

Okos város megoldások a fenntarthatósági kihívások kezelésében Magyarországon¹

Somogyi-Farkas Sára²

Összefoglalás

A városok környezeti kihívásaira való válaszok megtalálása világszerte egyre sürgetőbbé válik. E területek környezeti kihívásai ugyanakkor rendkívül összetettek és sokrétűek, kezelésük ezért olyan integrált politikákat igényel, amelyek elősegítik a fenntarthatóságot, a hatékony erőforrás-felhasználást és a szennyezés megelőzését. Az élhető környezet megteremtéséhez, valamint a komplexitás menedzseléséhez az infokommunikációs technológiák és okos város eszközök ígéretes megoldásokat adhatnak, melyre már Magyarországon is láthatunk néhány példát.

Magyarországon egyre több település fejleszt okos város programokat, projekteket a fenntarthatóság és a környezettudatosság jegyében. Miskolcon, például a levegőminőség javítására tervezett projektje által, megfigyelhető a szennyezés csökkenése, amit a lakosság is követhet valós idejű adatok alapján. Monor önkormányzata komplex szolgáltatásokat és energetikai fejlesztéseket valósított meg, amely komoly megtakarításokat hozott az energiafogyasztás területén. Újszilvás példája pedig rávilágít arra, hogy a megújuló energiaforrások széles körű felhasználásával akár az egész település energiaszükséglete is teljesülhet.

1. Bevezetés – a városok legfontosabb környezeti kihívásai

A városok különös jelentőséggel bírnak a világgazdaság fejlődésében és növekedésében, a népesség számára pedig e térségek olyan előnyöket hordoznak, mint például a bővebb munkalehetőségek, a magasabb népsűrűség okán biztosítható több és hatékonyabb közszolgáltatás, továbbá a városlakók gyakran jobb egészségi állapottal is rendelkeznek.

E térségek ugyanakkor komoly környezetterhelést jelentenek és speciális környezeti kihívásokkal küzdenek. Elsősorban az energiafogyasztásból, a közlekedésből és az ipari városok a globális szén-dioxid-kibocsátás mintegy 70%-ához járulnak hozzá (IPCC, 2022). A városi területekhez kapcsolódik továbbá a világ energiafelhasználásának több mint 75%-a, a legnagyobb fogyasztók pedig az épületek és a közlekedés (UN, 2024). Emellett szintén a várostérségek felelősek a világ vízkivételének 70%-áért, ami vízhiányhoz és szennyezési problémákhoz vezet, amit tovább súlyosbít a nem hatékony felhasználás és a szennyvíz nem megfelelő kezelése (UN, 2024). A hatékony hulladékgazdálkodás szintén sürgető kérdés. A fejlett országokban a városiasodás és a magasabb fogyasztási arány nagy mennyiségű hulladéktermeléssel jár együtt. Az Európai Unió (EU) Eurostat adatbázisa szerint 2022-ben egy átlagos személy 513 kg települési hulladékot termelt, amelynek jelentős része (52%-a) még mindig a hulladéklerakókba kerül (Eurostat, 2024).

¹Jelen cikk a *Digitális technológia a településfejlesztésben: Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon* c. folyamatosan bővülő interjúkötetben megjelent írások alapján készült. (Digitális technológia a településfejlesztésben: Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon Kecskemét, Magyarország: Neumann János Egyetem (2024), <https://start.uni-neumann.hu/telemarket/kiadvanyok/2024-1/>)

² NJE Gazdaságföldrajzi és Településmarketing Központ munkatársa

2022-ben az EU népességének 75%-a élt várostérségekben (UN, 2018 alapján The World Bank Group, 2024), mely arány 2050-re várhatóan 83,7%-ra emelkedik (Knowledge4Policy, 2020 UN 2018 alapján). Bár az újrahasznosítási és komposztálási arányok növekednek, ezek nem elegendők a növekvő hulladékmennyiség fenntartható kezelésére.

Összességében a városi területek környezeti kihívásai rendkívül összetettek és sokrétűek, kezelésük ezért olyan integrált politikákat igényel, amelyek elősegítik a fenntarthatóságot, a hatékony erőforrás-felhasználást és a szennyezés megelőzését. Az élhető és fenntartható városi környezet megteremtéséhez ezért elengedhetetlen a kormányok, a gazdasági szféra és a polgárok közötti együttműködés, valamint a komplexitás menedzseléséhez az okos város eszközök felhasználása, a városfejlesztést és a hatékonyabb üzemeltetést célzó infokommunikációs technológiákat felhasználó megoldások bevezetése.

2. Az okos város fogalmának változása és kapcsolódása a környezeti fenntarthatósághoz

Az „intelligens város” vagy „okos város” koncepciója a kezdetek óta jelentősen átalakult, tükrözve a technológia, a kormányzás, illetve a vezetési- és szervezési módszerek fejlődését, valamint maga a várostervezés fejlődését. Elsőként az okos város meghatározást az információs és kommunikációs technológiát (IKT) a szolgáltatások optimalizálása érdekében alkalmazó városok leírására használták, a fogalom azonban mára jelentősen szélesebb körű célokat is magában foglal, melyek a technológia alkalmazásán keresztül elsősorban a fenntarthatóság, az ellenálló képesség és a városok fejlődésében érdekelt szereplők megszólítása és együttműködése.

Az intelligens városok korai definícióit az 1990-es években a technológiai determinizmus jellemzi, amely elmélet szerint a technológiai fejlődés hajtja a társadalmi változásokat. Ebben a kontextusban az intelligens várost olyan térségnek tekintették, amely az infokommunikációs technológiát használva javítja szolgáltatásait - például a közlekedés, az energia, a vízgazdálkodás és a hulladékgyűjtés rendszereit – azok teljesítményét és minőségét. Az egyik első átfogó definíciót Hall et al. (2000) adta meg, amelyben az intelligens várost úgy írta le, mint „egy olyan város, amely figyelemmel kíséri és integrálja valamennyi kritikus infrastruktúrájának - beleértve az utakat, hidakat, alagutakat, vasutakat, repülőtereket, tengeri kikötőket, kommunikációs, víz- és energiaellátási rendszereket, sőt a főbb épületeket is - állapotát, jobban optimalizálhatja erőforrásait, megtervezheti megelőző jellegű karbantartási tevékenységeit, és figyelemmel kísérheti a biztonsági szempontokat, miközben maximalizálja a helyi polgároknak nyújtott szolgáltatásokat” Ez a korai meghatározás az infrastruktúra és a szolgáltatások technológián keresztüli optimalizálását hangsúlyozta, nagy hangsúlyt fektetve a hatékonyságra és a költségcsökkentésre.

E definíció és megközelítés kritikussai, mint például Hollands (2008) azt állították, hogy e meghatározás túlságosan felülről lefelé irányuló, technokrata megközelítést tükröz, amely a technológiát túlságosan előtérbe helyezi a társadalmi, környezeti és kormányzási tényezőkkel szemben. Hollands bevezette az „intelligens városmárka” fogalmát, amely szerint a városok elsősorban marketingeszközként alkalmaznak intelligens technológiákat, hogy vonzzák a vállalkozásokat és a befektetőket, és gyakran elhanyagolják a polgárok bevonását, valamint a társadalmi befogadást. Ez a kritika rávilágított a korai intelligens városmodellek azon korlátjaira, amelyek nagyrészt figyelmen kívül hagyták a városi lakosság igényeit (Hollands, 2008).

