

Paradigmaváltás az építőiparban

A paradigm shift in the construction industry



Absztrakt

A digitalizáció és az innovációk rohamosan jelennek meg az építőipar nemzetközi piacán, hogy megoldást nyújtsanak az éghajlatváltozás és a fenntarthatóság kihívásaira, melyre az Építőipar 4.0 paradigmaváltás kínál megoldásokat. 32 tapasztalt iparágban dolgozó nemzetközi szakember került megkérdezésre félig strukturált interjúk keretében véleményét az építőipar digitális átalakulásáról. A kutatás eredményei rámutattak arra, hogy az Építőipar 4.0 paradigmaváltás nem realizálható pusztán technológiai innovációk révén, a komplex átalakulás eléréséhez interdiszciplináris együttműködésre és a rendszerek integrációjára van szükség. Az eredmények alapján a magyar építőipar számára elengedhetetlen az adatkezelés és az információs rendszerek integrációjának fejlesztése és a piaci szereplők és emberek adat alapú szorosabb együttműködése.

Kulcsszavak: építőipar 4.0, iparági kihívások, építőipari stratégia, rendszer integráció

Abstract

The international construction market is rapidly adopting digitalisation and innovation to tackle climate change and sustainability challenges. 32 industry professionals with international experience were surveyed with interviews to gather their views on the digital transformation of the construction industry. The research findings suggest that achieving the Construction 4.0 paradigm shift requires more than just technological innovation. Interdisciplinary collaboration and system integration are also necessary for this complex transformation. Based on the findings, the Hungarian construction industry must prioritise the integration of data management and information systems, and enhance data-driven collaboration between market players and professionals.

Keywords: construction 4.0, industry challenges, construction industry strategy, system integration

JEL kód: O14, O19

BEVEZETÉS

Az ENSZ jelentése szerint az építőipar felelős az energiával kapcsolatos CO₂ kibocsátás 37%-ért, melynek egyik oka az ellátási lánc széttördezettisége, vagyis a vállalatok nem megfelelő együttműködése (World Economic Forum, 2023). Az egyre magasabb fenn-

tarthatósági követelmények mellett a növekvő népességszám is megköveteli, hogy ezen iparág nagyon rövid idő alatt a technológia területén felzárkózzon a többi iparág szintjére. A digitalizáció és technológia alkalmazásának fontosságát az Európai Parlament is kiemelt területnek tekinti, a Digitális Iránytű elnevezésű dokumentumában az építőipart az öt kulcsfontosságú iparág egyikeként említették (European Commission, 2021).

Az építőipar versenystruktúráját alapvetően formálja át a negyedik ipari forradalom, amely jelentős technológiai fejlődést is hoz magával, miközben számos kihívás elé állítja az iparág minden szereplőjét. Ebben az új versenykörnyezetben jelenik meg az Építőipar 4.0 paradigmája. Itt fontos megjegyezni, hogy az Építőipar 4.0 kifejezés az Ipar 4.0 analógiájára alakult ki. Az első forradalom legfontosabb vívmányai a szövőgép, a víz és gőzenergia, a másodiké az első futószalagok, a tömegtermelés és a villamos energia, míg a harmadiké az első programozható logikai vezérlők, az elektronika és az informatika használata a további automatizálásban. A negyedik forradalom kapcsán megjelenő Építőipar 4.0 alatt egy új digitális ökoszisztéma értendő, amely a digitális (fizikai és virtuális) technológiák, módszerek és folyamatok integrációjával, valamint a fenntarthatóság prioritásba helyezésével jár, melyeknek hatására az iparág versenyszerkezete folyamatosan átalakul. Az átalakulásban részt vevő szereplők közé tartoznak az állami szervezetek, kutatóintézetek, oktatási intézmények, vállalatok, valamint az építőipar ellátási láncában résztvevő egyéb szereplők.

Bár az innovációk széles spektruma támogatja ezt az átalakulást, az építőipar, mint hagyományosan konzervatív iparág, az innovációkat más iparágakhoz képest jóval lassabban integrálja. Ennek számos oka van, mint például a vevő nem igényli, a versenytárs még nem csinálja, a technológia még drága, vagy nincs meg hozzá a megfelelő humán kapacitás, hogy azt üzemeltesse, a menedzsment nem eléggé felkészült, vagy éppen a szervezeti feltételek nem adottak, melyek visszavezethetők a tanulmányban későbbiekben részletezett paradigmaváltás szükségességére. Ezért jelen kvalitatív kutatás célja volt, hogy feltárja az Építőipar 4.0 kihívásait és lehetőségeit nemzetközi tapasztalatok alapján az iparági szakemberek gondolkodásmódja és adat-ökoszisztéma szempontjából.

A tanulmány először bemutatja az Építőipar 4.0 fogalmát, kihívásait és lehetőségeit szakirodalmi feldolgozás segítségével. Ezt követően a kvalitatív kutatás módszertana, majd eredményei kerülnek ismertetésre. Az eredmények két témakör köré csoportosulnak, a gondolkodásmód váltás és az adat-ökoszisztéma fontosságára hívják fel a figyelmet. Ez mind a gyakorló szakemberek, mind a kormányzati döntéshozók számára fontos eredmény, az elméleti hozzájárulásokon felül. Amint azt a tanulmányt záró összegzés, diszkusszió és konklúzió részben is megfogalmazásra kerül, az állam kulcsszereplő a szükséges paradigmaváltásban, ami egy jóval hatékonyabb és fenntarthatóbb építőiparhoz vezethet. Az állam egyrészt szabályozóként segítheti az együttműködések kialakítását, másfelől megrendelőként kell példát mutatnia és olyan elvárásokat kell támasztania a beszállítókkal szemben, ami az elvárt új gondolkodásmódnak és adat-ökoszisztéma kívánalmaknak is megfelel.

1. ÉPÍTŐIPAR 4.0

1.1. ÉPÍTŐIPAR 4.0

Az elmúlt években a kutatások száma exponenciálisan emelkedik az Építőipar 4.0 területén, melyre számos definíció született a szakirodalomban. Egyes szakirodalom alapján az Építőipar 4.0 az Ipar 4.0 alkalmazása az Építőiparban (Brito et al., 2022; Kor et al., 2023), más kutatók úgy definiálják, hogy a digitális technológiák alkalmazása az építőiparban (Karmakar–Delhi, 2021), vagy az Ipar 4.0 technológiák alkalmazása (Osunsanmi et al., 2022) annak érdekében, hogy az ellátási lánc hatékonyabban működjön (Osunsanmi et al., 2018). További szakirodalom megemlíti a fizikai technológiákat (Sawhney et al., 2020) illetve folyamatokat (Schönbeck et al., 2020) és munkamódszereket (Yang et al., 2022) és az adatkezelés fejlődését és automatizálását is (Rahimian et al., 2022). Az egyes definíciók összefoglalását az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Az Építőipar 4.0 definíciói
Table 1 Definitions of Construction 4.0

