

**SMART BUILDINGS AND IOT:  
A COMPREHENSIVE REVIEW OF  
GLOBAL PRACTICES****OKOS ÉPÜLETEK ÉS AZ IOT:  
A GLOBÁLIS GYAKORLATOK ÁTFOGÓ  
ÁTTEKINTÉSE**SÁNDOR Barnabás<sup>1</sup> – RAJNAI Zoltán<sup>2</sup>**Abstract**

Smart buildings that use IoT technologies have revolutionized our interaction with the environment. This study explores the latest trends, challenges, benefits, and future developments in this field. By conducting a thorough literature survey, we have identified the critical applications, frameworks, protocols, and analytics techniques used in intelligent buildings across different regions. We also discuss how IoT impacts various aspects of building management, such as energy efficiency, occupant comfort, security, and maintenance. Finally, we provide insights into potential opportunities and research directions to advance knowledge about smart buildings combined with IoT innovations, which have the potential to revolutionize urban living standards worldwide.

**Keywords**

Smart Building, Internet of Things (IoT), Cybersecurity, Sustainability, Energy Efficiency

**Absztrakt**

Az IoT-technológiákat használó intelligens épületek forradalmasították a környezettel való interakciónkat. Ez a tanulmány a legújabb trendeket, kihívásokat, előnyöket és jövőbeli fejlesztéseket vizsgálja ezen a területen. Alapos szakirodalmi kutatás elvégzésével azonosítottuk a különböző régiókban az intelligens épületekben használt kritikus alkalmazásokat, keretrendszereket, protokollokat és adatelemzési technikákat. Kitérünk arra is, hogy az IoT hogyan befolyásolja az épületek irányításának különböző aspektusait, például az energiahatékonyságot, a benne tartózkodók kényelmét, a biztonságot és a karbantartást. Végezetül betekintést nyújtunk a lehetséges kutatási irányokba, hogy az IoT-innovációkkal felszerelt intelligens épületekkel kapcsolatos ismereteket továbbfejlesszük, amelyek világszerte forradalmasíthatják a városi élet színvonalát.

**Kulcsszavak**

Okos épületek, Dolgok internete (IoT), Kiberbiztonság, Fenntarthatóság, Energiahatékonyság

<sup>1</sup> sandor.barnabas@gmail.com | ORCID: 0000-0001-7133-8082 | PhD-Student, Óbuda University | Doktorandusz, Óbudai Egyetem

<sup>2</sup> rajnai.zoltan@bgi.uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-9139-736X | Professor, Óbuda University | Egyetemi tanár, Óbudai Egyetem

## BEVEZETÉS

A dolgok internetének (Internet of Things - IoT) intelligens épületekbe történő beépítése alapvetően átalakította az épített környezetek koncepcióját. Az okos épületek, más néven intelligens vagy összekapcsolt épületek, kihasználják az IoT-ben rejlő lehetőségeket, hogy rugalmasan reagáló és a benne tartózkodók jólétét, hatékonyságát elősegítő, energiahatékony tereket tervezzenek. Ez a kutatás az intelligens épületinfrastruktúra kialakítására irányuló világszintű koncepciókat és kialakításokat kívánja megvizsgálni és bemutatni az e területen megvalósuló élvonalbeli innovációk és kihívások elemzésével, miközben a jövőbeli fejlődési kilátásokat is bemutatja. Az IoT eszközök és rendszerek felgyorsult fejlődése és széles körű elfogadása elősegítette az intelligens épületek megjelenését, amelyek a dolgok internetének eszközeit, érzékelőit és aktorait beépítve adatokat gyűjtenek az épület teljesítményének optimalizálására, miközben javítják a felhasználói élményt. Az intelligens épületek olyan összekapcsolt rendszereket használnak, amelyek lehetővé teszik az akadálytalan kommunikációt és koordinációt a különböző épületkomponensek, például a világítás, a fűtési/hűtési rendszerek, a szellőztetőegységek, a biztonsági rendszerek és a foglaltságot figyelő rendszerek között. Következésképpen ezek az épületek képesek autonóm módon, valós időben szabályozni működésüket, ami figyelemre méltó javulást eredményez az energiahatékonysági szintek, a kényelmi biztonsági előírások és az általános működési hatékonyság terén. Kutatási célok az intelligens épületek és a IoT technológiákat alátámasztó alapvető koncepciók és építészeti keretek bemutatása, majd ezen technológiák mélyreható feltárása útján a globális gyakorlatok átfogó elemzése. Illetve, az intelligens épületek és az IoT-megoldások valós alkalmazásait és megvalósításainak vizsgálata és értékelése a különböző földrajzi régiókban. Az esettanulmányok, projektek és bevált gyakorlatok alapos vizsgálatával a kutatás célja, hogy bemutassa a hatékony telepítési stratégiákat és a múltbeli tapasztalatokból nyert kulcsfontosságú felismeréseket a jövőbeli telepítéshez.

## AZ OKOS ÉPÜLET ÉS AZ IOT KAPCSOLATA

A dolgok internetének megjelenése a különböző ágazatokban történő kiterjedt integrációját eredményezte, ami az átalakító intelligens technológiák korszakát jelzi. Ennek a trendnek egyik jelentős haszonélvezője az építőipar. Ez a fejezet az intelligens épületek és az IoT bonyolult világába merül el, és mélyrehatóan feltárja ezek kölcsönhatását. Az intelligens épületek a modern építési gyakorlatok megtestesítői, amelyek fejlett technológiákat használnak az energiahatékonyság, a kényelem és az épület általános irányításának javítására. Működésükben központi szerepet játszik az IoT - egy innovatív technológia, amely megkönnyíti az összekapcsolt eszközök közötti adatcserét.

Az IoT integrálása az intelligens épületekbe a technológia és a szerkezeti tervezés érdekes keverékét kínálja, olyan intelligens szerkezeteket hozva létre, amelyek önállóan alkalmazkodnak a környezeti feltételekhez és a felhasználói igényekhez. Ez a fejezet megvilágítja ezeket a fogalmakat, részletes betekintést nyújt az intelligens épületek és az IoT meghatározásába, szinergikus működésükbe, valamint a mai digitális korban rejlő forradalmi lehetőségekbe.