Ahogy az intelligens város koncepció a 2000-es évek elején egyre nagyobb teret nyert, a definíciók a tisztán technológiai keretek helyett egyre inkább a fenntarthatóságot és a jó kormányzást hangsúlyozó, integráltabb megközelítés felé mozdultak el. Az éghajlatváltozásra való fokozódó globális figyelem, valamint a gyors urbanizáció rávilágított arra, hogy a városoknak fenntarthatóbbá és ellenállóbbá vagy reziliensebbé kell válniuk. Ez vezetett ahhoz, hogy az intelligens városok meghatározásában nem csupán a hatékonyság, hanem a környezettudatosság is egyre inkább szerepet kapott.

Giffinger és szerzőtársai 2007-ben kibővítve az intelligens város definícióját egy többdimenziós keretrendszerrel javasoltak, amely hat kulcsfontosságú jellemzőn alapul: intelligens gazdaság, intelligens emberek, intelligens kormányzás, intelligens mobilitás, intelligens környezet és intelligens életmód. E modell elismerte, hogy a technológia önmagában nem elegendő az intelligens város megteremtéséhez, ehelyett pedig a humán tőke, a jó kormányzás és a környezeti fenntarthatóság szerepét hangsúlyozta, felismerve, hogy egy valóban intelligens városnak egyensúlyt kell teremtenie a technológiai innováció, valamint a társadalmi-gazdasági és környezeti célok között. Ezt a megközelítést képviseli Caragliu, Del Bo, Nijkamp 2011 -es, az egyik legtöbbet hivatkozott okos város definíciója is. Meghatározásukban az okos városok azok a helyek, ahol a humán és társadalmi tőkébe történő beruházások az infrastruktúra (például IKT) fejlesztése, valamint a természeti erőforrásokkal való bölcs gazdálkodás mellett, a fenntartható gazdasági növekedést és a magas életminőséget támogatják a részvételen alapuló kormányzás révén.

Az okos város projektekben a fenntarthatóság előtérbe helyezését az ENSZ fenntartható fejlődési céljainak sorában a 11. tovább erősítette, amely arról szól, hogy „a városok és az emberi települések befogadóvá, biztonságossá, ellenállóvá és fenntarthatóvá váljanak” (ENSZ, 2015). Ennek eredményeképpen pedig jelentős lendületet kapott a megújuló energia megoldások, a zöld épületek és a fenntartható közlekedési rendszerek beépítése az okos város tervekbe.

A 2010-es években a nagy mennyiségű adat és a tárgyak internetének (IoT) megjelenése lehetővé tette a városi rendszerek valós idejű nyomon követését, irányítását és optimalizálását és mindez jelentős hatással volt az okos városok koncepciójára, meghatározására is. A különböző szenzorokat és eszközöket adatgyűjtés és -csere céljából összekötő IoT segítségével, nagyléptékű adatelemzési kapacitásokkal kombinálva, a városok dinamikusan, gyors reagálással lettek képesek kezelni az olyan kihívásokat, amelyek a legnagyobb infrastruktúra elemekhez, például a közlekedéshez, az energiaszolgáltatáshoz és a hulladékgazdálkodáshoz kapcsolódtak. Ez a változás az intelligens városokat elsősorban, mint adatvezérelt környezetként definiálta újra, amelyek a proaktív irányítás érdekében előrejelző képességekkel is rendelkeztek (Kitchin, 2013). Ugyanakkor aggályok is felmerültek a magánszféra védelmével, az adatfelügyelettel és az algoritmikus irányításával kapcsolatban egyaránt, ami a városok vezetése felé nagyobb átláthatóságot, magasabb szintű elszámoltathatóságot támasztott és a polgárok bevonását követelte.

Az okos városok következő generációja ezért a nyílt adatokat, a részvételen alapuló kormányzást, valamint a közös alkotást helyezi előtérbe például Albino, Berardi és Dangelico (2015) az intelligens városok holisztikusabb, a városi élet társadalmi és emberi dimenzióit is magában foglaló meghatározása mellett érveltek. E szerzők az intelligens várost „a rendszerek rendszereként határozzák meg, amelynek fő elemei a humán tőke, a társadalmi befogadás, a környezeti és városi fenntarthatóság, amelyet intelligens kormányzás és intelligens technológiák támogatnak”.

Cardullo és Kitchin 2019-es meghatározásában az „intelligens polgárság” koncepciója is megjelenik, hangsúlyozva a polgárok aktív szerepét az intelligens városok létrehozásában és irányításában. Az okos városokat ebben az értelemben már nem kizárólag a csúcstechnológiák jelenléte határozza meg, hanem az, hogy mennyire képesek azok elősegíteni egy befogadó, részvételi és demokratikus városi környezet kialakítását.

Jelen cikkben az okos városok fogalmát átfogó módon alkalmazom, mely annak minden fejlődési szakaszát és a fogalom minden generációját felöleli, függetlenül attól, hogy az adott okos város megoldás fókuszában a város műszaki infrastruktúrája vagy az épített és természeti környezete vagy a társadalmi és gazdasági helyzete áll.

3. Hazai példák a *Digitális technológia a településfejlesztésben: Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon* című interjúkötet alapján

