

TUDOMÁNYOS TÁJÉKOZTATÓ

A digitáliskarbonlábnyom-paradoxon feloldhatóságának problémája a kis- és középvállalkozások esetében

GUBÁN ÁKOS – SÁNDOR ÁGNES – MEZEI ZOLTÁN*

A klímaváltozáshoz nagymértékben hozzájárul az információs és kommunikációs technológiai (IKT) eszközök és a digitalizáció által történő károsanyag-kibocsátás. Ebben szerepet játszanak a közvetlen kibocsátás olyan komponensei, mint az energiafelhasználás és hőtermelés, valamint az eszközök üzemeltetése, de a közvetett káros kibocsátások is, mint az eszközök gyártása és megsemmisítése. Ez az írás a kis- és középvállalkozások (kkv-k) károsanyag-kibocsátására koncentrálna. Vajon biztos, hogy a felhőszolgáltatások (a távoli adattárolás és adatkezelés) sokkal kisebb karbonlábnyomot hagynak, mint a saját használatú IKT-eszközök? E két megoldás paradoxonhoz vezet: a kevesebb károsanyag-kibocsátást célzó korszerűbb eszközhasználat több energiát igényel, és több hő termelését eredményezi. A cikk ennek a paradox helyzetnek a feloldását elemzi a kkv-k esetében.

Journal of Economic Literature (JEL) kódok: Q56, Q55, O33, M15.

Kulcsszavak: karbonlábnyom, kkv-k, digitalizáció, digitális kibocsátás, IKT-emisszió, karbonlábnyom-paradoxon.

* Gubán Ákos PhD, professzor emeritus, Budapesti Gazdasági Egyetem Pénzügyi és Számviteli Kar. E-mail: guban.akos@uni-bge.hu

Sándor Ágnes PhD, adjunktus, Budapesti Gazdasági Egyetem Pénzügyi és Számviteli Kar. E-mail: sandor.agnes@uni-bge.hu

Mezei Zoltán PhD, óraadó, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar. Email: zoltanmezei@outlook.com

A tanulmány a Future Value Chains Kiválósági Központ keretében készült.

A kézirat 2022. augusztus 24-én érkezett szerkesztőségünkbe.

<https://doi.org/10.47630/KULG.2022.66.9-10.76>

Abstract

The problem of solving the digital carbon footprint paradox for SMEs

ÁKOS GUBÁN – ÁGNES SÁNDOR – ZOLTÁN MEZEI

Information and communication technology (ICT) devices and emissions from digitalisation are major contributors to climate change. Components of direct emissions, such as energy use and heat production and the operation of devices, but also indirect harmful emissions, such as the production and disposal of devices, play a role in this. This paper focuses on the emissions of small and medium-sized enterprises (SMEs). Is it certain that cloud services (remote data storage and management) leave a much smaller carbon footprint than ICT devices for own use? These two solutions lead to a paradox: using more modern devices to produce less emissions requires more energy and generates more heat. This article analyses how to resolve this paradox for SMEs.

Journal of Economic Literature (JEL) codes: Q56, Q55, O33, M15.

Keywords: carbon footprint, SMEs, digitalisation, digital emissions, ICT emissions, carbon footprint paradox.

Bevezetés

A klímaváltozás jelenleg az egyik legnagyobb probléma a földi élet fenntarthatósága szempontjából. Mára világossá vált, hogy a gazdasági növekedés jelenlegi struktúrája olyan környezeti hatásokkal jár, amelyek veszélyeztetik magának a földi életnek a fennmaradását. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) 2022. évi jelentése szerint az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátása folyamatosan nő. Ez érvényesült a 2010 és 2019 közötti évtizedben is, amikor a legmagasabb volt az évi átlagos növekedés, ellenben a növekedési ütem mára lelassult az előző évtizedhez képest (IPCC, 2022).

Ugyanakkor az információs és kommunikációs technológiai eszközök ma meglehetősen pozitív képet mutatnak fenntarthatósági szempontból, mivel lényegesen átalakították a kommunikációs és munkamódszereket, feltárva a lehetőségeket az emberi természetre gyakorolt hatás csökkentésére. Például az e-kereskedelem, a távmunka, a videokonferencia és a Covid-19 mérsékelte az emberek és az áruk világméretű mozgását, ezáltal csökkent a kőolajfogyasztás és az üvegházhatású gázok kibocsátása (Le Quéré et al., 2021). Vajon a különböző digitális technológiák/technikák, innovációk elterjedése tényleg csökkenti a gazdasági tevékenységek környezetre gyakorolt hatásait?

A fentiekből adódóan *a tanulmány*nak a témája annak a paradoxonnak az elemzése, amely szerint minél korszerűbb, elsősorban digitális eszközök használatára kerül sor a károsanyag-kibocsátás (a továbbiakban a kibocsátás-egyenértékkel használjuk felváltva) csökkentése érdekében, annál több energiára van szükség, és az ezen eszközök által adott lehetőségek kihasználása nyomán egyre több hő keletkezik. Más szavakkal: nem szándékolt mellékhatásként a mérséklésére irányuló erőfeszítések maguk is a károsanyag-kibocsátás növekedését valószínűsítik. A kapcsolódó kutatási rés: milyen környezeti hatásai vannak a kkv-k digitalizációjának?

A tanulmány célja egyrészt az, hogy választ adjon arra a kérdésre: feloldható-e a paradoxon, és ha igen, akkor hogyan, milyen irányban? Másrészt az írás célja a rendelkezésre álló hazai és nemzetközi szakirodalom eredményeire támaszkodva ennek a paradoxonnak a feloldását lehetővé tevő olyan modell kereteinek a meghatározása, amely alkalmas a kkv-k jelenlegi karbonlábnyoma és környezeti szempontból fenntartható működése közötti összhang megteremtésére.

A tanulmány középpontjában a kkv-szektor és a hozzá kapcsolódó digitalizáció áll. Ezt mindenekelett az indokolja, hogy alacsony a kkv-k digitális érettsége, és az elmúlt három év során végzett felmérések alapján nincs érdemi változás a digitális versenyképességükben (Digiméter, 2022). Ennek következtében kulcsfontosságú, hogy a vállalatok a digitális transzformáció során megfelelő technológiát/technikát alkalmazzanak, a lehető legkisebb környezeti terheléssel.

A kkv-k a károsanyag-emisszió szempontjából speciális esetet jelentenek, mert többségük nem képes adaptálni a modern, alacsony kibocsátást biztosító technológiai és egyéb megoldásokat, amelyek döntően a digitalizációhoz, a digitális technológiákhoz kötődnek. Egyrészt beszerzésükre nincs elegendő erőforrásuk, másrészt az üzemeltetésük, illetve használatuk sem nyújt számottevő gazdasági előnyt. Ezzel szemben a közepes méretű és a nagyvállalatok megengedhetik maguknak, sőt, elvárás is velük szemben, hogy a stratégiai célfüggvényeik között szerepeljen a karbonlábnyom minimalizálása mellett a károsanyag-kibocsátás optimalizálása. Ezek igen költséges kezdeti megoldásokat, beruházásokat igényelnek, amelyek megtérülését e típusú vállalkozások be tudják építeni a hosszú távú gazdasági célfüggvényeikbe. További célként a paradoxon feloldásával lehetővé kívánjuk tenni, hogy az EU GDP-jének felét adó kkv-k minél szélesebb köre kezdje el mérni digitális kibocsátását. A téma fontosságát és aktualitását húzza alá az a körülmény, hogy az EU-ban a kkv-kra az összes CO₂-kibocsátás 63 százaléka jut (Directorate-General for Internal Market, Industry, 2022).

Ezt követően a kkv-k számára olyan optimalizációs modellre van szükség, amelynek alkalmazása lehetővé teszi az adott vállalkozás lehető legkevesebb károsanyag-kibocsátás mellett történő optimális működését. Ehhez szükség van a jelzett paradoxon feloldására. A modellnek többkomponensű és többértékű eszköznek kell lennie, amely magába foglalja a lehetséges és a kibocsátás szempontjából optimális IT/digitalizációs eszközök kvantitatív értékskálára képzett függvényeit kibocsátási és költség szemponttól egyaránt. Az ezen elemek egymásra történő hatását leíró kapcsolati függvényrendszerrel előreláthatólag vektor-vektor függvények fogják alkotni. Ez utóbbi azért fontos, mert egyes elemek egymásra hatásai ronthatják, illetve javíthatják az egyes kibocsátási értékeket. Ebben a tanulmányban nem adjuk meg ezt a modellt, hanem a szakirodalmi forrásokra támaszkodva csak azt igazoljuk, hogy egy ilyen modell kialakításának van egzakt alakja és létjogosultsága. Ilyen elemzés nem található a jelenleg rendelkezésre álló szakirodalmi forrásokban, ez a hiánypótlás a tanulmány tudományosan újszerű eleme.

