

**APPEARANCE OF THE END USER
NEEDS ABOUT THE ENERGY CONSUMPTION
EFFICIENCY AND RELIABILITY OF
THE PRODUCT****VÉGELHASZNÁLÓI IGÉNYEK MEGJELENÉSE
AZ ENERGIAFELHASZNÁLÁS HATÉKONYSÁGÁNAK
ÉS A TERMÉK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK
NÖVELESE ÉRDEKÉBEN**BESZÉDES Bertalan¹**Abstract**

My study, which deals with domestic and foreign sources, aims to present the development possibilities of technical equipment used in industrial and civil fields, from the point of view of energy efficiency. Following the introduction of the topic, I will write about the emerging needs of end users and then I will present the results of a questionnaire-based needs survey. In a separate sub-chapter I deal with the user-traceable and user-controllable modes of operation of the technical equipment and the possibilities of cost-effective feasibility. At the end of my study, after summarizing the results, I discuss the centralized energy use controlling.

Keywords

energy efficiency, reliability, lifetime, maintainability, serviceability, traceability, modularity

Absztrakt

Hazai és külföldi forrásokat feldolgozó tanulmányom célja, hogy az ipari és polgári területen használt műszaki berendezések fejlesztési lehetőségeit mutassam be, az energiahatékonyság szempontjából. A téma bevezetését követően a végfelhasználók újonnan megjelenő igényeiről írok, majd ismertetem egy kérdőív alapú igényfelmérés eredményeit. Külön alfejezetben foglalkozom a műszaki berendezések felhasználó által monitorozható és befolyásolható működési módjaival és a költséghatékony megvalósíthatóság lehetőségeivel. Tanulmányom zárásaként az eredmények összefoglalása után a központosított energiahatékonyság felügyeletéről értekezem.

Kulcsszavak

energiahatékonyság, megbízhatóság, élettartam, karbantarthatóság, szervizelhetőség, monitorozhatóság, modularitás

¹ beszedes.bertalan@amk.uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-9350-1802 | assistant lecturer/egyetemi tanársegéd | Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

BEVEZETÉS

A 21. század globalizált gazdasága számtalan olcsó termékkel árasztja el a világot. Számos az említett termékek közül folyamatosan csökkenő minőségű és élettartamú. Sokak számára értelmetlen ez a nagy mértékű fogyasztás, mivel a bolygónk erőforrásai végesek. Valahol mind érezzük, hogy ez messze nem helyes. A jelen társadalom fényűző homlokzata mögött idő előtt leselejtezett eszközök által alkotott szeméthalmok tömege rejlik.

Miért van az, hogy az egykor drága státusszimbólumok meghibásodás okán a roncs-telepen végzik? Miért van az, hogy az új még fel nem használt alapanyagok a szemételepen végzik? Vajon mennyi alapanyag és energiaráfordításba került az előállításuk. A kérdésekre a válasz érkezhethet egy kérdés formájában is: Vajon meddig folytatható ez a pazarló gyakorlat? Ideje újragondolni a korszerű energiafelhasználással kapcsolatos általános megközelítést.

Megváltoztatni a jelenlegi gazdasági működést igen nehéz, de lehetőséget javasolni az erőforrások egy opcionális felhasználási módjára igen hasznos. Számos felhasználó szívesen áldozna fel az általuk használt eszköz teljesítményéből, ha ezért cserébe megnőne a használt berendezés élettartama. Ezzel a lehetőséggel kevés berendezés rendelkezik – háztartási berendezések közül egy sem –, pedig piaci igény van rá, és biztosítása alacsony költségen megoldható.

ENERGIAHATÉKONYSÁG

Honnan tudhatjuk, hogy egy eszköz, háztartás vagy éppen ország mennyire energiahatékony?

Az ország gazdaságának energiaintenzitását gyakran használják az energiahatékonyság mutatójaként - főleg azért, mert összesített szinten, ez a mutató viszonylag könnyen elérhető az országok értékeléséhez és összehasonlításához. Azonban, egy alacsonyabb energiaintenzitású országban nem feltétlenül szükséges magas energiahatékonyság. Például egy enyhe éghajlattal rendelkező, kis, szolgáltatás-alapú ország alacsonyabb intenzitással bírna, mint egy hideg éghajlattal rendelkező nagy ipari alapú ország, még akkor is, ha az utóbbi országban az energiát hatékonyabban használják fel. Ugyanígy, az alacsonyabb intenzitás irányába mutató tendenciákat nem feltétlenül vezérli a hatékonyságjavulás. Ezért fontos részletesebb elemzést végezni, amely betekintést nyújt a végső energiafelhasználási trendeket befolyásoló tényezőkre.