MISKOLC- valós idejű levegőminőség mérési hálózat

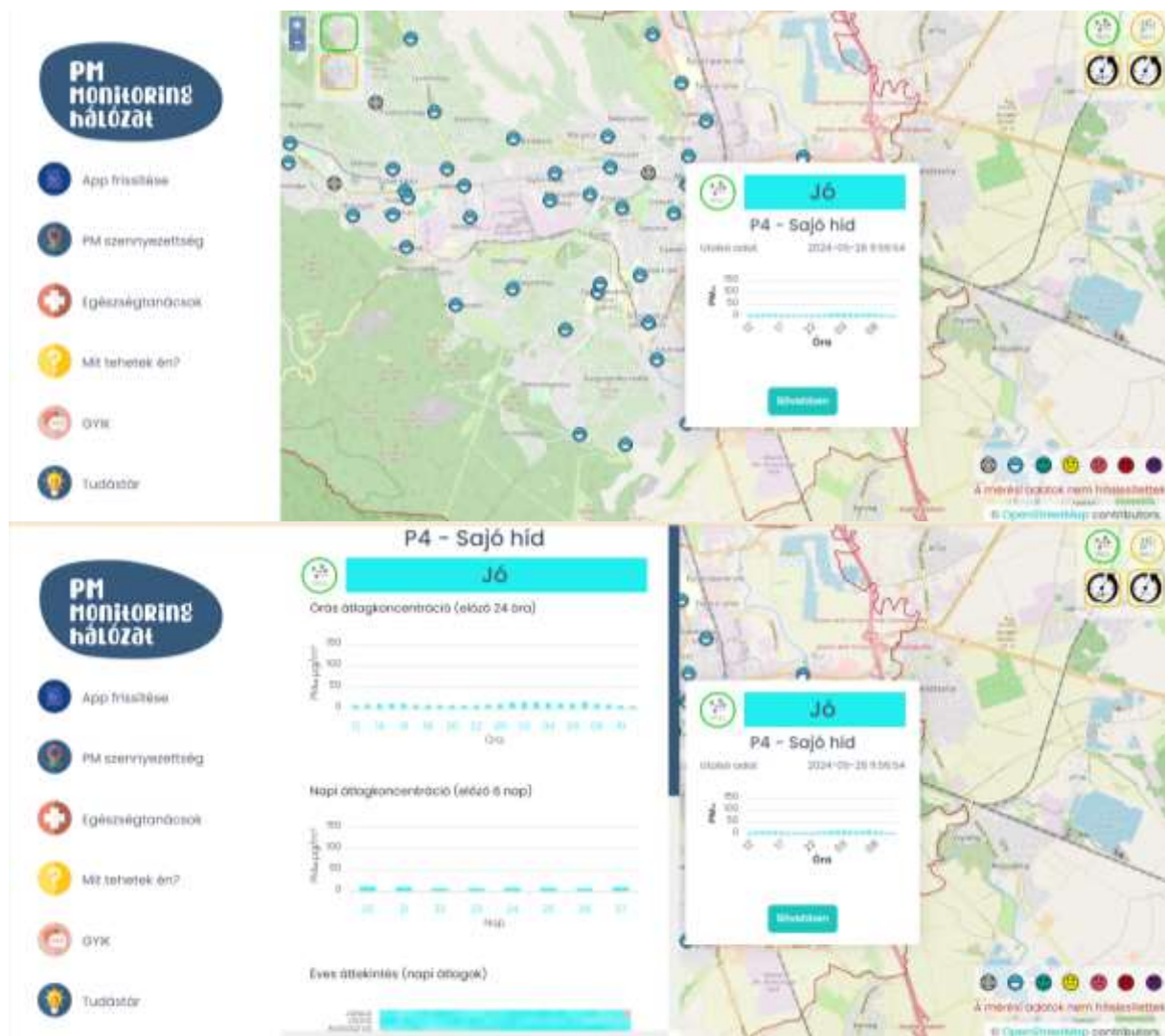
Országosan is példaértékű Miskolc azon 64 mérési ponttal üzemelő levegőminőségi hálózata, amelyet a Miskolci Egyetemmel együttműködésben épített ki a város. A 2026-ig futó HungAIRy projekt (<http://hungairy.hu/kibocsatas-csokkentés>) az egyik legjelentősebb környezetvédelmi kihívásunkra reagál, a levegőminőség javítását célozza 10 magyar településen, köztük Miskolcon. A projekt célja a kerti hulladék égetésének visszaszorítása, a komposztálás népszerűsítése és a környezetvédelmi célú szemléletformálás, ismeretátadás. Ezt is szolgálják a város több mint 60 pontján telepített mérőegységei, amelyek a levegőben található szilárd részecskék, azaz a szállópor méretének és mennyiségének mérésére alkalmasak.



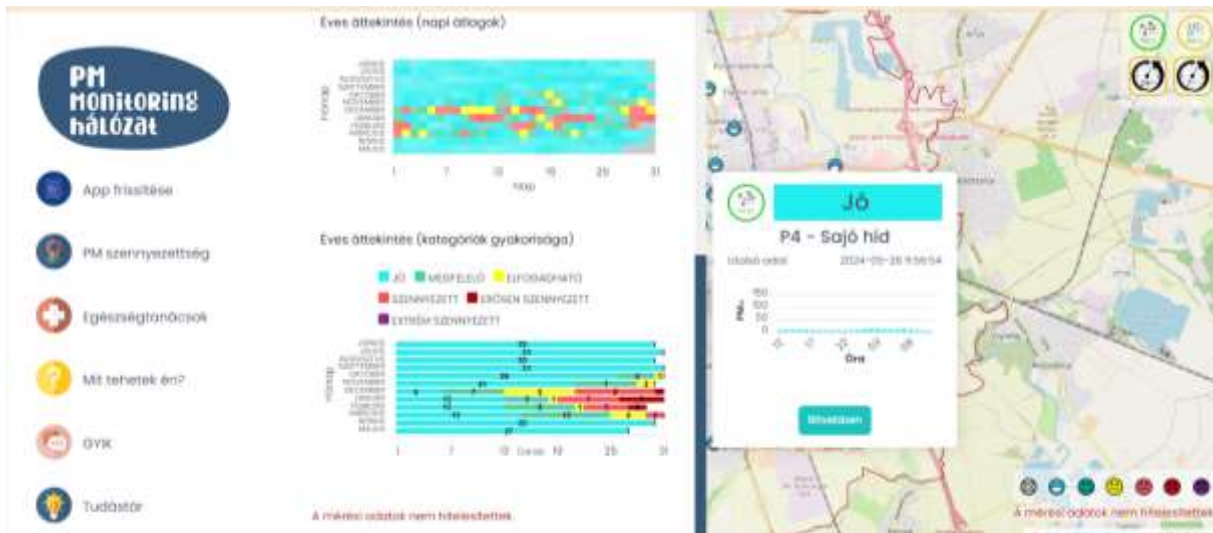
1. ábra. Légszennyezettségi mérőállomás

A mért adatok a <https://miskolc.pmmonitoring.hu/terkep> weboldalon és PMmonitoring applikációban minden érdeklődő számára elérhetőek, így bárki, bármikor tájékozódhat az aktuális levegőminőségről, illetve hasznos tanácsokat is kaphat arról, hogyan előzhető meg a levegő szennyezése, vagy mit célszerű tenni a lakás részéről szmogos időben. A mérőhálózat eddigi eredményei azt mutatják, hogy Miskolcon a légszennyezésért elsősorban a szilárd tüzelés felelős, továbbá arra is rámutatnak, hogy a közhiedelemmel ellentétben Miskolc levegőjének szennyezettsége nem nő, hanem évről-évre, még ha kis mértékben is, de valójában csökken. – hívta fel a figyelmet Veres Pál, Miskolc Megyei Jogú Város Polgármestere 2023 szeptemberében.

A mérőhálózat a levegőben található 10, valamint 2,5 mikrométernél kisebb részecskéket méri, illetve jelöli³, emellett napi és éves szintű áttekintéseket is ad a levegő minőség alakulásáról.



³ A PM10 a levegőben található 10 mikrométernél kisebb részecskéket jelöli. 10 mikrométer az emberi hajszál vastagságának kb. egyötöde. Ezek a részecskék belélegezve bejutnak a tüdőbe. A PM2,5 a levegőben található 2,5 mikrométernél kisebb részecskék gyűjtőneve. Ezek a részecskék belélegezve eljutnak egészen a légútyagocskákig. (A PM1 a levegőben található 1 mikrométernél kisebb részecskék elnevezése. Ezek a részecskék olyan kicsinyek, hogy a tüdő nyálkahártyájáról közvetlenül bejuthatnak a véráramba és a szervezet különböző részein felhalmozódhatnak.)
(Forrás: <https://miskolc.pmmonitoring.hu/gyik>)



2. ábra. Miskolc városában 64 mérőponton követhetjük a levegő minőségét

Kép forrása: <https://miskolc.pmmonitoring.hu/terkep>

A HungAIRy projekt keretében 2020-ban Kaposváron 20db kisebb levegőminőség-mérő szenzort telepítettek, amelyek eloszlása a város teljes területét lefedik. A kaposvári mérőrendszer telepítése a projekt második szakasza során a Miskolcon szerzett tapasztalatok alapján valósult meg.

MONOR – egy élő városlaboratórium

2017-ben döntés⁴ született egy országos jelentőségű okos város pilotprojekt létrehozásáról, melynek keretében a Pest megyei Monoron 2022-ig számos, komplex szolgáltatással rendelkező, a modern társadalom kihívásaira reagálni képes, integrált, a lakosság számára is jól érzékelhető fejlesztés jött létre. A kísérlet céljai közé tartozott az is, hogy a monori esetek alapján megértést nyerjen, hogy milyen települési folyamatok zajlanak napjainkban és a technológia eszközével kialakított, más települések számára is adaptálható városfejlesztési- és üzemeltetési gyakorlatot hozzanak létre.

