

Termelőüzemek energia-megtakarításának meghatározása mesterséges intelligencia alkalmazásával

Dr. Magyar Zoltán¹ – Németh Gábor¹ – Konstantinos Kampouropoulos² – Enric Sala²

Az Európai Bizottság FP7 keretprogramja által támogatott EuroEnergest elnevezésű kutatási-fejlesztési projektben résztvevő kutatóintézetek, egyetem és vállalkozások célja egy olyan intelligens energia menedzsment rendszer (iEMS) kifejlesztése, amellyel az autógyártásban, elsősorban az épületgépészeti rendszerek tekintetében minimum 10%-os energia-megtakarítás érhető el. Az intelligens energia menedzsment rendszer kapcsolatot teremt az ipari termelési adatok és az energiatermelés, valamint az energiafogyasztás között, dinamikusan modellezi ezeket, előrejelzést ad a várható energiafogyasztásról, optimalizálja a szükséges energiafelhasználást és az energiaköltségeket, valamint maximalizálja a helyben elérhető energiaforrások és az alacsony fosszilis energiafelhasználású rendszerek alkalmazását. [1] [2]

1. Épületgépészeti rendszerek energiafogyasztásának eloszlása az autógyártás során

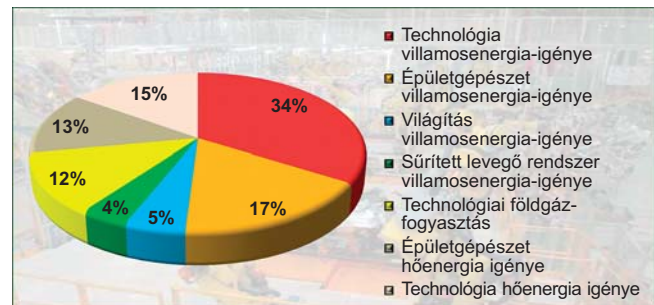
Egy termelőüzemben számos olyan technológiai folyamattal kell számolni, amelynek energiafogyasztását csak nagyon korlátozottan lehet energia menedzsment rendszerrel befolyásolni. Ezeknek a folyamatoknak az energiaigénye az adott technológia tovább-fejlesztésével, illetve hatékonyabb berendezések alkalmazásával csökkenthető. Az autógyártás során ilyen például a présgépek, hegesztő robotok, festő robotok, szárító kemencék energiafogyasztása. Ugyanakkor az autógyártásához szükséges energiamennyiségből a klasszikus értelemben vett épületgépészeti rendszerek közül a fűtés, a hűtés és a légtechnika jelentős hányadot képvisel.

Tekintve, hogy a projekt során fejlesztett intelligens energia menedzsment rendszerrel elsősorban az épületgépészeti rendszerek energiafogyasztása csökkenthető, ezért érdemes megvizsgálni, hogy az autógyártásához szükséges energiamennyiség hogyan oszlik meg a technológiai és a hagyományos energiafogyasztók között.

A főbb elektromos energiafogyasztók a technológiai berendezések (lyukasztó gép, présgép, szerelő-, hegesztő- és festőrobotok, szállítószalag), az épületgépészeti rendszerek (hűtőgépek, szivattyúk, ventilátorok), a világítás, valamint a sűrített levegős rendszerek. Hőfogyasztó a fűtési rendszer, amely a gyártó csarnokokban gyakran légfűtés; a technológiai fogyasztók, illetve az abszorpciós hűtőgép, amennyiben van ilyen berendezés telepítve a gyárban. A festés után a szárítás-

hoz szükséges magas hőmérsékletet gyakran gáztüzelésű kemencékkel biztosítják, ebben az esetben ennek a technológiának földgáz fogyasztása is van.

Az 1. ábrán látható az autógyártás során jelentkező energiafogyasztások aránya. Az autógyártás összes energiaigényének 60%-a villamosenergia-fogyasztás, 28%-a hőfogyasztás, 12%-a pedig földgáz felhasználás. A fűtési, a hűtési és a légtechnikai rendszerek elektromos energiafogyasztása a gyártáshoz szükséges energiamennyiség 17%-a, míg hőfogyasztásuk a teljes energiaigény 13%-a.



