtében, gyors elszaporodás révén a honos növény és állatközösségek sokféleségét (biodiverzitást) csökkenti, az élőhelyek elszegényedését okozza. Az özönnövény fajok erőteljesen átformálják környezetüket, gátolják más fajok csírázását és egyedfejlődését (árnyékolás, tápanyagelvonás, kioldódó anyagok). Behurcolásuk és terjedésük megakadályozását az 1143/2014/EU számú rendelet szabályozza.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change – *Éghajlat-változási Kormányközi Testület*

KAP Közös Agrárpolitika

LAU	Local Administrative Units – <i>Helyi Közigazgatási Egységek</i> , Magyarországon járásnak nevezzük.
ML	Maximum Likelihood - Az egyik legáltalánosabb módszer a paraméter optimális becslésének kiválasztására. A paramétert azzal az értékkel becsüljük amely, ha a paraméter valódi értéke volna, a kapott n-elemű minta bekövetkezése lenne a legvalószínűbb az összes lehetséges n-elemű minták közül. Az adott minta valószínűségét leíró likelihood függvény maximumát keressük.
NÉS	Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia
OLS	Ordinary Least Squares – Legkisebb Négyzetek Módszere, gyakran alkalmazott becslési módszer, minimalizálja a paraméter valódi és becsült értéke közötti eltérésnégyzetösszeget.
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
Parásodás	Az a folyamat, amelynek során átalakul a sejtek vízhatlan, zsírsavakban igen gazdag sejtfal-anyaga. Gyakori a mechanikai és kémiai behatások sérülési helyein a fás részekben és gyümölcsökön, ahol, mint sebezhető szövet jelentkezik. Az alma, körte gyümölcssein védekező anyagok perzselése v. kártevők

rágása következtében keletkezett parásodás a gyümölcs értékét és piacosságát rontja.

RCP	Representative concentration pathway – <i>Reprezentatív koncentrációs nyomvonalak</i> , az üvegházhatású gázok és aeroszolok sugárzási egyensúlyra gyakorolt hatásának alakulását írják le. Ez megvalósítható a sugárzási egyensúly eltolódásának megadásával pl. W/m ² egységben, vagy az üvegházhatást okozó anyagok CO ₂ -egyenértékben kifejezett koncentrációjával.
SFA	Stochastic Frontier Analysis – <i>Sztochasztikus Határelemzés</i>
SMU	Soil Mapping Units – <i>Talaj Térképi Egység</i> , az ESDB vizsgálati egysége.
STU	Soil Typological Units – <i>Talaj Minőségi Egység</i> , az ESDB vizsgálati egysége.
Szén-dioxid ekvivalens	A szént nem tartalmazó üvegházhatású gázok szén-dioxid egyenértékben kifejezett értéke, amely a globális felmelegedési potenciál (lásd GWP) alapján határozható meg.
TFP	Total Factor Productivity – <i>Teljes Tényező Termelékenység</i> .
Transpiráció	Vízvesztés a légkörbe a növény párologtatása révén történik és a növény fejlődésének alapvető folyamata.

Főleg a leveleken keresztül zajlik a pórusokon és a gázcserenyílások keresztül, amelyek elsődleges feladata a gázcsere. A víz és az oldott tápanyagok szükséges mennyisége egy folyamatos vízoszlopként pótlódik, amely a gyökerektől kiindulva felfelé mozog a farész szállítónyalábjain belül.

Vegetatív fázis A második fenológiai fázis. A vegetációs szakaszban a szabad szemmel jól látható fenológiai jelenségek következnek be, ekkor a növény zöld részei alakulnak ki, amely a rügyattanás kezdetétől a lombhullás végéig tart.

Vetési fázis Az első fenológiai fázis. A vetési fázisban történik a szaporítóanyag vetése, ekkor történik a csírázás.

VRS Variable Return to Scale – Változó Mérethozadék

1. BEVEZETÉS

„A jövő nem tőlünk független dolog, olyan lesz, amilyenné alakítjuk. Minden folyamat azon múlik, hogy most, az elkövetkezendő napokban, hónapokban, években hogyan cselekszünk. Nincs olyan forgatókönyv, amiben hátradőlhetünk, mondván, itt már nincs mit tenni.”

Ürge-Vorsatz Diána

A napjainkat érintő globális felmelegedés nem egyedi jelenség a Föld történelmében, jelenleginél hidegebb és melegebb átlaghőmérsékletekről léteznek feljegyzéseink. A globális klíma alakulását az üvegház hatású gázok és a légköri szennyezőanyagok jelenléte és mennyisége befolyásolja. A klímaproblémát a légköri folyamatok megváltozása okozza, amely főleg az antropogén eredetű tevékenységekhez köthető (IPCC, 2007). Az ipari forradalom után felgyorsult kibocsátási színvonal Világszinten a klíma átalakulását és ezzel a globális felmelegedés gyorsulását eredményezte (Rosenzweig *et al.*, 2008).

A legtöbb szektor hozzájárul a kibocsátás nagymértékű színvonalához és a kibocsátás további növekedéséhez. Magyarországon 2017-ben az összes ÜHG kibocsátás közel 64 millió tonna szén-dioxid ekvivalens mennyiségben kifejezve (OMSZ, 2019), amelyből az energia termelése és felhasználása 72 százalékban, az ipar 11 és a mezőgazdaság szintén 11 százalékban, a hulladékkezelés pedig 5 százalékban felelős.

A kibocsátás közvetett hatásai mára minden kontinensen és óceánon a fizikai és biológiai folyamatokban változásokat hoztak. Az átlaghőmérséklet 1 °C-kal növekedett, a csapadékképek megváltoztak és olyan extrém meteorológiai

események is megjelentek, amelyek már rövid távon rontják a jóléti feltételeket. A kibocsátások előre jelzett szintje sem túl biztató, a pesszimista forgatókönyvek szerint a kibocsátások további növekedésének hatására a század végére az 1986-2005 közötti időszak átlagához képest 4 °C-os növekedéssel számolhatunk (IPCC, 2014).

Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete 1990 óta jelentésben teszi közzé tudomány aktuális álláspontját az éghajlatváltozással kapcsolatban. Ezek a jelentések megalapozzák a kormányok klímapolitikai döntéseit és a nemzetközi klíma egyezmények alapjait. 1992-ben létrejött az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, amely a legtöbb nemzetközi klímaegyezmény létrehozását támogatta. Az Egyezmény legfőbb döntéshozó szerve a Részleges Felek Konferenciája (Conference of the Parties, COP), melynek feladata az Egyezmény működésének irányítása és végrehajtásának ellenőrzése. A Részleges Felek Konferenciájának rendszeres találkozóira szabályos időközönként, két évente kerül sor, de rendkívüli találkozók összehívására is van lehetőség. A legfontosabb találkozók között a COP3 (Kyoto, Japán, 1997) és a COP21 (Párizs, Franciaország, 2015) eseményeket említhetjük, ahol meghatározták az üvegházhatású gázok fogalmát és számításának módszerét, valamint megállapodtak abban, hogy a Föld légkörének felmelegedését 2 °C fokos szint alatt tartjuk 2050-re nézve.

A kutató közösség erkölcsi kötelességének érzi, hogy felhívja a figyelmet a globális klímaváltozás okozta veszélyekre ezért 2019-ben 11 ezer kutató írta alá azt a dokumentumot, amelyben Ripple *et al.* (2019) a Világot érintő tizenöt legfontosabb problémát sorakoztatta fel (ezek között pl. a népesség növekedése, a kérődzők létszámának növekedése, az egy főre eső húsfogyasztás növekedése, az esőerdők vesztesége, a növekvő

energiafelhasználás, a szén-dioxid légköri növekedés, a légi közlekedés térnyerése stb. szereplenek).

Részes Félként az EU is rendelkezik Hosszútávú Klíma Stratégiával (Európai Bizottság, 2018), amelynek célja: *„Európa azon elkötelezettségének megerősítése, hogy vezető szerepet töltsön be a globális éghajlat-politikai fellépés területén, és olyan jövőképet vázoljon fel, amellyel költséghatékony módon és szociálisan méltányos átállás révén teljesíthető a nulla nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátás 2050-ig történő elérése”*.

Az Európai Klíma Stratégia részeként a Bizottság (2000) a Közös Agrárpolitikán (KAP) keresztül hatást gyakorol a negatív hatások csökkentésére. A KAP eszközei például az Ökológiai Fókusz Területek, a Hátrányos Természeti Adottságokkal rendelkező területek, a Natura 2000 területek, az Agrár-környezetvédelmi Gazdálkodás, valamint a vízgazdálkodási és vízvédelmi, fenntartható erdőgazdálkodási és tájvédelmi intézkedések.

Magyarországon a második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS, 2017) fogalmazza meg a területen elvégzendő feladatokat a 2018-2030 közötti időszakban. A stratégia kiemelt célja az EU és hazai pénzügyi források éghajlatvédelmi célokra fókuszáló felhasználása és nyomon követése. A Stratégia szerint a mezőgazdaság a klímaváltozásnak leginkább kiszolgáltatott ágazat, a hatások időben és térben differenciáltan jelentkeznek és eltérő károkat okoznak. Kimondja, hogy a hazai adottságaink, lehetőségeink és korlátaink megismerése érdekében kutatási–fejlesztési tevékenységekre kell támaszkodni.

Bár tudományos világ az éghajlatváltozás értékelését széleskörűen bemutatta, szakadékot látunk a téma gazdasági értékelésében. Ezt igazolja az a tény is, hogy 2018-ban William Nordhaus-t Nobel díjjal jutalmazták, aki hiánypótló

munkájával a hosszútávú makroökonómiai elemzéseiben figyelembe vette az éghajlatváltozás tényét is (Nordhaus, 1980, 2011, 2018, Nordhaus-Moffat, 2017).

Noha a klímaváltozás hatásait egyre növekvő irodalom vizsgálja az elmúlt évtizedben a mezőgazdaságban, a közép- és kelet-európai régióra vonatkozó kutatások száma elenyésző. A disszertáció részben ezt hiányt igyekszik pótolni.

A disszertáció célja, hogy a klímaváltozás hatásait vizsgálja a magyar növénytermesztő gazdaságok esetében. A kutatás konkrét céljai az alábbiak:

- C1: Feltárni azokat a környezetből adódó biofizikai jellemzőket, amelyek a szokásos értelemben vett piaci termelési tényezők mellett hatnak a gazdálkodók hatékonyságára.

- C2: Megvizsgálni az éghajlatváltozás középtávú hatásait a magyar növénytermesztők termelésének hatékonyságára.
Az így kapott eredmények a harmadik célkitűzés megválaszolásának inputjait képezik, így a dolgozatban a hatékonyságelemzés eredményeit külön nem tárgyalom.

- C3: Megvizsgálni, hogy a termelési éven belül fennálló különböző fejlődési időszakokban (vetési, vegetatív és generatív) mért eltérő meteorológiai tényezők hogyan hatnak az üzemek technikai hatékonyságra.

A vizsgálat alapját egy újonnan összeállított adatbázis adta. A Mezőgazdasági Számviteli Információs Hálózat (FADN) a mezőgazdasági üzemek pénzügyi,

vagyoni helyzetét felmérő európai uniós reprezentatív információs rendszer, az adatok szokásos éves felmérését, tisztítását és tárolását a NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet Tesztüzemi Információs Osztálya végzi. Az FADN-ből származó 2002-2013 közötti farmszintű panel közel 12 000 megfigyelést tartalmaz, a mintát évente nagyjából 1 000 növénytermesztő reprezentálja Magyarország teljes növénytermesztési ágazatát. Sajnos a hazai tesztüzemi rendszer nem tartalmaz környezeti vagy geofizikai adatokat.

Ennélfogva, az üzemi szintű adatokat kibővítettük meteorológiai és geofizikai adatokkal. A meteorológiai megfigyelések az EU Közös Kutatóközpontja terméshozam előre jelző adatbázisból származnak (JRC MARS-AGRI4CAST Crop Yield Forecast System), amelyben a hőmérséklet és csapadék értékek interpolált, 25 km-es rácpontok napi eredményeit reprezentálják. A geofizikai adatok az Európai talajadatbázisból (European Soil Database, EUSOILS) származnak, amelyben a talaj mezőgazdasági felhasználása, a talaj víztartó képessége és a talaj szervesanyag-tartalma szerepelnek.

Az újszerű megközelítéssel a disszertáció a klímaváltozás hatásainak mélyebb értelmezésére tesz kísérletet különös tekintettel a magyar növénytermesztők adataira. Az alkalmazott módszer első részének célja a technikai hatékonyság kiszámítása a szokásos értelemben vett gazdasági tényezők figyelembevételével. A módszer második része megkísérli feltárni az üzemi hatékonyságot befolyásoló időjárási és talajminőségi tényezőket, külön figyelmet fordítva a termelési ciklus három különböző fejlődési fázisára.

A szakirodalmi áttekintés alapján a legtöbb klímaváltozás hatását értékelő kutatás az Egyesült Államokra, Európa Nyugati részére és a fejlődő országokra koncentrálódik, ezért a Közép- és Kelet Európai kutatási eredmények csak korlátozott számban állnak rendelkezésre. A növények fenológiai fejlődése és a mezőgazdaság technikai hatékonysága közötti

kapcsolatról szóló szakirodalom szintén csekély. A disszertáció ezeket a hiányosságokat kívánja részben pótolni.

A dolgozat felépítése a következő. A második fejezet áttekinti a téma szakirodalmát. A harmadik fejezetben a hazai és az azt befolyásoló globális kontextust ismertetjük, a klímaváltozás eddig tapasztalt és várható alakulását bemutató tényezők felsorolásával. A negyedik fejezet bemutatja a kutatási kérdéseket, a felhasznált adatokat és az alkalmazott módszert. Az ötödik fejezet az eredményeket tárgyalja, a dolgozat végén néhány következtetés és konklúzió szerepel.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az utóbbi két évtizedben megnövekedett azon cikkek száma, amelyek a klímaváltozás hatásait vizsgálták a mezőgazdaságban. A kutatási eredmények azonban nagymértékben szórnak a gazdasági hatások nagyságára és azok területi megoszlására vonatkoznak. A legtöbb cikk arra a következtetésre jut, hogy a kedvezőtlen időjárási körülmények hozzájárulnak a gyenge mezőgazdasági hozamokhoz (Chavas *et al.*, 2009; Trnka *et al.*, 2011; Spinoni *et al.*, 2015; Hatfield-Prueger, 2015). Míg néhány tanulmány megkérdőjelezi a negatív hatásokat, mások egyenesen pozitív (Deschenes-Greenstone, 2007) eredményekkel számolnak. A bizonytalanság fő forrása az elemzés során alkalmazott eltérő módszertanokból fakad. A klímaváltozásnak a mezőgazdaságra gyakorolt hatásainak vizsgálatára számos megközelítés áll rendelkezésre. Trapp (2015) alapján öt módszertani irányt különböztetünk meg: (1) hozam vagy agro-ökonómiai szimulációs módszerek (biofizikai modellek); (2) ökonometriai modellek (panel vagy keresztmetszeti adatok felhasználásával); (3) parciális egyensúlyi elméletek; (4) általános egyensúlyi elméletek és (5) integrált megközelítések. A fejezet alapját a termelési függvény alapú ökonometriai megközelítések képezik.

A termelékenységet és a technikai hatékonyságot befolyásoló tényezők megértése alapvető fontosságú, hogy megérthessük a mezőgazdasági vállalkozások hatékony működésének okait. A kutatási eredmények a gazdaságok és a döntéshozatal szintjén is egyaránt jelentősek lehetnek: a gazdaságok a magasabb jövedelem elérésével nagyobb eséllyel élik túl a piaci és a klímaváltozásból eredő hatásokat, míg a döntéshozók információkat nyerhetnek, hogy milyen intézkedésekkel segíthetik a termelékenység és a versenyképességet növelését.

A következőkben a szisztematikus irodalmi áttekintés (*systematic review*) módszerével szemügyre vesszük a téma nemzetközi szakirodalmát, az elmúlt húsz évben lektorált folyóiratokban megjelent cikkek alapján, különös tekintettel (1) a téma beágyazottságát a nemzetközi irodalomban, (2) a vizsgálatban szereplő cikkek földrajzi lefedettséget, (3) a kulcsmegállapításokat és az eredmények nemzetközi összehasonlítását, (4) valamint a felhasznált adatforrások típusait.

2.1.SZISZTEMATIKUS IRODALMI ÁTTEKINTÉS MÓDSZERTANA

2.1.1. Keresési és kiválasztási stratégia

A szisztematikus irodalmi áttekintésbe a mezőgazdasági szektorban tapasztalt klímaváltozás hatásait termelési függvény alapú módszertannal vizsgáló tanulmányok kerültek be. A szisztematikus irodalmi áttekintések a szakirodalomból nyert információk tudományos módszerekkel történő szintézisei, amelyek részletes, alapos kutatómunka alapján tartalmazzák a kiválasztott adatbázisokban megjelent tudományos eredményeket egy adott témával kapcsolatban (Moher, 2009; Kamarási-Mogyorósy, 2015). A cikkek beazonosítása, kiválasztása és elemzése az alábbi lépések mentén történt, a módszer lépéseit az 1. ábrán szemléltetjük:

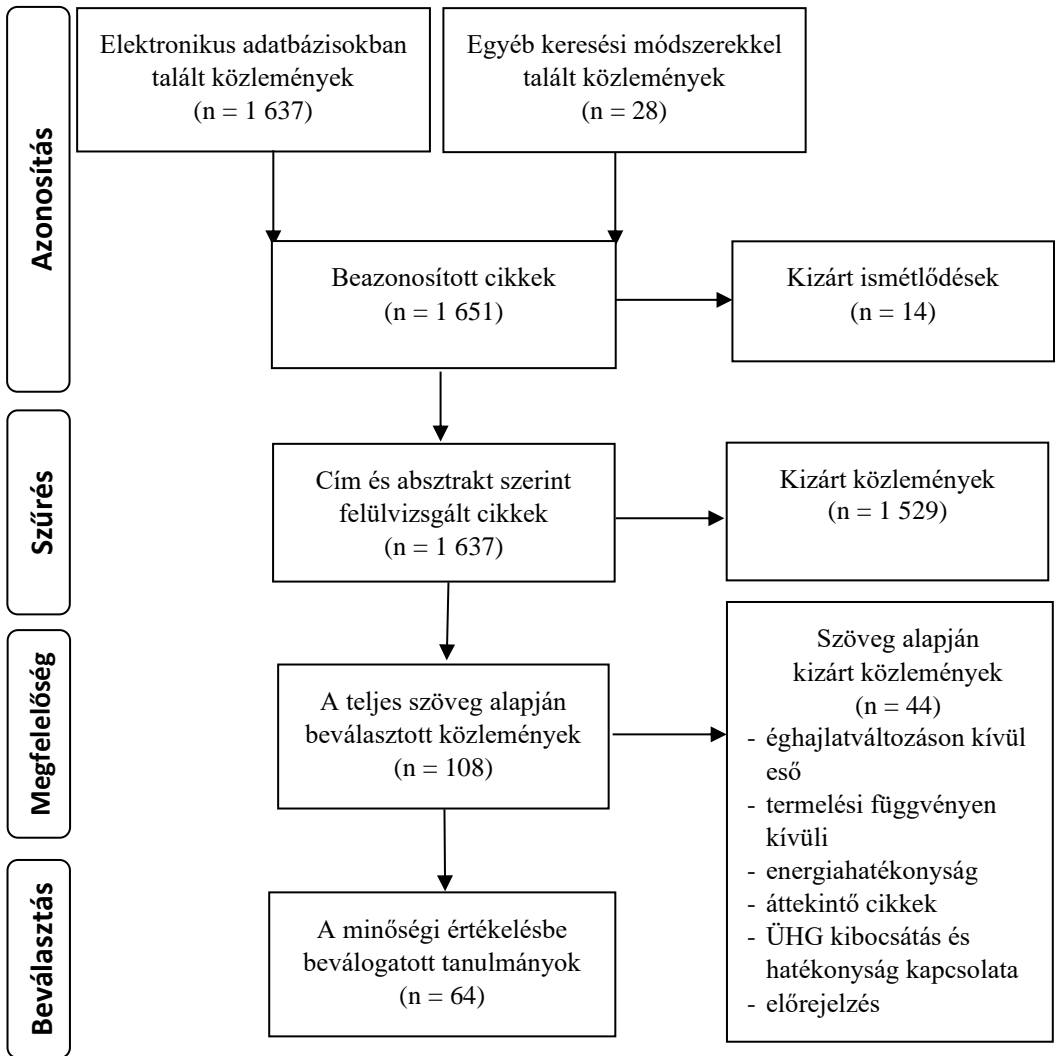
- I. Adatbázisok: a vizsgálatba az EBSCO, a ScienceDirect és a Springer adatbázisokba megjelent cikkeket vontuk be. Az elemzésbe egyéb releváns cikkek is bekerültek az első körbe bekerült irodalmak hivatkozásainak áttekintésével.
- II. A keresés kulcsszavainak kiválasztása: az elemzés során az alábbi kulcsszavakat vagy azok kombinációit használtuk: klímaváltozás,

globális felmelegedés, technikai hatékonyság, mezőgazdaság, gazdálkodás, haszonállatok, növénytermesztés, termesztés, szántóföldi, kertészet. Mivel a felsorolt adatbázisok nagyrészt angol nyelvű publikációkat tartalmaznak, ezért a keresés során a kulcsszavak angol nyelvű változatait alkalmaztuk. A keresésben Boolean operátorokat használtunk, amelyek segítségével a találati halmazok közötti kapcsolatokat határozhatjuk meg (*AND = kifejezés pontos illeszkedését adja; OR = szinonimacsoportok közötti választás; "" = konkrét kifejezés keresése; * = tetszőleges számú karakter helyettesít; () = keresési sorrend kialakítása*). A keresőkifejezés a következő: ("*climate change*" *OR* "*global warming*") *AND* ("*technical efficiency*") *AND* ("*agriculture*" *OR* "*farming*" *OR* "*livestock*" *OR* "*crop*" *OR* "*arable*" *OR* "*cultivation*" *OR* "*horticulture*"). Annak érdekében, hogy feltárjuk a legfrissebb kutatási eredményeket, angol nyelvű, lektorált eredeti kutatási cikkeket vettünk figyelembe, amelyeket 2000-2020 közötti húszéves periódusban publikáltak. Ugyanakkor, kizártuk az áttekintő irodalmi feldolgozást végző tanulmányokat, könyveket és könyvfejezeteket, konferencia anyagokat és jelentéseket. Az elektronikus adatbázisokban a megfogalmazott keresési operátorok segítségével 1637 találat, egyéb forrásból 28 cikket azonosítottunk, összesen 1651 közleményt vizsgáltunk.

- III. Kizáró kritériumok megfogalmazása: Ismétlődések, éghajlatváltozás hatásain kívül eső tanulmányok, termelési függvény módszerén kívül eső cikkek, üzemek energiahatékonyságát vizsgáló elemzések, kizárólag ÜHG kibocsátás és hatékonyság kapcsolatát vizsgáló értekezések és előrejelzések. A cím, az absztrakt és a kulcsszavak

szűrése során 14 ismétlődést és 1543 témán kívül eső publikációt azonosítottunk.

- IV. Szűrés során beválogatott közlemények kiválasztása: A kizáró kritériumok alapján 108 cikket választottunk ki teljes vizsgálatra.
- V. A minőségi értékelésben résztvevő publikációk kiválasztása: A teljes átvizsgálás során 64 cikket választottunk ki, amelyek a minőségi értékelés alapját képezték.



1. ábra: A szisztematikus irodalmi áttekintés folyamatábrája; Forrás: Prisma ajánlás alapján saját szerkesztés

2.1.2. Adatkinyerés folyamata

A kiválasztott cikkek kvalitatív értékelése során az adatok kiválasztása és kódolása történt: az alapvető információk körében a szerzők neve, a közlés

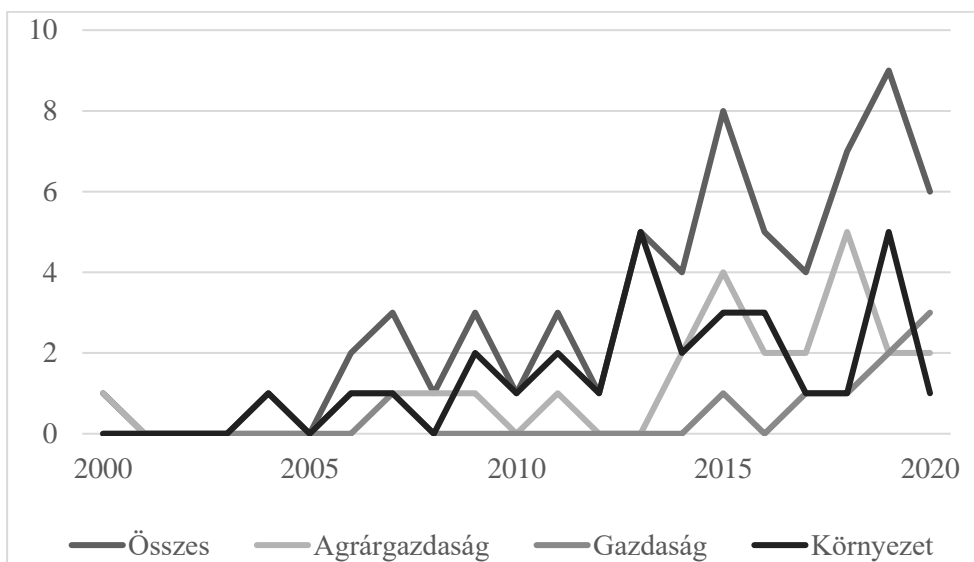
éve, a folyóirat megnevezése, a témában megjelent közlemények területi eloszlásának vizsgálatára az elemzés helyszíne (ország vagy földrajzi régió), majd a vizsgált alágazatok megállapítása (növénytermesztés, állattenyésztés, mezőgazdaság). A közleményekben alkalmazott termelékenységi és hatékonyságot becsülő módszerek típusait, valamint az alkalmazott termelési függvényeket a leggyakrabban használt módszertanok alapján határoztuk meg. Az beazonosított cikkek alapján az empirikus megállapításokat rögzítettük. A közleményekben alkalmazott eltérő vizsgálati időszakok és az alkalmazott adattípusok megállapítása érdekében a vizsgált időintervallumot és az adattípust (idősor, panel, keresztmetszeti, egyesített keresztmetszeti) is jegyeztük. A hatékonyságelemzésben alkalmazható elérhető adatok és a rendelkezésre álló meteorológiai változók beazonosítása érdekében a felhasznált adatok forrását, az alkalmazott minta elemszámát, az alkalmazott mintaegységet (üzem, ország, háztartás, tartomány, régió, adminisztratív egység, megye, rácspont, ültetvény) is áttekintettük.

2.2.SZISZTEMATIKUS IRODALMI ÁTTEKINTÉS EREDMÉNYEI

2.2.1. Nemzetközi hatékonyságelemzés általános jellemzői

A fejezet célja meghatározni a téma elhelyezkedését és beágyazottságát a nemzetközi irodalomban. A hatékonyságelemzés és a klímaváltozás kutatásával kapcsolatos irodalom rohamosan növekszik (2. ábra). A beválogatott cikkek alapján a vizsgált húsz éves periódus elején csak néhány cikk jelent meg a témában, ugyanakkor a periódus végére ez megváltozott, a közlemények 60 százaléka az utóbbi öt évben jelent meg, a téma beágyazottságát növekvő trend jellemzi. A téma irodalmának nagy részét az

agrárközgazdasági és környezettudományi folyóiratok közlik. Az általános közgazdasági folyóiratokban lévő közlemények aránya alacsony.



2. ábra: A klímaváltozás hatékonyságának témájában megjelent cikkek megoszlása a nemzetközi lektorált folyóiratokban, Forrás: saját szerkesztés

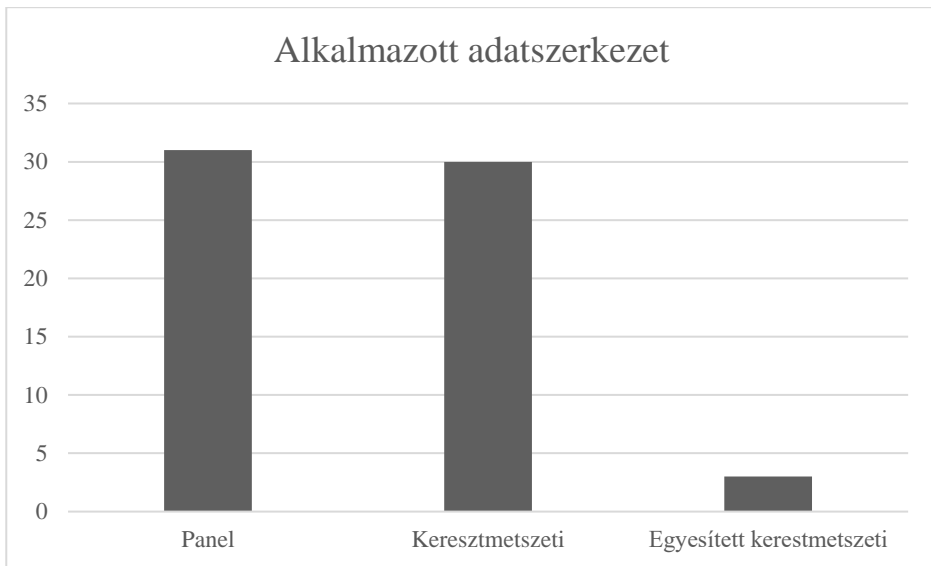
Az 1. táblázat a cikkek megoszlását szemlélteti a vizsgált 41 lektorált folyóiratban, figyelembe véve az elemzésben alkalmazott módszer szerinti megoszlást. A cikkek leggyakrabban a *Land use policy* (9,3 százalék), a *Regional Environmental Change* (9,3 százalék), a *Climatic Change* (6,3 százalék) és a *Journal of Cleaner Production* (6,3 százalék) jelentek meg. A legtöbb folyóirat csak egy alkalommal közöl cikkeket a témában. Az alkalmazott módszerek tekintetében a beválasztott közleményekben leggyakrabban a *Stochasztikus határelemzés módszerét* (SFA) alkalmazták, összesen 34 esetben, míg az *Adatok burkoltgörbe elemzését* (DEA) 12 alkalommal választották.