Definíció	Forrás
„Az Építőipar 4.0 az építőipar digitalizációja.”	Ammar–Nassereddine, 2022
„Az Építőipar 4.0, az Ipar 4.0 vagy negyedik ipari forradalom értelmezése az építőiparban”	Brito et al., 2022; Kor et al., 2023
Az Építőipar 4.0 egy olyan folyamat, melyben a modern technológiák alkalmazása segíti a hatékonyabb építőipart és az azt kiszolgáló ellátási láncot.	Osunsanmi et al., 2018
„Az Építőipar 4.0 a digitális technológiák alkalmazása az építőiparban”	Karmakar–Delhi, 2021
Az Építőipar 4.0-át digitális és fizikai technológiák alkotják, melyek az épített környezetet átalakítják.	Sawhney et al., 2020
Az Építőipar 4.0-át modern technológiák és aspektusok, illetve folyamatok alkotják.	Schönbeck et al., 2020
Az Építőipar 4.0 az Ipar 4.0 technológiák részleges alkalmazása az építőiparban.	Osunsanmi et al., 2022
Az Építőipar 4.0 magában foglalja a munkamódszereket és alkalmazásokat, melyek változnak a szoftver és hardver technológiák hatására.	Yang et al., 2022
Az Építőipar 4.0 „a technológia és az adatkezelés fejlődése, új gyártási technikák, valamint a fejlett digitalizálás és automatizálás.”	Rahimian et al., 2022

Forrás: Saját szerkesztés

A fentiek alapján jelen kutatás keretében az Építőipar 4.0 fogalmát a következőképpen definiáljuk: Az Építőipar 4.0 paradigma alatt egy új építőipari ökoszisztéma értendő, mely magában foglalja az (1) integrált technológiákat és kiber-fizikai rendszereket, (2) módszereket és folyamatokat és (3) az emberi erőforrás kompetenciáit. Ezen három pillért támogatja az automatizáció és az adatelemzés. Ebben az ökoszisztémában fontos cél a fenntarthatóság, amit az építési folyamatok hatékonyságának, illetve termelékenységének javításán keresztül érhetnek el az iparági szereplők.

1.2. KIHÍVÁSOK AZ ÉPÍTŐIPAR 4.0 TERÜLETÉN

Az Építőipar 4.0 bevezetésének sikeressége függ az építőipari értéklánc minden szereplőjének digitalizációs képességétől (Karmakar–Delhi, 2021; Newman et al., 2020) és a vállalatok megfelelő technológiai infrastruktúrájától (El Jazzer et al., 2021). Az infrastruktúra és a digitalizáció hatékony összefonódásában döntő szerepet játszik az iparágban dolgozó szakemberek gondolkodásmódja, illetve vezetési stílusa (Yang et al., 2022). Az újonnan megjelenő technológiák hatékony bevezetéséhez és alkalmazásához az építőipari szakembereknek alapvető szemléletmódváltásra van szükség, mivel ezek a technológiák új folyamatokat indukálnak az iparágban (Schönbeck et al., 2020). A digitális technológiák által generált kihívások mellett megjelennek a fizikai technológiákkal szemben felmerülő problémák is, úgy mint a robotika egyre növekvő dominanciája az építőipar területén (Walzer et al., 2022), ami az építőipari szereplőktől eddig távol álló átgondoltságot, munkaszervezést és szakértelmet kíván meg.

Ezen kihívások mellé társul a kiber-biztonság és a jogi terület összefonódásának kérdései: kik, és hogyan jogosultak a projektek által generált adatok felhasználására és azok használatai milyen nemzetbiztonsági kockázatokat vethetnek fel (Lavikka et al., 2018). Ebben a komplex környezetben a kormányzati szerveknek kulcsszerepük van az új ökoszisztéma és a megújuló szabályozási mechanizmusok kialakításában (Maskuriy et al., 2019), mely az iparág működését pozitívan vagy negatívan is befolyásolhatja. A technológiai kihívások mellett az iparág szereplőinek és az állami döntéshozóknak is szembe kell néznie a fenntarthatóság iránti növekvő társadalmi elvárásokkal is (Berg et al., 2021). Ez egyrészt érinti a szabályozói oldalt is, másfelől az állam mint megrendelő viselkedési normáira is ki kell terjedjen.

1.3. LEHETŐSÉGEK AZ ÉPÍTŐIPAR 4.0 TERÜLETÉN

Az építőipar jellemzően széttagolt struktúrával rendelkezik, elsősorban az összetett ellátási lánc és a folyamatosan változó szereplők miatt, mely maga után vonja az összetett és bonyolult folyamatok optimalizálásának problémáját. A menedzsment egyik lehetséges válasza lehetne ezen kihívásokra, ha a projekt fókusz helyett a folyamatok fejlesztésére helyezné át a hangsúlyt (El Jazzer et al., 2021) és szorosabban együttműködnének a vállalkozások a teljes ellátási lánc mentén (World Economic Forum, 2023). A digitalizáció és annak hatásai túlmutatnak a pusztán lehetőségeken; valójában egy értékteremtő átalakulás alapvető elemei (Çıdık–Boyd, 2022), ahol a technológiák magas szintű alkalmazá-

sának egyik katalizátora a BIM (Building Information Modelling/Épület Információs Modellezés) (Alaloul et al., 2020). A BIM megoldások jól kapcsolódhatnak a vállalatok más rendszereihez is, azokkal integrált működésük szükséges.

Ennek a katalizátornak a mozgatórugója lehetne az állam, mivel az épületek életciklusának minden szakaszában jelen vannak az állami szereplők. Ez egy olyan lehetőséget is hoz magával, melynek köszönhetően a BIM segíteni tudja az állami intézkedések előmozdítását a körforgásos gazdaság területén (Berg et al., 2021), és lehetővé tenné komplex épületvárosi modellek létrehozását és elemzését is (Lavikka et al., 2018). Az adatplatformok nem csupán a városüzemeltetési osztályokra korlátozódhatnak, hanem komplett városokat is magukba foglalhatnak, ami az okos városok egyik fontos alappillére is egyben.

2. MÓDSZERTAN

Jelen kvalitatív kutatási projekt keretében 32 iparági szakértővel folytattunk interjúkat, akiket globálisan, négy kontinens 13 különböző országából választottunk ki. A szakértők kiválasztása során hólabda technikát alkalmaztunk. A kiválasztás során továbbá figyelembe vettük, hogy az interjú alanyok diverzifikált szakmai háttérrel rendelkezzenek, beleértve az építőipart, az információs technológiát, a kutatás-fejlesztést és a közszférát is. A kiválasztás során előtérbe helyeztük, hogy az interjúalanyok rendelkezzenek minimum 3 év szakmai tapasztalattal az építőipari digitalizáció területén (a kutatás 2020-as megkezdésekor az építőipari digitalizáció viszonylag új területnek számított és az ezen a területen szerzett szakmai tapasztalatot ezért minimum 3 évben határoztuk meg). A résztvevők demográfiai megoszlása a következőképpen alakult: vállalati felsővezetők 62,5%-ot (20 fő), középvezetők és szakértők 34,4%-ot (11 fő), míg nemzetközileg elismert akadémikusok 3,1%-ot (1 fő) képviseltek. A szakértők szakmai tapasztalata átlagosan 15 év volt.