Juhász László, Monor alpolgármestere elmondása alapján (2023. október) e fejlesztések között egy adattárház szolgáltatással összekapcsolt térinformatikai rendszer is kialakításra került, ami területi alapon, több rétegben is rögzíti a város épített környezetét, fizikai infrastruktúráját és ennek alapján egy épületkataszter rendszert is létrehozta, ami 3D felmérés alapján, szenzoros adatgyűjtéssel kihasználtsági mutatókat képes generálni. Mindez jelentősen hozzájárul a településüzemeltetés hatékonyságának növeléséhez, e rendszer ugyanis lehetővé teszi Monoron az önkormányzati épületek monitorozását, különös tekintettel azok kihasználtságára, üzemeltetési jellemzőire (villamosenergia fogyasztás, gáz-, és vízfogyasztását, továbbá hőmérő és jelenlét érzékelő szenzorok is tartoznak a rendszerhez), emellett a rendszer riasztási és beavatkozási lehetőséget is nyújt. Az épületek fűtési, hűtési és szellőztetési rendszereinek oda-vissza szabályozhatóságának okán a lehető legmagasabb energiahatékonyság érhető el, és ez által komoly költségeket takarít meg az önkormányzat. Az önkormányzati intézményekben ezt a rendszert a COVID-19 járvány időszaka alatt valósították meg és ezt követően, amikor megnöttek az ener-

⁴ 2040/2017. (XII. 27.) Korm. határozat Monor település "okos város" funkcionalitással összefüggő fejlesztéseinek támogatásáról.

giaköltségek, egyszerű volt beállítani a központi szabályozások által elrendelt 21 fokot. A fejlesztések befejezése óta az önkormányzati villamosenergia fogyasztásában jelentős, közel 15%-os megtakarítást érnek el éves szinten. E fejlesztéseket a témában megfelelő kompetenciákkal bíró Lechner Tudásközpont végezte.

	<p>Épületek villamosenergia fogyasztása Épületek gázfogyasztása Épület vízfogyasztása Hőmérő szenzorok Jelenlét szenzorok Riasztási és beavatkozási képesség</p> <p>Delta Systems Kft.</p>
	<p>LED-es rendszer, szenzor alapú vezérléssel Zéró emisszió Magas megbízhatóság A növény és állatvilág védelme Gyors telepíthetőség</p> <p>MVM Optimum Zrt.</p>

3. ábra. Energetikai fejlesztések a monori okos város pilotprogram keretében

Kép forrása: Monor Város Önkormányzata

A monori pilotprogram emellett önkormányzati fejlesztésű, az energiahatékonyságot célzó projektemet is tartalmazott. A napelemes parkvilágítás fejlesztésük komoly sikereket ért el, legnagyobb közparkjukban kizárólag napenergiával tudnak közvilágítást biztosítani. Monoron továbbá a LED-es önszabályozó, az aktuális fény- és forgalmi viszonyokra automatikusan reagáló közvilágítás szintén komoly változásokat hozott a település energiagazdálkodásában, Juhász László elmondása szerint e fejlesztéssel 45-65% közötti energia megtakarítás érhető el a beállításoktól függően.

	<p>LED-es rendszer, szenzor alapú vezérléssel, és forgalom intenzitás alapú vezérléssel Felügyeleti és menedzsment rendszer CO, CO2, VCO, por, zaj szenzorok -50% megtakarítás +30% fény teljesítmény</p> <p>MVM Optimum Zrt.</p>
---	---

4. ábra. Intelligens közvilágítási rendszer Monoron

Kép forrása: Monor Város Önkormányzata

ÚJSZILVÁS – észszerű növekedés

A ceglédi járásban található pest megyei község vezetése számára már a kezdetektől alapelv volt, hogy csökkentsék, illetve észszerűsítsék az intézményeik és infrastruktúrájuk költségeit, aminek az energiahatékonyság növelése és az energiacsökkentés igen fontos motorja volt. 2010 óta stratégiai jelentőségű a megújuló energiák használata, a legelső megújuló energia projektet 2007-ben valósították meg. Az első nagyléptékű geotermikus energia beruházásuk 2010-ben történt a Norvég Alap támogatásával, ami négy önkormányzati fenntartású közintézmény fűtési rendszerét képes ellátni, majd 2011-ben egy 400 kW csúcsteljesítményű, napkövető naperómű is megkezdte működését a település külterületén.

Dr. Petrányi Csaba, Újszilvás polgármestere emellett ismertette, hogy a település fenntarthatóságra törekvő stratégiáját a helyi oktatásban és nevelésben is érvényesítik, Újszilváson az óvoda és az iskola is öko minősítéssel rendelkezik. A természetközeli megoldások alkalmazását a gyerekek már kisgyermekkorban elkezdik megismerni a gyakorlatban, és az óvodában megtanulják, hogy mi az a napelem és mi az a geotermikus energia, utána pedig ezt specializálják tovább, még részletesebb tudássá az általános iskolában, ahol például saját kis kertjük van, amit ők gondoznak. – emelte ki a Polgármester.



5. ábra. 400 kWp teljesítményű, hálózatra kapcsolódó fotovoltaikus rendszer Újszilváson

Kép forrása: Újszilvás Község Önkormányzata

A település uszodája pedig páratlan az országban, működése napelemek és hőszivattyú kombinációjával jelentős részben megújuló energiákon alapul. Üzemelésekor 150 KW napelem termeli a vizet melegen tartó, valamint a fűtést biztosító hőszivattyúk elektromos energiájának 80 %-át, így az ország egyik legtakarékosabb uszodaintézménye.



6. ábra. Magyarország legnagyobb naperőműve 2011-ben Újszilváson
Kép forrása: Újszilvás Község Önkormányzata



7. ábra. Újszilvási Tan- és Sportuszoda

Kép forrása: Újszilvás Község Önkormányzata



Az Önkormányzat által fenntartott négy közintézményünket fűtjük földgáz helyett geotermikus energiával.



8. ábra. Az Önkormányzat által fenntartott négy közintézmény, melyet geotermikus energia fűtenek Újszilvás

Kép forrása: Újszilvás Község Önkormányzata

A fejlődés egy következő lépcsőjeként, az energiatermelés és -fogyasztás innovatív megoldásainak keretében több interjúalany is utalt az Európai Unió szabályozása által 2019-ben létrejött helyi energia közösségek kialakításának lehetőségére.

Helyi energiaközösségek a fenntartható és alacsony szén-dioxid-kibocsátású jövő elérésére

A Helyi Energiaközösségekre irányadó jogi kerete elsősorban az EU 2019-ben elfogadott Tiszta energiát minden európainak című csomagjával jött létre. Emellett pedig a koncepciót a megújuló energiáról és a villamosenergia-piacokról szóló irányelvek támogatják. (Elsősorban a 2019 júniusában hatályba lépett, a villamos energia belső piacára vonatkozó közös szabályokról szóló EU 2019/944 irányelv [EMD], valamint az Európai Parlament és a Tanács [EU] 2018/2001 irányelve [2018. december 11.] a megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előmozdításáról [RED II]). Ezen irányelvek értelmében a helyi energiaközösségek jogot kapnak a megújuló energia termelésére, az energiapiacokon való részvételre és az általuk termelt energia saját maguk által történő elfogyasztására.

