



**SOPRONI  
EGYETEM**

FAIPARI MÉRNÖKI ÉS  
KREATÍVIPARI  
KAR

## **Gyártási erőforrások felhasználásának felügyelete és optimalizálása IoT eszközök és technológiák támogatásával**

Koncz Adrienn

Tézisfüzet

Témavezetők: Prof. Dr. Alpár Tibor László és Dr. Gludovátz Attila

Soproni Egyetem

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Informatikai és Matematikai Intézet



Sopron

2023

## 1. Bevezetés, motivációk

Amikor 2018. szeptemberében megkezdtem doktori tanulmányaimat, lehetőségem adódott bekapcsolódni egy informatikai kutatásba, aminek a fő helyszíne egy nemzetközileg is ismert bútoringeni vállalat. A vállalatnál 2016-tól kezdődően kialakításra került egy olyan kiberfizikai rendszer, amely képes a villamosenergia fogyasztási adatok gyűjtésére, eltárolására és elemzésére (akár önmagában, akár a termelési adatokkal összevetve együttesen). Az adatok folyása ebben az integrált rendszerben aszerint történik, hogy a szenzorok által mért paraméterek szerinti adatok különböző belső informatikai hálózatokon keresztül eljutnak vagy az épület- és folyamatfelügyeleti (SCADA) rendszerbe (villamosenergia fogyasztási adatok), vagy a vállalatirányítási rendszerbe (termelési adatok). Ezeket az adatokat integráltan, tehát összekapcsoltan vagy önmagukban elemezzük. Az eredményeket olyan üzleti intelligencia alkalmazással és annak jelentéseivel prezentáljuk a helyi vezetőségnek (vagy a vállalat nemzetközi menedzsereinek), amelyek minden szakember számára értelmezhetőek, továbbá hasznos információval szolgálnak a vállalat működését vizsgálóknak.

A kutatásom és tanulmányaim kezdete előtt a következő főbb eredmények születtek: a témavezetőm és a vállalatnál dolgozó néhány érintett kolléga kialakítottak egy villamosenergia felhasználást monitorozó és felügyelő kiberfizikai rendszert (szenzorokkal, hálózattal, adatbázissal, adatmegjelenítő és -elemző alkalmazással). Először magát a villamosenergia fogyasztást vizsgálták és tettek prediktív karbantartási javaslatokat, később ezeket a villamosenergia fogyasztási adatokat összekapcsolták termelési teljesítményekkel (például mennyi kWh felhasználással mekkora darabszámot termelt adott gép). Itt csatlakoztam be én a kutatási folyamatba, és fő célkitűzésem az volt, hogy villamosenergia fogyasztási és termelési adatok mellett a vállalat összes termelési erőforrás felhasználását felügyeljem. A felügyelet megvalósítását az Ipar 4.0 technológiák segítségével terveztem megvalósítani, amire a vállalat érintett dolgozói (menedzser, villamos-, karbantartási és biztonsági mérnök) a műszaki osztályon is nyitottak voltak.

## 2. A kutatás során kitűzött célok és elvárt eredmények

A vizsgálataim megkezdése előtt azonosítottam azokat a tudományterületi réseket, amelyek betöltésével a kutatásom előre mozdít egy Ipar 4.0 kihívásainak megfelelni igyekvő bútoringeni vállalatot. A termelési folyamatok felügyeletén túl, a gyártásba közvetlenül és közvetetten beépülő erőforrások felhasználásának ellenőrzése és optimalizálása a tudományos részterület. Itt eddig nem, vagy nagyon limitáltan születtek kutatási eredmények. Az erőforrások felhasználását nem csak önmagukban vizsgálom, hanem gyakran kombináltan, vagyis bizonyos folyamatok működése hogyan hat ki más területekre is a gyártáson belül. Az erőforrások felügyeletén kívül a gazdasági vetületüket is megvizsgálom, hiszen az ezzel kapcsolatos kutatásoknak és fejlesztéseknek az egy nagyon erős motivációs tényezője, ha látjuk, hogy mennyi felesleges költséggel járnak bizonyos folyamatok, és hogyan lehetne azokat hatékonyabbá tenni.

A korábbi eredmények a kiberfizikai rendszer kiépítésén túl, főleg a villamosenergia felhasználásához és a termelési darabszámokhoz kötődtek. A legfőbb célom az, hogy ezt a kutatási spektrumot kiszélesítsem, és az újonnan megszerzett adatok mentén a vizsgálatok körét bővítsem, hiszen az adathalmaz, amivel dolgozhattam, évről-évre nő.

Az új adatok elsősorban további termeléshez elengedhetetlen erőforrások felhasználásához kapcsolódnak. Ehhez azonban a kiberfizikai rendszert ki kell terjeszteni, amely adatstruktúra átalakítással, fizikai eszközök üzembe helyezésével, az új mérőműszerek hálózatba kapcsolásával, valamint komplexebb adatmegjelenítő és -elemző eszközök használatával jár.

Ezek a gyárban használt erőforrások, amelyek felhasználását felügyelni és elemezni fogom: a víz (párásítás, szociális vízfelhasználás, szennyvíz, tűzoltók felhasználásai), sűrített levegő generálása a kompresszorok által, az elszívott levegőmennyiség a termelő gépeknél az elszívók által. Mindezek azonban csak nyers adatoknak tekinthetők, amelyekre tudok építeni. Az újfajta adatok fogadásához adatszerkezet átalakításra, bővítésre van szükség.