## Okosépület meghatározása

Az "okosépület" kifejezés, más néven intelligens épületek, az építés olyan innovatív megközelítését foglalja magában, amely harmonikusan integrálja a technológiát, az építőanyagokat és az építészeti tervezést. Ezeket a modern szerkezeteket az jellemzi, hogy képesek önállóan kezelni számos funkciót, növelve az épített környezet általános hasznosságát és alkalmazkodóképességét. Technológiai szempontból az intelligens épületek egymással összekapcsolt eszközök és rendszerek hálózatát foglalják magukban, többek között érzékelőket, aktorokat és épületirányítási rendszereket. Ezek a komponensek együttesen dolgoznak az adatok gyűjtése, elemzése és kezelése érdekében, ezáltal elősegítve az épület és a használói közötti dinamikus interakciót. Ez az adatvezérelt modell lehetővé teszi a különböző épületrendszerek, például a fűtés, szellőzés és légkondicionálás (HVAC), a világítás, a biztonság és az energiagazdálkodás automatizált vezérlését, amelyek mindegyike a használók igényeihez és preferenciáihoz igazodik.

Az okosépületek egyik fő alkotóelemei az IoT eszközök és rendszerek, amelyek lehetővé teszik a távfelügyeletet és -irányítást, a valós idejű elemzést és a jobb döntéshozatali folyamatokat. Az eszközök és rendszerek ilyen összekapcsolt kerete lehetővé teszi az adatok interneten keresztüli továbbítását és fogadását, ami számos innovatív és hatékony üzelmeltetési stratégia számára nyitja meg az utat. Lényeges annak elismerése is, hogy az intelligens épület fogalma túlmutat a puszta automatizáláson. Ezen épületek "okossága" azt bizonyítja, hogy képesek tanulni, alkalmazkodni és idővel optimalizálni működésüket, ami folyamatos javulást eredményez az energiahatékonyság, a fenntarthatóság és a lakók kényelme terén. Mint ilyenek, az intelligens épületek döntő előrelépést jelentenek a fenntartható és hatékony városfejlesztésre való törekvésünkben, és utat nyitnak egy olyan jövő felé, amelyet intelligens és érzékeny épített környezet jellemez.

## Az IoT megértése

A dolgok internete (IoT) egy alapvető technológiai paradigmaváltás, amely a fizikai eszközök internetalapú hálózatokon keresztül történő összekapcsolását foglalja magában, ami egy kiterjesztett, adatcserére képes ökoszisztémát eredményez. Ez a technológiai keret hatalmas lehetőségeket rejt magában különböző ágazatokban, lehetővé téve a mindenütt jelenlévő számítástechnikát és platformot biztosítva az innováció számára. Az érzékelők és aktorok fizikai tárgyakba vannak beágyazva, és vezetékes vagy vezeték nélküli hálózatokon keresztül kapcsolódnak egymáshoz, szabványos és szabadalmaztatott protokollok segítségével. Ezek az eszközök adatokat generálnak a környezetről vagy állapotukról, amelyeket aztán feldolgoznak és elemeznek, hogy tájékoztassák a döntéshozatalt vagy automatizált műveleteket indítsanak el. Az IoT alkalmazásai sokrétűek és széleskörűek, az intelligens otthonoktól és az ipari automatizálástól kezdve az egészségügyi felügyeletig és a várostervezésig. Az egyik kiemelkedő alkalmazási terület az intelligens épületek, ahol az IoT kulcsfontosságúnak bizonyult az épületek működésének automatizálásában és az energiefelhasználás optimalizálásában.

Az intelligens épületekben az IoT eszközök jellemzően adatokat gyűjtenek, például a hőmérsékletről, a páratartalomról, a fényszintekről és a használati szokásokról. Ezeket az adatokat aztán az interneten keresztül továbbítják egy központi irányítási rendszerbe vagy felhőalapú platformra, ahol azokat elemzik, és aszerint cselekszenek. Az így nyert információk alapján a különböző épületrendszerek - például a fűtés, a világítás és a biztonság -

vezérlése dinamikusan alkalmazkodik az épület környezetében vagy a használatban bekövetkező változásokhoz. Lényegében az IoT a hétköznapi épületeket intelligens egységekké alakítja át, amelyek képesek kölcsönhatásba lépni a használókkal és a tágabb környezettel. Ez a paradigma a modern épületirányítási rendszerek sarokköve, amely jelentős javulást kínál az energiahatékonyság, a lakók kényelme és az üzemeltetés hatékonysága terén. Az IoT megvalósítása azonban nem mentes a kihívásoktól. Ezek közé tartoznak az adatbiztonsággal, a magánélet védelmével, az eszközök interoperabilitásával és a technikai összetettséggel kapcsolatos aggályok. Ezeknek a kérdéseknek a kezelése a területen folyó kutatás és fejlesztés tárgyát képezi.

### **Az okosépületek és az IoT metszete**

Az intelligens épületek és az IoT konvergenciája kritikus fordulópontot jelent az épített környezet fejlődésében. Ez a metszéspont olyan épületeket eredményezett, amelyek nemcsak fejlett technológiákat testesítenek meg, hanem képesek kommunikálni, elemezni, tanulni és alkalmazkodni a bennük és körülöttük zajló különböző dinamikákhoz. Az IoT-keretrendszer lehetővé teszi, hogy ezek a rendszerek összekapcsolódjanak, és így olyan eszközök egységes hálózatát hozzák létre, amelyek képesek kommunikálni és együttműködni az épület teljesítményének javítása érdekében. Ez azt jelenti, hogy az egyik rendszerben, például a világításban végzett beállítások szinkronizálhatók más rendszerekkel, például a HVAC-rendszerrel, az általános energiahatékonyság és a kényelem optimalizálása érdekében.

Az IoT-képes rendszerek például érzékelhetik a foglaltsági szintek változásait, és reagálhatnak rájuk. Ha egy helyiség nincs elfoglalva, a rendszerek automatikusan tompítják a fényeket, csökkenthetik a hőmérsékletet, vagy kikapcsolhatják a nem létfontosságú eszközöket, ami jelentős energiamegtakarítást eredményez. Az IoT intelligens épületekbe történő integrálása továbbá elősegíti a prediktív karbantartást, amely stratégia az adattrendek felhasználásával előre jelzi, hogy egy épületrendszer várhatóan mikor fog meghibásodni. Ez lehetővé teszi a proaktív karbantartást, csökkentve az állásidőt és javítva a rendszer általános élettartamát és megbízhatóságát.

