

A hazai agrár-élelmiszeripari ellátási láncok válszai a XXI. századi kihívásokra – a digitalizáció szerepe

Freund Anna, Jámbor Zsófia, Nagy Judit

Budapesti Corvinus Egyetem

<https://doi.org/10.15170/MM.2024.58.03.04>

A TANULMÁNY CÉLJA

Jelen tanulmány célja, hogy megvizsgálja az Ipar 4.0, digitalizáció hazai agrár-élelmiszeripari ellátási láncokra gyakorolt hatását egy korábbi bibliometriai elemzés során azonosított kutatási irányok segítségével.

ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN

Az empirikus kutatás lefolytatásához kvalitatív kutatómódszertani megoldást alkalmaztunk, az elemzéshez 20 interjút készítettünk az agrár-élelmiszeripari ellátási lánc szereplőivel az alapanyagtermelőktől kezdve a feldolgozókon át a kiskereskedőkig azért, hogy gyakorlati betekintést kaphassunk a különböző digitális megoldások lehetőségeiről, hatásáról a szisztematikus szakirodalom elemzés eredményeképpen kialakított elemzési keretünk segítségével.

LEGFONTOSABB EREDMÉNYEK

Eredményeink kihangsúlyozzák az egyes ágazatokra szabott digitális stratégiák szükségességét, kiemelve a digitalizáció szerepét a működési rugalmasság, megbízhatóság és ellenálló képesség javításában. Továbbá felhívják a figyelmet arra, hogy ellátási lánc szinten is szükség van összehangolt lépésekre, nemcsak a fogyasztó irányába, hanem a reverz folyamatokban is, így a hulladékkezelési kérdések digitalizáció általi támogatottsága is kiemelkedő szerephez juthat a fenntartható és nyomon követhető folyamatok kialakítása során.

GYAKORLATI JAVASLATOK

A tanulmány a politikai döntéshozók számára kívánja felhívni a figyelmet arra, hogy prioritásként kell kezelniük az élelmiszerbiztonsági és nyomon-követhetőségi előírások javítását az élelmiszeripari ellátási láncokban. Emellett pedig a fenntartható gyakorlatok szabályozással és ösztönzőkkel történő előmozdítását javasoljuk, beleértve a megújuló energiával kapcsolatos projekteket és a hulladékcsökkentési kezdeményezéseket. Végül pedig kiemelten fontosnak tartjuk a digitális infrastruktúrába és képzési programokba való beruházás támogatását, ezzel is előmozdítva az innovációt és a termelékenységet növelését.

Kulcsszavak: agrár-élelmiszeripari ellátási lánc, reziliencia, megbízhatóság, Ipar 4.0, digitalizáció

Köszönetnyilvánítás: A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-4-II-CORVINUS-18 Új Nemzeti Kiválósági Programjának támogatásával.

**BEVEZETÉS
INTRODUCTION**

A hazai agrár-élelmiszeripari ellátási láncok digitalizációja kulcsfontosságú a gazdasági versenyképesség és fenntarthatóság szempontjából. Különösen kitetteké váltak a kis- és középvállalatok, amelyek számára hirdett pályázati lehetőségek a digitalizáció területén jelentősége megkérdőjelezhetetlen (Freund 2022). A COVID-19 járvány rávilágított az ellátási láncok sebezhetőségére, így szükségessé vált az alkalmazkodás és a rugalmasság fokozása. A digitalizáció lehetőséget ad arra, hogy az ellátási láncok hatékonyabban reagáljanak a külső fenyegetettségekre, a változó fogyasztói igényekre, így pl. az egészségtudatos vagy helyi termékek iránti növekvő keresletre, és a járvány okozta eltérő beszerzési források növekvő szerepére (Soós 2020). Ezenkívül a digitalizált rendszerek segíthetnek a munkaerőhiány problémájának (Ásványi *et al.* 2024) enyhítésében is, például az automatizált megoldások bevezetésével, amelyek csökkentik az emberi munkaerő iránti függőséget. A tudományos kutatás ezen a területen feltárhatja azokat a technológiai innovációkat, amelyek a hazai agrár-élelmiszeripar digitális átalakulását elősegíthetik, miközben azonosítják a folyamat során felmerülő kihívásokat, mint például a kibebiztonsági kockázatok vagy az adatkezelés kérdései. A digitalizáció tehát nemcsak a hatékonyság növelésére, hanem a hazai agrár-élelmiszeripar ellenálló-képességének fokozására is alkalmas, lehetővé téve a szektor számára, hogy jobban alkalmazkodjon a jövőbeli kihívásokhoz.

Az élelmiszer ellátási láncok a digitalizációs változások által vezérelt átalakulások mennek keresztül. Ez a tanulmány egy korábbi, az élelmiszer ellátási lánc szakirodalmának átfogó áttekintése alapján kívánja a hazai gyakorlatban bemutatni és megvilágítani a digitalizációs technikák és a működési fenntarthatóság közötti összefonódó kapcsolatot. A tanulmány célja, hogy hozzájáruljon a gyakorlati alkalmazásokhoz azáltal, hogy feltáró kutatás alapján elemzi a hazai élelmiszer ellátási láncokon belüli, digitalizáció által támogatott lehetőségeket és kihívásokat.

Az előzetes kutatás (Freund 2023) egy olyan bibliometrikus irodalomelemzés tehát, amely szisztematikusan feltárja a digitalizációnak az agrár-élelmiszeripari ellátási láncokra gyakorolt hatását, és elemzi a jelenleg elérhető nemzetközi szakirodalmat. E korábbi kutatás eredményei adták a jelenlegi tanulmány alapját, mely során az irodalom alapján azonosított hét klaszter kérdéskörét egy

bővebb, hazai élelmiszeripart szélesebben elemző empirikus kutatást végeztünk.

**A HÉT KLASZTERRE ÉPÜLŐ KERETRENDSZER BEMUTATÁSA
INTRODUCTION OF THE SEVEN CLUSTER FRAMEWORK**

Az első táblázat a megelőző tanulmány eredményei között fellelhető hét klaszter értelmezését jeleníti meg.