Az alapszintű (nyers) adatokra épülő összetettebb vizsgálatok már ennél jóval komplexebb információval szolgálnak majd a gyár működéséről, amelynél a mélyebb elemzések, új kulcsfontosságú mutatószámok is segítik a munkám. Ezáltal például olyan gyengeségre is rávilágítok a korábbi kutatások kapcsán, hogy ott még csak termelési darabszámokkal volt összevetve a felhasznált villamosenergia felhasználása. Miközben a darabszám (db) nem biztos, hogy egy jó mérőszám ebben az esetben. Ha csak arra gondolunk, hogy egy kis faanyag is egy darabnak számít, míg egy több négyzetméter átmérőjű bútortalpa, ami szintén egy darab a rendszerben, ezek megmunkálása is más-más kWh fogyasztást igényelhet a termelő géptől. Korábban ezt a rejtett problémát a db-kWh összevetés elfedte, emiatt egy m<sup>2</sup>-kWh összevetés sokkal több információval szolgálhat a számunkra.

A vízzel kapcsolatos felhasználások, fogyasztás mennyiségek, költségek kapcsán azt céloztam meg, hogy minél részletesebb adatokat tudjak gyűjteni és megjeleníteni. Ezáltal, ha probléma adódik valahol, például egy csőtörés, akkor azt sokkal pontosabban lehet detektálni a rendszer segítségével.

A kompresszorok, amelyek generálják a sűrített levegőt bizonyos termelési folyamatokhoz a gépek számára szintén új szereplőként léptek be a felügyeleti rendszerbe. Az ezekkel kapcsolatos vizsgálataim hasonlóak a korábbi, gépeknél használt termelési mennyiségek és villamosenergia fogyasztások összevetéséhez. Itt a kompresszoroknál a termelt sűrített levegő mennyiségét vetem össze az általuk elfogyasztott villamosenergia mennyiségével. Az új, kulcsfontosságú mutatószámmal meghatározom az adott kompresszor ideális teljesítmény szintjét, amelyet normál, hibamentes működés mellett tartania kell.

Az elszívó berendezések energiafogyasztása a vizsgált időszakokban szinte megegyezett a termelő gépek fogyasztásával. Így megfogalmaztam azt a célt is, hogy az elszívók villamosenergia felhasználásait „terheljem rá” azokra a gépekre, amelyek miatt az az elszívó működött. Így a termelés kapcsán közvetettnek tekinthető energiafogyasztásokat és azok

költségeit a gyártáshoz közvetlenül kapcsolódó adatokká tudom alakítani. Ez számos előnnyel jár a számomra, például a korábbi kutatásoknál, amikor megállapítottam, hogy az adott gép veszteségesen működött, az új kutatás segítségével már azt is meg tudom mondani, hogy a „ráterhelt” elszívó fogyasztási mennyisége is felesleges volt. De az így kalkulált – korábban csak becsült – elszívási közvetett költség is közvetlen költséggé alakítható a gyártott termékekhez.

### 3. A kutatás során elért eredmények

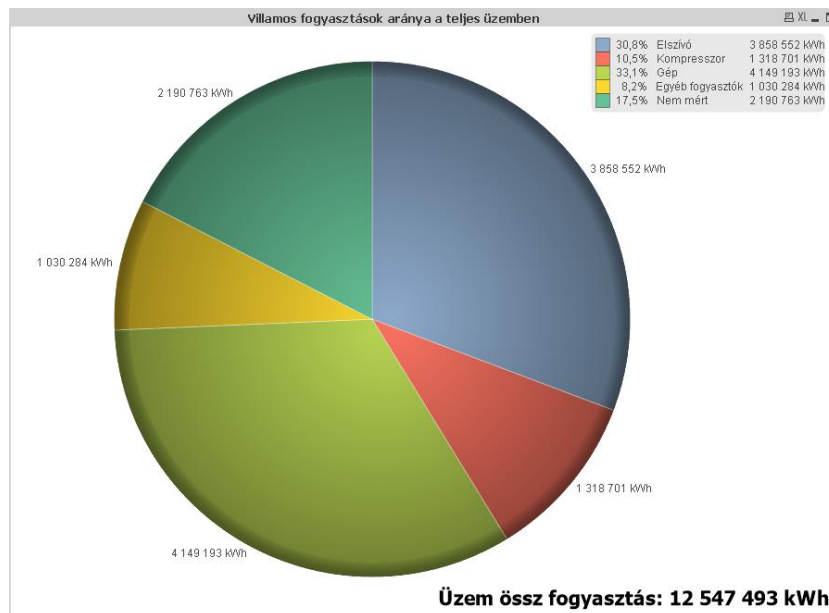
Ebben a fejezetben bemutatom a kutatás során elért eredményeimet és a hozzájuk tartozó téziseket.