Felhasználói szinten az intelligens épületek és a dolgok internetének kereszteződése kibővítette az ember és az épület közötti interakciók körét. Okostelefonok vagy más felhasználói felületek segítségével irányíthatják az épület környezetének különböző aspektusait, javítva ezzel kényelmüket és termelékenységüket. Az intelligens épületek és az IoT egyesülése azonban kihívásokkal is jár, például az adatvédelem és adatbiztonság, az interoperabilitás, valamint a kiterjedt eszközhálózat kezelésének összetettsége miatt. E kihívások kezeléséhez szilárd technológiai megoldásokra és hatékony szakpolitikai keretekre van szükség.

## **GLOBALIS TRENDEK AZ OKOS ÉPÜLETEK ÉS IOT RENDSZEREK TERÉN**

Az intelligens épületek és az IoT integrációja nem egy elszigetelt, egyetlen régióra korlátozódó jelenség, hanem világszerte elterjedt, mivel forradalmasítja az épített környezettel való interakcióinkat. E fejezet célja, hogy részletesen feltárja az intelligens épületek és az IoT globális gyakorlatát, kiemelve a különböző régiókban alkalmazott stratégiák, kihívások és sikerek sokféleségét. Az észak-amerikai kiterjedt intelligens városoktól az európai energiahatékony épületekig, Ázsia nyüzsgő, technológia által vezérelt metropoliszaitól

az ausztráliai fenntartható városfejlesztésekig az intelligens épületek és a dolgok internetének elterjedése egyszerre globális és helyi törekvés. Számptalan lehetőséget kínál, a fokozott energiahatékonyságtól és az üzemeltetési költségek megtakarításától kezdve a lakók kényelmének és termelékenységének javításáig. Ez a globális mozgalom azonban számos kihívással is küzd, többek között az adatvédelem és adatbiztonság, a technológiai szabványosítás és a pénzügyi korlátok terén.

## Európa

Európa élen jár az IoT-technológiák intelligens épületeken belüli bevezetésében, amit átfogó szakpolitikák, finanszírozási kezdeményezések és szilárd technológiai infrastruktúra támogat. Az Európai Unió (EU) döntő szerepet játszott e fejlődés előmozdításában az energiahatékonyság, a fenntarthatóság és a digitális innováció fokozását célzó rendeleteivel és irányelveivel. Az egyik példaértékű irányelv, amely kiemeli a dolgok internetének az intelligens épületekbe történő integrálását, a 2018-ban felülvizsgált, az épületek energia-teljesítményéről szóló irányelv (EPBD). Az irányelv célja, hogy az európai épületek 2050-ig nagy energiahatékonyságú és szén-dioxid-mentes épületállományt alakítsanak ki [1].

Az EPBD az épületautomatizálási és -vezérlő rendszerek - amelyek magukban foglalják az IoT-eszközöket - telepítését szorgalmazza az épületgépészeti rendszerek optimális energiafelhasználás érdekében történő kezelésére, szabályozására és vezérlésére szolgáló intézkedésként. Ezen túlmenően a felülvizsgált irányelv bevezeti az "intelligens készlet" fogalmát, amely azt értékeli, hogy az épület képes-e a használó igényeihez igazítani működését, ezáltal javítva az energiahatékonyságot és az általános teljesítményt. Ezt különösen befolyásolja a dolgok internete, amely lehetővé teszi a felhasználók és az épületrendszerek közötti valós idejű interakciót.

Egy másik figyelemre méltó példa a Horizont 2020 program, amely finanszírozásának jelentős részét az intelligens épületek IoT-jének előmozdítására különítette el. Az olyan projektek, mint a SymbIoTe (Symbiosis of smart objects across IoT environments) és az AUTOPILOT (AUTOMated driving Progressed by the Internet Of Things) nagy hatással voltak az IoT elterjedésére az intelligens épületekben [2]. Egyes országok is magukévá tették ezt a tendenciát. Az Egyesült Királyságban például London városának "Smart City Initiative" elnevezésű kezdeményezése magában foglalta az IoT-technológiákkal felszerelt intelligens épületek fejlesztését. A kezdeményezés célja az energiafelhasználás optimalizálása, a kibocsátások csökkentése és a városon belüli általános életszínvonal javítása [3].

A skandináv régióban Dánia "intelligens hálózati stratégiája", amelynek célja, hogy 2020-ra 50%-os szélenergia-ellátást építsen be a hálózatba, szintén integrálja az IoT-t és az intelligens épületeket, hogy lehetővé tegye a keresletre való reagálást [4].

Számos további példa van arra, hogy Európa hogyan integrálta a dolgok internetét az intelligens épületek kontextusába. Íme néhány:

**Magyarország: MOL Campus** - 2022-ben nyitotta meg kaput Magyarország legzöldebb leginnovatívabb és legmagasabb épülete a MOL Campus, amely az IoT-technológia széles tárházát felhasználta a fenntarthatóság érdekében. Az épületautomatizálás kiterjed minden rendszerre az épületben, kezdve a HAVC, a világítás, az árnyékolás, a pakolás és az energiafelhasználás területére. Az integrált rendszereknek köszönhetően megszerezte a LEED Premium és BREAM Excellent minősítést, ami a közel 900 m<sup>2</sup> napelemnek, geotermikus energiának és a szürkevíz újrahasznosításnak köszönhet. [5]

**Franciaország: Az IssyGrid projekt** - Az IssyGrid projekt Issy-les-Moulineaux-ban, egy párizsi külvárosban példázza az intelligens épülettechnológiát [6]. A 2012-ben indult, szomszédsági léptékű projekt több épület energiafogyasztását kezeli, bevonva a helyi közösséget, vállalkozásokat és hatóságokat. Az IoT döntő szerepet játszik a környéken telepített számos érzékelő adatainak összegyűjtésével és feldolgozásával. Ezeket az adatokat elemzik az energiafogyasztás optimalizálása, a költségek csökkentése és a szénlábnyom csökkentése érdekében.