Az EU meghatározása szerint e koncepció a polgári közösségek olyan helyi kezdeményezéseit támogatná, amelyek lehetővé teszik az egyének és helyi szervezetek, például önkormányzatok számára, hogy energiatermeléssel és -fogyasztással foglalkozó szervezeteket vagy társulásokat hozzanak létre. Ezek a közösségek a megújuló energia különböző formáit hasznosíthatják, ideértve a nap-, szél- és biomassza által termelt energiát. A helyi energiaközösségek jellegzetessége továbbá, hogy hangsúlyt fektetnek a helyi szereplők részvételére és a megújuló energiaforrások, valamint a decentralizált energiatermelés alkalmazásainak kiterjesztése mellett cél-

jük a közösségi tulajdonlás és döntéshozatal erősítése az energiaügyekben. A helyi energiaközösségek koncepciója mentén a nagyméretű közüzemi szolgáltatókról a termelés és a fogyasztás lokalizálására helyezik át a hangsúlyt. A helyi energiatermelés előmozdításával e közösségek hozzájárulhatnak az energiaellátás biztonságának növeléséhez is, csökkentve a külső energiaforrásoktól való függőséget és fokozva az energiapiaci ingadozásokkal szembeni ellenálló képességet. A környezetvédelmi megfontolásokon túl pedig gazdasági szempontból ösztönözhetik a helyi munkahelyteremtést és a zöld technológiákba történő beruházásokat. Társadalmi szempontból pedig elősegítik a közösségek fejlesztését és a befogadást, mivel ezen energetikai alapú fejlesztés mentén számos, a térség fejlődésében érdekelt felet és például olyan marginalizált csoportokat is összekapcsolhatnak, akik részéről ezzel elérhetővé válna az energiaszegénység csökkentése.

Az energia közösségek kialakításának hazai szabályozási és támogatási feltételei 2021-től Magyarországon is elkezdtek kialakulni (Szentpál-Tóth, 2022), ugyanakkor az energiaközösségek kialakulásához és irányításához szükséges helyi kapacitások (közösségszervezési, energetikai, illetve projektmenedzsment szakértelem) és a több forrást egyesíteni képes finanszírozási modellek létrehozása még folyamatban van.

Összességében a megújuló energiatermelést elősegítő technológiai fejlődéssel a helyi energiaközösségek egyre hatékonyabb és egyre könnyebben méretezhető megoldásokat hozhatnak létre, amelyek a környezetvédelmi célok mellett fontos közösségfejlesztési missziókat is beteljesíthetnek.

4. Miért nincs több okos város típusú fejlesztés Magyarországon?

A vezetőkkel folytatott interjúk során fény derült arra, hogy az okos város típusú fejlesztések nagy mértékben különböznek, az egyéb településfejlesztési beavatkozásokhoz képest. Az okos város típusú projektek több és kisebb lépésekből állnak, több szereplő bevonását és pontosabb koordinációt szükségeltetnek, e projektek lezárulása továbbá kevésbé meghatározott, nem egyértelmű folyamat, inkább egy állandó fejlődés és dinamikus változás részeként kell megközelíteni az okos város típusú beavatkozásokat.

Egyéb településfejlesztési projektekhez képest az okos város megoldások és alkalmazások speciálisabb szakértelmet, komplexebb felkészültséget és jelentős anyagi ráfordítást igényelnek. Ezért a helyi önkormányzatok lehetőségei igen korlátosak arra vonatkozóan, hogy önerőből valósítsanak meg ilyen jellegű fejlesztéseket, az állami segítségnyújtás elengedhetetlen. Az újszilvási fejlesztési történetek kapcsán a település polgármestere elmondta, hogy a 6 éven keresztül történt uszodafejlesztéshez, mivel az önkormányzat forráskerete rendkívül szűk volt, a hitelfelvétel mellett legalább 5 éves költségvetési többlettel kellett rendelkezniük, hogy belevághassanak.

A monori pilot fejlesztésekhez komoly állami szakértői kapacitások álltak rendelkezésre. A Belügyminisztérium két államtitkársága mellett a megvalósítás során folyamatos véleményezői, jóváhagyói szerepet kapott a NISz Zrt, az IDOMsoft Zrt. és a Lechner Tudásközpont. Gyakorlatilag minden olyan állami szervezet, amely az informatikához és a településfejlesztéshez kapcsolódik részt vett a projektben.

Fontos, hogy már a kezdeteknél gondolni szükséges az adatok integrálhatóságára és lehetőség szerint egy olyan platform létrehozására, amin keresztül az adatok összekapcsolhatóvá és könnyen elemezhetővé válnak. Emellett szintén már a kezdetekkor szükséges tervezni a technológiai megoldások továbbfejlesztési lehetőségeivel.

Ami azt is jelenti, hogy az egyéb településfejlesztési beavatkozásokhoz képest az okos város beavatkozások esetében részletesebb és több szereplős tervezési szakaszra van szükség. A monori fejlesztésről szóló parlamenti döntést megelőzte például egy részletes megvalósíthatósági tanulmány elkészítése, ami már első változatában is egy tartalmában rendkívül részletes, 400 oldalas dokumentum volt. (A szükséges utógondozási és fenntartási műveletek hiányában könnyen megakadhat az okos város típusú fejlesztési folyamat.) A pontos koordináció biztosításához a monori fejlesztéscsomag projekt menedzsment és integrációs szakértő bevonásával valósult meg.

Az önkormányzat szakértői kapacitásainak fejlesztésére, mint kulcstényezőre Miskolc polgármestere, Veres Pál hívta fel a figyelmet, rávilágítva, hogy az új technológiák adaptációja az önkormányzati dolgozók oktatásán és továbbképzésén is alapul. Emellett a lakosság edukációs folyamatát is hangsúlyozta a polgármester.

Emellett az önkormányzatok számára a különböző technológiák beszerzése rendkívül bonyolult, ezért szükség lehet az eljárásrend (közbeszerzési szabályok) átstrukturálására – emelte ki Juhász László, Monor alpolgármestere. Az itt kialakított fejlesztésekhez 15 különböző technológiára 12 különböző típusú közbeszerzési eljárást kellett lefolytatni a helyi önkormányzatnak, egyúttal biztostíva a szabályok által is, hogy ezen technológiáknak egymás között adatot kell tudnia cserélni, termékesülniük kell és egységes rendszert kell, hogy képezzenek.

Az infokommunikációs technológiák biztonsági kérdéseire szintén szükséges kitérni, sok személyes adat kezelése történik egy okos város rendszerben, így információbiztonsági és GDPR szabályozásnak is meg kell felelni (minőségbiztosítás).



9. ábra. LED-es rendszer, szenzor alapú vezérléssel, és forgalom intenzitás alapú vezérléssel:
50% megtakarítás +30% fény teljesítmény

Kép forrása: Monor Város Önkormányzata

A lakossági megítélések, amelyeket az okos város típusú fejlesztések kiváltanak, szintén nagyon különbözőek, amellyel szintén számolni érdemes. A monori pilot esetben a bevezetett technológiák akkor a legjobbak, ha 'csendesek', ha nem látványos módon képesek javítani és kisimítani a település működését. Ugyanakkor vannak nagyobb érdeklődést és lakossági véleményfolyamot kiváltó intézkedések is, például ilyen nagyobb és pozitív megítélésben részesült a napelemes LED-es közvilágítás program, melynek révén Monor legnagyobb közparkját már napenergiával látják el. (A LED-es világítás sokkal jobb, nagyobb fényérzetet is biztosít, a fejlesztés a lakosság részéről nagyon pozitív fogadtatásban részesült.)