#### 3.1. A kiberfizikai rendszer fejlesztése és az adatbázis átalakítása

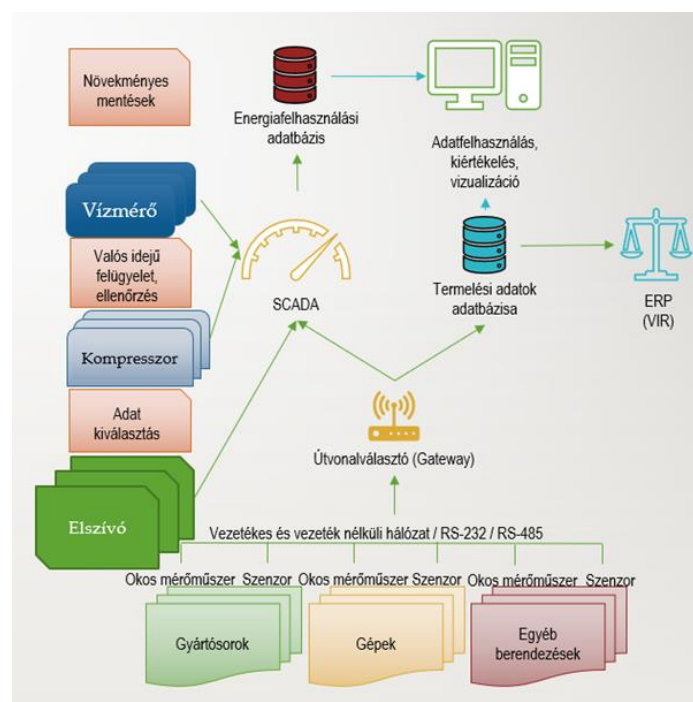
A kutatásom jövőbeli céljainak meghatározása után az első lépés az volt, hogy megterveztük, és lépésről lépésre meg is valósítottuk a meglévő kiberfizikai rendszer hardveres és szoftveres fejlesztését. A kiberfizikai rendszer fejlesztésére azért volt szükség, mert már nem csak a termelő gépek villamosenergia fogyasztását szerettük volna mérni, hanem minden más termelést támogató berendezést (elszívókat és kompresszorokat) is szerettünk volna a hálózatra kapcsolni, és mérni azok energiafogyasztási és egyéb adatait. Ehhez viszont arra is szükség volt, hogy ezekhez a berendezésekhez is fel legyenek szerelve szenzorok, amelyek mérik a fogyasztási és/vagy termelési paramétereket [1]. A szenzorok beszerzésében és felszerelésében a vállalat szakemberei készségesen segítséget nyújtottak, így viszonylag hamar meg is valósult ez a fázis. A szükséges beállítások után már sikerült mérni az elszívók és kompresszorok villamosenergia fogyasztási adatait is. Ezeknél a gépeknél fontosnak tartottuk, hogy több paramétert is mérjünk, ezért, szintén szenzorokat alkalmazva, elkezdtek mérni a légköbméter elszívási és kibocsátási mennyiségeket is. A fő célunk az volt, hogy a beáramlott adatokból, csak úgy, mint a termelő gépeknél, különböző elemzéseket készítsünk, illetve a vállalat vezetésével együtt szerettük volna tudni a gyár működésének erőforrás felhasználásokkal kapcsolatos további adatait.

Itt felmerülhet a kérdés, hogy miért pont a kompresszorok és elszívók teljesítményét kezdtük el vizsgálni, amikor a termelésben a főszerep a termelő- és munkagépeké és a termékeké. Ennek egyszerű oka van: minden más berendezés a termelő gépek mellett elég nagy áramfogyasztónak bizonyult, viszont ezt a vállalat csak sejtette, bizonyítéka nem volt róla. Mikor már egy-két éve gyűjtöttük az adatokat ezekről a gépekről is, sikerült készíteni egy éves elemzést, ahol nagyon jól látható, hogy valóban az elszívók a legnagyobb energiafogyasztók, de a kompresszorok fogyasztásai is szembetűnőek. Az 1. ábra a vállalat teljes villamosenergia fogyasztását mutatja a 2020-as évben, ami összesen több mint 12 millió kWh volt. Az ábrán az is látszódik, hogy ebből a 12 millió kWh-ból 3,8 millió kWh volt az elszívók, és több, mint 4 millió a termelő gépek éves energiafogyasztása. A kompresszoroké 1,3 millió kWh volt, ami éves szinten kimagasló a többi fogyasztó mellett. Amikor láttuk, hogy az elszívók ilyen sokat fogyasztanak, új célok fogalmazódtak meg bennünk a kutatással kapcsolatban. Kezdetben az

elszívók villamosenergia fogyasztási adatait nem lehetett összekapcsolni a gyártási teljesítménnyel. Emiatt is volt a fő cél megismerni az elszívó berendezések hasznos és haszontalan energiafogyasztását. Elszívók esetében itt a hasznos villamosenergia fogyasztás azt jelenti, hogy miközben a gépek termékeket állítottak elő, addig működésben volt az elszívó; a haszontalan villamosenergia fogyasztás azt jelenti, hogy a gépek nem állítottak elő semmilyen terméket, viszont az elszívó működésben volt. A közvetett költségek közvetlen költségekre való átváltása érdekében számos módosítást és bővítést kellett végrehajtani kiberfizikai keretrendszerben [2].



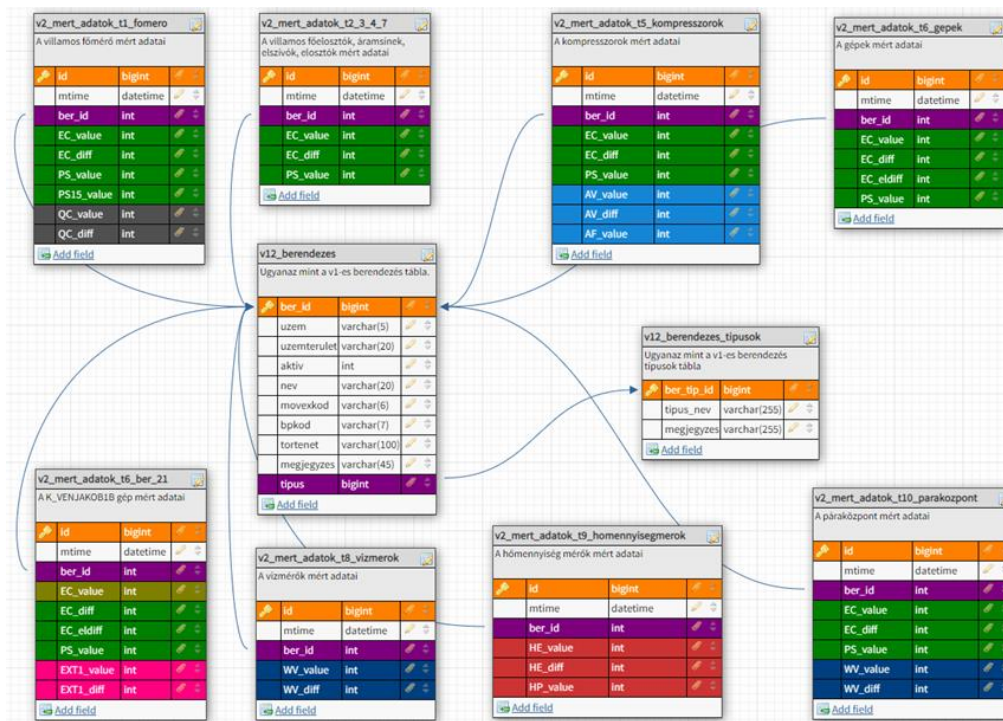
1. ábra: Villamosenergia fogyasztás a 2020-as évben