1. táblázat: Cikk megoszlása a vizsgált lektorált folyóiratokban, Forrás: saját szerkesztés

Válogatott folyóiratok	SFA	DEA	TFP	Egyéb	Összesen
Agricultural and Food Economics	1	0	0	0	1 (1,6)
Agricultural and Forest Meteorology	1	0	0	0	1 (1,6)
Agricultural Sciences in China	1	0	0	0	1 (1,6)
Agricultural Systems	3	0	0	0	3 (4,7)
Agriculture, Ecosystems and Environm.	2	0	0	0	2 (3,1)
Agronomy for Sustainable Development	0	0	0	1	1 (1,6)
American Economic Review	0	0	0	1	1 (1,6)
Climate Research	1	0	0	0	1 (1,6)
Climatic Change	1	0	1	2	4 (6,3)
Economia Politica	1	0	0	0	1 (1,6)
Empirical Economics	0	0	1	0	1 (1,6)
Environment, Development and Sustain.	2	0	0	1	3 (4,7)
Environmental and Resource Economics	0	1	0	0	1 (1,6)
Environmental Econ. and Policy Studies	0	0	0	1	1 (1,6)
Environmental Management	1	0	0	1	2 (3,1)
European Journal of Agronomy	0	0	0	1	1 (1,6)
European Journal of Operational Res.	0	1	0	0	1 (1,6)
Food Policy	1	0	0	0	1 (1,6)
Food Security	1	0	0	0	1 (1,6)
Industrial Crops and Products	0	1	0	0	1 (1,6)
International J. of Disaster Risk Science	1	0	0	0	1 (1,6)
Irrigation and Drainage Systems	1	0	0	0	1 (1,6)
Journal of Cleaner Production	2	2	0	0	4 (6,3)
Journal of Dairy Science	1	0	0	0	1 (1,6)
Journal of Economic Structures	1	0	0	0	1 (1,6)
Journal of Environmental Econ. and M.	0	1	0	0	1 (1,6)
Journal of Environmental Management	0	1	0	0	1 (1,6)
Journal of Integrative Agriculture	1	0	0	0	1 (1,6)
Land Use Policy	4	0	0	2	6 (9,4)
Mitigation and Adapt. Strat. for G. Ch.	1	0	0	0	1 (1,6)
Natural Hazards	0	1	0	0	1 (1,6)
Operational Research	0	1	0	0	1 (1,6)
Paddy and Water Environment	1	0	1	0	2 (3,1)
(folytatás a következő oldalon)					

Válogatott folyóiratok (folytatás)	SFA	DEA	TFP	Egyéb	Összesen
Regional Environmental Change	3	0	0	3	6 (9,4)
Science of the Total Environment	0	1	0	0	1 (1,6)
Small Ruminant Research	0	1	0	0	1 (1,6)
The International Journal of LCA	0	1	0	0	1 (1,6)
Theoretical and Applied Climatology	1	0	0	0	1 (1,6)
World Development	1	0	0	0	1 (1,6)
Egyéb	0	0	2	0	2 (3,1)
Összesen	34	12	5	13	64 (100)

Wooldridge (2013) szerint a gazdasági elemzésekben az adatok négy szerkezeti típusát különböztetjük meg: keresztmetszeti, idősor, egyesített keresztmetszeti (az előző kettő kombinációja) és panel szerkezetek. A 3. ábra alapján a leggyakrabban alkalmazott adatszerkezet a panel adat, ezt követi a keresztmetszeti szerkezet, néhány esetben pedig egyesített keresztmetszeti adat áll rendelkezésre. A panel adatok több időszakon keresztül szolgáltatnak adatot minden egyes megfigyelt egységről. Idősor struktúrájú adat nem jelenik meg a kiválasztott cikkek között. Ez nem meglepő, hiszen a hatékonyságelemzés esetében a panel és keresztmetszeti adatok segítségével arra a kérdésre is választ kaphatunk, hogyan változik a hatékonyság a megfigyelt időszakban, a vizsgált üzemek adatait több időszakra vonatkozóan is megfigyeljük.



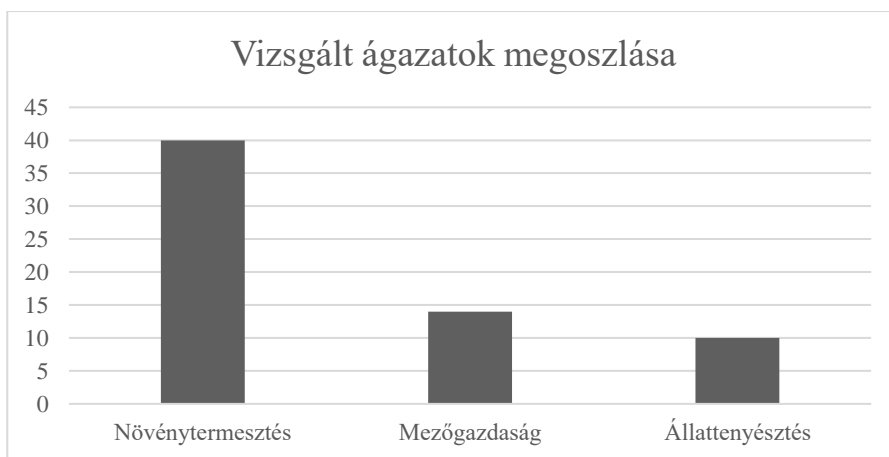
3. ábra: Alkalmazott adatszerkezet, Forrás: saját szerkesztés

Az elemzések jelentős része az Egyesült Államokra és Franciaországra vonatkozik (2. táblázat). Ezt követi Kína megjelenésének gyakorisága. Az elemzésekben vizsgált országok megjelenésének gyakorisága megmutatja, hogy a nemzetközi irodalom középpontjában az észak-amerikai, a kelet-ázsiai és a nyugat-európai régiók állnak. Az eredmények arra is rávilágítanak, hogy a kutatók mely régiók esetében ütköznek akadályokba az adatgyűjtést illetően, így mely régiók maradnak alul reprezentáltak az irodalomban. Az irodalomban figyelembe vett régiók alapján a közép-európai, kelet-európai, dél-amerikai és közép-ázsiai régiók erősen alul reprezentáltak.

2. táblázat: Leggyakrabban vizsgált országok, Forrás: saját szerkesztés

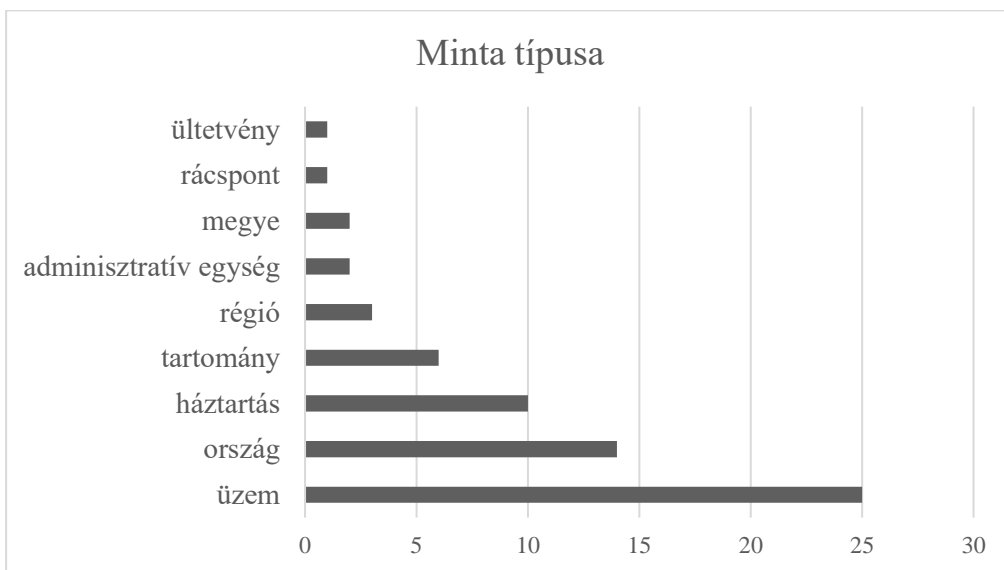
Megjelenés gyakorisága	Ország
10	USA, Franciaország
9	Kína
8	Olaszország
7	Egyesült Királyság
6	Németország, Portugália, Spanyolország
5	Ausztria, Belgium, Görögország, Hollandia, Írország
4	Dánia, Finnország, Irán, Lengyelország, Luxemburg, Svédország,
3	Ciprus, Csehország, Etiópia, Japán, Latin-Amerika, Magyarország, Málta, Románia, Svájc, Szlovákia
2	Afrika, Ausztrália, Banglades, Bulgária, Észtország, India, Izland, Kanada, Korea, Lettország, Litvánia, Nepál, Nigéria, Pakisztán, Szlovénia
1	Brazília, Costa Rica, Ghána, Indonézia, Kambodzsa, Norvégia, Örményország, Tanzánia, Törökország, Új-Zéland, Üzbegisztán, Vietnám

A kutatások a növénytermesztésben bekövetkező hatásokat számszerűsíti a leggyakrabban, a sort a teljes mezőgazdaságot vizsgáló elemzések követik (4. ábra). Az állattenyésztési ágazat a legkevésbé kutatott, mindössze 10 cikk vizsgálta a klimatikus hatásokat.



4. ábra: Vizsgált ágazatok megoszlása, Forrás: saját szerkesztés

A leggyakrabban alkalmazott módszerek adatszerkezeti egységét az üzemek reprezentálják, az esetek közel 40 százalékában ezt a mintaegységet alkalmazták (5. ábra). A második leggyakrabban alkalmazott egység az országos minta. Az ültetvények és rácspontokon végzett adatgyűjtést alkalmazták a legkevésbé esetben.



5. ábra: Vizsgálatban résztvevő cikkek alkalmazott mintái, Forrás: saját szerkesztés

2.2.2. Nemzetközi hatékonyságelemzés empirikus értékelése

Extrém események hatásai

Az extrém klimatikus események hatásait a 3. táblázat mutatja be. A vizsgált extrém klimatikus események hatásainak bemutatására a kutatók az ariditást, a tavaszi és a nyári csapadékképek változékonyságát, a növény-növekedési szakasz bekövetkezésének koraiságát, a hőstresszt és a hátrányos természeti adottságok mutatóját alkalmazták. A kutatások az aszály (Mishra *et al.*, 2018; Assefa *et al.*, 2020) és az extrém hőmérsékleti események (Mishra *et al.*, 2015) hatására romló hozamokról, az üzemek nagymértékű pénzügyi veszteségéről

(Huang *et al.*, 2013; Melkonyan-Asadoorian, 2013) és a gazdaságok sérülékenységéről (Bouttes *et al.*, 2018) számolnak be. A sérülékenység azokban a régiókban alacsonyabb, ahol a társadalmi és gazdasági fejlettség magasabb (Huang *et al.*, 2013), de az organikus gazdaságok esetében a sérülékenység a gazdálkodási gyakorlattól függ a leginkább (Assefa *et al.*, 2020). Az aszály hatására a hozamkiesés egyes növényfajok esetében magasabb (pl. kukorica) (Assefa *et al.*, 2020). A hátrányos természeti adottságú területeken élő gazdálkodók jövedelmei a hagyományos területeken élők jövedelmeinek mindössze felét érik el (Mutabazi *et al.*, 2015).

Fejlődési fázisok megváltozása

A klimatikus események fejlődési fázisokban bekövetkező hatásait a 4. táblázat mutatja be. A növekedési fázisban a hőstressz nagymértékben és szignifikánsan rontja a növénytermesztési ágazat hozamait (Arshad 2016; Rahman-Anik, 2020) és a tejtermelők outputját (Qi *et al.*, 2015). A tavaszi és germinációs időszakban a hőmérséklet emelkedése a tejtermelők outputját (Qi *et al.*, 2015) javította. A csapadékváltozás hatása nem egyértelmű. Néhány szerző pozitív hatásokról (Jiang-Koo, 2013; Arshad *et al.*, 2016), mások negatív hatásokról számolnak be a vegetációs időszakban (Ochuondho *et al.*, 2014) és a tavaszi-téli csapadéknövekedés (Qi *et al.*, 2015; Auci-Vignani, 2020) esetében. A szerzők a hőmérséklet esetében gyakrabban számolnak be szignifikáns eredményekről, mint a csapadékváltozás esetében, ezeknek az eredményeknek a nagysága is számottevőbb.

Humán erőforrás feltételeinek megváltozása

A klímaváltozás és a humán erőforrások kapcsolata hat a technikai hatékonyság változására, az eredményeket az 5. táblázat mutatja be. Néhány

szerző a klímapercepció és a gazdaságvezetők képzettsége és kora (Akhtar *et al.*, 2018; Azumah *et al.*, 2019) között pozitív kapcsolatot talált, míg mások a mezőgazdasági tapasztalat növekedése és a klímaváltozással kapcsolatos tudatosság közötti negatív kapcsolatról számolt be (Fatuase, 2017). Azok a családi gazdaságok, amelyek magasabb munkajövedelemmel rendelkeznek, nagyobb esélyrel tanúsítanak öko-hatékonyságot (Jan *et al.*, 2012). A klímaváltozással kapcsolatos információkhoz „könnyebben” hozzájutó gazdaságok magasabb hatékonyságot produkálnak (Tang *et al.*, 2015; Ojo *et al.*, 2020). A szerzők beszámolnak a fajok közötti hatékonyságkülönbségekről is, a rizstermesztők kevésbé, míg a kakaótermesztők nagymértékben kitéttek az aszály káros hatásainak (Keil *et al.*, 2008). Ezek, a jellemzően háztartások szintjén működő gazdaságok még abban az esetben sem tudnak javítani a hatékonyságukon, ha adaptációs lépéseket vezettek be a klímaváltozás kezelésére. Ezzel szemben néhányan a hatékonyság javulását tapasztalták azokban a háztartásokban, ahol az állatlétszám növekedett (Bai *et al.*, 2019).

Környezeti jellemzők megváltozásának hatásai

A hőmérséklet növekedésének hatására az üzemek hatékonysága csökkent (6. táblázat), a jelenséget több kutató is megerősíti (Deschenes-Greenstone, 2007; Piot-Lepetit, 2007; Reidsma *et al.*, 2009; Solís-Letson, 2013; Kunimitsu *et al.*, 2016; Gadanakis-Areal, 2018; Adom-Adams, 2020), ugyanakkor néhányan a hozamok csökkenésének hatására romló technikai hatékonyságról számolnak be (Bardaji-Iraizoz, 2015; Lachaud *et al.*, 2017; Giannakis-Bruggeman, 2018; Njuki *et al.*, 2019; de Medeiros-Silva *et al.*, 2019). Ez a hatás azokban a régiókban szélsőségesebb, ahol az átlagos felszíni levegőhőmérséklet magasabb. Liang *et al.* (2017) szerint a hőmérséklet hatása a növénytermesztésben nem szignifikáns, az állattenyésztésben negatív és

szignifikáns, míg Reidsma *et al.* (2009) a hőmérséklet növekedés pozitív hatásairól számol be Görögország és a skandináv államok esetében. Power-Cacho (2014) eredményei szerint Ausztráliában a jelenlegi termelésszerkezet és gazdaságméret optimális a rendelkezésre álló abiotikus tényezők mellett, ugyanakkor ők is beszámolnak az extrém hőmérsékletek jelentette veszélyekről.

A csapadékképek átalakulásának hatásairól a szerzők eltérő véleményeket alkotnak. A csapadék mennyiségének és gyakoriságának növekedése, valamint azok gyakoriságtól való eltérése növeli a nem hatékony működést (Bardaji-Iraizoz, 2015; Lachaud *et al.*, 2017; Gadanakis & Areal, 2018; To-The & Nguyen-Anh, 2020; Adom-Adams, 2020; Auci & Vignani, 2020). Bechanov-Lamers (2016) a vízkínálat hatására romló jövedelmekről számol be. Galloway *et al.* (2018) szerint az éves összes csapadékmennyiség és a hatékonyság között nem létezik korreláció. Ezzel ellenkező eredményeket sorakoztat fel a kutatók egy csoportja (Verburg *et al.*, 2000; Reidsma *et al.*, 2009; Solís-Letson, 2013; Kunimitsu *et al.*, 2016; de Medeiros-Silva *et al.*, 2019) akik azt igazolták, hogy a csapadék növekedése a hozamok és a hatékonyság növekedését idézte elő. A legtöbb szerző egyetért abban, hogy a csapadékképek átalakulása alacsonyabb mértékű negatív hatást jelent a mezőgazdaság hatékonyságára, mint a hőmérséklet emelkedése.

A hátrányos adottságú és a magasabban fekvő területeken működő gazdaságok negatívabb feltételekkel indulnak az éghajlatváltozás hatásaival szemben (Galanopoulos *et al.*, 2011; Poudel-Kotani, 2013). A klimatikus változékonyság hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdészet.

Üzemi jellemzők sajátosságai

A gazdálkodási mód és az üzemi jellemzők a technikai hatékonyság változásának fontos összetevői. A nemzetközi irodalom főbb megállapításait a 7. táblázat mutatja be. Azok a gazdálkodók, akik figyelemmel kísérik az éghajlati változásokat magasabb technikai hatékonyságot érnek el a nem gazdasági érdekek előnyben részesítése során (Barnes, 2006; Li *et al.*, 2008). A költségek növekedése nélkül, a gazdálkodási módszerek átalakításával a hatékonyság javítására kínálkozik lehetőség, pl. a fenntartható, organikus és talajkímélő gyakorlatok bevezetésével, diverzebb fajtaválasztékkal, hatékonyabb tápanyag-utánpótlással és a vetésidő átütemezésével (Capalbo, 2004; Ma *et al.*, 2014; Mohammadi *et al.*, 2015; Mayberry *et al.*, 2017; Yaqubi *et al.*, 2016; Bouttes *et al.*, 2018; Khanal *et al.*, 2018).

Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a környezeti állapot javítása és a termelékenység növelése együtt is lehetséges és az adaptációs kapacitás előre jelzi a várható hozamokat (Yao *et al.*, 2016). Regan *et al.* (2019) szerint, azokban az országokban, ahol alacsony az adaptációs kapacitás, a termés hozamok nagy része elveszhet, míg ahol magas csak kismértékű termés kiesés következhet be az éghajlati változások hatására. Néhány esetben az újonnan létrehozott beavatkozások hatására (főleg öntözési jellegű beruházások esetében) a hatékonyság sokkal magasabb a nem beruházókkal szemben (Makombe *et al.*, 2007), míg néhány esetben az új beavatkozások hatására romlott a hatékonyság, néhány esetben csak rövidtávon eredményezett változást (Mayberry *et al.*, 2017; Mohan *et al.*, 2019).

3. táblázat: Extrém klimatikus események, Forrás: Saját szerkesztés

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Assefa <i>et al.</i> , 2020	Etiópia	Cobb-Douglas	A hozam a legtöbb növény esetében az ariditási index növekedésével átlagosan 4,8 %-kal romlik, ez a hatás a kukorica esetében a 16%.
Bouttes <i>et al.</i> , 2018	Franciaország	Egyéb	A klímaváltozást leíró kitettségi mutatók (pl. a tavaszi és nyári csapadékképek változékonysága, a növény-növekedési szakasz bekövetkezésének koraisága és a hőstressz) és a gazdálkodási gyakorlatok korrelálnak a gazdaságok sérülékenységevel. Az organikus gazdálkodásra való átállás hatására a sérülékenység a gazdálkodási gyakorlatoktól válik függővé leginkább
Dalgaard <i>et al.</i> , 2015	Európai országok, Kelet-Ázsia	Cobb-Douglas	Az megfigyelt extrém klimatikus események hatására a termelékenység 5%-kal csökkent.
Deschenes-Greenstone, 2007	USA	Hedonikus megközelítés	A klímaváltozás hatására a mezőgazdasági szektor profitrátája 4%-kal fog növekedni.
Huang <i>et al.</i> , 2013	Kína	Döntéshozatali egység	A vizsgált tartományok az aszály hatására nagymértékű gazdasági veszteséget szenvedtek el. A gazdaságilag és társadalmilag fejlettebb tartományok nagyobb kapacitással néznek szembe a természeti katasztrófák bekövetkezése esetén, ugyanitt a gazdaságban mért hatások is szerényebbek, így ezek a régiók kevésbé sérülékenyek az időjárási kockázatokkal szemben.

Melkonyan-Asadoorian, 2013	Örményország	Hasznossági függvény	A 2006-os aszály hatására a piaci veszteségek elérték a 7 millió USD-t, a kereslet-kínálat modell alapján a hasonló években a fő mezőgazdasági kultúrák 90%-os veszteséget szenvedhetnek el.
Mishra <i>et al.</i> , 2015	Banglades	Translog	Az aszály növekedése negatívan, a csapadék növekedése pozitívan hat a hozamokra. A magas hőmérséklet önmagában nem, az extrém hőmérsékleti események nagymértékben befolyásolják a hozamkiesést. Az aszály és az árvizek rontják a technikai hatékonyságot a rizstermesztők esetében.
Mishra <i>et al.</i> , 2018	Kambodzsa	Cobb-Douglas	Az aszályos területeken fekvő rizstermesztők technikai hatékonysága alacsonyabb. A jó talajminőség pozitívan hat a technikai hatékonyságra. A száraz évszakban termesztők hatékonysága magasabb (74%) a csapadékos évszakban termesztő társaiknál.
Mutabazi <i>et al.</i> , 2015	Tanzánia	Egyéb	A magas természeti potenciállal rendelkező területeken élők egy főre eső jövedelme kétszer magasabb a hátrányos természeti adottságokkal rendelkező területeken élők jövedelménél.

4. táblázat: Fejlődési fázisok, Forrás: Saját szerkesztés

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Arshad 2016	Pakisztán	Egyéb	A növekedési fázisban a 30° C feletti hőstresszes napok számának növekedése 35 százalékkal, a virágzás fázisában a növényeket érő 34°C felett a 230 százalékkal rontja a hozamokat. A csapadék növekedésének hatása pozitív és szignifikáns.
Jiang-Koo, 2014	USA	Egyéb	A kumulatív hőmérsékletemelkedés a növekedési fázisban hatással van a hozamokra. Az időszakos negatív hőmérsékletek csak az USA középső és keleti részén hatnak a hozamokra. A csapadék pozitívan hat a hozamokra a növekedési fázisban, kivételt képeznek azok az államok, ahol fennállnak a nedves klimatikus feltételek.
Ochuodho <i>et al.</i> , 2014	Kanada	Sztohasztikus termelési függvény	Az éghajlatváltozás hatásait kezelő tavaszi talajművelés pozitívan és szignifikánsan hat a burgonyahozamokra. A hőmérséklet változása nagyobb mértékben befolyásolja a hozamokat, mint a csapadékváltozás. A vegetációs időszak hosszának növekedése hátrányosan hat a burgonyahozamok esetében.
Qi <i>et al.</i> , 2015	USA	Cobb-Douglas	A hőmérséklet emelkedése tavasszal és télen pozitívan, nyáron és ősszel negatívan hat a tejtermelők outputjára. A nyári és őszi csapadékmennyiség növekedése nincs kapcsolatban az outputokkal, a tavaszi és téli emelkedés káros a tejtermelőkre.

Rahman-Anik, 2020	Banglades	Translog	A hosszú idősorban megjelenő hőmérsékletemelkedés hatására a mezőgazdasági termelés növekedett. A hatások a germináció és a vegetatív fejlődési szakaszokban is megjelennek. Ezek a hatások mindaddig pozitívak maradnak, amíg a hőmérséklet a bázis- és az optimum-hőmérséklet közötti skálán mozognak. A hatás negatív, ha a hőmérséklet az optimum és a felső határ közé kerül.
-------------------	-----------	----------	--

5. táblázat: Humán erőforrás, Forrás: Saját szerkesztés

Szerző(k) és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Akhtar <i>et al.</i> , 2018	Pakisztán	Hasznossági függvény	A klimatikus változások érzékelése jelentősebb az idősebb korú gazdálkodók, a kis családi vállalkozások és a gazdaságon kívüli jövedelemszerzési tevékenységet végzők esetében.
Azumah <i>et al.</i> , 2019	Ghána	Translog	Az öntözést végző gazdaságok hatékonyabbak a hagyományos farmoknál. A fiatalabb korú, női és magasabb tanulmányi háttérrel rendelkező gazdaságvezetők esetében csökken a hatékonyság.
Bai <i>et al.</i> , 2019	Kína	Translog	A félsivatagi régiókban lévő háztartások technikai hatékonysága a klimatikus tényezők miatt alacsony. Az adaptációs lépések között, a magasabb állatlétszám növelte a háztartások technikai hatékonyságát.
Fatuase, 2017	Nigéria	Cobb-Douglas	A tanulmányi évek számának növekedése, a meteorológiai információkhoz való hozzájutás és az adaptációs eszközök számának bővülése negatívan és szignifikánsan hat a nem hatékony működésre.

			A mezőgazdasági tapasztalat és a klímaváltozással kapcsolatos tudatosság előjele szintén negatív.
Giannakis-Bruggeman, 2018	Több ország	Egyéb	A víz által előidézett talajerózió hatására a magasabb mezőgazdasági munkaerő termelékenység elérésének esélye csökken. A hagyományos, esőre alapozott búzahozamok hatása pozitív, de statisztikailag nem szignifikáns.
Jan <i>et al.</i> , 2012	Svájc	Egyéb	Azokban a gazdaságokban, ahol a családi munkaerő munkajövedelme magasabb, általában nagyobb valószínűséggel tanúsítanak ökohatékonyt.
Keil <i>et al.</i> , 2008	Indonézia	Cobb-Douglas	Az éghajlatváltozás hatására megváltozó rizskínálat csak korlátozottan hat a regionális piacokra. Az aszályal sújtott háztartások jelentős bevételkiesést tapasztalnak, még abban az esetben is, ha erőforráshatékony adaptációs lépéseket tesznek. A rizstermesztők kevésbé, míg a kakaótermesztők nagymértékben kitéttek az aszály káros hatásainak.
Ojo <i>et al.</i> , 2020	Nigéria	Cobb-Douglas	Azok a gazdaságok, amelyek jobban hozzáférnek a klímaváltozással kapcsolatos információkhoz magasabb hatékonyságot produkálnak. A kisméretű gazdaságok esetében az információkhoz való hozzáférés hatására a hatékonyságjavulás nagyobb mértékű.
Tang <i>et al.</i> , 2015	Kína	Translog	A gazdálkodók érzékelése az elérhető víz szűkösségéről, a víz áráról és az öntözési infrastruktúráról növeli, a termőföld tagoltsága csökkenti az öntözés allokációs hatékonyságát. A magasabb vízárak miatti jövedelemkiesés pótolható az öntözés vízfelhasználás-hatékonyságának növelésével.

6. táblázat: Környezeti jellemzők megváltozásának hatásai, Forrás: Saját szerkesztés

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Adom-Adams, 2020	Afrika	Cobb-Douglas	Az afrikai országok csak a 38,2 százalékát termelik meg a maximum elérhető outputoknak. A megművelt terület, a munkaerő, a tőke, a csapadék és a hőmérséklet együttesen növelik a nem hatékony működést, az eredmények a terület, a csapadék és a hőmérséklet növekedésének esetében szignifikáns.
Auci-Vignani, 2020	Olaszország	Cobb-Douglas	Olaszország régióinak technikai hatékonysága azokban az években romlik a leginkább, ahol az átlagos csapadékmennyiség eltér a sokévi átlagtól. A szántóföldi növénytermesztésben a tavasszal és ősszel lehullott magasabb csapadékmennyiség hatása a hatékonyságra pozitív, a nyári időszaké negatív, a téli csapadék nem szignifikáns. Az átlagos minimum-hőmérséklet emelkedése nagyobb károkat okoz az őszi időszakban, mint a nyári vagy a téli évszakban.
Bardaji-Iraizoz, 2015	Franciaország, Olaszország, Spanyolország, Németország, Portugália	Translog	Átlagosan a hőmérséklet-emelkedés 7-25 százalékkal, a csapadékelmelkedés 2 százalékkal rontotta a hozamokat minden vizsgált régióban. Az átlaghőmérsékletet tekintve melegebb régiókban a hőmérséklet emelkedése nagyobb mértékben rontja a hozamokat, mint a hidegebb régiókban.
Bechanov-Lamers, 2016	Üzbegisztán	Egyéb	A vízkínálat csökkenésének hatására Üzbegisztán jövedelmei 4,3-6,6 százalékkal, a nemzeti jövedelem 3,6-4,3 százalékkal csökkenhetnek.

Benedetti <i>et al.</i> , 2019	Olaszország	Cobb-Douglas	A paradicsomtermesztés víz- és energiahatékonysága a legmagasabb más növénykultúrákhoz viszonyítva. Ez a technikai hatékonyság növekedését is előidézi, ezzel az olasz régiók az ágazat kiemelkedő szereplőivé válhatnak.
de Medeiros-Silva <i>et al.</i> , 2019	Brazília	Egyéb	A hőmérséklet 1 százalékos növekedésének a hatására a cukorrépa termelés 5,68 százalékkal csökkent, míg a csapadékmennyiség 1 százalékos növekedése a hozamok 2,77 százalékos növekedését idézte elő.
Dakpo-Lansink, 2019	Franciaország	Távolsági függvény	A környezetre káros outputokat (pl. ÜHG) nem lehet figyelmen kívül hagyni. Az eredmény azt mutatja, hogy a hatékonyság jelentősen eltér a szennyezést generáló beruházási technológiák kiigazítási költségeinek elszámolásakor.
Deschenes-Kolstad, 2011	USA	Egyéb	A napi hőmérséklet 1°C-os növekedése az átlaghoz képest 0,01-0,02 dollárral csökkenti az egy holdra eső profitot. A profitra mért klimatikus hatások becslése a napi átlaghőmérséklet növekedésére alapozva bonyolult és nem hoz egyértelmű eredményeket.
Gadanakis-Areal, 2018	Egyesült Királyság	Egyéb	A gazdaságok által nem befolyásolható abiotikus tényezők figyelembevétele (pl. csapadékmennyiség, vegetációs időszak hossza) hat a technikai hatékonyság alakulására, ezáltal hozzájárul a gazdálkodók között felállított rangsor kialakításához.
Galanopoulos <i>et al.</i> , 2011	Görögország	Döntéshozatali egység	A hegyvidékeken működő, kedvezőtlen természeti adottságokkal rendelkező területek juh és kecsketartó gazdaságainak hatékonysága alacsony, 53 százalékos fejlesztési rés áll fenn. A vizsgált gazdaságok között csak két üzem bizonyult tökéletesen

			hatékonyak. A támogatások hatására csak a leggyengébben teljesítő ($TE < 0,3$) gazdaságok hatékonysága javult.
Galloway <i>et al.</i> , 2018	Afrika	Döntéshozatali egység	A tápanyag-felhasználás hatékonysága korrelál a teljes technikai hatékonysággal. Az éves összes csapadékmennyiség és a hatékonyság között nem létezik korreláció. Hatékonyságot növelő tényező az öntözött legelő-rendszerek százalékos arányának növekedése.
Giannakis-Bruggeman, 2018	EU	Egyéb	A mediterrán országok lényegesen alacsonyabb hozamokat produkálnak az északi országokhoz képest, amely a technikai hatékonyság romlását is előidéz. A déli országokban szintén magasabb a kedvezőtlen adottságú területek aránya.
Hoang-Coelli, 2011	Több ország	Döntéshozatali egység	A vizsgált években a legtöbb ország a környezeti problémák kezelését is beültette a politikai döntéshozatalba.
Khanjarpanah <i>et al.</i> , 2017	Irán	Döntéshozatali egység	Figyelembe véve a kritikus abiotikus tényezőket (pl. a talaj pH-értéke, éves csapadékmennyiség, éves átlagos napi középhőmérséklet) India Khouzestan és Fars régiói bizonyultak a leghatékonyabb kölestermesztő tartományoknak.
Kunimitsu <i>et al.</i> , 2016	Japán	Malmquist	A legtöbb vizsgált adminisztratív egységben a hőmérséklet emelkedése rontotta a TFP-t. Az árvizek konstans negatív értéket vesznek fel, amelynek hatására a jövőben várható extrém csapadékesemények rontják a rizshozamokat.
Lachaud <i>et al.</i> , 2017	Több ország	Cobb-Douglas	A hőmérséklet középértékének évközi variabilitása a maximum értékektől rontja a termelést. A csapadék évközi eltérése pozitívan hat az outputokra, ez az eredmény nem szignifikáns. A havi csapadékgyakoróság negatívan és szignifikánsan hat az outputokra.