2. táblázat: Interjúalanyok összefoglaló táblázata
Table 2 Summary table of the interviewees

Ssz.	Építőipari szerep	Ország	Szervezet típus	Pozíció	Tapasztalat (év)
1	Tanácsadás	Egyesült Királyság	Multinacionális nagyvállalat	Igazgató	5+
2	Technológia szolgáltató	USA	Multinacionális nagyvállalat	Igazgató	10+
3	Tanácsadás	USA	Nagyvállalat	Ügyvezető	25+
4	Technológia beruházó	Németország	Nagyvállalat	Ügyvezető	15+
5	Technológia beruházó	Izrael	Nagyvállalat	Ügyvezető	25+
6	Kutatás fejlesztés	Portugália	Nonprofit	Alkalmazott	5+

7	Kutatás fejlesztés	Finnország	Nonprofit	Professzor	15+
8	Állami szereplő	Lengyelország	Állami szereplő	Alkalmazott	5+
9	Állami szereplő	Észtország	Állami szereplő	Igazgató	5+
10	Beruházó (autóipar)	Egyesült Királyság	Multinacionális nagyvállalat	Menedzser	15+
11	Tervező	Finnország	KKV	Igazgató	15+
12	Tanácsadás	Egyesült Királyság	KKV	Alkalmazott	5+
13	Technológia szolgáltató (IT)	USA	Nagyvállalat	Igazgató	15+
14	Tanácsadás	Nigéria	Nonprofit	Alkalmazott	5+
15	Kutatás fejlesztés	Egyesült Királyság	Nonprofit	Menedzser	5+
16	Tanácsadás	Finnország	KKV	Ügyvezető	35+
17	Tanácsadás	Egyesült Királyság	KKV	Ügyvezető	10+
18	Technológia szolgáltató	USA	KKV	Menedzser	5+
19	Technológia szolgáltató	USA	KKV	Menedzser	5+
20	Tanácsadás	USA	KKV	Ügyvezető	20+
21	Tanácsadás	USA	KKV	Ügyvezető	25+
22	Tanácsadás	Egyesült Királyság	KKV	Menedzser	20+
23	Technológia szolgáltató	Egyesült Királyság	KKV	Menedzser	5+
24	Tanácsadás	Hollandia	KKV	Ügyvezető	15+
25	Tanácsadás	Egyesült Királyság	KKV	Ügyvezető	20+
26	Tanácsadás	Egyesült Királyság	KKV	Igazgató	15+
27	Generál kivitelezés és oktatás	India	KKV	Menedzser/ oktató	5+
28	Tanácsadás	Lettország	KKV	Ügyvezető	10+
29	Tanácsadás	Magyarország	KKV	Ügyvezető	5+
30	Tervezés és gyártás	Magyarország	Nagyvállalat	Tulajdonos	45+
31	Kivitelezés	Magyarország	KKV	Ügyvezető	15+
32	Tervezés	Magyarország	Nagyvállalat	Ügyvezető	20+

Forrás: Saját szerkesztés

Az első interjúk 2020 novemberétől 2021 januárjáig készültek online platformokon keresztül többnyire angol nyelven és átlagosan egy óráig tartottak. Ezt követően, 2022 decemberében és 2023 januárjában az előzetes eredmények alapján további interjúkat végeztünk Magyarországon. Az interjú kérdések összeállítása során a szakirodalom ajánlott lépéseit alkalmaztuk: első lépésként koncepciót alkottunk, hogy megértsük mit is jelent az Építőipar 4.0, ahhoz pontosan milyen kérdéseket kell feltennünk. A kutatásnak ebben a fázisában nem állt rendelkezésünkre még elég mennyiségű szakirodalom a kutatói világban, hogy strukturáltabb kérdéseket összeállítsunk, ahogy azt a szakirodalmi háttér is mutatja. A kutatás megkezdésekor szinte nem is voltak kvalitatív vagy kvantitatív eredmények az Építőipar 4.0-ról, ez is mutatja, hogy egy új jelenségről beszélünk és jelentős a kutatási rés a jelenség megértésében. Ezt kövözően a kerültek a félig strukturált interjú kezdeti kérdései meghatározásra, majd a kezdeti interjú köröket követően újra fogalmaztuk azokat a tapasztalataink alapján. Az interjúkról leíratot készítettünk és a leírtakat tematikusan kódoltuk és kategorizáltuk. A kutatás eredményeként számos kategória született, azonban jelen publikációt a terjedelmi korlátok miatt a gondolkodásmód és adat-ökoszisztéma témakörök szerint mutatjuk be. A kategóriák, a módszertanból adódóan, az egyes interjúalanyok által elmondottak tartalmi kódolása alapján képződtek. Az egyes kódok nagyobb kategóriákat alkotnak, ahogyan az a későbbiekben részletesen is kifejtésre kerül a 3. táblázatban. Az interjúalanyok demográfiai és szakmai adatait a 2. táblázat tartalmazza.

3. EREDMÉNYEK

Az eredményeket két fő kategóriába osztottuk (3. táblázat): gondolkodásmód és adat-ökoszisztéma, mivel ez a két témakör egy holisztikus képet ad a digitalizáció emberi és technológiai aspektusairól és lehetővé teszi a digitalizáció komplexitásának mélyebb megértését. A gondolkodásmód a kulturális és szervezeti változásokat, az emberek és szervezetek hozzáállását és viselkedését vizsgálja, melyen belül öt alkategória került meghatározásra: folyamat, minőség, tapasztalat és tudás, szabványok és jogi korlátok, valamint kommunikáció és együttműködés. Az adat-ökoszisztéma a technológiai és infrastrukturális kihívásokra és lehetőségekre összpontosít, amelyen belül szintén öt alkategória született: folyamat, rendszer és technológia, kommunikáció és együttműködés, valamint minőség. Fontos rámutatni az egyes területek közötti kapcsolatokra is, miszerint a folyamatok során keletkező valós idejű adatokat összekötött adat-ökoszisztémákban szükséges tárolni és előhívni, amely biztosítja a megfelelő minőségű kommunikációt és együttműködést.

3. táblázat: Kutatás eredményeinek összefoglalása
Table 3 Summary of the research results

Kategória		Kihívás	Megoldás
Gondolkodásmód váltás	Folyamat	régi építési folyamatok, gyártási folyamatok hiánya, széttöredezett iparág	ágazati együttműködés, start-upok bevonása, történelmi zavarok, gazdasági lehetőség a COVID után
	Tapasztalat és tudás	anyag és díj újragondolása minőségre, konzervatív gondolkodásmód és kultúra	közös erőforrások, sikertörténet megosztása, kollektív tudás, nemzetközi tudásátadás és együttműködés, K+F a kkv-k oktatása, oktatási központ, generációs tudástranszfer
	Minőség	tapasztalaton alapuló döntés, sokszínűség hiánya	korruptió ellenesség, referencia iparág felhasználása
	Szabvány és jogi korlátok	a szabványosítás hiánya, merev szabványok és rendeletek, az állami megrendelések nem támogatják az innovatív megoldásokat, költségnem alapú projektek gátolják a BIM-et	új szabványok, közbeszerzés változása, gyors fejlődési lehetőség kis országok számára, blokklánc, integrált projekt megvalósítás, nemzetközi K+F együttműködés
	Kommunikáció és együttműködés	ágazati szintű együttműködés, az átláthatóság megtagadása, döntéshozatali folyamatok	közös adatfelhasználás, technológia szolgáltatók bevonása az IT fejlesztésekbe
Adat-ökoszisztéma	Folyamat	valós idejű adatok, rendezett adatok, adatkezelés, döntéshozatali folyamat, üzleti információ menedzsment, új technológia és régi folyamat, új folyamatok bevezetése, változás követés, technológia adaptáció, érzelem mentes döntéshozatal	prediktív döntéshozatal, a folyamatok összekapcsolása a technológiával, valós környezetből származó adatok
	Rendszer és technológia	sziget-szerű rendszerek, a technológia késleltetése, technológia erejének figyelmen kívül hagyása, rendszerek együttműködése, kiberbiztonság, közös adatrendszer, dinamikus rendszerek, tudás kinyerése az adatokból	technológiai rendszerek együttműködése, mikroszolgáltatási architektúra, IFC,
	Kommunikáció és együttműködés	adat biztosítása, kommunikációs eszközök, együttműködés hiánya, végfelhasználók megértése, projektek felnagyítása, zárt rendszerű fájl formátum	központi rendszer, együttműködő tanulás, IFC
	Minőség	adat minőség, implementálási kockázatok, szakképzett munkaerő, kereskedelmi titok, internet hiánya	adatok finomítása, ütközések felderítése, kiberbiztonság. AR vagy VR alkalmazása, változás követés, körforgásos gazdaság

