



2018.10.18.

# Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben

**Tézisfüzet**

**2018**

**Gludovátz Attila**

**Témavezető: Dr. Bacsárdi László**

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák  
Doktori Iskola

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki,  
Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Informatikai és Gazdasági Intézet

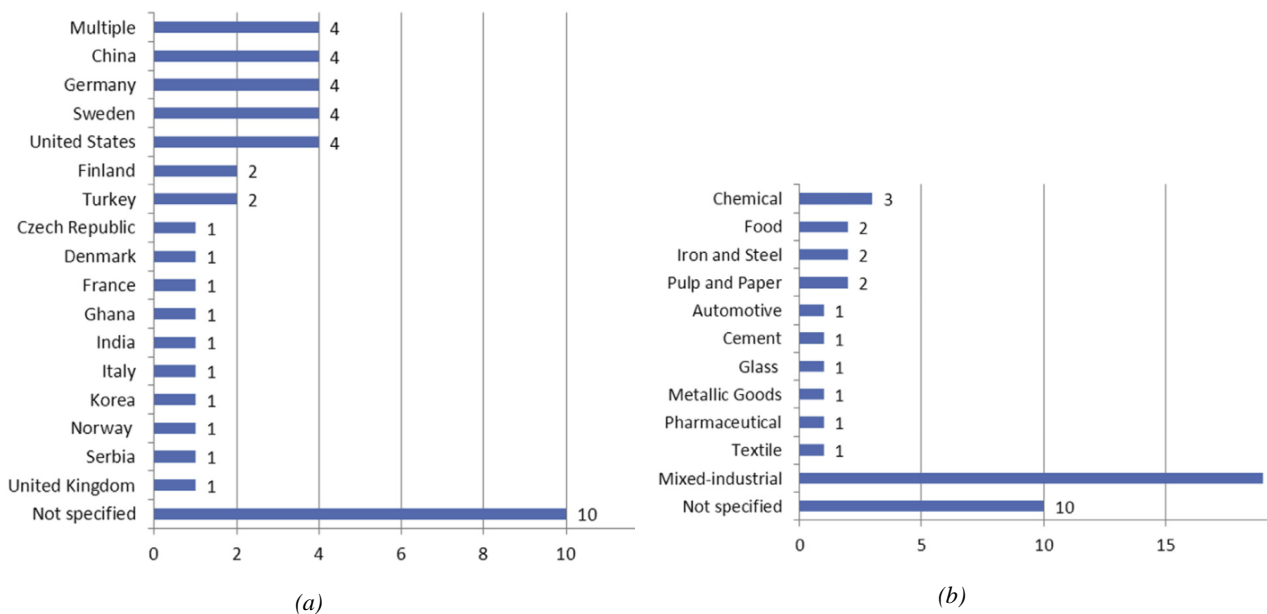


# 1. Bevezetés, motivációk, a kutatás főbb kérdései

Egy termelési tevékenységet folytató vállalat működése során mindig a hatékonyságot tűzi ki egyik legfontosabb célul. Ennek az elérését támogattam úgy, hogy eltérő kutatási feladatokat oldottam meg. Egy multinacionális faipari vállalat termelési folyamatait digitalizáltam, automatizáltam és optimalizáltam is a kutatásaim során. Ugyanis a termelési folyamat fejlesztése mindig valamilyen új, egyedi megoldás használatát igényli. A vizsgált bútoripari vállalat fejlődését különböző termelésirányítási rendszerek telepítésével tettem hatékonyabbá.

Egyik legfőbb motivációm az volt, hogy szerettem volna az informatikai és a faipari tudományos közösség számára is hasznosítható eredményeket felmutatni. Ezen az interdiszciplináris területen tudomásom szerint nagyon kevesen készítettek doktori disszertációt. Ugyanakkor célom volt az is – okleveles gazdaságinformatikusként –, hogy a munkám és kutatásom a vállalati életre is hatást gyakoroljon. A kiválasztott vállalat szakemberei megerősíthetik, hogy a disszertációmban bemutatott kutatási tevékenységek hatékonyabbá tették egy konkrét ipari vállalat működését. Az elvégzett optimalizációs módszertanok és lépések, amelyeket ipari környezetben implementáltam konkrét gazdasági hasznot hoznak egy olyan vállalatnak, amely az innováció terén kiemelkedő szerepet tölt be világszinten.

Egy másik motivációm abból adódik, hogy egy német-svéd kutatócsoport összegyűjtötte a témában fellelhető publikációkat 1979-től 2014-ig és azt állapították meg, hogy az „*energia menedzsment az iparban*” témához kapcsolódó 44 tudományos publikáció alapján, hogy egyik sem kapcsolódott a magyarországi iparhoz, sem a faipari / bútoripari témához. Ebből a kutatásból származik az **1. ábra**, amely országoként (bal oldalon) és ipari szektoronként (jobb oldalon) összegzi az elkészült témához kapcsolódó publikációkat. A fentiek miatt egy ilyen kutatásra szükség és igény is volt az adott vállalati szektor részéről is [1][2][3].



**1. ábra:** 1974-től 2014-ig a tanulmányok fókuszja a szisztematikus kutatás alapján: (a) ország szerint, (b) ipari szektor szerint. (Forrás: [4])

A disszertációban bemutatott megoldásaim és eredményeim akár más egyéb ipari vállalatoknál is alkalmazhatók és hasznosíthatók. A kutatási tapasztalataim segítségével pedig képes vagyok további optimalizálási tevékenységeket végrehajtani vállalati környezetben.