Mindemellett a képviselő-testületek tájékoztatása és tájékozottsága szintén kulcsfontosságú. Továbbá a vállalkozókat, ha érintettek, szintén szükséges bevonni. Az újszilvási fejlesztések alapján Petrányi Csaba arra hívta fel a figyelmet, hogy a bevonás különösen fontos dolog, lehetőség szerint már az elején meg kell szólítani az érintetteket, majd közben is, a projekt végrehajtása során is minél szélesebb körben be kell vonni a feleket.

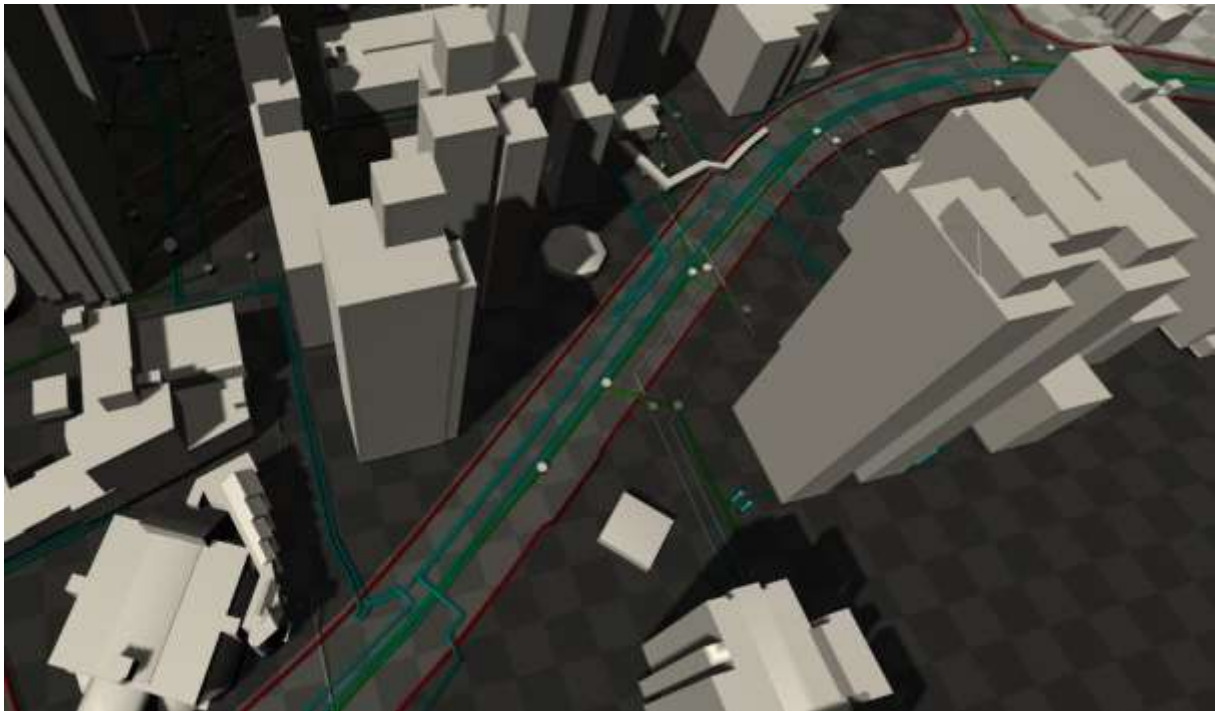
5. Külföldi példa a klímaváltozáshoz való alkalmazkodást segítő okos város beavatkozásokhoz: Singapore-ETH Centre: Cooling Singapore Project

A Cooling Singapore egy multidiszciplináris kutatási projekt, amelynek célja megoldások kidolgozása a szingapúri városi hővel kapcsolatos kihívások kezelésére. A városban zajló környezeti folyamatok modellezéséhez 3D-s adatokat használnak fel a város épített környezetéről, majd digitális ikervárost (Digital Urban Climate Twin) hoznak létre és ez alapján szimulációkat készítenek.

A projekt jelenlegi szakaszában a csapat egy –egy hőszigetre fókuszál, és ezek modellezéséhez, illetve részletes feltérképezéséhez úgynevezett digitális ikervárost (Digital Urban Climate Twin, DUCT) fejlesztenek Szingapúrban a releváns számítási modellek (környezeti, földfelszíni, ipari, közlekedési, épületenergetikai), valamint a regionális hatást gyakorló és a mikroelemek integrálásával.

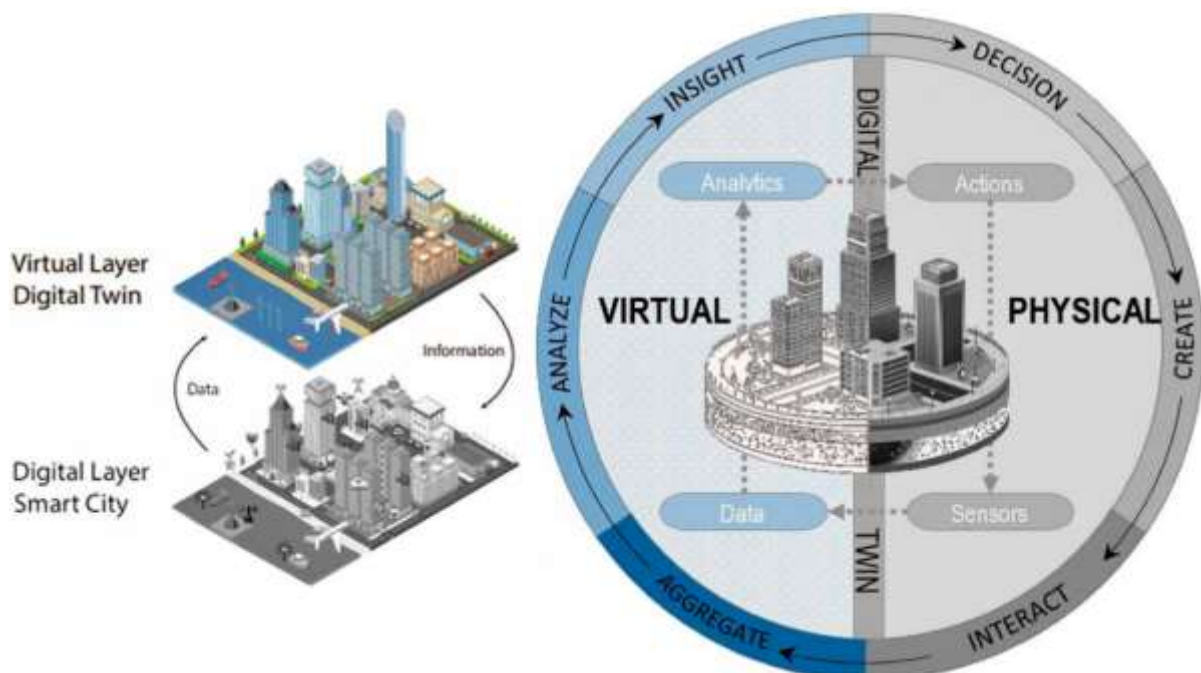
Ennek eredményeként egy helyi, illetve városi klímamodell jön létre, ami egy kifinomult grafikus felhasználói felülettel is rendelkezik és, amelyet arra terveztek, hogy támogassa a felhasználókat a szimulációs kísérletek elvégzésében és különböző forgatókönyvek feltárásában. A megszerzett ismereteket a várostervezők és a döntéshozók felhasználhatják döntéshozatali folyamataik során. A csapat ehhez szorosan együttműködik a kormányzati szervekkel, hogy feltárja az épületek, a közlekedés és az ipar által létrehozott hőhatásokat.