2. ábra: A kibővített kiberfizikai rendszer felépítése

A 2. ábra szemlélteti a kibővített kiberfizikai rendszer felépítését és az adatok áramlásának irányát. Itt látható, hogy az új berendezések bekerültek (kompresszorok és elszívók), illetve a vízfogyasztás, mint mérési paraméter is megjelenik a rendszerben, amiket a SCADA rendszerben tudunk felügyelni [3]. Így a gyártásnál használt további erőforrások (a villamosenergián kívül) felhasználásainak mért adatait a SCADA rendszerhez tartozó adatbázisban tudjuk eltárolni és nyomon követni.

A kutatás kezdetén a vállalatnál ki kellett alakítani egy külön adatbázist a historikus adatok eltárolásához (3. ábra), mivel a folyamatmenedzselő szoftver belső adatbázisában levő adatszerkezetek nem voltak megfelelőek a hatékony és gyors munkához. Emellett az átalakítás célja még egyrészt az volt, hogy más rendszerek (pl.: ERP) adataival is össze lehessen kapcsolni az energiafogyasztási adatokat, másrészt, hogy az elszívókkal, kompresszorokkal és a vízfogyasztással kapcsolatban mért értékek is tárolhatóak legyenek az adatbázisban.



3. ábra: Adatbázis struktúra 2021-től

**1. tézis:** Elkészült egy olyan kiberfizikai rendszer bővítése, amellyel már nem csak a villamosenergia fogyasztásokat lehet nyomon követni és felügyelni, hanem a gyártás során felhasznált további erőforrásokat (például a víz felhasználásait, a kompresszorok által termelt, és az elszívók által elszívott sűrített levegőt) is.

**Kapcsolódó publikációk:**

*Idegen nyelvű folyóiratcikk:* [F2]

*Idegen nyelvű konferenciakékek (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények):* [K1], [K3], [K4]

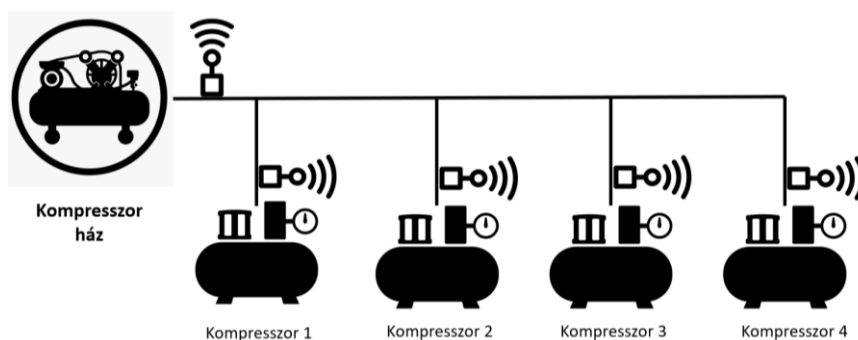
*Magyar nyelvű tudományos szakcikkek:* [Sz2]

### 3.2. Vízfogyasztás felügyelete

A vállalat vízfogyasztásának felügyeletével kapcsolatban fejlesztettünk egy olyan adatgyűjtő rendszert, amely 10 percenként fogad az adatbázisba adatokat az elfogyasztott víz mennyiségéről. Ennek köszönhetően képesek vagyunk részletes kimutatásokat készíteni, amelyekből megállapíthatók az esetleges problémák, például csőtörés, egyéb vízszivárgás. Konkrét példa erre a tűzoltói vízcsapnál a csőtörések, meghibásodott szenzorok, de magára a tűzoltói vízfogyasztással kapcsolatos problémára (fizikai eszközök elhelyezkedése a mérési folyamatban) is a rendszer segítségével sikerült rávilágítani. A korábbi napi adatokhoz képest 10 percre lebontva tudjuk azonosítani a problémákat, ez 144-szeres pontosságot eredményez, a korábban alkalmazott napi egyszereshez képest. Nem említve azt, hogy a napi összesített adatok esetleg el is fedhetnék ezeket a hibákat vagy nehezebb lenne azonosítani őket [4][5].