Összességében, bár a digitalizáció egyértelműen számos előnnyel jár az élelmiszer ellátási lánc tagjai számára, a fenntartható növekedést és fejlődést szolgáló teljes potenciáljának kiaknázása érdekében szisztematikusan kell azonosítani és gondosan kezelni a lehetőségek mellett a felmerülő kihívásokat és kockázatokat is. A klaszterekbe tartozó tanulmányok vizsgálata során a fellelhető kapcsolatokat strukturális módon kívántuk megvitatni, ezért elemeztük a klaszterek összefüggéseit, amely alapján egy olyan keretet adtunk, amely további empirikus vizsgálatok felé vezet, ezt a három pillért szemlélteti az 1. táblázat első oszlopa.

Az első pillér olyan kihívásokat ír le, amelyek az élelmiszer ellátási láncok több tagját érintő átfogó értékteremtési folyamatok során jelentkezhetnek. Ide tartoznak az élelmiszerbiztonsággal kapcsolatos kérdések, amelyeket a digitalizáció támogat, amely hozzájárulhat a minőségirányításhoz, vagy akár a nyomon-követhetőséget lehetővé tevő feladatokhoz az ellátási lánc tagok működésében. Értelmezésünk szerint a második pillér az összes olyan megvalósított digitális, automatizált és robotizált technológiai megoldást összegyűjti, amelyek hozzájárulhatnak a nyomon-követhetőség megerősítéséhez és fenntartásához nem csak egy adott tagnál, hanem esetleg az élelmiszer ellátási lánc teljes értékteremtése során, ezzel segítve továbbá az esetlegesen felmerülő munkaerőhöz kötődő nehézségek kezelését (Ásványi *et al.* 2024). A harmadik pillér megmutatja, hogy a fenntarthatósági célok és kihívások a szakirodalom alapján is két konkrét klaszterben mutatkoztak meg (ez a kifejezés azonban több klaszterben is megjelent a digitalizációhoz vagy az I40-hez kapcsolódó technológiák alkalmazásának következményeként), és összhangban vannak a régiós (EU Zöld megállapodás 2020, Európai Bizottság KAP 2021) és globális (FAO 2018) a fenntarthatóbb jövő biztosítására irányuló erőfeszítésekkel, miközben az élelmiszeripari ellátási láncon belüli értékteremtést irányítják. A három pillér strukturált formában képviseli a szakirodalmi áttekintésből származó, kialakulóban lévő tendenciákat. Látható, hogy a nyomon-követhető-

ség nagymértékben kapcsolódik a minőségirányítási megoldásokhoz, ezáltal biztosítva, hogy az ellátási lánc tagok működésük során teljesíteni tudják a jogszabályi előírásokat. Ezen túlmenően az első pillér az élelmiszer ellátási láncok legnagyobb kihívást jelentő kérdéseit vizsgálja. A második pillér az 140-hez és a digitalizációhoz kapcsolódó technológiai megoldások sokféleségét mutatja be, különös tekintettel a különböző ágazatok működésére, és a feltárással párhuzamosan a digitalizációval kapcsolatos

aggályokat is elemzi. A harmadik pillér a megvalósított megoldások átfogó elemzéséért felel, amelyek nemcsak a nyomon-követhetőséghez, hanem a fenntarthatósághoz is hozzájárulhatnak.

Miután áttekintettük a hét klaszterbe tartozó tanulmányokat, célunk volt, hogy a szakirodalmi áttekintést empirikus adatokkal bővítsük. Az alkalmazott módszertant következő fejezetben ismertetjük.

1. táblázat: A kidolgozott keretrendszer három pillérének ismertetése.

Table 1: Description of the developed framework's three pillars.

A vizsgálat alapját képező keretrendszer pillérei	Klaszter	Klaszterek fő dimenziójának rövid ismertetése
Az értékteremtés kihívásai a XXI. században	A nyomon-követhetőség kihívásai	A digitalizáció jelentős szerepet játszik az élelmiszeripari nyomon-követhetőség elősegítésében, amely lehetővé teszi az ellátási lánc tagjai számára a szükséges információk birtoklását és a termelés optimalizálását (Rahman <i>et al.</i> 2021, Magalhães <i>et al.</i> 2019).
	Minőségmenedzsment	A digitalizáció nemcsak az élelmiszerbiztonság előmozdításában, hanem az adatok elemzésében és a döntéshozatal támogatásában is központi szerepet játszik, pl. a Big Data és az IoT felhasználásával (Ben-Daya <i>et al.</i> 2021, Raj <i>et al.</i> 2021).
Az ipar 4.0 (140) megjelenése az agrár-élelmiszeriparban	Agrár-élelmiszeripar 4.0	Freund (2023) gyűjtése alapján az élelmiszeriparban alkalmazott legújabb technológiai megoldások (mesterséges intelligencia (MI), Big Data, blokklánc, felhő alapú megoldások, kiberfizikai rendszerek, digitális iker, drónok rugalmas viselhető eszközök növények számára, információs és kommunikációs technológiák (IKT), Internet of Things (IoT), gépi tanulás, precíziós gazdálkodás, robotika és autonóm rendszerek, rádiófrekvenciás azonosítás (RFID és a szenzorok) jelentősen hozzájárulnak az iparág fejlődéséhez és értékteremtéséhez.
	Jövőbeli trendek	A digitalizáció szerepe az élelmiszeripari ellátási láncok rezilienciájának növelésében fontos, különösen a válsághelyzetek kezelésében és a fenntartható működésre való felkészülésben (Béné 2020).
	A blokklánc hatása	A blokklánc technológia, mint romboló innováció, képes bizalmat építeni az ellátási lánc tagjai között, ugyanakkor új kihívások elé állítja őket, különösen az informatikai ismeretek hiányában (Astill <i>et al.</i> 2019).
Fenntarthatóság	Intelligens csomagolás	Az intelligens csomagolás döntő szerepet játszik az élelmiszeriparban, elősegítve a kétirányú kommunikációt az ellátási lánc tagjai között és csökkentve az élelmiszerpazarlást (Drago <i>et al.</i> 2020).
	Körkörös gazdaság	A digitalizáció és a hulladékgazdálkodás közötti fontos összefüggések feltárása kulcsfontosságú a fenntartható termelés és fogyasztás szempontjából a körforgásos gazdaság keretében (Ada <i>et al.</i> 2021, Hassoun <i>et al.</i> 2022; Yousefi <i>et al.</i> 2019).