A Science Direct kutatási portál adatbázisában a 2012 és 2022 közötti időszakot vizsgáltuk meg az alábbi keresőkifejezésekre:

- carbon footprint + SME: 1286 találat,
- carbon footprint + digitalization: 9783 találat,
- digitalization + SME: 7258 találat,
- digital transformation + SME + carbon footprint: 248 találat, ebből folyóiratcikk: 170.

A szűkített keresés az alábbi témaköröket fedi le: környezettudományok (60), energia (52), mérnöki tudományok (41), döntéstámogatás (34), menedzsment és közgazdaságtudomány (42), társadalomtudomány (20), vegyészet (13), számítástechnika (13), pszichológia (13). A számítástechnikai témakörben készült cikkek a gyártási és a logisztikai rendszerek digitális átalakítását mutatják be. A menedzsment és a közgazdaságtudomány területén publikált tanulmányok pedig a pénzügyi rendszerek digitális fejlesztésére, a blokklánc-technológiára és vevőkkel kapcsolatos folyamatok digitális fejlesztésére összpontosítanak. Ezek alapján megállapítható, hogy olyan tanulmány, amely a kkv-k digitalizációjának környezeti hatásait vizsgálja, kifejezetten a CO₂-kibocsátás kapcsán nem található a jelenlegi szakirodalomban.

A létjogosultság igazolásának feltétele a paradoxon feloldása, amely egy feltáró jellegű kutatás. Erre a szakirodalom-áttekintés alapján, feltáró jelleggel következtetési alapon adunk választ. Véleményünk szerint a modell létjogosultsága később empirikus adatokkal igazolható.

A tanulmány először bemutatja a digitáliskarbonlábnyom-paradoxont, majd tisztázza a karbonlábnyom, a karbonkibocsátás és a digitális emisszió fogalmát. Ezután az IKT és a digitális lábnyom kapcsolatát, majd a paradoxon feloldását tárgyalja a kkv-k vonatkozásában. Az írást az összefoglalást és a következtetéseket tartalmazó fejezet zárja.

Szakirodalmi háttér

Digitalizáció és fenntarthatóság

A vezeték nélküli érzékelők és a felügyeleti technológia lehetővé tették az úgynevezett intelligens hálózatok, intelligens otthonok és intelligens épületek koncepciójának kidolgozását, hogy optimalizálhatóvá váljon az energiagazdálkodás az egyes helyiségekben az olyan paraméterek figyelemmel kísérésével, mint a hőmérséklet, a páratartalom vagy a napfény (Belkhir & Elmeligi, 2018; Savastano et al., 2020). Ez természetesen tovább bonyolítja a károsanyag-kibocsátás paradox állapotát. Mobilalkalmazás segítségével az ügyfelek mérhetik és csökkenthetik ÜHG-kibocsátásukat. Ez javítja az ügyfelek elkötelezettségét (digitális üzleti eredmény), és támogatja a fenntarthatósági célokat, például a nulla nettó kibocsátás elérését. A körkörös gazdaság platformja új bevételt teremt, amely üzleti eredményt jelent mind a digitális üzlet, mind a fenntarthatóság szempontjából (Gartner, 2022; Man & Strandhagen, 2017).

Az IKT-eszközöktől és -szolgáltatásoktól való függőség azonban gyorsan növekszik, ezért jelentős mértékben gyarapodik az IKT-eszközök gyártásához és üzemeltetéséhez szükséges energiaszükséglet is. A használatban lévő IKT-eszközök előállításához és működtetéséhez szükséges energia előállítása jelentős mértékben hozzájárul a szén-dioxid, az üvegházhatású gázok, valamint más globális felmelegedést okozó szennyező anyagok képződéséhez (Belkhir & Elmeligi, 2018). Az empirikus bizonyítékok is azt mutatják, hogy az IKT elmúlt hét évtizedes energiahatékonyság-javulása ellenére a karbonlábnyom folyamatosan nő. Nagyszabású beruházások és gyors fejlesztések zajlanak az IKT-szektorban, amelyek az innováció potenciálisan energiaéhes területei, ideértve az IoT-t,¹ az adatközpontokat és a számítási felhőt.

¹ A dolgok (tárgyak) internete. Az a megoldás, amelynek révén a mindennapi használati eszközök (háztartási gépek, autók, mérőórák, pénztárgépek stb.) az interneten keresztül is elérhetők és képesek egymással önállóan is kommunikálni.

Ezeket a Big Data² iránti igény táplálja, és tovább növelik az energiafelhasználást a Big Data elemzéshez használt AI (Artificial Intelligence – mesterséges intelligencia) technikák is (Blair, 2020).

Valójában a fenntarthatóság tartományát nehéz meghatározni, mivel a fogalom multi- és transzdiszciplináris, az IKT és a hozzá kapcsolódó innováció pedig cselekvéseken, döntéseken és viselkedéseken keresztül minden szinten befolyásolja a társadalmi-gazdasági szervezeteket. Ebből adódóan a fenntartható innováció csak akkor lehetséges, ha ebben az érintett szervezetek minden szintje részt vesz (Evans et al., 2017; Guandalini, 2022).

Amikor a digitalizáció fenntarthatóságáról van szó, két különböző megközelítést célszerű alkalmazni. A Green by IT a folyamatok hatékonyabbá és fenntarthatóbbá tételét jelenti informatikai rendszerek bevezetésével. Az informatikazöldítés célja magát az IT-t fenntarthatóbbá tenni. A digitalizációs stratégia fő építőkövei az adatközpontok (tárolás, feldolgozás) és a távközlési hálózatok (átvitel) (Gensch et al., 2017).

A digitális fenntarthatóság olyan szervezeti tevékenység, amely az elektronikus adatokat létrehozó, használó és továbbító technológiák segítségével törekszik a fenntartható fejlődési célok elérésére. A leggyakrabban használt technológiák közé tartozik a blokklánc, a mesterséges intelligencia (AI), a gépi tanulás, a Big Data-elemzés, a mobiltechnológia és alkalmazása, a szenzorok és egyéb IoT-eszközök és az egyéb telemetriai eszközök, mint például a műholdak és a drónok (George et al., 2021). A digitális fenntarthatóság az az eszköz, amellyel a digitalizáció képes elérni a globális fenntarthatósági célokat (Pamlin, 2022). Ebben az esetben a digitális fenntarthatóság képes egyesíteni a két stratégiai célkitűzést, a fenntarthatóságot és a digitális átalakulást, hogy pozitív társadalmi és környezeti változásokat hajtson végre ahelyett, hogy pusztán ezek csökkentésére összpontosítana (Guandalini, 2022).

Ardito et al. (2021) szerint nincs bizonyíték arra, hogy a digitalizáció és a fenntarthatóság ötvözése javítja a cég teljesítményét. Noha az általánosan optimista nézet szerint a digitalizáció eszköztárának alkalmazása kulcsfontosságú a fenntarthatóság számára, fontos tudatosítani, hogy a digitalizáció bomlasztó erő is lehet, mert nem szándékosan, ellenőrizetlenül vagy alábecsülve, de negatívan befolyásolhatja a fenntarthatóságot és annak fejlődését. Hasonló megállapításra jutott Ghobakhloo (2020) is, miszerint az Ipar 4.0 környezetben az egymással összekapcsolt számítógépek,

² Nagy mennyiségű, nagy sebességgel változó és nagyon változatos adatok feldolgozása.

okos alapanyagok és intelligens gépek kommunikálnak egymással, kölcsönhatásba lépnek a környezettel, és végül minimális emberi részvétellel döntenek.