A több intézményt átfogó projektet a Singapore-ETH Központ vezeti, együttműködve a Szingapúri Menedzsment Egyetemmel (SMU), a Singapore-MIT Kutatási és Technológiai Szövetséggel (SMART), a TUMCREATE-vel (a Müncheneri Műszaki Egyetem alapította), a National University of Singapore (NUS) és Cambridge CARES intézményeivel. A Cooling Singapore kutatást a CREATE programja keretében a Szingapúri Nemzeti Kutatási Alapítvány, valamint a Miniszterelnöki Hivatal támogatja.



10. ábra. 3D-s városi digitális iker demonstrátor, amely 3D-s adatokat használ fel az infrastruktúra-tervezésben

Forrás: Singapore-ETH Centre



11. ábra. Egy intelligens (infokommunikációs megoldásokat alkalmazó) város lehetővé teszi az ikerváros kialakítását –integrál minden információt az adatérzékelőktől (fizikai-digitális modell) minden egyéb beérkező információkig, hogy a város és alrendszerei jobban alkalmazkodhassanak és reagáljanak a változásokra

Forrás: Caprari et al. 2022

A digitális iker technológiáról röviden

A várostérségek fejlődési kihívásainak kezelésében, elsősorban egy adott térségben az épített környezet, a különböző erőforrások és a szolgáltatások felhasználásának koordinációjához, a digitális ikrek koncepciója innovatív megoldást jelenthet.

A digitális iker egy fizikai tárgy, rendszer vagy környezet virtuális modelljeként definiálható, amely valós idejű adatokkal és számítási modellekkel van összekapcsolva, lehetővé téve annak viselkedésének és teljesítményének szimulációját, előrejelzését és optimalizálását (Grieves-Vickers, 2017). A digitális ikrek koncepcióját kezdetben a gyártó- és repülőgépiparban alkalmazták, olyan összetett rendszerek, mint a repülőgépmotorok ellenőrzésére és optimalizálására, majd az érzékelőtechnológia, a tárgyak internete (IoT) és az adatelemzés terén, a közelmúltban bekövetkezett fejlődés okán, egyre szélesebb kontextusban, többek között a városi környezetre is kiterjesztették alkalmazásukat. (Érdekesség, hogy maga az ikerkoncepció a NASA Apollo-programjához kapcsolódik, amikor a programban két egyforma űrjárművet építettek és a Földön maradt járművet nevezték el ikernek. A repülés során a cél az volt, hogy az űrjármű repülési körülményeit a lehető legpontosabban tükrözze az ikertestvére. Ekkor azonban az ikert hardveresen, nem pedig digitális formában valósították meg.)

A digitális ikrek elsődleges funkciója az, hogy a várostervezők, döntéshozók és a térség fejlődésében érdekelt szereplők a döntéshozatali folyamatok javítása érdekében jól hasznosítható információkat kapjanak. A digitális ikervárosok hatékonysága azon múlik, hogy a szereplők képesek-e feldolgozni, illetve rendelkeznek-e azon kapacitásokkal, hogy strukturáltan gyűjtsék és elemezzék a városi infrastruktúrába ágyazott érzékelők által gyűjtött hatalmas mennyiségű adatot. Ezen adatok származhatnak például közlekedési érzékelőkből, energiahálózatokból, időjárásmegfigyelő állomásokból vagy akár a közösségi médiából is, lehetővé téve egy következő lépésben különböző forgatókönyvek szimulálását. A digitális ikrek alkalmazások ez által segíthetnek a városi területek fejlesztésének irányításában, a problémák előrejelzésében és a nagyobb infrastrukturális rendszerek teljesítményének optimalizálásában. A digitális ikrek alkalmazásai döntő szerepet játszanak a városi infrastruktúra karbantartásában és irányításában. Az utakba, hidakba, vízrendszerekbe és épületekbe ágyazott IoT-érzékelők valós idejű adatainak integrálásával a digitális ikrek figyelemmel kísérhetik az infrastrukturális eszközök állapotát, és megjósolhatják, mikor van szükség karbantartásra. Ez a prediktív karbantartási képesség csökkenti a költségeket a katasztrofális meghibásodások megelőzésével és a kritikus infrastruktúra élettartamának meghosszabbításával (Zheng et al., 2019). A közlekedésirányításban például a digitális ikrek megoldások felhasználhatók a közlekedési minták elemzésére, lehetővé téve a városok számára a forgalomáramlás optimalizálását, a torlódások csökkentését és a tömegközlekedés hatékonyságának javítását. Az energiafogyasztási minták és a megújuló energiaforrások valós idejű adatainak integrálásával a digitális ikrek alkalmazása javítja az energiahatékonyságot. A városok ezt a technológiát a hálózati irányítás optimalizálására, az energiaigények előrejelzésére és a megújuló energia integrációjának előmozdítására is sikeresen használják.

Összességében a digitális ikrek megoldás alkalmazásával a döntéshozók valós idejű adatokkal, illetve fejlett előrejelzési módszerekkel hatékonyabban reagálhatnak a városi kihívásokra, optimálisabb erőforrásfelhasználást és ez által jelentős költségmegtakarítást érhetnek el. Vizuális jellege révén lehetővé teszi részben a városfejlesztésben – és tervezésben érdekelt, különböző szakmai háttérrel rendelkező szakértő hatékonyabb együttműködését, részben pedig a nyilvánosság részvételét, illetve képes növelni az átláthatóságot.

Ugyanakkor a digitális iker sikeres megvalósítását számos kihívás hátráltathatja. A várostérségekben a valós idejű adatok gyűjtése, majd tárolása és elemzése számos információbiztonsági és adatvédelmi kérdést vet fel. A digitális iker integrálása a városok meglévő információs rendszerébe, majd a döntéshozatali folyamatokba komoly technikai és szervezetfejlesztési kihívás. Hasonlóan az általános értelemben vett okos város megoldások alkalmazásához a digitális iker-városok létrehozása is rendkívül tökeigényes. Egyszerre kell ugyanis, hogy megvalósuljon a technológiai bázist képező szenzorok és adatgyűjtési eszközök telepítése, az adatok feldolgozásához szükséges alkalmazások és elemzési módszerek létrehozása, illetve az ezek működtetéséhez és fenntartásához szükséges kapacitások kialakítása és bevezetése. Emellett pedig az adatelemzés és a digitális technológiák területén képzett szakemberek hiánya szintén gátat szabhat ezen megoldások alkalmazásának.

6. Összegzés

Az okos város megoldások egyre fontosabb szerepet kapnak a fenntarthatósági kihívások kezelésében. A várostérségek környezeti problémái, például a jelentős szén-dioxid-kibocsátás, a magasabb vízfogyasztás és a hulladékkezelés komplex szakpolitikai intézkedéseket igényelnek. Ezen összetett rendszerek kezelésében az infokommunikációs és a formabontó vagy diszruptív technológiák, valamint az okos város eszközök integrálása a térségek működésébe és fenntartásába ígéretes eredményeket hozhat. Szemléletes példa erre Miskolc levegőtisztaság-mérési projektje vagy Monor energetikai fejlesztése, ahol valós idejű adatok alkalmazásával elérhetővé vált a szennyezés és az energiafogyasztás csökkentése, Újszilvás pedig körforgásos szemléletének stratégiai alapokon történő megvalósításával a megújuló energiaforrások települési szinten is hatékony használatát demonstrálja.

