

Klímakockázati stresszteszt: a karbonár-sokk csődvalószínűségeire kifejtett hatása a magyar bankrendszerben*

Várgedő Bálint

A tanulmány egy hitelintézetekre lefolytatott átállási klímakockázati stresszteszt módszertanát és eredményeit tartalmazza, fókuszában az elemzéshez fejlesztett szektorális modul metodológiájával. A szektorális modul egy ársokkot terít szét a magasabb üvegházhatásúgáz-intenzitású tevékenységek, valamint a hozzájuk kapcsolódó szektorok között az ágazati kapcsolatok mérlege alapján képzett szektorális hálózat segítségével. Az eredmények szerint az átállásnak leginkább kitett a villamosenergia- és gázellátó szektor. E két szektor csődvalószínűsége az alappályához képest 1,5–2,3 százalékponttal is növekedhet. Az ágazatok átállási kockázatai kifejezetten heterogének. Monte Carlo-szimulációk alapján a magyar bankok átállási kockázatainak mértéke is jelentős különbségeket mutat. A bemutatott módszertan előnye, hogy képes megbecsülni a makrogazdasági sokkok nagyságát, a szektorok között fennálló átállási különbségeket, és könnyen beilleszthető a stressztesztelési folyamatokba.

Journal of Economic Literature (JEL) kódok: G21, G32, Q54

Kulcsszavak: klímakockázati stresszteszt, átállási kockázat

1. Bevezetés

A klímaváltozás pénzügyi rendszerre kifejtett hatásának vizsgálata az elmúlt években új kihívásként jelent meg a jegybankok, felügyeleték és a piaci szereplők számára. A klímakockázati stresszteszt mint kockázatmérő eszközök a probléma előretekintő volta miatt ismét a vizsgálódás középpontjába kerültek, mivel a pusztán historikus adatokon nyugvó módszertanok felhasználhatósága a témában limitált. Többek között a Financial Stability Board által felállított, a klímaváltozással kapcsolatos nyilvánosságra hozatalok esetén irányadó *Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) (2017)* is ajánlásként fogalmazza meg a vállalatok és pénzügyi intézmények számára scenárióelemzések és stresszteszt alkalmazását.

* A jelen kiadványban megjelenő írások a szerzők nézeteit tartalmazzák, ami nem feltétlenül egyezik a Magyar Nemzeti Bank hivatalos álláspontjával.

Várgedő Bálint a Magyar Nemzeti Bank Fenntartható pénzügyek főosztályának elemzője, és a Budapesti Corvinus Egyetem Gazdálkodástani Doktori Iskola PhD-hallgatója. E-mail: vargedob@mn.hu

A magyar nyelvű kézirat első változata 2022. augusztus 1-jén érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <https://doi.org/10.25201/HSZ.21.4.57>

Az elemzés során egy karbonár sokkhatását számszerűsítem a különböző ágazatokban tevékenykedő vállalatok hitelkockázatára, azon belül is a csődvalószínűsége. A karbonárazás a szakpolitikák szerint az egyik leghatékonyabb eszköz a karbonemisszió csökkentésére (*Nordhaus 1993; Stern 2007*), emellett pedig elterjedt is. Az Európai Unióban a karbonárazás az Emission Trading System (ETS) kereskedési mechanizmuson keresztül került implementálásra. Számos uniós ország (például Ausztria) az ETS mellett karbonadó segítségével is tervezi csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását. A befolyó bevételeknek – akár karbonadó, akár karbonkvóta a forrásuk – különféle felhasználási területei lehetnek a központi költségvetésekben, többek között az átállás felgyorsításának támogatása, a munkát terhelő adók csökkentése vagy a rászorulóknak nyújtott célzott transferek (*IMF 2022*). Ezek a költségvetési lehetőségek rövid távon is jelentősen csökkenthetik a makrogazdasági veszteségeket az IMF számításai alapján. Az elemzés kockázati fókuszja miatt azonban ezektől eltekintettem, ugyanis az átállási kockázatoknak leginkább kitett szektorok számára ezek az intézkedések (pl. az átállás gyorsítása) nem feltétlen jelentenek könnyebbséget.

A karbonár-emelkedés a világgpiaci olajárak növekedésén keresztül került implementálásra a Polaris makrogazdasági modell (*Soós et al. 2020*) segítségével. Hazánk esetén ez a fosszilis energiahordozók inputköltségének megnövekedését jelenti, akárcsak egy karbonár-emelés, hiszen Magyarország nettó energiaimportőr, az olajfelhasználás 87 százaléka importból származik (*Eurostat 2022a*). A makrogazdasági sokkhatás ezt követően egy szektorális modell segítségével terjed szét az egyes ágazatok között. A modell az egyes ágazatok karbonemisszió-intenzitásával arányos elsődleges sokkokat diffuzálja egy szektorális hálózat segítségével, amely az ágazatok input-output táblái alapján készül. Végül *Horváth (2021)* vállalati csődvalószínűség (PD)-modelljének segítségével kalibrálja az ágazatspecifikus csődvalószínűségek nagyságát.

A tanulmány újdonságértéke a hazai bankszektor rövid távú átállási kockázatainak felmérése és számszerűsítése, főképp a vállalati hitelportfóliók csődvalószínűsége esetén. Míg a nemzetközi szakirodalomban vannak olyan gyakorlatok, melyek a klímaváltozás rövid távú átállási kockázatainak elemzését végzik (*Vermeulen et al. 2018; Guth et al. 2021*), ezek a módszertanok hazánkban – adathiány és nem nyilvános modellek használata miatt – gyakran nem implementálhatóak. Az említett elemzések nem vizsgálták, mekkora különbség lehet a bankrendszeren belül a különböző bankok átállási kockázatainak mértékében. Ezt a heterogenitást egy Monte Carlo-szimuláció segítségével számszerűsítem hét meghatározó magyar bank esetén. A tanulmány ezenfelül azt célozza, hogy a benne alkalmazott módszertant a későbbiekben a hitelintézetek is használni tudják saját klímakockázati elemzéseikben.

A tanulmány kockázati fókuszja miatt elsősorban az alacsony karbonkibocsátású gazdaságra történő átállás során felmerülő kockázatokra és veszteségekre irányul.

Nem célja költséghaszon-elemzések elvégzése, hiszen a klímaváltozás jellegéből adódóan ez csak hosszú távú elemzések segítségével lehetséges. A Magyarországra vonatkozó ilyen jellegű tanulmányok konklúziója szerint egyébként az átállás a hazai gazdaság számára inkább lehetőséget jelent, semmint jóléti veszteségeket (Fazekas et al. 2021; Bokor 2022).

A klímaváltozás mellett 2022-ben a magas energiaárak teszik relevánssá a tanulmány által vizsgált scenáriót. Mind az alacsony karbon kibocsátású gazdaságra történő átállás, mind a fosszilis energiahordozók megnövekedett árai hasonló tevékenységi körökre hatnak negatívan. Ezzel együtt a tanulmány fókuszában az átállási kockázatok vizsgálata áll.

A 2. fejezetben a vonatkozó szakirodalmat összegzem, különös tekintettel a szektorális bontásra és az időhorizontra. Ezután a 3. fejezetben röviden bemutatom a makrogazdasági scenáriót, majd az elemzéshez használt szektorális modell módszertanát vezetem le, és a sokkhatások kalibrálását végzem el. Ezután a felhasznált adatokat mutatom be. A 4. fejezetben a kutatás eredményeit prezentálom. A 5. fejezet összegzi a tanulmányt.

2. Szakirodalmi áttekintés

Számos nemzetközi gyakorlat készült az elmúlt néhány évben a klímaváltozás pénzügyi rendszerre kifejtett hatásainak modellezésére, főként a pénzügyi felügyelet és jegybankok részéről. Úgynevezett bottom-up típusú, azaz a piaci szereplők bevonásával készült stressztesztet végzett a francia felügyelet (ACPR-BdF 2021), valamint a Bank of England (BoE 2019) is. Emellett az Európai Központi Bank (EKB) is publikálta top-down, azaz főképp belső felügyeleti modellekkel végzett gyakorlatát (Alogoskoufis et al. 2021). A három elemzésben közös, hogy hosszú távú stressztesztekről van szó, amelyek az Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) scenárióira épülnek. A jelen tanulmányhoz szorosabban kapcsolódik azonban a következő három, részletesebben is bemutatásra kerülő elemzés.

A magyar bankrendszer hosszú távú klímakockázatainak feltárására készítette el a Magyar Nemzeti Bank (MNB) 30 éves időhorizontú stressztesztjét (Bokor 2022). A gyakorlat fókuszában a különböző ágazatok nem teljesítő hitelei arányának (NPL-rátáinak) alakulása állt. Ezek modellezése három klímascenárió mentén valósult meg, egy rendezett átállás, egy rendezetlen átállás és egy „forró világ” pálya esetén. Előbbi két scenárió esetén az átállási, utóbbi esetén a fizikai kockázatok dominálták az eredményeket. A szektorális bontású gazdasági pályák a Cambridge Econometrics E3ME névre hallgató, makroökonometriai modell segítségével készültek, figyelembe véve a különböző scenáriók narratívájához kapcsolódó kormányzati intézkedéseket is (Fazekas et al. 2021). A modellezés meglepő eredménye, hogy a magyar gazdaság

egy rendezett átállás esetén magasabb GDP-pályán haladhat. A hitelezési kockázatokat nézve jelentős heterogenitás látható, mind a különböző szektorok, mind a három scenárió hatásait tekintve.

