

**INCREASING ENERGY EFFICIENCY
WHILE MAINTAINING COMFORT:
EXAMINING COMPROMISES AND
ECONOMIC CONSIDERATIONS****ENERGETIKAI HATÉKONYSÁG NÖVELESE
A KOMFORT MEGTARTÁSA MELLETT:
KOMPROMISSZUMOK ÉS GAZDASÁGOSSÁGI
SZEMPONTOK VIZSGÁLATA**MÁRKOS Szilárd Attila¹**Abstract**

The aim of this study is to explore the extent to which energy efficiency can be increased in residential and smart buildings without reducing user comfort. Although numerous studies in various fields of building engineering have demonstrated significant energy-saving potential, they often apply optimizations that reduce user comfort. In contrast, this review seeks to identify the critical threshold at which comfort remains unchanged, while the system becomes more energy efficient. Energy suppliers using dynamic pricing offer significant financial incentives to consumers who are willing to make small changes to their consumption habits. Numerous studies show that smart home systems using artificial intelligence can achieve significant financial savings, and these processes take place automatically without users having to pay attention to them. The analysis can contribute to striking a balance between economic expectations and user needs.

Keywords

Efficiency, maintaining comfort level, savings, Demand response optimization

Absztrakt

A tanulmány célja annak feltárása, hogy milyen mértékben növelhető az energetikai hatékonyság lakó- és intelligens épületekben anélkül, hogy csökkenne a felhasználói komfort. Bár az épületgépészet különböző területein számos tanulmány mutat be jelentős energia-megtakarítási lehetőségeket, ezek gyakran olyan mértékű optimalizációt alkalmaznak, amelyekkel csökkentik a felhasználói komfortot. Jelen áttekintés ezzel szemben azt a kritikus határt keresi, ahol a komfort változatlan marad, miközben a rendszer energiahatékonyabbá válik. A dinamikus árazást alkalmazó energiaszolgáltatók jelentős anyagi ösztönzőket nyújtanak a fogyasztási szokásaikon kis mértékben változtatni hajlandó fogyasztóknak. Számos tanulmány bemutatja, hogy mesterséges intelligencia segítségével az okosothon rendszerekkel jelentős anyagi megtakarítás érhető el, ezek a folyamatok automatikusan zajlanak, anélkül, hogy a felhasználóknak figyelmet kellene erre fordítaniuk. Az elemzés hozzájárulhat a gazdaságossági elvárások és felhasználói igények közötti egyensúly megteremtéséhez.

Kulcsszavak

Hatékonyságnövelés, komfortmegőrzés, megtakarítás, keresletválasz optimalizáció

¹ markos.szilard@bgk.uni-obuda.hu | ORCID: 0009-0007-1044-6099 | university intern, Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering | egyetemi gyakornok, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

BEVEZETÉS – AZ OKOSOTTHON-TECHNOLÓGIÁK TÉRNYERÉSE

Az aktuális trendek azt mutatják, hogy az okosotthonok térnyerése egyre szélesebb körű a modern világban. Az Internet of Things (IoT) azaz a dolgok internete megjelenése óta lehetőség nyílt a különböző okosotthon eszközök központi vezérlésére, felügyeletére és valós idejű monitorozására. Ezen eszközök elsősorban okostelefonokon és táblagépeken keresztül vezérelhetők, de lehetőség van számítógépen és egyéb (okos kapcsoló, termosztát, központi vezérlő egység, stb.) perifériákon keresztül irányítani az eszközöket. Az emberi beavatkozások volumenének csökkentésével növelhető a felhasználói komfort, ami az okosotthon rendszerek vezérlésében megjelenő mesterséges intelligencia segítségével érhető el. A felhasználóknak vannak szokásaik és különböző sémák szerint élnek ezért a klasszikus „jelenetekkel” beavatkozás nélkül viszonylag jól elérhetőek a kívánt körülmények, azonban mindig akad egy-két a szokásostól forgatókönyvtől eltérő igény, amit a mesterséges intelligencia (AI) felhasználó monitorozásából kinyert adatok segítségével ki tud szolgálni, oly módon, hogy döntéseket tud hozni és megtenni a szükséges beavatkozásokat. Az okosotthonok potenciálja a technológia egyre szélesebb körű elterjedésével markánsan emelkedik.