2009-ben az IEA (International Energy Agency – Nemzetközi Energiaügynökség) felismerte az energiahatékonysági politikák jobb ellenőrzésének szükségességét, ez magában foglalja a végfelhasználások országspecifikus elemzését a legnagyobb ágazatokban - lakásépítés, szolgáltatások, ipar és közlekedés. Az energiahatékonysági politikák elengedhetetlenek a kulcsfontosságú energiapolitikai célok eléréséhez, mint például az energiaszámlák csökkentése, az éghajlatváltozás és a légszennyezés kezelése, az energiabiztonság javítása és az energiahatékonyság növelése. Ennek ellenére a globális politikai lefedettség (~35%) számos lehetőséget hagy kihasználatlanul.

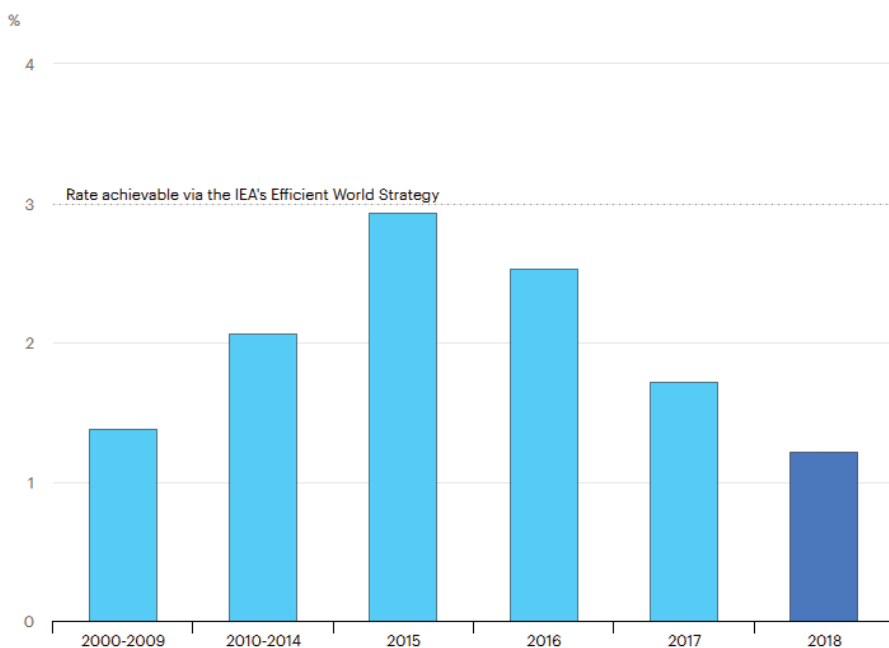
Az energiahatékonysággal kapcsolatos megbízható adatok és mutatók kulcsfontosságúak az energiahatékonysági politikák hatékonyságának megismeréséhez és nyomon követéséhez, mivel ezek mutatják az energiaigényt.

Az IEA statisztikai elemzéseiből látható, hogyan alakul az IEA tagországok végső energiafelhasználása és nyomon követhető a nemzeti energiahatékonysági politikák fejlesztési irányai és megvalósulási hatékonyságai is. [1] A kitűzött és elfogadott évenkénti 3%-os hatékonyság növekedést egyelőre nem sikerült megközelíteni.

ENERGIAHATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSA

A globális energiahatékonysági fejlesztések csökkenő lendülete komoly aggodalomra ad okot. Az IEA Energy Efficiency 2019 jelentése a fogyasztók, a vállalkozások, a kormányok és a környezet szempontjából súlyos következményekkel bíró lassulásnak az okait vizsgálja. [2]

2015 óta a globális energiaintenzitás javulása évente gyengül. A fűtés, hűtés, világítás, mobilitás és egyéb energiaszolgáltatások iránti igények folyamatosan nőnek. A globális gazdaság energiaintenzitásának (a gazdasági tevékenység egységként felhasznált energiamennyiség) javulása lassul. [3] A 2018. évi 1,2% -os javulás a 2010. óta megfigyelt átlag fele körül volt (1. ábra). Jóval a kívánatos 3%-os átlagérték alatt jár a mutató. Ez tükrözi az új energiahatékonysági politikák relatív hiányát és a meglévő intézkedések szigorításának szükségességét. [4]



1. ábra: A primer energiaintenzitás globális javulása, 2000-2018 [5]