**Németország: Fraunhofer Intézet** - A németországi Fraunhofer Épületfizikai Intézet (IBP) olyan intelligens épületplatformot fejlesztett ki, amely az IoT-technológiát használja ki [7]. A platform érzékelők és eszközök egész sorának az épület infrastruktúrájába történő integrálásával valós idejű adatfigyelést és -elemzést biztosít, lehetővé téve az optimalizált energiafelhasználást, a beltéri levegő minőségének javítását és a lakók kényelmének növelését. A platform megkönnyíti a prediktív karbantartást is azáltal, hogy a potenciális problémákat még azok eszkalálódása előtt azonosítja, ezáltal csökkentve az állásidőt és a karbantartási költségeket.

**Hollandia: The Edge** - Az amszterdami The Edge-t a világ legfenntarthatóbb és leginnovatívabb irodaházaként emlegetik [8]. Az IoT kulcsfontosságú szerepet játszik a működésében. Az épületben több ezer érzékelő van elhelyezve, amelyek adatokat gyűjtenek a foglaltságról, a fényről, a hőmérsékletről, a páratartalomról és a CO<sub>2</sub>-szintről. Ezek az adatok tájékoztatják az épületirányítási rendszert, amely így képes a környezetet a lakók komfortérzetének növelése és az energiahatékonyság optimalizálása érdekében beállítani. Ezen túlmenően a lakók egy okostelefon-alkalmazás segítségével interakcióba léphetnek az épülettel, hogy személyre szabhassák a munkaterületük körülményeit.

## Ázsia

Ázsiában, ahol a világ leggyorsabban növekvő gazdaságai közül sokan élnek, jelentős fejlődés tapasztalható az intelligens épületek és az IoT terén. A gyors urbanizáció, valamint a fenntarthatóságra és a digitalizációra való fokozott összpontosítás az egész régióban élvonalbeli intelligens épületek fejlesztését ösztönözte.

**Japán: NTT Facilities** - Japánban, a világ egyik vezető technológiai központjában az NTT Facilities Inc. iparági úttörő szerepet tölt be az IoT-technológiákat zökkenőmentesen integráló intelligens épületek fejlesztésében [9]. Figyelemre méltó példa erre a tokiói irodaházuk. Ez IoT-érezékelők egész sorával van felszerelve, amelyek valós idejű adatokat gyűjtenek különböző paraméterekről, például a hőmérsékletről, a páratartalomról, a fényszintről és a foglaltságról. Ezek az adatok egy központi irányítási rendszerbe kerülnek, amely optimalizálja a HVAC-, a világítási és egyéb rendszereket, jelentős energiamegtakarítást érve el és növelve a használók kényelmét. Az épület továbbá az IoT-t használja a prediktív karbantartáshoz, így csökkentve a javítási költségeket és javítva a rendszer megbízhatóságát.

**Szingapúr: Fusionopolis** - Szingapúr, amely a technológiai bátorságáról és az intelligens városi kezdeményezéseiről ismert, élen jár az intelligens épülettechnológiák bevezetésében. A Fusionopolis, a JTC Corporation által kifejlesztett kutatási és fejlesztési komplexum példaként szolgál az intelligens épületek példájára [10]. Az integrált IoT-érezékelők figyelemmel kísérik a környezeti feltételeket és a használati szokásokat, elősegítve az energiafel-

használás és a működési hatékonyság optimalizálását. A komplexum fejlett biztonsági rendszerrel is rendelkezik, amelyet IoT-képes eszközök működtetnek, amelyek valós idejű felügyeletet és beléptetés-ellenőrzést biztosítanak.

**Kína: Shanghai Tower** - Kínában a Shanghai Tower, a világ egyik legmagasabb épülete az intelligens épületek tervezésének és megvalósításának megtestesítője [11]. A 632 méter magas felhőkarcoló IoT-érzékelők hatalmas hálózatát alkalmazza, amelyek különböző épületrendszereket felügyelnek és vezérelnek, beleértve a levegő minőségét, az energiafelhasználást, a világítást és a biztonságot. Intelligens épületirányítási rendszere valós idejű adatokat használ a rendszerek és eszközök összetett hálózatának kezelésére, ami lenyűgöző energiahatékonyságot és magas szintű kényelmet biztosít a lakók számára.

### **Észak-Amerika**

Észak-Amerika, különösen az Egyesült Államok és Kanada, jelentős mértékben hozzájárult az IoT-technológiák intelligens épületekben történő fejlesztéséhez és alkalmazásához. Az intelligens városok térnyerése, valamint a fenntarthatóságra és az energiahatékonyságra való nagyfokú összpontosítás katalizálta a technológiák integrálását a régió épített környezetébe.

**Egyesült Államok: The Edge, Boston** - Az Egyesült Államokban Boston városa ad otthont a "The Edge" amerikai megfelelőjének, egy korszerű intelligens épületnek, amely fenntartható tervezéséről és IoT-integrációjáról ismert. Ez az épület tele van több ezer érzékelővel, amelyek a fénytől és a hőmérséklettől kezdve a foglaltságon át az energiafelhasználásig mindent nyomon követnek [12]. Ezeket az adatokat valós időben elemzik és reagálnak rájuk, így biztosítva az optimális energiafelhasználást, növelve a lakók kényelmét és javítva az épület általános működési hatékonyságát. A lakók egy erre a célra kifejlesztett okostelefon-alkalmazás segítségével interakcióba is léphetnek az épülettel, így környezetük különböző aspektusait, például a világítást és a hőmérsékletet is szabályozhatják.

**Egyesült Államok: PNC Tower, Pittsburgh** - Egy másik kiemelkedő példa az Egyesült Államokban a pittsburghi PNC Tower, amelyet gyakran a világ "legzöldebb felhőkarcolójának" tartanak. Ez az épület számos IoT-érzékelőt tartalmaz, amelyek figyelik és szabályozzák a beltéri levegő minőségét, a hőmérsékletet és a fényviszonyokat. A begyűjtött adatok alapján egy természetes szellőztető rendszer, egy dupla héjú homlokzat és egy napkollektoros kémény működik, ami hozzájárul a kivételes energiahatékonysághoz és a lakók kényelméhez [13].