A bemutatott Cooling Singapore projekt külföldi példaként egy olyan multidiszciplináris kutatási programra hívja fel a figyelmet, amely a városi hőhatások kezelésének kihívásaira keres megoldásokat. Az adatmodellezés és a szimulációk segítségével, egy digitális ikerváros kialakításával a város tervezői és döntéshozói hatékonyabb döntéseket hozhatnak a városi klíma javítására.

A hazai sikeres, klíma adaptációt is elősegítő okos város projekteknek fontos közös jellemzője, a lakosság bevonása. Részben ez biztosítja, hogy a technológia által támogatott megoldások a helyi igényekhez illeszkedjenek, és valóban életminőség növelő tényezőként működhessenek. Emellett pedig ezzel is növelhető a társadalom okos megoldások iránti érzékenysége és a digitális megoldások egyre szélesebb társadalmi csoportok körében való alkalmazása.

Források

- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. 2015. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Batty, M. (2018) Artificial intelligence and smart cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(1), 3-6. <https://doi.org/10.1177/2399808317751169>
- Caprari G, Castelli G, Montuori M, Camardelli M, Malvezzi R. 2022. Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives. *Sustainability*. 2022; 14(10):6263. <https://doi.org/10.3390/su14106263>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. 2011. Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>

- Cardullo, P., & Kitchin, R. 2019. Smart urbanism and smart citizenship: The neoliberal logic of 'citizen-focused' smart cities in Europe. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 37(5), 813-830. <https://doi.org/10.1177/0263774X18806508>
- Enders, M., Hoßbach, N. 2019. Dimensions of Digital Twin Applications - A Literature Review. https://www.researchgate.net/publication/359715537_Dimensions_of_Digital_Twin_Applications_-_A_Literature_Review
- Eurostat, 2024. Municipal waste statistics https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics
- Farkas, S. (szerk.), 2024. Újszilvás: észszerű növekedés In: Somogyi-Farkas, Sára Digitális technológia a településfejlesztésben: Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon Kecskemét, Magyarország: Neumann János Egyetem (2024) Paper: 11.003 https://start.uni-neumann.hu/telemarket/kiadvanyok/2024-1/03_Farkas.pdf
- Farkas, S. (szerk.), 2024. Monor: egy élő városlaboratórium In: Somogyi-Farkas, Sára Digitális technológia a településfejlesztésben : Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon Kecskemét, Magyarország : Neumann János Egyetem (2024) Paper: 11.002 https://start.uni-neumann.hu/telemarket/kiadvanyok/2024-1/02_Farkas.pdf
- Gelencsér, I.; Tóbel, I. 2024. Energiaközösség DUNAKAVICS 12 : 10 pp. 53-62. , 10 p. (2024) http://dunakavics.uniduna.hu/Online_202410.pdf
- Gere, L., Kocsis, J. B. 2022. Az okos város-tervezés fejlődéstörténete kritikai megközelítésben in: TÉR ÉS TÁRSADALOM 36 : 4 pp. 108-129. , 22 p.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., Meijers, E. 2007. Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. Vienna University of Technology. https://www.researchgate.net/publication/261367640_Smart_cities_-_Ranking_of_European_medium-sized_cities
- Grieves, M., & Vickers, J. 2017. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary perspectives on complex systems* (pp. 85-113). Springer, Cham https://www.researchgate.net/profile/Michael-Grieves/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Un-desirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems/links/5aa54e1ea6fdccd544bc386f/Digital-Twin-Mitigating-Unpredictable-Undesirable-Emergent-Behavior-in-Complex-Systems.pdf
- Hämäläinen, M., 2020. Smart city development with digital twin technology. In: Pucihar, A. et al. (eds.), BLED eConference - Enabling Technology for a Sustainable Society. 33rd Bled eConference Enabling Technology for a Sustainable Society : June 28 -29, 2020, online. Maribor : University Press. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/11375/Osuva_H%C3%A4m%C3%A4l%C3%A4inen_2020.pdf?sequence=2
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & von Wimmersperg, U. 2000. The vision of a smart city. In *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop* (pp. 1-6). Paris: Citeseer. https://www.researchgate.net/publication/241977644_The_vision_of_a_smart_city
- Hollands, R. G. 2008. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303–320. <https://doi.org/10.1080/13604810802479126>
- HungAIRy LIFE integrált projekt <https://miskolc.pmmonitoring.hu/projekt>
- Kaposvár levegőjének tisztasága mindannyiunk közös feladata Levegőminőség javítása 8 régióban <https://kph.kaposvar.hu/data/dl/LIFE.pdf>
- Kitchin, R. 2014. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14. DOI:[10.1007/s10708-013-9516-8](https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8)
- Knowledge4Policy, 2020. Urbanisation in Europe https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/urbanisation-europe_en
- Lwasa, S., K.C. Seto, X. Bai, H. Blanco, K.R. Gurney, Ş. Kılıç, O. Lucon, J. Murakami, J. Pan, A. Sharifi, Y. Yamagata, 2022. Urban systems and other settlements. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.010 <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-8/>
- Magyar Természetvédők Szövetsége, Szolidáris Gazdaság Központ, EMLA Egyesület, 2021. Megújulóenergia-közösségek akadályai és lehetőségei Magyarországon https://transzformatorokozpont.hu/app/uploads/2023/01/Megujuloenergia-kozossegek_Ertekelo_tanulmany_MTVSZ-SZGK-EMLA_final.pdf

- Singapore-ETH Centre: Cooling Singapore Project <https://sec.ethz.ch/research/cs.html>
- Somogyi-Farkas, S., 2024. Az okos város kísérletező város CITY.HU: VÁROSTUDOMÁNYI SZEMLE 4 : 1 pp. 49-67. , 19 p. (2024)
- Somogyi-Farkas, S. (szerk.) 2024. Miskolc: a komplexitás kezelése In: Somogyi-Farkas, Sára Digitális technológia a településfejlesztésben : Interjúkötet az okostelepülések gyakorlatáról Magyarországon Kecskemét, Magyarország : Neumann János Egyetem (2024) Paper: 11.004 https://start.uni-neumann.hu/telemarket/kiadvanyok/2024-1/04_Farkas.pdf
- Szentpáli-Tóth, Á. 2022. Az energiaközösségek helyzete Magyarországon. Villamos energia: városok és energiaközösségek II. STRIDE projekt workshop Budapest, 2022. június 15. https://www.bayzoltan.hu/wp-content/uploads/2022/06/Szentp%C3%A1li-T%C3%B3th-%C3%81d%C3%A1m_2022.06.15.pdf
- Tao, Fei & Cheng, Jiangfeng & Qi, Qinglin & Zhang, Meng & Zhang, He & Sui, Fangyuan. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94. 10.1007/s00170-017-0233-1. DOI:[10.1007/s00170-017-0233-1](https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1)
- The World Bank Group, 2024. Urban population (% of total population) - European Union <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=EU>
- UN, 2024. Urban Energy <https://unhabitat.org/topic/urban-energy>
- Villamos energia belső piaci irányelv (EMD) <https://tudaster.kozenergia.hu/legislations/villamos-energia-iranyelv-emd/>
- Zheng, Y., Yang, S., Cheng, H. 2019. An application framework of digital twin and its case study. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 10. DOI: 10.1007/s12652-018-0911-3.