A holland jegybank (DNB) Hollandiára vonatkozó rövid távú energiaátállási stressztesztjében (Vermeulen et al. 2018) négy scenárió (policy, technológia, mindkettő, és bizalomvesztés) esetén vizsgálta a pénzügyi rendszer ellenálló képességét. A 2018-ban készült stresszteszt egyrészt úttörő volta, másrészt a rövid időhorizonthoz fűződő módszertani sajátosságai miatt is releváns. A szerzők a NiGEM makroökonómiai modellben implementált scenáriók után egy saját fejlesztésű szektorális modell segítségével állították elő a sokkok ágazati hatását. Ezt egy ún. átállási sérülékenységi faktor segítségével számszerűsítették, ami parallel módon a CAPM¹ bétával, vállalat/szektor specifikus érzékenységet ragad meg, a piaci kockázat helyett azonban az átállási kockázatra fókuszálva. Egy szektor átállási sérülékenységi faktorának mértéke az ágazat által előállított fogyasztási javak termelése során kibocsátott üvegházhatású gázokon (ÜHG-n) alapul. Egy ágazati végtermék ÜHG számításának alapja nem csak az adott szektor kibocsátása, hanem a teljes termelési lánc során kibocsátott mennyiség. Így a karbonintenzív javak termelési láncának minden tagjára fokozottan hat egy karbonár-sokk. Ezt az ÜHG-kibocsátást ezután arányosítják a szektor gazdasági súlyával, majd normalizálják a kapott intenzivitásmutatókat a szerzők, hogy az átállási sérülékenységi faktor átlagos mértéke egy legyen. A különböző scenáriók esetén keletkező veszteségeket mind a bankok, biztosítók és nyugdíjalapok mérlegére is számszerűsítették. A stresszteszt eredményei szerint a scenáriók „jelentős, de menedzselhető” veszteségeket okozhatnak a pénzügyi szereplőknek.

A rövid távú átállási stressztesztek egy másik példája az osztrák nemzeti bank 2021-ben megjelent gyakorlata (Guth et al. 2021). A stresszteszt célja az általános átállási kockázatok mérése mellett az Ausztriában 2021-ben bevezetett karbonadó-reform hatásának felmérése is a pénzügyi rendszerre. Két scenárió hatását modellezzik a szerzők, egy rendezett és egy rendezetlen karbonár-emelkedési pályát. A stressztesztben használt szektorális blokk modellezésének leírása Königswieser et al. (2021) csatolmányában található. A modellezés az áralapú input-output-modellből kiindulva, több lépcsőben építi be a karbonárak sokkját a szektorok gazdasági teljesítményébe. A komplex módszertan segítségével a szerzők így többek között kontrollálnak a nem teljes körű költségáthárításra, a kereslet alkalmazkodására, valamint a bér és foglalkoztatottság változásából fakadó másodkörös hatásokra is. A stresszteszt eredményei alapján az osztrák bankszektor aggregált CET1 rátája 0,7–2,7 százalékponttal csökkenhet, ami kezelhető hatás a szerzők álláspontja szerint.

A magyar szakirodalomban az elmúlt években Bokor (2022) tanulmányán kívül is több elemzés jelent meg, amelyek fókuszában az éghajlatváltozás pénzügyi piacokra,

¹ Capital Asset Pricing Model

intézményekre gyakorolt hatásainak felmérése állt. *Boros (2020)* a klímakockázati stressztesztek módszertani megfontolásairól szóló esszéjében ezen gyakorlatok sajátosságait, az eddigiekben tárgyalt időhorizont kérdést, valamint az ágazati bontás fontosságát is kiemeli. *Ritter (2022)* a hazai hitelintézetek magas átállási kockázattal rendelkező kitétségeit vetette össze az EU-átlaggal. Eredményei szerint a hazai hitelintézetek az átállási kockázatoknak jobban kitéttek. *Bokor (2021)* egy egyszerű karbonkockázati indikátort javasol, melynek segítségével egyaránt lehetséges a bankrendszer átállási kockázatainak idősoros elemzése, valamint az átállásnak kitett intézmények azonosítása is.

2.1. Szektorális bontás

A hagyományos stressztesztek scenárióinak modellezése során elterjedt gyakorlat makrogazdasági modellek használata, feltételezve, hogy a vállalatokat érő gazdasági sokk az egyes szektorokat egyformán érinti, csak a vállalatok érzékenysége különbözik. Ezzel szemben a klímakockázati stressztesztek sajátossága, hogy a scenárió-narratívákból következően a gazdasági hatások nem egyenletesek a különböző szektorok esetén. A legelterjedtebb scenárió-narratíva a karbonár- vagy karbonadó-emelés segítségével implementálja az alacsony karbonkibocsátású gazdaságra történő átállás kockázatait. A karbonárak emelkedése a makrogazdasági hatásai mellett azonban egyes magas üvegházhatású gázkibocsátással járó tevékenységeket (pl. szénalapú villamosáram-termelés, acélgyártás) fokozottabban sújt, mint más alacsony károsanyag-kibocsátással járó tevékenységeket (pl. a szolgáltatások jelentős része). Így a scenárió-narratívával a koherensebb eredmények eléréséhez a makrogazdasági pályák meghatározásán kívül elengedhetetlen a gazdasági mutatók szektorszintű meghatározása. Ezáltal a scenárió-narratívában leírt sokkra legérzékenyebb gazdasági szektorok mellett az ezeket az ágazatokat fokozottabban finanszírozó és ezáltal nagyobb kockázatoknak kitett hitelintézetek is azonosíthatóak.

Az ágazati szintű gazdasági mutatók előállítására bevett módszer első lépése az aggregált mutatókra kifejtett hatás modellezése egy makrogazdasági modell eredményei szerint, majd egy szektorális modell segítségével a heterogén ágazati hatások becslése. A klímakockázatok makrogazdasági szinten aggregált mutatókban számszerűsítő lépést *Baudino – Svoronos (2021)* a klímakockázati stressztesztek nemzetközi gyakorlatait összehasonlító tanulmányában makrogazdasági blokknak nevezi. Analóg módon szektorális blokknak nevezhető a makrogazdasági mutatók lebontása ágazati szintre.

2.2. Hosszú és rövid távú gyakorlatok

A nemzetközi gyakorlatok alapján két irány látszik kibontakozni a klímastressztesztek között, a rövid és a hosszú távú gyakorlatok. Rövid távú stressztesztek esetén jellemzően 2–3–5 éves időtávot ölelnek fel, míg a hosszú távú stressztesztek jellemzően 20–30 éves időhorizontú scenáriók mentén számszerűsítik a pénzügyi és gazdasági

hatásokat. A klímakockázati stressztesztek sajátosságait és az időhorizont kérdést, valamint az ágazati bontás fontosságát már *Boros (2020)* is kiemeli.

A hosszú távú elemzések megkérdőjelezhetetlen előnye, hogy megfelelően tudják kezelni az éghajlatváltozás fizikai kockázatait, amelyek várhatóan csak hosszabb távon jelentkeznek. Emellett az átállási kockázatok is várhatóan teljesen materializálódnak az időtáv alatt (*Baudino – Svoronos 2021*). Ezzel szemben a rövid távú gyakorlatok egy-egy speciális scenáriót képesek kezelni, így csak limitált vagy speciális fizikai kockázatok számszerűsítésére alkalmasak, amelyek reálisan jelentkezhetnek a közeljövőben. Továbbá az átállási kockázatok esetén sem egyértelmű, hogy bekövetkeznek a vizsgált időhorizonton, bár ez kisebb problémát jelent, hiszen egy súlyos, de hihető scenárió narratívájában feltételezhető a bekövetkezésük.

A hosszú távú stressztesztek scenárióinak összeállítása során azonban számos feltevessel kell élni, melyek az eredmények robusztusságára negatív hatással lehetnek. Amennyiben például egy felügyeleti top-down gyakorlat esetén intézményi szintű eredmények meghatározása a cél, egy 30 éves időtávú scenárió esetén a gyakran alkalmazott mérlegösszetétel változatlanóságának feltételezése (statikus mérlegfeltevés) az eredmények korlátozott értelmezhetőségét vonhatja maga után. Emellett a hosszú távú scenáriók gyakran komplex gazdasági modellekre épülnek, amelyek esetén fennáll az esélye a „black box” típusú modellek használatának, ahol nehezen vagy egyáltalán nem különíthetők el a különböző modellezői döntések hatásai. Ráadásul amennyiben a feltevések nem megfelelően dokumentáltak, az eredmények magyarázhatósága csökken, ami a felhasználási lehetőségeket szűkíti. *Stern et al. (2022)* hasonló kritikát fogalmaz meg a hosszú távú integrált becslési modellekről, melyekre a stressztesztek gyakran épülnek, kiemelve a fizikai kockázatok körüli nagyon jelentős bizonytalanságokat. Ez a bizonytalanság a lehetséges extrém kockázatokból fakadhat, valamint az olyan fordulópontokról (tipping point), mint a grönlandi jégtakaró visszavonulása.

Egy rövid távú stresszteszt esetén azonban a felsorolt megoldandó nehézségek kevésbé relevánsak és könnyebben kezelhetőek. Az éghajlatváltozás szempontjából relatíve rövid üzleti modellek keretrendszerébe is jobban illeszkedik az időhorizontjuk. Emellett a már kialakított stressztesztelési keretrendszerekhez is jobban illeszkednek, ezáltal kisebb erőforrásigénnyel modellezhetőek, így a piaci szereplők számára is kiindulási alapot jelenthetnek.

Összefoglalva, a hosszú távú stressztesztek alkalmasabbak komplex, stratégiai döntések és költség-haszon elemzések elvégzésére, valamint a pénzügyi intézmények üzleti modelljeinek fenntarthatóságának vizsgálatára. A rövid távú gyakorlatok ellenben intézményspecifikus átállási kockázatok feltárására és az általános mikroprudenciális felügyelet részeként lehetnek hasznosak, illetve a piaci szereplők számára nyújthatnak támpontot klímakockázataik kezeléséhez. Így elmondható, hogy a két megközelítés inkább kiegészíti, mintsem kizárja egymást.

3. Módszertan

A fejezetben a tanulmány metodológiáját ismertetem, először a makrogazdasági scenárió vázát, majd a szektorális blokk módszertanát részletezem. Először az átállási sokk elsődleges hatásának módszertanát, majd a szektorális sokkokat szétterítő hálózat előállítását mutatom be, illetve ezek segítségével az egyes szektorokat érő, továbbterjedt sokkok kiszámításának menetét. Végül a banki kitettségek szektorális eloszlásának és a makrogazdasági stresszscenárióknak a segítségével kalibrálok az egyes ágazatokot érő PD-hatásokat.

3.1. Makrogazdasági scenárió

Mivel a rövid távú stressztesztek elsősorban átállási kockázatok számszerűsítésére alkalmasak, a tanulmányban tárgyalt stresszteszt is ezekre fókuszál. A scenárió meghatározásánál az elterjedt makrogazdasági modellekbe történő minél könnyebb implementálást is figyelembe vettük.