A digitális üzlet és a fenntartható üzleti eredmények táplálhatják egymást. A gyártási és üzleti folyamatok digitalizálása, valamint az intelligensebb gépek és eszközök alkalmazása számos előnnyel járhat, mint például a gyártás termelékenységének növelése, az erőforrások hatékonyabb kihasználása és a hulladékok csökkentése (Szalavetz, 2017). Az IoT, valamint az adatok és elemzések optimalizálhatják a szélturbinákat, csökkentve a költségeket (digitális üzleti eredmény) és az üvegházhatású gázok kibocsátását (fenntarthatósági eredmény). Ennek ellenére a digitális kapcsolódás, az információ-előállítás és -megosztás mint az Ipar 4.0 igazi ereje ellentmondásos hatással lehet a fenntarthatóság három (gazdasági, környezeti és társadalmi) pillérére.

Carnerud et al. (2020) arra az eredményre jutott, hogy nagy fokú átfedés mutatkozik a fenntarthatóság és a fenntartható fejlődés között. A minőségmenedzsment (Quality Management – QM) kutatói pozitívan tekintenek a fenntarthatóságra, csakúgy, mint a digitalizációra, azonban a digitalizációs kezdeményezések a QM-paradigmákon belül nem a legkorszerűbbek. Ez vélhetően annak az eredménye, hogy az elmúlt időszakban túl sok új koncepció és technológia jelent meg az üzleti folyamatok újjászervezésének eszköztárában.

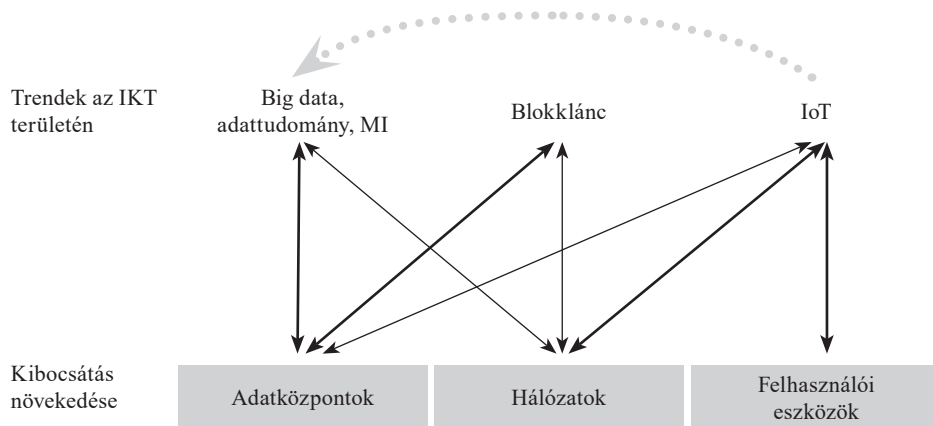
Andriushchenko et al. (2020) kimutatta, hogy a vállalkozások digitális transzformációja fenntartható fejlődés útján is elérhető. A bemutatott matematikai modell biztosítja, hogy előre jelezhető legyenek a digitalizációhoz kapcsolódó kockázatok, és azokat minimalizálni lehessen. Ez lehetővé teszi a vállalati tevékenység előrejelzését, figyelembe véve a fejlődés (a digitális transzformáció) vektorát. Bizonytalan körülmények között a modell használata elősegíti a vállalkozás digitális átalakulásának minőségbiztosítását a vállalatok fejlettségi szintjétől függetlenül.

A digitális átalakulás számos előnnyel jár, amelyek pozitív hatással vannak az éghajlatváltozás elleni küzdelemre és a CO₂-kibocsátás csökkentésére is. Az IKT-beruházás azonban a CO₂-kibocsátás egyik lényeges eleme. A digitális eszközök gyártása, használata, adatátvittele, az internetes hálózati energiafogyasztás (több érintett adatközpont és szerver/router) is növekszik ezáltal. Például az eszköz energiafogyasztása a streamelés során pótlólagos CO₂-kibocsátással jár.

Rohamosan nő az igény az adatközpont-szolgáltatások iránt, így a létesítmények karbonlábnyoma is gyorsan nő, ha környezeti hatásukat a vállalatok nem csökkentik az energiahatékonyság fokozásával és a fogyasztás optimalizálásával (Rab, 2022). Az 1. ábrán látható, hogy a különböző IKT-trendek hogyan hatnak az adatközpontok, a hálózatok és az eszközök kibocsátásának növekedésére, ami exponenciálisan bővülő energiafogyasztást von maga után. A csatlakoztatott eszközök száma folyamatosan gyarapszik, 2025-re várhatóan eléri az 55,7 milliárdot, ami hatalmas mennyiségű adatgenerálással jár. Az adatokat tárolni is kell, ami tovább növeli az adatközpontok iránti keresletet (Evangelidis & Davies, 2021).

Az ügyfelek megtartásának érdekében az adatok felhőben történő tárolása vagy a zökkenőmentes adatintegráció az adatközpontokat arra kényszeríti, hogy megszakítás nélkül működjenek, így az adatközpontoknak tartalék áramforrásként dízelgenerátorokat kell használniuk. Ez viszont üvegházhatású gázok kibocsátásával jár, és jelentős hatást gyakorol az éghajlatváltozásra. Ezek a kibocsátások a digitális CO₂-lábnyom vagy digitális karbonlábnyom kifejezéssel írhatóak le (Foundation myclimate, 2022). Mindemellett az adatközpontokban csökkenteni kell a hőt. E termodinamikai fenyegetés megszüntetésére az adatközpontok a hűtésre támaszkodnak, amely az áramfogyasztás több mint 40 százalékát teszi ki. A hűtésen túl az adatközpontok akusztikus hulladékot bocsátanak ki, amit zajszennyezésnek neveznek. Hatására megemelkedik a vérnyomás és a kortizolszint, valamint szorongás is megjelenhet (Gonzalez Monserrate, 2022).

Az IKT-trendek hatásai az adatközpontok, hálózatok és eszközök kibocsátásának növekedésére



Megjegyzés: A vastagabb vonalak a szeméttető fenyegetéseket, a vékonyabbak a másodlagos fenyegetéseket, a pontozott vonal pedig a trendek közötti kapcsolatokat ábrázolja.

Forrás: Freitag et al., alapján.

Az előző megállapítást erősíti a Jevons-paradoxon (Alcott, 2005) is, amely szerint azok a technológiai fejlesztések, amelyek egy erőforrás kihasználásának hatékonyságát javítják ahelyett, hogy csökkentenék az erőforrás használatát, valójában növelik azt. William Stanley Jevons közgazdász figyelte meg, hogy a technológiai fejlesztések, amelyek a szén hatékonyabb felhasználását tették lehetővé, a szén nagyobb mennyiségű felhasználásához vezettek az ipar több területén. Szerinte az energiatakarékosság reménytelen, mert a megnövelt hatékonyság növeli az igényt. Ettől függetlenül a jobb hatékonyság javíthatja az életminőséget.

A fentiek alapján az energiahatékonyság hiába mutat javuló képet, a teljes energiafogyasztás mégsem mérséklődik. Ezt tovább erősíti többek között a részleges vagy teljes otthoni munkavégzésből fakadó visszapattanó hatás, amelynek lényege, hogy a munkavállaló azt az időt, amit az utazás megtakarításából nyer, munkavégzésre fordítja. Ebből további energiafelhasználás származik. Tehát továbbra is az üzleti szempontok dominálnak, azaz a digitalizációt a cégek nem a környezeti terhek csökkentésére használják, hanem az értékesítés növelésére vagy a költségek csökkentésére (Arnfaik et al., 2016; Szalavetz, 2018).

A technológia a probléma és a megoldás forrása is egyben. A megfelelő technológiák és technikák alkalmazása segítséget nyújthat a klímaváltozás elleni küzdelemben, de ehhez figyelembe kell venni a digitális szénlábnyomukat is.

Blair (2020) szerint az alábbi versengő faktorok fogják meghatározni az IKT-eszközök jövőbeli kibocsátását (1. táblázat).