Az okosotthon rendszerek az élet több területén is javítják az életminőséget, fokozzák a komfortot azáltal, hogy önműködően szabályozzák a szellőztetést a belső levegő minőség függvényében, így megfelelő gázösszetételű, VOC (formaldehid) mentes, porszűrt levegő lesz a lakásban és ezzel a rendszerrel elkerülhető a túlszellőztetés, ezáltal csökkentve az energiaveszteséget.[25] Továbbá időjárás követő módon szabályozzák a fűtést-hűtést, fényérzékelő alkalmazásával a belső megvilágítás konstans fényerősségre állítható a természetes megvilágítástól függetlenül. Vezérlik a különböző árnyékolókat (redőnyök, zsaluziák, fényvédő rolók stb.) ezáltal tudják szabályozni a szoláris nyereséget/vesztességet, ami kedvező energetikai szempontból és a mesterséges megvilágítás is csökkenthető. Hatással vannak a hideg és melegvíz hálózatra is, a cirkulációs meleg vízhálózat csak akkor üzemel amikor a mozgásérzékelők az ingatlanban aktivitást érzékelnek ezáltal energia spórolható a komfort megtartása mellett. A körvezetékes hidegvíz rendszer automatikus előre meghatározott időközönkénti öblítését is elvégzi az okosotthon rendszer ezáltal biztosítható a higiénikus ivóvíz. Nem utolsó sorban a fenntarthatóság iránt elkötelezett emberek igényeit is kielégíti.

PIACI KILÁTÁSOK ÉS NÖVEKEDÉSI TRENDK

A globális intelligens otthoni eszközök piaca 2024-ben elérte a 150 milliárd USD-t, és a jelenlegi előrejelzések szerint ez az érték 2025-re 165 milliárdra, 2034-re pedig 360 milliárd dollárra emelkedik. A 2019–2034 közötti időszakra vetített összetett éves növekedési ráta (CAGR) 9,11%-os dinamikát jelez.[22]

A piaci növekedés legfőbb hajtóereje az elköteleződés a környezettudatos megoldások irányába, a személyes komfort növelése és a gazdaságos üzemeltetés igénye. Ezt a folyamatot tovább erősíti a különböző országok energetikai szolgáltatói által kialakított árazás, ami premizálja az energiatermelés szempontjából völgy időszakba eső fogyasztást. A végfelhasználói energia fogyasztás mintázat amplitúdójának csökkentése érdekében számos szolgáltató olyan kedvező díjazást szab a völgyidőszaki energiafelhasználás serkentésére, hogy a megfelelő arányú a korábbinál magasabb fogyasztás esetében is kevesebbet kell fi-

zetnie a felhasználónak. Az okosotthonok kialakítása után nem jellemző az energia szükséglet növekedése, mivel ezen rendszerek hatékonysága jelentősen meghaladja a korábbi rendszer hatékonyságát. A szolgáltatóknak annak ellenére gazdaságos ez a díjszabás, hogy úgy tűnik fajlagosan kevesebb a bevételük, ugyan-is nem képesek valós időben szabályozni a termelésüket, így a megtermelt energia jelentős része veszteséggé alakulna, és egy ilyen díjszabással ezt az energiát tudják a hálózatba táplálni, és ezzel a teljes energiárfordítás jóval alacsonyabban tartható.

Az Egyesült Államokban a háztartások 70%-a rendelkezik legalább egy okosotthon-eszközzel, szemben a 2018-as 33%-os aránnyal, ami jelentős előrelépést eredményez az okosotthonok összekapcsolásában és az okosvárosok kialakításának irányába. A Statista előrejelzése szerint 2025-re a világon működő intelligens otthoni eszközök száma meghaladja az 1,5 milliárdot – ez a szám egyértelmű indikátora a kereslet folyamatos növekedésének.[22]

Az okosotthon-technológia bevezetésének motivációi

Az okosotthon rendszerek alkalmazásának számos motivációja lehet, azonban csoportosítás szempontjából ezeket négy egymástól jól elkülönülő területre oszthatóak:

Hatékony energiagazdálkodás

Az első motiváció az energiahatékonysághoz kapcsolódik. Az okosotthonok nagy potenciállal rendelkeznek a háztartási energiafelhasználás ütemezése és csökkentése szempontjából, ezzel nagy mértékben hozzájárulva a szén-dioxid kibocsátás visszaszorításához [6],[7],[8]. Az integrált okoseszközök monitorozása és az eredmények vizualizálása lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy különböző szokásaihoz költség vonzatot rendeljen. Az egyes tevékenységek vagy szokásokhoz tartozó költségek tudatában lehetőségük van megváltoztatni szokásaikat, hogy kényelem megtartása mellett energiát takarítsanak meg [6],[9],[11].