Liang <i>et al.</i> , 2017	USA	Egyéb	A TFP-változásra az 1951-1980-as időszak klimatikus változásainak hatása nem szignifikáns, míg 1981-2010-re ez a hatás drasztikus mértékben megváltozik a növekedési fázisban. A nyári időszak hidegebb hőmérséklete pozitívan hat az USA mezőgazdasági központjában. Az optimális küszöb feletti hőmérséklet a legfontosabb gabonák hozamaira károsan hat. A hőstressz a kötött állattartásban tartott állatokra is negatívan hat, megnövelve a termelési költségeket és a tőkeáfordításokat, csökkentve a hús- és tejhozamokat, valamint az utódhozás mértékét.
Njuki <i>et al.</i> , 2019	USA	Translog	A hőmérséklet marginális növekedése és a csapadék változékonysága az outputok csökkenését idézik elő. A hőmérséklet varianciájának növekedése növeli az outputokat.
Piot-Lepetit- Moing, 2007	Franciaország	Malmquist	A sertéstartásban tapasztalt, 1997-ben bevezetett környezetvédelmi szabályozások rontották a termelési méretet és a hatékonyságot.
Poudel-Kotani, 2013	Nepál	Sztochasztikus termelési függvény	A középhőmérséklet 10 százalékos emelkedése a rizshozamokat -0,82 százalékkal alakítja át. A nyári középhőmérséklet és annak variabilitása negatívan, a tavaszi középhőmérséklet és annak variabilitása pozitívan hat a hozamokra. A magasabb területeken fekvő üzemek, szemben az alacsonyabban fekvőknél, a hőmérséklet növekedés hatására magasabb hozamokat produkálnak.
Power-Cacho, 2014	Ausztrália	Sztochasztikus termelési függvény	A jelenleg rendelkezésre álló vízmennyiséghez igazodva a gazdaságok mérete optimális. A vegetációs időszak termelését a

			csapadék időzítése és mennyisége, az átlag- és extrém hőmérséklet, illetve a sugárzás mennyisége veszélyezteti.
Reidsma <i>et al.</i> , 2009	Több ország	Translog	A hőmérséklet és csapadék hatása a mezőgazdasági termelésre regionális szinten eltérő, pl. Görögország és a Skandináv államok esetében pozitív, Franciaországban negatív. A csapadék a legtöbb országban pozitívan hat a termelésre, kivéve a BENELUX államok, a skandináv államok és az Egyesült királyság esetében. Ezek a hatások az idő előrehaladtával növekednek.
Solano <i>et al.</i> , 2006	Costa Rica	Sztochasztikus termelési függvény	A tejtermelők eltérő természeti környezeti feltételeik, pl. talajtermékenység, legelőminőség és a betegségek előfordulásának gyakorisága miatt a hatékonysági mutatók eltérők. A termelői profilok nem hatnak a hatékonyság alakulására.
Solís-Letson, 2013	USA	Translog	A klimatikus változók figyelembevétele befolyásolja a technikai hatékonyság eredményeit. A klimatikus változékonyság hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdészet. A csapadéknövekedés hatása pozitív a növénytermesztésben és az állattenyésztésben egyaránt.
To-The- Nguyen-Anh, 2020	Vietnám	Translog	Az egy év alatt lehulló csapadékmennyiség és a hőmérséklet negatívan hat a kukoricatermesztők technikai hatékonyságára.
Verburg <i>et al.</i> , 2000	Kína	Cobb-Douglas	A rizstermesztés esetében a hőmérséklet és a gépesítés között negatív, míg a hőmérséklet és a munkaerőintenzitás között pozitív korreláció áll fenn. A növekvő csapadék csökkenti, a magasabb csapadék növeli a hatékonyságot.

You <i>et al.</i> , 2009	Kína	Cobb-Douglas	A hőmérséklet növekedése Kína tartományaiban negatívan hatott a búzahozamokra. A vizsgált periódusban a vegetációs fázisban tapasztalt hőmérsékletemelkedés 5-18 °C között alakult, aminek hatására a hozamok csökkenése eléri az 5,6-20 százalékot.
-----------------------------	------	--------------	--

7. táblázat: Üzemi jellemzők, Forrás: Saját szerkesztés

Szerzők és megjelenés éve	Ország/régió	Termelési függvény	Legfontosabb megállapítások
Barnes, 2006	Egyesült Királyság	Döntéshozatali egység	Skócia nagyobb méretű állatállománnyal rendelkező üzemei magasabb hatékonysági szinten működnek kisebb méretű társaiknál. Azoknak az üzemeknek, amelyek a profitmaximalizáció és a beruházásnövelés mellett döntöttek, a technikai hatékonyságuk magasabb, mint azon gazdálkodók esetében, akik a nem-gazdasági érdekeket tartják szem előtt.
Bouttes <i>et al.</i> , 2018	Franciaország	Egyéb	A féltermészetes gyepen legeltetést végző állattartók gazdasági hatékonysága magasabb. Az organikus tejtermelők termelékenysége sérülékenyebb a klimatikus veszélyek hatására.
Capalbo <i>et al.</i> , 2004	USA	Farmszintű lehetőség-költség	A gazdálkodók ösztönzése a rövidtávú talaj szénmegtartó képességét elősegítő, ugyanakkor kevésbé jövedelmező gyakorlatok átállítására önfenntartó programmá válhat, mivel később hosszú távon élvezhetik a talaj-szénkészlet növekedésének pozitív hatásait.

Khanal <i>et al.</i> , 2018	Nepál	Cobb-Douglas	A klímaváltozás hatásainak leginkább kitett dombos területeken az üzemvezető értékesítési tapasztalata, a magasabb termelési érték előállítása és a diverz fajtaválaszték csökkentik a termésromlás kockázatát és javítják a hatékonyságot.
Li <i>et al.</i> , 2008	Kína	Cobb-Douglas	Az éghajlatváltozás hatásainak kitett félszáraz régiókban a kevésbé tanult lakosság és a nem megfelelő mezőgazdasági beruházások rontják a leginkább a mezőgazdasági üzemek termelékenységét.
Ma <i>et al.</i> , 2014	Kína	Translog	A vizsgált gazdaságok tápanyaggazdálkodásának hatékonysága negatív kapcsolatban van az üzemi hatékonysággal. A klimatikus kockázati attitűd hatására a gazdálkodók hatékonyabb tápanyagutánpótlást végeznek, szívesebben alkalmaznak új fajtákat és gazdálkodási eszközöket.
Makombe <i>et al.</i> , 2007	Etiópia	Translog	Az öntözést alkalmazó gazdálkodók tízszer hatékonyabbak a hagyományos eső-alapú öntözést végző gazdálkodóknál. A hagyományos gazdaságok alacsony hatékonysága azt mutatja, hogy a hatékonyság növelése nem a meglévő termelési rendszerekben, hanem új beruházások és beavatkozások bevezetésében rejlik.
Mayberry <i>et al.</i> , 2017	Etiópia, India	Cobb-Douglas	Az indiai hagyományos és öntözött gazdaságok hozamai nem mutatnak nagymértékű eltérést. A genetikai állomány és a tápanyagutánpótlás elegendő a hozamkiesés pótlására. A takarmány alapú gazdaságok esetében a beavatkozások sikeressége a klimatikus hatások miatt korlátozott.
Mohammadi <i>et al.</i> , 2015	Irán	Döntéshozatali egység	A rizstermesztés esetében a talajkezelésben alkalmazott kibocsátáscsökkentő eszközök rendelkeznek a legnagyobb potenciállal. A tavaszi termesztési rendszerek technikai

			hatékonysága magasabb, szemben a nyári időzítésű rendszerekkel szemben.
Mohan <i>et al.</i> , 2019	Több ország	Cobb-Douglas	A magasabb területeken működő gazdaságok magasabb hatékonysággal jellemezhetők. A természeti katasztrófák után adott közberuházások és külföldi tőke csak rövid távon javíthatják a termelés hatékonyságát. Az átlagos csapadék és hőmérséklet nem hat a hatékonyságra.
Pourzand-Bakhshoodeh, 2014	Irán	Cobb-Douglas, Translog	Azokban a régiókban, ahol a fenntarthatóság feltételei jobban teljesülnek, a technikai hatékonyság is magasabb értéket ér el, a nem fenntartható régiókkal szemben. Az inputfelhasználás hatékonyságának javítása, pl. a túlzott műtrágya-felhasználás elkerülése javíthatja a hatékonyságot.
Regan <i>et al.</i> , 2019	USA	Egyéb	Az adaptációs kapacitás előre jelzi a hozamokat. Azokban az országokban, ahol alacsony, a termés hozamok 47%-a elveszhet, míg ahol magas csak 13%-os csökkenés következhet be a többéves aszály hatására.
Yao-Li, 2010	Kína	Egyéb	A lejtős földátalakítási program indulásától a régió TFP mértéke csökkent, bár a csökkenést nem a program hatásai okozták, helyette hozzájárultak annak növekedéséhez. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a környezeti állapot javítása és a termelékenység növelése együtt is lehetséges.

Yaqubi <i>et al.</i> , 2016	Irán	Távolsági függvény	A vizsgált gazdaságok esetében szignifikáns és számottevő mértékű változékonyság figyelhető meg a technikai hatékonyságban. A költségek növekedése nélkül, a gazdálkodási gyakorlatok átalakításával van helye a hatékonyság javításának. Az alkalmazott rizsfajták megváltoztatása jelen helyzetben nem növeli a hatékonyságot.
--------------------------------	------	-----------------------	--

8. táblázat: Burkoltság elemzés eredményei, Forrás: saját szerkesztés

Vizsgált régió	Szerzők	Minta elemszám	Vizsgálati egység	Inputok	Outputok	Átlagos TH
Észak-Európa	Barnes, 2006	61	üzem	Állománypótlások, Legeltetési terület, Takarmány, Munkaerő, műtrágya, Gépköltségek	Tejhozam	0,840
	Gadanakis & Areal, 2018	245	üzem	Megművel terület, Munkaórák, Vetőmagköltség, Termesztési időszak, április-augusztus közötti csapadék	Bruttó hozzáadott érték	0,750
	Hoang-Coelli, 2011	30	ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség,	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723

				termőterület, tápanyagutánpótlás		
Dél- Európa	Galanopoulos <i>et al.</i> , 2011	320	üzem	Állatlétszámok, Legeltetési napok száma, Fejési napok száma, Szalastakarmány aránya	Bruttó hozzáadott érték támogatással és támogatás nélkül	0,495
	Hoang- Coelli, 2011	30	ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyagutánpótlás	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723
Nyugat- Európa	Dakpo- Lansink, 2019	170	üzem	Tőkeállomány, bruttó termelési érték, számosállat egység, működési költségek	Termőföld, munkaerő	0,860
	Hoang- Coelli, 2011	30	ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyagutánpótlás	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723
	Jan <i>et al.</i> , 2012	56	üzem	Nem-megújuló energiaforrás, eutrofizációs potenciál, vízi toxicitási potenciál,	Családi munkaerő jövedelme	0,350

				emberi toxicitási potenciál, földhasználat		
	Piot-Lepetit- Moing, 2007	320	üzem	Termőföld, munkaerő, gépek és berendezések értéke, épületek és területfejlesztések, folyó termelőfelhasználás és állományméret	Megtermelt húsmennyiség élő súlyban, ÜHG kibocsátás mennyisége	0,853
Nyugat- Ázsia	Hoang- Coelli, 2011	30	ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyagutánpótlás	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723
	Khanjarpanah <i>et al.</i> , 2017	28	tartomány	Termőföld érték	Éves csapadékmennyiség, vízi erőforrások, sivatagos és félsivatagos területek, megművelt terület, népesség, munkanélküliség, üzemanyag mennyiség	0,452

	Mohammadi <i>et al.</i> , 2015	82	üzem	Munkaerő, gépberendezés működési ideje, felhasznált üzemanyag, vízmennyiség, elektromos áram, kemikáliák, tápanyagok és vetőmag	Rizstermés	0,755
	Yaqubi <i>et al.</i> , 2016	376	üzem	Betakarított terület, munkaerő, gépek működési ideje, vetőmag, műtrágya és növényvédő szerek	Betakarított rizstermés, nettó felmelegedési index, nitrogén felesleg	0,917
Kelet- Ázsia	Hoang- Coelli, 2011	30	ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyagutánpótlás	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723
	Huang <i>et al.</i> , 2013	31	tartomány	Környezeti háttérállapot	Természeti katasztrófa miatti veszteség	0,838
Afrika	Galloway <i>et al.</i> , 2018	43	üzem	Takarmány, Állomány nagyság, Öntözött terület, Tápanyagutánpótlás	Energia korrigált tejtermelés	0,830

Kanada Kelet- Európa Észak- Amerika Dél- Amerika	Hoang- Coelli, 2011	30 ország	Munkaerő, Gépköltségek, vízfelhasználás, takarmánymennyiség, termőterület, tápanyagutánpótlás	Növénytermesztés és állattenyésztés értékesítési árbevétele	0,723
--	------------------------	-----------	--	--	-------

A burkoló görbe elemzés nemzetközi összehasonlítása

A 8. táblázat az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásait értékelő burkolófelület elemzést alkalmazó nemzetközi eredményeket mutatja be. A vizsgálat szempontjai: a vizsgált földrajzi régió, a szerzők megnevezése, a megjelenés éve, az alkalmazott minta elemszám, a vizsgálati egységek, a DEA használatos inputok és outputok, valamint az átlagos technikai hatékonysági mutató. A táblázat alapján a vizsgálatokban alkalmazott minta elemszáma 30-376 egység között mozog. A mintában a leggyakrabban output orientált DEA-t alkalmaztak, a kiválasztott outputok között pedig a hozam, a munkaerő jövedelem, a bruttó hozzáadott érték, a termőföld, a növénytermesztés és az állattenyésztés értékesítési árbevétele, valamint a negatív outputok (veszteség és ÜHG kibocsátás) szerepeltek. A vizsgálat helyszíne alapján elkülönített eredmények szerint a legmagasabb átlagos technikai hatékonysági mutatót a nyugat-európai és észak-európai régiók produkálták, ezzel bebizonyosodott az a feltevés, hogy azokban a régiókban, ahol magasabb az átlagjövedelem magasabb a technikai hatékonyság is.

Adatforrások

A gazdasági értékelések legnagyobb kihívása az vizsgált területen rendelkezésre álló adat minősége és hozzáférhetősége, ezért a vizsgálatba bevont közlemények adatforrásait a 9. táblázatban foglaltuk össze, annak érdekében, hogy javaslatot tegyünk a jövőbeni, új kutatási eredmények potenciális adatforrásainak kiválasztására. A táblázat beazonosítja a legfontosabb adatforrások típusait, a kutatók 29 esetben a nemzeti hivatalok és ügynökségek által gyűjtött adatokat alkalmazták, 23 esetben a szerzők primer adatgyűjtést végeztek, míg 18 alkalommal nemzetközi adatbázisokban

rendelkezésre álló adatot használtak. A közlemények 10 alkalommal szekunder adatokat alkalmaztak, korábbi kutatások alapján.

A leggyakrabban igénybe vett nemzeti hivatalok adatai főleg a statisztikai hivatalok adatközléseire támaszkodnak. A nemzetközi adatok az Európai Bizottság (Eurostat, FADN), az OECD, a World Bank, illetve az OPEC gyűjtéseiből származnak.

A különböző forrásból származó adatok rávilágítanak arra, hogy számos kihasználatlan adat áll rendelkezésre a téma kutatására. Ugyanakkor, jellemzően a fejlődő országokban (Pakisztán (Akhtar *et al.*, 2018), Ghána (Azumah *et al.*, 2019), Nigéria (Fatuase, 2017), Indonézia (Keil *et al.*, 2008), Nepál (Khanal *et al.*, 2018), Etiópia (Makombe *et al.*, 2007), Tanzánia (Mutabazi *et al.*, 2015) esetében a szerzők saját adatgyűjtést végeztek az adott régióban rendelkezésre álló adathiány kezelésére. Az adatok típusai alapján is elkülöníthető adatforrás-minták rajzolódnak ki. Míg a gazdasági adatok főleg nemzeti adatbázisokon és primer gyűjtéseken alapulnak, addig a vizsgált terület biofizikai jellegű adatai (meteorológiai és talajminőségi változók) szekunder adatok meglétét feltételezik.

A megfigyelt adatszerkezeti minták alapján javaslatot teszünk a termelési függvény alapján végzett jövőbeni kutatásokban felhasználható adatokra. A kutatók saját primer adatgyűjtésből származó eredményeiket kiegészíthetik a nemzetközi adatbázisokban jegyzett adatokkal, annak érdekében, hogy közös adatbázisokat hozzanak létre, ezzel segítve az egyébként sem túl gyakori nemzetközi összehasonlítások számának növekedését.

9. táblázat: Vizsgálatban résztvevő cikkek adatforrásai, Forrás: saját szerkesztés

Megjelenés gyakorisága	Adatforrás típusa	Konkrét források
29	Nemzeti hivatalok	African National Resource Inventory, Agri-Business Promotion and Statistics Division (ABPSD), Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Armenian National Rescue Service (ANRS), Armenian State Hydrometeorological and Monitoring Service (ASHMS), Australian Bureau of Meteorology (BOM), Bangladesh Agricultural Research Council (BRAC), Center for Economic Research of Uzbekistan, Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR), French National Institute of Agricultural Research (INRA), Government of Nepal, Institute for Natural Resources and Regional Planning, Institute of Geography and Statistics (IBGE), Istat, Japan Statistics Bureau of Ministry of Public Management, Forestry and Fishery (MAFF), Local Statistical Yearbook, Ministry of Agriculture, National Bureau of Statistics of China, National Statistical Service of Republic of Armenia (NSSRA), Nepal Ministry of Environment, State Statistics Yearbook (1979–2002) and China’s Rural Statistical Yearbook (1979–2002), Statistical Yearbook of Bangladesh, USDA National Agriculture Statistics Service
23	Szerzők primer adatgyűjtése	Szerzők által gyűjtött adatok különböző formákban
18	Nemzetközi adatbázisok	Eurostat, FADN, FAO Clim-net, FAOSTAT, OECD, Word Bank Development indicator database, Word Bank Knowledge Portal, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), World Penn

10	Egyéb kutatások szekunder forrásai	Agricultural Production System Simulator (APSIM), Household income and expenditure survey (HIES), Néesség - McEvedy and Jones (1978), Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN), Programme de Maîtrise de la Pollution d'Origine Agricole (PMPOA), Social Sciences Division of the International Rice Research Institute (IRRI), Spatial Climate Analysis Service at Oregon State University for the National Oceanic and Atmospheric Administration, Major Land Resource Area (MLRA), University of Wisconsin-Madison Center for Dairy Profitability (AgFA), Woodlands Dairy's Sustainability Project
----	------------------------------------	--

Hozzájárulás az irodalomhoz, korlátok és jövőbeni kutatási javaslatok

A fejezet végén összefoglaljuk az áttekintett irodalmak hozzájárulását és az elemzés korlátait és javaslatot teszünk néhány jövőbeni kutatási irányra. A szisztematikus irodalmi áttekintés legnagyobb előnye, hogy átfogó keresési stratégiát alkalmaz és a klímaváltozás számos hatását számszerűsíti. Emellett, a keresési stratégia kialakítása során, a releváns irodalmak beazonosítására a legismertebbeknek számító adatbázisokat vizsgálja. A keresési stratégiában megfogalmazott módszer új, az éghajlatváltozásból eredő hatásokra is felhívja a figyelmet, amely befolyásolhatja a mezőgazdasági szereplők technikai hatékonyságának változását, így hozzájárul a rendelkezésre álló tudásbázishoz. Az áttekintett cikkek alapján a mezőgazdasági folyamatokra az extrém klimatikus események közvetlen hatásai, a fejlődési fázisok átalakulása, a humán erőforrás klíma-percepciója és befolyása a gazdálkodásra, a környezeti és abiotikus feltételek megváltozása, valamint az üzemi jellemzők átalakulása hatnak a leginkább.

A téma relevanciáját a megjelent cikkek számának növekedése mutatja be. A vizsgált periódusban a közlemények 60 százalékát az utóbbi öt évben

közölték, a téma beágyazottságát növekvő trend jellemzi. A közlemények leggyakrabban környezeti témákkal foglalkozó folyóiratokban jelent meg. Az esetek több mint 40 százalékában a kutatók üzemi szintű paneladatokon keresztül vizsgálták a mezőgazdasági termelők szintjén bekövetkező változásokat.

Vizsgálat alapján a rendelkezésre álló irodalom földrajzi hatókörét is megismerhetjük. A leggyakrabban vizsgált területek az USA, Ázsia, Nyugat-Európa és Dél-Európa országaiból származnak, így a közép-kelet-európai régió alulkutatott marad. A téma további vizsgálatát indokolja, hogy a klíma-előrejelzések szerint a legnagyobb bizonytalanság ezekben a régiókban jellemző.

A növénytermesztésben bekövetkező hatások számszerűsítése a leggyakoribb, ezt a teljes mezőgazdaságot vizsgáló értékelések követik, a sort az állattenyésztési ágazat zárja. Ez nem meglepő, hiszen Solís-Letson (2013) szerint a klimatikus változékonyság hatására a növénytermesztés a leginkább érzékeny szektor, ezt követi az állattenyésztés és az erdészet.

A keresési stratégia eredményei alapján a burkolófelület módszert alkalmazó kutatások összehasonlítására is lehetőség nyílt. A vizsgálat helyszíne alapján elkülönített eredmények szerint a legmagasabb átlagos értéket a nyugat-európai és észak-európai régiók produkálták, ezzel bebizonyosodott az a feltevés, hogy azokban a régiókban, ahol magasabb az átlagjövedelem magasabb technikai hatékonyság érhető el.

Az áttekintés néhány korláttal is rendelkezik. Az első körben csak a cikkek címe, absztraktja és kulcsszavai kerültek szűrésre, ami azt jelenti, hogy néhány releváns irodalom kikerülhetett a fókuszból. A keresési stratégia a lektorált és az említett adatbázisokban megjelent cikkekre koncentrált, ezzel együtt kikerülhettek olyan releváns közlemények is, amelyek

műhelytanulmányokként, konferencia előadásként jelentek meg. A keresés során az angol nyelvű közleményeket vettük figyelembe, ezért ezzel párhuzamosan számos más nyelven íródott releváns irodalmat is kizártunk a keresésből.

A téma heterogén kutatási irányainak szűkítése miatt az éghajlatváltozás témakörén kívül eső, a termelési függvény módszerén kívüli, az energiahatékonyságot vizsgáló, az áttekintő (review), az üvegházhatású gázok kibocsátás és a hatékonyság közötti kapcsolat feltárását végző, valamint az előrejelzést alkalmazó témák sem képezik részét az áttekintésnek.

Az elemzés bemutatja az alkalmazott adatforrásokat is, amely alapján az adatok széles köre rendelkezésre áll, ugyanakkor megfigyelhető, hogy a fejlődő országokban a szerzők gyakran primer adatgyűjtést végeztek az adathiány kezelésére.

3. HAZAI KONTEXTUS

Az éghajlati tényezők a mezőgazdasági termelés változékonyságát jelentősen befolyásolják (Trnka *et al.* 2011). Világszinten, 2006 és 2015 között az átlagos felszíni levegőhőmérséklet 0,83-0,89 °C-kal növekedett, 2015 volt a valaha mért legmelegebb év, amikor +1 °C-os emelkedést mértek az iparosodás előtti időszakhoz képest. Az említett bázis-periódushoz képest, az Európai országok ennél jóval magasabb, 1,5 °C-os emelkedéssel számoltak. 2012 nyarán heves esőzések és árvizek voltak jellemzők Európa északi részén, míg szárazságok és erdőtüzek délen (Dong *et al.*, 2013; EEA, 2017). A környezeti változások között a növekvő átlaghőmérséklet és a szélsőséges csapadékképek, a legfontosabb mezőgazdasági outputokat befolyásoló tényezők (IPCC, 2014), így a mára már a gyakran észlelt hőhullámok, száraz időszakok és a szélsőséges meteorológiai események a fontosabb termesztett növényfajok esetében hozzájárultak a csökkenő hozamokhoz (EEA, 2017).

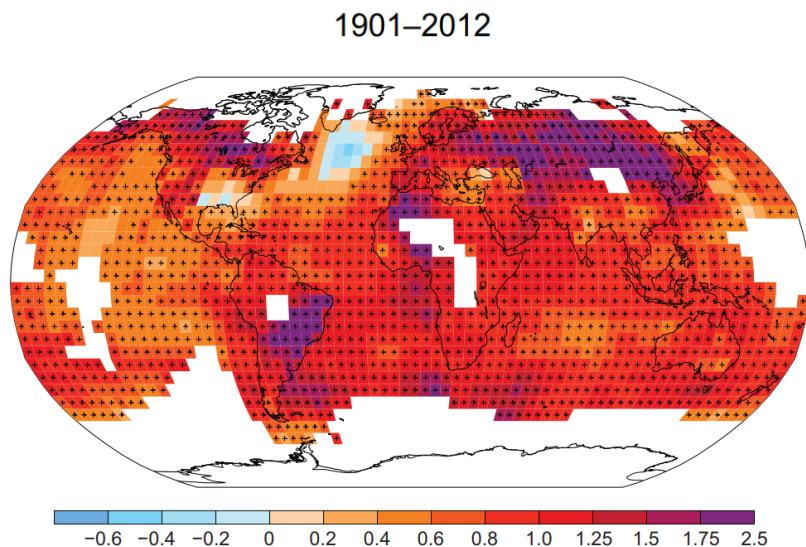
3.1. A KLÍMAVÁLTOZÁS TAPASZTALATAI

3.1.1. Globális meteorológiai tapasztalatok

Az atmoszféra, az óceán, a krizoszféra és a talajfelszín folyamatainak hosszútávú változékonysága együttesen befolyásolják a globális felmelegedést.

Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete az Ötödik Értékelő Jelentésben (2014) az 1880-2012-es évek közötti globális átlagos hőmérséklet 0,85 °C-os növekedéséről számol be. A hőmérséklet emelkedése az ezredforduló után felgyorsult, 2003-2012 tízéves átlaga 0,78 °C-kal növekedett az 1950-1900-as periódus átlagához képest. A növekedés nem

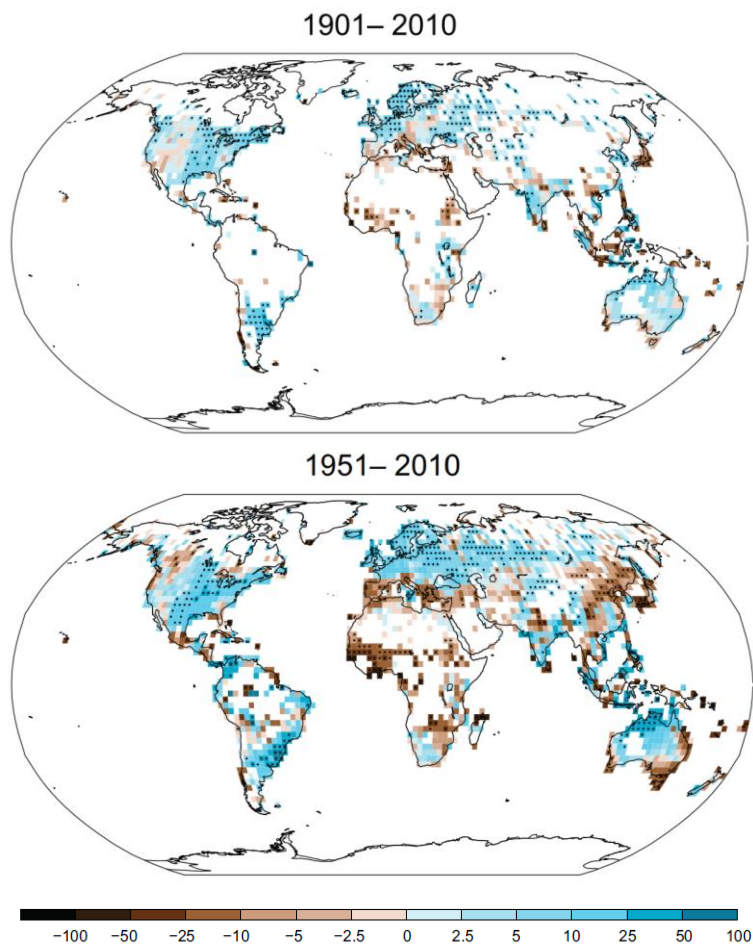
lineáris, a 6. ábra alapján megfigyelhető a régiók közötti átlagok széles variabilitása (IPCC, 2014).



6. ábra: A felszíni levegőhőmérséklet megfigyelt változásai 1901-2012 között (°C), IPCC, 2014 alapján.

Az 1901-től 2010-ig terjedő éves csapadékösszegekben megfigyelt változások regionális eltéréseket mutatnak (7. ábra alapján), a legnagyobb változások az Északi féltekén (Európában és Ázsiában) és Ausztráliában következtek be, ezeken a területeken főleg a csapadék mennyisége növekedett. 1951-től az éves változások még szélsőségesebbé váltak, Európában, Ázsiában, Ausztráliában és Észak-Amerikában növekvő csapadékösszegek jelentek meg, míg Európa déli részén és Afrikában egyre többször tapasztaltak csökkenő évenkénti átlagos csapadékösszeget. 1950 óta a szélsőséges időjárási és éghajlati események száma nagymértékben növekedett. Globális szinten a fagyos napok és éjszakák száma csökkent és a hőségnapok és éjszakák száma növekedett. A hóhullámok Európa, Ázsia és Ausztrália

legnagyobb részén megfigyelhetők. A szélsőséges csapadék-események száma szintén növekedett a vizsgált időszakban, főleg annak gyakoriságában és intenzitásában tapasztalható változás Észak-Amerikában és Európában jelentek meg a legnagyobb területen.