Forrás: saját szerkesztés

**ANYAG ÉS MÓDSZER
METHODOLOGY**

A hazai élelmiszer ellátási láncok empirikus vizsgálatához kvalitatív kutatómódszertant alkalmaztunk. 2024. május végéig összesen 20 félig strukturált interjút készítettünk az egyes ágazati kulcsszereplőkkel. Útmutatóként a tanulmány első részében röviden bemutatott 7 klaszterből formált 3 pillérű elemzési keretet használtuk, hogy az interjúkérdéseket előzetesen kidolgozzuk.

A minta kiválasztásakor arra törekedtünk, hogy az élelmiszer ellátási lánc szinte teljes spektrumát lefedjük, és hogy megkérdezzük az ágazat legfontosabb piaci szereplőit (Kürthy *et al.* 2016). A jellemzően 60–75 perces interjúkat személyesen vagy online, a Microsoft Teams segítségével készítettük. A résztvevők mind tapasztalt szakemberek voltak, akik széles körű gyakorlati tapasztalattal rendelkeztek az adott ágazatban (pl. alapanyagtermelők telephely-vezetői, gyártó vállalatok gyárvezetői, nemzetközi cégek ellátási lánc igazgatói és kiskereskedők elosztóközpont-vezetői). Az interjúk hangfelvételeit a megkérdezettek beleegyezésével készítettük el, valamint, hogy a személyazonosságukat bizalmasan kezelhessük, a lejegyzetelt kivonatokat kódolt formában őrizzük meg. Az interjúalanyokról és az elemzésbe került vállalatokról (a kért anonimitás megtartása mellett) néhány alap információ található a 2. táblázatban.

**EMPIRIKUS ELEMZÉS
EMPIRICAL RESEARCH**

Ebben a fejezetben az élelmiszer ellátási lánc egyes alágazati sajátosságait vesszük górcső alá.

**Húsipari ellátási lánc
Meat supply chain**

A húsipar jelenlegi kihívásai közé tartozik a nyomon-követhetőség biztosítása, amely alapvető fontosságú a szabályozási követelmények és a vásárlói igények teljesítéséhez. Ahogy húsipari feldolgozásban érdekelt interjúalanyunk fogalmazott, “az élelmiszer biztonságos jelenléte és biztosítása egy ország működésének elengedhetetlen feltétele”. Ez különösen a nemzetközi kiskereskedelmi láncok esetében kiemelt fontosságú, ahol az ellátási lánc minden lépését, az állatok tenyésztésétől és takarmányozásától a vágásig és feldolgozásig, szigorúan ellenőrzik. A kamerarendszerek használata lehetővé teszi az élő állatok átvételének, kezelésé-

nek, levágásának és osztályozásának rögzítését, így biztosítva a folyamat átláthatóságát és elkerülve a partnerek közötti vitákat. Továbbá, a magas szintű automatizálás lehetővé teszi a folyamatos termelést minimális állásidővel és tervezett karbantartással, ami növeli a gyártóüzem megbízhatóságát és a termelés tervezésének hatékonyságát.

A digitalizáció és az automatizálás kiemelt szerepet játszik a húsiparban, különösen az agrár-élelmiszeripar 4.0 megvalósításában. Az adatgyűjtés és -elemzés támogatja a gyártási folyamatokat, például a töltőszályok optimalizálásával és a gépek műszaki paramétereinek folyamatos ellenőrzésével. A gépek és berendezések gyártókkal való összekapcsolása lehetővé teszi a folyamatos műszaki támogatást és biztosítja az optimális működést. Az ellátási lánc átláthatóságának és megbízhatóságának növelése érdekében egyre nagyobb teret nyer a blokklánc technológia, amely lehetővé teszi az összes folyamat digitális nyomon követését, beleértve az élő állatok átvételét, levágását és feldolgozását.

A fenntarthatóság érdekében a húsiparban jelentős lépéseket tettek az energiahatékonyság növelése és a környezeti hatások csökkentése érdekében. Az energiahatékonyság növeléséhez kapcsolódó beruházások, mint például egy új kazán telepítése, jelentősen csökkentik a gyár gázfogyasztását. Emellett a szennyvíztisztító telep bevezetése lehetővé teszi a szennyvíz biológiai és kémiai kezelését, csökkentve ezzel a környezeti hatásokat. A mellékterméküzem a feldolgozási hulladékat további felhasználást teszi lehetővé például állati takarmány előállítás formájában. A körforgásos gazdaság felé tett lépések közé tartozik az energiafogyasztás csökkentése és a hulladéktermelés minimalizálása.

**Tejipari ellátási lánc
Dairy supply chain**

A tejipar jelenlegi kihívásai közé tartozik a növekvő munkaerőköltség és az élő munkaerő rendelkezésre állásának problémája. Az ágazatban különösen nehéz fiatal munkavállalókat vonzani és megtartani, mivel a tejtermelési munkák gyakran nem kívánatosak az állatok körüli teendők jellege, a váltott műszakok miatt. Erre a kihívásra kezdték alkalmazni a fejőrobotokat, amelyek célja az emberi munkaerő szükségességének minimalizálása.

A digitalizáció jelentős hatással van a tejiparra, mivel a feldolgozásban az automatizálás és a robotizáció egyre inkább előtérbe kerül. Az I40 fejlesztések, például a robotok, kooperatív robotok (cobotok) és a mesterséges intelligencia (MI) alkalmazása, kulcsszerepet játszik a termelékenység

2. táblázat: Az interjúalanyok és az elemzett vállalatok alapadatai.
 Table 2: Basic data on the interviewees and the companies analysed.