Ezek a technológiák fontos szerepet játszanak a kereslet oldali szabályozásban, mivel lehetővé teszik a háztartások és az energia szolgáltatók közötti adatcserét. Ez hozzájárul a fogyasztási szokások optimalizálásához és az energiatermelés tervezhetőbb időzítéséhez.

A környezettudatosság igénye egyre jobban megmutatkozik az emberek hozzáállásában. Olyan okosotthon eszközöket vásárlását részesítik előnyben, amivel energiát takaríthatnak meg és közben még az otthonuk komfortját is képesek emelni. Azt, hogy ez a megtakarítás mekkora mértékű lesz, előre nem lehet megmondani, mivel minden környezet eltér egymástól és az épület energetikájának és perifériáinak ismerete nélkül erre nincs lehetőség.

Az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma szerint az energiahatékony eszközök jelentősen csökkenthetik a háztartások energiafogyasztását, ami 10% és 50% közötti megtakarítást eredményezhet az energiaszámlákon. [22]A statisztikai adatok alapján megállapítható, hogy bármilyen okosotthon eszköz, aminek fókuszában az energia megtakarítás áll, rendkívül rövid megtérülési idővel rendelkezik, még abban az esetben is, ha az energia szolgáltatási árazás nem sávós. Ha az árazás differenciált, akkor a megtérülési idő tovább apad. A kormányzati támogatások és ösztönző intézkedések elősegítik a technológia egyre szélesebb körben történő elterjedését.

A szabályozó szervek döntő szerepet töltenek be az energiahatékonysági szabványok lefektetésében és érvényesítésében. A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) ösztönzi

a gyártókat az innovációra és hozzájárul a szabályozási követelmények fokozatos szigorításához, ami növeli a versenyt a piaci résztvevők között. A technológiai fejlődés és a fogyasztók környezettudatosságának erősödése várhatóan tovább fokozza az okosotthon eszközök és rendszerek iránti keresletet. [22]

Jobb otthoni egészségügyi szolgáltatások

A második motiváció az egészségügyi szolgáltatások fejlesztése. Az idősödő fejlett társadalmakban egyre nagyobb kihívást jelent az idősök saját otthonukban történő gondozása. A mesterséges intelligenciával támogatott okosotthon rendszerek képesek monitorozni a felhasználók igényeit és megtenni a szükséges beavatkozásokat, mielőtt az adott személy valamilyen periférián keresztül felülírná a szokásos forgatókönyvet az aktuális igényi kielégítése céljából. Ennek kiemelt nagy jelentősége van az idősök és a testi vagy szellemi fogyatékkal élők számára, akik nem biztos, hogy saját erőből be tudnának avatkozni az adott jelenet lefutásába. [16][17] Ez különösen előnyös az idősök számára, mert az okos egészségügyi funkciók nagymértékben hozzájárulnak az önállóság hosszabb fenntartásához. Ezzel javítva az életminőséget és megőrizve annak a lehetőségét, hogy rosszabb egészségi állapotban is a jól megszokott, ismert környezetben maradjon. Egészségügyi probléma esetén riaszthatja az előre beállított kontakt személyt, így szükség esetén a segítség időben érkezhet. [13][14][15][17]

Pénzügyi megtakarítás és gazdasági előnyök

A harmadik motiváció a pénzügyi megtakarításokhoz és előnyökhöz kapcsolódik. A technológia lehetővé teszi, hogy akár minden a hálózatba integrált eszköz fogyasztását valós időben monitorozzuk és azt különböző szemléltetési módokon a felhasználó elé tárjuk. Az egyes folyamatokhoz, szokásokhoz tartozó költség vonzat ismeretében a felhasználó képes változtatni szokásain, finomhangolhatja a rendszere beállításait, például a sávos energia árazás esetében optimalizálhatja a fogyasztási görbét, módosíthat a fűtésvezérlő beállításain, új árnyékolás technikai beállításokat eszközölhet [9][11][19][18]. Csak néhány példát emeltem ki, azonban a megtakarításokra számtalan lehetőség kínálkozik. Ezen finomhangolások az ésszerű kereteken belül tartva is jelentős megtakarításokat eredményezhetnek, miközben a felhasználó komfortja nem sérül. Számos tanulmány keresi a megtakarítási maximumot, azonban ehhez olyan beállítások szükségesek, amik drasztikusan rontják a felhasználók életkörülményeit, ilyenkor a költségcsökkentés jellemzően többszöröse, mint a komfortérzet megtartása mellett.