A scenárió narratívája az alacsony karbonkibocsátású gazdaságra történő átállítás leggyakoribb szakpolitikai eszközének, a karbonárazásnak a széleskörű bevezetése. A karbonárazás a többek között a *Nordhaus (1993)* és *Stern (2007)* által is a döntéshozók figyelmébe ajánlott, a technológiai fejlődés mellett (és azt is támogatva, lásd *Acemoglu et al. 2012a*) az ÜHG-kibocsátás megfékezésére az egyik legalkalmasabb eszköz. A scenárió során egy hirtelen és jelentős, minden szektorra kiterjedő bevezetést feltételezünk. A árazás pontos formájának technikai kérdése, hogy karbonkvóta kereskedelmi mechanizmust vezetnek be vagy karbon-kibocsátásra vonatkozó adót vetnek ki, a modellezés szempontjából nem elsődleges. Sőt, más kibocsátáscsökkentő intézkedések, például a belső égésű motorok gyártásának korlátozása vagy új építésű lakások szigorúbb energetikai kritériumainak bevezetése is felfoghatók karbonárazásnak egy karbonárazási ekvivalens segítségével, azaz minden ilyen intézkedésnek megfeleltethető egy karbonár-emelkedés, ami hasonló kibocsátás-csökkentési hatással járna.

Az árazásból befolyó bevételek felhasználásának gazdaságserkentő hatása nem része a scenárió narratívájának, hasonlóan *Vermeulen et al. (2018)* stressztesztjéhez, így konzervatívnak tekinthető. A makrogazdasági modellbe a karbonárak a világszintű olajárak 100 százalékos emelkedésén keresztül épülnek be.

A scenárió, valamint az alappálya is a *Soós et al. (2020)* Polaris névre hallgató makroökonometriai modellje segítségével került implementálásra. A modell előnye, hogy pontos illeszkedést mutat a magyar gazdaság múltbeli viselkedési mintáira, valamint hogy hibakorrekciós modellként a rövidebb és a hosszabb távú gazdasági összefüggéseket egyaránt figyelembe veszi. A Polaris segítségével országos szintű gazdasági mutatók széles skálája modellezhető.

A scenárióban a sokk mértékének meghatározására több módszertan is használható. Gyakori átállási narratíva a karbonárak bevezetése vagy emelése, amikor az átálláshoz szükséges karbonár-emelés nagyságának meghatározásához a releváns szakirodalom nyújthat segítséget. *Vermeulen et al. (2018)* stressztesztje a policy scenárió esetén 100 USD/tonna mértékű karbonár bevezetésének hatásait modellezte a holland gazdaságon és pénzügyi rendszeren. *Guth et al. (2021)* rendezett átállási scenáriójában 5 év alatt fokozatosan 130 euróig, rendezetlen átállási scenáriójában 260 euróig emelkedik az effektív karbonár az osztrák gazdaságban. A karbonárak makrogazdasági modellekbe kézenfekvő módon az olajárak emelésével implementálhatók, ami egy relatíve gyakori összetevője ezeknek a modelleknek. *Vermeulen et al. (2018)* egyszerű számítása alapján egy hordó kőolaj elégetése 432 kg CO₂-kibocsátással jár, azaz egy 100 USD/tonna mértékű emelés 43,2 USD olajár-emelkedéssel egyenértékű. Amennyiben gáz-, szén-, vagy energiaárak is szerepelnek a makrogazdasági modellben, analóg módon azokra is elvégezhető a számítás a megfelelő ÜHG-intenzitások ismeretében. Másik, a stresszteszt-gyakorlatokban bevett lehetőség a sokk nagyságának meghatározására a sokkolt változó historikus/modellezett eloszlásának szélét venni alapul, például azokat az értékeket, ahol az eloszlásfüggvény felveszi a 95, 99 vagy a 99,9 százalékos értékeket. Az világpiaci olajár általunk vizsgált duplázódása 75 USD olajár-emelkedésnek felel meg, ami 175 USD/tonna karbonár-emelést jelent. Így ebből a szempontból a modellezett sokk mérete a fent tárgyalt két gyakorlatban alkalmazott karbonár-emelkedés közé sorolható.

3.2. Szektorális blokk

Az ágazati heterogenitást a vállalatok csődvalószínűségébe építi be a szektorális modell, a makrogazdasági stresszpályákhoz tartozó PD-értékek ágazatonkénti eltérítésén keresztül. A csődvalószínűségek alatt a banki értelemben vett default-esélyét értjük, és nem csődeljárás vagy felszámolás bekövetkezését. A teljes bankrendszer vizsgálva az eltérítések neutrálisak, az eltérítések (kitettséggel súlyozott) összege nulla. Azaz a bankrendszerre vonatkozó aggregált eredményeket a makrogazdasági pályák határozzák meg, az eltérítések a különböző ágazatokat eltérő mértékben finanszírozó intézmények heterogenitásáért felelnek. Így azonosíthatóak az adott klímasokkra érzékenyebb intézmények, de a teljes hatás nagysága koherens a makrogazdasági és a PD-moddal, azaz a gazdasági és pénzügyi mutatók múltban megfigyelt összefüggéseivel.

A szektorális blokk modellezése három részre bontható, az elsődleges sokk azonosítására, a sokkok továbbterjedésének modellezésére, valamint a kalibrálásra.

3.2.1. Elsődleges sokk

A scenárió narratíva esetén azonosítható, hogy elsősorban mely szektorokat érinti a sokk. A karbonár-emelés esetén az elsődleges sokk mértéke jól közelíthető az ágazat ÜHG-intenzitásával, minél magasabb az egységnyi hozzáadott értékre jutó szén-dioxid-ekvivalens kibocsátás, annál kitettebb az adott szektor. Az egyes

ágazatok ÜHG-intenzitása az Eurostat adatbázisából elérhető, 64 szektor szerinti bontásban (Eurostat 2022b).

Több csatornán keresztül is negatívan hathat egy vállalat fundamentumaira, ha olyan ágazatban tevékenykedik, melynek végtermékére pluszadót vetnek ki. Amennyiben a vállalat az adó miatt megemelkedett költségeket nem képes (közel) teljes mértékben áthárítani a fogyasztókra, erősen romolhat a profitabilitása, továbbá a kereslet is csökken a megdrágult termék iránt, a jószág árrugalmasságától függően. Így az új egyensúlyban értékesített, alacsonyabb volumen alacsonyabb árbevételt jelent a vállalat számára. A közgazdasági logika szerint mindkét hatás a vállalat csődvalószínűségének növekedésével jár.

3.2.2. A sokkok terjedése

Ahogy a fenti gondolatmenetekből is látszik, az intézkedések által okozott sokkok a termelési lánc összes szereplőjére hatással lehetnek, ez mind a költségáthárítás, mind a csökkenő kereslet esetén elmondható. Ez szükségessé teszi az ágazatok kapcsolatának modellezését, a gazdasági tevékenységek hálózatának feltárását. Ennek alapjául az ágazati kapcsolatok mérlege (ÁKM) szolgálhat, mely a nemzetgazdasági ágazatok termelési kapcsolatait, beszállítói hálózatait írja le. A gazdasági szektorok hálózatának szerepét többen kutatták már az egyes szektorokat ért idioszinkratikus sokkok továbbterjedése kapcsán (Horvath 2000; Acemoglu et al. 2012b). A módszertan így részben ezekre a tanulmányokra is épül.

Az ágazatok hálózatának elemzése előtt a hálózat formális definiálása szükséges. A hálózat csúcsai ($i, j = 1, 2, \dots, n$) a gazdaság ágazatai, amelyből 64 ágazat ($n=64$) tartozik az elemzés alá. A hálózat élei az ágazatok között fennálló kapcsolat szorosága alapján kerülnek meghatározásra. A gazdasági szektorok hálózata irányított, súlyozott élek segítségével írható le a legpontosabban, hiszen az egyes ágazatok egymás beszállítói és megrendelői (irányított hálózat), valamint ha kapcsolódnak is egymáshoz, ennek erőssége heterogén képet mutathat (súlyozott hálózat).

Az i ágazatból j ágazatba tartó él meghatározásának alapjául az ún. közvetlen ráfordítás szolgál (KSH 2005). Ez a j ágazat által a termelés során felhasznált, i ágazat által kibocsátott javak értéke, a T közvetlen ráfordítási mátrix i -edik sorának j -edik eleme, $T[i,j]$. Amennyiben a $T[i,j]$ közvetlen ráfordításokat a j -edik szektor bruttó kibocsátásával (x_j) normáljuk, az ún. technológiai együtthatók (A_{ij}) állnak elő. A technológiai együtthatók szolgálnak a hálózat súlyozott éleiként. Az A_{ij} technológiai együttható mutatja, hogy j ágazat egységnyi kibocsátásához hány egységnyi inputra van szükség i ágazat outputjából. Mátrix műveletekkel ugyanez, bevezetve az A mátrixot ($A[i,j]=A_{ij}$) és az x bruttó kibocsátásvektor elemenkénti inverzét ($\frac{1}{x}[j] = \frac{1}{x_j}$) és az I identitás mátrixot, n dimenzióval:

$$A = T \cdot I \cdot \frac{1}{x} \quad (1)$$

A kapott A mátrix tehát a hálózat éleit leíró szomszédsági mátrix, így $A[i,j]$ az i ágazatból j ágazatba mutató él súlyával egyenlő. Vegyük észre, hogy a technológiai együttthatók esetén (ahogy közvetlen ráfordításoknál is) előfordulhat, hogy i ágazat végső kibocsátásának előállításához az i ágazat outputja felhasználásra kerül a termelés során. Például az élelmiszeriparban az input lehet szintén élelmiszeripari output. Ez azt jelenti, hogy a szomszédsági mátrix diagonálisában nem csak nullák szerepelnek, azaz vannak hurokélek (self loop).

A szomszédsági mátrixból leolvashatóak az egyes ágazatokhoz tartozó legfontosabb beszállítók (legnagyobb súlyú élek, amelyek az adott ágazat felé irányulnak) és azok is, amelyek a legfontosabb felvevői az adott ágazat termékeinek a végső felhasználáson kívül (legnagyobb súlyú élek, amelyek az adott ágazatból irányulnak kifelé). Előbbiek összege a „be” fokszám (in degree), utóbbiaknak az „ki” fokszám (out degree), mely az irányított hálózatok sajátossága miatt a fokszám két változata. A fokszám egy egyszerű centralitásmutató is, minél magasabb a fokszáma egy szektornak, annál több szektor irányában terjedhet tovább egy őt ért sokk.