1. táblázat

Az IKT jövőbeli szén-dioxid-kibocsátásában szereplő tényezők

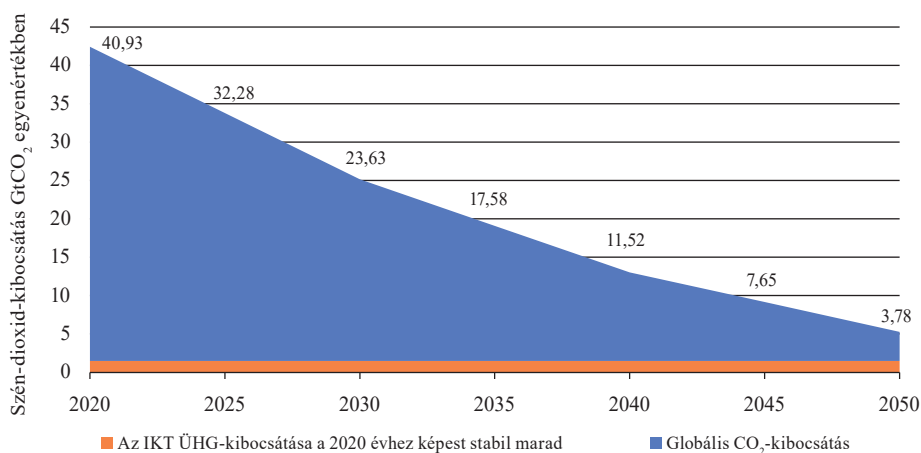
Hatékonyság	Innováció
Megújuló energiák	Moore-törvény
Elérhetőség	Jevons-paradoxon

Forrás: Blair, 2020 alapján.

A bal oldali oszlopban olyan tényezők találhatók, amelyek segítenek csökkenteni az IKT-kibocsátást, kezdve a hatékonyság növelésével. Például a számítástechnika megjelenése óta a Moore-törvény elősegítette a hatékonyság javítását. Ezt kiegészítve az IKT-ipar számos ágazata növeli a megújuló energiaforrásokból származó energia százalékos arányát. Jelentős az előrelépés az adatközpontokban, kevésbé az a decentralizált interneten. Vannak olyan fontos érvek is, amelyek szerint az elérhetőség javulása révén az IKT fejlődése más ágazatokban alacsonyabb kibocsátást eredményez.

A jobb oldali oszloppal kapcsolatban sok szakértő azzal érvel, hogy a Moore-törvény által szabályozott időszak a végéhez közeledik. Emellett gyakran figyelmen kívül hagyják a Jevons-paradoxon hatását.

Az IKT ÜHG-kibocsátása (optimista előrejelzéssel) 2050-ig stabil marad, és a globális CO₂-kibocsátás eredményeként 1,5 °C-kal csökken az SSP2-19 (Shared Socioeconomic Pathways, 2019) forgatókönyv szerint. A 2. ábrán látható az IKT részesedése a globális CO₂-kibocsátásból.

Az IKT-szektor és a globális CO₂-kibocsátás

Forrás: Blair (2020) alapján.

A kibocsátás számítását nagymértékben megnehezíti, hogy nincs egyetértés arról, mely technológiákat kell bevonni az IKT ÜHG-kibocsátásának számításába. Az előzetes becslések némelyike nem veszi figyelembe az IKT-termékek és infrastruktúra teljes életciklusát és ellátási láncát. Például a termékek és berendezések gyártására fordított energia, az összes összetevőjükhöz kapcsolódó szén-dioxid-költség és a mögöttük álló vállalatok működési karbonlábnyoma, a berendezés használata során felhasznált energia (a rendelkezésre állást is beleértve), végül a megsemmisítésre fordított energia, miután céljukat teljesítették (Freitag et al., 2021). Minden digitális tevékenységnek van szén-dioxid-költsége. A vállalatoknál azonban sokan nincsenek tisztában ezzel a ténnyel, és a tájékozottság szintje ágazatonként eltérő. Ennek mértéke a bankszektorban és a fogyasztási cikkek előállításában viszonylag magasabb, míg a feldolgozóiparban a legalacsonyabb (Capgemini, 2021).

A Gartner fuvarozási és logisztikai cég illetékesei például azt javasolják a vállalatoknak, hogy próbálják csökkenteni a tárolási és feldolgozási követelményeket többek között a pontról pontra való átállással a huborientált integrációs mintákra, valamint modernebb adatintegrációs technikákra, például adatvirtualizáció bevezetésével, amelyek nem igényelnek adatmozgatást.

Simon Mingay, a Gartner kutatási alelnöke szerint az alábbi elvek szélesebb körű elfogadást érdemelnének:

- A szükségtelen adatduplikáció elkerülése például közös adattárak használatával és adatvirtualizáció segítségével.
- Az analitikai célok elérése érdekében a feldolgozott adatok mennyiségének minimalizálása azáltal, hogy a korábbi adatigények alapján sztenderd, automata jelentéseket alakítanak ki, amelyek segítségével a jövőbeli adatigények is kiszolgálhatók.
- Adatok tárolása passzív adathordozón, többszintű megközelítéssel (Hirsch, 2022).

Az előzőek mind azt bizonyíthatják, hogy a digitalizáció és a digitális fejlesztések mindenképpen csökkentik a károsanyag-kibocsátást és a karbonlábnyomot. Ha viszont egy Google-keresés átlagosan 0,01 kilogramm szén-dioxid kibocsátásával jár (szén-dioxid-egyenérték – CO₂e), és naponta legalább 4,5 milliárd keresést indítanak világszerte, akkor több kérdés is felvetődik. Ráadásul nemcsak a Google-keresés, hanem egy felhőszolgáltatás igénybevétele, napi több órán keresztül történő használata is (beleértve a felhőalapú levelezési rendszereket is) hatalmas karbonkibocsátást vonhat maga után. Ilyen módon a felhő nemcsak anyagi, hanem ökológiai erő is. Ahogy terjeszkedik, úgy növekszik a környezeti hatása is.

Az is megfigyelhető, hogy minél fejlettebb egy IKT-rendszer egy kkv-nál, annál több olyan szolgáltatást is igénybe vesznek, amelyeket egyébként korábban vagy alacsonyabb fejlettség mellett nem alkalmaztak. (Ezeknek az eszközöknek energiaigénye is van, illetve arányaiban magas a hőkibocsátásuk.) Amíg egy papíralapú táblázat használata során csak az alapanyag és az előállítás szerepel mint a karbonlábnyomot növelő tényező, addig egy felhőszolgáltatáson keresztül igénybe vett dashboard-kimutatás okostelefon segítségével történő használata során már sokkal több összetevővel kell számolni.

Abban az esetben viszont, ha a kkv nem üzemeltet saját számítógépes rendszert (szervert, LAN-t, nyomtatókat), nem használ lokálisan alkalmazásokat, adatkezelő rendszereket, kimutatáskészítő eszközöket, hanem ezeket osztottan veszi igénybe úgy, hogy mások erőforrásait használja, esetleg a saját eszközeit is megosztja másokkal, azzal növelheti a kihasználtságot, és csökkentheti a készenléti időket. Ezáltal a károsanyag-emissziója is csökken. A digitalizáció azonban csak akkor járul hozzá a karbonlábnyom visszafogásához, ha okosan menedzselik. Az IPCC (2022) jelentése is megállapítja: nagyon kevés szisztematikus elemzés van arról, hogy a digitális gazdaság elterjedésével milyen hatásokra lehet számítani. Milyen energiafelhasználása

lesz az adatközpontoknak, milyen fogyasztási és életmódbeli hatásai lesznek a közösségi média növekvő használatának, a mesterséges intelligenciának, a blokkláncnak, miként fog alakulni a társadalmi csoportok és régiók közti digitális szakadék?

Tanulmányunkban azt vizsgáljuk, hogy a kutatási kérdésben szereplő digitális paradoxon feloldható-e, és ha igen, milyen módon, azaz *„egy kkv esetében a digitalizáció emissziócsökkentő tényező, ellenben a digitalizáció következménye egy magasabb káros emissziós szint lehet”*.

Első lépésben néhány alapfogalmat tisztázunk. Vizsgálatainkban a kis- és középvállalkozások halmazát leszűkítjük. Egyrészt az egyéni vállalkozókat és a mikrovállalkozásokat (1–5 fős), továbbá a kkv-szektor felső rétegébe tartozó vállalatokat (a továbbiakban: felső kkv-k) kihagyjuk a vizsgálatokból. Ennek okát az előző fejezetben mutattuk meg. A mikrovállalkozások esetében az elsődleges működési célfüggvény a bevétel és a költség közötti különbség. A felső kkv-k esetében a működéshez az IKT tudatos megválasztása, a magasabb minőségű eszközrendszer használata már eleve lehetővé teszi a karbonlábnyom alacsonyabban tartását. A kettő között a legtöbb kkv nem építi be működési célfüggvényébe az emissziót, így nem foglalkozik azzal, hogy milyen környezeti károkat okoz. Annak ellenére működik így, hogy lehetősége lenne ilyen szempontok figyelembevételére.