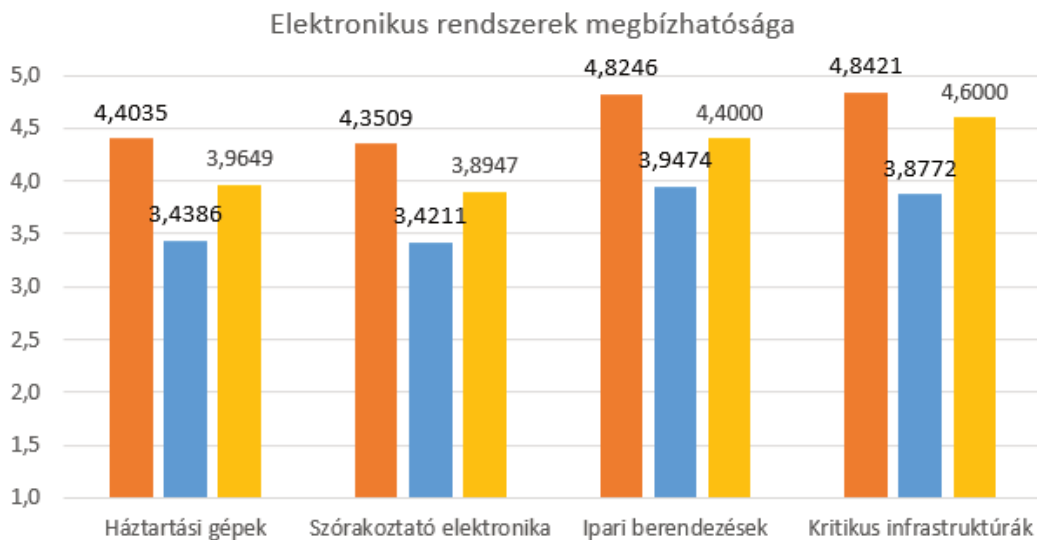
EREDMÉNYEK

Jelen tanulmány a háztartási és ipari, villamos energiával működtetett berendezések szempontjából vizsgálódik. Az ismertetett eredmények ugyan nem hoznak közvetlen globális változást, de valós adatokkal mutatják meg a kutatás létjogosultságát. Ily módon pedig alapul szolgálna tényleges fejlesztések kezdeményezéséhez.

A kutatás alapját szolgáló kérdőívek kitöltői jellemzően műszaki oktatásban részt vevő, műszaki oktatásban részt vett, műszaki munkakörben dolgozó vagy műszaki érdeklődésű nők és férfiak, a 18-27 éves korosztályból. Ez az a csoport, akinek legnagyobb mértékben és értékben lesz ráhatása a beszerzendő műszaki berendezés kiválasztására és/vagy fejlesztésére.

A kérdőívben a megkérdezettek 1-től 5-ig terjedő skálán, egész számokkal adhattak választ a kérdésekre. Az 1-eshez tartozott a „nem fontos”, az 5-öshöz a „nagyon fontos” jelentés. A két érték között fokozatos átmenet volt.

A válaszadók a háztartási gépek, szórakoztató elektronikai eszközök, ipari villamos berendezések és kritikus infrastruktúrákban megtalálható elektronikus rendszerek szempontjából értékelték. A 2. ábra kategóriánkénti első oszlopa (narancssárga) mutatja, hogy a megkérdezettek szerint mennyire fontos az adott területen az elektronikai rendszerek megbízhatósága; a második oszlopa (kék) mutatja, hogy a megkérdezettek szerint az adott területen mennyire megbízhatóak az elektronikai rendszerek; a harmadik oszlopa (citromsárga) mutatja, hogy a megkérdezettek szerint az adott területen mennyire tartják fontosnak az elektronikus rendszerek megbízhatóságának növelését.



1. ábra: Elektronikus rendszerek megbízhatósága

Az adatokból jól látszik, hogy a felhasználóknak, mind polgári-, mind ipari berendezések terén igénye van a nagyobb megbízhatóságú elektronikus berendezésekre és rendszerekre. Ez az igény az alábbi ábra szerinti fizetőképes keresletben is megmutatkozna. A vizsgált területeken ~20-30%-os árnövekedést is vállalnának a végfelhasználók, ha ezért nagyobb megbízhatóságú eszközöket használhatnának. (A kérdőívben 10%-os pontossággal volt lehetőség a válaszádra.)

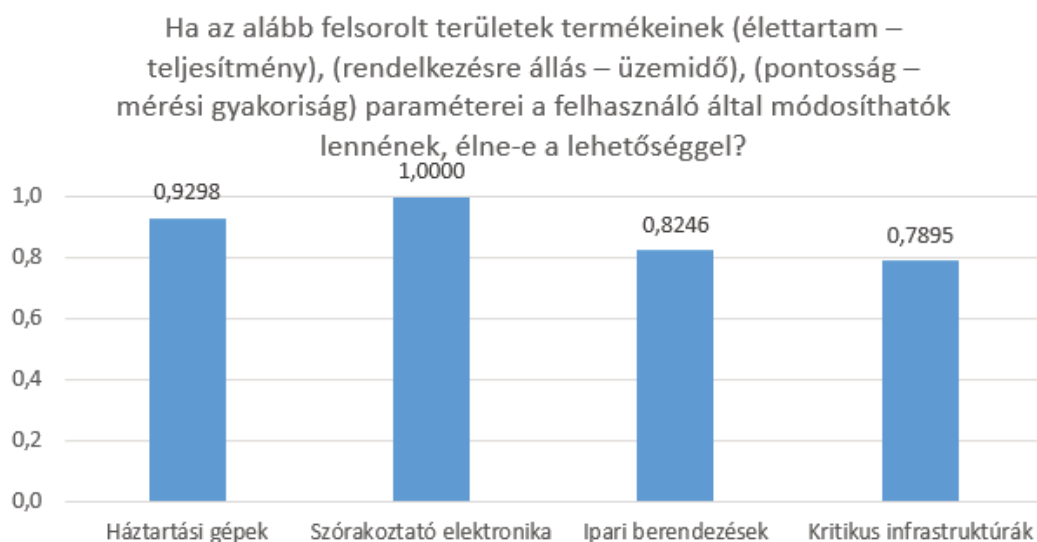
A polgári és ipari elektronikus berendezések megbízhatóság növelése minimális költségen lehetséges például: magasabb minőségű alkatrészek beépítése, konstrukciós változások eszközölése, tervezési és tesztelési alapelvek változtatása, minimális költségű hardver és szoftver modulok beépítése, stb. A hosszútávú eladási darabszámok és értékesítési