Ágazat	Ellátási láncban betöltött szerep	Interjúalany pozíciója	Interjúalany munkatapasztalata (év)	Elhelyezkedés (NUTS 2 osztályozás alapján)
tejipar	feldolgozó	gyárigazgató	15+	Közép-Dunántúl
tejipar	alapanyag termelő	telephelyvezető	25+	Dél-Dunántúl
zöldség- és gyümölcs feldolgozás	feldolgozó	gyárigazgató	20+	Észak-Magyarország
zöldség- és gyümölcs feldolgozás	alapanyag termelő, feldolgozó	gyárigazgató	20+	Észak-Alföld
zöldség- és gyümölcs feldolgozás	feldolgozó	gyárigazgató	10+	Dél-Alföld
pékáru, tésztafélék gyártása	feldolgozó	gyárigazgató	15+	Közép-Dunántúl
húsipar	feldolgozó	ügyvezető	20+	Dél-Alföld
édességgyártás	feldolgozó	ellátási lánc menedzser	25+	Budapest
húsipar	feldolgozó	gyárigazgató	25+	Dél-Dunántúl
logisztikai szolgáltató		ügyvezető	10+	Pest
egyéb élelmiszer-gyártás	feldolgozó	ellátási lánc menedzser	10+	Pest
konzervipar	feldolgozó	gyárigazgató	25+	Észak-Alföld
konzervipar	feldolgozó	gyárigazgató	20+	Dél-Alföld
szőlészet-borászat	alapanyag termelő, feldolgozó	ügyvezető	20+	Közép-Dunántúl
szőlészet-borászat	alapanyag termelő, feldolgozó	ügyvezető	20+	Közép-Dunántúl
kiskereskedelem	kiskereskedő	ellátási lánc menedzser	15+	Pest
kiskereskedelem	kiskereskedő	elosztóközpont-vezető	10+	Pest
kiskereskedelem	kiskereskedő	ellátási lánc menedzser	15+	Pest
kiskereskedelem	kiskereskedő	elosztóközpont-vezető	10+	Pest
tejipar	feldolgozó	gyárigazgató	20+	Nyugat-Dunántúl

Forrás: saját szerkesztés

növelésében. A digitalizáció előnyei közé tartozik az adatgyűjtés és -elemzés, amely lehetővé teszi a termelési folyamatok optimalizálását és a minőségellenőrzés biztosítását. A tejiparban például aprólékosan nyomon követik a tej mennyiségére, szilárdanyag- és csirartartalmára vonatkozó adatokat.

A fenntarthatóság érdekében a tejipari vállalatok számos intézkedést hoznak. Az energiahatékonyság növelése és a megújuló energiaforrások használata kulcsfontosságú prioritás. A tejágazat főként napelemekbe fektet be a gázfogyasztás csökkentése és a fenntartható energiaellátás biztosítása érdekében. Az intelligens csomagolási megoldások célja a környezeti lábnyom csökkentése újrahasznosítható anyagok felhasználásával és az erőforrás-felhasználás minimalizálásával. Ezek az intézkedések rávilágítanak arra az elkötelezettségre, hogy a tejipar a technológiai fejlesztések és innovatív gyakorlatok révén fenntarthatóbbá váljon.

A zöldség és gyümölcs feldolgozás, konzervipar

Fruit and vegetable processing, canning

A zöldség- és gyümölcsefeldolgozó ipar számos aktuális kihívással szembesül. Az egyik legjelentősebb probléma a szakképzett munkaerő hiánya. A szezonális kihívások kezelése érdekében szükség van a tárolókapacitások, különösen a hűtőkapacitások növelésére. Emellett a termelési hatékonyság növelése és a minőségellenőrzési folyamatok folyamatos fejlesztése is kulcsfontosságú feladatok, amelyek megkövetelik a technológiai fejlesztések folyamatos bevezetését és az exportorientáltság fenntartását.

A digitalizáció jelentős hatást gyakorol a zöldség- és gyümölcsefeldolgozó iparra. Az automatizálás és robotizáció fokozása révén az iparág képes növelni a termelési hatékonyságot és csökkenteni az emberi munkaerőre való igényt. Az ERP-rendszerek és különböző érzékelők, mint a fémdetektorok, röntgengépek használata lehetővé teszi a nyersanyagok és termékek minőségének folyamatos ellenőrzését és nyomon követését. Az adatelemzés segítségével optimalizálják a termelési folyamatokat és a minőségi mutatókat, míg a prediktív karbantartás révén csökkenthetők a meghibásodások és a nem tervezett leállások.

A fenntarthatóság érdekében a zöldség- és gyümölcsefeldolgozó ipari cégek számos intézkedést hoznak. Az energiahatékonyság növelése érdekében napelemeket telepítenek, valamint erőfeszítéseket tesznek a gázfogyasztás csökkentésére. A körforgásos gazdaság elvei alapján saját szenny-

víz tisztító telepeket üzemeltetnek, ahol a tisztított vizet újrahasznosítják. Az iparág továbbá a papírmentesítésre törekszik, hogy csökkentse a hulladéktermelést és a környezeti terhelést. Az időjárás viszonyoknak való kitettség minimalizálására való törekvés (öntözés, fajtaválasztás) is hozzájárulnak a fenntarthatóbb és kiszámíthatóbb termeléshez.

Tésztagyártás *Pasta production*

A tésztagyártó ipar aktuális kihívásai közül kiemelkednek a szigorú élelmiszerbiztonsági előírásoknak való megfelelés és a versenyképesség fenntartása. A szektorban fontos a nyomon-követhetőség biztosítása, amely a vonalkódok és más azonosítási rendszerek használatával történik. A minőségellenőrzési folyamatok fémdetektorok és súlyellenőrző rendszerek segítik, hogy a termékek megfeleljenek a legmagasabb minőségi és biztonsági követelményeknek.

A digitalizáció jelentős hatással van a tésztagyártásra, mivel az agrár-élelmiszeripari 4.0 megoldások a nagy volumenű gyártás automatizálására és robotizálására összpontosítanak. Az automatizált rendszerek, mint például az automata rakodógépek, csökkentik az élő munkaerő szükségességét és növelik a gyártás hatékonyságát. Az I40 megoldások integrálása elősegíti a termelési folyamatok optimalizálását és az emberi hibák minimalizálását, ugyanakkor az adatelemzés és a big data analitika alkalmazása nélkülözhetetlen a prediktív karbantartás megvalósításához, ezáltal a hatékonyság további növeléséhez. Ahogy interjúalanyunk fogalmazott, "a digitalizáció egymagában semmit nem ér, ha az nem hoz magával egyszerűsítést, költségmegtakarítást, bármilyen jellegű megtakarítást."

A fenntarthatóság szempontjából a tésztagyártó cégek egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az energiatakarékos megoldásokra és a körforgásos gazdaság elveinek alkalmazására. Az energiafelhasználás optimalizálása érdekében olyan technológiákat alkalmaznak, mint pl. a hővisszanyerés a szárítási folyamat során. Ezen túlmenően a csomagolási folyamatok energiahatékonyságának növelésével is igyekeznek csökkenteni a környezeti terhelést, bár az intelligens csomagolás nem kapott különösebb hangsúlyt az iparági interjúk során.