7. ábra: Az éves csapadékmennyiség éves középértékeinek megfigyelt változásai 1901-2010 és 1951-2010 között (mm év^{-1}), IPCC 2014 alapján.

Az óceánok hőmérséklete szintén megváltozott. Globális szinten az óceánok felső 75 méteres rétege $0,11\text{ °C}$ -kal növekedett minden évtizedben 1971-2010 között.

A krizoszféra sérülése a Grönland és Antarktisz területén fellelhető jégtakaró olvadását jelenti. 1971-2009 között átlagosan 226 gigatonna jég olvadt el évenként, míg az 1993-2009 közötti rövidebb periódus átlagos jégvesztése újabb 275 gigatonna évente.

A jégtakaró olvadása a tengerszint növekedéséhez vezetett. A globális átlagos tengerszint emelkedése 1901 és 2010 között évente 1,7 mm volt. A növekedés a század végére (1993-2010) felgyorsult és elérte a 3,2 mm-es évenkénti növekményt.

A szén-dioxid, a metán és a nitrogén-oxid légköri koncentrációja soha nem látott módon növekedett. Az iparosodás előtti időszakhoz képest a szén-dioxid mennyisége 40 százalékkal növekedett, a növekedés antropogén eredetű, főleg a fosszilis energiahordozók felhasználása okozta (2002-2011 között 8,3 gigatonna C évente), de a földhasználat változás is nagyban hozzájárult a kibocsátás növekedéséhez (2002-2011 között 0,9 gigatonna C évente). A légköri szén-dioxid koncentráció növekedése kiülepedést és az óceánok savanyodását idézte elő.

3.1.2. A hazai meteorológia tapasztalatok

Az utóbbi években tapasztalt éghajlatváltozási anomáliák Magyarországon is megjelentek, amelyek a hazai növénytermesztést és állattenyésztést nagymértékben befolyásolták. A klímaváltozással kapcsolatos tapasztalatok alapján a legnagyobb bizonytalanság a Kárpát-medencében valószínűsíthető (Szépszó-Horányi 2009; Olesen *et al.* 2010; Mezösi 2017). Magyarország klímája mérsékelt, gyakori esőzésekkel, hideg havas téllal és meleg nyárral. A régió átmeneti zónát képez az északra fekvő nedves-kontinentális és a keleti nedves-szubtrópusi zónák között (Sippel-Otto 2014). Egyedi klimatikus

viszonyai miatt, a klímaváltozás elsősorban a csapadékképek átalakulását, szárazodást és extrém hőmérsékleti értékeket hozta magával.

Az OMSZ (2018) szerint Magyarország átlagos felszíni hőmérséklete 2016-ra 1,5 °C-kal emelkedett 1901-hez viszonyítva, a legnagyobb felmelegedést a nyári (1,2 °C) és a téli (0,97 °C) évszakokban tapasztalhattuk. Az 1981-2016 közötti szűkebb periódus vizsgálata alapján a középhőmérséklet területi változékonysága is megjelenik, az Észak-alföldi régió átlaghőmérsékletének növekedése helyenként meghaladta az 1,8 °C-os határt. Ekkor a nyári felmelegedés mértéke 2 °C, a télié pedig 1,9 °C.

A szélsőséges hőmérsékletű napok száma sokkal gyorsabb ütemben növekszik, mint az évi átlaghőmérséklet, a hóhullámok intenzitása, hossza és gyakorisága is megnövekedett (Sippel-Otto, 2014). Az OMSZ arra figyelmeztet, hogy az klimatikus tényezők megváltozása miatt, a hóhullámos napok számának emelkedése (1971 és 2000 közötti periódusban 21 napra növekedett) és a fagyos napok számának csökkenése (1900 és 2000 között 20 százalékkal csökkent), mint közvetlen tényezők egyaránt hatással vannak az intenzív és a hagyományos növénytermesztésre.

Magyarországon számottevő mértékben megfigyelhető a csapadékképek térbeli és időbeli változékonysága. Az utóbbi évszázadban az országos éves csapadékösszeg az ország átlagában 4,6 százalékkal csökkent, a legnagyobb csökkenés tavasszal következett be, ahol a 1901-hez viszonyítva elérte a 17,2 százalékot.

A csapadék térben és időben nagyon változékony (Moberg-Jones, 2005, Sippel-Otto, 2014), Magyarországon a négy évszak összehasonlításában az 1981-2016 közötti években a legnagyobb csapadékcsökkenés tavasszal következett be, ezzel szemben a nyári és téli csapadék növekedése is számottevő.

Az 1981-2016-os periódusban a 20 mm-t meghaladó csapadékos napok növekedést mutatnak, a száraz időszakok hossza (vagyis a leghosszabb időszak, amikor a napi csapadék nem éri el az 1 mm-t) pedig jelentősen megnövekedett a 20. század eleje óta. A nyári napi intenzitás országos átlagban délnyugati-dunántúli és az északkeleti országrészben csökkent, míg az Északi-középhegység magasabban fekvő területein, valamint az Észak-Dunántúlon növekedés tapasztalható. A hosszan tartó vagy hirtelen lehulló nagy csapadékok hatására az utóbbi években több árvíz is levonult a Dunán (2002, 2006, 2010) és a Tiszán (1998, 1999, 2000, 2010) komoly belvízkárokat okozva (Bartholy *et al.* 2011; Dong *et al.* 2013).

Mezősi *et al.* (2013) alapján hazánkban négy klíma régió különíthető el:

1. Nyugati dombvidékes terület, amelyet viszonylag alacsony hőmérséklet, viszonylag kis hőmérséklet-emelkedés, a szélsőséges hőmérsékleti események kis változása, a párás körülmények nagyobb csapadékmennyiséggel, és a heves esőzések viszonylag csekély megjelenésével jellemezhetünk.
2. Magyarország északi részétől délre tartó Közép-nyugati folyosó, amelyet mérsékelt hőmérséklet emelkedés, eltérő irányú változások a szélsőséges hőmérsékleti események bekövetkezésében, mérsékelt csapadék összegek és növekvő szélsőséges csapadék események jellemeznek.
3. Közép-Magyarországi sík régió, amelyet a legmagasabb hőmérsékletek és az extrém meteorológiai események szignifikáns (a hőségnapok növekedése és a fagyos napok csökkenése) változása, a legalacsonyabb éves csapadékösszegek, a heves esőzések növekedése és a szárazságok hosszabbodása jellemez.
4. Észak-keleti régió, amelyet a legalacsonyabb éves átlaghőmérséklet, a legnagyobb régióon belüli hőmérséklet ingadozás, mérsékelt csapadékösszegek

jellemeznek. A sajátosságok miatt ebben a régióban tapasztalható a legmagasabb nedvesség.

3.1.3. A klímaváltozás hatása a mezőgazdaságra

A fenofázisok eltolódása befolyásolja a növények fejlődési ütemét (Anda-Lőke, 2010; Soltész *et al.*, 2011; Terbe, 2015). Ez kedvező lehet a melegigényes fajok esetében (Gaál, 2008), ahol a növényi sztómaaktivitás eltolódása, a növények transpirációs együtthatóját javítja (Anda *et al.*, 2003). Ugyanakkor, a fenológiai szakaszok szerkezeti átalakulására egyes növényfajok érzékenysége magasabb (Anda *et al.* 2010). A klimatikus tényezők megváltozása, valamint a gyümölcstermő növények virágzásának kezdeti időpontja között szignifikáns és pozitív kapcsolat mutatható ki (Lakatos *et al.* 2010), ahol az átlaghoz számított 5-6 °C-os hőmérsékletemelkedés esetében korábbi virágzási időponttal számolhatunk már a 95-105. napon. Ha a különbség 3-4 °C közötti, a virágzás kezdete a 110-120. napokra tolódik. Az évjárat higrikus jellege szintén változásokat idéz elő a virágzáskezdet alakulásában, a vízhiány és a többlet egyaránt lassítja a virágzáskezdet bekövetkezésének időpontját (Lakatos *et al.*, 2011). A búza és a kukorica fenofázisának alakulását szimuláló 4M modellvizsgálatban, a megfigyelt 31 éves periódus (1960-1990) tényadatai alapján a vegetációs időszak jelentős változása következett be, amely átlagosan 8 nappal rövidült és az aratás időpontja korábban következett be (Erdélyi *et al.*, 2007).

A biotermesztésű almaültetvényekben végzett vizsgálat alapján a 2008-2010-es időszak csapadékos időjárása rontotta a talaj tápanyag-szolgáltató képességét és a mobilis tápelemek kimosódását eredményezte (Nagy *et al.*, 2011). Megfigyelések alapján, az almafajták termőrészeinek érzékenysége a dárdák károsodásából adódik a legnagyobb mértékben, míg a nyársak és a

hosszú vesszők rügyei kisebb mértékben érzékenyek a fagykárosodásra (Dremák, 2011).

A hőmérsékleti átlagok megváltozása mellett, az extrém események megjelenése is ronthatja a hozamok mennyiségét. A virágzáskor bekövetkező fagypont alatti hőmérsékletek okozta fagykár, az adott évjárat termésmennyiségét akár 100 százalékban károsíthatja, ugyanakkor a fagyhatás eltolhatja a vegetatív-generatív egyensúlyt is, ennek következtében a következő évi fejlődési ciklus hozama is érintett. Nagy *et al.* (2009) tapasztalatai alapján a 2007. május eleji, virágzáskori 100 százalékos fagykárosodást szenvedett almafák esetében a levelekben mérhető N-tartalom csökkenése és a P-K arány növekedése figyelhető meg (Nagy *et al.*, 2009). A 4M modellvizsgálatok a fenofázis becslése mellett, a hozamok becslését is képes szimulálni a jövőre nézve. A szimulációk alapján 2050-ig, a tényadatok és a klíma-szenárió figyelembevételével eltérő eredmények születtek: az ALADIN modell időjárási szenáriója esetén a 2020–2050 közötti időszak átlagában a búzahozamok 5,5 tonnára emelkedtek, míg a kukorica hozamok 3,2 tonnára estek. A RACMO modell esetében a búzahozamok 2,8 tonnára csökkentek, míg a kukorica hozamok 4 tonnára. A REMO modell esetében a búzahozamok 3,2 tonnára estek, míg a kukorica hozamok 6,6 tonnára emelkedtek. Mindhárom időjárási modell esetében eltérő hozameredmények jelentkeztek, vagyis a különböző időjárási feltételek alapvetően meghatározzák a várható hozamokat, a búza és a kukorica esetében a jövőben jelentős hozameltérések adódhatnak attól függően, hogy az időjárási modellek melyik verziója következik be (Fogarasi *et al.* 2016; Kemény *et al.*, 2019). Hosszú idősoros vizsgálatok alapján, a fő gabonacsoportok a változó klíma mellett eltérő hozamokat produkálnak. A Magyarország területére leképezett többváltozós lineáris regresszió eredményei alapján, az aktuális

csapadékellátottság dönti el a termésingadozások nagyságát, tehát a kukorica hozamok függősége a talaj tápanyagszolgáltató-képességétől nagyobb, mint a harmincéves éghajlati trend változásától (Makó *et al.*, 2009). A sugárzásmérések adta eredmények alapján a termés fiziológiai és minőségi károsodása (pl. napégés, húskeménység megváltozása, cukortartalom, cukor/sav arány alakulása, vitamintartalom csökkenése) az almaültetvényekben, a megnövekedett globálsugárzás, a mikroklíma és a felszíni levegőhőmérséklet változásának eredménye (Lakatos *et al.*, 2009). A minőségi defektusok legjellemzőbb megjelenési formája a napégés, mely kezdeti fázisban enyhe párásodást, elszíneződést és bőrszöveti sérülést eredményez (Racsó *et al.* 2008). A nemzetközi- és a hazai kutatások összehasonlítása alapján a napégés okozta károk előbbi esetben jóval magasabb költséget jelentenek, míg Magyarországon a károsodott gyümölcsök aránya 5 százalék alatti (Racsó *et al.* 2008).

A kutató közösség térben és időben vizsgálta az éghajlatváltozás gazdasági hatásait. A legtöbb kutatás a klímaváltozást a hozamokat leginkább negatívan befolyásoló tényezőnek tekinti (Reidsma *et al.*, 2009; Pinke *et al.*, 2017). Szépszó (2009) azt a megállapítást teszi, hogy a Kárpát-medencében mérhető a legnagyobb bizonytalanság, amely részben megfelel Trnka *et al.* (2011) következtetéseihez, akik szerint a tényadatok alapján az elkövetkező években Nyugat- és Közép-Európa kitétsége növekedni fog. Ennek megfelelően vélekedik Olesen-Bindi (2002) is, aki a régióban bekövetkező éghajlati változékonyság miatt bekövetkező csökkenő hozamokról számol be. Chavas *et al.* (2009) a termelékenységben bekövetkező negatív hatásokért a klimatikus viszonyok szignifikánsabb mértékben felelősek, mint a talajadottságok a termesztett főnövények esetében. Solis-Letson (2012) azonban felhívja a figyelmet, hogy a szezonális csapadék- és hőmérséklet

előrejelzések a mezőgazdaságban pozitívan hatnak a gazdasági teljesítményére, csakhogy, az időjárás-előrejelzés során alkalmazott indexek eltérő irányai miatt a technikai hatékonyság adta eredmények torzulhatnak. A klimatikus tényezők közül Hatfield-Prueger (2015) a növekvő hőmérséklet hatásait emelte ki, amely negatív hatásai szignifikánsabbak a változó csapadékképeknél, főleg a reprodukciós fenológiai fázisban. Ezt Vanschoenwinkel *et al.* (2016) kiegészíti azzal, hogy ezek a válaszok miképpen alakulnak át, ha az adott régiók alkalmazkodóképessége eltérő. Ezek alapján szignifikánsan eltérnek a klímaváltozásra adott válaszok, ezért a különböző régiók az eltérő klimatikus előrejelzések miatt eltérő alkalmazkodási stratégiát kell alkalmazzanak. Pinke és Lövei (2017) megállapítják, hogy a hőmérséklet 1 °C-os növekedése a gabonahozamokat 9,6-14,8 százalékkal csökkentette.

Bár, a klímaváltozás hatásait több kutatás is tárgyalta, a tudományos eredmények alapján a mezőgazdaságban tapasztalható hatások igen heterogén irányokat vehetnek fel, az üzemi hatékonysági jellemzői alapján a növénytermesztés (lásd Olesen-Bindi, 2002; Chavas *et al.*, 2009; Trnka *et al.*, 2011; Solis-Letson 2012; Trapp, 2014; Hatfield-Prueger, 2015; Vanschoenwinkel *et al.*, 2016) és állattenyésztés (lásd Key-Sneeringer, 2014; Mukherjee *et al.*, 2013; Qi *et al.*, 2015) esetében. Mára a legtöbb elemzés arra a következtetésre jutott, hogy ezek a hatások az outputok és árak esetében nagyban eltérhetnek egymástól (lásd Nelson *et al.*, 2014; Valin *et al.*, 2013; Vanschoenwinkel *et al.*, 2016). Az érintett tényezők között a fenológiai fázisok változása adja a legérzékenyebb válaszokat a klímaváltozásra (Menzel *et al.*, 2006; Szépszó-Horányi, 2009; Guo *et al.*, 2014; Hatfield-Prueger, 2015).

3.2.A KLÍMA VÁRHATÓ ALAKULÁSA

3.2.1. A jövőben várható globális meteorológiai előrejelzések

Az éghajlatváltozás előrejelzését az üvegházhatású gázok kibocsátása (ÜHG) és a légköri szennyezőanyagok alapján szokás előre jelezni, ezek légköri koncentrációját a reprezentatív koncentrációs nyomvonalak (Representative Concentration Pathways, RCP) írják le. A kibocsátások leginkább antropogén eredetűek, a mezőgazdaságon belül a haszonállatok túlzott nyersfehérje etetése, a trágyatárolók fedésének hiánya, a trágya talajba történő bedolgozásának hiánya és a talajkezelés felelnek leginkább a kibocsátások növekedéséért. A nyomvonalak kialakítása a várható politikai intézkedésekkel van összhangban, pl. szigorú kibocsátáscsökkentési scenáriót az RCP2.6, köztes csökkentést az RCP4.5 és az RCP6.0, illetve nagyon magas kibocsátást és az intézkedések hiányát az RCP8.5 forgatókönyvek írják le.

Az ötödik értékelő jelentésében (2014) előre vetített nyomvonalak alapján a globális felszíni hőmérséklet a század végére elérheti a 1-3,7 °C-ot. A magas hőmérséklet hatására a jégtakaró tovább olvad, a pesszimista forgatókönyv szerint a tengerszint emelkedése 8-15 mm közötti lehet. A csapadék eloszlása nem lesz egyenletes, a magasabb területeken az éves csapadékátlag növekedhet, az alacsonyabban fekvő területeken csökkenhet. Az extrém csapadékkal összefüggő események száma az alacsonyabban fekvő trópusi területeken növekszik a leginkább.

3.2.2. A jövőben várható hazai meteorológiai előrejelzések

A klíma előrejelzések alapján Magyarországon 2021-2040 között a hőmérséklet évente 0,8-1,8 °C-kal emelkedhet az 1961-1990 közötti bázisperiódus átlagához képest. Az alföldi régió felmelegedése sokkal gyorsabb a dunántúli régióéhoz képest. Az előrejelzések szerint a nyári

időszakban sokkal magasabb növekedésre számíthatunk, mint tavasszal, 2021-2050-re az éves átlagos felmelegedés mértéke mindenütt meghaladja az 1, 2071-2100-ra pedig a 3 °C-ot (Bartholy *et al.*, 2011). 2040-re a fagyos napok száma várhatóan 12-15 nappal csökken az 1961-1990-es periódus átlagához viszonyítva, a század végére a csökkenés pedig akár a 30 napot is elérheti (Mezősi *et al.*, 2013). Párhuzamosan, a forró napok száma növekedni fog, a várható változás mértéke a meleg szélsőségek (nyári, hőség-, forró és hőségriadós napok) esetében a közeljövőre átlagosan 12 nap, a távolabbi jövőre 37 nap, a növekedés az északi országrészen lesz jelentősebb (Bartholy *et al.*, 2011).

A csapadék éves mennyisége várhatóan nem fog jelentősen módosulni, az évszakos eloszlásban azonban átrendeződésre számíthatunk, pl. egyértelműen csökken nyáron és ősszel. A téli és a tavaszi csapadékváltozások iránya nagyon bizonytalan (Bartholy *et al.*, 2007; Bartholy *et al.*, 2009; Bartholy *et al.*, 2011; Bartholy *et al.*, 2017). Spinoni (2015) szerint a szárazságok gyakorisága, időtartama és intenzitása a Kárpát-medencében magasabb lesz. Az ország Dél-keleti része extrém szárazsággal szembesülhet (Mezősi *et al.*, 2013; OECD, 2013). Ezzel szemben az extrém csapadék-események száma növekedni fog,

3.2.3. A klímaváltozás előre jelzett hatásai a mezőgazdaságban

A nyári magas hőmérséklet és a szárazság várhatóan a gabona termésnövekedését vonja magával (Jones *et al.*, 2003; IPCC, 2014), a hőségnapok és a hőhullámok várhatóan növelik a növénytermesztési ágazat kockázatát.

A kutatások egyetértenek abban, hogy a klímaövek eltolódására számíthatunk, ami a különböző növénytakaságok elterjedési helyének megváltozását

eredményezheti, a legfontosabb hazai gabonák (Prentice *et al.*, 1992; Horváth, 2008) és a kukorica (Olesen és Bindi, 2004; Olesen *et al.*, 2007) termesztetőségének határai északabbra mozdulnak, így Észak-Európában nagyobb terméshozamokat produkálhatnak. Az eltolódás mértéke az optimistább becslések szerint 100-150 km, a pesszimistábbak szerint akár 1000 km is lehet. A növénytermesztés Európa déli részén, a hőmérsékleti anomáliák legnagyobb elszenvedője (Audsley *et al.*, 2006).

Várhatóan megváltozik a növények fenológiai szakaszainak hossza és bekövetkezésének ideje, valamint a vetési és betakarítási időszakok is eltolódnak, akár 10-20 nappal (Nabuurs *et al.*, 2003; Menzel *et al.*, 2006; Alcamo *et al.*, 2007; Tnka *et al.*, 2011).

A csapadékhiányos száraz időszakok gyakorisága és súlyossága Európa déli részén hozhatja a legsúlyosabb hatásokat (EEA, 2017). Modellbecslések szerint a 21. század végére a Mediterrán országokban bekövetkező szárazságok mértéke 10-60 százalékkal növekedhet. A jövőben várható extrém meteorológiai események miatt megváltozhatnak a földhasználati szokások. A klímaváltozás hatására megnövekedhet az invazív fajok és a kártévők száma, amely egyúttal rontja a termesztett növények mennyiségi és minőségi jellemzőit (Bellard *et al.*, 2013; EU, 2014).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Felhasznált adatok

Az agrárvállalkozások pénzügyi helyzetének adatait a Mezőgazdasági Számviteli Információs Hálózat (FADN – Farm Accountancy Data Network) Magyarországi alrendszere a Tesztüzemi Információs Hálózat (ismertebb nevén tesztüzemi rendszer) szolgáltatja. A felmérés az üzemek eredményszemléletű könyvvitele alapján történik, reprezentatív módon (Keszthelyi-Molnár, 2015). A magyar tesztüzemi rendszer az üzemszintű adatokon kívül a fontosabb növénytermesztő, állattenyésztő és kertészeti ágazatok adatait is tartalmazza. Az értekezéshez a Tesztüzemi Információs Rendszer 2002-2013 közötti paneladatait használtuk (NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Keszthelyi-Kis-Csatári, 2019). Az magyar gazdálkodók technikai hatékonyságát a következő változók alapján határoztuk meg.

Input változók:

- mezőgazdasági terület (ha)
- a munkaerő (éves munkaerőegység, ÉME)
- tőke (ezer forintban, deflált)
- anyagfelhasználás (ezer forintban, deflált)

Output változó:

- Bruttó termelési érték (ezer forintban, deflált)

Az ökonometriai elemzéshez további adatokat használtunk fel: a hatékonyságelemzés eredményei az elemzés függő változóit képezték, míg a független változók a magyarországi meteorológiai és talaj-adatai adták.

A talajadatok az European Soil Database (ESDP) EUSOILS adatbázisból származnak, amelyet az EU Közös Kutatóközpontja (JRC European Soil Data

Center) kezel. A talaj minőségi jellemzőit a talajok mezőgazdasági hasznosítása, a talajok vízgazdálkodási képessége és szervesanyag-tartalma írja le. A felhasznált változók következők:

- agricul (dummy változó, ahol 1 a talaj domináns mezőgazdasági felhasználását, a 0 nem mezőgazdasági felhasználást jelöl)
- hwc_sub (az altalaj víztartó képessége, dummy változó, ahol 1 a 140 mm/m feletti jó, míg 0 a 140 mm/m alatti gyenge víztartó kapacitást jelöl)
- hwc_top (a feltalaj víztartó képessége, dummy változó, ahol 1 a 140 mm/m feletti jó, míg 0 a 140 mm/m alatti gyenge víztartó kapacitást jelöl)
- loc (dummy változó, 1= a talaj alacsony szervesanyag tartalma 2 százalék alatti, 0 egyébként).

Az EUSOILS adatbázis térképezési egységét az SMU (Soil Mapping Units) értékek adták, amelyben a fellelhető talajtípusok domináns STU (Soil Typological Units) értékeit vettük figyelembe. A talaj szervesanyag körforgalma azon többszintű, egy időben lejátszódó átalakulási folyamatok eredménye, amely során a növényi nitrogén-felvétel és a talaj vízkészletének összetétele kölcsönhatásba kerülnek. Az elemzésben a talaj szervesanyag tartalmát állandónak tekintjük. Ennek oka, kettős: (1) nem áll rendelkezésre megfelelő felbontású és minőségű adat, amely üzemi szinten a talaj szervesanyag tartalmát reprezentálná, valamint (2) nem létezik olyan naprakész módszertan és előállított adat (legalább éves mérés eredményeként), amely által a talaj szervesanyag tartalmának összehasonlítása megvalósítható.

A szakirodalom a magyarázó változók esetében gyakran használja az EUSOILS adatokat. Audsley *et al.* (2014) 47 talajtípust határozott meg az

EUSOILS talajtípusainak rácspontjait felhasználva, amely a víztartó képességet, a hervadási pontot, a talaj szerkezetét és a talajban lévő durva szemcsék jelenlétét vette figyelembe. Moriondo *et al.* (2009) a JRC EUSOILS adatbázis felhasználásával rácspontok mentén a talaj vízháztartását, valamint a termőtalaj vastagságát és a szerkezetét határozta meg, ahol minden SMU (soil mapping unit) 50x50 km-es rácspont esetében a benne lévő legnagyobb mennyiségben jelen lévő talajtípust vette alapul. 2015-ben Fezzi és Bateman (2015) az ESDB adatbázisban fellelhető környezeti és egyéb magyarázó változókat alkalmazta úgy, mint a finomszemcsék aránya a talajban, talajképző kőzet mélysége és a talajfelszín dőlésszöge. Janssen *et al.* (2008) szintén EUSOILS adatokat alkalmazott az integrált környezeti elemzésében, amely célja meghatározni az FADN mintában szereplő reprezentatív FarmType változatokat. A FarmType változatok a gazdaság mérete, intenzitása és specializációja alapján határozható meg (a teljes hektáronkénti kibocsátás kisebb mint 500 EUR – alacsony intenzitású gazdaságok; 500-3000 EUR között - közepes intenzitású gazdaságok és 3000 EUR felett magas intenzitású gazdaságok).

A meteorológiai adatok az EU Közös Kutatóközpontjának terméshozam előre jelző adatbázisból származnak (JRC MARS-AGRI4CAST Crop Yield Forecast System), amelyben a meglévő hőmérséklet és csapadék értékek interpolált, 25 km-es rácspontok napi eredményeit reprezentálják. A felhasznált változók a következők:

- T – napi átlaghőmérséklet °C
- P – napi csapadékösszeg mm/nap

Az elemzésben meghatároztunk három, mezőgazdasági és növénytermesztési szempontból elkülöníthető idő-intervallumot (Trapp, 2014 alapján), amely a fenofázisok szempontjából leginkább meghatározó a Kárpát-medence

szabadföldi növénytermesztésére. Így a vizsgált években mért áprilisi meteorológiai eredmények a *vetésidőt* (Tseeding, Pseeding), a májusi és június összegek a *vegetatív* fázist (Tvegetative, Pvegetative), míg július és augusztus hónapok adatai, a *generatív* fázist (Tgenerative, Pgenerative) határolták le (Trapp, 2014).

A hőmérsékleti és csapadék-adatok 25x25 km-es hagyományos rácspont-formátumban hozzáférhetők. A megfigyelt 118 rácspont alapján a meteorológiai adatok átlagait jellemzőnek feltételeztük (lásd: Trapp, 2014, NUTS-3 régiókra vonatkozó kutatását az EU28-ra). A rácspont-adatok település szintű értékelése lehetőséget adott a teszttüzemekhez való legközelebbi adatok leképezésére.

A leíró statisztikát a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat: A felhasznált változók leíró statisztikája, 2002-2013, Forrás: saját számítások

Változók	Egység	Átlag	Szórás	Min	Max
Összes output	1000 HUF	39 049,720	97 122,580	90,420	2 034 271,000
Mezőgazdasági terület	ha	236,650	433,951	1,230	5 506,690
Munkaerő	AWU	3,971	9,169	0,008	215,673
Tőke	1000 HUF	51 671,090	86 240,210	2,743	1 929 056,000
Anyagfelhaszn.	1000 HUF	30 111,060	76 552,920	267,507	1 781 878,000
T_{seeding}	°C	12,034	1,112	8,610	15,965
T_{generative}	°C	18,518	1,242	14,888	22,306
T_{vegetative}	°C	21,898	0,982	18,642	24,609
P_{seeding}	mm	37,733	25,927	0,000	135,600
P_{generative}	mm	133,026	62,168	7,300	441,600
P_{vegetative}	mm	126,826	65,490	18,500	348,200
AGRICUL	a gazdaságok %-a	0,973	0,161	0,000	1,000
HWC_SUB	a gazdaságok %-a	0,551	0,497	0,000	1,000
HWC_TOP	a gazdaságok %-a	0,953	0,213	0,000	1,000
LOC	a gazdaságok %-a	0,517	0,500	0,000	1,000

4.2. Alkalmazott módszerek

Az elemzésben a magyarországi növénytermesztők technikai hatékonyságát számítottuk ki, majd regresszióelemzéssel vizsgáltuk, hogy az így kapott eredmények, valamint a meteorológiai és a talajtani adatok között milyen kapcsolat áll fent.

Az Európai Bizottság a termelékenység és hatékonyság mutatóit a versenyképesség mérőszámának tekinti. A termelékenység javításának három forrása lehet: hatékonyságnövelés, méretgazdaságosság növelése és technológiai fejlesztés. A hatékonyság a vállalatok azon képessége, hogy mennyire képesek legjobban kihasználni a rendelkezésükre álló forrásokat és technológiákat. A hatékonyság egy olyan mérőszám, amely összekapcsolja az összesített outputokat az összesített inputokkal, a számítást egy dinamikus keretben alkalmazzuk, ahol a változás, azaz a hatékonyság javulását vizsgáljuk.