stratégiák tárgyalása ennek a cikknek nem célja, de jól látható egy új optimum kialakításának lehetősége, amivel a környezeti terhelés nagy mértékben csökkenthető.



2. ábra: Nagyobb megbízhatóságú elektronikai berendezések többletköltségének vállalási hajlandósága

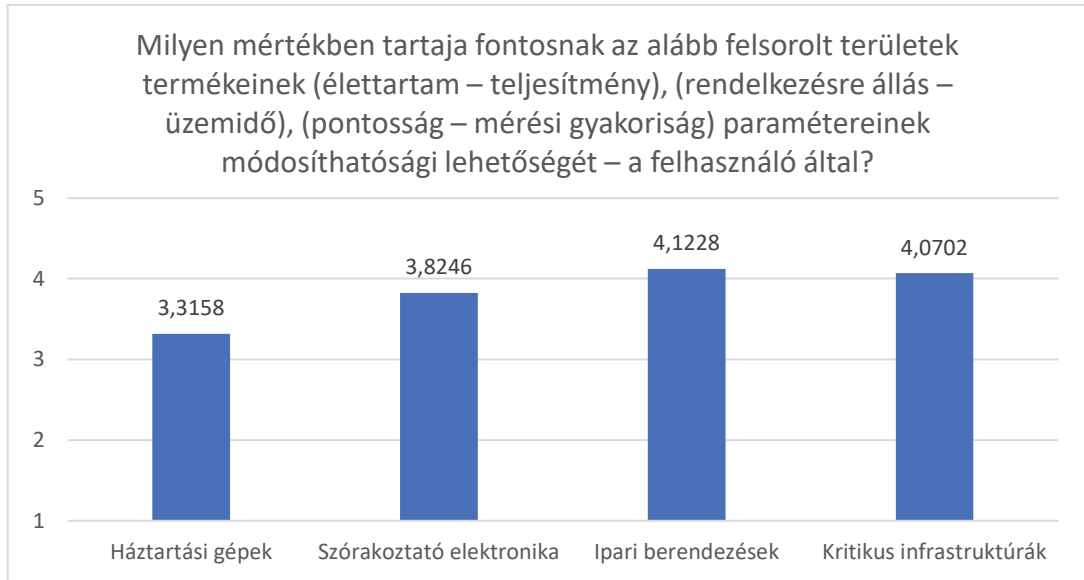
Belátható, hogy a különböző gyártók, különböző termékcsaládjainak, különböző termékeinek, különböző változatainak és évjáratainak tovább skálázása a megbízhatóság szempontjából nem feltétlenül járható út (beleértve a gyártói szoftveres, esetleg licenzelt lehetőségeket is). Lehetőségként kínálkozik a végfelhasználó kezébe adni a termék finombeállításának képességét.



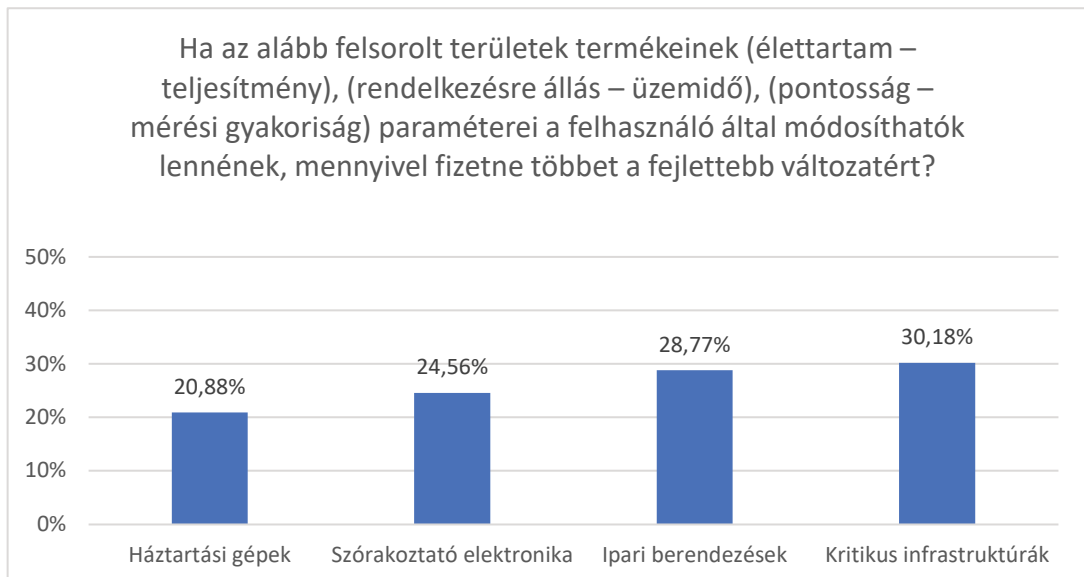
3. ábra: Felhasználók igénye az általuk skálázható elektronikai berendezésekre