1. ábra. Az energiafogyasztások aránya az autógyártás során

Össességében a teljes energiamennyiség 30%-át igényli a fűtési, a hűtési és a légtechnikai rendszer, tehát elsősorban ez az energiahányad, amire az intelligens energia menedzsment rendszer hatással van. A projektben elvégzett vizsgálatok alapján a személyautó gyártás fajlagos energiaigénye átlagosan 2,5 MWh/autó, melyet figyelembe véve 0,75 MWh/autó az energiaigénye az említett fűtési, hűtési és légtechnikai rendszereknek. [3]

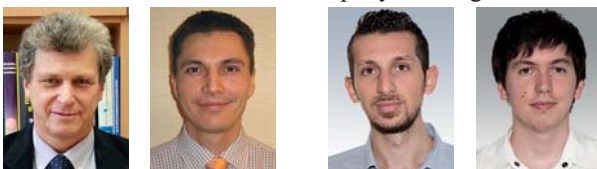
Egy ipari termelőüzemben az épületgépészeti rendszerek energiafogyasztását számos tényező befolyásolja (időjárás, termelési adatok, műszakok hossza stb.), melyek együttes hatásának modellezésére algoritmikus megoldás nehezen definiálható, ezért a fejlesztés során mesterséges intelligencia révén történt az energiafogyasztási modellek kifejlesztése.

2. Az ANFIS rendszer bemutatása

A következőkben röviden bemutatjuk a mesterséges neurális hálózatokat, a fuzzy logikát, valamint a két rendszer előnyeit egyesítő adaptív hálózat alapú fuzzy következtető rendszereket (ANFIS). Az EuroEnergest projektben az ANFIS matematikai módszerrel történt az energiafogyasztó rendszerek modellezése.



¹ Comfort Consulting Kft. ² Katalóniai Műszaki Egyetem, Spanyolország



2.1. Mesterséges neurális hálózatok

A neurális hálózatok olyan, számítási feladatok megoldására létrejött párhuzamos feldolgozást végző, adaptív eszközök, amelyek eredete a biológiai rendszerektől származtatható. A biológiai neurális rendszerek párhuzamos felépítéssel és tanulási képességgel rendelkeznek; e két jellemzőjük következtében jelentősen különböznek a hagyományos számítástechnikai eszközöktől. Ráadásul bizonyos feladatokban – tipikusan ott, ahol hatékony algoritmikus megoldást eddig nem sikerült találni – jó eredmény elérését teszik lehetővé. Ezért vetődött fel olyan számítási rendszerek – mesterséges neurális hálózatok – létrehozásának a lehetősége, amelyek a hagyományos algoritmikus eljárásokkal dolgozó eszközök helyett, a biológiai neurális hálózatokhoz hasonló felépítésűek és amelyek tanulással nyerik el azt a képességüket, hogy bizonyos feladatokat meg tudnak oldani. [4]

Az ipari folyamatok a legtöbb esetben sok változót tartalmazó, komplex feladatok, amelyekre algoritmikus megoldás nehezen található, ezért célravezetőbb, gyorsabb és költségkímélőbb a feladatot mesterséges neurális hálózattal megoldani. A mesterséges neurális hálózat azonos vagy hasonló típusú, lokális feldolgozást végző számítási egységek (neuron vagy csomópont) általában rendezett topológiájú, nagymértékben összekapcsolt rendszeréből áll. A megvalósítás lehet hardver vagy szoftver. A mesterséges hálózat kívánt működése ún. tanuló eljárással biztosítható. A tanuló eljárásnak több fajtája létezik, a lényeg, hogy a tanulás során az összetartozó be- és kimeneti értékek alapján a hálózat maga alakítja ki a megfelelő átvitelt, a hálózat bemenetére kerülő adatokban önmaga próbál meg valamilyen hasonlóságot azonosítani. A rendelkezésre álló összetartozó be- és kimeneti adathalmazból a tanuló eljárással generálható az adott folyamatot leíró modell, ami később előhívható. A numerikus hálózattal létrehozott modell segítségével végezhető időbeli előrejelzés és optimalizálás is.