Digitális karbonlábnyom

A karbonlábnyom azt mutatja meg, hogy egy ember életmódja, egy cég vagy közösség tevékenysége vagy egy termék életciklusa nyomán mennyi üvegházhatású gáz kerül közvetetten és közvetlenül a levegőbe. A karbonkibocsátás egy egyén, egy esemény, egy szervezet, egy termék által közvetlenül és közvetve okozott üvegházhatású gázok teljes halmaza CO₂-ben kifejezve. Egy szervezet teljes lábnyoma a kibocsátási források széles skáláját öleli fel, az üzemanyagok közvetlen felhasználásától az olyan közvetett hatásokig, mint az alkalmazottak utazása vagy az ellátási láncban belüli más szervezetek kibocsátása. Egy elterjedt osztályozási módszer az ÜHG-kibocsátások csoportosítása aszerint, hogy a szervezet milyen szintű ellenőrzést gyakorol felettük (Harangozó et al., 2016). Ezen az alapon az ÜHG-osztályozásnak három fő típusa van:

- a szervezet által ellenőrzött tevékenységekből származó közvetlen kibocsátások,
- a villamosenergia-használatból származó kibocsátások,

- a szervezet által közvetlenül nem menedzselte termékekből és szolgáltatásokból származó közvetett kibocsátások.

A digitális szénlábnyom a digitális eszközök és az infrastruktúra gyártásából, használatából és adatátviteléből származó CO₂-kibocsátás (Evangelidis & Davies, 2021).

Digitális emisszió minden olyan káros kibocsátást értünk, amely visszavehető az IKT- és digitális fejlesztésre/működésre/működtetésre, és amely negatív irányban befolyásolja a karbonlábnyomot.

Az IKT és a digitális karbonlábnyom kkv-k esetében

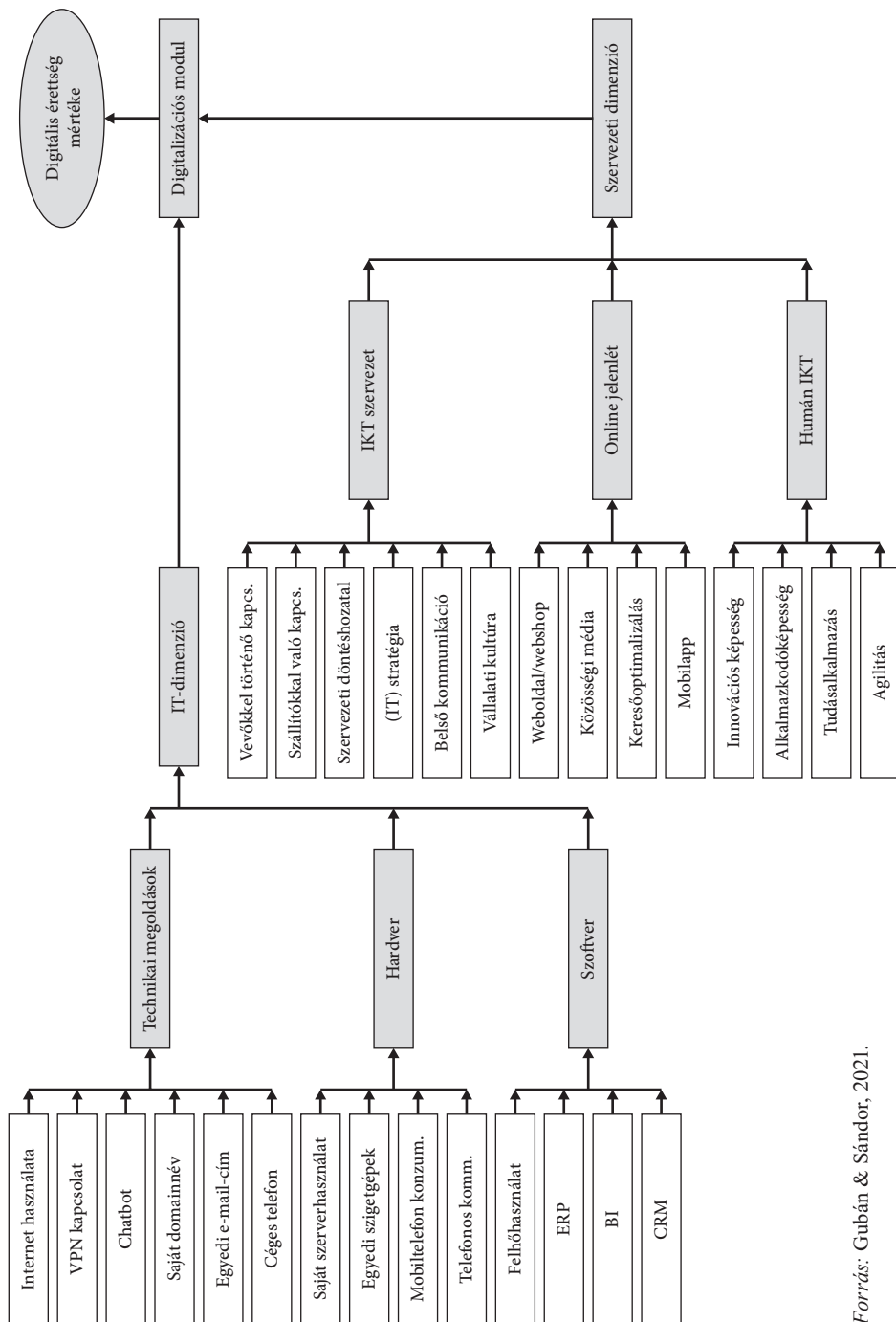
Az Eurobarométer kis- és középvállalkozásokról szóló 2022. évi jelentése szerint az uniós kkv-k már jelentős lépéseket tettek annak érdekében, hogy üzleti tevékenységüket a környezeti fenntarthatóság irányába alakítsák át. Túlnyomórészt megújuló energia felhasználásával, újrahasznosításával vagy a hulladék minimalizálásával próbálnak erőforrás-hatékonyabbá válni (3R: Reduce, Reuse, Recycle). A 2018. évhez képest azonban lassúnak bizonyul a fenntarthatóságuk javítása. Figyelembe véve a klímaváltozás jelentős mértékű dinamikáját, szükségessé válik a gyorsabb átalakulásuk. A teljes kibocsátáson belüli együttes részesedésük is magas, a vállalatok összes CO₂-kibocsátásának 63 százalékát teszi ki. Ezek alapján lényeges, hogy ezeknek a vállalatoknak a digitális transzformációja megfelelő legyen, azaz nem mindegy, hogy milyen technológiákat fognak alkalmazni (Directorate-General for Internal Market, Industry, 2022). Nehezíti a helyzetet, hogy a vállalatokon belül alacsony a saját információtechnológiai infrastruktúrájuk karbonlábnyomával kapcsolatos tudatosság, csak néhány vállalatnak van stratégiája ennek azonosítására (Hirsch, 2022).

A definiált lábnyomokra igen nagy hatással van egyrészt a digitalizáció, másrészt az IKT-eszközök. Ezért célszerű lenne pontosan körülhatárolni, hogy melyek azok a tényezők és komponensek, amelyek a leginkább hatással vannak e két mérőszámra. Esetünkben azokat a digitalizációhoz köthető szoftver, hardver, orgver (az információsrendszer-fejlesztés szervező jellegű lépései), peoplever³ elemeket értjük ide, amelyek a kkv-k digitális karbonlábnyomában szerepet játszanak.

³ A számítógépes adatfeldolgozás emberi környezete az adott IT-tevékenységhez kapcsolódó kompetenciákkal együtt. Ez a korábbi menver. Ide tartoznak a rendszertervezők, a folyamatszervezők, a programtervezők, a programozók, az üzemeltetők, a felhasználók.

A DÉTA keretrendszere

3. ábra



Forrás: Gubán & Sándor, 2021.