A 4. és 5. ábrán látható, hogy erre nagy igénye lenne a felhasználóknak (a kérdőívet kitöltők válaszlehetősége igen vagy nem volt), kiemelten a polgári területeken. A polgári elektronikus berendezések alapanyagfelhasználása és környezeti terhelése – mennyiségükből adódóan – jóval nagyobb, mint az ipari berendezéseké.

Polgári elektronikai berendezések esetében szintén fontos az élettartam kérdése (alapanyag és erőforrás felhasználásának és veszélyes hulladék keletkezésének mértéke szempontjából).



4. ábra: Felhasználó által skálázható elektronikai berendezések



5. ábra: Felhasználó által skálázható elektronikai berendezések többletköltségének vállalási hajlandósága

Az ipari elektronikai berendezések esetében elsősorban az élettartam (üzembiztonság szempontjából), állásidő, szervízidő és egyéb megbízhatósági paraméterek állnak szemben a teljesítménnyel.

A szigetüzemű tápellátással rendelkező berendezések esetében a rendelkezésre állás-üzemidő-teljesítmény közötti egyensúlyról dönthet a felhasználó. Az energiafelhasználás (ébredési idő, számítási idő és teljesítmény) valamint a mérések pontossága és gyakorisága is kínál beállítási lehetőséget. Szoftveres/firmwares megoldással automatizálható – a felhasználói beállításokhoz igazodva – az energiafelhasználás, csökkenthető a mérések gyakorisága (csökkentve az ébredési időt) valamint a mérések pontossága (csökkentve a mérési és számítási időt) amennyiben a mért érték nem, vagy csak nagyon lassan változik. Amennyiben a mért paraméter változási sebessége megnövekszik, akkor a mérési gyakoriság és a mérési pontosság is követi azt. A 6. ábrán látható, hogy a fizetőképes kereslet szintén ~20-30%-os többletköltséget vállalna az opció megléte érdekében.

MODULÁRIS FELÉPÍTÉS

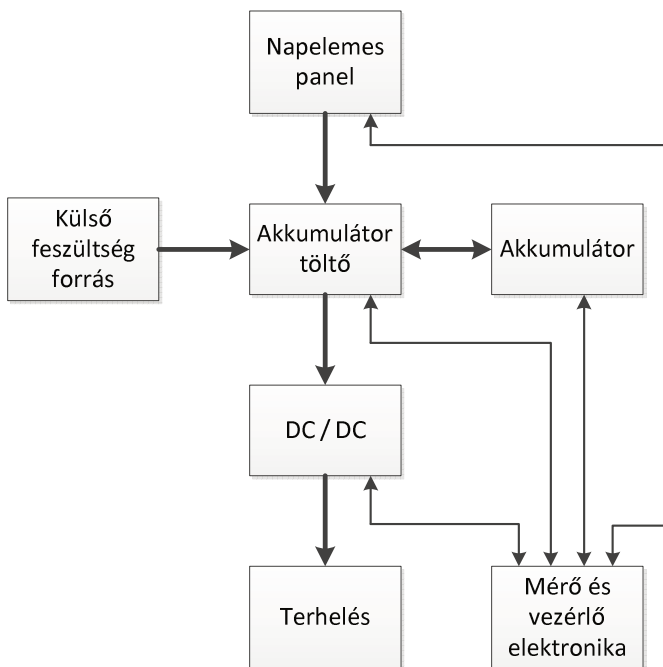
A hétköznapok során használt műszaki eszközeink egyre bővülő téra és csökkenő használati ideje egyre több hulladéktermelést és erőforrásfelhasználást jelent. A felhasználók bővülő műszaki ismeretei és a műszaki berendezésekbe történő beavatkozási hajlandósága egyre növekszik. Az internet segítségével a javításhoz szükséges információk is széles körben, könnyen hozzáférhetőek.