**Kanada: Telus Garden, Vancouver** - Kanadában az egyik figyelemre méltó példa a vancouveri Telus Garden. Ez a vegyes használatú fejlesztés a fenntarthatóság és a digitális innováció iránti elkötelezettségéről ismert. Az IoT kulcsszerepet játszik az épület energiafogyasztásának kezelésében, az érzékelők valós idejű adatokat szolgáltatnak a környezeti feltételekről és a foglaltsági szintekről. Ezeket az információkat a különböző épületrendszerek, köztük a világítás, a fűtés és a légkondicionálás optimalizálására használják fel, ami jelentős energiamegtakarítást és az épület szén-dioxid-kibocsátásának csökkentését eredményezi [14].

## AZ OKOS ÉPÜLETEK ÉS AZ IOT ELÉNYEI

Az IoT technológia az intelligens épületekbe való beépítése drámaian forradalmasította az épített környezettel való interakciónkat. Ez a paradigmaváltás számtalan olyan előnnyel jár, amelyek túllépnek az energiahatékonyság és a fenntarthatóság hagyományos határain, és magukban foglalják a fokozott kényelmet, a termelékenység javulását és az üzemeltetési költségek megtakarítását. E fejezet célja, hogy mélyrehatóan feltárja ezeket az előnyöket, megvilágítva az IoT-alapú intelligens épületek átalakító hatását a különböző érdekeltekre, köztük az épületek használóira, a létesítményüzemeltetőkre és a társadalom egészére.

Az intelligens épületek és a dolgok internetének konvergenciája hatalmas lehetőségeket rejt magában, kezdve az épületrendszerek granuláris ellenőrzésétől az adatelemzésen keresztül történő értékes információk kinyeréséig. Ez lehetővé teszi a statikus, nem reagáló épületek helyett a dinamikus, intelligens szerkezetek felé való elmozdulást, amelyek képesek tanulni, alkalmazkodni és reagálni a lakók és a környezet változó igényeihez. Ezen előnyök megvalósítása azonban nem mentes a kihívásoktól.

### **Energiahatékonyság**

Az IoT, intelligens épületekbe történő integrálásából származó egyik legjelentősebb előny az energiahatékonyság. Az energiafogyasztás optimalizálása nemcsak az üzemeltetési költségeket csökkenti, hanem az energiatermeléshez kapcsolódó üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklésével a környezeti fenntarthatósághoz is hozzájárul. Az IoT az intelligens épületekben való felhasználása túlmutat az említett példákban. A gépi tanulási algoritmusok és a prediktív elemzések kihasználásával az IoT új magasságokba emelheti az energiahatékonyságot.

**Előrejelző karbantartás és energiahatékonyság** - Az IoT lehetővé teszi a prediktív karbantartást, ami jelentősen hozzájárulhat az energiahatékonysághoz. Az épületberendezések (pl. HVAC-rendszerek, liftek, világítási rendszerek) teljesítményének folyamatos nyomon követésével az IoT-eszközök felismerhetik az energiapazarláshoz vezető hatástalanságokat vagy meghibásodásokat [15]. Például egy HVAC-rendszer energiafogyasztási mintázatának enyhe eltérése potenciális hibára utalhat. Az ilyen rendellenességek korai felismerésével a megelőző karbantartás megelőzheti az energiapazarlást és csökkentheti a karbantartási költségeket.

**Igényre reagálás és energiahatékonyság** - Az IoT a keresletre reagáló programokon keresztül az energiahatékonyságot is növelheti. Ezekben a programokban az épületek az energiahálózatból érkező jelzésekre, például magas villamosenergia-árakra vagy csúcskeresleti időszakokra reagálva módosíthatják energiafogyasztásukat. Például a keresleti csúcsidezőszakokban egy épület automatikusan csökkentheti energiafogyasztását a világítás lehalkításával vagy a HVAC-rendszer beállításával. Ez nemcsak az energiahatékonysághoz járul hozzá, hanem az elektromos hálózat stabilitásának fenntartásához is.

**Foglaltság-alapú vezérlés és energiahatékonyság** - A foglaltság-alapú vezérlés egy másik terület, ahol az IoT növelheti az energiahatékonyságot. Az IoT-érzékelőkkel történő foglaltsági minták megfigyelésével az épületrendszerek a lakók igényeihez igazíthatók. Például a világítás és a HVAC-rendszerek kikapcsolhatók vagy energiatakarékos üzemmódba állíthatók a nem foglalt helyiségekben, ezáltal csökkentve az energiapazarlást.

**Adatelemzés és energiahatékonyság** - Végül az IoT-rendszerekben alkalmazott adatelemzés feltárhatja az energiafogyasztás rejtett hatékonysági hiányosságait. Az IoT-eszközök által generált nagy mennyiségű adat elemzésével az épületüzemeltetők olyan mintákat és trendeket is azonosíthatnak, amelyek a felszíni megfigyelésből nem feltétlenül tűnnek fel. Ezek a meglátások informálhatják az energiahatékonysági stratégiákat, ami hatékonyabb energia-gazdálkodást és energiatakarékosságot eredményezhet.

### **Magasabb szintű komfort**

A dolgok internetének szerepe az intelligens épületek lakókomfortjának javításában a beltéri környezet különböző aspektusaira is kiterjed. Itt mélyebben megvizsgáljuk, hogy az IoT hogyan járul hozzá ehhez a szempontoz. [16]

**Zaj- és fényszabályozás** - A zaj és a világítás jelentős tényezők, amelyek befolyásolják az épületben tartózkodók kényelmét. Az IoT-eszközök képesek a zajszintet és a világítási körülményeket valós időben nyomon követni és szabályozni, biztosítva, hogy azok a komfortküszöbértékeken belül maradjanak [17]. Az amszterdami Edge például intelligens LED-es fénypaneleket használ, amelyek a napszak és a természetes fény mennyisége alapján automatikusan beállítják a fényerőt és a színhőmérsékletet, így kényelmes, vizuálisan kellemes környezetet teremtenek.