Forrás: Saját szerkesztés saját kutatás alapján

3.1. GONDOLKODÁSMÓD VÁLTÁS

Az építőipar jellemzően konzervatív kultúrával, történelmi hagyományokkal és megszokott *folyamatokkal* rendelkezik. Ezen folyamatok fejlettségi szintje már viszonylag kisebb kontinensek területén is nagyon változó. Kutatásunk elkészítésekor Finnország például az Építőipar 4.0 területén az egyik legfejlettebb nemzetnek számított, ahol az előregyártott és iparosított kivitelezés nem számított újdonságnak. Ezzel kontrasztban, számos európai ország elhanyagolta az előregyártást, mely a technológiai fejlődés lemaradásához vezetett. Tapasztalt hazai szakemberek elmondása alapján az iparosított, előregyártott építési technológiák jelentős hatással vannak a rendelkezésre álló tartószerkezeti opciókra, és ezen keresztül az építési kultúra alakulására is. A 1970-es években Magyarországon megjelenő házgyári paneles építési technológiák, valamint könnyűszerkezetes kormányprogramok – például a Clasp, Fillod és Conder – esetében megfigyelhető volt a tervezés, gyártás és kivitelezés összefonódása. Az Európai Unióhoz való csatlakozás után azonban az iparosított gyártási technológiák fejlesztése háttérbe szorult, és az egyedi műszaki megoldások váltak dominánssá és a fókusz elmozdult az előregyártott elemekről a helyszíni kivitelezésre, melynek hatására a hazai iparág egyre jobban széttöredezett. A szakágak közötti izoláció azóta is folyamatosan növekszik: az iparági szakemberek fókusza egyre jobban korlátozódik saját területükre és a kivitelezés időszakára. A nemzetközi szakemberek véleménye szerint a projektcentrikus szemléletmód nem terjed ki az ismétlődő folyamatok optimalizálására, ami tovább akadályozza az építőipart kiszolgáló ellátási lánc fejlődését. Mindemellett a projektközpontú gondolkodás behatárolja a projektek teljes életciklusára történő optimalizációt is. Külön „projekt” az épület megtervezése, majd az egyes elemek kivitelezése, üzemeltetése, átépítése, lebontása, holott az egyes „projektekt” jelentős mértékben azonos adatokat kívánnak meg, és összességében akár az adatokkal kapcsolatos munka 5–10 alkalommal is elvégzésre kerül. Mindemellett, az egyes projektek közötti tudásátadás is nagyon limitált, ami szintén jelentősen rontja a hatékonyságot, hiszen a korábban kialakított tudás többször is hasznosulhatna. A technológiai előrehaladás paradigmaváltást igényel, amely magában foglalja az építési folyamatok revízióját és a szakemberek, szakágak, valamint az újonnan megjelenő iparági szereplők (pl. technológia beszállítók) közötti szoros együttműködést.

„Az iparág széttöredezett, mert sok szereplő van, és nagyon projektközpontú vagy projektekre összpontosító gondolkodásmóddal rendelkezünk, de végső soron épületekről beszélünk. Természetesen építésszerűen és vizuálisan különböznek egymástól. De építési szempontból, mérnöki szempontból 80%-ban, 90%-ban ugyanazok. Tehát egyrészt el kell távolodnunk ettől a projektközpontú gondolkodásmódtól.” (27. interjúalany)

Az éghajlatváltozás, a természeti erőforrások kimerülése, globális pandémia és történelmi események új paradigmákat alkotnak mind állami, mind vállalati szereplők számára. A technológiai innovációk a hatékonyság növelése mellett potenciális megoldásokat kínálhatnak a katasztrofális események kezelésére és a gazdasági stabilitás fenntartására, mivel felgyorsíthatják a kiber-fizikai átalakulást. Az új szabványok lehetővé tehetik a gyorsabb

adatáramlást az iparág résztvevői között, mely szorosabb iparági együttműködést indukálhat. Egy központosított online platform elősegítheti az információáramlás koordinálását, az adatok integrációját és az állami szervekkel való hatékonyabb együttműködést is. Egy ilyen platformot érdemes állami-vállalati-akadémiai-nonprofit együttműködésben létrehozni, ahogyan már néhány példát is láthatunk más országokban, például az Egyesült Királyságban. A BIM és a technológiai előrehaladás olyan előnyöket nyújthatnak a megrendelők számára, mint például a pontosabb költség-bebecslés, a mennyiségi optimalizálás, az életciklus elemzés vagy az ellátási lánc optimalizálása. A volatilis nyersanyag- és energiaárak arra sarkallják az érintett szereplőket, hogy fenntartható üzleti modellek felé orientálódjanak, mely magában foglalja az energiafelhasználás optimalizálását, a termelési hulladék és selejt csökkentését, valamint ezek alapanyagként történő visszaforgatását. Az állam egyedülálló pozícióját kihasználva ösztönözheti az iparág fejlődését, mivel részt vehet az épületek életciklusának minden szakaszában.

„Az emberek azon csoportja, amely a legtöbbet fog profitálni ezekből a fejlesztésekből, a tulajdonosok. Amint a kormányok rájönnek, hogy mindezek a dolgok leginkább nekik kedveznek, elkezdik növelni, támogatni és követelni az épületinformációs modellezést és más technológiákat és gyakorlatokat. (4. interjúalany)

Az építőiparban a vezetői kompetencia hagyományosan magas szintű műszaki tudáson és tapasztalaton alapul. Azonban az Építőipar 4.0 paradigmájában már a műszaki tudás mellett megjelenik az igény a digitális kompetenciákra is. A konzervatív vállalati kultúra és a hierarchikus szervezeti struktúrák korlátozhatják az innovációk megjelenését a vállalatokon belül. Innovációk hiányában a jövő generációja számára egyre kevésbé vonzó az építőipar és emiatt folyamatosan csökken a szakember utánpótlás is. A gyorsan változó technológiai környezet új kompetenciákat is megkövetel az egyetemi végzettség és a többéves szakmai tapasztalaton felül. Egyre kritikusabb lehet, hogy ezeket a változásokat időben felismerjék az iparági szereplők és megfelelő intézkedéseket hozzanak annak érdekében, hogy az építőipar adaptálódni tudjon az Építőipar 4.0 által diktált új normákhoz.