Fontos, hogy csak a megfelelő műszaki előképzettséggel rendelkező felhasználók módosítsanak villamos berendezéseket, valamint fontos a megfelelő műszaki előképzettséggel rendelkező felhasználók számának növelése. Javasolt a középiskolai általános képzés hangsúlyos részévé tenni az alapvető műszaki ismeretek elsajátítását azzal a céllal, hogy a hétköznapi műszaki problémákat a végfelhasználók önállóan képesek legyenek megelőzni vagy elhárítani.

Moduláris felépítésű elektronikus berendezések némi többlet térfogat, hardver, szoftver és mérnökóra árán még kevesebb erőforrás felhasználása és hulladék termelése mellett javíthatóak meghibásodás esetén.

Az alábbi példa egy szigetüzemű moduláris tápellátó rendszer modellje található. A 7. ábrán a modell blokkvázlata látható. A modulok rögzítése csavarkötéssel vagy rugalmas fülek segítségével könnyen megoldható, a közöttük lévő oldható galvanikus kapcsolat szalagkábelekkel kialakítható. Board-to-board típusú csatlakozókkal a modulok egymáshoz történő rögzítése és a villamos csatlakozás egy eszköz segítségével megvalósítható.

A fotovoltaikus modul biztosítja a villamos energia ellátását szigetüzemű működés esetében. Az optimális hatásfok elérése érdekében az akkumulátor töltő modul látja el a napelemes panel impedanciaillesztését. Az akkumulátor töltő modul feladata az akkumulátor szakszerű töltése és kisütése, a túltöltés, mélykisülés, töltőáram, terhelőáram, stb. felügyelete. A tápellátás és az akkumulátor töltése külső feszültségforrásból is ellátható. A DC/DC konverter modul a terhelés számára szükséges stabil egyenfeszültség(ek) előállítását biztosítja.



6. ábra: Moduláris szigetüzemű tápegység blokkvázlata

A mérő és vezérlő elektronika felügyeli az egyes modulok működési módjait, valamint monitorozza az állapotukat, eltárolja a mért értékeket. A modulok mérése egyszerűen egy eléjük és mögójük elhelyezett feszültség és árammérő áramkörrel valósítható meg, ezek alkatrész költsége minimális. A mért adatokból a modulra vonatkoztatott bemenő és kimenő teljesítmény számolható, ezekből pedig egy a modulra vonatkoztatott hatásfok állapítható meg. A modulok az idő elteltével öregednek, elhasználódnak. A hatásfokromlás, illetve a hatásfok romlás sebessége a tárolt adatokból megállapítható, és egyszerű algoritmussal – jó közelítéssel – előre jelezhető a meghibásodás a felhasználó számára. A felhasználó számára elegendő a megfelelő-cseréle szoruló-üzemképtelen típusú visszajelzés.

A mérő és vezérlő elektronika a gyakorlatban egy mikrokontroller és a köré épülő hibrid elemek, a gyakorlatban néhány euro centből megvalósítható. Legtöbb termékben van mikrokontroller, az új funkciók eléréséhez elegendő az eszközt vezérlő firmware bővítése, valamint a passzív elektronika kiegészítés.

A vezérlő modul vezérlési vagy szabályozási feladatait a felhasználó könnyen változtathatná a megengedett határok között. Az eszközhöz a felhasználó csatlakozhat vezeték nélkül vagy az eszközön eleve kialakított kezelőfelületet almenüjét is használhatja.

Az eszköz lehetőséget nyújthat a felhasználó számára a teljesítmény-élettartam mérleg beállítására például egy 5 állású mérleg skálán. Az akkumulátor esetében (például egy powerbank esetében), a gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ha a felhasználó a teljesítményt választja, akkor az nagyobb töltőáramot (gyorsabb töltést), megváltozott töltési diagramot, magasabb töltőfeszültséget, alacsonyabb mélykisülési feszültséget, nagyobb maximális terhelőáramot jelenthet. Eredményképpen az akkumulátorban nagyobb mennyiségű töltés kerül eltárolásra, valamint az elektrokémiai elemek is nagyobb terhelésnek lesznek

kitéve. A nagyobb teljesítmény ára, az akkumulátor élettartamának csökkenése. Amennyiben az élettartam felé billen a mérleg, az előbb említettekkel ellentétes irányú beállítások íródnak be a vezérlőrendszerbe.

Egy villanymotor vezérlése esetében

Elektronikus energiaátalakítók (például akkumulátortöltő elektronika, DC/DC konverter, stb.) esetében gyakori meghibásodási pontok a teljesítményfélvezető kapcsolóelemek, nagyfrekvenciával terhelt diódák, induktivitások, szűrő kondenzátorok. A nagyobb terhelőáram nagyobb terhelést jelent az említett alkatrészekre. A MOSFET-ek csatorna ellenállása (szaturációban) megnövekszik, ez nagyobb hődisszipációt eredményez, ami gyorsítja az alkatrészek öregedését. Az elektrolit kondenzátorok is kiszáradnak a hő hatására, belső ekvivalens ellenállásuk megnövekszik. Az említett hatások a modul hatásfokának a romlásához, illetve megnövekedett energiafelhasználáshoz vezetnek.