**Levegőminőség-felügyelet és –szabályozás** - A levegő minősége kulcsfontosságú szerepet játszik az épületben tartózkodók egészségében és kényelmében. A rossz beltéri levegőminőség kellemetlen érzést és káros egészségügyi hatásokat, például fejfájást, fáradtságot és légzési problémákat okozhat. Az IoT-érzékelők különböző levegőminőségi paramétereket, például a CO<sub>2</sub>-szintet, a részecskéket és az illékony szerves vegyületeket (VOC) képesek monitorozni, lehetővé téve a szellőzőrendszerek valós idejű vezérlését az egészséges beltéri levegőminőség fenntartása érdekében. A korábban említett Shanghai Tower remek példa erre a megvalósításra.

**Személyre szabott kényelem az IoT-vel** - Az IoT nagyobb fokú személyre szabhatóságot tesz lehetővé a lakókomfortban. A hőmérsékletre, fényre és egyéb környezeti paraméterekre vonatkozó egyéni preferenciák nyomon követésével az IoT-rendszerek automatikusan beállíthatják ezeket a tényezőket, hogy megfeleljenek az egyes lakók egyedi kényelmi igényeinek. Ez a funkció a The Edge-ben látható, ahol a lakók egy alkalmazás segítségével személyre szabhatják munkaterületük körülményeit.

### **Biztonság és védelem**

Az IoT az intelligens épületekbe történő integrálása számos lehetőséget kínál a biztonság és a védelem fokozására mind a fizikai, mind a digitális térben. Az épületrendszerek valós idejű felügyeletének, vezérlésének és automatizálásának lehetővé tételével az IoT jelentősen hozzájárulhat az emberek, az eszközök és az adatok védelméhez ezekben az épületekben.

**Fizikai biztonság** - Az IoT-technológiák jelentősen növelhetik a fizikai biztonságot az intelligens épületekben. Az IoT-alapú felügyeleti rendszerek például átfogó felügyeleti képességeket biztosíthatnak, és a jogosulatlan tevékenység és a potenciális fenyegetések azonnali észlelésével fokozhatják a biztonságot [18]. Hasonlóképpen, az IoT-érzékelők figyelemmel kísérhetik az épületek szerkezeti állapotát, észlelve az olyan rendellenességeket,

amelyek olyan lehetséges veszélyekre utalhatnak, mint a szerkezeti gyengeségek, szivárgások vagy tűzveszély. Az IoT a vészhelyzetekben is hozzájárulhat a biztonsághoz. Tűz esetén például az IoT-rendszerek riasztást indíthatnak, értesíthetik a segélyszolgálatokat, és valós idejű adatokkal segíthetik az evakuálást [19]. A dolgok internete továbbá javíthatja az egészséget és a biztonságot a környezeti paraméterek, például a levegőminőség, a fényviszonyok vagy a hőmérséklet nyomon követésével, biztosítva, hogy azok a kényelmi és biztonsági küszöbértékeken belül maradjanak.

**Kiberbiztonság** - A kiberbiztonság kulcsfontosságú kérdéssé válik, ahogy az intelligens épületek egyre inkább összekapcsolódnak és adatközpontúvá válnak. Az épület IoT-hálózatának minden egyes csatlakoztatott eszköze potenciális belépési pontot jelent a kibertámadások számára, ami adatszegésekhez, működési zavarokhoz vagy más csatlakoztatott rendszerek veszélyeztetéséhez vezethet [20]. Megfelelő kezelés esetén azonban az IoT a digitális biztonságot is fokozhatja. Például a fejlett titkosítási technológiák, a biztonságos kommunikációs protokollok és a szigorú hozzáférés-ellenőrzési intézkedések megvédhetik az adatokat és megakadályozhatják a jogosulatlan hozzáférést. Emellett a hálózati tevékenység folyamatos nyomon követése lehetővé teszi a potenciális kiberfenyegetések korai észlelését és mérséklését. Ezenkívül a rendszeres szoftverfrissítésekkel orvosolhatók az azonosított sebezhetőségek, és megerősíthető a dolgok internetére épülő rendszerek biztonsága.

## KIHÍVÁSOK ÉS LEHETSÉGES MEGOLDÁSOK

Bár az IoT hatalmas lehetőségeket rejt magában az intelligens épületek forradalmasítására, nem mentes a kihívásoktól. Az IoT-technológiák épített környezetbe való integrálása összetett problémákat vet fel, többek között technikai, biztonsági, adatvédelmi és szabályozási kérdéseket. Ez a fejezet részletesen megvizsgálja ezeket a kihívásokat, és megvitatja a problémák kezelésére szolgáló lehetséges megoldásokat. Ezzel összefüggésben az egyes kihívások részletes elemzését mutatjuk be, a jelenlegi tudományos kutatásokra és ipari gyakorlatokra alapozva. Célunk, hogy rávilágítsunk azokra a nehézségekre, amelyeket az IoT az intelligens épületekbe történő integrálása jelent, és feltárjuk az e problémák enyhítésére javasolt vagy megvalósított innovatív megoldásokat.

### Adatvédelem és kiberbiztonság

Az intelligens épületekben az IoT-technológiák elterjedése számos lehetőséget és aggályt vet fel, amelyek közül az adatvédelem és a kiberbiztonság a legkiemelkedőbbek. Ezek a kérdések különösen fontosak az intelligens épületekben található IoT-eszközök által gyűjtött, tárolt és feldolgozott érzékeny adatok hatalmas mennyisége miatt.

**Adatvédelem** - Az intelligens épületek korában az adatvédelem jelentős aggodalomra ad okot. Az IoT-eszközök hatalmas mennyiségű adatot gyűjtenek, a környezeti paraméterektől (hőmérséklet, páratartalom, fényszintek) kezdve az olyan érzékeny adatokig, mint a személyes preferenciák, viselkedési minták és használati ütemtervek. Ha ezeket az adatokat nem kezelik megfelelően, rosszindulatú célokra lehet felhasználni, ami jelentős adatvédelmi kockázatot jelent az épületek lakói számára [21]. E kockázatok mérséklésére számos stratégia alkalmazható. Például a beépített adatvédelem elveinek elfogadása biztosíthatja, hogy az IoT-eszközök teljes életciklusa során figyelembe vegyék az adatvédelmet. Ez magában foglalja az adatok anonimizálását, ahol ez lehetséges, szigorú hozzáférés-ellenőrzéseket,

valamint átláthatóságot az összegyűjtött adatok és azok felhasználásának módja tekintetében.