„Innováció, és ekkor elmenekülnek előle az emberek. Mert mindenki szereti az innovációt, de senki sem szereti az olvasást. Tehát először is, mindenki azt akarja, hogy valaki más újítsa először.” (22 interjúalany)

Az állam kulcsszerepet játszhat a tudásmenedzsment és a hatékony tudástranszfer elősegítésében, különösen az alkalmazott kutatás és a kutatási eredmények piaci adaptációjának kontextusában. A kis- és középvállalkozásokban dolgozó szakemberek kompetenciájának növekedését oktatási és innovációs központok is támogathatják. Az állami szintű pályázati rendszerek és programok lehetnek azok az eszközök, amelyekkel ezeket a fejlesztési célok megvalósíthatók lennének, mely hozzájárulhat az építőipar versenyképességének és fenntarthatóságának javításához is.

„A cél digitalizáció használata az ipari termelékenység érdekében, és amire szükségünk van, az nem csak egyfajta kereslet-kínálati a KKV-k számára. Amire szükségünk van, az olyan erőforrás, amelyet a KKV-k használhatnak.

K+F létesítményekre, ahová a KKV-k behozhatják termékeiket és a termelékenységgel, minőséggel, biztonsággal kapcsolatos kihívásaikat, melyekre a K+F szervezetek értékbecslést végezhetnek, felmérhetik, hogy mit kell tenniük a folyamatuk javítása érdekében, amiben a digitalizáció segíthet. Ezáltal nő a tudatosságuk arról, hogy mit tehet a digitalizáció. Lehetővé teszi számukra azt is, hogy megértsék, hogy mennyit adhat a kezdeti beruházás a hosszú távú előnyökkel kapcsolatban. (29. Interjúalany)

A digitális technológiák által létrejött határok nélküli információáramlás kollektív tudásbázist generál, amely hozzájárulhat az építőipari projektek hatékonyságának növeléséhez. Nemzetközi projektek és digitális partnerségek elősegíthetik a tudástranszfert, és új ismereteket és tapasztalatokat hozhatnak a helyi vállalati ökoszisztémába. Az ilyen típusú együttműködések által generált sikertörténetek pozitív esettanulmányként szolgálhatnak, és felgyorsíthatják a technológiák gyorsabb és hatékonyabb bevezetését.

„A digitális világban nem korlátoznak minket határok, és nem is kellene így gondolkodnunk... Mert minél inkább és jobban haladunk az egységes digitális piac felé, annál jobb lesz minden európai vállalatunknak, mert bővül a piac, és könnyebb lesz máshol üzletet kötni, tervezni, építeni és információt cserélni az épített környezetről.” (9. interjúalany)

A valós idejű adatok hiányában a műszaki területen dolgozó szakemberek döntései korábban gyakran a tapasztalat alapú megközelítésen alapultak, mely még napjainkban is kiemelt tiszteletet érdemel. A tapasztalat alapú döntéshozatalt és az adatelemzés szinergiája a minőség javítását segítheti. A hagyományos döntéshozatali mód helyett az adat-vezérelt döntéshozatal nagyban elősegíthetné a minőség-ellenőrzés és a műszaki ellenőrzés területét is, ez azonban a piaci szakemberektől egy újfajta nézőpontot követel meg.

A minőség javítása érdekében az építőipar hasznosíthatja a más iparágakból származó ismereteket és módszertanokat. Ide tartoznak például az autóiparból származó LEAN folyamatok, az informatikai szektor Scrum módszertana, adatelemzési és adatvizualizációs technikák, valamint a pénzügyi és jogi szektor okos szerződési megoldásai. A blokkláncok alkalmazása segíti a szállítói kockázatok megfelelő kezelését is az építőiparban, hiszen jelentős kockázatot jelentenek az esetleges „körbe tartozások” miatt kialakuló válságok. További innovatív területek, mint az akkumulátoripar, a repülőgépipar és a hadiipar is hozzájárulhatnak az építőipar fejlődéséhez. Az alkalmazott kutatás fejlesztés területén az űripar és az építőipar közötti kapcsolat is egyre inkább fókuszba kerül, ami mind a megkívánt minőséget, mind a későbbiekben tárgyalásra kerülő szabványok témakörét érintik. Ezen iparágakban már hatékonyan alkalmazott technológiák, például mérés-technikai vagy dróntechnológiai megoldások támogatják a minőség javulását. A technológiák és innovációk hatására új típusú szakértelmet igénylő pozíciók jelenhetnek meg mind a vállalati, mind az állami szektorban, amelyek más iparágakból származó értékes tudást integrálhatnak, ezzel is növelve a minőséget. A technológia, kultúra, innováció, új anyagok (pl. nanotechnológia) és módszertanok kombinációja számos lehetőséget rejt magában a minőségfejlesztés területén.

„De itt, mint mondtam, nem csak semleges technológiákra és új koncepciókra van szükség, hanem főként új emberekre és mindenképpen új gondolkodásmódra.” (4. interjúalany)

A technológiákat támogató szabványok hiánya vagy a túl merev szabványok jelenléte koordinációs nehézségeket és az innovációk elterjedésének gátjai is lehetnek. Az Integrált Projekt Megvalósítás (IPD) módszertana például gyakran kerül háttérbe az állami megrendelések kiviteli terv szintű előírásai miatt, amelyek nem hagynak teret az innovatív megoldásoknak.

A közös adatkészlet-szabványok és adatkezelési folyamatok kialakítása nem csak iparági együttműködést, de magas szintű informatikai kompetenciát is igényel. Az adat-vezérelt fejlődés támogatásához az iparágban és a kutatás-fejlesztés területén is az adatok hozzáférhetősége és elérhetősége is kulcsfontosságú szerepet kap. Országos szinten az információ és az adat önmagában nem elegendő; szükséges lehet az állam aktív szerepvállalására, hogy a piaci szereplők technológiai fejlődését támogassák. Az interjúalanyok elmondása szerint, egyes országok (mint például az Egyesült Királyság) már most is központosított BIM rendszerek alkalmazásával próbálják felgyorsítani az iparág fejlődését és országos szintű versenyelőnyre szert tenni ezáltal, azonban az ilyen irányú fejlődést Magyarországon például a költségnem alapú közbeszerzési rendszer megakadályozza.

Az interjúk alapján az innováció és a jogi keretrendszer összehangolása egy másik kritikus terület, amely komplex hatással lehet a már meglévő szerződési struktúrákra. Az elavult szerződési formák korlátozzák a BIM módszertan alkalmazását, amely specifikus szerződési kereteket igényel.