Talán a legegyszerűbb megközelítés, ha a digitális érettségből indulunk ki. A 3. ábrán a digitális érettség technikai architektúrája (DÉTA) látható, amely egy lehetséges digitalizációs komponensrendszert mutat be. Esetünkben azt kell megvizsgálni, hogy melyek azok a komponensek, amelyek digitális lábnyoma jelentős. Az egyértelmű, hogy a technikai megoldások minden komponense fontos, illetve az is látszik, hogy ki kell bővíteni. A hardver minden komponense szükséges, és bővítést is kell végezni. A szoftverkomponensek is bővítésre, illetve átstrukturálásra szorulnak. Tehát az IT-dimenzió jelentős szerepet játszik. Az IKT-szervezet elhagyható, emissziója nem jelentős a digitalizáció szempontjából. Az online jelenlét nagyon fontos, nem szükséges átstrukturálni. A humán IKT az IKT-szervezethez hasonlóan a jelen vizsgálataink szempontjából elhanyagolható.

Ezek után vizsgáljuk meg az újraalkotott komponenseket.

Az első újraalkotott komponens a technikai megoldásokra vonatkozik.

- Az nyilvánvaló, hogy a technikai komponensek digitális emissziója közvetett lesz. Ez azért lényeges, mert ilyen esetben a digitális emisszió több felhasználó között oszlik meg, és az ilyen komponensek mögötti hardverelemek kihasználtsága sokkal magasabb, és fajlagosan alacsonyabb kibocsátást jelent, mint az ilyen típusú saját hardvererőforrás használata (például nem jelenik meg a stand-by állapothoz szükséges felesleges energiafelhasználás, illetve az állás közbeni amortizáció, stb.).
- A digitális eszközök folyamatosan továbbítanak adatokat az interneten keresztül. Az adathálózatok energiafogyasztásának szintje és a továbbított adatmennyiség közötti kapcsolat nagyon összetett. Ez az állandó adatmennyiség-ingadozásra és a hálózatok kialakítására vezethető vissza, amivel kapcsolatban figyelembe kell venni a mindenkori csúcsideket maximális adatmennyiséggel. Mindazonáltal ez az összefüggés a következőképpen becsülhető:

Energiafogyasztás = az átvitel időtartama * időtényező + továbbított adatmennyiség * mennyiségi tényező.

Ebből a becslésből levonva, különböző átviteli sebességeket és adatmennyiségeket feltételezve az adathálózat üvegházhatásúgáz-kibocsátása a következő tevékenységekre a következőképpen becsülhető meg:

- üvegházhatású gázok kibocsátása az adathálózatokban,
- napi 4 óra videostreaming: 62 kg CO₂e évente,
- napi 1 gigabájt biztonsági mentés: 11 kg CO₂e évente,
- összes adathálózat: 76 kg CO₂e évente (Gröger, 2020).

- Internetaktivitás kibocsátása: 1 óra standard videomegbeszélés 270 MB adat, 0,008 kWh/GB internet elektromos fogyasztás, 321g CO₂/kWh-kibocsátás (Reyes-García et al., 2022).
- A technikai komponensek vizsgálata során kiderül, hogy alkalmazásuk nem minden esetben környezetkímélő megoldás. A 24 órás internet eredményezheti azt, hogy az adott kkv akkor is használja a hálózatot, amikor nem lenne szükséges, de a rendelkezésre állás miatt észszerűnek tartja. (Mint láttuk, egy Google-keresés 0,01 kg CO₂-kibocsátással egyenlő.) Ellenben egy eszköz standby üzemmódja is feleslegesen használ energiát, egyrészt a készenléthez, másrészt a gyors reagáláshoz. Ilyenkor olyan alkalmazások is fogyasztanak energiát, amelyekre nem lenne szükség. Tehát egyrészt egy megfelelő belső szabályzat sokat segíthet úgy tervezni az erőforrásokat, hogy azokat optimálisan lehessen kihasználni, tekintettel a szélsőséges terhelésekre is. Ha ilyen ritkán és tervezhetően fordul elő, akkor mindenképpen célszerű kiváltó erőforrásokat bérelni és osztottan használni azokat.
- A másik nagy probléma a technikai komponensekkel a redundancia. Mivel a jelenlegi adattárolási politika abba az irányba mutat, hogy az adattörlés csak virtuális, azaz az adat fizikailag nem törlődik, csak logikailag, emiatt rengeteg felesleges adat tárolására van szükség. Hasonló probléma az elektronikus levelezés is. Egy csoportos üzenetküldés csatolmányal minden esetben a küldő fiókjában (levelező szerverén) legalább egy példányban megőrződik, de minden egyes címzett fiókjában is rendelkezésre áll legalább egy példányban, nem beszélve a desktopra, telefonra letöltött saját példányokról. Ez hihetetlen nagy energia- és erőforrás-pazarlás. Okos erőforrás-megoldással egyetlen példány is elegendő lenne és osztott – természetesen megfelelő biztonsági megoldások mellett – elérhetőséggel adattárolási energiát és erőforrásigényt is meg lehet takarítani. Ezek a kkv-kre természetesen csak részlegesen osztódnak le, de közvetett lábnymként beépülnek a teljes lábnymba.
- A chatbotok (beszélgető robotok) alkalmazása talán a legegységértelműbben előnyös egy ügyfélkapcsolati menedzser IKT-emissziója alapján. Ebbe be kell számítani a munkaideje alatt használt desktopok és más IKT-eszközök használatát, valamint a készenléletet is. Reyes-García et al. (2022) alapján egy fő éves ingázása az Egyesült Királyságban 750 kg CO₂-egyenérték, Hollandiában 410–630 kg CO₂-egyenérték. Ellenben a chatbotok használata során az alkalmazás készenléletét és működési IKT-emisszióját kell csak beszámítani, ami jóval kevesebb

emisszió, mint a humán megoldás. (Itt a hálózati és egyéni kapcsolódási energiákat és a kibocsátásokat nem kell figyelembe venni, mert azok mindkét esetben azonosak.)

- Az 5G mint technikai komponens érdekes problémát vet fel. Magasabb minőségű kommunikációt biztosít, az IoT-t alkalmazó kkv-k esetében sokkal gyorsabb és pontosabb kommunikációt valósít meg. Mivel működésük célfüggvényének (*objective function*) egyik fontos tényezője, ezért használata nélkülözhetetlen. Mivel ennek jelenléte a kkv-ktől független, ezért használata célszerű, bár minden esetben növeli a közvetett kibocsátást, és a kkv-t terheli, függetlenül a kkv-k szándékától.
- Nem esett eddig szó az elektromágneses szennyezésről. Az alkalmazott nem vezetékes kommunikációt lehetővé tevő eszközök (routerek, switchek, telefonok, bluetooth-eszközök, szenzorok stb.) állandó elektromágneses szennyezést okoznak. Főleg azzal kell szembeülni, hogy a minden irányba terjedő elektromágneses hullámok csak nagyon kis hányada kerül kihasználásra. Itt a szennyezés csökkentésére több lehetőség áll rendelkezésre, az ilyen kibocsátások energiája felhasználható lenne az eszközök töltésére, működtetésére, így sokat csökkenhet – úgy, hogy ezáltal nem romlik az adatátvitel minősége és sebessége – a cégek elektromágneses szennyezése, és így visszaszorítható lenne a CO₂-ekvivalens szennyezés mértéke is. A további komponenseket jelen tanulmányban nem részletezzük.

A másik újraalkotott komponenscsoport a hardverkomponenseké.

- A második és legfontosabb emissziós komponens a hardver. A hardverkomponensek problémája a magas energiaigény és az aránylag jelentős hőtermelés, az újrahasznosítás magas energia- és költségigénye és a sok hulladék. Ezért e komponensek nagyszámú felhasználása a kkv-k esetében nagy fokú körültekintést igényel. Célszerű a lehető legkevesebb eszközt használni, csak a működéshez elengedhetetlenekre fókuszálva. Az ezek által felhasznált energia közvetlen energia lesz a kkv-k esetében, és a kibocsátás is közvetlen. Melyek azok az IKT-hardverelemek, amelyek feltétlen nélkülözhetetlenek? Általában személyenként egy-egy konzumerizált mobilkommunikációs eszköz, bár ha a kkv adatbiztonsági politikája megengedi, ezek egyben lehetnek a felhasználók privát eszközei is, ezáltal csökkenthető az eszközök száma, és ebben az esetben a kihasználtság is sokkal magasabb. Ez a digitális emisszió szempontjából sokkal hatékonyabb. Ezekkel az eszközökkel kiválthatók a sokkal nagyobb energiaigényű desktopok, notebookok stb.