A szomszédsági mátrix segítségével pontosabb kép kapható egy szektort ért egyedi stressz terjedéséről. Jelölje $s_i^{(0)}$ az i ágazatot érő kezdeti, egyedi sokkot. A $j=1, 2, \dots, n$ ágazatba a modell szerint $s_j^{(1)} = s_i^{(0)} \cdot A_{ij}$ mértékben gyűrűzik át első körben. Analóg módon az első körben szétterült sokkok is terjednek, második körben már potenciálisan a hálózat több csúcsából is $s_j^{(2)} = \sum_{i=1}^n s_i^{(1)} \cdot A_{ij}$. Vegyük észre, hogy a továbbterjedt sokkok mátrixnotációval jól kezelhetők, ráadásul akkor is, ha több ágazatot ér kezdeti sokk. Vezessük be az s vektort, amely a kezdeti sokkot jelöli, azaz i -edik eleme $s_i^{(0)}$. Így az 1, 2, ... k körös terjedés felírható,

$$\begin{aligned} s^{(1)} &= A \cdot s \\ s^{(2)} &= A \cdot s^{(1)} = A \cdot (A \cdot s) = A^2 \cdot s \\ &\dots \\ s^{(k)} &= A^k \cdot s \end{aligned} \tag{2}$$

Összegezve a 0,1,2, ... k körös sokkokat, az első k körű sokk összegére $S^{(k)}$ a következő összefüggést kapjuk:

$$S^{(k)} = s + s^{(1)} + s^{(2)} + \dots + s^{(k)} = s + A \cdot s + A^2 \cdot s + \dots + A^k \cdot s \tag{3}$$

Bevezetve az $S = \lim_{k \rightarrow \infty} S^{(k)}$ jelölést a gazdasági rendszeren teljesen lefutott sokk nagyságára, a jobboldali szummára alkalmazható² a mértani sorösszege hasonlító, Neumann-sorként ismert összefüggés:

$$S = \lim_{k \rightarrow \infty} S^{(k)} = \sum_{l=0}^k A^l \cdot s = (I - A)^{-1} \quad (4)$$

Az így kapott teljes sokk tehát azt mutatja, hogy a gazdaság egy ágazatát vagy az ágazatok egy részét érintő egyedi sokk mekkora hatást vált ki a gazdaság különböző részein a szektorok közötti terjedése után. A levezetésből látható, hogy mind az elsődlegesen érintett, mind a közvetlen, mind a közvetett szomszédságban lévő szektorokra hatással van a sokk, igaz, minél közvetettebb a kapcsolat, annál kevésbé. A módszer segítségével (Anufriev – Panchenko 2015) a hálózat sajátvektor-centralitás alapján leginkább középpontinak tartott csúcsai is azonosíthatók. Ezek a szektorok azok, amelyek a leginkább „diffuzálják” az őket ért sokkokat. Egy kisebb sajátvektor-centralitással rendelkező ágazat a sokkokat kevésbé teríti szét, így relatíve nagyobb mértékben maradnak a szektoron belül.

Az egyenlet jobb oldalán található $(I - A)^{-1}$ tag az input-output modellezésben gyakran használt Leontyev-inverz. Másik interpretációja, hogy az adott iparágat érintő egységnyi keresleti sokk – a hatások tovagyűrűzése nyomán – miképpen érinti a teljes gazdaság kibocsátását. A Leontyev-inverz segítségével tehát tetszőleges kezdeti sokk teljes lefutása számszerűsíthető minden szektorra, így könnyen alkalmazható több scenárió számítására is. Ezek a tulajdonságok tehát eleget tesznek egy klímastresszteszt szektorális blokkjával szemben megfogalmazott elvárásoknak.

Több lehetséges út is van a kapott szektorális eredmények beépítésére a scenárióba. Az egyik, hogy mind a makrogazdaságot érő sokk mértékének meghatározása, mind a szektorok közötti eloszlás modellezése a szektorális blokk segítségével történik. Ekkor a makrogazdasági blokk is a szektorális blokk része. Erre példa Guth et al. (2021). A másik lehetőség, hogy csak az ágazatok egymáshoz viszonyított relatív érintettségét határozza meg a szektorális blokk, a makroblokk felel az átlagos hatás kalibrálásáért (például Vermeulen et al. 2018). Módszertanunkban az utóbbit követjük, csak az ágazatok relatív teljesítményéért felel a szektorális blokk.

3.3. Kalibrálás

A már meglévő stressztesztelési módszertannal összhangban illesztettük be a szektorális blokkot a stressztesztelési folyamatba. A következő két feltétel segítségével egyértelműen meghatározhatók az egyes szektorok PD-változásai, a kívánt összhanggal együtt:

² Az A mátrix sajátértékeire a technikai feltevéseknek teljesülnie kell.

- Makrogazdasági koherencia: a stressz-szenáriók makrogazdasági pályái által indikált szinten az átlagos PD a gazdaságban;
- Szektorális koherencia: S teljes sokk relatív nagysága határozza meg, hogy i ágazat j ágazathoz képest mekkora PD-növekményt szenved el az alappályához viszonyítva a stressz-szenárió során.

A levezetés alap gondolata, hogy minden szektor esetén a teljes PD-hatás (dPD^i) a makrogazdasági stressz PD-hatása (dPD_{makro}) és a szektorális eltérés ($dPD_{elterit}^i$) összegeként áll elő. A makrogazdasági stressz a stresszpálya és az alappálya közötti eltérésből adódó hatás, hiszen az alappályán nem éri sokk a gazdaságot. Formálisan:

$$\forall i \text{ szektorra: } dPD_{makro} + dPD_{elterit}^i = dPD^i \quad (5)$$

A dPD_{makro} becslhető a point-in-time PD-modell segítségével, a $dPD_{elterit}^i$ a keresett változó, a dPD^i pedig a közgazdasági szempontból könnyen értelmezhető mutató, amire így a szektorális eredmények megfogalmazhatóak. A két koherencia-kikötés formalizálása és a nem szektor függő dPD_{makro} becslése után megoldható az egyenletrendszer minden szektorra. Bevezetve a w^i jelölést az i szektor hitelezési súlyára, a két megkötés a következő alakot veszi fel:

- Makrogazdasági koherencia:

$$\sum_i w_i dPD_{elterit}^i = 0$$

- Szektorális koherencia:

$$\forall i \text{ szektorra: } \frac{dPD^i}{dPD^1} = \frac{dPD_{makro} + dPD_{elterit}^i}{dPD_{makro} + dPD_{elterit}^1} = \frac{S_i}{S_1}$$

Az egyenletrendszer megoldása:

$$\forall i \text{ szektorra: } dPD_{elterit}^i = dPD_{makro} \left(\frac{S_i}{\sum_j w_j S_j} - 1 \right) \quad (6)$$

$$\forall i \text{ szektorra: } dPD^i = dPD_{makro} \frac{S_i}{\sum_j w_j S_j}$$

Az eredmény interpretálható úgy, hogy adott szektor PD-eltérése a makromodell által indikálttól a szektort érő teljes sokk és az átlagos szektort érő teljes sokk arányától függ, az eltérés nagyságát pedig a makro PD-sokk kalibrálja. A definícióból adódóan a teljes PD-hatásra megfogalmazott kikötések azonban továbbra is könnyebben interpretálhatóak, az eltérés annak csak egy komponense. Az egyenlet jobb oldali tagja $\left(\frac{S_i}{\sum_j w_j S_j} - 1 \right)$ analóg a holland stressztesztben használt átállási sérülékenység faktorról (Vermeulen et al. 2018).

A makrogazdasági PD-sokk becsülhető a stressztesztben használt point-in-time PD-modell és a makrogazdasági mutatók eltéréseinek segítségével. A Horváth (2021) PD-modelljében szereplő makrogazdasági változók a háztartások rendelkezésre álló jövedelme, az infláció és a foglalkoztatottság adott időszaki és késleltetett értékei. A logit-modell magyarázó változóinak érzékenységét leíró átlagos parciális hatások (β_j) segítségével lineárisan közelíthető a PD-hatás. A makrogazdasági PD-hatás csak az eltérések amplitúdóját határozza meg, így a lineáris közelítésből adódó kisebb pontatlanságok kevésbé problematikusak. Így csak a makrogazdasági változók eltérése szükséges. A dPD_{makro} definíció szerint az alappálya és a stresszpálya makrogazdasági környezetéből adódó PD-hatás, így a keresett eltérés a gazdasági mutatók különbsége az előre jelzett stresszpálya (X_j^{stress}) és az alappálya (X_j^{base}) között.

$$dPD_{makro} = \beta_1(X_1^{stress} - X_1^{base}) + \dots + \beta_k(X_k^{stress} - X_k^{base}) \quad (7)$$

1. táblázat

A Horváth-féle PD-modell szignifikáns makrogazdasági változóinak átlagos, parciális valószínűségi együtthatói

Eredményváltozó: 'Default'

Háztartások rendelkezésre álló jövedelme (dlnhhinc)	-0,1108*** (0,0229)
Infláció (dcpi)	-0,0008* (0,0004)
Foglalkoztatottság egy évvel késleltetett értéke (l1_demp)	-0,00005*** (0,0000)
Háztartások jövedelmének egy évvel késleltetett értéke (l1_dlnhhinc)	-0,1007*** (0,0259)
Import egy évvel késleltetett értéke (l1_dlnim)	0,0211*** (0,0001)

Megjegyzés: * $p < 0,1$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; zárójelben a robusztus sztenderd hibák

Forrás: Horváth (2021): 2. táblázat

A vállalati PD-modellben használt szignifikáns makrogazdasági változók és koefficiensük az 1. táblázatban láthatóak. A modellben használt default-definíció nyolc hazai nagybank banki analitikái alapján került meghatározásra, amit az MNB felügyeleti tevékenysége keretében gyűjtött 2007 és 2017 között. Így felszámolási eljárások és egyéb közelítő technikák helyett a modell valós banki default-eseményeken alapul, amelyek éves frekvenciában, ügyfélszinten szerepeltek az adatbázisban. A modell magyarázó változóinak pontos formájáról és a koefficiensük értelmezéséről kijelenthető: „Az eredmények azt mutatják, hogy egy százalék csökkenés a háztartási jövedelemben (dlnhhinc), 11 bázisponttal emeli meg a nemteljesítés valószínűségét a sokk évében, és áthúzódo hatásként közel ugyanekkora mértékben a rákövetkezőben is. A munkaerőpiac a versenyszféra foglalkoztatottságában bekövetkező

változáson keresztül fejt ki hatását a default-rátára (100 ezer fő kiesése 50 bázisponttal emeli meg a csődvalószínűséget egy éven belül). Mindezen tényezők mellett az inflációs környezet szerepe is meghatározó.” (Horváth 2021:58.o.)