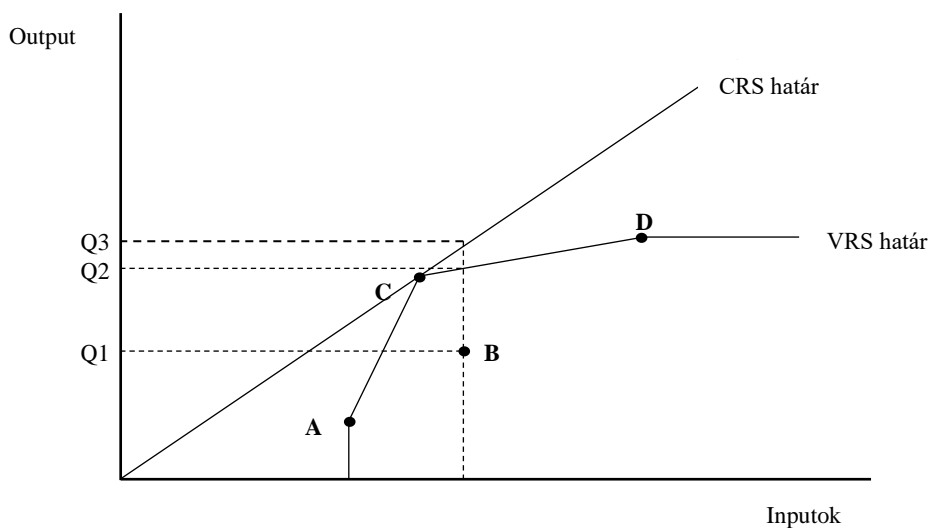
A mezőgazdaságban a technikai hatékonyságot az alábbi tényezők befolyásolják a leginkább: alkalmazott technológia, tényezőellátottság, input és output tényezőket érintő piaci reformok teremtette környezet, üzemméret és méretgazdaságosság, vezetés és szervezés és szakosodás (Gorton-Davidova, 2004; Swinnen, 2009; Bojnec *et al.*, 2012), így a klímaváltozás hatásával érintett területek technikai hatékonyságának meghatározása kulcsfontosságú feladat a mezőgazdaságban (Latruffe *et al.* 2012).

A szakirodalomban a technikai hatékonyság becslésére két fő módszer áll rendelkezésre (Coelli, 1998; Bakucs *et al.*, 2010; Baráth-Fertő, 2013): a nemparaméteres lineáris programozással értékelhető burkolófelület-elemzés (DEA – Data Envelopment Analysis) és az ökonometriai módszeren alapuló

paraméteres sztochasztikus határelemzés (SFA – Stochastic Frontier Analysis).

4.2.1. Mérés nem parametrikus burkolófelület-elemzés módszerrel

A hatékonyság kifejezi, hogy a vállalatok képesek a lehető legjobban kihasználni a rendelkezésükre álló inputokat. Farrell (1957) megfogalmazásában a hatékonyság a potenciális output növekedés elérését (output maximalizálást) célozza, azonos szintű az input-felhasználás mellett. A hatékonyság mértékét az a távolság adja meg, amely egy adott megfigyelési pont és a görbe (termelési lehetőségek görbéje, amelyet a leghatékonyabban működő vállalatok alapján képezünk) között van. A 8. ábrán található ábrázolás szerint a görbéhez legközelebb álló pontok hatékonyan használják fel forrásaikat, míg a görbétől távol elhelyezkedő vállalat nem elég hatékony. A technikai hatékonyság mérése a CRS és a VRS feltételezésen alapulhat. A feltételezéstől függően a burkolófelület formája eltérő formát vehet fel. A 8. ábrán az A, B, C és D üzemek segítségével szemléltetjük a CRS és VRS feltételezéseket. A konstans mérethozadék esetében egyedül a C vállalat helyezkedik el a hatékony határgörbén, az A, a B és a D vállalatok a határtól távol vannak, ezáltal a kapacitások kihasználatlanságát feltételezhetjük. A változó mérethozadék esetében a határt az A, a C és a D pontok jelölik, egyedül a B vállalat helyezkedik el a határ alatt. Az output kapacitás a változó mérethozadék esetében alacsonyabb, mint a konstans mérethozadék esetében. Az elemzés során két lépésben jártunk el annak érdekében, hogy a klimatikus és a talajtani jellemzők technikai hatékonyságban betöltött szerepét megismerjük.



8. ábra: CRS és VRS határok. Forrás: saját szerkesztés.

A nem parametrikus megközelítés legnépszerűbb módszere a lineáris programozáson alapuló DEA (Data Envelopment Analysis, DEA) az adatok burkolófelület-elemzése. A DEA meghatározza egy egység kibocsátás (output) termeléséhez felhasznált két vagy több input kombinációjának minimális mennyiségét (Coelli, 1998).

Első lépésben output orientált DEA módszer segítségével, az adatok burkolófelület-elemzésével kiszámoltuk az elemzésben részt vevő gazdaságok technikai hatékonyságát (Farrell, 1957; Thiele-Brodersen, 1999). A DEA módszerrel a CRS és VRS feltételezéseket is figyelembe vettük.

A nem-parametrikus megközelítésben a hatékonyság határgörbéje (hatékony termelési lehetőségek határa) empirikusan van felépítve a rendelkezésre álló megfigyelések alapján fellelhető legjobban teljesítő vállalatok eredményei alapján (Charnes *et al.* 1978).

Ebben a keretrendszerben a technikai hatékonyság értéke a következő lineáris programozási modell megoldásával kapunk meg:

$$\min_{\lambda, \theta_i} \hat{\theta}_i$$

az alábbi feltételek teljesülése esetén:

$$-y_i + y\lambda \geq 0$$

$$\hat{\theta}_i x_i - x\lambda \geq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

ahol x és y az a megfigyelt vállalatok input és output mátrixai; x_i és y_i az i vállalat input és output vektorai; λ az $n \times 1$ konstansok vektorai, a mintában szereplő n számú vállalat esetén. A VRS alapján működő a vállalatok feltételezésének formalizálása érdekében a következő feltétellel egészítjük ki a CRS modellt:

$$n1 \times \lambda = 1$$

ahol $n1$ az $n \times 1$ egyesekből álló vektor, mely részek összesített értéke egyenlő kell legyen 1-gyel.

A DEA módszer előnye, hogy (1) a módszer nem igényel kiválasztási függvényt, (2) egyidejűleg képes kezelni több inputot és outputot, valamint (3) képes feltárni a legjobb gyakorlatokat (Coelli *et al.*, 2005; Baráth-Fertő, 2013).

Az első lépésben kapott eredmények a növénytermesztő üzemek technikai hatékonyságát mutatják be. Az output orientált DEA-t rögzített inputfelhasználással alkalmaztuk. A szakirodalomban alkalmazott gyakorlat alapján (Gorton *et al.*, 2004; Latruffe *et al.*, 2012; Fogarasi *et al.* 2016), először kiszámoltuk tesztüzemi rendszerben lévő növénytermesztők technikai hatékonyságát, a változást befolyásoló tényezőket Malmquist-index

segítségével kezeltük (Coelli *et al.*, 2005). A lineáris programozással felépített determinisztikus hatékony határgörbéhez a legjobban teljesítő növénytermesztő gazdaságok eredményei kerülnek a legközelebb. A gazdaság és a görbe közötti távolság reprezentálja a hatékonyságot: a görbén elhelyezkedő gazdaságok teljesen hatékonyak, míg a távolság növekedésével kevésbé hatékony gazdaságokkal találkozunk (Contreras, 2017).

A DEA eredményeit befolyásolhatja a minta összetételének változékonysága, ami abban nyilvánul meg, hogy a hatékonysági becslések torzítanak a magasabb hatékonysági értékek irányába. Ez a torzítás akkor keletkezik, amikor a megfigyelt populációban található leghatékonyabb vállalatok mintavételkor nem kerülnek be a megfigyelendő mintába. Következésképpen a nem hatékonyan működő vállalatok képezik a mintavétel burkolóterét, az összes többi vállalat hatékonysági fokát a minta határa alapján mérjük (amely nem tartalmazza ezúttal a leghatékonyabb vállalatokat), a reális populáció határa helyett, ezáltal következhet be a torzulás.

Az elemzés második lépésében a klimatikus és talajadottságok technikai hatékonyságban betöltött szerepére koncentráltunk. Regresszióelemzéssel megvizsgáltuk, hogy a vizsgált üzemek hatékonyságára (az elemzés függő változói) milyen hatással van a hőmérséklet, csapadék, illetve talajadottságok változása (az elemzési független változói). Mivel a DEA eredmények 0 és 1 közötti értéket vesznek, így a és a függő változó cenzorált, ennek köszönhetően a változók egy korlátozott skálán mozognak (Davidson-MacKinnon, 2003). A cenzorálás egyik oka az, hogy bizonyos megfigyelési egységek esetében korlátozott ismerettel rendelkezünk.

Simar és Wilson 2007-ben bemutatják, hogy a kétlépéses megközelítéseket gyakran alkalmazzák a technikai hatékonyság bemutatására, amelyben a

szerzők első lépésben meghatározzák a hatékonyságot, majd második lépésben az első lépésben kapott hatékonysági becslések regresszió elemzését végzik el, ahol a függő változók jellemzően az első lépésben használt változóktól eltérő mutatók, például környezeti mutatók lehetnek. Az említett gyakorlat szerint, a második lépésben a szerzők leggyakrabban tobit vagy néhány esetben a legkisebb négyzetek összege (ordinary least square, OLS) módszereket alkalmazzák, azonban a feltételezés hibákat eredményez, mivel a függő változót folytonos változóként kezelik, azt feltételezve, hogy a skála értékei közötti távolság azonos.

A kétlépéses módszerből eredő hibák kiküszöbölésére bevezették a bootstrap eljárást. A bootstrapping vagy rendszerirányítási technika lényege, hogy a DEA modellt újrabecsljük egy pszeudo-adat állomány felépítésével. A megfelelő eloszlási értékekkel rendelkező mintát a folyamat többszöri megismétlésével kaptuk. Az irodalom szerint ez az eljárás az egyetlen ismert módszer az érvényes következtetések létrehozására a kétlépéses megközelítések alkalmazása esetében (Latruffe-Davidova, 2008; Keramidou-Mimis, 2011; Benito *et al.*, 2014).

A szerzők 2007-ben kibővítették az eljárást, annak érdekében, hogy a hatékonyság-számításba a környezeti változók hatásai is beépíthetővé váljanak. Simar és Wilson (2007) szerint a DEA hatékonyságszámítás eredményei torzítottak és korrelálnak egymással, ezért a hagyományos kétlépéses módszer érvénytelennek tekinthető. Ellentétben a naiv kétlépéses megközelítéssel, a Simar és Wilson módszer (2007):

- a) csonkított becslést hoz létre,
- b) bebizonyítja, hogy a hagyományos modellek következtetései torzítottak,

- c) a bootstrap eljárás segítségével létrehozta a kétlépéses megközelítés érvényes következtetéseit.

A kétlépéses módszer hiányosságainak kezelésére a Simar-Wilson féle eljárással végeztünk regresszióelemzést.

A szerzők két algoritmust feltételeznek, az algoritmusok működését Latruffe *et al.* (2008) írja le. Az elemzésben az 1. algoritmust alkalmaztuk 2000 ismétléssel a következő lépések szerint:

- minden elemzésben résztvevő gazdaság esetében kiszámítottuk a hatékonyságot, output orientált DEA módszerrel
- elvégeztük a legnagyobb valószínűségű módszer alapján a csonkított regressziót
- minden üzem esetében a bootstrap eljárást 2000 ismétléssel végeztük
- a bootstrap eljárás eredményei alkalmasak a konfidencia intervallumok felépítésére minden egyes gazdaság esetében.

4.2.2. Mérés parametrikus sztochasztikus határelemzés módszerrel

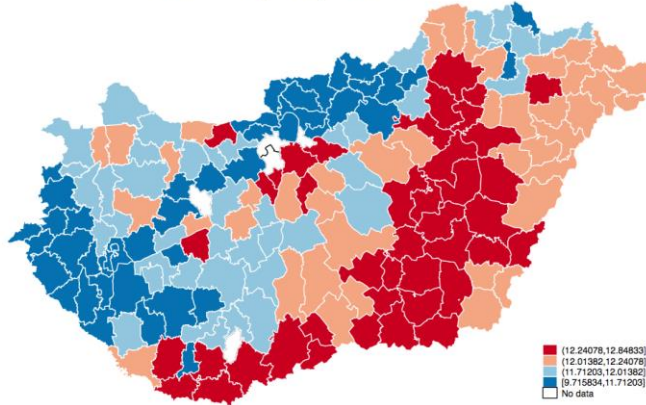
A vizsgált periódus alatt az évi hőmérséklet és csapadékösszegek változékonysága figyelhető meg az ország legtöbb régiójában. Magyarország 175 helyi közigazgatási egységének (Local Administrative Unit, LAU) meteorológiai változása a 9. és a 10. ábrákon figyelhető meg. Az ábrákon regionális eltérések figyelhetők meg, ahol kirajzolódnak a legnagyobb átlaghőmérsékleti változások és a csapadékképek átalakulásával érintett területek a megfigyelt 12 éves periódusban, pl. dél alföldi régió legtöbb közigazgatási egységében hőmérsékletemelkedés következett be, amely változékonny csapadékképekkel társult, így helyenként a vetési és növekedési időszakban tapasztalt csapadékhiány a betakarítás időszakában óriási csapadéktöbbletet jelentett az adott régióban.

Az elemzés első lépésében a technikai hatékonyságot számítottuk ki. Meeusen és van den Broeck (1977), valamint Schmidt és Knox-Lovell (1979) úttörő munkái óta a sztochasztikus határelemzéshez viszonyított hatékonyságszámítás az alkalmazott közgazdaságtan alapvető eszköze. A hagyományos hatékonyságszámítási megközelítésben minden cég azonos határhoz tartozik, a különbséget pedig az eltérő inputfelhasználásuk adja (Tzionas, 2002; Alvarez *et al.*, 2012).

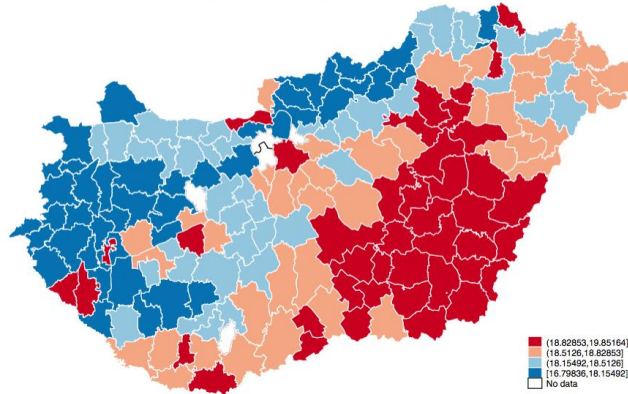
Míg a DEA lineáris programozással építi fel a hatékonysági határt a leghatékonyabb gazdaságok mintájából, a parametrikus módszer a termelési függvény meghatározásán és a paraméterek ökonometriai becslésén alapul. Azonban, az előbbi azt feltételezi, hogy minden határtól való eltérés a technikai hatékonyság hiányának vagy a nem hatékonyt működésnek (inefficiency) az eredménye, ez az egyszerű determinisztikus modell nem veszi figyelembe a határhoz viszonyított torzulásokat. A sztochasztikus határelemzés (Stochastic Frontier Analysis, SFA) modell megteremtette a torzítások figyelembevételének lehetőségét (Baráth-Fertő, 2013).

A konvencionális állandó hatás panel modellek a meg nem figyelt heterogenitás feltárására alkalmazhatók (Pitt-Lee, 1981; Schmidt-Sickles, 1984), ugyanakkor a modellek két fontos korlátját kell megemlíteni: a hatékonyság kezelése az idő változásától független, ami alapvető azonosítási problémákat vet fel, továbbá a modell nem tesz különbséget a minta elemeinek heterogenitása és a hatékonysága között (Abdulai and Tietje, 2007; Greene, 2005b). Greene (2005a, 2005b) azt feltételezi, hogy az üzemek korlátozott számú technológiát alkalmazhatnak, és a technológiához kapcsolódó hatékonyság hiánya a speciális eloszlásból fakad, amelyben a paraméterek különböznek.

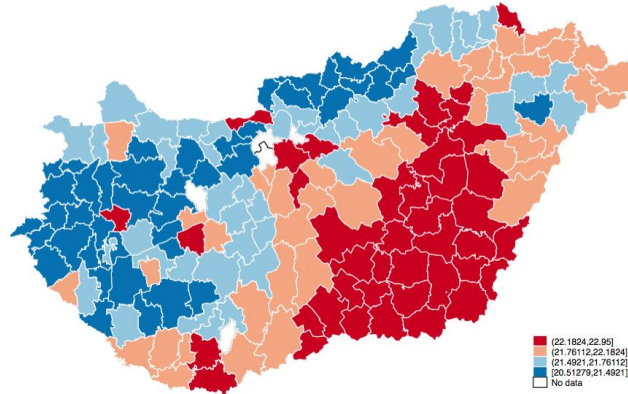
Mean Seeding Temperatures 2002 - 2013



Mean Vegetative Temperatures 2002 - 2013

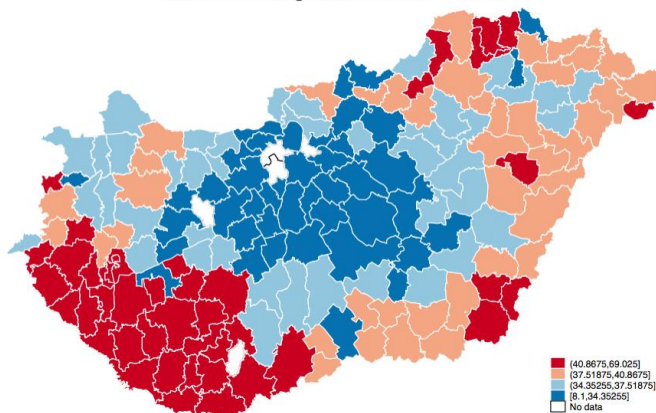


Mean Generative Temperatures 2002 - 2013

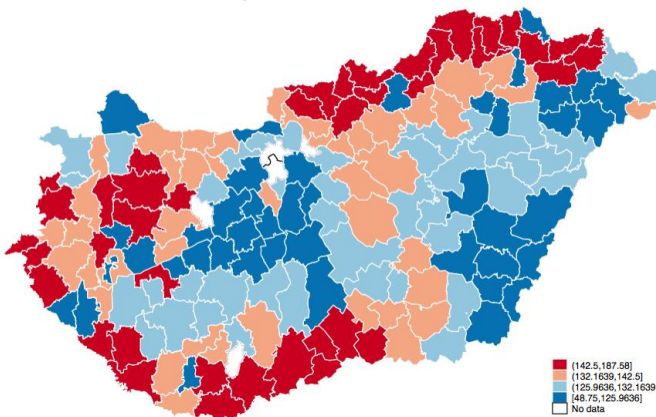


9. ábra: Vetési, növekedési és generatív szakaszok középhőmérséklete járás szinten, 2002-2013, Forrás: saját szerkesztés.

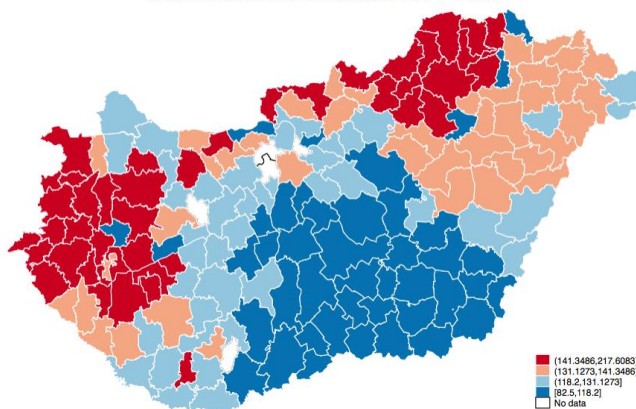
Mean Seeding Rainfall 2002 - 2013



Mean Vegetative Rainfall 2002 - 2013



Mean Generative Rainfall 2002 - 2013



10. ábra: Vetési, növekedési és generatív szakaszok csapadékösszege járás szinten, 2002-2013, Forrás: saját szerkesztés.

A probléma kezelésére létrehozta „valódi” állandó hatás („true” fixed effect models, TFE) és a „valódi” véletlen hatásmodelleket („true” random effect models, TRE). Greene felhívja a figyelmet, hogy a TFE modellek alkalmazása torzításokhoz vezethet, szemben a TRE modellek torzítatlan hatékonysági becsléseket adnak, amelyek pontosabb feltételezéseket jelentenek az eloszlásra nézve. Mivel az elemzés korábbi pontjában bemutatott lépése már figyelembe veszi a klimatikus hatásokat, azt feltételeztük, hogy a hosszú távú vagy az extrém klimatikus események hatással vannak a technikai hatékonyságra:

$$y_{it} = \alpha + f(x_{it}; \beta) + w_{it} + v_{it} - u_{it}$$

ahol,

- y_{it} az output (Bruttó termelési érték) logaritmusa i farm esetében t időpontban
- α közös együttható
- $f(x_{it}; \beta)$ termelési technológia
- x_{it} az inputok vektorlogaritmusa
- β technológiai együttható
- v_{it} random kétoldali zaj kifejezése (exogén termelési sokkok), amelyek növelhetik vagy csökkenthetik az outputot (ceteris paribus feltételezés szerint)
- $u_{it} > 0$ nem-negatív egyoldalú hatékonyság hiányának kifejezésére.

A modell paraméterek becslése a maximum likelihood (ML) módszerrel történik a következők szerint:

$$u_{it} \sim N^+(0, \sigma_{it}^2) = N^+(0, \exp(w_{u0} + z'_{u,it,wu}))$$

$$v_{it} \sim N^+(0, \sigma_v^2)$$

$$w_{it} \sim N^+(0, \sigma_w^2)$$

Az üzemi szintű technikai hatékonyság becslésére Greene (2005a) és Greene (2005b) módszerét alkalmaztuk. A hatékonyságelemzésben alkalmazott meteorológiai változók figyelembevételére Coelli *et al.* (2005) két lehetőséget említ:

1. Az első módszer külön kiszámítja a hatékonysági mutatókat és az így kapott eredményekkel végzi el meteorológiai magyarázó változók regresszióját, azt feltételezve, hogy a meteorológiai változók hatással vannak a hatékonyságra (Pereda *et al.* 2016).
2. A második módszer a klimatikus változókat nem-anyagi inputoknak tekinti és beépíti azokat a termelési függvénybe (Mukhereje *et al.* 2013; Key *et al.* 2014; Qi *et al.* 2015).

Ebben az elemzésben a második módszert alkalmaztuk. Létrehoztunk egy sor újabb változót, amelyet beépítettünk a hatékonysági függvénybe:

I. Forró és fagyos napok száma:

no_tminS és no_tminV: A vetési (S) és vegetatív (V) perióduson belül azon napok száma, ahol az átlag hőmérséklet 0°C alatti.

no_tmaxV és no_tmaxG: A vegetatív (V) és generatív (G) perióduson belül azon napok száma, ahol az átlag hőmérséklet 30°C feletti.

II. Eltérés a hosszútávú hőmérsékleti és csapadékértékektől

Az eltérések kiszámítására 1975-2013 közötti rácspont adatokat alkalmaztunk.

DEVtemp_avS, DEVtemp_avV, DEVtemp_avG az átlaghőmérsékleti eltéréseket mutatja a vetési (S), vegetatív (V) és generatív (G) fázisokban. A hőmérséklet mértékegysége Celsius fok.

DEVprec_sumS, DEVprec_sumV, DEVprec_sumG a csapadékösszegek eltérését mutatja a vetési (S), vegetatív (V) és generatív (G) fázisokban. A csapadék mértékegysége mm/nap.

III. Eltérés a hosszútávú extrém hőmérsékleti eseményektől

Az extrém hőmérsékleti eseménye átlagtól való eltérést és a változók leíró statisztikáját a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat: A parametrikus módszerben alkalmazott változók leíró statisztikája, 2002-2013, Forrás: saját szerkesztés.

Megfigyelések					
Változók	száma	Átlag	Szórás	Min	Max
no_tminS	11,786	1.648736	2.109312	0	12
no_tminV	11,786	0.0689801	0.2934614	0	3
no_tmaxV	11,786	8.586374	5.982243	0	29
no_tmaxG	11,786	22.4429	8.164339	3	44
DEVtemp_avS	11,786	-1.072555	1.008926	-4.983905	1.302758
DEVprec_sumS	11,786	0.1877536	0.843701	-2.845807	1.697879
DEVtemp_avV	11,786	-0.8263068	1.161251	-4.406433	1.740093
DEVprec_sumV	11,786	-0.059659	1.00393	-4.954203	2.369292
DEVtemp_avG	11,786	-0.9957027	0.8575757	-3.085541	1.133612
DEVprec_sumG	11,786	-0.0805551	1.027729	-4.537045	2.118548

A feltételezéseink tesztelésére összehasonlítottunk SFA öt modell specifikációját hasonlítottuk össze:

- Modell 1 (M1): Egyesített határgörbe klimatikus változók nélkül
- Modell 2 (M2): Egyesített határgörbe klimatikus változókkal
- Modell 3 (M3): Állandó hatásmodell klimatikus változókkal (TFE)
- Modell 4 (M4): Véletlen hatásmodell klimatikus változókkal (TRE)
- Modell 5 (M5): Véletlen hatásmodell Mundlak specifikációval

Az 1-es és 2-es modelleket keresztmetszeti, a 3-as, 4-es, 5-ös modelleket panel eljárásban vizsgáltuk.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az éghajlat változékonysága az egyik legfontosabb terméshozamokat befolyásoló tényező, így a gazdálkodói döntéseket érintő terméshozamokkal kapcsolatos várakozások nagyban érintettek. Az Európában tapasztalt klímaváltozás hatásai Magyarországon is megjelentek, ezzel az utóbbi évtizedek növénytermesztését és állattenyésztését nagymértékben befolyásolták. A növénytermesztésben a fenológiai fázisok megváltozása a klímaváltozása hatására adott legsúlyosabb ökológiai változás (Menzel *et al.* 2006; Hatfield-Prueger 2015). A mérsékelt klimatikus öv alatt a tavaszi átlaghőmérséklet emelkedése a vetési és fejlődési (generatív) fenológiai fázisokat korábbi időpontra állíthatja be, míg az őszi és téli emelkedés ronthatja a téli nyugalmi állapot feltételeit, annak késését előidézve. Ha a felmelegedés folytatódik az őszi és téli hőmérséklet nagyobb változékonyságára számíthatunk, amely a fenológiai szakaszok szélsőségesebb átalakulását eredményezheti (Guo *et al.* 2014).

A technikai hatékonyság vizsgálata az üzemek és az iparágak összehasonlításának egyik gyakran használt módszere, de a környezeti feltételek és a technikai hatékonyság közötti kapcsolat feltárásáról szóló tanulmányok még hiányoznak.

5.1.A BURKOLÓFELÜLET-ELEMZÉS EREDMÉNYEI

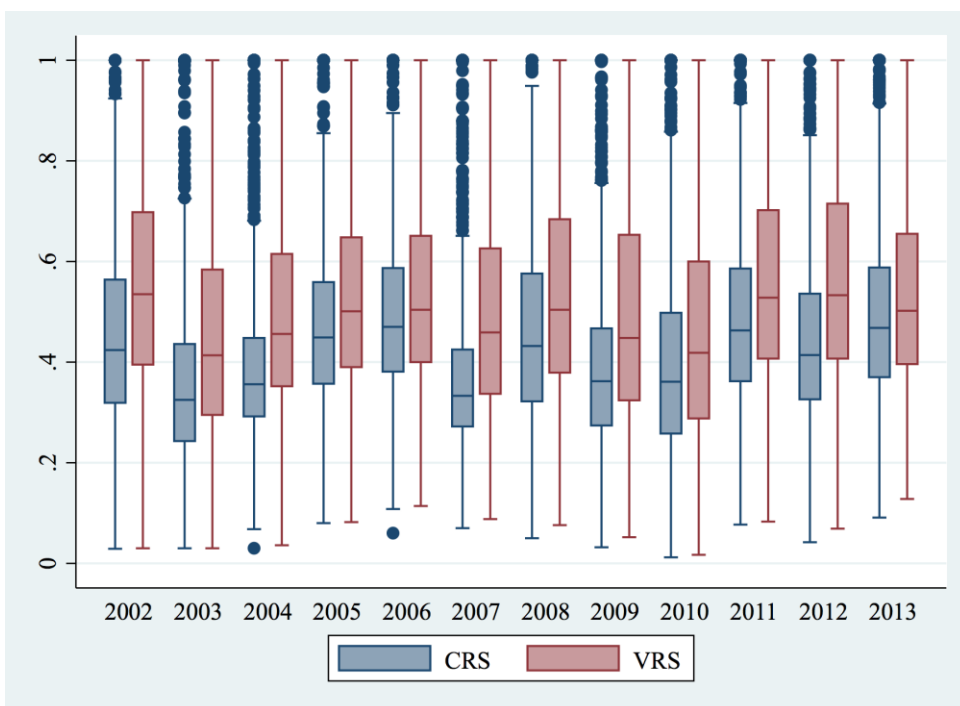
A fejezet 2002-2013 közötti adatok felhasználásával vizsgálja, hogy az éghajlatváltozás milyen mértékben befolyásolta a magyar növénytermesztők technikai hatékonyságát. Az elemzésben nagy mintán kétlépéses ökonometriai vizsgálatot alkalmaztunk. Első lépésben DEA módszer segítségével

kiszámítottuk a mintában szereplő üzemek hatékonyságát. Második lépésben Simar és Wilson (2007) eljárással megvizsgáltuk, hogy a meteorológiai és talajminőségi jellemzők változása, hogyan hat az üzemek hatékonyságára.

Az üzemek technikai hatékonyságának eredményeit boxploton ábráztuk (11. ábra). Az ábrán a konstans (CRS) és a változó mérethozadék (VRS) kvartilis értékeit mutatjuk be, a kvartilisek a sokaságot négy részre osztják: box, szélsőértékek (alsó és felső) és outlierok (kiugró értékek). A box csoport adatai az interkvartilis tartományt jelölik. Az ábrán kék és piros színnel jelölt interkvartilis terjedelem grafikusán is megjeleníti, hogy a vizsgált 12 éves periódusban az üzemek technikai hatékonyságát nagymértékű fluktuáció jellemezte.

2002-2013 között a magyar növénytermesztők átlagos technikai hatékonysága konstans mérethozadék feltételezés (CRS) esetén 0,35 és 0,45 között változott. Az alacsony konstans mérethozadék kifejezi, a gazdaságok termelési teljesítményének magas heterogenitását, amely a rosszul teljesítő üzemek magas, ki nem használt output-termelő potenciálját fejezi ki.

A vizsgált periódus alatt, a növénytermesztő gazdaságok 2 százaléka a CRS esetében és 4-6 százalék a VRS esetében helyezkedtek el a hatékony határgörbén. A növénytermesztő gazdaságok tiszta technikai hatékonysága (VRS) gazdálkodók vezetői döntéseinek alapuló hatékonyságát szemlélteti, amely 2010 után gyorsabban növekedett a konstans mérethozadék (CRS) mediánjánál.



11. ábra: DEA eredmények Boxplot ábrázolása, Forrás: saját szerkesztés

Mivel a DEA módszer nem veszi figyelembe a termelők által nem kontrollálható folyamatokat, mint az esetünkben kiemelt jelentőséggel bíró éghajlatváltozásból adódó változókat, a Simar és Wilson (2007) által alkalmazott bootstrap becslést alkalmaztuk. A nem-lineáris hatások tesztelésére a meteorológiai változók négyzetes tagjait vezettük be. A Simar és Wilson (2007) eljárással becsült kétszeres bootstrap eredményeket a 12. táblázat tartalmazza. A függő változók a kiválasztott gazdaságok hatékonysági mutatóit, míg a független változók a klimatikus változásokat és a talajadottságokat képviselik.