- Bár egy kkv esetében elképzelhetetlen, hogy legalább egy desktop jellegű eszközzel ne rendelkezzen, ha másért nem, az elszámolási, a könyvelési és a folyamattírányítási feladatok elvégzésére. Ezekkel a jelen tanulmányban nem foglalkozunk, viszont mindez a későbbi modell számára szükséges és fontos elem lesz.
- Sok más hardverelem, mint a szerverek, a nyomtatók, a specifikus hardverelemek, sok esetben osztott módon használható, ezáltal számuk csökkenthető. Az osztott használat viszont maga után vonja a technikai komponensek nagyobb mértékű alkalmazását. Minden digitális eszköz CO₂-t bocsát ki a használati fázisában, akár otthon, akár az irodában, elektromos energia fogyasztása révén. Ez az energiafogyasztás nagymértékben függ az adott felhasználói viselkedéstől. A notebookot átlagosan napi négy órát használják, 32 watt áramfogyasztással, amely 25 kg CO₂ karbonlábnnyommal rendelkezik évente. Feltételezhető, hogy egy okostelefon általában napi négy órára csatlakozik a töltőhöz, és ezalatt 5 wattot fogyaszt (Gröger, 2020).
- Természetesen foglalkozni kell azzal is, hogy a digitális eszközök, például az okostelefonok, a notebookok és a televíziók gyártása jelentős üvegházhatásúgáz-kibocsátással jár. A kibocsátást elsősorban a nyersanyag-kitermeléshez és -feldolgozáshoz használt technológiai vegyszerek, valamint a félvezetőgyártáshoz szükséges energia okozzák. Egy nagy méretű (50” feletti képátlójú) síkképernyős tévékészülék gyártása például 1000 kilogramm CO₂-kibocsátással jár. Egy laptop esetében 250 kilogramm CO₂-kibocsátás történik a gyártás során. Becslések szerint egy okostelefon vagy egy digitális hangasszisztens (például Alexa) gyártása körülbelül 100 kilogramm szén-dioxid kibocsátásával jár (Gröger, 2020).

Megoldás és a paradoxon feloldása

A digitális fenntarthatósággal szembeni követelményrendszer az az eszköz, amellyel a digitalizáció képes elérni a globális fenntarthatósági célokat (Pamlin, 2022). Nem biztos azonban, hogy a digitalizáció és a fenntarthatóság ötvözése javítja a kkv-k teljesítményét. Általános nézet szerint a digitalizáció eszköztárának alkalmazása előmozdítja a fenntarthatóságot. Nem hagyható azonban figyelmen kívül, hogy a digitalizáció bomlasztó erő is lehet, amely nem szándékosan, ellenőrizetlenül vagy alábecsülve, de negatívan befolyásolhatja a fenntarthatóságot és annak alakulását.

Ezzel szemben a vállalkozások digitális transzformációja fenntartható fejlődés útján is elérhető (Andriushchenko et al., 2020). Ebben az esetben szükséges, hogy előre jelezhetőek legyenek a digitalizációhoz kapcsolódó kockázatok és a CO₂-kibocsátás, és azokat minimalizálni lehessen. A digitális átalakulás számos előnnyel jár, amelyek pozitív hatással vannak az éghajlatváltozás elleni küzdelemre és a CO₂-kibocsátás csökkentésére is. Az IKT-beruházás azonban a CO₂-kibocsátás egyik lényeges eleme. A digitális eszközök gyártása, használata és adatátvittele ugyanis pótlólagos CO₂-kibocsátással jár. Ezek következtében felvetődik a kérdés, hogy egy digitálisan érett kkv működése vajon kevesebb CO₂-kibocsátással jár-e.

Nagyon nehéz azt megmondani, hogy a kkv-k esetében a digitális érettség növekedése, a jobb minőségű IKT-eszközök használata vajon csökkenti vagy növeli az adott vállalkozás emisszióját, vagyis a kibocsátás csökkentése érdekében javuló digitális érettség (minőségi IKT-alkalmazás) nem növeli-e a vállalkozás karbonlábnyomát. Ez a paradoxon igenis feloldható a kkv-k esetében. Természetesen fontos megvizsgálni a kkv-k környezetét. Első fontos szempont, hogy a kkv mely gazdasági szektorban vagy iparágban működik. Nem mindegy, hogy egy logisztikai fuvarozócéget vagy egy könyvelőcéget vizsgálunk. Mindkettőnek eltérő IKT-igénye van. Az első esetben nagyon fontos a pontos, valós idejű kommunikáció, ez igényli a legmodernebb IKT-eszközök használatát. A második esetben elegendők megfelelően működő, nem túl korszerű desktopok, stb. Az első következtetés szerint az ágazattól függően minden esetben olyan IKT-környezetet kell biztosítani, amely kielégíti az igényeket, de nem mutat túl a szükséges felhasználáson, és törekszik az eszközök célirányos kihasználtságára. A felesleges vagy redundáns eszközök számát – biztonsági okokat figyelembe véve – a minimálisra kell csökkenteni. Az IKT-fejlesztések és eszközök – hacsak az ágazat meg nem követeli – nem szolgálhatnak célként, csupán kiszolgáló funkcióként. Ez azt biztosítja, hogy nem száll el a karbonlábnyom-növelés tekintetében a projekt, illetve az IKT-környezet.

A következtetés tehát az, hogy a paradoxon feloldható, ez tézisnek tekinthető. A feloldáshoz egy komponensmodellt kell alkotni úgy, hogy a benne lévő alkotóelemek a karbonlábnyom szempontjából a lehető legnagyobb mértékben diszjunktak (pontos megfogalmazás esetén függetlenek) legyenek, vagy a legkisebb kapcsolattal rendelkezzenek. A komponenseket az egységes mérték meghatározásához normalizálni kell, valamint transzformálni egy egységes mérési skálára. Meg kell határozni a komponensek közötti kapcsolatokat azért, hogy részkomponens ne szerepeljen nagyobb arányban, mint az a valóságban érzékelhető. A kapcsolatok után meg kell határozni azt a leképezést, amely ezeket a kapcsolatokat és transzformált kvantitatív

értékeket egy egységes sztenderd karbon- vagy ökokibocsátásra képezi le. Ennek segítségével a kkv-k már meg tudják határozni, hogy az IKT-fejlesztésük, jelenlegi IKT-érettségi szintjük milyen káros hatással van környezetünkre és környezetünk jövőjére. Így képesek optimális kibocsátási szintet meghatározni, amely természetesen lehet a költségzempléletű célfüggvénnel ellentétes.

Összefoglalás, következtetések

Tanulmányunkban rámutattunk, hogy milyen hatással lehet egy kkv esetében az IKT tudatos alkalmazása, valamint arra, hogy az indokolatlan IKT-fejlesztés, az indokolatlanul magas minőségű, sok tudással rendelkező IKT-eszköz üzemeltetése káros lehet a karbonlábnyomra. Annak ellenére, hogy céljuk a karbonlábnyom csökkentése, az ellenkező hatást érik el. A paradoxon feloldásához olyan modellre van szükség, amely pontosan megmutatja a kkv-k számára a jelenlegi károsanyag-emissziójukat. A digitális fejlesztés eredményeként modellezhető az új működés emissziója és a jelenlegi állapot közti különbség, aminek segítségével észszerű és okos döntést lehet hozni a fejlesztések során.

A digitális átalakulás számos előnnyel jár, amely pozitív hatással van az éghajlatváltozás elleni küzdelemre és a károsanyag-kibocsátás csökkentésére. Az IKT-beruházás a CO₂-kibocsátás egyik lényeges eleme. A digitális eszközök gyártása, használata, adatátvittele, az internetes hálózati energiafogyasztás, több érintett adatközpont és szerver/router, az eszköz energiafogyasztása a streamelés során pótlólagos CO₂-kibocsátással jár. Tanulmányunkban rámutattunk, hogy milyen hatással lehet egy kkv esetében az IKT-fejlesztés a károsanyag- kibocsátásra, valamint arra, hogy az indokolatlan IKT-fejlesztés, az indokolatlanul magas minőségű, sok tudással rendelkező IKT-eszköz beszerzése és alkalmazása káros lehet a karbonlábnyomra.