2.2. Fuzzy logika

Az emberi gondolkodásmód jobban modellezhető olyan fogalmakkal, amelyeknek nincsenek éles határai, ahol az átmenet egy tulajdonság megléte és nem megléte között folytonos vagy homályos. A fuzzy logika alapja az életlen, elmosódott halmazok. A hagyományos „éles” halmazelmélet csak azt engedi meg, hogy egy elem része a halmaznak vagy nem, míg a fuzzy halmaznál az elem részben is tartozhat a halmazhoz, tehát nem csak a halmazhoz tartozás tényét, hanem annak mértékét is megadja. [5] A fuzzy logika gyakorlatilag a bizonytalanság modellezésével foglalkozik, amelynek segítségével olyan helyzeteket is modellezni lehet, amelyekben adott tulajdonságok nem határozhatók teljes pontossággal, vagy nem dönthetők el teljes bizonyossággal.

2.3. ANFIS

Az adaptív hálózat alapú fuzzy következtető rendszerek (ANFIS) magukban hordozzák a mesterséges neurális hálózatok és a fuzzy logika elveit. A következtető rendszer fuzzy elvek alapján működik, amely a tanulóképességnek köszönhetően nemlineáris függvények közelítésére alkalmas.

Nagyon fontos tulajdonság az adaptációs képesség, azaz a változó környezethez történő alkalmazkodás képessége. Az adaptív viselkedésű hálózatok az információ előhívási szakaszban is tanulnak, pontosítják a modellt. Erre azért van szükség, mert a bemeneti adatok időben változnak, ezért az információ-feldolgozó eljárásnak is változni kell. A kombinált neurális-fuzzy hálózat a következő előnyöket jelenti:

- 1) Lágyművelési módszer a fuzzy logika előnyeivel;
- 2) Adaptációs képesség, a neurális hálózati kialakítás miatt;
- 3) Gyorsabb konvergencia;
- 4) Kompakt modell.