Így tehát az elsődleges sokkok azonosítása a Leontyev-inverz segítségével a gazdasági szektorokra szétterjedő sokkok modellezését követően, majd a kalibrálás során becsült makrogazdasági hatás segítségével előállíthatók a szektoronkénti PD-eltérések. Ezeket hozzáadva a point-in-time PD-modell eredményeihez, mind a makrogazdasági, mind a szektor, mind a vállalat fundamentumait tükröző PD-értékek állnak elő.

3.4. Adatok

A felhasznált adatok köre alapvetően három különböző forráson alapul. Egyrészt az Eurostat 64-es bontású ÜHG-kibocsátás intenzitásán (Eurostat 2022b), ami az ágazatokban tevékenykedő vállalatokat érő elsődleges sokk mértékét határozza meg. Ezenfelül a szektorális hálózat létrehozása esetén a KSH gondozásában, 5 éves gyakorisággal frissített ÁKM is beépítésre kerül. A számításokat az európai ágazati besorolási rendszer, a NACE 2 számjegyű szektorai alapján végzem, az eredményeket pedig a NACE 1 számjegyű, aggregáltabb szektorai szerint közlöm. A részletesebb bontásra ágazatként, az aggregáltira nemzetgazdasági ágként hivatkozom a későbbiekben. A kalibrálás, illetve a banki veszteségekre gyakorolt hatások számszerűsítése során pedig az MNB HITREG adatbázisából származó kitettség-adatok szükségesek. Az elemzés során hét meghatározó magyar bank kitettségeit használtam, amit a bruttó könyvszerinti érték HITREG-mező alapján képeztem. Ezeket a kitettség-adatokat az eltérések számítása során ágazatonként aggregálva használtam fel, a szimulációk során granulárisabban, hitelfelvevő és hitelintézet szerinti bontásban.

4. Eredmények

4.1. A makrogazdasági scenárió eredményei

A Polaris-modell segítségével az olajár-emelkedésen keresztül implementált karbonár-emelkedés scenárió makrogazdasági mutatókra kifejtett hatását az 1. táblázat mutatja. A scenárió GDP-növekedése jelentősen elmarad az alappályától, főleg a 2022-es év során, ekkor több mint egy százalékponttal. Az infláció, az import és a háztartások jövedelme is ebben az évben marad el leginkább az alappályától. A munkapiaci folyamatok 2023-ra gyűrűznek be leginkább. Összességében azonban a scenárió nem mondható extrémnek, az eredmények az MNB rendszeres stresszpályájánál kevésbé súlyos scenáriót vázolnak.

2. táblázat
A makrogazdasági mutatók stresszpálya és alappálya közötti eltérése hároméves idő-horizonton

	GDP	Munkanélküliségi ráta	Infláció	Háztartások rendelkezésre álló jövedelme	Versenyszféra foglalkoztatottság	Import
	éves változás (%)	éves átlag (%)	éves átlag (%)	éves változás (%)	éves változás (%)	éves változás (%)
2021	-0,40	0,03	1,42	-1,42	-0,04	-0,52
2022	-1,23	0,32	2,28	-2,59	-0,42	-1,82
2023	-0,79	0,49	0,60	-1,27	-0,23	-0,83

Megjegyzés: A GDP, a háztartások rendelkezésre álló jövedelme, a versenyszféra foglalkoztatottsága és az import esetén az éves növekedési ütemének különbsége látható a táblázatban, százalékos formában. A munkanélküliségi ráta és az infláció esetén az éves átlagok különbsége szintén százalékos formában.

A stresszelt makrogazdasági pályák eltérései alapján becsült PD-eltéréseket és ennek komponenseit a 2. táblázat tartalmazza. A karbonár-szenárió esetén a második és harmadik évben rendre 24 és 39 bázisponttal emelkedik a becsült csődvalószínűség. Az első év során a hatás nulla közeli.

Így tehát elmondható, hogy a csődvalószínűség fokozatosan növekszik az időhorizonton. Ennek oka egyrészt, hogy a gazdasági mutatókban a legnagyobb eltérés az alappályához képest a második évben következik be. Másrészt abból fakad, hogy a PD-modell becslése során hangsúlyos szerepet kapnak a gazdasági változóknak az adott időszakot megelőző értékei. Így a harmadik évben az előző évből begyűrűző hatások is emelik a becsült PD-differenciát. A stresszpálya megemelkedett csődvalószínűségét főképp a háztartások rendelkezésére álló jövedelmének, illetve ennek egy évvel csúsztatott értékének csökkenése okozza. A hatást tompítja a megemelkedett infláció, ami a modell szerint csökkenti a vállalatok csődvalószínűségét. A visszaeső foglalkoztatottság csak az időhorizont végén emeli érdemben a csődök gyakoriságát, és ekkor is kisebb mértékben, mint a rendelkezésre álló jövedelem.

3. táblázat
A gazdasági mutatók PD-hatásai az alappályához képest

	Háztartások rendelkezésre álló jövedelme	Infláció	Import lag	Háztartások rendelkezésre álló jövedelme lag	Versenyszféra foglalkoztatottság lag	Teljes PD hatás
	százalékpont					
2021	0,16	-0,11	0,00	0,00	0,00	0,04
2022	0,29	-0,18	-0,01	0,14	0,01	0,24
2023	0,14	-0,05	-0,04	0,26	0,07	0,39

Megjegyzés: A makrogazdasági szenárió által implikált gazdasági mutatók PD-hatásai százalékpontban kifejezve, illetve a teljes PD-hatás a különböző években

A módszertan szerint tehát a karbonár-sokk esetén rendre 4, 24 és 39 bázispont a kalibráláshoz használatos makrogazdasági PD-sokk az időhorizont évei során. Az egyes szektorokat érintő sokkok kiszámításához az őket érintő, a szektorok há-
lázatán terjedő teljes sokkok számítása szükséges.

4.2. Ágazati sokkok

Az egyes nemzetgazdasági ágak ÜHG-intenzitásai a 3. táblázatban láthatóak. Ahogy a tanulmány további részében is, az átláthatóság végett az eredményeket nemzetgazdasági áganként átlagolva jelenítettem meg, így az ábrákon a 64 ágazat helyett 21 nemzetgazdasági ág szerinti bontásban láthatóak az eredmények. Az egyes szektorok felé irányuló hitelezést használtam súlyként az átlag számításakor. Így a hitelezési szempontból kevésbé releváns szektorok nem torzítják az adott nemzetgazdasági ág eredményét. Értelemszerűen csak a nemzetgazdasági ágak egymáshoz viszonyított aránya számít az elsődleges sokkok meghatározása esetén. Azonosítható, hogy a gazdaság egyes részeit fokozottabban érinti az intézkedés. Főképp a villamosenergia- és gázellátással is foglalkozó D, valamint a bányászati B és a közműveket üzemeltető E ágak érintettek, elsődlegesen magas ÜHG-intenzitásuk miatt.

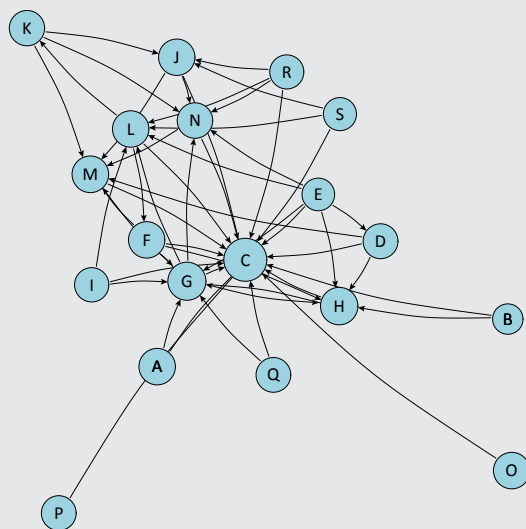
4. táblázat	
A nemzetgazdasági ágak és ÜHG-intenzitásuk	
Nemzetgazdasági ág	ÜHG-intenzitás (g/EUR)
Mezőgazdaság, erdőgazdálkodás, halászat (A)	1 987,7
Bányászat, kőfejtés (B)	1 624,3
Feldolgozóipar (C)	471,6
Villamosenergia-, gáz-, gőzellátás, légkondicionálás (D)	5 789,3
Vízellátás; szennyvíz gyűjtése, kezelése, hulladékgazdálkodás, szennyeződésmosztás (E)	3 889,0
Építőipar (F)	166,0
Kereskedelem, gépjárműjavítás (G)	182,6
Szállítás, raktározás (H)	902,2
Szálláshely-szolgáltatás, vendéglátás (I)	81,9
Információ, kommunikáció (J)	49,0
Pénzügyi, biztosítási tevékenység (K)	42,2
Ingatlanügyletek (L)	38,9
Szakmai, tudományos, műszaki tevékenység (M)	46,6
Adminisztratív és szolgáltatást támogató tevékenység (N)	175,1
Közigazgatás, védelem; kötelező társadalombiztosítás (O)	80,3
Oktatás (P)	39,3
Humán-egészségügyi, szociális ellátás (Q)	66,7
Művészet, szórakoztatás, szabad idő (R)	42,3
Egyéb szolgáltatás (S)	49,9
Háztartás munkaadói tevékenysége; termék előállítása, szolgáltatás végzése saját fogyasztásra (T)	35,7
Területen kívüli szervezet (U)	

Megjegyzés: Az intenzitásmutató hozzáadott érték alapján van megképezve.
Forrás: Eurostat (2022b); KSH

A 3.2.2. alfejezet szerint képzett technológiai együttthatók mátrixának, a szintén az alfejezetben részletezett módon előállított hálózatnak a reprezentációja az 1. ábrán látható. Az ábrán tehát az a hálózat van feltüntetve, mely a modell szerint az egy vagy több szektort érő kezdeti sokkot továbbterjeszti a hálózatban hozzájuk kapcsolódó ágazatokra is. A hálózat szomszédossági mátrixa a technológiai együttthatók mátrixa. Így az i csúcsból j csúcsba tartó él nagysága megegyezik azzal, hogy hány egység i kibocsátás szükséges egy egység j jószág előállításához, azaz mekkora sokkhatást okoz j nemzetgazdasági ág számára egy i nemzetgazdasági ágat érintő sokk. Az átláthatóság érdekében az ábrán csak a relatíve erős sokktranszmissziót implikáló, 0,03-nál nagyobb súlyú élek láthatók. Hasonló okokból a granulárisabb szektorbontás helyett a nemzetgazdasági ágak hálózatát jelenítettem meg, de a pontos számítások a részletesebb felbontás segítségével készültek.