A paradoxon feloldása után a továbbiakban az elsődleges célunk a modell megalkotása lesz, vagyis az, hogy a költség és a kibocsátás együtteséből létrehozzunk egy célfüggvényt. Amint ezt sikerül megalkotni, kialakítjuk azt az eszközt, amely a modell segítségével leképezi a kkv pontos IKT-széndioxid-kibocsátási értékét, segítve ezzel a digitalizációs döntésében. Majd szeretnénk empiriák segítségével képet kapni a magyarországi kkv-k jelenlegi CO₂-kibocsátásáról.

A kkv-k digitális paradoxonja szerint a digitalizáció emissziócsökkentő tényező, ellenben a digitalizáció következménye magasabb káros emissziós szint lehet. A tanulmány egyik új tudományos eredménye a paradoxon részletes elemzése és a

feloldásához kapcsolódó modell szükségességének igazolása, mert a szakirodalomban jelenleg nem található ezzel kapcsolatos eredmények. A mainstream kutatások jelenleg a karbonlábnyom, a digitalizáció és a kkv-k bizonyos kapcsolatait érintik. A menedzsment és a közgazdaság-tudomány területén publikált tanulmányok pedig a pénzügyi rendszerek digitális fejlesztésére, a blokklánc-technológiára és vevőkkel kapcsolatos folyamatok digitális fejlesztésére fókuszálnak.

A másik újszerű tudományos eredmény pedig olyan optimalizációs modell alapján kidolgozása, amely adaptálása esetén az adott kkv gazdaságilag úgy működik optimálisan, hogy közben a lehető legkevesebb káros kibocsátást adja. A jelen tanulmányban ezt a modellt nem adjuk meg; csak azt igazoltuk, hogy egy ilyen modell kialakításának van egzakt alakja és létjogosultsága.

Hivatkozások

- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- Andriushchenko, K., Buriachenko, A., Rozhko, O., Lavruk, O., Skok, P., Hlushchenko, Y., Muzychka, Y., Slavina, N., Buchynska, O., & Kondarevych, V. (2020). Peculiarities of sustainable development of enterprises in the context of digital transformation, *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(3), 2255–2270. <http://jssidoi.org/esc/home>.
- Ardito, L., Raby, S., Albino, V., & Bertoldi, B. (2021). The duality of digital and environmental orientations in the context of SMEs: Implications for innovation performance. *Journal of Business Research*, 123, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.022>
- Arnfolk, P., Pilerot, U., Schillander, P., & Grönvall, P. (2016). Green IT in practice: Virtual meetings in Swedish public agencies. *Journal of Cleaner Production*, 123, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.063>
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- Blair, G. S. (2020). A Tale of Two Cities: Reflections on Digital Technology and the Natural Environment. *Patterns*, 1(5), 100068. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100068>
- Carnerud, D., Mårtensson, A., Ahlin, K., & Slumpi, T. P. (2020). On the inclusion of sustainability and digitalisation in quality management—an overview from past to present. *Total Quality Management and Business Excellence*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1848422>
- Digiméter. (2022). *Hazai digitalizáció 2022. Kutatás a kis- és középvállalkozások körében*. https://digimeter.hu/wp-content/uploads/2022/10/Digimeter_2022_osz_osszefoglalo.pdf
- Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. (2022). *Eurobarometer: EU SMEs working towards sustainability*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/eurobarometer-eu-smes-working-towards-sustainability-2022-03-28_en
- Evangelidis, H., & Davies, R. (2021). *Are you aware of your digital carbon footprint?* <https://www.capgemini.com/gb-en/insights/expert-perspectives/are-you-aware-of-your-digital-carbon-footprint/>
- Evans, S., Vladimirova, D., Holgado, M., Van Fossen, K., Yang, M., Silva, E. A., & Barlow, C. Y. (2017). Business Model Innovation for Sustainability: Towards a Unified Perspective for Creation

- of Sustainable Business Models. *Business Strategy and the Environment*, 26(5), 597–608. <https://doi.org/10.1002/bse.1939>
- Foundation myclimate. (2022). *What is a digital carbon footprint?* <https://www.myclimate.org/information/faq/faq-detail/what-is-a-digital-carbon-footprint/>
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., & Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- Gartner. (2022). *Sustainable Business Strategy for a Positive Social and Environmental Impact*. <https://www.gartner.com/en/insights/sustainable-business>
- Gensch, C.-O., Prakash, S., & Hilbert, I. (2017). *Is Digitalisation a Driver for Sustainability?* 117–129. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54603-2_10
- George, G., Merrill, R. K., & Schillebeeckx, S. J. D. (2021). Digital Sustainability and Entrepreneurship: How Digital Innovations Are Helping Tackle Climate Change and Sustainable Development. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 45(5), 999–1027. <https://doi.org/10.1177/1042258719899425>
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Gonzalez Monserrate, S. (2022). *The staggering ecological impacts of computation and the cloud*. MIT Schwarzman College of Computing. <https://computing.mit.edu/news/the-staggering-ecological-impacts-of-computation-and-the-cloud/>
- Gröger, J. (2020). *The carbon footprint of our digital lifestyles*. <https://blog.oeko.de/digitalear-co2-fussabdruck/#english>
- Guandalini, I. (2022). Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance. *Journal of Business Research*, 148, 456–471. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.003>
- Gubán, Á., & Sándor, Á. (2021). A kkv-k digitálisérettség-mérésének lehetőségei. *Vezetéstudomány*, 52(3), 13–28. <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2021.03.02>
- Harangozó, G., Széchy, A. Zs., & Zilahy, Gy. (2016). A fenntarthatósági lábnyom-megközelítések szerepe a vállalatok fenntarthatósági szempontú teljesítményértékelésében. *Vezetéstudomány*, 47(7), 2–13. <https://doi.org/DOI.10.14267/VEZTUD.2016.07.01>
- Hirsch, P. B. (2022). Footprints in the cloud: the hidden cost of IT infrastructure. *Journal of Business Strategy*, 43(1), 65–68. <https://doi.org/10.1108/JBS-11-2021-0175>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Le Quéré, C., Peters, G. P., Friedlingstein, P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Davis, S. J., Jackson, R. B., & Jones, M. W. (2021). Fossil CO₂ emissions in the post-COVID-19 era. *Nature Climate Change*, 11(3), 197–199. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01001-0>
- Man, J. C. De, & Strandhagen, J. O. (2017). An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models. *Procedia CIRP*, 63, 721–726. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>
- Pamlin, D. (2022). Digital Sustainability. In *CybercomGroup*. <https://static1.squarespace.com/static/59dc930532601e9d148e3c25/t/5a2c97b5e4966be66fae2716/1512871882345/Cybercom-Digital-Sustianability-full+report.pdf>
- Rab, G. (2022). *Hogyan javítható az adatközpontok energiahatékonysága és fenntarthatósága?* <https://computerworld.hu/velemen/hogyan-javithato-az-adatkozpontok-energiahatekonysaga-es-fenntarthatosaga-307058.html>
- Reyes-García, V., Graf, L., Junqueira, B., & Madrid, C. (2022). *Decarbonizing the academic sector: Lessons from an international research project*. 368(July). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133174>

- Savastano, M., Suciú, M.-C., Gorelova, I., & Stativă, G.-A. (2020). Smart grids, prosumers and energy management within a smart city integrated system. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 14(1), 1121–1134. <https://doi.org/10.2478/picbe-2020-0105>
- Szalavetz, A. (2017). Ipar 4.0 technológiák és környezeti fenntarthatóság – magyar feldolgozóipari tapasztalatok. *Külgazdaság*, 61(7–8), 28–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.47630/KULG.2017.61.7-8.28>
- Szalavetz, A. (2018). Digitális átalakulás és fenntarthatóság. A technológiaoptimisták környezetgazdászok és a pesszimista ökológiai közgazdászok közötti vita újraindítása. *Közgazdasági Szemle*, 65(10), 1067–1088. <https://doi.org/10.18414/ksz.2018.10.1067>