„Légi-, űrkutatási ipar és az építőipar. Írjatok le mindent, ami 1994-től 2022-ig történik ezekben az iparágakban. Nagyjából a szabványosításra lehet leegyszerűsíteni. Automatizálás és digitalizálás és ez az, amihez mindenkinek fel kell zárkóznia.” (4. interjúalany)

A szabályozások a minőség növelése mellett fejlettebb technológiai környezetet indukálhatnak. Például Európában a fenntarthatóságra vonatkozó jogszabályok szigorításának hatására egyre több digitális technológia és megoldás jelenik meg. A jogi területen a minőség mellett a hatékonyságot, az együttműködést és a bizalmat is növelhetik például a blokklánc alapú szerződések. A szabványosításból a kisebb országok gyorsan profitálhatnak és kihasználva méretüket új technológiai és digitális átalakulási koncepciókat tudnak jóval gyorsabban megvalósítani. Ilyen példa lehet Észtország, ahol már BIM alapú közbeszerzési rendszer támogatja az építőipar minden szereplőjét és elősegíti a piaci szereplők technológiai fejlődését.

A folyamatinnováció hiányában az olyan módszerek, mint például a BIM, a LEAN menedzsment és az IPD alkalmazása kudarchoz vezethet, melyek átlátható kommunikációt és állandó együttműködést igényelnek az iparág szereplői között. Bár a LEAN menedzsment egyre inkább teret nyer a hazai projektekben is, azonban a teljes potenciál kiaknázása megfelelő szoftver infrastruktúra hiányában nehezen megvalósítható.

Az információ visszatartása, például a natív BIM fájlverziók (vagyis a BIM rendszerben készített modellek) visszatartása, jelentős pénzügyi veszteségekhez vezethet a projekt teljes életciklusa során. Az innovatív megoldások, mint az állami szintű közös adatfelhasználás és a felhőalapú együttműködés, uniformizált információt biztosíthatnak az érintett feleknek, optimalizálva ezzel a kommunikációs folyamatokat. A BIM-alapú projektek, kiegészítve virtuális (VR) és kiterjesztett valóság (AR) technológiákkal, nem csak a vizualizációt és az oktatást teszik hatékonyabbá, hanem a döntéshozatali folyamatokat is, melyek így valós idejű adatokon alapulhatnak. Például a virtuális valóság megjelenik a modellekben, amelyekben tetszőlegesen „körbe járhatóvá” válnak az épületek még mielőtt bármilyen tényleges fizikai munka megkezdődne. Sőt a kiterjesztett valóság keretében a tényleges fizikai térben is megtekinthetővé válnak a modellek, és azok tényleges illeszkedése.

3.2. ADAT-ÖKOSZISZTÉMA

A digitalizáció nem merül ki pusztán a technológiai eszközök bevezetésében; magában foglalja a technológia által indukált folyamatváltozásokat is. Az adat-ökoszisztéma felépítése integrált rendszereken keresztül feltétele az adat elemzésnek és a hatékony adat-vezérelt folyamatoknak, melynek kialakítását az IT területéről érkező szakemberek tudják támogatni. A folyamatinnováció hiánya mégis gyakran előfordul és a technológia bevezetése nem jár együtt az operatív folyamatok megújításával. Ennek következtében a technológia paradox módon degradálhatja a meglévő folyamatokat és növelheti az operatív költségeket. A folyamatinnováció hiányának egyik oka a kutatásban résztvevők véleménye alapján, hogy a vállalatok kockázatosnak tartják a folyamatok radikális átalakítását, különösen, ha a meglévő munkamódszerek még mindig ugyanúgy profitábilis megoldásnak számítanak.

„Amíg nem történik változás a technológia bevezetésével a folyamatokban, a technológia önmagában ott fog állni, nem fog változtatni a dolgokon. A folyamatokat a technológiákhoz kell igazítani, mert csak akkor tud jelentős növekedést elérni a hatékonyság területén.” (7. Interjú alany)

Az építőipari folyamatok hatékonyságának növelése a technológia által generált új és meglévő operatív folyamatok összekapcsolásával érhető el. Ezt a célt szolgálja a szigetszerű, izolált rendszerek megszüntetése és a komplex rendszerek integrációja. Az ilyen összekapcsolt rendszerek lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy valós idejű és rendszerezett adatokat generáljanak. Ez nem csupán a jelenlegi működések optimalizálását támogathatja, hanem a prediktív döntéshozatali modellek bevezetését és fejlesztését is elősegítheti.

A technológiai megoldások száma exponenciálisan növekszik a piacon, ami a rendszerek széttagoltsága mellett a geopolitikai szakadékokat is felerősítheti. Ezen szigetszerű rendszerek a meglévő alkalmazottak számára a munkaterhelés növelése mellett egyre komplexebb folyamatokat hoznak az IT szakemberek számára is. A hatékony adatáramlás érdekében kulcsfontosságúvá válhat a technológiai rendszerek összekapcsolása és

az izolált rendszerek megszüntetése, hogy az adatokból kinyerhető információk maximálisan hasznosíthatóak legyenek. Az integrált rendszerek magukkal hozzák a rendszer sérülékenységet is, ezért a kiber-biztonság egyre hangsúlyosabb szerepet kap. Ha sikerül megvalósítani az együttműködő rendszereket, akkor megnyílik az út a gépi tanulás és a mesterséges intelligencia felé is, ahol már nem csupán technológiai, hanem társadalmi és etikai kihívásokkal is szembe kell néznie az iparág szereplőinek.

„Nem kérdés, hogy a változás exponenciális lesz. Ezért a szakadék egyre jobban nőni fog a korai alkalmazók és a lemaradók között legyen az ország vagy a társadalom.” (1. interjú alany)

A mikroszolgáltatási architektúra (Microservice Architecture), amely az IT szektorban már széles körben alkalmazott, potenciális megoldást kínálhat az építőipar komplex kihívásaira. Egy ilyen ökoszisztéma bevezetése elősegítheti a hatóságok, vállalkozások és technológiai szolgáltatók közötti szinergiát, miközben folyamatos adatáramlást biztosít. Ez a fajta rendszer lehetővé teszi az iparági szereplők számára, hogy az innovatív folyamatokat és technológiákat is hatékonyabban integrálják egy informatikai rendszeren keresztül. Ebben a kontextusban a kormányzat egy koordináló és integrációs szerepet is betölthet. Az állami szereplők API-k (Application Programming Interface), vagyis az egyes alkalmazásokat programozható interfészek segítségével ösztönözhetik és kapcsolhatják össze saját szolgáltatásaikat egy központi rendszerrel, amelynek révén a megbízható adatok áramlása hatékonyan valósulhat meg a projektek között és projekteken belül is.

Az építőiparban megfelelő *kommunikációs* technológia hiánya pazarló folyamatokhoz és az *együttműködés* hiányához vezethet. A BIM modell egyes fájlformátumai zárt ökoszisztémát eredményezhetnek, mely korlátozza a kis- és középvállalkozások hozzáférését és együttműködési képességét, különösen, ha ezen fájlformátumok olyan szoftvert igényelnek, melyeknek a licencdíja nem megfizethető számukra. Az építőipar piacára belépő szoftverfejlesztők gyakran nem rendelkeznek megfelelő ismeretekkel az építési folyamatok és a végfelhasználók igényeinek komplexitásáról, valamint a tapasztalat alapú döntéshozatal kritikus szerepéről, mely az új informatikai rendszerekben az együttműködés hiányához is vezethet. Egy koherens és integrált kommunikációs technológiai infrastruktúra hiánya az építőipari vállalatoknál a hatékonyság csökkenését eredményezheti és jelentős többletköltségekhez is vezethet.