**Kiberbiztonság** - Az intelligens épületek az IoT-eszközök összekapcsolt jellege és az általuk tárolt értékes adatok miatt a kibertámadások elsődleges célpontjai. A kibertámadások súlyos következményekkel járhatnak, az adat- és adatvédelmi jogsértésektől kezdve az üzemzavarokon át a fizikai károkozásig. Az ilyen incidensek megelőzése érdekében átfogó kiberbiztonsági intézkedéseket kell végrehajtani. Ezek az intézkedések magukban foglalják a biztonságos kommunikációs protokollokat, a fejlett titkosítási technológiákat és az időben történő szoftverfrissítéseket. Emellett a dolgok internetére épülő eszközöket folyamatosan figyelemmel kell kísérni, hogy a potenciális fenyegetéseket azonnal észleljék és reagáljanak rájuk [20][22].

Világszerte számos intelligens épületben sikeresen hajtottak végre adatvédelmi és kiberbiztonsági intézkedéseket. Az amszterdami The Edge például biztonságos kommunikációs protokollokat és szigorú hozzáférés-ellenőrzést alkalmaz az adatok védelme és az illetéktelen hozzáférés megakadályozása érdekében. Emellett az épület lakóit tájékoztatják arról, hogy milyen adatokat gyűjtenek és hogyan használják fel, ezzel is demonstrálva az átláthatóság és a magánélet védelme iránti elkötelezettséget [8].

### **Műszaki kihívások**

Az IoT-technológiák intelligens épületekbe történő integrálása jelentős technikai nehézségeket jelent, amelyek e rendszerek összekapcsolt jellegéből, valamint az érintett eszközök és technológiák sokféleségéből adódnak.

**Interoperabilitás és szabványosítás** - Az egyik fő technikai kihívás az IoT-eszközök interoperabilitása. Mivel számos gyártó gyárt különböző kommunikációs protokollokat és adatformátumokat használó eszközöket, az eszközök közötti zökkenőmentes interakció biztosítása nem triviális feladat. Ezt az interoperabilitási problémát súlyosbítja az egyetemes IoT-szabványok hiánya, ami olyan kompatibilitási problémákhoz vezet, amelyek akadályozhatják az IoT-rendszerek integrációját és működését az intelligens épületekben [23]. A lehetséges megoldások közé tartozik a nyílt forráskódú platformok és szabványos kommunikációs protokollok elfogadása, amelyek javíthatják a különböző gyártók eszközei közötti átjárhatóságot. Olyan szervezetek, mint az Open Connectivity Foundation (OCF) és a Zigbee Alliance dolgoznak az IoT-eszközök nyílt szabványainak létrehozásán és népszerűsítésén, amelyek jelentősen hozzájárulhatnak az interoperabilitási problémák megoldásához [24].

**Hálózat- és adatkezelés** - Egy másik technikai komplexitás a nagy IoT-hálózatok és az általuk generált hatalmas adatmennyiségek kezeléséből adódik. A több száz vagy akár több ezer eszközből álló hálózat megbízható működésének biztosítása az eszközök valós idejű adatainak kezelése mellett megbízható hálózati és adatkezelési rendszereket igényel [18]. A fejlett adatelemző eszközök, a felhőalapú számítástechnika és az edge computing technológiák segíthetnek az IoT-eszközök által generált adatok mennyiségének, sebességének és változatosságának kezelésében. Továbbá az öndiagnosztikára és automatikus konfigurációra képes hálózatkezelési rendszerek növelhetik a nagy IoT-hálózatok megbízhatóságát és hatékonyságát

**Teljesítmény- és energiagazdálkodás** - A teljesítmény- és energiagazdálkodás egy másik jelentős technikai kihívás. Sok IoT-eszköz akkumulátorral működik, és nehezen hozzáférhető helyeken található, ami miatt a gyakori akkumulátorcseréje nem praktikus. Ezért az energiafelhasználás optimalizálása az akkumulátor élettartamának meghosszabbítása érdekében kulcsfontosságú. Az IoT-eszközök energiaellátására olyan energia-nyerési technológiák alkalmazhatók, mint a napenergia, a rezgési energia vagy a hőenergia kinyerése. Emellett az alacsony fogyasztású kommunikációs protokollok és energiahatékony algoritmusok segíthetnek az energiafogyasztás csökkentésében és az akkumulátor élettartamának meghosszabbításában [25].

Összefoglalva, bár a dolgok internetének az intelligens épületekbe való integrálása jelentős kihívásokat jelent, a folyamatban lévő kutatási és fejlesztési erőfeszítések ígéretes megoldásokat kínálnak. A sikeres integráció és üzemeltetés érdekében azonban elengedhetetlen, hogy ezeket a kihívásokat figyelembe vegyünk az intelligens épületek IoT-rendszereinek tervezése és megvalósítása során.

## KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JÖVŐBELI IRÁNYOK

Kutatásunk az IoT technológiával integrált intelligens épületek jelenlegi globális helyzetének kimerítő feltárását mutatta be. A kutatás elmélyült az IoT-ban és az intelligens épületek újradefiniálásában rejlő mélyreható lehetőségekben. Megvizsgálta a különböző földrajzi régiókban történő kialakítását, és felvázolta az általa kínált előnyöket. Részletes tudományos értekezésen keresztül vizsgáltuk az intelligens épületek jelentését és az IoT szerepét ezen infrastruktúrák fejlesztésében. Megállapításra került a két fogalom közötti sarkalatos metszéspontot, hangsúlyozva, hogy az IoT hogyan segíti elő az intelligens épületek intelligens, autonóm funkcióit, hozzájárulva az energiahatékonyasághoz, a kényelemhez, a biztonsághoz és a védelemhez. A globális gyakorlatok szegmens az IoT intelligens épületekbe történő integrációjának földrajzi vizsgálatát nyújtotta, Európára, Ázsiára és Észak-Amerikára összpontosítva. Kiemeltük az IoT-t különböző célokra használó épületek konkrét példáit, bemutattva, hogy a különböző régiókban milyen egyedi megközelítéseket alkalmaznak az IoT-integrációra, és hogyan kezelik a régióspecifikus kihívásokat.