Javított életminőség/növekvő kényelem

Végül, de nem utolsósorban, az okosotthon-technológiák hozzájárulnak a felhasználók életminőségének javításához. Az okosotthon technológiák elterjedésével egyre több eszköz vezérelhető direkt módon. Korábban például egy kávéfőző az áramellátás kapcsolásával volt indítható és megállítható, azonban napjainkra elértünk oda, hogy egyre több készüléket közvetlenül tudunk vezérelni, ami egy jóval szofisztikáltabb működtetést tesz lehetővé [7][9][21]. A mesterséges intelligencia terjedése is nagy mértékben növeli a kényelmet azáltal, hogy minimálisra csökkenti a felhasználói beavatkozások szükségességét. Rengeteg fejlődési potenciál van még az AI vezérelt okosotthonok működtetésében, ami a generatív algoritmusok alkalmazása révén rohamosan fejlődik [20].

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Egyszerűbb okosotthon eszközök használatának hatása

A világméretű villamos energia ellátási problémák tovább fokozzák az energiahatékonysági, fentarthatósági törekvéseket. Az energia generálási deficit több dologra vezethető vissza. Egyrészt a megnövekedett ipari energia igény, másrészt a megújuló energiát hasznosító energiatermelés várakozásoktól elmaradó térnyerése, és a hagyományos erőművek visszaszorítása. Ezért egyre nagyobb hangsúlyt kap a háztartási energiafelhasználás mérséklése, melyben a fogyasztó kényelmének megőrzése mellett csak az okosotthon technológia képes jelentős eredményeket elérni. A következőkben bemutatott példák különböző földrajzi, társadalmi és technológiai kontextusban mutatja be a rendszerek hatékonyságát.

Ukpene és szerzőtársai [2] által készített tanulmányban a szerzők az okosotthon-technológiák bevezetésének hatását vizsgálták a nigériai otthonok energiafogyasztása, költségcsökkentése és környezeti előnyei szempontjából. Öt nagyobb nigériai városban (Lagosban, Abujában, Kanóban, Port Harcourtban és Enuguban) található okosotthonban gyűjtötték az elemzéshez szükséges adatokat. Az okosotthon rendszerek elemeit, mint például okos termosztátok, világítási rendszerek, fogyasztásmérők stb. a következő kategóriák alapján értékelték: Energiamegtakarítás (%), CO₂ kibocsátás csökkenés és havi költség (NGN). Ebben a tanulmányban azt mutatják be, hogy egy hagyományos élettér okosotthonná alakítása milyen változásokat eredményez az energia igény és a gazdaságosság területén. Mérések alapján a modernizált otthonok energia fogyasztása jellemzően 15-25%-kal visszaesett az átalakítás előtti eredményekhez képest. A fogyasztáscsökkenés nem csak a modernizáció mértékétől függ, hasonlóan nagy jelentősége van annak, hogy az átalakítás előtt milyen volt a kiindulási állapot és hogy az épület milyen energetikai jellemzőkkel rendelkezik. Ebben a tanulmányban a megtakarítást nem a kereslet válasz vagy a fogyasztói szokások változása adta, hanem az, hogy egy okos termosztát segítségével csak akkor szükséges adott hőmérsékleten tartani a lakást, amikor a lakók otthon tartózkodnak, illetve időzíthető konnektorokkal manuálisan be lehet állítani a háztartási gépek üzemidejét, ezzel csökkentve a készenléti fogyasztást. A tanulmány bemutatja, hogy háztartásonként havi 4000 Nigériai naira (~1000 Forint) megtakarítás érhető el, és háztartásonként az éves CO₂ kibocsátás 500-700 kg-mal csökken, ami számottevő környezeti előnnyel jár.

Malysheva és társai [4] a tanulmányában részletesen megvizsgálta az intelligens otthoni technológiák energiahatékonyságát különböző energiahatékonysági beállítások mellett.