„Mi a probléma? Az, hogy nem mindenki van benne a tervezési láncban, így az egész folyamat úgymond megszakad, mivel egy csapat az egész folyamatból kimarad... Mert nem tudják megfizetni a drága szoftvereket.” (23. interjúalany)

Az értékláncon és projekteken együttműködő szereplők számára és a kommunikáció optimalizálására egy megfelelően kiválasztott rendszer és fájlformátum lehet a megoldás. Erre az interjúalanyok elmondása szerint, egy példa lehet az IFC (Industry Foundation Classes) alapú, nyílt fájlformátumú központi információs rendszer, mely nem köti a felhasználókat költséges szoftverlicenc-szerződésekhez. A rendszer haté-

kony bevezetését és a kommunikációs folyamatok javítását a felhasználók folyamatos oktatása és képzése támogathatja, mely lehetőséget teremthet egy kollektív tanulási és fejlődési paradigma kialakítására. Ebben a kontextusban a hosszú távú szakmai tapasztalattal rendelkező szakemberek tudása és kompetenciái könnyebben integrálódhatnak, köszönhetően az iparági szereplők intenzívebb és strukturáltabb együttműködésének.

A növekvő adatok mennyisége és a dokumentációval szemben támasztott követelmények egyre magasabb *minőségi* elvárásokat támasztanak az iparág szereplői számára. Nagyvállalatok vagy komplex építési projektek esetében azon technológiák bevezetése, melyek javíthatnának az adatok minőségén, időigényes. Ennek oka a döntéshozatali ciklusok hosszára és a változás menedzsment időtartamára is visszavezethető. Mindezek mellett előfordul, hogy bizonyos vállalatok az ellátási láncban vagy a projektek életciklusában kimaradnak a technológiai fejlődésből, ezáltal negatívan befolyásolják egy projekt globális hatékonyságát. Ezen kihívások mellé társulhat a digitálisan szakképzett munkaerő hiánya, így az iparági szereplők szinergiája sem feltétlen tud kialakulni az adatmenedzsment és minőség területén főként akkor, ha nem áll rendelkezésre megfelelő minőségű internet a munkaterületen. A beszállítói oldalon szintén felmerülhetnek olyan kihívások, mint például a kereskedelmi titkok és az információmegosztás hiánya, mely korlátozhatja az innovációs folyamatokat és a minőségi paraméterek javulását.

„A nagyvállalatok? Ott elég sok papírmunkát kell elvégezni, és engedélyeket kell kérni az új technológia bevezetéséhez, még akkor is, ha az bevált és költséghatékony technológia.” (8 interjúalany)

A párhuzamos és felesleges folyamatok kiszűrését változáskezelési mechanizmusokkal vagy üzleti információmenedzsment rendszerek alkalmazásával lehetséges fejleszteni, amelyek integrált rendszereket és koordinált technológiai infrastruktúrát igényelnek. Ezáltal a technológia az építőipari folyamatok minőségét képes javítani és a körforgásos gazdasági modellekkel kombinálva interdiszciplináris szinergiákat is létrehozhat. Az új technológiai megoldások szisztematikus bevezetése folyamatmenedzsmenttel kombinálva segítheti az építőipart a változások agilis kezelésében és a ciklikus hibák kiszűrésében. Az újonnan kialakított infrastruktúrában így az AR, a VR és más vizualizációs technológiák a gyorsabb és hatékonyabb kommunikáció segítségével javíthatják a tervezés és kivitelezés minőségét.

4. ÖSSZEFOGLALÁS, DISZKUSSZIÓ ÉS KONKLÚZIÓ

Az építőipar sikeres digitális átalakulását a vállalati szektor, a tudományos közösség és az állami szereplők proaktív szinergiája támogathatja. Ez az interdiszciplináris együttműködés kollektív választ adhat a kihívásokra, és a piaci szereplők közötti izolált működés helyett a stratégiai partnerség felé terelné az ágazatot annak érdekében, hogy a jövőbeli fejlődést optimálisan formálja. Jelen kutatásban két témakört emeltünk ki az Építőipar 4.0 kihívásai és lehetőségei területén: a gondolkodásmód és az adat-

ökoszisztéma témaköreit. Ezen két terület kutatási eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

Mind az elmélet, mind az empirikus kutatás alátámasztotta, hogy az Építőipar 4.0 bevezetésének egyik kulcsa a szakemberek és a menedzsment *gondolkodásmódjának megváltoztatása lehet* (El Jazzar et al., 2021), mely a technológiai infrastruktúra kialakításának (Yang et al., 2022) és az új folyamatok bevezetésének egyik előfeltétele (Schönbeck et al., 2020). A kvalitatív vizsgálatok eredményei nem csupán igazolták a korábbi kutatásokat, hanem azokon felül rámutatnak, hogy az építőipar konzervatív jellegű, és generáció váltásra lehet szükség a meglévő folyamatok modernizálásához. A paradigmaváltás komplex, többdimenziós jelenség, amely a folyamatoktól a minőségig, a szakmai tudástól a jogi keretekig és a kommunikációs struktúrákig terjed. Az oktatási programok, különösen a felsővezetői szinten, elősegíthetik ezt az áttérést. A konzervatív gondolkodásmód nem csak a technológiai fejlődést gátolja, de a szervezeti struktúrákat és karrierpályákat is befolyásolhatja. Jelenleg a legtöbb vállalkozásnál a műszaki karrierutak lineárisnak mondhatóak, és kevés lehetőség van a horizontális mobilitásra. A fiatal generáció számára azonban a technológiai kompetenciák gyorsabb karrierfejlődést is indukálhatnak. A modern technológiák már lehetővé teszik a magas szintű szakértők globális mobilitását, és ha a hazai körülmények nem támogatják az ember központúbb és nemzetközi anyagi feltételeket, a szakértői tudás kiáramolhat az országból. Az ágazatban a piaci szereplők és a kutatás-fejlesztési szektor szorosabb együttműködése pozitív változásokat hozhat, amelyek olyan új pozíciókat generálhatnak, mint az építőipari agilis coach, innovációs menedzser vagy építőipari IT menedzser. Jelenleg ezek a pozíciók hazánkban még viszonylag ritkák.

A növekvő fenntarthatósági elvárások olyan környezetbarát és költséghatékony lakhatási megoldások fejlesztését teszik szükségessé, mint a moduláris vagy tipizált építési technikák. Ezeken a területeken az iparosított gyártási modellek újbóli előtérbe helyezése, integrálva az IPD-vel, lehetővé tenné az innovációk széleskörű alkalmazását és a projektek hatékonyabb megvalósítását. Az innovációs és kutatás-fejlesztési központok nem csak a szakmai tudás transzferjét segíthetik elő az építőiparban, hanem új üzleti modellek kialakításában is szerepet játszhatnak. Emellett hozzájárulhatnak az iparág „brand”-jének újra formálásához, így az építőipar ismét vonzó karrierlehetőséggé jelenhet meg a fiatalok számára.