A hőmérséklet- és csapadékösszegek növekedésének hatása a gazdaságok a technikai hatékonyságában pozitív irányú és statisztikailag szignifikáns a vetési és vegetatív termesztési periódusokban, mind a CRS és VRS modellek

esetében. Ezzel ellentétben, az érési (generatív) fázisban mért eredmények negatív kapcsolatot feltételeznek, amely alapján a várakozásainknak megfelelően a magasabb hőmérséklet és a szélsőséges csapadék rontotta a növénytermesztés feltételeit. A talajtényezők szignifikánsan hatnak a hatékonyság változására. A biofizikai tényezők változásai megfelelnek a várakozásainknak, a fel- és általaj jó vízgazdálkodási képessége pozitívan hat a növénytermesztők technikai hatékonyságára. Ezzel ellentétben, a talaj alacsony szervesanyag-tartalma rontotta a hatékonyságot, a konstans és a változó mérethozadék esetében egyaránt.

12. táblázat: Simar-Wilson eredmények, Forrás: saját számítások

Magyarázó változók	Konstans méret- hozadék	alsó határ	felső határ	Változó méret- hozadék	alsó határ	felső határ
T_{seeding}	0.231***	0.1872	0.2741	0.223***	0.1683	0.2771
T_{seeding2}	-0.009***	-0.0105	-0.0070	-0.009***	-0.0107	-0.0064
T_{vegetative}	0.372***	0.2928	0.4478	0.340***	0.2477	0.4313
T_{vegetative2}	-0.010***	-0.0116	-0.0074	-0.009***	-0.0112	-0.0063
T_{generative}	-0.225***	-0.3688	-0.0886	-0.309***	-0.4877	-0.1375
T_{generative2}	0.005***	0.0014	0.0078	0.007***	0.0028	0.0107
P_{seeding}	0.003***	0.0027	0.0036	0.002***	0.0013	0.0024
P_{seeding2}	-0.000***	0.0000	0.0000	-0.000***	0.0000	0.0000
P_{vegetative}	0.000	-0.0002	0.0003	0.000	-0.0003	0.0003
P_{vegetative2}	-0.000**	0.0000	0.0000	-0.000**	0.0000	0.0000
P_{generative}	-0.000**	-0.0004	0.0000	-0.000	-0.0003	0.0002
P_{generative2}	0.000	0.0000	0.0000	-0.000	0.0000	0.0000
AGRICUL	0.019*	-0.0012	0.0385	0.036***	0.0124	0.0612
HWC_SUB	0.024***	0.0176	0.0311	0.018***	0.0105	0.0262
HWC_TOP	0.014*	-0.0007	0.0299	0.010	-0.0088	0.0278
LOC	-0.013***	-0.0193	-0.0066	-0.017***	-0.0249	-0.0093
cons	-2.001***	-3.3292	-0.6037	-0.701	-2.3527	1.0128
sigma	0.168***	0.1655	0.1704	0.197**	0.1936	0.2000
Wald chi2	754.831	-	-	388.337	-	-
N	11785	-	-	11785	-	-

*p<0.1; **p<0.05; *** p<0.01

Eredményeink alátámasztották várakozásainkat, miszerint a klímaváltozásból eredő fenológiai fázisokban bekövetkező negatív hatások Magyarország növénytermesztését is befolyásolják. A mezőgazdasági hatékonyságot befolyásoló környezeti tényezők, így a növekvő hőmérséklet a vetési és

vegetatív fázisokban (április, május és június hónapok) pozitívan hatottak a növénytermesztő üzemek technikai hatékonyságának alakulására. Ugyanakkor, az érési szakaszban tapasztalt magas hőmérséklet és a hatékonyság között negatív kapcsolat áll fent, a csökkenő csapadék által előidézett szárazság rontotta a magyar növénytermesztés technikai hatékonyságát. Minden fenológiai periódusban, a klímaváltozás hatására létrejövő száraz időszakok és a csökkenő csapadék-értékek rontották a hatékonyságot.

Becsléseink szerint a klimatikus tényezők a generatív fázisban rontották a hatékonyságot, hasonlóan Hatfield és Prueger (2015) eredményeihez, miszerint a melegebb hőmérséklet hatása a reprodukív fázisban a legnagyobb, így a vizsgálatban résztvevő gabona és kukoricahozamok a terméshozás időszakában nagymértékben romlottak. Az első lépésben kapott DEA eredmények a második lépésben végzett regressziós elemzés függő változóit képezték, amelynek célja a hatékonyságot befolyásoló magyarázó változók (meteorológiai és talajadottságok) hatásainak értékelése. Módszertani szempontból a Simar és Wilson (2007) módszerrel becsült eredmények (12. táblázat) erősebb kapcsolatot feltételeznek és megfelelnek korábbi várakozásainknak.

Eredményeink szintén csatlakoznak Chavas *et al.* (2009) eredményeihez, akik Kína öt legfontosabb növényének termelékenységét értékelték (repcse, kukorica, burgonya, rizs és őszi búza) a klímaváltozás lehetséges hatásainak figyelembevételével. Megállapították, hogy a klimatikus változók szignifikánsabban hatnak a szimulált hozamokra, mint a talajadottságok. Solis és Letson (2012) pozitív kapcsolatot igazolt az éghajlatváltozás és a mezőgazdaság gazdasági teljesítménye között, amelyhez csak részben csatlakozunk.

A döntéshozók és érdekcsoportok számára egyre nagyobb kihívást jelentenek a klímaváltozás okozta negatív hatások, az élelmiszerbiztonság és a mezőgazdasági fenntarthatóság elérésekor. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye nemzetközi szereplők bevonásával küzd a klímaváltozás ellen, az átlaghőmérséklet további emelkedése és a további negatív hatások korlátozásával. A klimatikus viszonyok megváltozása, a hőmérséklet és a csapadék átalakulásán keresztül jelentősen hatnak a mezőgazdaság outputokra és az adaptációs stratégiákra, amely a gazdálkodás strukturális változását kényszerítheti ki. Az Európai Parlament 7. Környezetvédelmi Cselekvési Programja klíma- és energiaügyi keretrendszeret határoz meg, az éghajlatpolitikai célkitűzéseknek megfelelően, célul tűzve ki a természeti tőke védelmét, az erőforrás-hatékonyság növelését és a környezetterhelések csökkentését.

Mindemellett, a környezeti kihívások regionális szinten eltérők. Európa Dél-Keleti részén a szélsőséges hőmérsékletű napok száma sokkal gyorsabb ütemben növekszik, mint az évi átlaghőmérséklet: a hőhullámok intenzitása, hossza és gyakorisága növekedett a leginkább. A hőmérsékleti és csapadékképek változása és azok szélsőséges ingadozása további bizonytalanságokra ad okot (Sippel-Otto, 2014). A klíma-előrejelzések alapján a közeljövőben a legnagyobb bizonytalanság a Kárpát-medencében valószínűsíthető (Szépszó et. al, 2011; Olesen-Bindi, 2010; Mezősi, 2017).

5.2.A BURKOLÓFELÜLET-ELEMZÉS EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

Magyarországon számottevő mértékben megfigyelhető a csapadékképek térbeli és időbeli változékonysága. Az utóbbi évszázadban az országos éves

csapadék összegek csökkenő trendje mutatkozott. Magyarországon, 2006-ban az extrém időjárási események miatt a Tisza és a Duna árterében két árvíz következett be, amely komoly belvízi károkat okozott (Dong *et al.* (2013)). Az Országos Meteorológiai Szolgálat arra figyelmeztet, hogy az klimatikus tényezők megváltozása miatt, a hóhullámos napok számának emelkedése (1971 és 2000 közötti periódusban 21 napra növekedett) és a fagyos napok számának csökkenése (1900 és 2000 között 20 százalékkal csökkent), mint közvetlen tényezők egyaránt hatással vannak az intenzív és a hagyományos növénytermesztésre. A közvetett tényezők, mint a vízkészletek elérhetősége és a fejlődéshez szükséges hőmérséklet megváltozása miatt, a növények tápanyagfelvevő és tápanyag megkötő képessége jelentősen megváltozik. Az alkalmazkodási trendek körvonalai kialakulóban vannak, a gazdálkodók folyamatosan tesznek lépéseket a negatív hatások kivédése érdekében a vetésidő pontosabb ütemezése, a precíziós gazdálkodás és az eredményesebb fajták megválasztása révén, ugyanakkor a gazdaságok eltérő inputellátottságuk, -klimatikus tényezőik és -talajadottságaik miatt régióként eltérő adaptációs eljárásokat alkalmazhatnak (Olesen-Bindi, 2010). A jó mezőgazdasági gyakorlatok és a gazdálkodói döntéseket befolyásoló tényezők értékelése kulcsfontosságú feladat.

5.3.SZTOCHASZTIKUS HATÁRELEMZÉS EREDMÉNYEI

A parametrikus megközelítés során Translog SFA sztochasztikus határelemzést (Stochastic Frontier Analysis, SFA) alkalmaztunk az üzemek technikai hatékonysága, valamint a meteorológiai és talajtulajdonságok közötti kapcsolat feltárása érdekében. A modell két részből áll. Az első részben megvizsgáltuk, hogy a meteorológia tényezők változása a különböző fenológiai időszakban hogyan hatnak az üzemek hatékonyságára. A második részben az üzemek hatékonysága, valamint az extrém időjárási események száma (forró és fagyos napok száma), az időjárási eltérések (eltérés a hosszútávú átlagos hőmérsékleti és csapadékértékektől, eltérés a hosszútávú extrém hőmérsékleti eseményektől), a jogi forma és a talajtulajdonságok közötti kapcsolatot vizsgáltuk. Öt modellspecifikációt becsültünk: egyesített határgörbe klimatikus változók nélkül (M1), egyesített határgörbe klimatikus változókkal (M2), állandó hatásmodell klimatikus változókkal (M3), véletlen hatásmodell klimatikus változókkal (M4) és véletlen hatásmodell Mundlak specifikációval.

13. táblázat: Sztochasztikus határelemzés eredmények, Forrás: saját szerkesztés

Változók (Határ)	M1	M2	M3	M4	M5
lnLand	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01
lnLabor	0.08***	0.09***	0.09***	0.08***	0.09***
lnCap	0.09***	0.09***	0.09***	0.08***	0.09***
lnMat	0.83***	0.82***	0.82***	0.82***	0.82***
lnLand_lnLabour	-0.05**	-0.06***	-0.06***	-0.06***	-0.06***
lnLand_lnCap	0.03	0.03**	0.03**	0.04**	0.04**
lnLand_lnMat	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
lnLabor_lnCap	-0.04***	-0.04***	-0.04***	-0.04***	-0.04***
lnLabor_lnMat	-0.05**	-0.04*	-0.04*	-0.04*	-0.04*
lnCap_lnMat	-0.03*	-0.04***	-0.04***	-0.04***	-0.04***
lnLand2	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
lnLabor2	0.06***	0.06***	0.06***	0.06***	0.06***
lnCap2	0.03***	0.03***	0.03***	0.03***	0.03***
lnMat2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Trend	0.01***	-0.04***	-0.03***	-0.04***	-0.03***
Trend2	-0.00***	0.00***	0.00***	0.00***	0.00***
lnTSeeding		0.29***	0.29***	0.51***	0.30***
lnTVegetative		-0.15	-0.10	0.04	-0.17*
lnTGenerative		-1.46***	-1.21***	-1.10***	-1.45***
lnPSeeding		0.00	0.00	-0.01	-0.00
lnPVegetative		0.05***	0.04***	0.07***	0.05***
lnPGenerative		-0.03***	-0.03***	-0.01	-0.03***
lnTSeeding_2		1.05**	0.94*	1.50***	1.09**
lnTVegetative2		-9.14***	-8.40***	-8.05***	-9.23***
lnTGenerative2		3.54	4.14*	4.33*	3.95*
lnPSeeding2		-0.01***	-0.01***	-0.01***	-0.01***
lnPVegetative2		-0.03*	-0.03**	-0.02	-0.03*
lnPGenerative2		-0.06***	-0.06***	-0.04***	-0.06***

(folytatás)

Változók (Mu)	M1	M2	M3	M4	M5
no_tmaxV			0.79		
no_tmaxG			1.19***		
no_tminS			-0.79		
no_tminV			-3.90		
DEVtemp_avS				-8.17***	
DEVprec_sumS				3.56	
DEVtemp_avV				-5.63**	
DEVprec_sumV				-6.80***	
DEVtemp_avG				-9.51***	
DEVprec_sumG				-4.17**	
DEVno_tminS					0.17
DEVno_tminV					-1.44
DEVno_tmaxV					0.48**
DEVno_tmaxG					-0.18**
_cons	-205.29***	-175.76***	-150.78***	-99.34***	-122.08***
Usigma					
d_legal	-0.40***	-0.49***	-0.47***	-0.46***	-0.49***
_cons	3.81***	3.60***	3.20***	2.71***	3.28***
Vsigma					
AGRICUL	0.08	0.02	-0.04	-0.01	0.04
HWC_SUB	-0.10**	-0.17***	-0.19***	-0.14***	-0.16***
HWC_TOP	-0.36***	-0.36***	-0.38***	-0.39***	-0.35***
LOC	-0.01	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05
_cons	-3.08***	-3.01***	-2.94***	-2.99***	-3.04***
Statistics					
N	11375.00	11327.00	11327.00	11327.00	11327.00
ll	-964.65	-454.58	-432.11	-369.31	-449.01
chi2	67463.12	71899.56	71555.29	69065.44	72323.66
p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A klímaváltozás legtöbb negatív mögöttes hatásának számszerűsítése bizonytalansághoz vezet. A meteorológiai változók több évtizedes időtávot felölelő előrejelzése bonyolult feladat, mint ahogy a gazdasági növekedés előrejelzése is kiszámíthatatlan. Ezért a megfogható lehetőségek alapján négy ökonometriai modell felhasználásán keresztül kísérletet tettünk a mezőgazdasági felételek lehetőségeinek feltárása.

A 13. táblázat az eredményeket mutatja be. A táblázat első részében az üzem rendelkezésére álló mezőgazdasági területek (lnLand), az éves munkaerőegység (lnLabour), a tőke (lnCap) és a termelőfelhasználás (lnMat) termelési függvényt befolyásoló hatásai láthatók. A mezőgazdasági területek kivételével a változók szignifikánsak 0,05 százalékos szinten és az összes változó pozitív előjellel rendelkezik az minden modellspecifikációban, amely azt fejezi ki, hogy a kiválasztott változók nagymértékben magyarázzák a mezőgazdasági üzemek hatékonyságát. A nem-lineáris hatások tesztelésére bevezettük a változók négyzetes tagjait, így megállapítható, hogy a technikai hatékonyság és a terület, a munkaerő, a tőke, valamint a felhasználás közötti kapcsolat lineáris a munkaerő és a tőke esetében szignifikáns, a terület és a felhasználás esetében nem, de minden változó megfelelő előjellel rendelkezik. A táblázat második része az egyesített modellek eredményeit foglalja össze és bemutatja a felsorolt specifikációk hat kombinációját.

A meteorológiai változók első csoportja vetési, vegetatív és generatív fenológiai fázisokban mért hőmérsékleti és csapadékértékek hatását vizsgálta a mezőgazdasági üzemek hatékonyságára.

A vetési (Tseeding) periódusban mért magasabb hőmérséklet pozitívan hat a hatékonyságra. Az eredmény nem meglepő, hiszen a feltételezésünk szerint a kontinentális klímaöv vetési időszaka április hónapra tehető, ebben az időszakban a tavaszi vetésű növények csírázáshoz elengedhetetlen a

magasabb hőmérséklet. Ugyanebben a periódusban a csapadékképek megváltozásának hatása nem egyértelmű. Míg az M2 és M3 specifikációk esetében a csapadék növekedése pozitívan hat, addig az M4 és M5 esetében a rontotta a hatékonyságot. Az eredményeket magyarázza, hogy a csapadékeloszlás a szabadföldi növénytermesztés meghatározó kérdése, a magasabb csapadék pusztai növekedése nem javítja a hozamokat, a lehulló csapadékképek időbeli és térbeli eloszlását pedig nehéz előre jelezni.

A vegetatív (Tvegetative) és a generatív (Tgenerative) periódusokban előjelváltás tapasztalható. A fenológiai szempontból fontos növénynövekedési vagy vegetatív időszak május-június hónapokra tehető, ebben az időszakban történik a növények vegetatív részeinek kialakulása, például ekkor alakulnak ki a szár és a levelek. A magasabb hőmérséklet a legtöbb esetben szignifikánsan és negatív irányban befolyásolta a hatékonyság változását a legtöbb modellspecifikációban. Az eredmények szerint a növekedési időszakban mért magasabb csapadék javította a felmérésben szereplő üzemek hatékonyságát.

Az érési és betakarítási időszak július-augusztus hónapokra tehető, ebben az időszakban a hőmérséklet (Tgenerative) növekedése nagymértékben és szignifikánsan rontotta a hatékonyságot, a négyzetes tagok eredményei szerint a kapcsolat nem lineáris. A csapadék növekedése (Pgenerative) szintén negatív hatásról árulkodik. Az eredmények háttérében a hozamok betakarítási minőséget érintő hatások állnak, ugyanis a hirtelen fellépő hőmérséklet emelkedése és a lezúduló csapadék a legtöbb növény esetében rontja a termés piacosságát és minőségi jellemzőit.

Az egyesített inputok hatása a gazdaságok kibocsátására változónként eltérő eredményeket mutat. A hatásokat az egyesített y_m és x_k inputok kölcsönhatásán keresztül vizsgáljuk, például a rendelkezésre álló

mezőgazdasági terület párosítása a munkaerő tevékenységével, ahol a művelésbe vont területek növekedése kombinálva a magasabb éves munkaerő egységgel szignifikánsan csökkenti a termelési értéket. Az eredmények meglepők, de azt mutathatják, hogy a nagy földterületen tevékenykedő vállalatok a munkaerőállomány növelésével sem tudják javítani a klímaváltozásból eredő negatív hatásokat. Ezzel ellentétben, a klimatikus tényezőket felhasználó modellspecifikációban a nagyobb földterület és tőke együttesen szignifikánsan és pozitívan hatnak a termelési outputokra, ami arra utal, hogy a nagy földterületen működő és nagy tőkével rendelkező növénytermesztők technikai fejlettségüknél fogva magasabb outputot generálnak a klimatikus kockázatok figyelembevétele mellett is.

Az egyesített inputok hatásait igazolja az OECD (2004) és Kovács *et al.* 2009 megállapításai is. Mivel a mezőgazdasági termelők általában kockázatkerülők, a kockázatkerülés mértéke termelőnként és országonként eltérő (OECD, 2004). A termelők kockázatkerülési attitűdje elsősorban a vagyoni helyzettől függ, mert ez befolyásolja a leginkább, hogy miként reagál egy előre nem látott kedvezőtlen esemény bekövetkezésére. A legtöbb vállalkozás óvakodik a negatív hatású váratlan események bekövetkezésétől, főleg egy olyan ágazatban, ahol a nyitott piacból és a klimatikus tényezőktől való függés magas és a vállalkozás esetleges csődjét idézné elő. Gyakran a tőkeszegény mezőgazdasági termelők óvatosak, amikor jelentős kockázatvállalásra lenne szükség (Kovács *et al.* 2009).

A bevezetett trend változó kifejezi a technológia változást, amely eredménye szintén szignifikáns és negatív előjelű azoknál azon modelleknél, ahol figyelembe vettük a meteorológiai változókat.

Az eredmények alapján a klimatikus hatások befolyásolják a hatékonyság alakulását, akkor is, ha termelési függvény felépítése során figyelembe

vesszük a mezőgazdasági területeket, a munkaerőt, a tőkét és a folyó felhasználást. Az eredmények néhány esetben a várakozásoknak megfelelően alakultak, eszerint a magasabb hőmérséklet és csapadékösszeg rontja a magyar növénytermesztők esélyeit a vizsgált 12 éves periódusban, ezzel szemben néhány eredmény a várakozásokkal ellentétben alakult, pl. a többi változó figyelmen kívül hagyásával azt feltételezzük, hogy a vetési periódus magasabb hőmérséklete és a vegetatív periódus magasabb csapadékösszege előnyös a magyar növénytermesztési szektor számára.

A táblázat második része (Mu) a nem hatékony működést meghatározó tényezőket tartalmazza. A klímaváltozás következtében egyre nagyobb gyakorisággal fellépő hidegstressz és hőstressz a növényi produkciót a molekuláris, biokémiai és fiziológiai folyamatok megzavarásán keresztül leginkább csökkentő környezeti tényezők. A hőstressz befolyásolja a növények tápanyagfelvételét, tápanyaghasznosulását, vegetatív részeinek fejlődését, a fotoszintézis és a légzés intenzitását, terméshozamát és termésminőségét. Az alacsony hőmérséklet kritikus a növények szempontjából, hiszen a természetes növénytársulások előfordulásának, elterjedtségének egyik legfontosabb meghatározója. A mezőgazdasági termesztés esetében a hőmérséklet az a tényező, ami a növények termeszthetőségét egy adott területen leginkább limitálja. Hidegstressz hatására a növény fejlődése jelentősen lelassul és fiziológiai szempontból károsodik, csökken a csírázó magvak száma, megnyúlik a csírázáshoz szükséges idő. Fiatal növénykorban ért hidegstressz hatására a növény fotoszintetikus aktivitása jelentős mértékben csökken, ami megmutatkozik úgy a CO₂ asszimiláció csökkenésében és a fotoszintetikus folyamatok lassulásában. A vizsgált 12 éves periódusban azon napok számát vizsgáltuk, ahol a napi átlaghőmérséklet 0°C alatti (hidegstressz) vagy 30°C feletti

(hőstressz), elkülönítve a vetési (S), vegetatív (V) és generatív (G) periódusokban mért értékeket. A hőstresszes napok száma szignifikánsan magyarázza generatív időszakban a hatékonyság hiányát, a hőstressz a terméshozás periódusában rontotta a növénytermesztők outputját. A vegetatív (növekedési) periódusban szintén növekszik a nem hatékony működés.

A klímaváltozást értékelő tanulmányok gyakran értékelik a meteorológiai értékekben tapasztalt eltéréseket a bázisperiódushoz képest. Az M4 modell az országon belüli átlaghőmérséklet és csapadékösszeg eltéréseit vizsgálja, ahol az összehasonlítás tárgyát az 1975- 2013 közötti periódus adja. Mindhárom vizsgált periódusban a hosszú távú hőmérsékleti tapasztalatoktól való eltérés hatására szignifikánsan csökkent a hatékony állapot, ami a gazdálkodók adaptációs magatartásával magyarázható, akik figyelemmel kísérik a hosszú távú meteorológiai változásokat és lépéseket tesznek a várható negatív hatások csökkentése érdekében. A csapadékképek alakulása nem ilyen egyértelmű. A vetési fázisban csökkenő hatékonyságot a vegetatív és generatív fázisokban szignifikánsan csökkenő eredmények váltják fel.

A klimatikus változások mellett a modell tartalmazza az üzemek jellemző talajminőségi tényezőit az ESDAC EUSOILS adatok alapján, nevezetesen az al- és feltalaj víztartó képességét és a szervesanyag tartalmat. A Vsigma varianciát befolyásoló talajminőség koefficiensei szignifikánsak és megfelelő előjelűek. A legtöbb modellspecifikációban a talajok magas vízgazdálkodási képessége növeli az üzemek hatékonyságát. Az Usigma varianciát meghatározó jogi forma hatása szignifikáns eredményeket hozott. A jogi forma esetében $d_legal=0$ egyéni vállalkozást, míg $=1$ társas vállalkozást jelöli. Az eredmények szerint az egyéni vállalkozások esetében csökken a nem hatékony állapot, míg ceteris paribus a társas vállalkozások

esetében a nem hatékony állapot gyakoribb minden vizsgált modellspecifikációban.

Bár néhány eredmény nem szignifikáns, a dolgozat eddig egyedülálló módon ötvözi a klímaváltozás hatásait az ökonómiai értékelés során, Magyarországi adatok felhasználásával. A termelési függvény felépítése a szokásos gazdasági tényezőkön kívül tartalmazza az extrém eseményeket, a hosszútávon mért klimatikus tényezők hatásait, a talajjellemzőket és a jogi forma befolyását, az eredmények a M4 (véletlen hatásmodell klimatikus változókkal) modellspecifikáció esetében mutatja a legtöbb szignifikáns magyarázó változót, így ez a modell illeszkedik a legjobban.

5.4.A SZTOCHASZTIKUS HATÁRELEMZÉS EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

A parametrikus modellel végzett értékelés eredményeiből látható, hogy a klímaváltozás hatása a növénytermesztő üzemek hatékonyságára fenológiai fázisonként eltérő eredményeket hozott. Az eredmények összehasonlítását a szakirodalomban fellelhető más sztochasztikus határelemzéssel becsült megállapításokkal a következőkben tárgyaljuk.

A vetési (Tseeding) periódusban mért magasabb hőmérséklet pozitívan hatott a hatékonyságra, ehhez az eredmény csatlakozik Reidsma *et al.* (2009), valamint Solis és Letson (2012) megállapításaihoz.

Reidsma *et al.* (2009) a klimatikus változások hatásait az üzemek gazdasági eredményére vizsgálta, az értékelés során csak az év első félévében tapasztalt hőmérsékleti hatásokat vette figyelembe. Eredményei szerint a középhőmérséklet 1 százalékos emelkedése esetén Görögország (0,48 százalék) és a skandináv régió (0,09 százalék) szintén pozitív hatásokkal

számol a vizsgált periódusban, míg Spanyolország, Olaszország, Franciaország, Németország, Benelux államok és az Egyesült Királyság negatív hatásokat tapasztalt. Hasonlóképpen, Solis és Letson (2012) az éghajlat-előrejelzések hatásait vizsgálták a mezőgazdasági termelők technikai hatékonyságának becslésével. A szerzők a növénytermesztők technikai hatékonysága és a növekvő tavaszi hőmérséklet közötti pozitív kapcsolatról számoltak be.

A generatív (Tgenerative) érési fázisban tapasztalt hőmérséklet növekedés szignifikánsan rontotta az üzemek hatékonyságát. Az eredményt Qi *et al.* (2015) is alátámasztja, a szerzők az USA mezőgazdasági termelőin végzett kísérletben a tavaszi, nyári, őszi és téli hőmérséklet növekedés hatásait értékelték, ahol megállapítják, hogy a tavasztól őszig tartó periódus növekvő hőmérséklete rontotta a hatékonyságot.

A legjobban illeszkedő M4 modellspecifikációban a csapadékképek megváltozása és a növekvő csapadék hatása a vetési (Pseeding) és terméshozási (Pgenerative) fenológiai fázisokban csökkenti, míg a fejlődési (Pvegetative) fázisban növeli az üzemi eredményeket. Az eredmény csak részben csatlakozik Qi *et al.* (2015) álláspontjához, akik a nyári és őszi periódusokban figyelték meg az üzemek csökkenő technikai hatékonyságát a csapadék növekedésének hatására. Ezzel ellentétben Deschenes és Greenstone (2007) korábban a csapadék változékonysága és mezőgazdasági profit között szignifikáns és pozitív kapcsolatot állapítottak meg.

Eredményeik bemutatták, hogy a gazdálkodók a klímaváltozás hatására a generatív periódusban alacsony technikai hatékonysági-szinten teljesítettek. Eredményeink hozzájárulhatnak az adaptációs stratégiák kialakításához specifikusan Magyarországon és a környező országok területén.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A dolgozat alapján levonható legfontosabb következtetések és javaslatok a célkitűzések sorrendjének megfelelően következnek.

A dolgozat első célkitűzése, feltárni azokat a környezetből adódó biofizikai tényezőket, amelyek a szokásos értelemben vett piaci termelési tényezők mellett hatnak a gazdálkodók hatékonyságára. A beazonosított cikkek alapján a vizsgált húsz éves periódus elején csak néhány releváns irodalom jelent meg a témában, a cikkek legnagyobb részét (60 százalék) az utóbbi öt évben közzétették, így kijelenthető, hogy a téma beágyazottságát növekvő trend jellemzi. Az irodalomban ritkán alkalmazott szisztematikus áttekintés módszerrel beazonosítottuk a mezőgazdaságot érintő legfontosabb hatásokat. Eszerint, az extrém klimatikus események, a fejlődési fázisok megváltozása, a humán erőforrások hatásai, a környezeti feltételek megváltozása és az üzemi tényezők hatnak a mezőgazdasági vállalkozások működésére.

A második célkitűzés, megvizsgálni az éghajlatváltozás középtávú hatásait a magyar növénytermesztők termelésének hatékonyságára. A dolgozat a klimatikus és nem-klimatikus változások hatásait mutatja be a magyar növénytermesztési ágazatban. Ezt a célt a teljes mezőgazdaságot reprezentáló panel adatsor szolgálja, amelyben a növénytermesztők legfontosabb üzemi adatai és nagyfelbontású meteorológiai és talajadatok szerepelnek. A hatékonyság mérésére több ökonometriai módszer áll rendelkezésre. A dolgozat a burkolófelület és a sztochasztikus határelemzés módszerekre épül. Korábban, az agrárgazdasági tanulmányok az említett módszereket jellemzően a tejtermelők hatékonyságának mérésre használták, döntően Nyugat-Európában és az USA-ban.

A nem paraméteres burkolófelület mérés eredményei alapján 2002-2013 között a magyar növénytermesztők alacsony hatékonysága a gazdaságok termelési teljesítményének magas heterogenitásából fakad. A vizsgált periódus alatt, a növénytermesztő gazdaságok mindössze 2 százaléka a konstans mérethozadék (CRS) és 4-6 százalék a változó mérethozadék (VRS) esetében helyezkedtek el a hatékony határgörbén. A vizsgált 12 évben az üzemek technikai hatékonyságára nagymértékű fluktuáció jellemző. Az éghajlati tényezők bevezetésével a következő eredmények születtek: Az érési (generatív) fázisban mért eredmények negatív kapcsolatot feltételeznek, amely alapján a várakozásainknak megfelelően a magasabb hőmérséklet és a szélsőséges csapadék rontotta a növénytermesztés feltételeit. A talajtényezők szignifikánsan hatnak a hatékonyság változására. A biofizikai tényezők változásai úgy mint, a fel- és altalaj jó vízgazdálkodási képessége pozitívan hat a növénytermesztők technikai hatékonyságára. A talaj alacsony szervesanyag-tartalma rontotta a hatékonyságot, a konstans és a változó mérethozadék esetében egyaránt.