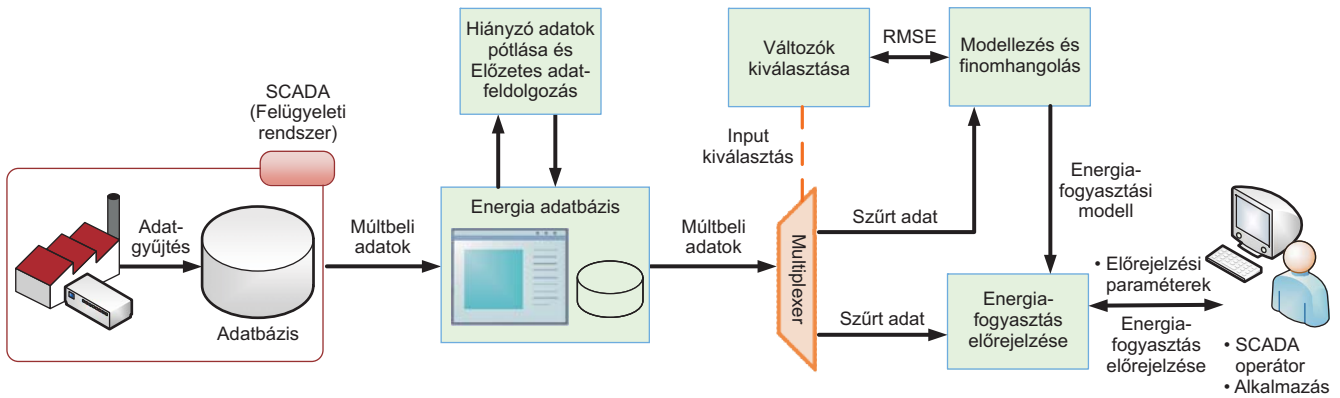
3. Az energiafogyasztási modell

A SEAT autógyár energiafogyasztásának modellezése ANFIS rendszerrel történt. Az energiafogyasztási modell kifejlesztése a Barcelona melletti Martorellben található SEAT autógyár két üzemszarnokának teljes körű felmérésével, a gyárban több évre visszamenőleg rendelkezésre álló monitoring adatok felhasználásával, valamint a SEAT szakembereivel folytatott folyamatos információ-cserével történt. A kifejlesztett rendszer másik autógyárban, illetve egyéb termelőüzemben is használható, úgy hogy az adott gyárban rendelkezésre álló monitoring adatokkal az EuroEnergest projektben fejlesztés alatt álló *iEMS_{EE} szoftver* segítségével generálható a gyárhoz illeszkedő energiafogyasztási modell.

3.1. A modell bemutatása

Az energiafogyasztási modell adatbázis alapú modell, ami azt jelenti, hogy az energiafogyasztási modell generálása a gyárban mért adatok alapján történik, ezért az energiafogyasztás és az azt befolyásoló összes változó megadása szükséges. Egy analízissel (gap filling & preprocessing) rövidebb időszakokra vonatkozóan a hiányzó adatok becsléssel pótolhatóak, illetve a kiugróan magas helytelen adatok pontosíthatóak. A felhasználót segíti egy olyan funkció is, amely a bemenő adatok és az energiafogyasztás korrelációját vizsgálja és jeleníti meg grafikus felületen. Ezzel a felhasználó ki tudja választani az energiafogyasztást leginkább befolyásoló változókat, amelyek a modell generálásához szükségesek. A modellezés és a finomhangoló algoritmus futtatása periodikusan történik, annak érdekében, hogy a gyárból érkező legfrissebb adatok alapján történjen az energiafogyasztási modell kialakítása, pontosítása. Az automatikus hangolási funkció észleli a termelési folyamatokban bekövetkezett változásokat (pl. egy berendezés beállításának módosítása, az üzemeltetés változtatása stb.) és frissíti a modellt. A modell működési sémája a következő oldalon bemutatott **2. ábrán** látható.

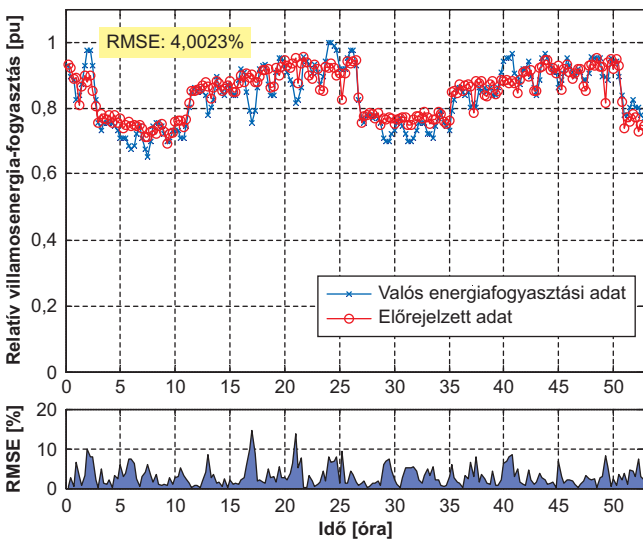
Az energiafogyasztási modell alapján az előrejelző algoritmus valósítja meg az energia-fogyasztó rendszerek igényének előrejelzését. Az algoritmus egy adott folyamathoz (pl. egy adott épületrész légtechnikai rendszerrel történő fűtése/hűtése) tartozó energiafogyasztási modell segítségével a felhasználó által megadott időtartamra rövid, illetve középtávú előrejelzéseket készít. Az előrejelzés 24 órás időtartam esetén 15 perces, míg heti előrejelzés esetén napi bontásban történik. Az előrejelzés pontossága a modell pontosságától és a rendelkezésre álló adatoktól függ.