Az elemzés szempontjából kiemelt fontosságú nemzetgazdasági ágak közül a D főképp a C (Feldolgozóipar), illetve a H (Szállítás, raktározás) felé továbbítja a sokkokat első lépésében. A B nemzetgazdasági ág erős kapcsolatokkal rendelkezik szintén a H és az M (Szakmai, tudományos, műszaki tevékenység) irányába, míg az E a D, C és L (Ingatlanügyletek) csúcsok irányába továbbít sokkokat.

1. ábra
A magyar gazdaság szektorális hálózata



Megjegyzés: A magyar nemzetgazdasági ágak technológiai együttthatók alapján képzett hálózatának reprezentációja. A csúcsok az egyes nemzetgazdasági ágakat, az irányított élek a köztük fennálló kapcsolatokat jelölik a technológiai együttthatók nagyságával súlyozva. A hurokélek, illetve a 0,03-nál kisebb technológiai együttthatóval rendelkező élek az ábrán nincsenek feltüntetve. Az egyes csúcsok nagysága az adott nemzetgazdasági ág bruttó kibocsátásával arányosított. A hálózat csúcsainak elhelyezkedése a Fruchterman–Reingold-algoritmus szerint került meghatározásra. A technológiai együttthatók számítása a szövegben leírtak szerint zajlott, a KSH 2015-ös szimmetrikus, szervezet–szervezet ÁKM-je alapján készült.

Forrás: A KSH adatai alapján szerkesztve

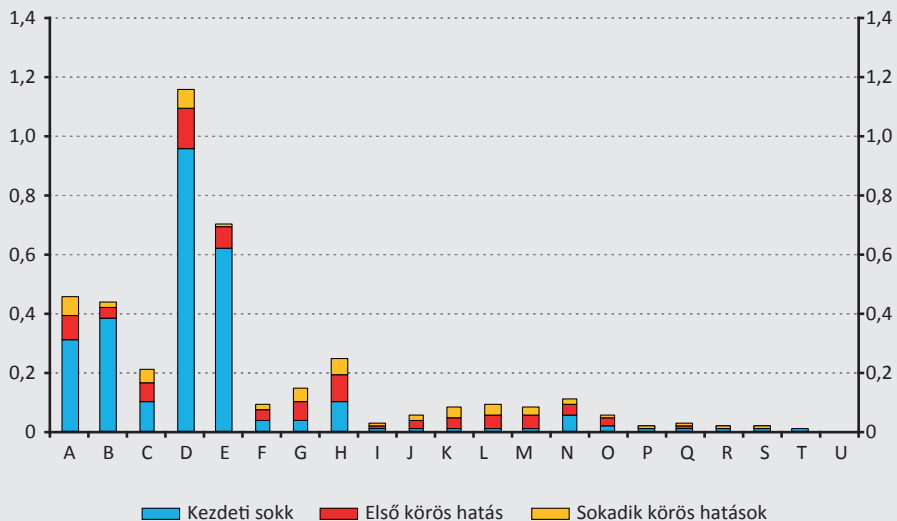
A kezdeti sokkok, valamint a hálózaton szétterült sokkok, mind az első terjedési kör utáni, mind az egyensúlyi teljes sokk a 2. ábrán látható. Értelemszerűen a terjedés következtében a kezdeti sokknál minden esetben nagyobb az első kör utáni sokk, majd annál a teljesen lefutott sokk mutat nagyobb értéket. Az is megfigyelhető, hogy a hálózati terjedés a sokkokat szétteríti, és a kezdetben koncentrált sokkok lefutásukat követően valamivel homogénebb képet mutatnak, bár az ágak között igen eltérő a sokk mértéke.

A legnagyobb sokkhatások továbbra is az eredetileg leginkább érintett A, B, D és E ágazatokat érik az első és további körös terjedések után is. A H ágazatot jelentős sokkok érik a kapcsolódó ágazatok felől, noha a kezdeti érintettsége nem magas. Hasonló mondható el a G és C ágazatokról. Az alacsony ÜHG-kibocsátásuk ellenére a terjedés hatására nem erősen, de érintetté válnak az L, K (Pénzügyi, biztosítási tevékenység) és M ágak is.

Az áttekintett egyensúlyi, teljes sokkok határozzák meg a nemzetgazdasági ágazatok egymáshoz viszonyított érintettségét a PD-növekedésben. A banki portfóliók nemzetgazdasági ágazati bontású kitettségeloszlása segítségével megállapítható a keresett PD-hatás.

2. ábra

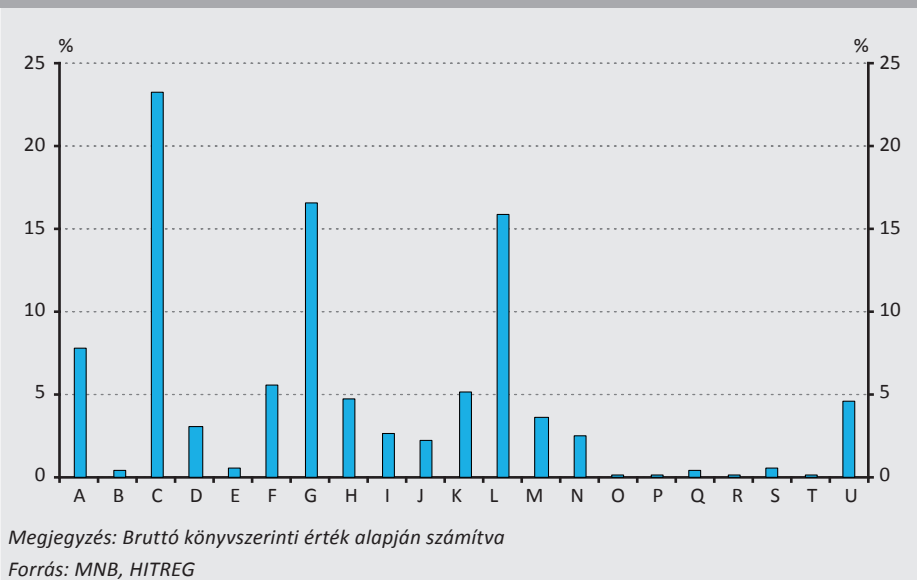
A sokkterjedés eredménye a szektorális hálózaton nemzetgazdasági ágazatok szerint



Megjegyzés: A sokkok egymáshoz viszonyított nagysága bír információértartalommal.

A hazai hitelintézetek kitétsége a nemzetgazdasági ágazatok irányába a 3. ábrán látható. Kitétség alapján a hitelezés mintegy negyede irányul a feldolgozóipar (C) felé, de a kereskedelem (G) és az ingatlanügyek (L) is több mint 15–15 százalékat teszik ki az állománynak. A mezőgazdaságba irányuló hitelek a teljes állomány 7,8 százalékát, míg a D nemzetgazdasági ág mindössze 3 százalékot tesz ki. A magas ÜHG-intenzitással rendelkező B nemzetgazdasági ág hitelezési hányada is kifejezetten alacsony, 0,4 százalék.

3. ábra
A bankihitel-kitétségek eloszlása nemzetgazdasági ágak szerinti bontásban 2021 közepén



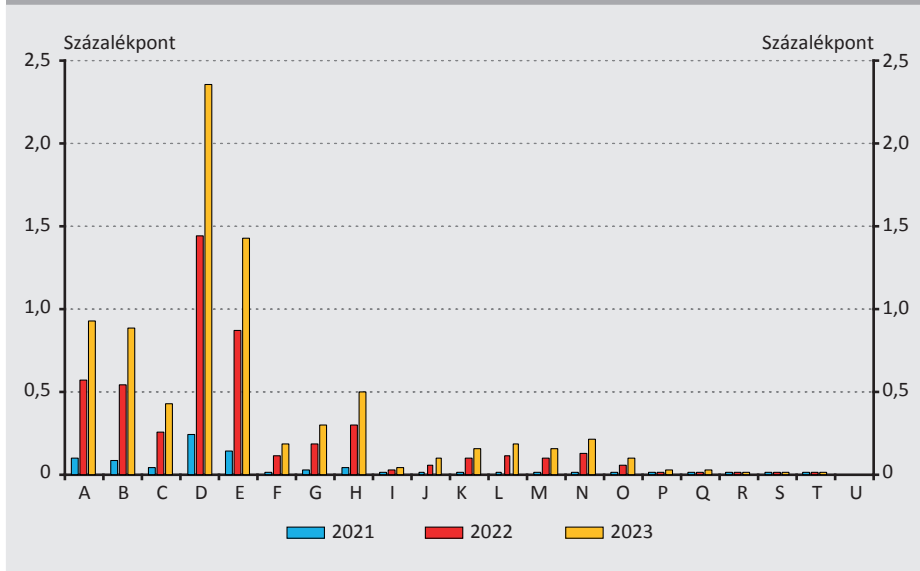
A becsült makrogazdasági PD-hatás, a nemzetgazdasági ágazatok teljes sokkjainak relatív nagysága és a kitétségek eloszlása segítségével a 3. fejezetben vázolt módon kiszámítható a klímasokk PD-hatása az egyes szektorokra (4. ábra). A szektorspecifikus PD-hatás évenként változó, hiszen az egyes évekre becsült makrogazdasági PD-hatás is változó. Így az egyes évek között csak ebben a kalibráló tagban van eltérés, a szektorok relatív érintettsége egységes az évek alatt. A makrogazdasági PD-hatás időbeli változásának megfelelően a PD-hatás évről évre nő az időhorizont alatt mindkét scenárió esetén.