Villanymotor vezérlése esetében is van lehetőség a teljesítmény-hatásfok-élettartam értékek súlyozására. Az adott fordulatszámhoz tartozó üzemi áram maximálható, az indítási áram vagy a fordulatszám változásakor fellépő áram csúcsok csökkenthetőek, ha a fordulatszám változásának sebességét vagy a motor által felvehető impulzusszerű áramok értékének maximumát csökkentjük. Eredményképpen a villanymotor hő- és mechanikai terhelése, energiafelvétele csökken. Kommutátoros motor esetében a kommutátor és a szénkefék élettartama növelhető (például mosó- vagy szárítógépben is megtalálható univerzális motorok esetében). A motorvezérlő elektronika szintén tartalmaz félvezető kapcsolóelemeket, melyek élettartama a kisebb terhelések hatására kitolható.

Fűtőelemek vezérlésekor is hasonló gondolatmenet alapján járhatunk el. A fűtőelemek bekapcsolásakor szoftveresen vezérelt vagy hardveresen megvalósított lágyindítással a fűtőelem élettartama nagy mértékben kitolható.

VILLAMOSENERGIA FELHASZNÁLÁS KÖZPONTOSÍTOTT VEZÉRLÉSE

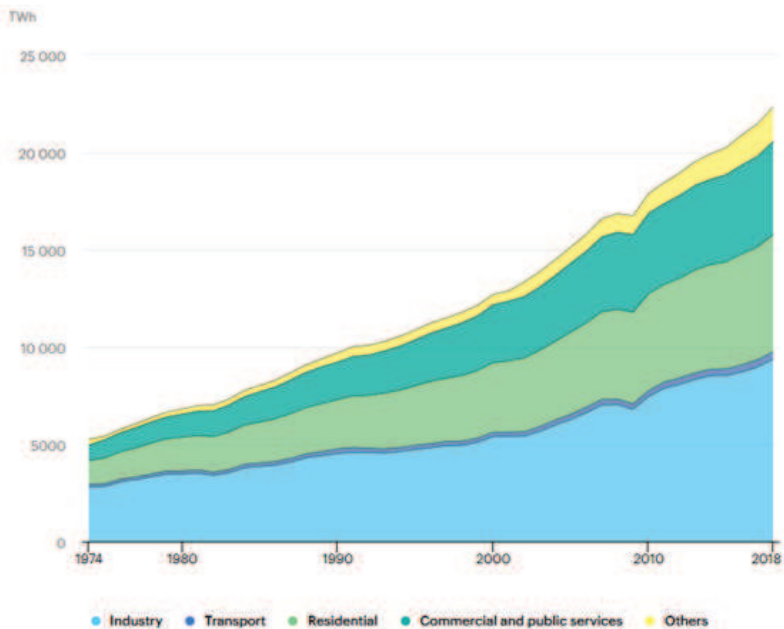
A világ teljes villamosenergia felhasználásának ~30%-a a háztartásokra, ~25%-a a kereskedelmi és közszolgáltatásokra, ~40%-a az ipari szereplőkre vonatkozik. A megújuló energiaforrások költségeinek csökkentése és a digitális technológiák fejlődése hatalmas lehetőségeket nyit meg, miközben új energiabiztonsági dilemmákat hoz létre. A szél- és napenergiából származó villamos energia biztosítja a 2040-ig terjedő további villamosenergia-termelés több mint felét a megalkotott energiapolitika forgatókönyvében, és a fenntartható fejlődés forgatókönyvének szinte teljes növekedését.

A döntéshozóknak és a szabályozóknak gyorsan kell lépniük, hogy lépést tudjanak tartani a technológiai változások ütemével és az energiarendszerek rugalmas működésének növekvő igényével. Az olyan kérdések, mint például a tárolás piactervezése, az elektromos járművek és a hálózat közötti interfész, valamint az adatvédelem mind új kockázatoknak tehetik ki a fogyasztókat.