A paradigmaváltás szükségességét valamennyi interjúalany kiemelte, igaz eltérő hangsúllyal. Amiben mindannyian egyetértettek, hogy a digitális technológiák felhasználása óriási lehetőséget jelent az iparág számára, az eltérő értékelés inkább arra vonatkozott, hogy milyen időtávon belül rendeződhet át az iparág, és, hogy milyen tevékenységeket is érint. Az egyik szélsőséges álláspont szerint akár egy évtized alatt teljesen megváltozik az iparág szerkezete, míg mások ezt több emberöltőnyire teszik. Ami viszont szintén egybehangzó volt, hogy amennyiben az állami megrendelések az új paradigmát képviselik, akkor a változások néhány éven belül radikálisan átforgathatják egyes országok piacait.

Az *adat-ökoszisztéma* szempontjából kutatásunk és az elméleti háttér is rámutatott arra, hogy a folyamatok megújítása egyre hangsúlyosabbá válik mind az építőipar összetett ellátási láncában (El Jazzar et al., 2021), mind pedig a vállalati belső folyamatok

területén (World Economic Forum, 2023). Kutatásunk továbbá több területen is rámutat arra, hogy a folyamat innováció szempontjából egyik legfontosabb tényező a rendszer integráció annak érdekében, hogy az adatok áramlása a megújított folyamatok segítségével a rendszerek között áramolni tudjon és megteremtse az alapokat az adat-vezérelt döntésekhez és a gépi tanuláshoz is. A szigetszerű rendszerek jelenleg ezt meggátolják és a meglévő alkalmazottak munkaterhelését is növelik. A minőség javulását és a rendszerek szisztematikus fejlődését más iparágakból érkező szakemberek tudnák elősegíteni, mellyel párhuzamosan szükséges a jelenlegi munkavállalók digitális kompetenciájának a folyamatos fejlesztése. A megfelelő szakemberek alkalmazásának köszönhetően az adatok minősége, áramlása és felhasználása is javulhatna, mely a teljes építőipari minőség pozitív változásához hozzájárulna.

A digitális transzformációhoz szisztematikus megközelítésre van szükség hazánkban is, melyre egy megfelelő adat-ökoszisztéma kialakítása lehetne a megoldás állami szinten mint integrátor, főként a BIM területére fókuszálva (Berg et al., 2021), mely az Építőipar 4.0 egyik katalizátora (Alaloul et al., 2020) és a körforgásos gazdaság egyik rugója is lehetne (Lavikka et al., 2018). Kutatásunk rámutatott arra a kérdésre, hogy egy ilyen állami rendszer kialakítására a mikroszolgáltatási architektúra felépítése lenne alkalmas.

Összeségében a paradigmaváltás legfontosabb mozgatórugója az állami szabályozások átalakításán túl az állami megrendelések példamutató átalakítása lenne, ami állami-vállalati-akadémia-nonprofit partnerségekre alapulna, és egy egységes adat-ökoszisztémára épülne. A döntéshozatalba és az átalakításba számos építőiparon kívüli digitális transzformációs szereplőt lenne érdemes bevonni, ezáltal segítve az iparági paradigmaváltást.

IRODALOMJEGYZÉK

- Alaloul, W. S.–Liew, M. S.–Zawawi, N. A. W. A.–Kennedy, I. B. (2020) Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, 11, 1, pp. 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- Ammar, A.–Nassereddine, H. (2022) Blueprint for Construction 4.0 Technologies: A Bibliometric Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1218, 1, 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1218/1/012011>
- Berg, M. van den–Voordijk, H.–Adriaanse, A. (2021) BIM uses for deconstruction: an activity-theoretical perspective on reorganising end-of-life practices. *Construction Management and Economics*, 39, 4, pp. 323–339. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1876894>
- Brito, J. T. S.–Cardoso, F. F.–Oviedo-Haito, R. J. J. (2022) A servitization profile of the Construction 4.0. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101, 8, 082004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/8/082004>
- Çidık, M. S.–Boyd, D. (2022) Value implication of digital transformation: the impact of the commodification of information. *Construction Management and Economics*, 40, 11–12, pp. 903–917. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2033287>
- El Jazzar, M.–Schranz, C.–Urban, H.–Nassereddine, H. (2021) Integrating Construction 4.0 Technologies: A Four-Layer Implementation Plan. *Frontiers in Built Environment*, 7, 671408 <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.671408>

- European Commission (2021) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0118&rid=4> Letöltve: 2024. 04. 02.
- Karmakar, A.–Delhi, V. S. K. (2021) Construction 4.0: What we know and where we are headed? *Journal of Information Technology in Construction*, 26, pp. 526–545. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.028>
- Kor, M.–Yitmen, I.–Alizadehsalehi, S. (2023) An investigation for integration of deep learning and digital twins towards Construction 4.0. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12, 3, pp. 461–487. <https://doi.org/10.1108/SASBE-08-2021-0148>
- Lavikka, R.–Kallio, J.–Casey, T.–Airaksinen, M. (2018) Digital disruption of the AEC industry: technology-oriented scenarios for possible future development paths. *Construction Management and Economics*, 36, 11, pp. 635–650. <https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1476729>
- Maskuriy, R.–Selamat, A.–Maresova, P.–Krejcar, O.–David, O. O. (2019) Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. *Economies*, 7, 3, 7030068. <https://doi.org/10.3390/economies7030068>
- Newman, C.–Edwards, D.–Martek, I.–Lai, J.–Thwala, W. D.–Rillie, I. (2020) Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart and Sustainable Built Environment*, 10, 4, pp. 557–580. <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016>
- Osunsanmi, T. O.–Aigbavboa, C.–Oke, A. (2018) Construction 4.0: The Future of the Construction Industry in South Africa. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 12, 3, 150–156. <https://doi.org/doi.org/10.5281/zenodo.1315923>
- Osunsanmi, T. O.–Aigbavboa, C. O.–Thwala, W. D. D.–Molusiwa, R. (2022) Modelling construction 4.0 as a vaccine for ensuring construction supply chain resilience amid COVID-19 pandemic. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 20, 1, pp. 132–158. <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2021-0384>
- Rahimian, F. P.–Goulding, J. S.–Abrishami, S.–Seyedzadeh, S.–Elghaish, F. (2022) *Industry 4.0 Solutions for Building Design and Construction - A Paradigm of New Opportunities*. Routledge, London. <https://doi.org/10.1201/9781003106944>
- Sawhney, A.–Riley, M.–Irizarry, J. (2020) *CONSTRUCTION 4.0 An Innovation Platform for the Built Environment*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429398100>
- Schönbeck, P.–Löfsjögård, M.–Ansell, A. (2020) Quantitative review of construction 4.0 technology presence in construction project research. *Buildings*, 10, 10, 173. <https://doi.org/10.3390/buildings10100173>
- Walzer, A. N.–Kahlert, A.–Baumann, M.–Uhlmann, M.–Vasey, L.–Hall, D.M. (2022) Beyond googly eyes : stakeholder perceptions of robots in construction. *Construction Robotics*, 6, pp. 221–237. <https://doi.org/10.1007/s41693-022-00087-y>
- World Economic Forum (2023) *Scaling Low-Carbon Design and Construction with Concrete: Enabling the Path to Net-Zero for Buildings and Infrastructure*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Scaling_Low_Carbon_Design_and_Construction_with_Concrete_2023.pdf Letöltve: 2024. 02. 02.
- Yang, K.–Sunindijo, R. Y.–Wang, C. C. (2022) Identifying Leadership Competencies for Construction 4.0. *Buildings*, 12, 9, 1434. <https://doi.org/10.3390/buildings12091434>