Választottak egy alkalmas lakást, amelyet felszereltek okosotthon eszközökkel például napelemek, energia menedzsment rendszer, világítás vezérlés, okos termosztátok, okos energia fogyasztás mérők, és egyéb okos eszközök. Minden okos és nem okos fogyasztó elé okos fogyasztásmérőt kötöttek, így mérni tudták az eszközök valós idejű energia fogyasztását. Valós mérési körülmények reprodukálása érdekében, a rendszert valós otthoni környezetben kezdték el használni.

A mérések spektruma túlmutatott az energiafelhasználás mérésén, kiterjedt egészen a felhasználói interakciók figyeléséig. A rendszert úgy állították be, hogy előre meghatározott diszkrét időközönként (15 percenként) rögzítsen mérési eredményeket. Különböző eseteket vizsgáltak, két különböző beállítást alkalmaztak, először mértek a standard és utána az energiahatékonyságra optimalizált beállításokkal.

A hőmérséklet szabályozás hatékonyságának megítélése érdekében, feljegyezték a külső, a belső és az okos termosztáton beállított hőmérsékleteket egyaránt.

A kutatási eredmények kiértékelése után az alábbi összefüggéseket állapították meg, az okosotthon technológiák energiahatékonyságával kapcsolatban.:

1. Az okos készülékek energia fogyasztásának mérésénél megállapították, hogy jelentős 10-15%-os átlagos megtakarítás érhető el a teljesítmény és a komfort feláldozása nélkül.
2. A hőmérséklet szabályozással sikerült elérni, hogy a lakókörnyezet hőmérsékletét átlagosan 1°C-kal lehessen csökkenteni. Ezt úgy érték el, hogy komfortosnak tartott hőmérsékletet akkora érje el a lakás, amikor a felhasználó megérkezett az otthonába, és addig tartották ameddig el nem ment otthonról. A köztes időszakban engedték csökkenni a külső és a belső hőmérséklet közötti különbséget. Továbbá a fűtési görbéket a külső hőmérséklet változásához tudták igazítani.
3. Olyan szinergiákat figyeltek meg az intelligens eszközök kombinálásával, amely lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy tovább növelje az energiamegtakarítás mértékét.

Keresletoldali válasz optimalizálás okoseszközökkel

Keresletoldali válasz (Demand Response) és szerepe az intelligens otthonokban

A keresletoldali válasz (Demand Response, DR) olyan szabályozási és technológiai megközelítések összességét jelenti, amelyek lehetővé teszik a fogyasztók számára, hogy energiafogyasztásukat tudatosan a piaci árak, hálózati terhelések vagy egyéb ösztönzők függvényében alakítsák. A DR célja a villamosenergia-kereslet és -kínálat kiegyensúlyozása, különösen csúcsidőszakokban, ezzel növelve a hálózat megbízhatóságát és stabilitását.[23]

Az okosotthon rendszerek optimális terepet biztosítanak a keresletoldali válasz szabályozás alkalmazására, mivel számos érzékelővel és különböző aktuátorokkal vannak felszerelve, így valós időben képesek reagálni az aktuális energia árazásra.

A DR programok típusai

A DR programok csoportosítása a különböző szabályozási célok szerint az alábbi kategóriákba rendezhetők.:

1. Időalapú díjszabás: A szolgáltatók a sávós árazással ösztönzik a felhasználókat, hogy fogyasztásuk minél nagyobb arányban a kedvezőbb díjszabású időszakban jegegyezzenek. Ezt leginkább a háztartási készülékek automatizált ütemezésével képesek elérni.
2. Kapacitáspiac-alapú jutalmazás: Amennyiben egy adott időszakban a fogyasztás egy bizonyos szint alá csökken, akkor a fogyasztók kedvezményeket kapnak. Ezzel az intézkedéssel a hálózati csúcsfogyasztás csökkentése a cél.
3. Vészhelyzeti keresletoldali válasz: A rendszerbiztonság szempontjából kiemelten fontos, hogy az előre nem látható hálózati vészhelyzetek estén a felhasználók válaszként csökkentsék a fogyasztásukat. [24]

Optimalizáció változó árazás esetén

Yantai Huang és munkatársai[5] egy olyan koncepciót dolgoztak ki, amivel az egyes okosotthon készülékek vezérlését nem külön-külön kezeli, hanem összhangban így

működésük egy közös optimalizált terv szerint zajlik. Ezáltal valós időben az árazás függvényében módosítja a vezérlési sémát. A kutatócsoport a feladat megoldására egy összetett vegyes diszkrét-folytonos nemlineáris modellt alkotott, majd erre építve egy új algoritmust terveztek. A szimulációk eredményei meggyőzőek voltak, az algoritmus képes volt a pillanatnyi árakhoz igazítani a modellt és ezáltal jelentős 15,1%-os energia megtakarítást értek el vele. A komfort megőrzésének érdekében olyan változókat vezettek be, mint a felhasználó számára komfortos működési intervallumokat, amivel kijelölhető az az időszak amikor az adott berendezést használni kívánja, valamint felhasználói célarat.