### 3.3. Kompresszorok energiafogyasztásával és sűrített levegő kibocsátásával kapcsolatos eredmények

A kompresszorok az elszívók és a termelő gépek mellett a legnagyobb villamosenergia fogyasztók a vállalatnál, így fontosnak tartottuk a vizsgálatukat. A kompresszorok a sűrített levegő generálásával és kibocsátásával támogatják a termelő gépek működését a termelés bizonyos szakaszaiban. A kompresszoroknál a kutatás tekintetében több célt tűztünk ki. Az egyik cél a rendszer bővítése volt hardveresen és szoftveresen is, ami azt jelentette, hogy a kompresszorokhoz ki lettek helyezve szenzorok, amelyek mérik az egyes kompresszorok kibocsátott sűrített levegő mennyiségét és villamosenergia fogyasztását. A hardveres bővítésre azért volt szükség, mert kezdetben csak a kompresszorházak (4. ábra) voltak felszerelve szenzorral, ami az összes kompresszor villamosenergia fogyasztási adatait mérte összesítve.



4. ábra: Kompresszorház felépítése

A SCADA rendszer segítségével elmentett adatok alapján az üzleti intelligencia rendszerben is szerettük volna nyomonkövetni a fogyasztási értékeket, ezért itt is módosításokat kellett végeznünk, hogy megjelenjenek a kompresszorokhoz tartozó fogyasztási adatok mellett a hatékonysági (hasznos/haszontalan) mértékek is. A másik célunk az volt, hogy létrehozzunk egy új KPI-t, amely a kompresszorok által termelt léghőméter mennyiségét veti össze a villamosenergia fogyasztásukkal. Így számunkra kiderül, hogy egy m<sup>3</sup> levegőmennyiség

generáláshoz mennyi kWh villamosenergiát használ fel egy adott kompresszor. Ez a mutatószám azért fontos, mert ezáltal meg lehet határozni akár minden egyes kompresszorra nézve olyan ideális teljesítmény értékeket, amiket a normális, hatékony és hibamentes működés közben tartania kell [6][7][8].

**2. tézis:** A gyártást támogató erőforrásokat önmagukban (víz) és egymással összevetve (kompresszoroknál a termelt sűrített levegőt és az elfogyasztott villamos energiát együttesen) is vizsgáltam. Ezáltal számos esetben anomáliákat fedeztem fel a felhasználás és működés folyamatában, amelyek így a későbbiekben megszüntethetőek.

#### Kapcsolódó publikációk:

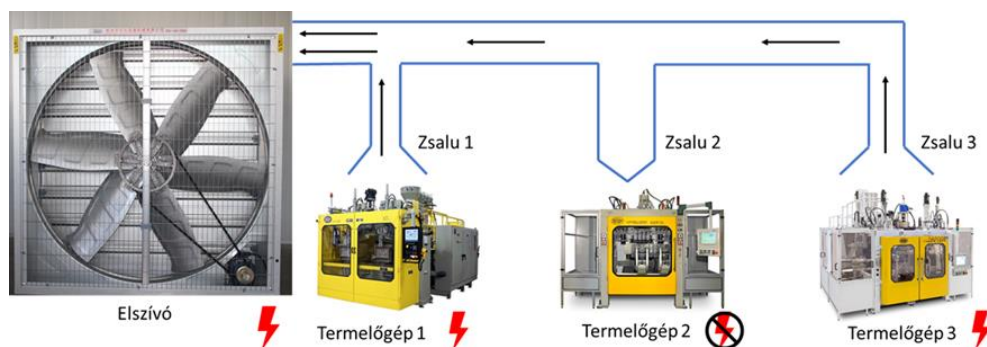
Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F2]

Idegen nyelvű konferenciák (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények): [K3], [K4], [K5]

Magyar nyelvű tudományos szócikkek: [Sz2]

#### 3.4. Elszívók energiafogyasztásával kapcsolatos eredmények

A másik nagy berendezés csoport, amit a kompresszorok mellett vizsgáltunk, az elszívók voltak. Az elszívókkal kapcsolatban az volt a fő célunk, hogy a villamosenergia fogyasztásaikat rá tudjuk terhelni az általuk támogatott termelő gépekre. Ahhoz, hogy teljesüljön a célunk, szintén szenzorok telepítésére volt szükség kezdetben. Az elszívók zsaluihoz lettek felszerelve az új szenzorok, amelyek mérték a zsaluk állapotát (nyitva vagy zárva). Az állapotfigyelő szenzorok mellett fogyasztásmérő szenzorok is telepítve lettek, amik a villamosenergia fogyasztást mérték.



5. ábra: Elszívó berendezés és zsaluinak működése

A 5. ábra mutat egy elszívó berendezést, ami működése közben áramot fogyaszt, és három termelő géptől szívja el a levegőt, amikor a zsaluk nyitva vannak. A képen látható, hogy az első és a harmadik zsalu van nyitva, és a második zárva. Ha egy zsalu nyitva van, akkor az elszívó részleges villamosenergia fogyasztási adatai hozzáadódnak a hozzá kapcsolódó termelő gép villamosenergia fogyasztási adataihoz. Ha egy zsalu nincs nyitva, az azt jelenti, hogy az adott termelő gép nem üzemel, így elszívásra sincs szüksége és a kalkulációból is kivonható ez a gép.



A kiberfizikai rendszerben (annak SCADA és adatbáziskezelő rendszerében) is fejlesztéseket kellett végezni, hogy megjelenjenek az újonnan mért értékeink. Ezután a SCADA rendszerben összekapcsoltuk az elszívókat a támogatott termelő gépekkel, és ezáltal vált lehetővé az, hogy az elszívók energiafogyasztása rá legyen terhelve az adott termelő gépekre. Ezzel meg tudjuk állapítani azt, hogy egy adott elszívó működése mennyire volt hatékony a termelés közben [9][10].