A parametrikus megközelítés során SFA sztochasztikus határelemzést alkalmaztunk az üzemek technikai hatékonysága, valamint a meteorológiai és talajtulajdonságok közötti kapcsolat megismerése érdekében öt modellspecifikáció alkalmazásával. A vetési periódusban mért magasabb hőmérséklet pozitívan hat a hatékonyságra. Az eredmény nem meglepő, hiszen a kontinentális klímaöv vetési időszaka április hónapra tehető, ebben az időszakban a tavaszi vetésű növények csírázáshoz elengedhetetlen a magasabb hőmérséklet. A fenológiai szempontból fontos növénynövekedési vagy vegetatív időszak május-június hónapokra tehető, ebben az időszakban történik a növények vegetatív részeinek kialakulása, például ekkor alakulnak ki a szár és a levelek. A magasabb hőmérséklet a legtöbb esetben

szignifikánsan negatív irányban befolyásolta a hatékonyság változását a legtöbb modellspecifikációban. Az eredmények szerint a növekedési időszakban mért magasabb csapadékmennyiség javította a felmérésben szereplő üzemek hatékonyságát. A csapadék növekedése a generatív időszakban negatív hatásról árulkodik. Az eredmények háttérben a hozamok betakarítási minőséget érintő hatások állnak, ugyanis a hirtelen fellépő hőmérséklet emelkedése és a nagymennyiségű lezúduló csapadék a legtöbb növény esetében rontja a termés piacosságát és minőségi jellemzőit.

Az elemzés szerint a klimatikus tényezők a generatív fázisban rontották a hatékonyságot a legnagyobb mértékben. Ezzel az eredménnyel Hatfield és Prueger (2015); Qi *et al.* (2015), Arshad (2016), valamint Rahman és Anik (2020) eredményeihez csatlakozunk, akik szerint a melegebb hőmérséklet hatása a reproduktív fázisban a legnagyobb, amelyben a hozamok és az outputok nagymértékű romlása figyelhető meg. A csapadékváltozás esetében a vetési és vegetatív fázisokban a csapadék hatása pozitív, amelyről már más szerzők is beszámolnak (Jiang-Koo, 2013; Arshad *et al.*, 2016). A negatív hatásokat a generatív időszakban Ochuondho *et al.* (2014) és a tavaszi-téli csapadéknövekedés esetében Qi *et al.* (2015) és Auci-Vignani (2020) eredményeit erősíti meg.

A dolgozat az extrém meteorológiai események hatását is vizsgálja, külön kiemelve a forró és fagyos napok számának változását, a hőmérséklet és csapadék eltérését a hosszútávú átlagoktól, valamint a hőmérséklet eltérését a hosszútávon tapasztalt extrém hőmérsékleti eseményektől. A klímaváltozás következtében egyre nagyobb gyakorisággal fellépő hidegstressz és hőstressz a növényi produkciót a molekuláris, biokémiai és fiziológiai folyamatok megzavarásán keresztül befolyásolja, így ez a legnagyobb hozamok csökkenését előidéző környezeti tényezők. A hőstressz befolyásolja a

növények tápanyagfelvételét, tápanyaghasznosulását, vegetatív részeinek fejlődését, a fotoszintézis és a légzés intenzitását, terméshozamát és termésminőségét. Az alacsony hőmérséklet kritikus a növények szempontjából, hiszen a természetes növénytársulások előfordulásának, elterjedtségének egyik legfontosabb meghatározója. A mezőgazdasági termesztés esetében a hőmérséklet az a tényező, ami a növények termesztetőségét egy adott területen leginkább limitálja, ezeket az eredményeket a nemzetközi szakirodalom is alátámasztja (Daalgard *et al.*, 2015; Mishra *et al.*, 2015; Bouttes *et al.*, 2018)

Az üzemben rendelkezésre álló inputok hatással vannak a klímaváltozás kezelésére. A nagy földterületen tevékenykedő vállalatok a munkaerőállomány növelésével sem tudják javítani a klímaváltozásból eredő negatív hatásokat. Ezzel ellentétben, klimatikus tényezőket felhasználó modellspecifikációban a magasabb földterület és a tőke megnövelt mennyisége együttesen szignifikánsan és pozitívan hatnak a termelési outputokra, ami arra utal, hogy a nagy földterületen működő és nagy tőkével rendelkező növénytermesztők technikai fejlettségüknél fogva magasabb outputot generálnak a klimatikus kockázatok figyelembevételével is. Az eredmények alátámasztják az irodalom megállapításait (OECD, 2004 és Kovács *et al.*, 2009), miszerint a mezőgazdasági termelők általában kockázatkerülők, a kockázatkerülés mértéke termelőnként és országonként eltérő. Barnes (2006) szerint a klímaváltozás mellett a nagyobb méretű állatállománnyal rendelkező üzemek magasabb hatékonysági szinten működnek kisebb méretű társaiknál. Ahol a fenntarthatóság feltételei jobban teljesülnek, a technikai hatékonyság is magasabb értéket ér el, az inputfelhasználás hatékonyságának javítása mellett (Pourzand-Bakhshoodeh, 2014; Yaqubi *et al.*, 2016).

A hatások kezelésének alapja az üzemek sebezhetőségének feltárása, az enyhítési lehetőségek felállítása és az adaptációs lépések megfogalmazása. A növénytermesztők egyik lehetősége a kockázatkezelésben az olyan hőmérsékleti hatásoknak ellenálló, rövidebb termesztési idejű és kevésbé sérülékeny fajok alkalmazása, valamint az öntözés növelése, amellyel már rövid távon hozamnövekedés érhetnek el, szemben a hagyományos esőztető gazdaságokkal. Az öntözés hatásait már korábbi nemzetközi tanulmányok is igazolták az USA (Schlenker *et al.*, 2005) és Latin Amerika (Mendelsohn-Seo, 2007) esetében. Gazdaságpolitikai oldalról a döntéshozók olyan beruházásokat és szerkezetátalakítási programokat kell előnyben részesítsenek, amelyek a már létező termesztési régiókban, a rendelkezésre álló természeti erőforrásokhoz és a táj mozaikosságához igazítják és növelik az üzemek méretét, termelési szerkezetét és a termesztett fajösszetételt. Ezzel egyidejűleg prioritásként kell kezelni a hatékonyság növelésére irányuló erőfeszítéseket, különös tekintettel a kisméretű gazdaságokban, megfelelő technológiák és többdimenziós piaci kapcsolatok révén.

A hatások mértéke attól függ, hogy a mezőgazdasági termelők és a mezőgazdasági piacok hogyan alkalmazkodnak az éghajlatváltozás hatásaihoz. Ha a termelés a természetesség határának északi peremére húzódik, a hatások a fogyasztókat nem érintik, ezzel szemben a gazdálkodókat igen, akik az átalakult termelési feltételek mellett termelés kieséssel számolhatnak. Ha a gazdálkodók, a kedvezőtlen területeken újabb fajtaikat kezdenek el alkalmazni vagy öntözéses technológiákra állnak át, a fogyasztók jóléti veszteséget szenvednek el a magasabb termelési költségek és ezzel a magasabb piaci árak hatására. Bebizonyosodott, hogy hosszútávon fenntartható adaptációs stratégiák létrehozására van szükség, ezzel együtt a növelni kell a gazdák tudatosságát és adaptációs programokban való részvételi

hajlandóságát, pl. tömegtájékoztatási, képzési és élménypedagógiai eszközök segítségével (Arshad *et al.*, 2016)

A dolgozat harmadik célkitűzése elemezni, hogy a termelési éven belül fennálló különböző fejlődési időszakokban mért meteorológiai tényezők hogyan hatnak az üzemek hatékonyságra. Bár néhány eredmény nem szignifikáns, a dolgozat eddig egyedülálló módon ötvözi a klímaváltozás hatásait az ökonómiai értékeléssel, hazai adatok felhasználásával. A termelési függvény felépítése a szokásos gazdasági tényezőkön kívül tartalmazza az extrém eseményeket, a hosszútávon mért klimatikus tényezők hatásait és a talajjellemzőket. Szintén egyedülálló, hogy a paraméteres becslés során több modellspecifikáció is megjelenik, amelynek fókuszában a rögzített és a véletlen hatásmodell adta eredmények is megjelennek.

Az új kutatási irányokra igény és lehetőség is mutatkozik, ugyanis egyre nagyobb szükség van a klímaváltozás okozta kihívásokat értékelő kutatásokra, illetve a gazdálkodók hatékonyabb működésre való átállását vizsgáló tanulmányokra, legyen szó akár a KAP 2020 utáni időszak specifikus célkitűzéseinek háttérét megalapozó értékelésről vagy a nemzeti klímavédelmi, energiafelhasználási és hatékonyságnövelési célokról. További kutatási lehetőséget látok az üzemek üvegházhatású gáz-kibocsátása és az üzemi hatékonyság közötti kapcsolat feltárására, de a dolgozat alapját képviselő tesztüzemi rendszer adatait tekintve ennek a lehetőségnek a keretei csak korlátozottan (a 2015-ös évre és csak egy szűk sertésstenyésztői mintán) állnak rendelkezésre.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A dolgozat eredményei és következtetései alapján az alábbi új tudományos értékű eredmények fogalmazhatók meg:

1. Módszertanát tekintve újszerű módon mutattam be azokat a klímaváltozásból adódó biofizikai jellemzőket, amelyek a szokásos értelemben vett termelési tényezők mellett hatnak a gazdálkodók hatékonyságára. A szisztematikus irodalmi áttekintés módszerével bemutattam, hogy a nemzetközi szakirodalom egyértelművé teszi a szokásos gazdálkodói tényezők és a klímaváltozás hatására átalakuló biofizikai jellemzők kölcsönhatásainak megváltozását.
2. A szakirodalom alapján beazonosítottam a régióra jellemző leggyakrabban használt hozamokat befolyásoló időjárási változókat, ezek az átlaghőmérséklet és a csapadékösszegek megváltozása, valamint az átlaghőmérséklet és a hőstresszes és hidegstresszes napok számának eltérése a hőmérséklet hosszú távú átlagától, a vizsgált régióra jellemző növénytermesztési szempontból jól elkülöníthető fenológiai fázisokban.
3. A magyar tesztüzemi rendszerben jelenleg nem állnak rendelkezésre idősoros klimatikus és talajtani változók, amellyel a gazdálkodók esetében az éghajlatváltozás hatáselemzése elvégezhető lenne. Az elemzés elengedhetetlen része egy új adatbázis létrehozása, amely a hazai tesztüzem, valamint az AGRI4CAST és EUSOILS adatbázisokat ötvözi. Ezzel lehetőség nyílt a magyar mezőgazdasággal kapcsolatos

olyan kutatási kérdések vizsgálatára, amely az időjárásváltozás hatásainak értékelését teszi lehetővé a mezőgazdasági vállalkozások termelésére és hatékonyságára.

4. A becslések szerint a vetési periódusban mérhető magasabb napi átlaghőmérséklet és magasabb napi csapadékmennyiség pozitívan és szignifikánsan hat a növénytermesztők hatékonyságára. Negatív hatások a generatív fázisban tapasztalhatók, ahol a magasabb napi átlaghőmérséklet és a napi csapadékösszeg növekedése rontja az üzemek hatékonyságát. A megállapítást a legtöbb modellspecifikáció igazolja.
5. A számítások szerint, hogy a 2002-2013 közötti periódusban a generatív fázisban mért extrém, 30°C feletti átlaghőmérséklet rontja a hatékonyságot. A vegetatív és termés hozás fázisban a mért meteorológiai változók eltérései a hosszútávú átlagos hőmérséklet és csapadékmennyiségtől rontja a hatékonysági mutatókat. A hőstresszes napok számának eltérése a hosszú idősoros átlagoktól magyarázza a hatékonyság hiányát.
6. Kimutattam, hogy a legtöbb modellspecifikációban az altalaj és feltalaj jó vízgazdálkodási képességének és a talaj magas szervesanyagtartalmának javításával a növénytermesztők hatékonysága is javulhat, amelyhez következtetéseket és javaslatokat is megfogalmaztam.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A növénytermesztés a klímaváltozás hatásainak leginkább kiszolgáltatott ágazat, a hatások időben és térben differenciáltan jelentkeznek és eltérő károkat okoznak. Nem újkeletű megállapítás, hogy a negatív éghajlati események hozzájárulnak a gyenge gazdasági megtérüléséhez. Világszinten, 2006 és 2015 között az átlagos felszíni levegőhőmérséklet 0,83-0,89 °C-kal növekedett, 2015 volt a valaha mért legmelegebb év, amikor +1 °C-os emelkedést mértek az iparosodás előtti időszakhoz képest. Hazánkban a szélsőséges hőmérsékletű napok száma sokkal gyorsabb ütemben növekszik, mint az évi átlaghőmérséklet, a hőhullámok intenzitása, hossza és gyakorisága is nagymértékben megnövekedett. A csapadékképek térben is időben nagyon változékonyak. Az 1981-2016-os periódusban a 20 mm-t meghaladó csapadékos napok növekedést mutatnak, a száraz időszakok hossza pedig jelentősen megnövekedett. A nyári napi csapadékintenzitás országos átlagban a délnyugati-dunántúli és az északkeleti országrészben csökkent, a csökkenés a tavaszi időszakban is megfigyelhető.

Az éghajlatváltozás előrejelzését az üvegházhatású gázok kibocsátásának és a légköri szennyezőanyagok koncentrációjának alakulása alapján írják le. A klíma előrejelzések alapján Magyarországon 2021-2040 között a hőmérséklet évente 0,8-1,8°C-kal emelkedhet az 1961-1990 közötti bázisperiódus átlagához képest. Az alföldi régió felmelegedése sokkal gyorsabb a dunántúli régióéhoz képest, a nyári időszakban pedig intenzívebb felmelegedésre számíthatunk, mint tavasszal. A csapadék éves mennyisége várhatóan nem fog jelentősen módosulni, az évszakos eloszlásban azonban átrendeződésre számíthatunk.

A legtöbb kutatási eredmény arra a következtetésre jut, hogy a negatív időjárás események hozzájárulnak a gyenge mezőgazdasági hozamokhoz (Chavas *et al.*, 2009; Trnka *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2013; Melkonyan-Asadoorian, 2013; Spinoni *et al.*, 2015; Hatfield-Prueger, 2015; Mishra *et al.*, 2018; Assefa *et al.*, 2020). Míg néhány tanulmány megkérdőjelezi a negatív hatásokat, mások egyenesen pozitív (Deschenes-Greenstone, 2007) eredményekkel számolnak.

Az elemzésben a magyarországi növénytermesztők technikai hatékonyságát számítottuk ki, majd regresszióelemzéssel megvizsgáltuk, hogy az így kapott eredmények, valamint a meteorológiai és a talajtani adatok között milyen kapcsolat áll fent. A nem parametrikus megközelítésben a legnépszerűbb módszert a DEA az adatok burkolófelület-elemzését, a parametrikus megközelítésben a sztochasztikus határelemzést (SFA) alkalmaztuk. Az állandó hatásmodellt a változók változásának időbeli alakulásának megfigyelésére, a véletlen hatásmodellt az üzemben beüli változások feltárása érdekében vezettük be. Az értekezéshez a Tesztüzemi Információs Rendszer 2002-2013 közötti paneladatait, valamint napi meteorológiai és talaj adatokat használtunk.

Eredményeink alátámasztották várakozásainkat, miszerint a klímaváltozásból eredő fenológiai fázisokban bekövetkező negatív hatások Magyarország növénytermesztését is befolyásolják. A mezőgazdasági hatékonyságot befolyásoló környezeti tényezők, így a növekvő hőmérséklet a vetési és vegetatív fázisokban (április, május és június hónapok) pozitívan hatottak a növénytermesztő üzemek technikai hatékonyságának alakulására. Ugyanakkor, az érési szakaszban tapasztalt magas hőmérséklet és a hatékonyság között negatív kapcsolat áll fent, a csökkenő csapadékmennyiség által előidézett szárazság rontotta a magyar növénytermesztés technikai

hatékonyságát. Minden fenológiai periódusban, a klímaváltozás hatására létrejövő száraz időszakok és a csökkenő csapadék-értékek rontották a hatékonyságot. A nagyobb földterület és tőke szignifikánsan és pozitívan hat a termelési outputokra, ami arra utal, hogy a nagy földterületen működő és nagy tőkével rendelkező növénytermesztők technikai fejlettségüknel fogva magasabb outputot generálnak a klimatikus kockázatok figyelembevétele mellett is. A legtöbb modellspecifikációban a talajok magas vízgazdálkodási képessége és a magas szervesanyagtartalom növeli az üzemek hatékonyságát. Bár néhány eredmény nem szignifikáns, a dolgozat eddig egyedülálló módon ötvözi a klímaváltozás hatásait az ágazat ökonómiai értékelésével, Magyarországi adatok felhasználásával. A termelési függvény felépítése a szokásos gazdasági tényezőkön kívül tartalmazza az extrém eseményeket, a hosszútávon mért klimatikus tényezők hatásait, a talajjellemzőket és a jogi forma befolyását is. Az eredmények a „véletlen hatásmodell klimatikus változókkal” modellspecifikáció esetében mutatja a legtöbb szignifikáns magyarázó változót, így ez a modell illeszkedik a legjobban.

9. SUMMARY

The arable sector is most vulnerable to climate change, whether the effects are differentiated over time and space and can cause different damages. It is not a novelty that the negative climate events also contribute to weak economic returns. Globally, the average surface temperature warmed by 0.85-0.89 °C between 2006 and 2015, 2015 was the warmest year ever recorded by +1 °C above the preindustrial levels. Hungary has also observed major changes in days with extreme temperature, which are increasing faster than the average temperature. The number of hot days, the intensity, length and frequency of the heat waves have also increased greatly. The precipitation patterns are volatile over time and space. Over the period 1981-2016, the number of days with 20 mm precipitation increased and the dry periods also increased considerably. The summer precipitation intensity in South-Western Transdanubia and North-Eastern regions decreased, this decrease can also be observed in the spring period.

Climate change projections are based on greenhouse gas and aerosol emission concentration. The results of model calculations show a temperature increase in Hungary in the period 2021-2040 compared to the average of the period 1961-1990 and it is expected to increase by 0.8 – 1.8°C on an annual basis. The temperature warming in the Great Plain region is faster than in the Transdanubia region, and the increase of summertime temperature is expected to be greater than in the spring periods. The amount of the annual precipitation will remain unchanged, however among the seasons large differences can be experienced.

Most research findings conclude that negative meteorological events contribute to weak economic returns (Chavas *et al.*, 2009; Trnka *et al.*, 2011;

Huang *et al.*, 2013; Melkonyan-Asadoorian, 2013; Spinoni *et al.*, 2015; Hatfield-Prueger, 2015; Mishra *et al.*, 2018; Assefa *et al.*, 2020). While some authors challenge these results, others assume that the effects are quite positive (Deschenes-Greenstone, 2007).

The aim of the dissertation is to assess the impacts of climate change on the technical efficiency in the Hungarian crop sector. We apply both the Data Envelopment Analysis and the parametric approach Stochastic Frontier Analysis. The fixed-effect and random-effect models were applied to account for unobserved heterogeneity within farms. The data is obtained by Hungarian Farm Accountancy Data Network 2002-2013 panel dataset, accompanied by daily meteorological and soil quality data.

The estimations show, that the negative impacts of climate change have an impact on the phenology phases and influences the Hungarian arable sector. The environmental factors influencing the agricultural productivity, such as rising temperature in seeding and vegetative periods (April, May and June) have a positive effect on technical efficiency of arable farmers. However, the relationship between the high temperature in generative phase and technical efficiency is negative, the dry period induced by decreasing precipitation reduces the arable farm's efficiency. In every phenology phase, the length of dry periods and the low level of precipitation lower the technical efficiency. The greater land and the larger amount of capital have a positive and significant effect on outputs, which refers that large arable farms with greater land and larger capital are technologically more developed and they can generate more output considering the climate risks. Majority of model specifications suggest that the good water holding capacity of subsoil and topsoil as well as high organic content of soil increases the technical efficiency of farms.

Whilst some results are not significant, the thesis enhances our knowledge with respect to the potential impact of climate change upon crop producing farms, based on Hungarian data. The variables of DEA and SFA models cover the usual economic and legal factors as well as extreme climatic events, long-term climate effects and soil characteristics. The results of random effect model with climatic variables yields the most significant results.

10. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni Prof. Dr. Fogarasi József és Prof. Dr. Fertő Imre vezetőim segítségét, akik szakértelmükkel és a témában való jártasságukkal nagyban hozzájárultak a szakmai fejlődésemhez és a dolgozat megírásához.

Külön köszönöm a NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézetnek az adatok tudományos célra való rendelkezésre bocsátását és a lehetőséget, hogy a kutatás eredményét a megvitathattam különböző tudományos platformokon.

Hálával tartozok a Kaposvári Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola vezetőinek és tanárainak, hogy lehetőséget biztosítottak a munkám befogadására, és hozzájárultak a szakmai előremenetelemhez. Szintén köszönet illeti a 2015-ben felvételiző évfolyamot, akik segítségére mindig számíthattam.

Köszönöm szüleim ösztönzését az iskolába való beiratkozásra. Hálával tartozok férjemnek a kitartó támogatásért, aki a doktori tanulmányaim lebonyolítása miatt költözött velem Magyarországra. Támogatása nélkül nem írnám ezeket a sorokat.

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abdulai, A., Tietje, H. (2007): Estimating technical efficiency under unobserved heterogeneity with stochastic frontier models: Application to northern German dairy farms. *European Review of Agricultural Economics*, 34(3), 393-416. <http://doi.org/10.1093/erae/jbm023>
2. Adom, P. K., Adams, S. (2020). Decomposition of technical efficiency in agricultural production in Africa into transient and persistent technical efficiency under heterogeneous technologies. *World Development*, 129, 104907. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104907>
3. Akhtar, S., LI, G., Ullah, R., Nazir, A., Iqbal, M. A., Raza, M. H., Iqbal, N., Faisal, M. (2018). Factors influencing hybrid maize farmers' risk attitudes and their perceptions in Punjab Province, Pakistan. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(6), 1454–1462. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61796-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61796-9)
4. Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J.E., Shvidenko A. (2007): Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
5. Alvarez, A., del Corral, J., Tauer, L.W., (2012): Modeling Unobserved Heterogeneity in New York Dairy Farms: One-Stage versus Two-Stage Models. *Agricultural and Resource Economics Review*, *Northeastern Agricultural and Resource Economics Association* 41(3), 1-11.
6. Anda, A., Dióssy, L. (2010): Simulation in maize-water relations: a case study for continental climate (Hungary). *Ecohydrology* 3, 487–496.
7. Anda, A., Lőke, Zs., (2003): Simulation of factors influencing maize transpiration: stomatal resistance, crop temperature and intensity of photosynthesis. *Növénytermelés* 52, 351-363.
8. Arshad, M., Amjath-Babu, T.S., Krupnik, T.J., Aravindakshan, S., Abbas, A., Kachelel, H., Müller, K. (2016). Climate variability and yield risk in South Asia's rice–wheat systems: emerging evidence from Pakistan. *Paddy and Water Environment* 15, 249–261. DOI 10.1007/s10333-016-0544-0

9. Assefa, B. T., Chamberlin, J., Reidsma, P., Silva, J. V., van Ittersum, M. K. (2020). Unravelling the variability and causes of smallholder maize yield gaps in Ethiopia. *Food Security*, 12(1), 83–103. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00981-4>
10. Auci, S., Vignani, D. (2020). Climate variability and agriculture in Italy: A stochastic frontier analysis at the regional level. *Economia Politica*. (megjelenés alatt) <https://doi.org/10.1007/s40888-020-00172-x>
11. Audsley E., Pearn K.R., Simota C., Cojocar G., Koutsidou E., Rounsevell M.D.A., Trnka M., Alexandrov V. (2006): What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not. *Environmental Science* 9, 148-162.
12. Audsley, E., Trnka, M., Sabaté, S., Maspons, J., Sanchez, A., Sandars D., Balek J., Pearn, K. (2014): Interactively modelling land profitability to estimate European agricultural and forest land use under future scenarios of climate, socio-economics and adaptation. *Climatic Change*, 128(3-4), 215-227.
13. Azumah, S. B., Donkoh, S. A., Awuni, J. A. (2019). Correcting for sample selection in stochastic frontier analysis: Insights from rice farmers in Northern Ghana. *Agricultural and Food Economics*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0130-z>
14. Bai, Y., Deng, X., Jiang, S., Zhao, Z., Miao, Y. (2019). Relationship between climate change and low-carbon agricultural production: A case study in Hebei Province, China. *Ecological Indicators*, 105, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.003>
15. Bakucs, L.Z., Latruffe, L., Fertő, I., Fogarasi, J. (2010): The impact of EU accession on farms' technical efficiency in Hungary. *Post-Communist Economies* 22(2), 165-175.
16. Baráth, L. Fertő, I. (2013). Heterogenitás és technikai hatékonyság - a magyar specializált szántóföldi növénytermesztő üzemek esete. *Közgazdasági Szemle LX.*, 650-669
17. Bardaji, I., Iraizoz, B. (2015). Uneven responses to climate and market influencing the geography of high-quality wine production in Europe. *Regional Environmental Change*, 15(1), 79–92. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0623-y>
18. Barnes, A.P. (2006). Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of Environmental Management* 80, 287–294.

19. Bartholy, J., Bozó, L., Haszpra, L. (2011): Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. A Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest, 281 p. ISBN 978-963-284-232-5.
20. Bartholy, J., Csima, G., Horányi, A., Hunyady, A., Pieczka, I., Pongrácz, R., Torma, CS., Szépszó, G. (2009): Regional climate models for the Carpathian Basin: validation and preliminary results
21. Bartholy, J., Pongrácz, R., & Gelybó, G. Y. (2007). Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(1), 1–17.
22. Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Szabóné, A.K. (2017): Decadal analysis of future extreme climatic conditions in southern and central European regions, In: 97th Annual Meeting of the American Meteorological Society. Seattle, 2017.01.22-2017.01.26. Paper 546. 6 p.
23. Bekchanov, M., Lamers, J.P.A (2016). Economic costs of reduced irrigation water availability in Uzbekistan (Central Asia). *Regional Environmental Change* 16, 2369–2387.
24. Bellard, B., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M, Courchamp, F. (2013): Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, 19(12), 3740-3748. <https://doi.org/10.1111/gcb.12344>
25. Benedetti, I., Branca, G., Zucaro, R. (2019). Evaluating input use efficiency in agriculture through a stochastic frontier production: An application on a case study in Apulia (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 236, 117609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117609>
26. Benito, B., Solana, J., López, P. (2014): Determinants of Spanish regions' tourism performance: a two-stage, double-bootstrap data envelopment analysis. *Tourism Economics*, 20, 987-1012.
27. Bojnec, S., Fertő, I., Jámbo, A., Tóth, J. (2012): Determinants of Technical Efficiency in Agriculture in New EU Member States from Central and Eastern Europe. *Acta Oeconomica* 64(2), 197-217.
28. Bouttes, M., San Cristobal, M., Martin, G. (2018). Vulnerability to climatic and economic variability is mainly driven by farmers' practices on French organic dairy farms. *European Journal of Agronomy*, 94, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.013>

29. Capalbo, S., Antle, J., Mooney, S., Paustiand, K. (2004). Sensitivity of Carbon Sequestration Costs to Economic and Biological Uncertainties. Montana State University, Department of Agricultural Economics and Economics.
30. Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
31. Chavas, D. R., Izaurrealde, R. C., Thomson, A. M., Gao, X. (2009): Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6-7), 1118-1128. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.02.001>
32. Coelli, T., O'Donnell, C.J., Rao, D.S.P., Battese, G. (1998): An introduction to efficiency and productivity analysis, Springer Science.
33. Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J., Battese, G.E. (2005): An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis (2nd edition). Springer Science-Business Media, New York NY.
34. Contreras, S. (2017): Gender differentials and determinants of female-male holders revenue efficiency during the implementation of the GTP plan in ethiopia: A panel data study. Southern Agricultural Economics Association, 49th Annual Meeting Program, February 4-7.
35. Dakpo, K. H., Lansink, A. O. (2019). Dynamic pollution-adjusted inefficiency under the by-production of bad outputs. *European Journal of Operational Research*, 276(1), 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.040>
36. Dalgaard, C., Hansen, C. W., Kaarsen, N. (2015). Climate Shocks and (Very) Long-Run Productivity. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2665151>
37. Davidson, R., MacKinnon, J. (2003): *Econometric theory and methods*. Oxford: Oxford University Press.
38. de Medeiros Silva, W.K., de Freitas, G.P., Coelho, L.M. J., de Almeida Pinto, P.A.L., Abrahão, R. (2019). Effects of climate change on sugarcane production in the state of Paraíba (Brazil): a panel data approach (1990–2015). *Climatic Change* 154, 195–20.
39. Deschenes, O., Greenstone, M. (2007): The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review* 97(1), 354–85.

40. Deschenes, O., Kolstad, C. (2011). Economic impacts of climate change on California agriculture. *Climatic Change* 109, S365–S386. DOI 10.1007/s10584-011-0322-3
41. Dong, B., Sutton, R. and Woollings, T. (2013): The extreme European summer 2012. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94 (9), 28-32. ISSN 1520-0477
42. Dremák, P. (2011): Fagykárosodás az ökológiai és integrált technológiájú almaültetvényekben, *Klíma-21” Füzetek* 64, 27-31.
43. EEA (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. Publications Office of the European Union. Luxembourg.
44. Erdélyi, É. (2007): A klímaváltozás hatása az őszi búza fejlődési szakaszaira, *Klíma-21” Füzetek* 51, 57-71.
45. Erdélyi, É., Horváth, L., Boksai, D., Ferenczy, A. (2006): How climate change influences the field crop production II. Yield variability of maize, ECO-Conference 2006 (Novi Sad), 7-12. pp.
46. EU (2014): Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species, OJ L 317, 4.11.2014, 35–55.
47. Europai Bizottság (2000): Agenda 2000 CAP Reform Decisions. Impact Analyses, Directorate-General for Agriculture (DG VI), Brussels, February.
48. European Environment Agency (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. EEA Report No 1/2017
49. Farrell, M.J. (1957): The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A.* 120, 253-290.
50. Fatuase, A. I. (2017). Climate change adaptation: A panacea for food security in Ondo State, Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3–4), 939–947. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1825-7>
51. Fezzi, C., Bateman, I. (2015): The Impact of Climate Change on Agriculture: Nonlinear Effects and Aggregation Bias in Ricardian Models of Farmland Values, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 2(1), 57-92.