Izviye Fatima Tepe és Erdal Irmak [2] tanulmánya egy valós idejű kereslet válasz stratégiát alkalmaz, a háztartási készülékek energia fogyasztásának napon belüli optimálisabb eloszlásának érdekében. Ezzel fenntartva az egyensúlyt a villamos energiatermelés és fogyasztás között. Törökországban ez a folyamat úgy néz ki, hogy a végfelhasználók önként csökkentik az energia fogyasztásukat, és ezzel jelentős anyagi megtakarításhoz jutnak.

A tanulmányban alkalmazott stratégia az aktuális áramárakat beépíti a modellbe és a korábban megfigyelt tevékenységek, fogyasztási minták és a háztartási gépek üzem idejének ismeretében úgy időzíti a különböző háztartási eszközök működését, hogy a lehető legköltséghatékonyabb időszakba essen. A vezérlési stratégia továbbá figyelembe veszi a felhasználó által meghatározott kezdést és befejezést, hogy a teljes üzemidő ezen preferált időszakon belül legyen. A fuzzy logikára épülő modell dinamikusan alkalmazkodik a fogyasztói szokások változásához a keresletoldali válasz hatékonyságának növelése és a gazdasági maximalizálásának érdekében. Ez az irányítási koncepció úgy képes optimális döntéseket hozni és ezek alapján beavatkozni, hogy figyelembe veszi a valós idejű árképzést a dinamikus díjszabást és az emelkedő blokkos tarifákat.

A szimulációs eredmények azt mutatják, hogy a megtakarítás mértéke a komfortérzet csökkenésével nő. A megtakarítás maximalizálásának érdekében az első mérésnél a felhasználói komfort csökkentésével 38%-os megtakarítás érhető el. Ez a hozzáállás nem életszerű, hiszen a komfort megtartása nem opció, hanem alapkövetelmény, ennek ellenére ez a mérés kiváló referenciaként szolgál a második méréshez, ahol a cél a komfort megtartása melletti hatékony költségcsökkentés volt, így is jelentős a megtakarítási volumen akár elérheti a 29%-ot.

Amjad Anvari-Moghaddam és munkatársai tanulmányukban[1] egy Sydney-ben található alacsony energia igényű egyzónás házban végeztek méréseket. Két koncepciót dolgoztak ki külön a fűtésre és külön a hűtésre, az elv azonos volt, de a bemeneti paraméterek eltértek, mint például a valós idejű áramár, szoláris nyereség/vesztesség és a kültéri hőmérséklet.

Egy olyan nemlineáris programozási modellt fejlesztettek (MO-MINLP) aminél a felhasználói kényelem és az optimalizált energiafelhasználás egyszerre valósul meg.

Három különböző scenáriót dolgoztak ki: alap, normál, és az intelligens. Az alap forgatókönyv esetén a háztartás nem rendelkezik okos eszközökkel, nem képes figyelni és reagálni a valós idejű energiaárak alakulására. A háztartási eszközöket a felhasználó indítja és a beltér hőmérsékletét egy klasszikus termosztáttal tartja a komfortzónán belül.

A normál szabályozó nem tekinti célnak a felhasználó preferenciáit. A szabályzás fókuszába a költségek csökkentése áll, a valós idejű energia árak ismeretében tervezi meg,

árváltozás estén módosítja a különböző eszközök működési idejének ütemezését. A szabályozó igyekszik a beltér hőmérsékletét a kívánt értéken tartani.

Az intelligens vezérlő egy teljes funkcionalitású okosotthonra épít és megoldja a komplex optimalizálási feladatot. A szabályzó az előre beállított hőmérsékletet kedvező költség vonzat mellett pontosan tartja, és elvégzi a feladatütemezést az egyéb eszközökkel kapcsolatban, amivel nem csak a komfortot növeli, hanem hozzájárul a még gazdaságosabb üzemeltetéshez.