#### 3.4.1. Közvetlen és közvetett energiafogyasztás kiszámítása

A kibővített kiberfizikai rendszerünkkel már képesek vagyunk olyan számításokat végezni, amelyeknél az elszívók közvetett energiafogyasztási adataiból megkapjuk a gépekre közvetlen módon terhelhető energiafogyasztási adatokat. A célunk eléréséhez ismernünk kell az elszívó berendezések részleges villamosenergia fogyasztását minden zsalura és termelő gépre nézve. Meghatároztunk egy matematikai képletet, amely megmutatja a részleges villamosenergia felhasználást  $i$ . zsalura adott időszakban (10 perc):

$$E_{S_i} = \begin{cases} \frac{E_{EX_j} * t_i * C_i}{\sum_{k=1}^l t_k * C_k} & \rightarrow \text{ha } \exists k : t_k > 0 \\ 0 & \rightarrow \text{különben} \end{cases} \quad (1)$$

Az (1) képlet a következő elemekből áll:

- $E_{S_i}$ : A  $j$ . elszívó  $i$ . zsalujára (angolul: shutter) jutó részleges villamosenergia fogyasztása (kWh)
- $j$ : Az adott elszívó azonosítója
- $i$ : Az adott zsalu azonosítója
- $l$ : A  $j$ . elszívóhoz tartozó zsaluk száma, és  $1 \leq i \leq l$
- $E_{EX_j}$ : A  $j$ . elszívó teljes villamosenergia-fogyasztása (kWh)
- $t_i$ : Azon percek száma (legfeljebb 10), amikor az  $i$ . zsalu nyitva van
- $C_i$ : Az  $i$ . zsalu kapacitása ( $m^3/h$ )

Miután megkaptuk a közvetett villamosenergia fogyasztási adatokat (fent), hozzáadtuk őket a kapcsolódó termelő gépek villamosenergia-fogyasztási adataihoz (lent). Ezután megkapjuk a közvetlen értékeket, amelyek a közvetett (részleges) fogyasztási értékeket tartalmazzák:

$$E_i = E_{M_i} + E_{S_i} \quad (2)$$

A (2) egyenlet a következő elemeket tartalmazza:

- $i$ : A termelő gép (és a zsalu) azonosítója (ebben az esetben egyenértékűek)
- $E_i$ : Az  $i$ . gép közvetlen villamosenergia fogyasztása (közvetett értékkel együtt)
- $E_{M_i}$ : Az  $i$ . gép (angolul: machine) villamosenergia fogyasztása (közvetett érték nélkül)
- $E_{S_i}$ : Az  $i$ . gép (elszívó zsaluján keresztül „kapott”) közvetett villamosenergia-fogyasztási értéke

Az épületfelügyeleti rendszert az (1) és (2) képlettel bővítettük, ami programozás formájában valósult meg. A számításainknak köszönhetően megkaptuk a közvetlen energiafogyasztási értékeket.

A rendszerben előfordulnak olyan nagy gépsorok, amelyek nem csak egy, hanem több (a legnagyobb ilyen szám 2022-ben 20 darab) zsalun keresztül kapcsolódnak egy elszívóra. Ilyen esetben először a közvetett töredék fogyasztásokat kell összegezni, majd az összeget hozzáadni a gép közvetlen fogyasztásához. Ebben az esetben a (2) képlet a következők szerint módosul:

$$E_i = E_{M_i} + \sum_k E_{S_{j_k}} \quad (3)$$

A (3) egyenlet a (2) egyenlethez képest a  $j$ . elszívó összes ( $k$  darab) olyan zsalura számított részfogyasztását tartalmazza, amely az  $i$ . gépsorhoz kapcsolódik.

#### 3.4.2. Módszertan szemléltetése (példa kalkuláció)

Bemutatunk egy példa kalkulációt, amit a módszertanunk, képleteink alapján készítettünk.

Adott elszívó berendezés zsaluinak szívási kapacitása (ezek konstans értékek):

- Zsalu 1 kapacitása [S1]: 36.550 m<sup>3</sup>/h
- Zsalu 2 kapacitása [S2]: 14.500 m<sup>3</sup>/h

Adott elszívó villamosenergia fogyasztása:

- Az első 10 percben [T1]: 18 kWh
- A második 10 percben [T2]: 17 kWh

„Zsalu 1 nyitva” állapot (az első 10 perces időszakot T1-gyel, a második 10 perces időszakot T2-val jelöltük):

- [T1] időszakban: 2 perc
- [T2] időszakban: 4 perc

„Zsalu 2 nyitva” állapot:

- [T1] időszakban: 3 perc
- [T2] időszakban: 5 perc

Termelő gépnél mért villamosenergia fogyasztás:

- [T1] időszakban:
  - $E_{M1}$ : 25 kWh
  - $E_{M2}$ : 10 kWh
- [T2] időszakban:
  - $E_{M1}$ : 30 kWh

- $E_{M2}$ : 13 kWh

Az elszívók zsalunkénti és időegységenkénti villamosenergia fogyasztása (közvetett fogyasztási értékek): Az (1) egyenletbe behelyettesítve a fenti értékeket a következő eredményeket kapjuk:

- $E_{S1,T1} = 11,29 \text{ kWh}$  (Az első 10 percen belül)
- $E_{S2,T1} = 6,72 \text{ kWh}$  (Az első 10 percen belül)
- $E_{S1,T2} = 11,36 \text{ kWh}$  (A második 10 percen belül)
- $E_{S2,T2} = 5,64 \text{ kWh}$  (A második 10 percen belül)

Kiszámított közvetlen villamosenergia fogyasztás (termelő gép) és közvetett fogyasztási értékek (elszívó) időegységenként: ha a (2) egyenletbe behelyettesítjük a fenti értékeket, akkor a következő eredményeket kapjuk:

- $E_{M1+S1,T1} = 36,29 \text{ kWh}$
- $E_{M2+S2,T1} = 16,72 \text{ kWh}$
- $E_{M1+S1,T2} = 41,36 \text{ kWh}$
- $E_{M2+S2,T2} = 18,64 \text{ kWh}$

Így megkapjuk a közvetlen villamosenergia fogyasztási értékeket, amelyek tartalmazzák az elszívók fogyasztásait is.