Édesipar *Sweet industry*

Az édesipar aktuális kihívásai jellemzően a fogyasztói igények gyors változását és az ételminőségbiztonsági előírások szigorodását jelentik. Az ételminőségbiztonság kiemelt prioritás, melynek érdekében a vállalatok fejlett nyomon követési rendszereket és minőségellenőrzési technológiákat alkalmaznak. További kihívás a fenntarthatósági követelményeknek való megfelelés, amelyek a termelési lánc minden szintjén egyre nagyobb hangsúlyt kapnak.

A digitalizáció hatása az édesiparra jelentős, különösen az automatizálás és a robotizálás terén. A termelési folyamatok digitalizálása nemcsak a hatékonyságot növeli, hanem a termékek nyomonkövethetőségét is javítja. Az agrár-élelmiszeripar 4.0 megoldások révén az édesipari cégek képesek valós idejű adatokat gyűjteni és elemezni, amelyek segítenek optimalizálni a gyártási folyamatokat és csökkenteni az emberi hibákat. A digitalizált rendszerek továbbá lehetővé teszik a fogyasztói igények gyorsabb és pontosabb kielégítését.

A fenntarthatóság terén az édesipari vállalatok számos intézkedést tesznek. Az energiahatékonyság növelése és a hulladékcsökkentés érdekében a gyártási folyamatok során energia-visszanyerési technológiákat alkalmaznak, valamint törekednek a csomagolási hulladék minimalizálására. Ezen kívül egyre nagyobb hangsúlyt kap a fenntartható alapanyagok beszerzése és a körforgásos gazdasági elvek alkalmazása.

Az ételminőszer ellátási láncok downstream folyamatának kiemelt szereplői: a kiskereskedők

Key players in the downstream process of food supply chains: retailers

A termékek elérhetőségének és minőségének biztosítása érdekében a kiskereskedelmi ágazatban van néhány jó gyakorlat és eredmény a kiskereskedőknél, akik akár saját flottával, gyárakkal (pl. csokoládé- vagy papírgyár stb.) rendelkeznek, és számos saját márkás termékkel, gyakorlatilag vertikálisan integrálják a láncot. Egyrészt a saját márkás termékek is valódi értéket jelentenek. A cél, hogy a vásárlók elkötelezetteké váljanak a saját márkás termékek iránt, ezért az üzletek igyekeznek átlátható választékot és jó minőséget kínálni nekik. Másrészt pedig számos kiskereskedő számára a friss gyümölcsök és zöldségek kulcssze-

repet játszanak a versenylőny fenntartásában. A minőség biztosítása érdekében minden területen igyekeznek jó gyakorlatokat eszközölni, pl. a hűtött áruk hőmérsékletét digitális hőmérő rendszerrel ellenőrzik a tárolás, a szedés és a szállítás során, ami segít a termékek minőségének megőrzésében. Továbbá jól megtervezett és irányított lépéssorozat van érvényben az elakadások, visszahívások ellenőrzésére, amely a napi tranzakciók nagy volumene miatt gyors reakcióidőt biztosít. Egyik kiskereskedelemben dolgozó interjúalanyunk úgy fogalmazta meg, hogy számukra "az agilitás egy új képesség, ez most a kulcs számunka a gyors reagálás miatt, azaz megfelelő felhatalmazás mellett a megfelelő és gyors döntések meghozatalára".

A digitalizáció és az automatizálás a kiskereskedők számára is kulcsfontosságú. A modern, nagy alapterületű raktárak, az automatizált anyagmozgató rendszerek és a hűtőházak jelentősen hozzájárulnak a sikerhez. A raktári rendszerek képesek megtervezni a komissiózási útvonalakat, nyomon követni a targoncák üzemidejét és a tervezett karbantartást, valamint elektronikus címkéket használni a polcokon. Az online pénztárgépek és az értékesítési pontokon elhelyezett hűségkártyák elemzése lehetővé teszi a vásárlók számára személyre szabott ajánlatok létrehozását. Az automatizált rendszerek és a mesterséges intelligencia segíthetnek az előrejelzésben és a rendelések (rendszeres feltöltések) automatizálásában, de az egységes vállalati rendszer hiánya megehezíti a jelentéstételt.

A kiskereskedelmi ágazatban nagy hangsúlyt fektetnek az energiahatékony és környezetbarát raktárak kialakítására és üzemeltetésére. A raktárak például visszanyerik a hűtőgépek által termelt hőt, és azt a létesítmény fűtésére használják, az épületeket süllyeszti, fákat ültetnek köréjük, és tavakat alakítanak ki. A hulladékból biogáz állítanak elő, a sütésből származó termékekből komposztot vagy virágföldet készítenek, a papírt pedig összegyűjtik és újrahasznosítják, naponta több teherautónyi mennyiséget báláznak.

Az intelligens csomagolás a kiskereskedelmi ágazatban a csomagolás optimalizálására és a felesleges hulladék elkerülésére összpontosít. Ez magában foglalja a csomagolás eltávolítását, ahol lehetséges, csökkentését, ahol lehetséges, újrafelhasználását és újrahasznosítását. Céljuk, hogy minden saját márkás csomagolás teljes mértékben újrahasznosítható legyen. Ahol a csomagolás eltávolítása nem lehetséges, ott a beszállítókkal együttműködve minimalizálják a felhasznált anyagokat, és fenntartható forrásból származó papírt és kartont használnak.

DISZKUSSZIÓ
DISCUSSION***Az agrár-élelmiszeripari ellátási láncok jelenlegi kihívásai***
Current challenges in agri-food supply chains

Az élelmiszer-ellátási láncok nyomon-követhetőségének és átláthatóságának kérdése központi jelentőségű a különböző ágazatokban, beleértve a hús-, tej-, valamint a gyümölcs- és zöldségfeldolgozást is. A kutatás eredményei megerősítik Rahman *et al.* (2021) és Magalhães *et al.* (2019) állítását, miszerint a digitalizáció kulcsszerepet játszik az ellátási láncok nyomon-követhetőségének biztosításában. A vonalkódrendszerek, RFID-technológiák és blokkláncok alkalmazása elősegíti az adatok pontos dokumentálását és megosztását, így javítva az ellátási láncok hatékonyságát és reagálóképességét. Ezek a technológiák különösen relevánsak a húsiparban, ahol a frissesség és minőség fenntartása érdekében a hűtőlánc minden lépésének szigorú felügyeletére van szükség.