A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy az intelligens vezérlő meggyőző eredményeket mutat a másik két megoldással szemben. A hűtési hatékonyság 55%-kal nőtt az alap scenárióhoz képest és 25%-kal a normálhoz képest. A fűtési hatékonyság 63%-kal nőtt az alapesethez képest és 38%-kal a normálhoz képest. Megfigyelhető, hogy az intelligens és a normál szabályzó eredményei jóval közelebb állnak egymáshoz és jelentős megtakarítást érnek az alapeset eredményeivel szemben. A termikus komfort szempontjából a három szabályzó megközelítőleg azonos eredményt érnek el, azonban a normál szabályzó nem tud teljes mértékben megfelelni a felhasználó feladatütemezési preferenciáinak. A mérések eredményéből jól látható, hogy bár a vezérlési alapelv azonos, így is jelentős eltérés van a fűtési és a hűtési hatásfok között. A különbséget elsősorban a szoláris nyereség és veszteség hatásából ered. Nyáron a napenergia nem csak az üvegfelületeken keresztül jut be az épületbe, hanem a tetőn és a falakon keresztül is, ami rontja a hűtési hatékonyságot. Télen a napenergia az üvegfelületeken keresztül fűti a belteret, ami energetikai szempontból kedvező.

A passzív házak tervezéséhez használt szoftverek pont ezen okok miatt nagy jelentőséget tulajdonítanak az épületek megfelelő tájolására, és a nyílászárók méretének elhelyezkedésének és árnyékolásának megtervezésére. A gondosan megtervezett épület tető túlnyúlásai a nyári melegben amikor a nap magasán jár, árnyékol és nem engedi, hogy az üvegfelületek közvetlen napsütésnek legyenek kitéve, viszont télen amikor a nap alacsonyban jár, akkor lehetővé teszi, hogy az üvegfelületeket süssse a nap, ezzel a kialakítással aktív árnyékoló nélkül is hatékonyan maximalizálja a szoláris nyereséget és minimalizálja a veszteséget.

KONKLÚZIÓ

A különböző vizsgálatok eredményei megerősítik, hogy az okosotthon vezérléssel milyen jelentős eredmények érhetők el az otthoni energiafelhasználás területén. Az optimalizálásra használt modellek rávilágítottak arra, hogy a felhasználói komfort és az energia megtakarítás nem egymást kizáró tényezők, hanem jól hangolt vezérléssel egyszerre is kompromisszum nélkül biztosíthatók.

A bemutatott tanulmányoknál mért megtakarítások mértéke a komfort megtartása mellett 15-38% között szór. Ez egy rendkívül széles tartomány, ami nem teszi lehetővé a különböző modellek eredményességének összehasonlíthatóságát. Az ilyen mértékű különbség egy részét valószínűsíthetően a kiindulási állapot és a hozzá tartozó komfortkülönbség okozza. A korábban bemutatott esettanulmányokban a helyi energia szolgáltató sávós vagy dinamikus árazást alkalmazott, így a gazdasági megtakarítás még jelentősebb. Amennyiben a szolgáltató egységárat állapít meg, akkor a megtakarítás mértéke szerényebb lesz. Egy ilyen okosotthon beruházás megtérülési ideje, még a kedvezőtlenebb esettel is számolva igen rövid.