52. Fogarasi, J. - Kemény, G. - Molnár, A. - Keményné, H. Zs. - Zubor-Nemes, A. - Kiss, A. (2016): Modelling climate effects on Hungarian winter wheat and maize yields. *Studies In Agricultural Economics*, 118(2): 85-90.
53. Gaál, M., (2008): Expected changes in climatic conditions of main crops. *Klíma-21 ' Füzetek*, 55, 28-35. (English Special Edition).
54. Gadanakis, Y., Areal, F. J. (2018). Accounting for rainfall and the length of growing season in technical efficiency analysis. *Operational Research*. <https://doi.org/10.1007/s12351-018-0429-7>
55. Galanopoulos, K., Abas, Z., Laga, V., Hatziminaoglou, I., Boyazoglu, J. (2011). The technical efficiency of transhumance sheep and goat farms and the effect of EU subsidies: Do small farms benefit more than large farms? *Small Ruminant Research*, 100(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.05.008>
56. Galloway, C., Conradie, B., Prozesky, H., Esler, K. (2018). Are private and social goals aligned in pasture-based dairy production? *Journal of Cleaner Production*, 175, 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.036>
57. Giannakis, E., Bruggeman, A. (2018). Exploring the labour productivity of agricultural systems across European regions: A multilevel approach. *Land Use Policy*, 77, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.037>
58. Gorton, M., Davidova, S. (2004): Farm productivity and Efficiency in the CEE Applicant Countries: A Synthesis of Results. *Agricultural Economics*, 30(1), 1-16.
59. Greene, W. (2005a) Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics* 126, 269–303.
60. Greene, W. (2005b) Fixed and random effects in stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 23, 7–32.
61. Guo, L., Dai, J., Wang, M., Xua, J., Luedeling, E. (2014): Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: A case study of apricot flowering in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 1-7.
62. Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015): Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10. <http://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
63. Hoang, V. N.–Coelli, T. 2011. Measurement of agricultural total factor productivity growth incorporating environmental factors: A nutrients balance approach. *Journal of Environmental Economics and Management* 62, 462–474.

64. Hoang, V.-N. (2013). Analysis of productive performance of crop production systems: An integrated analytical framework. *Agricultural Systems*, 116, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.005>
65. Horváth, L. (2008): Földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók elemzésében és értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék.
66. Huang, J., Liu, Y., Ma, L., Su, F. (2013). Methodology for the assessment and classification of regional vulnerability to natural hazards in China: The application of a DEA model. *Natural Hazards*, 65(1), 115–134. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0348-5>
67. IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Frequently Asked Question 71. <http://doi.org/10.1007/s10894-008-9162-1>
68. IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Frequently Asked Question 71. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10894-008-9162-1>
69. IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press. Cambridge.
70. IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press. Cambridge. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>
71. Iyanda, R.A., Pranuthi G., Dubey S.K., Tripathi SK. (2014): Use of dssat cereals maize model as a tool of identifying potential zones for maize production in Nigeria. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2, 69-75.
72. Jan, P., Dux, D., Lips, M., Alig, M., Dumondel, M. (2012). On the link between economic and environmental performance of Swiss dairy farms of the alpine area. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(6), 706–719. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0405-z>

73. Janssen, S., Andersen, E., Athanasiadis, J.N., Van Ittersum, M. (2008): An European database for integrated assessment and modeling of agricultural systems. International Congress on Environmental Modelling and Software. 40. <http://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2008/all/40>
74. Jiang, Y, Koo W.W. (2014). Estimating the local effect of weather on field crop production with unobserved producer behavior: a bioeconomic modeling framework. *Society for Environmental Economics and Policy Studies*002016(3), 279-302.
75. Jones P.D., Lister D.H., Jaggard K.W., J.D. Pidgeon (2003): Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change* 58, 93-108.
76. Kamarási, V., Mogyorósy, G. (2015) Szisztematikus irodalmi áttekintések módszertana és jelentősége. *Orvosi Hetilap* 156(38), 1523–1531.
77. Keil, A., Zeller, M., Wida, A., Sanim, B., Birner, R. (2008). What determines farmers' resilience towards ENSO-related drought? An empirical assessment in Central Sulawesi, Indonesia. *Climatic Change*, 86(3–4), 291–307. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9326-4>
78. Kemény, G., Molnár, A., Fogarasi, J., Bene, E., Domán, Cs., Keményné, H.Zs., Lőrincz, K., Vári, E., Zubor-Nemes, A., Vigh, E.Z. (2019): A klímaváltozás hatásának modellezése a főbb hazai gabonafélék esetében. Agrárgazdasági Kutató Intézet.
79. Keramidou, I., Mimis, A. (2011): An application of the double bootstrap data envelopment analysis to investigate sources of efficiency in the Greek poultry sector. *World's Poultry Science Journal* 67, 675-686.
80. Keszthelyi, SZ., Kis-Csatári, E. (2019): A Tesztüzemi Információs Rendszer Eredményei 2017. Agrárgazdasági Információk.
81. Keszthelyi, SZ., Molnár, A. (2015): A Tesztüzemi Információs Rendszer eredményei 2013. Agrárgazdasági Információk.
82. Key, N., Sneeringer, S. (2014): Potential effects of climate change on the productivity of US dairies. *American Journal of Agricultural Economics*, 96(4), 1136-1156.
83. Khanal, U., Wilson, C., Lee, B., Hoang, V.-N. (2018). Do climate change adaptation practices improve technical efficiency of smallholder farmers? Evidence from Nepal. *Climatic Change*, 147(3–4), 507–521. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2168-4>

84. Khanjarpanah, H., Pishvaei, M. S., Seyedhosseini, S. M. (2017). A risk averse cross-efficiency data envelopment analysis model for sustainable switchgrass cultivation location optimization. *Industrial Crops and Products*, 109, 514–522. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.005>
85. Kovács, G., Aliczki, K., Bartha, A., Fogarasi, J., Garay, R., Kemény, G., Kozak, A., Kürthy, G., Nyárs, L., Potori, N., Varga, T., Vőneki, É. (2009): Kockázatok és kockázatkezelés a mezőgazdaságban. *Agrárgazdasági Tanulmányok* 6. ISBN 978 963 491 536 2.
86. Kunimitsu, Y., Kudo, R., Iizumi, T., Yokozawa, M. (2016). Technological spillover in Japanese rice productivity under long-term climate change: Evidence from the spatial econometric model. *Paddy and Water Environment*, 14(1), 131–144. <https://doi.org/10.1007/s10333-015-0485-z>
87. Lachaud, M. A., Bravo-Ureta, B. E., Ludena, C. E. (2017). Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change*, 143(3–4), 445–460. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2013-1>
88. Lakatos, L., Gonda, I., Soltész, M., Szabó, Z., Zhong-Fu, S., Nyéki, J. (2009): A nyári metszés hatása a sugárzásviszonyokra almaültetvényekben, „*Klíma-21*” Füzetek 58, 52-57.
89. Lakatos, L., Szabó, T., Sun, Z., Soltész, M., Szabó, Z., Dussi, M.C., Nyéki, J. (2010): The role of meteorological variables of blossoming and ripening within the tendency of qualitative indexes of sourcherry. *International Journal of Horticultural Sciences* 16, 7-10.
90. Latruffe, L., Davidova, S. (2008): Application of a double bootstrap to investigation of determinants of technical efficiency of farms in Central Europe. *Journal of Productivity Analysis* 29, 183-191.
91. Latruffe, L., Fogarasi, J., Desjeux, Y. (2012): Efficiency, productivity and technology comparison for farms in Central and Western Europe: The case of field crop and dairy farming in Hungary and France. *Economic Systems*, 36(2): 264-278.
92. Li, X.L., Luo, Y.Z., Gao, Q., Dong, S.C., Yang, X.S. (2008). Farm Production Growth in the Upper and Middle Parts of the Yellow River Basin, China, During 1980-1999. *Agricultural Sciences in China* 7(3), 344-355.
93. Liang, X.-Z., Wu, Y., Chambers, R. G., Schmoldt, D. L., Gao, W., Liu, C., Liu, Y.-A., Sun, C., Kennedy, J. A. (2017). Determining climate effects on US total agricultural productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(12), E2285–E2292. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615922114>

94. Ma, L., Feng, S., Reidsma, P., Qu, F., Heerink, N. (2014). Identifying entry points to improve fertilizer use efficiency in Taihu Basin, China. *Land Use Policy* 37, 52-59.
95. Makó, A., Máté, F., Szász, G., Tóth, G., Sisák, I., Hernádi, H. (2009): A talajok klímaérzékenységének vizsgálata a kukorica termésreakciói alapján, „*Klíma-21*” Füzetek, 56,18-35.
96. Makombe, G., Kelemework, D., Aredo, D. (2007). A comparative analysis of rainfed and irrigated agricultural production in Ethiopia. *Irrigation and Drainage Systems*, 21(1), 35–44. <https://doi.org/10.1007/s10795-007-9018-2>
97. Mayberry, D., Ash, A., Prestwidge, D., Godde, C. M., Henderson, B., Duncan, A., Blummel, M., Ramana Reddy, Y., Herrero, M. (2017). Yield gap analyses to estimate attainable bovine milk yields and evaluate options to increase production in Ethiopia and India. *Agricultural Systems*, 155, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.007>
98. Meeusen, W., van den Broeck, J. (1977): Technical efficiency and dimension of the firm: Some results on the use of frontier production functions. *Empirical Economics* 2(2), 109-122.
99. Melkonyan, A., Asadoorian, M.O. (2014). Climate impact on agroecology in semiarid region of Armenia. *Environment, Development and Sustainability* 16, 393–414. DOI 10.1007/s10668-013-9483-8
100. Mendelsohn, R., & Seo, N. (2007). *Changing farm types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin American agriculture*. Technical Report World Bank Policy Research Working Paper, The World Bank, Washington D.C., USA.
101. Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissoli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dalh A., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzak K., Mage F., A. Mestre, Nordli O., Penuelas J., Pirinen P., Remisová V., Scheffinger H., Striz M., Susnik A., VanVliet A., Wielgolaski F.-E., Zach S., Züst A., (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 1969-1976.
102. Mezösi, G. (2017): *The Physical Geography of Hungary, Geography of the Physical Environment*, Springer International Publishing, London.
103. Mezösi, G., Meyer, B. C., Loibl, W., Aubrecht, C., Csorba, P., & Bata, T. (2013): Assessment of regional climate change impacts on Hungarian landscapes. *Regional Environmental Change* 13(4), 797–811.

104. Mishra, A. K., Bairagi, S., Velasco, M. L., Mohanty, S. (2018). Impact of access to capital and abiotic stress on production efficiency: Evidence from rice farming in Cambodia. *Land Use Policy*, 79, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.016>
105. Mishra, A. K., Mottaleb, Kh. A., Khanal, A. R., Mohanty, S. (2015). Abiotic stress and its impact on production efficiency: The case of rice farming in Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 199, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.006>
106. Mishra, S.K. (2007): A Brief History of Production Functions. North-Eastern Hill University, Shillong (India), MPRA Paper No. 5254.
107. Moberg, A., Jones, P. D. (2005): Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, *International Journal of Climatology* 25(9), 1149-1171. <http://doi.org/10.1002/joc.1163>
108. Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Dalgaard, T., Knudsen, M. T., Nguyen, T. L. T., Borek, R., Hermansen, J. E. (2015). Joint Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. *Journal of Cleaner Productions*, 106, 521–532. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.008>
109. Mohan, P. S., Spencer, N., Strobl, E. (2019). Natural Hazard-Induced Disasters and Production Efficiency: Moving Closer to or Further from the Frontier? *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(2), 166–178. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0218-9>
110. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097
111. Moriondo, M., Bindi, M., Kundzewicz Z.W., Szwed, M., Chorynski, A., Matczak, P., Radziejewski, M., McEvoy, D., Wreford, A. (2009): Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), 657-679.
112. Mukherjee, D., Bravo-Ureta, B.E., De Vries, A. (2013): Dairy productivity and climatic conditions: econometric evidence from South-eastern United States. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 57(1), 123-140.
113. Mutabazi, K. D., Sieber, S., Maeda, C., Tscherning, K. (2015). Assessing the determinants of poverty and vulnerability of smallholder farmers in a

- changing climate: The case of Morogoro region, Tanzania. *Regional Environmental Change*, 15(7), 1243–1258. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0772-7>
114. Nabuurs G.J., Shelhaus M.J., Mohren G.M.J., Field C.B. (2003): Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology*, 9, 152-160.
 115. Nagy, P., Szabó, T., Soltész, M., Nyéki, J., Szabó, Z. (2011): A csapadékos időjárás hatása az almaültetvény tápanyagfelvételére és – ellátottságára, „*Klíma-21*” Füzetek 64, 22-26.
 116. Nagy, P., Szabó, Z., Nyéki J., Soltész M. (2009): Tavaszi fagyhatás indukálta rendszertelen terméshozás És tápanyag-felvételi anomália integrált almaültetvényben, „*Klíma-21*” Füzetek 58, 58-64.
 117. Nelson, G.C. - van der Mensbrugge, D. - Blance, H.A.E. - Hasegawag, K.C.T. - Havlikh, P. - Heyhoed, E. - Kylef, P. - Lotze-Campeni, H. - von Lampej, M. - d’Croza, D.M. - van Meijlk, H. - Mulleri, C. - Reillye, J. - Robertsona, R. - Sandsl, R.D. - Schmitzi, C. - Tabeauk, A. - Takahashig, K. - Valin, H. - Willenbockelm, D. (2014): Agriculture and climate change in global scenarios: why don’t the models agree. *Agricultural Economics* 45, 85-101.
 118. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (2017): A 2017-2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. https://www.kormany.hu/download/f/6a/f0000/N%C3%89S_2_strat%C3%A9gia_2017_02_27.pdf
 119. Njuki, E., Bravo-Ureta, B. E., O’Donnell, C. J. (2019). Decomposing agricultural productivity growth using a random-parameters stochastic production frontier. *Empirical Economics*, 57(3), 839–860. <https://doi.org/10.1007/s00181-018-1469-9>
 120. Nordhaus, W.D (1980): Energy Future: Report of the Energy Project at the Harvard Business School, *Natural Resources Journal* 2, 135-139.
 121. Nordhaus, W.D. (2011): The economics of tail events with an application to climate change. *Review of Environmental Economics and Policy* 5(2), 240–257, doi:10.1093/reep/rer004.
 122. Nordhaus, W.D. (2018): Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics, Nobel Prize in Economics documents 2018-3, Nobel Prize Committee.

123. Nordhaus, W.D., Moffat, A. (2017): A survey of global impacts of climate change: replication, survey methods, and a statistical analysis. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 23646.
124. Ochuodho, T.O, Olale, E., Van Damboise, A.L.J., Daigle, J.L., Meng, F.R., Li, S, Chow, T.L. (2014). How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Regional Environmental Change volume 14*, 1563–1574.
125. OECD (2004): Decoupling - Policy Implications AGR/CA/APM (2005)22/FINAL.
126. OECD (2013). Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters. OECD Studies on Water. <http://doi.org/10.1787/97892264200449-en>
127. Ojo, T. O., Ogundeji, A. A., Babu, S. C., Alimi, T. (2020). Estimating financing gaps in rice production in Southwestern Nigeria. *Journal of Economic Structures*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40008-020-0190-y>
128. Olesen J. E., Trnka M., Kersebaum K.C., Skjelvag A.O., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rossi F., Kozyra J., Micale F. (2010): Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34, 96-112.
129. Olesen J.E., Carter T.R., Díaz-Ambrona C.H., Fronzek S., Heidmann T., Hickler T., Holt T., Mínguez M.I., Morales P., Palutikof J., Quemada M., Ruiz-Ramos M, Rubaek G., Sau F., Smith B., Sykes M. (2007): Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143.
130. Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16, 239-262. [http://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](http://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
131. OMSZ (2019): National Inventory Report 1985-2017. <https://unfccc.int/documents/194931>
132. Pereda, P.C., de Oliveira Alves, D.C. (2016): Climate Impacts on Dengue Risk in Brazil: Current and Future Risks. In: Climate Change and Health. Springer DOI:10.1007/978-3-319-24660-4_13
133. Pinke, Z., & Lövei, G. L. (2017): Increasing temperature cuts back crop yields in Hungary over the last 90 years. *Global Change Biology*, 23(12), 5426–5435. <http://doi.org/10.1111/gcb.13808>

134. Piot-Lepetit, I., Le Moing, M. (2007). Productivity and environmental regulation: the effect of the nitrates directive in the French pig sector. *Environmental and Resource Economy* 38, 433–446. DOI 10.1007/s10640-007-9086-7
135. Pitt, M. M., Lee, L. F. (1981): The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, 9(1), 43-64. [http://doi.org/10.1016/0304-3878\(81\)90004-3](http://doi.org/10.1016/0304-3878(81)90004-3)
136. Poudel, S., Kotani, K. (2013). Climatic impacts on crop yield and its variability in Nepal: do they vary across seasons and altitudes? *Climatic Change* 116, 327–355. DOI 10.1007/s10584-012-0491-8
137. Pourzand, F., Bakhshoodeh, M. (2013). Technical efficiency and agricultural sustainability–technology gap of maize producers in Fars province of Iran. *Environment, Development and Sustainability* 16, 671–688. DOI10.1007/s10668-013-9501-x
138. Power, B., Cacho, O. J. (2014). Identifying risk-efficient strategies using stochastic frontier analysis and simulation: An application to irrigated cropping in Australia. *Agricultural Systems*, 125, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.002>
139. Prentice I. C., Cramer W., Harrison S. P., Leemans R., Monserud R. A., Solomon A. M. (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography* 19, 117-134.
140. Qi, L., Bravo-Ureta, B. E., Cabrera, V. E. (2015). From cold to hot: Climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8664–8677. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9536>
141. Racskó, J., Lakatos, L., Nyéki, J., Soltész, Mi., Szabó, Z. (2008): Almafajták gyümölcsseinek napégés érzékenysége eltérő növekedési erélyű alanyokon, „Klíma-21” Füzetek 58, 13-36.
142. Rahman, S., Anik, A. R. (2020). Productivity and efficiency impact of climate change and agroecology on Bangladesh agriculture. *Land Use Policy*, 94, 104507. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104507>
143. Regan, P.M., Kim, H., Maiden, E. (2019). Climate change, adaptation, and agricultural output. *Regional Environmental Change* 19, 113–123. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1364-0>
144. Reidsma, P., Oude Lansink, A., Ewert, F. (2009). Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed

- adaptation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s11027-008-9149-2>
145. Ripple, W.J, Wolf, C., Newsome, T.M., Barnard, P., Moomaw, W.R. (2019): World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience* 70(1), 8-12 DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>
 146. Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S., Imeson, A. (2008): Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453(15), 353-258. doi:10.1038/nature06937
 147. Schmidt, P., Knox-Lovell, C. (1979): Estimating Technical and Allocative Efficiency Relative to Stochastic Production and Cost Frontiers. *Journal of Econometrics* 9(3), 343-366.
 148. Schmidt, P., Sickles, R. C. (1984): Production frontiers and panel data. *Journal of Business and Economic Statistics*, 2(4), 367-374. <http://doi.org/10.1080/07350015.1984.10509410>
 149. Schlenker, W., Hanemann, W., & Fisher, A. (2005). Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *The American Economic Review*, 95 , 395–406.
 150. Simar, L., Wilson, P. (2007): Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64.
 151. Sippel, S., Otto, F.E.L. (2014): Beyond climatological extremes - assessing how the odds of hydrometeorological extreme events in South-East Europe change in a warming climate. *Climatic Change* 125(3-4), 381–398. <http://doi.org/10.1007/s10584-014-1153-9>
 152. Solano, C., León, H., Pérez, E., Tole, L., Fawcett, R. H., Herrero, M. (2006). Using farmer decision-making profiles and managerial capacity as predictors of farm management and performance in Costa Rican dairy farms. *Agricultural Systems*, 88(2), 395–428. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.07.003>
 153. Solís, D., Letson, D. (2013). Assessing the value of climate information and forecasts for the agricultural sector in the Southeastern United States: Multi-output stochastic frontier approach. *Regional Environmental Change*, 13(S1), 5–14. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0354-x>

154. Soltész, M., Nyéki, J., Lévai, P. (2011): Aszály és szárazodás elleni küzdelem a kertészeti termesztésben, „*Klíma-21*” Füzetek 64, 5-11.
155. Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J., & Antofie, T. (2015). Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4197–4209. <http://doi.org/10.1002/joc.4279>
156. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & Barbosa, P. (2015). European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Global and Planetary Change* 127, 50–57.
157. Swinnen, F.J.M. (2009): Reforms, Globalization and Endogenous Agricultural Structures. *Agricultural Economics*, 40(1), 719-732.
158. Szépszó, G., Bartholy, J., Pieczka, I., Pongrácz, R., Sábitz, J., Szépszó, G., Zsebeházi, G., Szabó, P., Illy, T. 2015. A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei – Tanulmány, Országos Meteorológiai Szolgálat - Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék
159. Szépszó, G., Horányi, A. (2009): Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 112(3–4), 203-231.
160. Tang, J., Folmer, H., Xue, J. (2015). Technical and allocative efficiency of irrigation water use in the Guanzhong Plain, China. *Food Policy*, 50, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.10.008>
161. Terbe, I. (2015): Termesztéstechnológiai lehetőségek és megoldások a zöldségtermesztésben a klímaváltozás hatásainak ellensúlyozására, *Agrárágazat* 16, 32-43.
162. Thiele, H., Brodersen, C.M. (1999): Differences in farm efficiency in market and transition economies: empirical evidence from West and East Germany. *European Review of Agricultural Economics* 26, 331-347.
163. To-The, N., Nguyen-Anh, T. (2020). Impact of government intervention to maize efficiency at farmer’s level across time: A robust evidence in Northern Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00662-9>
164. Trapp, N. (2014). The Economic Impacts of Climate Change and Options for Adaptation: A Study of the Farming Sector in the European Union. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg. Retrieved from <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2014/7069/>

165. Trnka, M., Olesen, J. E., Kersebaum, K. C., Rötter, R. P., Brázdil, R., Eitzinger, J., Rajdl, K. (2016). Changing regional weather-crop yield relationships across Europe between 1901 and 2012. *Climate Research* 70, 195-214. <http://doi.org/10.3354/cr01426>
166. Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca P., Gobin, P., Vučetić, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D., Žalud, Z. (2011): Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17(7), 2298-2318. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x>
167. Tsionas, E. G. (2002): Stochastic frontier models with random coefficients. *Journal of Applied Econometrics*, 17(2), 127–147. <http://doi.org/10.1002/jae.637>
168. Valin, H., Sands, R.D., van der Mensbrugge, D., Nelson, G.C., Ahammad, H., Blanc, E., Bodirsky, B., Fujimori, S., Hasegawai, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Mason-D’Croz, D., Paltsev, S., Rolinski, S., Tabeau, A., van Meijl, H., von Lampe, M. and Willenbockel, M. (2014): Agriculture and climate change in global scenarios: why don’t the models agree. *Agricultural Economics* 45, 1–17.
169. Vanschoenwinkel, J., Mendelsohn, R., Van Passel, S. (2016): Do Western and Eastern Europe have the same agricultural climate response? Taking adaptive capacity into account. *Global Environmental Change*. 41, 74-87. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.09.003>
170. Verburg, P. H., Chen, Y., Veldkamp, T.A. (2000). Spatial explorations of land use change and grain production in China. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 82(1), 333–354. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00236-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00236-X)
171. Yao, S., Li, H. (2010). Agricultural Productivity Changes Induced by the Sloping Land Conversion Program: An Analysis of Wuqi County in the Loess Plateau Region. *Environmental Management* 45, 541–550. DOI 10.1007/s00267-009-9416-3
172. Yaqubi, M., Shahraki, J., Sabouhi Sabouni, M. (2016). On dealing with the pollution costs in agriculture: A case study of paddy fields. *Science of The Total Environment*, 556, 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.193>

173. You, L., Rosegrant, M.W., Wood, S., Sun, W. (2019). Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1009–1014.

12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBŐL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

KÖNYV

Kemény, G., Molnár, A., Fogarasi, J., Bene, E., Domán, C., Keményné, H.Z., Lőrincz, K., Vári, E., Vígh, E., Zubor-Nemes, A. (2019): A klímaváltozás hatásának modellezése a főbb hazai gabonafélék esetében. Agrárgazdasági Könyvek NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Budapest. 115 p. ISBN 978-963-491-605-5.

KÖNYVFEJEZET

Vígh, E. (2017): Az éghajlatváltozás társadalmi hatásai a mezőgazdasági szektorban, in Kutatás-fejlesztés - innováció az agrárium szolgálatában, Doktoranduszok Országos Szövetsége – Agrártudományi Osztály, Földművelésügyi Minisztérium és a Mezőgazda Kiadó pp. 233-241.

JELENTÉSEK

Fogarasi, J., Molnár, A., Kemény, G., Keményné Horváth, Zs., Lőrincz, K., Vígh, E., Zubor-Nemes, A., Vári, E. (2017): A klímaváltozás hatása a magyar mezőgazdaságra Agrárgazdasági Kutató Intézet - Zárójelentés.

Kis-Csatári, E., Vígh, E., Pesti, Cs., Pozsár, B., Borka, Gy. (2017): Üzemszintű környezeti-mezőgazdasági pilot adatgyűjtés és adatfeldolgozás, Agrárgazdasági Kutató Intézet - Zárójelentés.

Biró, Sz., Fogarasi, J., Füzi, T., Hamar, A., Keményné, H.ZS., Király, G., Koós, B., Lámfalusi, I., Miskó, K., Vásáry, V., Vígh, E., Zubor-Nemes, A (2018).: Éghajlatváltozás alkalmazkodás a magyar mezőgazdaságban. KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 „NATÉR továbbfejlesztése” projekt.

TANULMÁNY (KÖTETBEN MEGJELENT)

Vígh, E. (2016): A klímaváltozás hatásai a mezőgazdasági termelésre, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Közgazdász Kutatók és Doktoranduszok III. Téli Konferenciája, ISBN 978-963-7692-75-8.

Vígh Enikő (2017): A klímaváltozás értékelése a magyar mezőgazdaságban. In Bodnár Károly, Privóczki Zoltán István (szerk.): Tudomány a vidék szolgálatában. Konferenciakötet. Csongrád: MTA Szegedi Munkabizottság, Agro-Assistance Kft., pp. 62–71.

Vígh, E., Fogarasi, J., Fertő, I. (2017): Efficiency and productivity analysis of farms in a changing climate environment, In Hungarian agriculture, In: Szendrő Katalin, Horváthné Kovács Bernadett, Barna Róbert (szerk.): Proceedings of the 6th International Conference of Economic Sciences. Kaposvár University, 2017. pp. 413-420.

FOLYÓIRATCIKK

Bakó, B., Berezvai, Z., Isztin, P. Vigh, E.Z. (2020) Does Uber affect bicycle-sharing usage? Evidence from a natural experiment in Budapest: A rejoinder. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 138: 564-566. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.06.011>

Bakó, B., Berezvai, Z., Isztin, P. Vigh, E.Z. (2020) Does Uber affect bicycle-sharing usage? Evidence from a natural experiment in Budapest. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 133: 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.010>

Vígh, E., Fertő, I. (2019) A klímaváltozás hatása a mezőgazdálkodók gazdasági döntéseire. Szisztematikus irodalmi áttekintés. *Közgazdász Fórum*, 140: XX-XX (megjelenés alatt).

Vígh, E., Fogarasi, J., Fertő, I. (2018): Impacts of climate change on technical efficiency in the Hungarian arable sector. *Studies in Agricultural Economics* 120: 41-46 <https://doi.org/10.7896/j.1729>

Vígh, E. (2018): Az éghajlatváltozást értékelő közgazdasági megközelítések. *Partiumi Egyetemi Szemle*, XVII. évfolyam.

13. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Kis-Csatári, E., Vígh, E., Pesti, Cs., Pozsár, B., Borka, Gy. (2017): Üzemszintű környezeti-mezőgazdasági pilot adatgyűjtés és adatfeldolgozás, Agrárgazdasági Kutató Intézet - Zárójelentés.

Magyar Haltermelők És Halászati Vízterület-Hasznosítók Szövetsége (2017): Jelentés a Szövetség Működésének 2016. évi eredményeiről. <http://magyarhal.hu/uploads/files/eves-jelentes/Feherkonyv2016.pdf>

Bojtárné Lukácsik, M., Radócné Kocsis, T., Dudás, Gy., Székelyhidi, K., Vásáry, V., Rác, K., Hamza, E., Szabó, D., Vágó, Sz., Vígh, E.Z. (2017): A halfeldolgozó üzemek termelési viszonyainak felmérése, Agrárgazdasági Kutató Intézet - Kutatási jelentés.

Bojtárné Lukácsik, M., Radócné Kocsis, T., Dudás, Gy., Székelyhidi, K., Vásáry, V., Rác, K., Hamza, E., Szabó, D., Vágó, Sz., Vígh, E.Z. (2017): A halfeldolgozás vizsgálatára a feldolgozási alapanyag származási helyét illetően, Agrárgazdasági Kutató Intézet - Kutatási jelentés.

Magyar Haltermelők És Halászati Vízterület-Hasznosítók Szövetsége (2016): Jelentés a Szövetség Működésének 2015. évi eredményeiről. http://magyarhal.hu/uploads/files/eves-jelentes/2015_jelentes.pdf

14. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ

Vígh Enikő 1990 október 17-én született és a romániai Micske (Mișca) településen nevelkedett óvónő édesanya és vállalkozó édesapa gyermekeként. Margittán érettségizett az Octavian Goga Főgimnáziumban.

Közgazdász alapkori diplomáját a nagyváradi Partiumi Keresztény Egyetem Gazdálkodás és Társadalomtudományi Karának Menedzsment szakirányán szerezte meg 2012-ben, majd mesterfokú diplomáját ugyanitt 2014-ben védte meg a Vállalkozások Fejlesztésének Menedzsmentje szakon. Agrármérnökként 2015-ben diplomázott a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán.

2015 nyarán felvételt nyert a Kaposvári Egyetem Gazdaságtudományi Karának Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskolájába, ahol 2018-ban sikeres szigorlati vizsgát tett.

2015 októbertől az Agrárgazdasági Kutató Intézet Természeti erőforrás-gazdálkodás a mezőgazdaságban csoport tudományos segédmunkatársa. Az itt töltött idő alatt részt vett több hazai kutatásban. 2019 májusától részt vesz a *„Gazdálkodásból származó környezeti közjavak alkalmazásának ösztönzése innovatív és hatásos szerződéses megoldásokkal”* elnevezésű Horizon2020-as nemzetközi kutatásban.

2017-ben óraadóként, később tanársegédként kezdett el dolgozni a nagyváradi Partiumi Keresztény Egyetem Gazdaság és Társadalomtudományi Karának Gazdaságtudományi Tanszékén. Az egyetemen több tudományos és hallgatóknak szóló esemény megszervezésében aktívan részt vesz.