A legnagyobb PD-hatás a karbonscenárió esetén a D ágazat 2023-as, 2,35 százalékpontos PD-eltérése az alappályától. A 2022-re számított érték esetén ez 1,44 százalékpont. Ehhez hasonló érték az E szektor 2023-as 1,42 százalékpontos értéke. Ebben az évben az A és B szektor egyaránt jelentős PD-hatást szenved

el a modellezés szerint, valamivel 1 százalékpont alattit. A H szektor PD-hatása 2023-ban 0,5 százalékponton tetőzik, öt követi a C szektor 0,42 százalékponttal. Elmondható, hogy számos nemzetgazdasági ágazatot a továbbgyűrűző hatásokon keresztül sem éri el a sokk, és így érdemi PD-hatás sem keletkezik a modellezett scenáriókban. Ilyenek az I (Szálláshely), P (Oktatás), Q (Egészségügy), R (Művészet) ágakba tartozó tevékenységi körök.

4. ábra

A stressz-szenárió modellezett PD-növekménye az alappályához képest nemzetgazdasági ágazati bontásban

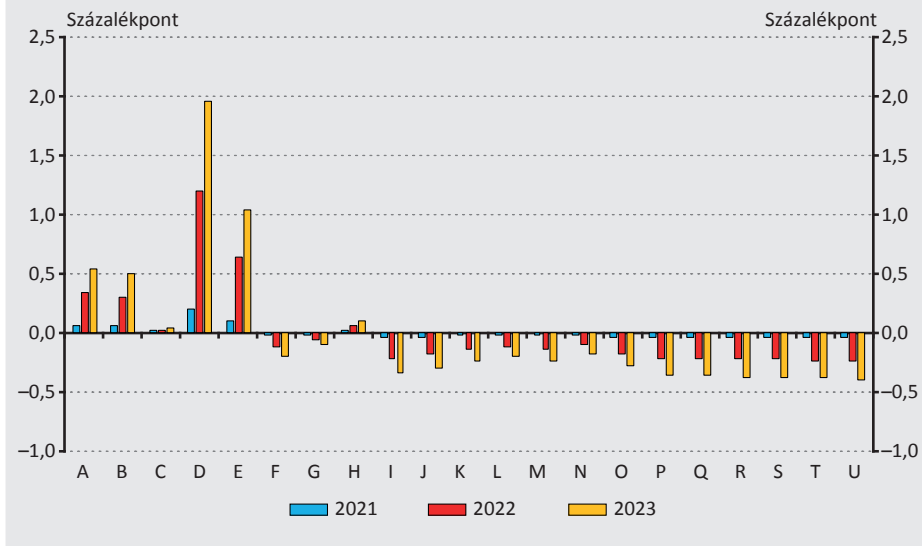


Az ábrákon látható nemzetgazdasági szintű aggregálás az értelmezhetőség és átláthatóság szempontjából előnyös, de kérdés, hogy mennyi granuláris információt takar el az ágazatok heterogenitásából. A kérdésre válasz adható a PD-hatások varianciájának vizsgálatával. A teljes variancia ugyanis felbontható az egy-egy nemzetgazdasági ágazaton belül mutatkozó varianciákra és a nemzetgazdasági szektorok átlagai között mutatkozó varianciára. Számításaim szerint a nemzetgazdasági ágazatokon belül keletkező variancia a teljes variancia 21,9 százalékáért felelős, a szektorok között fennálló különbségek adják a maradék 78,1 százalékot. Így a granuláris szektorszintű elemzések materiálisan pontosabb eredményekre vezethetnek a gyakorlatban. Következtetésképp, ha van lehetőség rá, mindenképp érdemes granuláris bontást alkalmazni az átállási kockázatok elemzésekor.

Modellezési szempontból érdekes még a PD-eltérések mértéke, melyet a 3. fejezetben vázoltak szerint lehet meghatározni. A PD-eltérések segítségével meghatározható, hogy egy standard, makrogazdasági változókra épülő vállalati PD-modell

eredményeit az egyes szektorokban mekkora mértékkel kell növelni vagy csökkenteni ahhoz, hogy a scenárióval koherens eredmények születhessenek. A PD-eltérések az 5. ábrán láthatók. A karbonár-szenárió eredményei szerint az A, B, D, E és H nemzetgazdasági ágak PD-eredményeit kell növelni. A többi szektort a modellezés szerint a karbonár-emelés kevésbé érinti, mint ahogy az a makrogazdasági mutatókból egyébként következne.

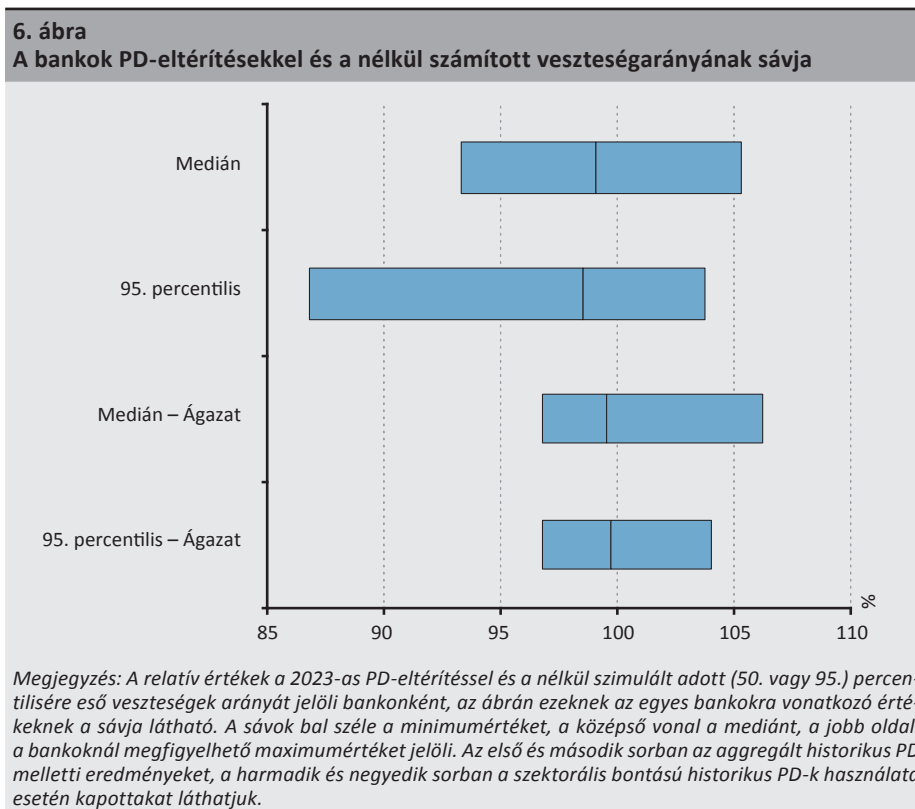
5. ábra
A nemzetgazdasági ágak modellezett PD-eltéréseinek mértéke



Az eltéréseket felhasználva Monte Carlo-szimuláció készíthető a bankok vállalati hitelportfólióira, felmérve, mely bankokra hogyan hat az eltérítés. Így kimutatható, hogy mely bankok hitelkockázatára van negatív hatással az átállási kockázatok ágazati heterogenitása. A szimulációk során ágazatonként egységes csődvalószínűséget feltételeztem, így azok kifejezetten a bankok portfóliójának ágazati összetételéből adódó kockázati különbségeket jelenítik meg. A szimulációkban a gyakorlatban részt vevő hét magyar bank vállalati hitelkitettségeit vettem alapul. Egy vállalat összes hitele egy adott banknál együtt válik nemteljesítővé vagy együtt marad teljesítő a szimuláció során. Az 5000 futtatott szimulációnak köszönhetően a csődráták eloszlásának 95 percentilise is robusztusan becsülhető.

A használt ágazati csődrátákat kétféle módszer szerint határoztam meg. Az elsőben a Horváth (2021) által publikált nemzetgazdasági ágazati bontású historikus csődrátákat aggregáltam, a második módszer esetén a nemzetgazdasági ágazati bontást meghagytam. Ezeket a kiindulási rátákat aztán egységesen megnöveltem

a scenáriók makrogazdasági PD-hatásával, majd pedig hozzáadtam a 2023-ra számított PD-eltéréseket. Az eredmények hasonlóan alakulnak a többi évre számított eltérésekre is, csak a kimutatott hatások amplitúdójában lehetnek eltérések, így a többi évre külön számítást nem végeztem.



A 6. ábrán a szimulációk eredménye látható, mind a szimulációk bankonkénti mediánja, mind a 95. percentilise, a fentiek szerint meghatározott mindkét historikus csődráta esetén. A medián, a bank relatív veszteségeinek mediánja az aggregált historikus PD-k esetén 99 százalék, azaz valamivel alacsonyabb a vesztesége az eltérésekkel, mint nélküle. A leginkább kitett bank esetén ez az arány 105 százalék. Az ágazati bontású csődráták használata esetén (3. sor) a relatív arány akár 106 százalék is lehet. A legnagyobb relatív veszteségarány-eltérés a minimumhoz és a maximumhoz tartozó bank között az aggregált csődráta és a 95. percentilis esetén mutatható ki. Látható, hogy az egyes bankokat jelentős különbségek jellemzik, a veszteségeik között akár 17 százalék különbség is lehet adott kockázat esetén. Ezek a bankok közötti különbségek egy átállási kockázatok szempontjából súlyosabb scenárió esetén akár magasabbak is lehetnek.

Az itt bemutatott módszertant a bankok is képesek lehetnek implementálni kisebb változtatásokkal. Egy lehetőség például az általuk elemezni kívánt karbonár-sokk hatását saját makrogazdasági modelljeikben implementálni egy energiaárakat megragadó változón keresztül. Ezt követően, a vázolt ágazati módszertant használva lebonthatják a hatást az egyes szektorokban tevékenykedő vállalatokra a (6) egyenlet alapján. Emellett a tanulmány részeredményeinek használata is segítségükre lehet egyes lépések esetén.

5. Konklúzió

A tanulmány egy hitelintézetekre lefolytatott klímakockázati stresszteszt módszertanát és eredményeit ismerteti, az elemzéshez fejlesztett szektorális modul metodológiájára fókuszálva. A szektorális modul a karbonárazás okozta energiaár-sokk következményeit teríti szét a magasabb ÜHG-intenzitású tevékenységek és a hozzájuk kapcsolódó szektorok között. Az átállási sokkot egy, az ÁKM alapján képzett szektorális hálózat teríti szét a teljes gazdaságban. A modellezés célja az átállási kockázatok mérése és nem költség-haszon elemzés, így az átállásból adódó, főképp hosszabb távon bekövetkező pozitív hatásokat a modell nem jeleníti meg. A kockázati fókuszról adódóan a karbonárazásból befolyó bevételek gazdaságélénkítő hatásával sem számoltunk, annak ellenére sem, hogy a makrogazdaságra irányuló negatív hatást már rövid távon is jelentősen tompíthatják, ugyanakkor azonban az átállási kockázatoknak jobban kitett tevékenységekre gyakorolt hatásuk bizonytalan.