A digitalizáció emellett támogatja az élelmiszerbiztonságot és a döntéshozatalt a Big Data és az IoT használatával, ahogyan azt Ben-Daya *et al.* (2021) és Raj *et al.* (2021) is hangsúlyozzák. A kutatás rámutatott, hogy a fejlett technológiák, mint a fémdetektorok, súlyellenőrök és állati takarmány-összetétel nyomon követő digitális eszközök, jelentősen javítják a termékminőséget és biztonságot. Ezen technológiák alkalmazása különösen fontos a tejiparban, ahol az állatok egészségének és a tej összetételének pontos monitorozása elengedhetetlen.

A munkaerőhiány és a szakképzett munkaerő iránti igény további jelentős kihívás, amely Ásványi *et al.* (2024) megállapításával összhangban áll. Az automatizáció és a digitalizáció fejlődése szükségessé teszi az új technológiák működtetéséhez szükséges készségek elsajátítását, miközben csökkenti a kézi munkaerő igényét. Ez a probléma különösen akut a szezonálisan működő ágazatokban, például a gyümölcs- és zöldségfeldolgozásban, ahol a csúcsidezők megfelelő kezelése további tárolási kapacitást és hatékony ellátási lánc-menedzsmentet kíván. A kutatás eredményei tehát erőteljesen alátámasztják a szakirodalmi megállapításokat, miközben kiemelik a digitalizáció és a munkaerőfejlesztés terén szükséges további intézkedéseket.

A digitalizáció jelenlegi állása az agrár-élelmiszeripari ellátási láncokban
Current state of digitalisation in agri-food supply chains

Az élelmiszer-ellátási láncok digitalizációjának szerepe egyre nagyobb hangsúlyt kap, amely összhangban áll Freund (2023) azon állításával, hogy az ipar 4.0 technológiai megoldásai – mint az MI, Big Data, blokklánc, IoT és precíziós gazdálkodás – hozzájárulnak az iparág fejlődéséhez és értékteremtéséhez. A kutatás eredményei azt mutatják, hogy az automatizáció és robotizáció jelentős mértékben javítja a hatékonyságot, különösen a tejiparban és a gyümölcs- és zöldségfeldolgozásban. A tejiparban a fejőrobotok, míg a gyümölcs- és zöldségfeldolgozásban a fluidágyas fagyasztás és az automatizált termelési folyamatok egyaránt igazolják, hogy az ipar 4.0 technológiai segítik a termelés optimalizálását és az ellátási láncok fejlesztését.

A Big Data analitika szerepe, amelyet Ben-Daya *et al.* (2021) és Raj *et al.* (2021) hangsúlyoznak, központi a minőségellenőrzés és az ellátási lánc optimalizálásában. A tejiparban például a széles körű adatgyűjtés – tej mennyisége, szilárdanyag- és csirataralom – segíti az állattjólét és a termékminőség fenntartását. Hasonlóan, a gyümölcs- és zöldségfeldolgozásban az adatelemzés lehetővé teszi a hatékonysági és minőségi mutatók nyomon követését. Az ERP-rendszerek és más integrált megoldások szintén kulcsfontosságúak az emberi hibák csökkentésében és az erőforrások hatékony kihasználásában, megerősítve Freund (2023) következtetéseit.

A blokklánc technológia, amelyet Astill *et al.* (2019) romboló innovációként ír le, nem nyertek bizonyítást a kutatás során. Bár a blokklánc használata lehetővé tenné az összes folyamat digitális nyomon követését, ezáltal erősítve a fogyasztói bizalmat és biztosítva az élelmiszerbiztonsági előírások betartását, erre az interjúkban nem található példa. Bár a technológia alkalmazása nem egyformán elterjedt minden ágazatban, a blokklánc széles körben javíthatja a nyomon-követhetőséget és megbízhatóságot az élelmiszer-ellátási láncokban, összhangban Béné (2020) megállapításaival. Az ipar 4.0 technológiák alkalmazása így nemcsak a hatékonyságot növeli, hanem hozzájárul az ellátási láncok rezilienciájának és fenntarthatóságának erősítéséhez.

Fenntarthatóság az agrár-élelmiszeripari ellátási láncokban
Sustainability in agri-food supply chains

Az élelmiszer-ellátási láncok fenntarthatóság iránti elköteleződése szoros összhangban áll az Ada *et al.* (2021), Hassoun *et al.* (2022) és Yousefi *et al.* (2019) által hangsúlyozott körforgásos gazdasági elvekkel, amelyek a hulladékgazdálkodás és a digitalizáció közötti kapcsolatot emelik ki. A kutatás eredményei rámutatnak, hogy a hús- és tejágazatban végrehajtott energiahatékonysági beruházások, például új kazánok telepítése és napelemek használata, jelentősen csökkentik a gázfogyasztást, miközben elősegítik a fenntartható energiaellátást. Hasonlóan, a gyümölcs- és zöldségfeldolgozásban alkalmazott hőviszanyerési technológiák is hozzájárulnak az energiafogyasztás minimalizálásához, összhangban a fenntarthatósági célkitűzésekkel.

A hulladékcsökkentés és az anyagok újrahasznosítása szintén a fenntartható termelési folyamatok középpontjában áll. A húságazat melléktermék-feldolgozó üzemei lehetővé teszik a hulladék termékké, például húslisztté történő átalakítását, amely támogatja a körforgásos gazdaság működését (Drago *et al.* 2020). A tejipar, valamint a gyümölcs- és zöldségfeldolgozás szennyvíztisztító üzemeket hozott létre a környezeti hatások mérséklésére, megerősítve a fenntarthatóság iránti elköteleződést.

Az intelligens csomagolás szintén kulcsszerepet játszik az élelmiszer-ellátási lánc fenntarthatóságában, ahogy azt Drago *et al.* (2020) is hangsúlyozza. Az édesiparban például az újrahasznosított műanyagok arányának növelése és az innovatív csomagolóanyagok kifejlesztése csökkenti a környezeti lábnyomot, miközben minimalizálja az erőforrások felhasználását. Ezenkívül a kiskereskedelmi szektor vállalásai – például a teljesen újrahasznosítható csomagolások bevezetése – hozzájárulnak az ipar fenntarthatósági céljainak eléréséhez.