Az itt bemutatott módszertant az éles működés során érvényesítettük (validáltuk): a működés során kapott összetett bemeneti adatokat és a kalkulációinkat is ellenőriztük, így kijelenthető, hogy azok helyes eredményeket adnak.

**3. tézis:** A gyárban a termelő gépeket szorosan követő második legnagyobb energiafogyasztó berendezések az elszívók. A villamosenergia felhasználásaikat egy saját módszertan segítségével (amely hardveres, szoftveres és algoritmikus fejlesztésekkel járt) képes vagyok elemezni. Így a közvetett felhasználásokból közvetlen fogyasztási mennyiségeket számítok ki. Ezáltal sokkal pontosabban meghatározom a haszontalan működtetések veszteségeit.

#### **Kapcsolódó publikációk:**

*Idegen nyelvű folyóiratcikk:* **[F1]**

*Idegen nyelvű konferenciák (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények):* **[K2]**

*Magyar nyelvű tudományos szakcikkek:* **[Sz1]**

## 4. Elért eredmények hasznosítási lehetőségei

A meglévő kiberfizikai rendszert minden összetevőjével együtt lehetőség van alkalmazni a kutatásban részt vevő vállalat bármelyik másik leányvállalatánál, de más termelő vállalatnál is, mérettől és profiltól függetlenül. Ha egy vállalat igényt tart majd a jövőben egy hasonló rendszerre, akkor először meg kell ismerni a vállalat működését és folyamatait, főleg a termelést és az azt támogató berendezéseket, eszközöket. A folyamatok megismerésén túl fel kell mérni, hogy milyen szenzorok szükségesek a kiberfizikai rendszer hardveres környezetének a kialakításához. Ki kell alakítani az eszközök közötti kommunikációs hálózatot, illetve az adatgyűjtés biztosításához is tartozó hardveres környezetet. Ha a hardveres környezetet sikerült telepíteni, utána következhet a szoftveres környezet kialakítása. Erre több lehetőség is rendelkezésre áll, egyrészt a vállalat vásárolhat dobozos szoftvereket, másrészt igénybe vehet a saját folyamataira és eszközeire szabottan elkészített egyedi fejlesztésű alkalmazásokat.

Ha elkészült a kiberfizikai rendszer hardveres és szoftveres környezete, akkor már rendelkezésünkre állnak az adatgyűjtő és -elemző megoldások. Ezután következhet a vállalat szakembereivel való egyeztetés során kitűzött célok értelmezése és a megvalósíthatóságuk felmérése. A vállalat menedzsereinek prioritásai szerint (miben szeretnének javulni) az adatgyűjtési és elemzési tervek összeállítása a következő lépés. Ezután következhet az univerzálisnak tekinthető adatbázis terv finomhangolása az adott vállalat környezetének igényei szerint. Például, ha a vállalatnál nem kompresszorok működnek, akkor nem léghőmérő mennyiségeket fogunk összevetni a villamosenergiával, hanem annak az eszköznek az adatait, amit ott a termelés támogatására használnak. Tehát először az ott alkalmazható kulcsfontosságú mutatószámokat (KPI) kell meghatározni, amelyekhez meg is kell kezdeni az adatgyűjtést. Ezáltal idővel a vállalat menedzserei az általános működésükről a KPI-ken keresztül egyre több hasznos információkkal fognak rendelkezni és kitűzhetőek olyan célok, amelyekben szeretnének előre lépni, jobbá, hatékonyabbá válni.

## 5. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája

*Idegen nyelvű folyóiratcikkek*

**[F1]** Adrienn Koncz; Attila Gludovátz: Calculation of indirect electricity consumption in product manufacturing, International Journal of Energy Production and Management 6: 3 pp. 229-244. Paper: 10.2495/EQ-V6-N3-229-244, 15 p. (2021)

**[F2]** Adrienn Koncz, Attila Gludovatz: Efficient energy management system and optimization of resources at a furniture company, SEFBIS JOURNAL 2019: 13 pp. 72-83., 12 p. (2019)

*Idegen nyelvű konferenci cikkek (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények)*

**[K1]** Adrienn Koncz, Attila Gludovátz, Gergely Bencsik: Smart analyses in the era of Industry 4.0, In: Bacsárdi, László; Bencsik, Gergely; Pödör, Zoltán (szerk.) OGIK 2018: 15. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia - Az előadások összefoglalói, Sopron, Magyarország: Alexander Alapítvány a Jövő Értelmiségéért (2018) 88 p. pp. 49-51., 1 p.

**[K2]** Koncz Adrienn, Gludovátz Attila: Indirect electricity consumption calculation in the product manufacturing, In: Zoltán, Horváth; Adrian, Petruşel (szerk.) Collection of Abstracts: 13th Joint Conference on Mathematics and Informatics, Budapest, Magyarország: ELTE Informatikai Kar, Babes-Bolyai Tudományegyetem, Babes-Bolyai Tudományegyetem, Matematika és Informatika Kar, Babes-Bolyai Tudományegyetem (2020) 201 p. pp. 100-101., 2 p.