A makrogazdasági modell eredményei szerint a 100 százalékos energiaár-emelkedésként modellezett karbonár-bevezetés rövid távon 1,2–0,8 százalékos GDP-visszaesést okozna az alappályához képest. Ez alapján az átállási scenárió 0,2–0,4 százalékpont PD-többletet implikál rövid távon. A szektorális modul eredményei szerint az átállásnak leginkább kitett nemzetgazdasági ágazatok a villamosenergia- és gázellátó (D), a közműveket lefedő (E), a mezőgazdasági (A) és bányászati tevékenységeket fedő (B) szektorok. Sérülékenynek tekinthetők ezenfelül a feldolgozóipari (C) és a logisztikai (H) ágazatok, melyeknek banki hitelkitettsége is jelentős. A modellezés eredménye szerint a villamosenergia- és gázellátó szektor az alappályához képest a legnagyobb, 1,5–2,3 százalékpontos PD-hatást szenvedhet el, a vállalati hitelkitettség 8 százalékat adó agráriumra pedig a modell 0,3–0,5 százalékpontos PD-hatást számszerűsít. Abból adódóan, hogy az ágazatok átállási kockázatai kifejezetten heterogének, az átállás számos nemzetgazdasági ágazat számára kisebb szintű PD-növekményt jelent, mint ami az alacsonyabb GDP-pályából egyébként következne. Az egyes bankok hitelezési veszteségei is eltérően alakulnak, attól függően, hogy melyik szektor felé van nagyobb kitétsége egy adott intézménynek. A kutatás során használt szimuláció szerint, számítási módszertől függően 7–17 százalék eltérés is lehet a bankok között abban, hogy mekkora hatása van az ágazati szintű átállási kockázatok bevezetésének.

A bemutatott módszertan előnye, hogy egyrészt képes megragadni a makrogazdasági sokkok nagyságrendjét, valamint a szektorok között fennálló alapvető átállási különbségeket is, másrészt könnyen beilleszthető a stressztesztelési folyamatokba. A szektorális modulból adódóan azonosíthatók azok a hitelintézetek is, amelyek az átállási kockázattal sújtott szektorokban fokozottabb kitettséggel és sérülékenyebb állománnyal rendelkeznek. A mikroprudenciális felhasználási terület mellett a módszertan kisebb módosításokkal a bankok saját kockázatainak felmérésére is alkalmazható.

A rövid távú gyakorlat célja tehát nem a klímaváltozásra adott gazdaságpolitikai válaszok költség-haszon elemzése, hanem a pénzügyi rendszer és az egyes hitelintézetek stabilitásának vizsgálata egy átállási scenárió esetén. A jövőben a gyakorlat tovább fejleszthető az ágazati mellett vállalati szintű adatok bevonásával, ha ezek majd rendelkezésre állnak. Hasonlóan ugyanis az átállási kockázatok esetén a nemzetgazdasági ágakban megfigyelt ágazati heterogenitáshoz, az ágazatokon belül is jelentős eltérések lehetnek az egyes vállalatok kockázatai között. Némely vállalatok esetén könnyen elképzelhetők pozitív hatások az átállásból, melyeket jelenleg a modell nem tud megfelelően kezelni. Egy másik továbbfejlesztési lehetőség az elsődleges sokkokat szétterjesztő hálózat pontosítása, például *Borsos és Stancsics (2020)* részletesebb, vállalati szintű hálózatának használatával.

Felhasznált irodalom

- Acemoglu, D. – Aghion, P. – Bursztyan, L. – Hemous, D. (2012a): *The Environment and Directed Technical Change*. *American Economic Review*, 102(1): 131–66. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Acemoglu, D. – Carvalho, V. M. – Ozdaglar, A. – Tahbaz-Salehi, A. (2012b): *The Network Origins of Aggregate Fluctuations*, *Econometrica*, 80(5): 1977–2016. <https://doi.org/10.3982/ECTA9623>
- ACPR-BdF (2021): *A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise*. *Analyses et synthèses*, No 122. Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution, Banque de France, Paris. https://acpr.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/20210602_as_exercice_pilote_english.pdf
- Alogoskoufis, S. – Dunz, N. – Emambakhsh, T. – Hennig, T. – Kaijser, M. – Kouratzoglou, C. – Muñoz, M. A. – Parisi, L. – Salleo, C. (2021): *ECB economy-wide climate stress test*. ECB Occasional Paper No 281. <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecb.op281~05a7735b1c.en.pdf>

- Anufriev, M. – Panchenko, V. (2015): *Connecting the dots: Econometric methods for uncovering networks with an application to the Australian financial institutions*. Journal of Banking and Finance, 61(S2): 214–255. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.08.034>
- Baudino, P. – Svoronos, J-P. (2021): *Stress-testing banks for climate change – a comparison of practices*, Financial Stability Institute Insights on policy implementation, no 34, July. <https://www.bis.org/fsi/publ/insights34.pdf>
- BoE (2019): Bank of England: *The 2021 biennial exploratory scenario on the financial risks from climate change*. Discussion Paper, December. <https://www.bankofengland.co.uk/paper/2019/biennial-exploratory-scenario-climate-change-discussion-paper>
- Bokor László (2021): *Bank Carbon Risk Index – A simple indicator of climate-related transition risks of lending activity*, MNB Occasional Papers 141. <https://www.mnb.hu/letoltes/mnb-op-141-final.pdf>
- Bokor László (2022): *Climate stress test of the Hungarian banking system*, Forthcoming, MNB.
- Boros Eszter (2020): *A klímaváltozás kockázatai és a hitelintézeti stressztesztek*. Hitelintézeti Szemle, 19 (4): 107–131. <https://doi.org/10.25201/HSZ.19.4.107131>
- Borsos András – Stancsics Martin (2020): *Unfolding the hidden structure of the Hungarian multi-layer firm network*. MNB Occasional Papers 139. <https://www.mnb.hu/letoltes/mnb-op-139-final.pdf>
- Eurostat (2022a): *Energy imports dependency (nrg_ind_id)*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_2070352/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=10efc154-dea6-494c-9867-a3f877a4703c. Letöltés ideje: 2022. október 24.
- Eurostat (2022b): *Air emissions intensities by NACE Rev. 2 activity (env_ac_aeint_r2)*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_ainah_r2/default/table?lang=en. Letöltés ideje: 2022. október 24.
- Fazekas, D. – Goldman, M. – Kőműves, Zs. – Pavelka, A. (2021): *Climate impact assessment: Impacts of climate change scenarios on the Hungarian economy*. Cambridge Econometrics, Magyar Nemzeti Bank. https://www.camecon.com/wp-content/uploads/2021/05/MNB_CE_Final_Report_May-2021-2.pdf
- Guth, M. – Hesse, J. – Königswieser, Cs. – Krenn, G. – Lipp, C. – Neudorfer, B. – Schneider, M. – Weiss, P. (2021): *OeNB climate risk stress test – modeling a carbon price shock for the Austrian banking sector*. In: Financial Stability Report, Oesterreichische Nationalbank, issue 42, November: 27–45. <https://ideas.repec.org/a/onb/oenbfs/y2021i42b1.html>
- Horvath, M. (2000): *Sectoral shocks and aggregate fluctuations*. Journal of Monetary Economics, 45(1): 69–106. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(99\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(99)00044-6)

- Horváth Gergő (2021): *Vállalatok hitelkockázati modellezése a Magyar Nemzeti Bank felügyeleti stressztesztjében*. *Hitelintézeti Szemle*, 20(1): 43–73. <https://doi.org/10.25201/HSZ.20.1.4373>
- IMF (2022): *Near-Term Macroeconomic Impact of Decarbonization Policies*. In: *World Economic Outlook: Countering the Cost-of- Living Crisis*, Chapter 3. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WEO/2022/October/English/ch3annex.ashx>
- KSH (2005): Központi Statisztikai Hivatal: *Az ágazati kapcsolatok mérlegének matematikai feldolgozása, 2000*. KSH, Budapest. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/akmmf2000.pdf>. Letöltés ideje: 2022.11.04.
- Königswieser, Cs. – Neudorfer, B. – Schneider, M. (2021): *Supplement to “OeNB climate risk stress test – modeling a carbon price shock for the Austrian banking sector”*. In: *Financial Stability Report*, Oesterreichische Nationalbank, issue 42, November: 1–9.
- Nordhaus, W.D. (1993): *Rolling the ‘DICE’: an optimal transition path for controlling greenhouse gases*. *Resource and Energy Economics*, 15(1): 27–50. [https://doi.org/10.1016/0928-7655\(93\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0928-7655(93)90017-0)
- Ritter Renátó (2022): *Banki klímakitettségek – A magyarországi vállalati hitelállományban felépült átállási kockázatok helyzetképe*. *Hitelintézeti Szemle*, 21(1): 32–55. <https://doi.org/10.25201/HSZ.21.1.32>
- Soós Gábor Dániel – Kelemen József – Horváth Milán (2020): *Polaris, új eszköz a jegybanki előrejelzésekhez*. MNB Working Papers 1. <https://www.mnb.hu/letoltes/mnb-wp-2020-1-final.pdf>
- Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
- Stern, N. – Stiglitz, J.E. – Taylor, C. (2022): *The economics of immense risk, urgent action and radical change: towards new approaches to the economics of climate change*. *Journal of Economic Methodology*, 29(3): 181–216. <https://doi.org/10.1080/1350178X.2022.2040740>
- TCFD (2017): Task Force on Climate-related Financial Disclosures: *The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-Related Risks and Opportunities*. Technical Supplement. <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/03/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf>. Letöltés ideje: 2022. július 21.
- Vermeulen, R. – Schets, E. – Lohuis, M. – Kolbl, B. – Jansen, D-J. – Heeringa, W. (2018): *An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands*. DNB Occasional Studies 16-07, De Nederlandsche Bank. https://www.dnb.nl/media/pdnpdalc/201810_nr_7_-2018-_an_energy_transition_risk_stress_test_for_the_financial_system_of_the_netherlands.pdf