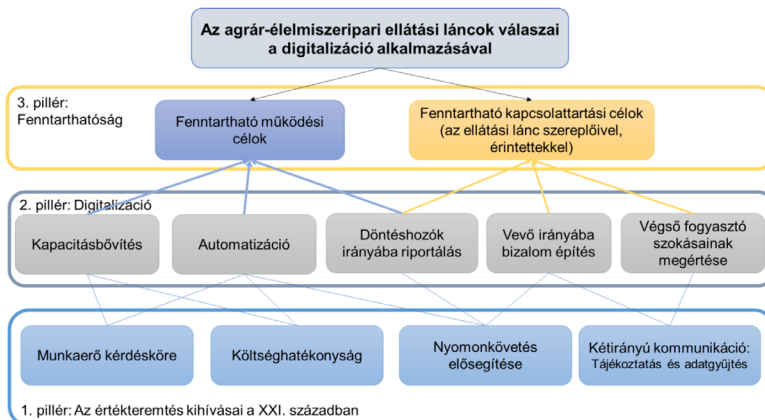
Az energiahatékonysági kezdeményezések és a hulladék energiává történő átalakítása kulcsfontosságú intézkedések, amelyek támogatják az élelmiszer-ellátási láncok hatékonyságát, átláthatóságát és fenntarthatóságát. Ezek a közös erőfeszítések alátámasztják az élelmiszeriparban tapasztalható technológiai innovációk szükségességét és előnyeit, összhangban a szakirodalmi megállapításokkal.

KÖVETKEZTETÉSEK
CONCLUSIONS

Az élelmiszer ellátási láncok különböző ágazataiban számos aktuális kihívás jelentkezik, amelyek megoldása elengedhetetlen a fenntartható és hatékony működés érdekében. Ennek feltárása során a szakirodalmi előkutatás eredményeképp kidomborodó három pillér empirikus vizsgálatát tettük ki a tanulmány céljaul, az így kapott legfontosabb eredményeket az 1. ábra összegzi.

1. ábra: A digitalizáció célzott alkalmazásának lehetséges vetületei az agrár-élelmiszeripari ellátási láncban felmerülő kihívásokra adott reakció során.

Figure 1: Possible dimensions of the targeted use of digitalisation in responding to challenges in the agri-food supply chain.



Forrás: saját szerkesztés

Az iparági minták bár reprezentatívnak nem tekinthetők, mégis betekintést nyújtanak a digitalizáció megjelenésének a kihívásokra gyakorolt hatásaira. Az 1. ábrán látható, hogy a fenntarthatóság kérdése a termelés működtetésének (kapacitásbővítés, automatizáció), illetve a hatóságok naprakészen tartásának (élelmiszerbiztonsági előírások betartása) eszközével támogatható a digitalizáció segítségével. A húsparban a frissesség és a minőség megőrzése kritikus fontosságú, amit a hűtési lánc felügyeletével lehet biztosítani. A tejpar esetében a termelési és szállítási folyamatok optimalizálása szükséges a minőség fenntartásához. Az édesiparban a munkaerőhiány és a magas minőségi követelmények okoznak nehézséget, míg a zöldség- és gyümölcsfeldolgozásban a szezonális termelés és a friss alapanyagok gyors feldolgozása jelent kihívást. A térsztyagártásban a versenyképesség érdekében elengedhetetlen a méretgazdaságosság elérése. A kiskereskedelemben a vásárlói hűség kialakítása és fenntartása nagy kihívás. Ennek feloldására is alkalmas lehet (1. ábra) a digitalizáció kapcsolattartás és együttműködés felerősítését történő bevetése, amely az élelmiszerbiztonság létrehozásán és fenntartásán túl, a bizalomépítés alapját is képezheti.

A digitalizáció szerepe az élelmiszer ellátási láncokban egyre jelentősebbé válik. A hús- és tejiparban a digitalizált nyomonkövetési rendszerek segítenek a termékminőség és -biztonság fenntartásában. A zöldség- és gyümölcsfeldolgozásban a precíziós gazdálkodási és feldolgozási technológiák növelik a hatékonyságot. Az édesiparban a digitális eszközök, például a hőmérséklet-szabályozás és a változó fordulatszámú szivattyúk hozzájárulnak a termékminőség fenntartásához. A térsztyagazatban a növekvő robotizáció és automatizálás a költséghatékonyságot célozza. Ezzel a konzerviparban csökkentik a munkaerőhiányt, míg a kiskereskedelemben a digitális hőmérséklet-ellenőrző rendszerek, az elektronikus címkézés és az online pénztárgépek növelik a hatékonyságot és az erőforrások megtakarítását. A fenntarthatóság erősödő szerepe az élelmiszeripari ellátási láncokban is megfigyelhető. A hús-, térsztya- és tejágazatban egyre inkább támogatják az energiatakarékos megoldásokat, mint például a hővisszanyerést. A zöldség- és gyümölcsfeldolgozásban fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokat alkalmaznak a környezeti terhelés csökkentése érdekében. A konzervipari és édesipari ágazatokban a hulladékminimalizálás és az újrahasznosítás fontos szempont, míg a kiskereskedelemben az energiahatékony és környezetbarát raktártervezés, valamint a hulladékból előállított biogáz és komposzt hozzájárulnak a fenntarthatósági célok eléréséhez.

A politikai döntéshozóknak prioritásként kell kezelniük az élelmiszerbiztonsági és nyomonkövethetőségi előírások javítását az élelmiszeripari ellátási láncokban. Ennek érdekében támogatniuk kell az olyan fejlett technológiák alkalmazását, mint a blokklánc, az RFID és a vonalkódrendszer, amelyek átfogó átláthatóságot és biztonságot nyújtanak. Továbbá, a kisebb vállalkozások technológiai fejlesztéseit ösztönző támogatások és ösztönzők nyújtása is fontos lépés. A fenntartható gyakorlatok szabályozással és ösztönzőkkel történő előmozdítása szintén kulcsfontosságú, beleértve a megújuló energiával kapcsolatos projekteket és a hulladékcsökkentési kezdeményezéseket. A digitális infrastruktúrába és képzési programokba való beruházás alapvető fontosságú, hogy az I40 technológiai integrációját elősegítsék, támogatásokkal és adókedvezményekkel előmozdítva az innovációt és a termelékenység növelését. Végül, a modern ellátási láncok működtetéséhez szükséges készségekre összpontosító oktatási programok és szakképzés biztosíthatják, hogy a munkaerő rendelkezzen a szükséges szakértelemmel az automatizálás, a digitális technológiák és a fejlett gyártási folyamatok terén.