**[K3]** Gludovátz Attila, Koncz Adrienn: Efficient energy management system at a furniture company, In: Bacsárdi, László; Bencsik, Gergely; Pödör, Zoltán (szerk.) OGIK'2018 Országos Gazdaságinformatikai Konferencia - Válogatott közlemények, Sopron, Magyarország: Alexander Alapítvány a Jövő Értelmiségéért (2019) 92 p. pp. 43-47. Paper: OGIK2018-K-5, 5 p.

**[K4]** Adrienn Koncz, Attila Gludovatz, Gergely Bencsik: Optimization of water, heat energy and generated air consumption at a furniture company, In: Bacsárdi, László; Bencsik, Gergely; Pödör, Zoltán (szerk.) OGIK 2018: 15. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia - Az előadások összefoglalói, Sopron, Magyarország: Alexander Alapítvány a Jövő Értelmiségéért (2018) 88 p. pp. 42-43., 2 p.

**[K5]** Adrienn Koncz, Attila Gludovatz: Resource management with IoT devices at a wood industrial company, In: Raffai, Mária; Honfi, Vid (szerk.) OGIK'2019 16. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia, (2019) pp. 49-50., 2 p.

*Magyar nyelvű tudományos szakcikkek*

**[Sz1]** Koncz Adrienn, Gludovátz Attila: Termelő vállalatnál telepített IoT-alapú energiafelügyeleti rendszer kiterjesztése, In: Molnár, Dániel; Molnár, Dóra (szerk.) XXIV. Tavaszi Szél Konferencia 2021 Tanulmánykötet II., Budapest, Magyarország: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) (2021) 755 p. pp. 52-66., 15 p.

**[Sz2]** Koncz Adrienn, Gludovátz Attila: Energiafelhasználás és további erőforrások optimalizálása egy bútortipari vállalatnál, Tavaszi Szél – Spring Wind 2019 II. kötet pp. 542-556., 15 p. (2020)

*Tézisekhez nem kapcsolódó további publikációk*

**[K6]** Koncz Adrienn, Gludovátz Attila, Analysis of Resource Consumption Using Cloud Services in Industrial Environment, In: Raffai, Mária; Kosztyán, Zsolt Tibor (szerk.) OGIK'2021 Országos

Gazdaságinformatikai Konferencia, Veszprém, Magyarország: Platina Nyomda és Kiadó Kft. (2021) 64 p. pp. 26-27., 2 p.

**[K7]** Gludovátz Attila, Koncz Adrienn: IoT alapú ipari erőforrás-felhasználás nyomon követése és elemzése, In: Raffai, Mária; Kosztyán, Zsolt Tibor (szerk.) OGIK'2021 Országos Gazdaságinformatikai Konferencia, Veszprém, Magyarország: Platina Nyomda és Kiadó Kft. (2021) 64 p. pp. 36-37., 2 p.

## 6. Irodalomjegyzék

- [1] Dimitris Mourtzis, John Angelopoulos, Nikos Panopoulos, Design and development of an IoT enabled platform for remote monitoring and predictive maintenance of industrial equipment, *Procedia Manufacturing*, Volume 54, 2021, Pages 166-171, ISSN 2351-9789
- [2] R. Joppen, A. Kühn, D. Hupach, R. Dumitrescu, Collecting data in the assessment of investments within production, *Procedia CIRP*, Volume 79, 2019, Pages 466-471, ISSN 2212-8271
- [3] J. Temido, J. Sousa, R. Malheiro, SCADA and Smart Metering Systems in Water Companies. A Perspective based on the Value Creation Analysis, *Procedia Engineering*, Volume 70, 2014, Pages 1629-1638, ISSN 1877-7058
- [4] Md. Faruque Hossain, Chapter Six - Water, Editor(s): Md. Faruque Hossain, *Sustainable Design and Build*, Butterworth-Heinemann, 2019, Pages 301-418, ISBN 9780128167229
- [5] Yi Man, Yulin Han, Yifan Wang, Jigeng Li, Ling Chen, Yu Qian, Mengna Hong: "Woods to goods: Water consumption analysis for papermaking industry in China", *Journal of Cleaner Production*, Volume 195, 10 September 2018, pp. 1377-1388.
- [6] Oscar Oliveira, Dorabela Gamboa, Pedro Fernandes, An Information System for the Furniture Industry to Optimize the Cutting Process and the Waste Generated, *Procedia Computer Science*, Volume 100, 2016, Pages 711-716, ISSN 1877-0509
- [7] A. Al-Kababji, A. Alsalemi, Y. Himeur, R. Fernandez, F. Bensaali, A. Amira, N. Fetais, Interactive visual study for residential energy consumption data, *Journal of Cleaner Production*, Volume 366, 2022, 132841, ISSN 0959-6526
- [8] Eberhard Abele, Niklas Panten, Benjamin Menz, Data Collection for Energy Monitoring Purposes and Energy Control of Production Machines, *Procedia CIRP*, Volume 29, 2015, Pages 299-304, ISSN 2212-8271
- [9] Simon Johnsson, Elias Andersson, Patrik Thollander, Magnus Karlsson, Energy savings and greenhouse gas mitigation potential in the Swedish wood industry, *Energy*, Volume 187, 2019, 115919, ISSN 0360-5442
- [10] Waheb A. Jabbar, Thanasrii Subramaniam, Andre Emelio Ong, Mohd Iqmal Shu'lb, Wenyan Wu, Mario A. de Oliveira, LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring, *Internet of Things*, Volume 19, 2022, 100540, ISSN 2542-6605