Ezt követően bemutatásra került az IoT intelligens épületekbe történő integrációjának különböző előnyeit, kiemelve olyan szempontokat, mint az energiahatékonyaság, a lakók kényelmének javítása, a fokozott biztonság és a védelem. Kitértünk az adatvédelem és a kiberbiztonság témájára is, és elmélyedtünk az e téren fennálló összetettségben és árnyalatokban. A kihívások és a lehetséges megoldások kezelése során bemutatásra került az IoT intelligens épületekbe történő integrációjával kapcsolatos technikai összetettséget. Kitértünk az interoperabilitás, a szabványosítás, a hálózat- és adatkezelés, valamint a teljesítmény- és energiagazdálkodás kérdéseire. Minden egyes kihívás esetében potenciális megoldásokat és ígéretes trendeket ajánlottunk fel, amelyek enyhíthetik a problémákat.

Összefoglalva, ez a kutatás felvázolta az intelligens épületek IoT-integrációjának jelenlegi helyzetét, globális perspektívát nyújtva a gyakorlatokról, előnyökről, kihívásokról és lehetséges megoldásokról. Ez egy gyorsan fejlődő terület, amely hatalmas lehetőségeket rejt magában az épített környezetünk, valamint az élet- és munkamódszereink átalakításában. A kutatás előrehaladásával és az innovatív megoldások megjelenésével a teljesen integrált, intelligens és fenntartható intelligens épületek víziója egyre közelebb kerül a valósághoz.

FELHASZNÁLT IRODALOM<sup>3</sup>

- [1] „AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2018/844 IRÁNYELVE”. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32018L0844> (elérés 2023. május 22.).
- [2] J. Allmendinger, S. Wyatt, R. Veugelers, M. Caball, és R. Burmanjer, „Horizon 2020”. 2013. doi: 10.1037/e503552014-018.
- [3] G. Contributor, „City of London smart city initiative”, *Smart Energy International*, 2020. április 3. <https://www.smart-energy.com/policy-regulation/city-of-london-smart-city-initiative/> (elérés 2023. május 22.).
- [4] L. Schick és C. Gad, „Flexible and inflexible energy engagements—A study of the Danish Smart Grid Strategy”, *Energy Res. Soc. Sci.*, köt. 9, o. 51–59, 2015.
- [5] „MOL Campus”. <https://molcampus.hu/sustainability> (elérés 2023. május 22.).
- [6] C. Gauthier és B. Gilomen, „Business models for sustainability: Energy efficiency in urban districts”, *Organ. Environ.*, köt. 29, sz. 1, o. 124–144, 2016.
- [7] D. Comin, G. Trumbull, és K. Yang, „Fraunhofer: Five Significant Innovations”, *Driv. Compet.*, o. 445–468, 2016.
- [8] A. Jalia és M. Ramage, „The Edge, Amsterdam”.
- [9] A. Harrison, E. Loe, és J. Read, *Intelligent buildings in south East Asia*. Taylor & Francis, 2005.
- [10] F. Chang és D. Das, „Smart nation Singapore: Developing policies for a citizen-oriented smart city initiative”, *Dev. Natl. Urban Policies Ways Forw. Green Smart Cities*, o. 425–440, 2020.
- [11] J. Xia, D. Poon, és D. Mass, „Case Study: Shanghai Tower”, *CTBUH J*, köt. 2010, o. 12–18, 2010.
- [12] R. J. Lea, „Smart cities: An overview of the technology trends driving smart cities”, 2017.
- [13] B. Tranel és H. Ko, „Designing a Data-Driven, Humanistic High-Rise”, *CTBUH J*, sz. 2, o. 12–19, 2016.
- [14] H. H. Yücel Yıldırım, A. B. Gültekin, és H. Tanrıvermiş, „An Examination of the Energy-Efficient High-Rise Building Design”, előadás Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017) Volume 2 3, Springer, 2018, o. 158–175.
- [15] D.-M. Han és J.-H. Lim, „Smart home energy management system using IEEE 802.15. 4 and zigbee”, *IEEE Trans. Consum. Electron.*, köt. 56, sz. 3, o. 1403–1410, 2010.
- [16] H. Alwaer és D. Clements-Croome, „Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings”, *Build. Environ.*, köt. 45, sz. 4, o. 799–807, 2010.
- [17] D. Clements-Croome, „Sustainable intelligent buildings for people: A review”, *Intell. Build. Int.*, köt. 3, sz. 2, o. 67–86, 2011.
- [18] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, és M. Ayyash, „Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications”, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, köt. 17, sz. 4, o. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.

- [19] J. Granjal, E. Monteiro, és J. Sá Silva, „Security for the Internet of Things: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues”, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, köt. 17, sz. 3, o. 1294–1312, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2388550.
- [20] B. Sándor és Z. Rajnai, „Cyber Security Analysis of Smart Buildings from a Cyber Security Architecture Point of View”, *Interdiscip. Descr. Complex Syst. INDECS*, köt. 21, sz. 2, o. 141–147, 2023.
- [21] R. H. Weber, „Internet of Things–New security and privacy challenges”, *Comput. Law Secur. Rev.*, köt. 26, sz. 1, o. 23–30, 2010.
- [22] R. Roman, J. Zhou, és J. Lopez, „On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things”, *Comput. Netw.*, köt. 57, sz. 10, o. 2266–2279, 2013.
- [23] D. Guinard, V. Trifa, S. Karnouskos, P. Spiess, és D. Savio, „Interacting with the SOA-Based Internet of Things: Discovery, Query, Selection, and On-Demand Provisioning of Web Services”, *IEEE Trans. Serv. Comput.*, köt. 3, sz. 3, o. 223–235, júl. 2010, doi: 10.1109/TSC.2010.3.
- [24] A. Nugur, M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, és S. Rahman, „Design and Development of an IoT Gateway for Smart Building Applications”, *IEEE Internet Things J.*, o. 1–1, 2018, doi: 10.1109/IIOT.2018.2885652.
- [25] A. Le, J. Loo, A. Lasebae, M. Aiash, és Y. Luo, „6LoWPAN: a study on QoS security threats and countermeasures using intrusion detection system approach”, *Int. J. Commun. Syst.*, köt. 25, sz. 9, o. 1189–1212, 2012.