Az intelligens szabályozók nem csupán technológiai innovációk, hanem eszközök egy fenntarthatóbb, kényelmesebb és hatékonyabb energiafelhasználás felé vezető úton. Ezek a technológiák várhatóan egyre nagyobb szerepet kapnak a modern épület üzemeltetésben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. Anvari-Moghaddam, H. Monsef, A. Rahimi-Kian (2015). Optimal Smart Home Energy Management Considering Energy Saving and a Comfortable Lifestyle. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 6. 324-332.
- [2] Tepe, İ.F., Irmak, E. Optimizing real-time demand response in smart homes through fuzzy-based energy management and control system. *Electr Eng* 107, 2121–2145 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00202-024-02613-3>
- [3] P. Ukpene & T. Apaokueze.(2024). The Impact of Smart Home Technologies on Energy Efficiency, Cost Savings, and Environmental Benefits. *Journal of Energy Engineering and Thermodynamics*. 4. 21-32. 10.55529/jeet.44.21.32.
- [4] A. A. Malysheva, B. Rawat, N. Singh, P. Chandra, Jena, Kapil (2024) Energy Efficiency Assessment in Smart Homes: A Comparative Study of Energy Efficiency Tests *BIO Web of Conferences* 86, 01083 (2024) <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20248601083>
- [5] Huang Y,Wang L, Kang Q,Wu Q (2016) Model predictive control based demand response for optimization of residential energy consumption. *Electr Power Compon Syst* 44(10):1177–1187. <https://doi.org/10.1080/15325008.2016.1156787>
- [6] M. Ringel, R. Laidi, D. Djenouri, Multiple benefits through smart home energy management solutions, *Energies* 12 (8) (2019) 1537.
- [7] C. Wilson, T. Hargreaves, R. Hauxwell-Baldwin, Smart homes and their users, *Pers. Ubiquit. Comput.* 19 (2) (2015) 463–476.
- [8] C. Vlachokostas, Smart buildings need smart consumers, *Int. J. Sustain. Energy* 39 (2020) 648–658.
- [9] C. Chen, X. Xu, J. Adams, J. Brannon, F. Li, A. Walzem, When east meets west, *Energy Res. Social Sci.* 69 (2020), 101616.
- [10] B. Sovacool, D. Furszyfer Del Rio, Smart home technologies in Europe, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 120 (2020), 109663.
- [11] A. Zaidan, B. Zaidan, A review on intelligent process for smart home applications based on IoT, *Artif. Intell. Rev.* 53 (1) (2020) 141–165.
- [12] X. Fan, B. Qiu, Y. Liu, H. Zhu, Bochong Han, Energy visualization for smart home, *Energy Procedia* 105 (2017) 2545–2548.
- [13] D. Choi, H. Choi, D. Shon, Future changes to smart home based on AAL healthcare service, *J. Asian Architecture Build. Eng.* 18 (3) (2019) 190–199.
- [14] T. Kadylak, S. R. Cotten, United States older adults' willingness to use emerging technologies, *Inf., Commun. Society* 23 (5) (2020) 736–750..
- [15] S. Arthanat, H. Chang, J. Wilcox, Determinants of information communication and smart home automation technology adoption for aging-in-place, *J. Enabling Technol.* 14 (2) (2020) 73–86.
- [16] A. Sanchez-Comas, K. Synnes, J. Hallberg, Hardware for recognition of human activities, *Sensors* 20 (15) (2020) 4227.

- [17] R. Basatneh, B. Najafi, D. Armstrong, Health sensors, smart home devices, and the internet of medical things, *J. Diabetes Sci. Technol.* 12 (3) (2018) 577–586.
- [18] Mussab Alaa, A.A. Zaidan, B.B. Zaidan, Mohammed Talal, M.L.M. Kiah, A review of smart home applications based on Internet of Things, *J. Network Comput. Appl.* 97 (2017) 48–65
- [19] S. Cockbill, V. Mitchell, A. May, Householders as designers? *Energy Res. Social Sci.* 69 (2020), 101615.
- [20] E. Lutolli, S.L. Vrhovec, Adoption of smarthome devices: Blinded by benefits, ignoring the dangers? *Elektrotehniski Vestnik* 86 (5) (2019) 267–273
- [21] Y. Strengers, L. Nicholls, Convenience and energy consumption in the smart home of the future, *Energy Res. Social Sci.* 32 (2017) 86–93
- [22] A.Gupta: Smart Home Device Market Research Report: By Product Type (Smart Lighting, Smart Security Systems, Smart Thermostats, Smart Appliances, Smart Home Hubs), By Technology (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Thread), By Application (Security, Energy Management, Home Automation, Healthcare, Entertainment), By End Use (Residential, Commercial, Industrial) and By Regional (North America, Europe, South America, Asia Pacific, Middle East and Africa) - Forecast to 2035 Source: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/smart-home-device-market-8043> - Letöltve: 2025.08.01.
- [23] <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response> Letöltve: 2025.08.01.
- [24] <https://www.energy.gov/oe/demand-response> Letöltve: 2025.08.01.
- [25] C. Kollár, C. Kollár, T. I. Kakusziné, J. Bencsik, B. M. Rákóczi, R. Sánta, E. Szűcs, and G. Szűcs, *Domotika 1. Kolozsvár: Koinónia Kiadó, 2023.*