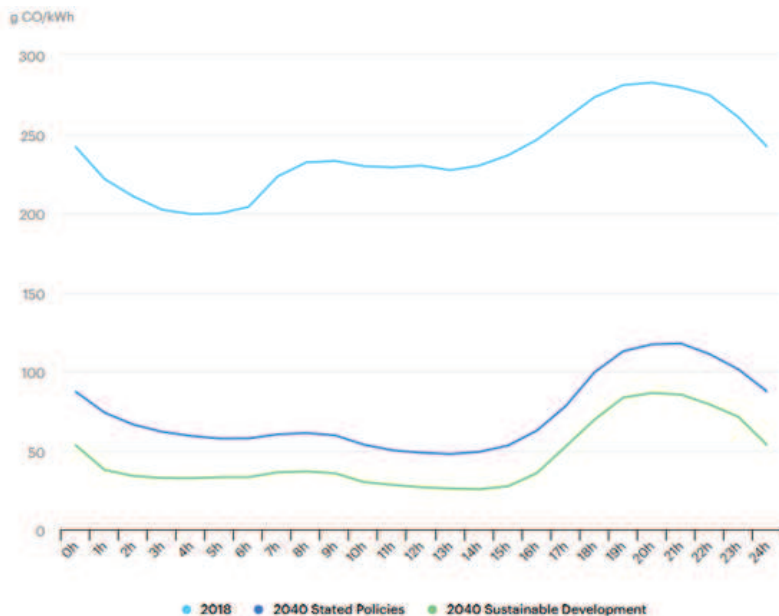
A feladatot tovább nehezíti a 24 órás intervallumon belüli nem egyenletes villamosenergia felhasználás is.

A végfelhasználó készülékek teljesítményfelvételét és dinamikáját – indokolt esetben – az áramszolgáltató is módosíthatná. [8], [9] A kommunikációs csatorna számára jó választás lehet egy vezeték nélküli IoT technológia alkalmazása. [10], [11] A tervezett nagy

arányú megújuló energiaforrások által termelt villamos energia tárolására szolgáló berendezések költségei csökkenthetőek lennének ezzel a megoldással. A szükséges terméket terhelő extra költséget jelentő hardver és mérnökóra sokszorosa térülhetne meg, ami globális szinten jelentős erőforrások megjelenését eredményezné



7. ábra: A világ villamosenergia-fogyasztás ágazatonként, 1974–2018 [6]



8. ábra: A 24 órás villamosenergia-ellátás átlagos CO₂-kibocsátásának intenzitása az Európai Unióban, 2018 és 2040 közötti időszakban [7]

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányom legfontosabb eredményének azt tartom, hogy a bemutatott kutatás alapján a műszaki oktatásból hamarosan kikerülő, műszaki munkakörben munkát vállaló, várhatóan ~45 aktív munkaévre készülő generáció határozottan fontosnak tartja és ésszerű felár mellett igényli is a háztartási és ipari berendezéses teljesítmény-hatásfok-élettartam arányok végfelhasználó általi beállíthatóságának lehetőségét.

A szerző meggyőződése, hogy a műszaki berendezések kiegészítése a vázolt rendszerelemmel, releváns piaci, gazdasági és környezeti hatással rendelkezik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A „Végfelhasználói Igények Megjelenése az Energiafelhasználás Hatékonyságának és a Termék Megbízhatóságának Növelése Érdekében” című dokumentum az Innovációs és Technológiai Minisztérium UNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült. A szerző kijelenti, hogy a Mű a saját egyéni, eredeti alkotása, annak egyedüli szerzője és alkotója.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] IEA (2019), „*World Energy Outlook 2019*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (letöltve: 2020.08.05.)
- [2] IEA (2019), „*Energy Efficiency 2019*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019> (letöltve: 2020.08.05.)
- [3] IEA (2020), „*Global Energy Review 2019*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2019> (letöltve: 2020.08.05.)
- [4] IEA (2020), „*Energy Efficiency Indicators 2020*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-2020> (letöltve: 2020.08.05.)
- [5] IEA, „*Global improvements in primary energy intensity, 2000-2018*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-improvements-in-primary-energy-intensity-2000-2018> (letöltve: 2020.08.05.)
- [6] IEA, „*World electricity final consumption by sector, 1974-2018*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-final-consumption-by-sector-1974-2018> (letöltve: 2020.08.05.)
- [7] IEA, „*Average CO2 emissions intensity of hourly electricity supply in the European Union, 2018, and by scenario, 2040*”, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-co2-emissions-intensity-of-hourly-electricity-supply-in-the-european-union-2018-and-by-scenario-2040> (letöltve: 2020.08.05.)
- [8] A. Szűts, „*Developing a Complex Decision-Making Framework for Evaluating the Energy-Efficiency of Residential Property Investments*”. ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 12 : 6 pp. 231-248. , 18 p. (2015)
- [9] I. Czibere, I. Kovách, G. B. Megyesi. „*Environmental Citizenship and Energy Efficiency in Four European Countries (Italy, The Netherlands, Switzerland and Hungary)*”. SUSTAINABILITY 12 : 3 Paper: 1154 , 18 p. (2020)

- [10] A. Szűts, I. Krómer: „*Estimating Hungarian Household Energy Consumption Using Artificial Neural Networks*”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 11, No. 4, pp. 155-168, 2014
- [11] A. Szűts, I. Krómer: „*Developing a Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Choosing the Energetically Optimal Solution at the Early Design Phase of a Building*”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 12, No. 3, pp. 25-39, 2015