HIVATKOZÁSOK

REFERENCES

- Ada, N., Kazancoglu, Y., Sezer, M. D., Ede-Senturk, C., Ozer, I., & Ram, M. (2021), „Analyzing barriers of circular food supply chains and proposing industry 4.0 solutions”. *Sustainability (Switzerland)*, 13(12), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su13126812>
- Astill, J., Dara, R. A., Campbell, M., Farber, J. M., Fraser, E. D. G., Sharif, S., & Yada, R. Y. (2019), “Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions”. *Trends in Food Science and Technology*, 91(July), 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.024>
- Ásványi, Z., Sipos, N., Bankó, Z., & Berke, G. (2024), „Alkalmazottakkal kapcsolatban felmerülő problémák és lehetséges HR megoldások a magyar kkv-k körében a COVID-19 előtti és utáni időszakban”. *Marketing & Menedzsment*, 57(4), 46–55. <https://doi.org/10.15170/mm.2023.57.04.05>
- Ben-Daya, M., Hassini, E., Bahroun, Z., & Banimfeg, B. H. (2021), “The role of internet of things in food supply chain quality management: A review.” *Quality Management Journal*, 28(1), 17–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10686967.2020.1838978>
- Béné C. (2020), „Resilience of Local Food Systems and Links to Food Security – A Review of Some Important Concepts in The Context of COVID-19 and Other Shocks”. *Food Security*, 12(4), 805–822. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-020-01076-1>
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perigo, P. (2020), “Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review.” *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- EU Zöld megállapodás. (2020), Farm to Fork Strategy. In European Commission. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f_actionplan_2020_strategy-info_en.pdf (Hozzáférés: 2024. 06. 28.)
- Európai Bizottság KAP. (2021), A Greener and Fairer CAP (Common Agricultural Policy). https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2022-02/factsheet-newcap-environment-fairness_en_0.pdf Hozzáférés: 2024. 06. 28.
- FAO (2018), Transforming Food And Agriculture To Achieve The SDGs: 20 interconnected actions to guide decision-makers. Hozzáférés: 2024. 06. 28.
- Freund, A. (2022), "A Covid-19 világiárvány következményeként kis- és középvállalkozások számára hirdetett élelmiszeripari digitalizációt célzó pályázatok vizsgálata". *Marketing & Menedzsment*, 69–79. <https://doi.org/10.15170/MM.2022.56.03.06>
- Freund, A. (2023), Effects of digitalisation on food safety. *Studies in Agricultural Economics*, 125(3), 154–168. <https://doi.org/10.7896/j.2498>
- Hassoun, A., Prieto, M. A., Carpena, M., Bouzembrak, Y., Marvin, H. J. P., Pallarés, N., Barba, F. J., Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Ibrahim, S., & Bono, G. (2022), Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. *Food Research International*, 162(August). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112068>
- Kürthy, G., Dudás, G., & Felkai, B. O. (2016), *A Magyarországi Élelmiszeripar Helyzete és Jövőképe*. Agrárgazdasági Kutató Intézet.
- Magalhães, A. E. V., Rossi, A. H. G., Zattar, I. C., Marques, M. A. M., & Seleme, R. (2019), Food traceability technologies and foodborne outbreak occurrences. *British Food Journal*, 121(12), 3362–3379. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2019-0143>
- Rahman, L. F., Alam, L., Marufuzzaman, M., & Sumaila, U. R. (2021), Traceability of sustainability and safety in fishery supply chain management systems using radio frequency identification technology. *Foods*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/foods10102265>
- Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, A., Garg, T., Atiquzzaman, M., & Niyato, D. (2021), A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 187(April), 103107. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- Soós, G. (2020), Az élelmiszer-fogyasztói szokások változása a COVID-19 vírus megjelenéséhez kapcsolódóan Magyarországon. *Marketing & Menedzsment*, 54(3), 15–27. <https://doi.org/10.15170/MM.2020.54.03.02>
- Yousefi, H., Su, H.-M., Imani, S. M., Alkhalidi, K., Filipe, C. D. M., & Didar, T. F. (2019), Intelligent Food Packaging: A Review of Smart Sensing Technologies for Monitoring Food Quality. *ACS Sens*, 4(4), 808–821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>

Freund Anna, PhD hallgató, egyetemi tanársegéd
anna.freund@uni-corvinus.hu

Jámbor Zsófia, PhD, egyetemi adjunktus
zsofia.jambor@uni-corvinus.hu

Nagy Judit, PhD, egyetemi docens
judit.nagy@uni-corvinus.hu

Budapesti Corvinus Egyetem

Responses of Hungarian agri-food supply chains to the challenges of the 21st century - the role of digitalisation

THE AIM OF THE PAPER

The aim of this study is to examine the impact of Industry 4.0, digitalization on domestic agri-food supply chains through a previous bibliometric analysis of identified research directions.

METHODOLOGY

A qualitative research methodology was used to conduct the empirical research. For the analysis, we conducted 20 interviews with agri-food supply chain actors, from raw material producers to processors and retailers, in order to gain practical insights on the potential and impact of different digital solutions through our analytical framework developed as a result of a systematic literature review.

MOST IMPORTANT RESULTS

Our results highlight the need for sector-specific digital strategies, highlighting the role of digitalisation in improving operational flexibility, reliability and resilience. The results also highlight the need for coordinated action at the supply chain level, not only towards the consumer but also in reverse processes, so that digitalisation can play a prominent role in supporting waste management issues in the design of sustainable and traceable processes.

RECOMMENDATIONS

The study aims to raise awareness among policy makers of the need to prioritise improving food safety and traceability standards in food supply chains. It also recommends promoting sustainable practices through regulation and incentives, including renewable energy projects and waste reduction initiatives. Finally, we consider it of high importance to support investment in digital infrastructure and training programmes to foster innovation and increase productivity.

Keywords: agri-food supply chain, resilience, reliability, Industry 4.0, digitalisation