2. ábra. Az energiafogyasztó rendszer modelljének működési sémája

3.2. A modell tesztelése

Az energiafogyasztási modell prototípusának tesztelése több hónapja folyamatban van, amelynek eredményei nagyon kedvezőek. A következőben a SEAT autógyár egy rendszere esetében az energiafogyasztási modell alapján előre jelzett és a valós villamosenergia-fogyasztást hasonlítjuk össze. Az előrejelzés 50 órás időtartamra készült. A gyár adatbázisából a modell öntanulásához kiválasztott paraméterek a következők voltak: a nap típusa (munkanap, munkaszüneti nap), a hét napja (hétfő, kedd stb.), az előző nap energia-fogyasztási adata. A 3. ábrán látható az előrejelzett és a valós villamosenergia-fogyasztás, amelyből jól látható, hogy a két érték az 50 órás periódusban végig közel volt egymáshoz, az előrejelzés közepes négyzetes eltérése (RMSE, Root Mean Square Error) 4%. [6]



3. ábra. Rövid távú villamos energiafogyasztási előrejelzés

Az EuroEnergest projekt eddigi eredményei alapján megállapítható, hogy a kifejlesztett algoritmussal az energiafogyasztási modellek a meglévő monitoring adatokból létrehozhatók. A szoftver nagy előnye, hogy az energiafogyasztási modell gyakorlatilag bármely termelőüzemben létrehozható, ahol visszamenőleg rendelkezésre állnak a modell létrehozásához szükséges adatok. Az energiafogyasztási modellekkel és az előrejelzési algoritmus segítségével történik az energiatermelő

és energiafogyasztó rendszerek optimalizálása, valamint a rendszerek felügyelete, amely szintén része az intelligens energia menedzsmentnek.

4. További fejlesztések

Az $iEMS_{EE}$ egyik legfőbb funkciójának fejlesztése, az energiatermelés és -fogyasztás optimalizálása a végső stádiumhoz érkezett. A komplett $iEMS_{EE}$ szoftvert – energiatermelő rendszerek modellje, energiafogyasztó rendszerek modellje, az előrejelző algoritmus, az optimalizálás, a folyamatfelügyeleti egység, a jelentés-készítő egység – 2014 októberében telepítik a SEAT autógyárba. Az $iEMS_{EE}$ szoftver ipari körülmények között végzett rövid és hosszú távú validálásával lesz teljes értékű.

A mesterséges intelligenciával működő adatbázis alapú felépítés lehetőséget ad arra, hogy bármely autógyárban, illetve más jellegű termelő üzemben is hasznosítható legyen az EuroEnergest projektben kifejlesztett $iEMS_{EE}$ szoftver. A moduláris felépítés ráadásul az egyes önálló funkciók plug-and-play telepítését teszi lehetővé, így egyes modulok akár külön-külön is használhatóak lesznek.

Irodalomjegyzék

- [1] Description of Work, EuroEnergest project. Increase of automotive car industry competitiveness through an integral and artificial intelligence driven energy management system, 2011.
- [2] Dr. Magyar Zoltán, Németh Gábor: Termelőüzemek energia-megtakarítása a spanyolországi SEAT autógyár példáján keresztül (EuroEnergest projekt). Magyar Épületgépészet, LXII. évfolyam, 2013/7-8. szám
- [3] Enertika Ltd: Public report on WP1, EuroEnergest project, 2013.
- [4] Horváth G. (szerk.), Altrichter M., Horváth G., Pataki B., Strausz Gy., Takács G., Valyon J.: Neurális hálózatok. Budapest, Panem Kiadó, 2006.
- [5] Balázs Krisztián, Kóczy T. László: Fuzzy szabályalapú modellek és rendszerek felépítése evolúciós technikák segítségével. Híradástechnika, LXVI. évfolyam 2011/4.
- [6] UPC, Universitat Politècnica de Catalunya (Katalóniai Műszaki Egyetem, Spanyolország) Public report on WP4, EuroEnergest project, 2014.