A munkám során először egy termelési folyamat digitalizálását, automatizálását végzem el, amely egy minőségmenedzsmenthez kapcsolódó integrált rendszer. A rendszer magját képező, adatszolgáltató szenzorként működő kamerán futó alkalmazás szolgáltatja az elsődleges adatokat a faanyagok minőségének meghatározásához. Ennek kapcsán megvizsgáltam, hogy a faanyagok felületének milyen a természetes színe és milyen hatások befolyásolják ezt.

A termelési hatékonyságnövelés kapcsán a vizsgált vállalat egy átfogóbb területére koncentráltam, nem csak egy részfolyamatra. A manapság egyre elterjedtebb okosgyártás legfontosabb elemei közé tartozik az optimális energiafelhasználás és -gazdálkodás. Az ezt támogató egyedi keretrendszer fejlesztéséhez meg kellett ismernem a vállalat fizikai és informatikai eszközkészletét. Ezután történt meg a kialakított keretrendszerem adatforrásait szolgáltató szenzorok telepítése a berendezésekhez, valamint azok hálózatba integrálása. Az általam kialakított adatbázisstruktúrába folyamatosan gyűjtöm az energiafelhasználási adatokat, amelyeket aztán az elemzések megkezdése előtt összerendelem termelési adatokkal is. Az így kialakított integráltan működő, üzemeken átívelő kiber-fizikai keretrendszer segítségével számos elemzés lefuttatása vált elérhetővé. Ezen elemzések, eredmények, következtetések segítségével a vezetői döntések támogatása történt meg.

Mindent összevetve, egy optimálisabb, hatékonyabb, gyorsabb és jobb minőségű gyártás működtetése felé lesz képes lépni a vállalat a rendszer használatával. Ennek kapcsán a legfontosabb **feladatok és céljaim** voltak a következők:

1. Egy kiválasztott gyártási folyamatot optimalizáltam IoT<sup>1</sup> eszközökkel.
2. Vállalati szintű energiagazdálkodási és felügyeleti rendszert terveztem meg és implementáltam úgy, hogy integráltan kezeltem heterogén informatikai rendszereket és eszközöket egy bútorigipari gyárban.
3. Az említett gyárban a termelés és az energiagazdálkodás fejlesztéséhez szükséges összefüggéseket tártam fel elemzések és vizsgálatok elvégzésével.

## 2. Kutatási módszertan

A kutatásaim általános vázát elsődlegesen a következő módszertanra alapoztam:

1. Az első és legfontosabb dolog az, hogy egy stratégiai döntést hozzon meg a vállalat vezetése: „*Miben akarnak jobbak lenni?*”, „*Milyen területet akarnak fejleszteni és optimalizálni?*”
2. A kiválasztott folyamatot mélyebben meg kell ismerni adatgyűjtés segítségével.
  - a. Adatgyűjtők kihelyezése (termelő gépek kiválasztása és felszerelése).
    - i. Mérőműszerek, szenzorok segítségével.

---

<sup>1</sup> Internet of Things = Dolgok Internete

- ii. Esetleg valamilyen speciális módon: például egy kamerából, illetve egyéb berendezésekből érkező jeleket számszerűsített adatokká való alakítással.
      - b. Adatgyűjtők hálózatba kapcsolása.
      - c. Adatbázisba gyűjteni az érkező adatokat.
      - d. Opcionális lépés: adatok kinyerése más rendszerekből és összefésülése az itt mért adatokkal.
3. Alapadatok vizsgálata vizualizációs eszközzel.
  - a. Problémák felderítése.
  - b. Problémák kijavítása.
4. Adatok elemzése: matematikai, statisztikai, idősor elemzési, vagy pedig adatbányászati módszerek felhasználásával.
5. Elemzések eredményeinek megjelenítése a döntéshozók számára.
6. Vezetői döntések meghozatala az optimalizáció érdekében.
7. Üzemeltetni kell egy ilyen rendszert és folyamatosan felügyelni, irányítani, elemezni a folyamatokat.

Ezt a folyamatsort leginkább informatikai eszközökkel és módszerekkel támogattam (emellett a diszertációban a kép- és videóelemzési vizsgálatsort meglehetősen részletesen bemutattam). A további vizsgálatok során alkalmaztam matematikai, statisztikai és trendelemzési technikákat az eredmények kinyerésére. Matematikai kalkulációkat az alapadatok származtatásánál használtam, amikor a kalkulált adat hasznosabb volt a nyers változatánál. Emellett még az adatelőkészítési fázisban volt szükség matematikai módszerekre, amikor például a hiányos adatokat pótoltam. Alapstatisztikai vizsgálatokat az energiafelhasználási és a termelési adatok összevetésénél alkalmaztam, hogy kiderüljön egy-egy termék gyártásának hatékonysága vagy egy gép teljesítménye adott időszakokban. Továbbá alkalmaztam exponenciális regressziószámítást, amely az ilyen idősoroknál világít rá arra, hogy milyen trendeket követnek az adatok és a segítségével lehet következtetni a jövőre: itt konkrétan arra, hogy egy berendezés folyamatosan több energiát fogyaszt és ez az elromlását vetíti előre.

### 3. Új eredmények

#### 3.1. Minőségvizsgálat támogatása automatizált folyamatokkal

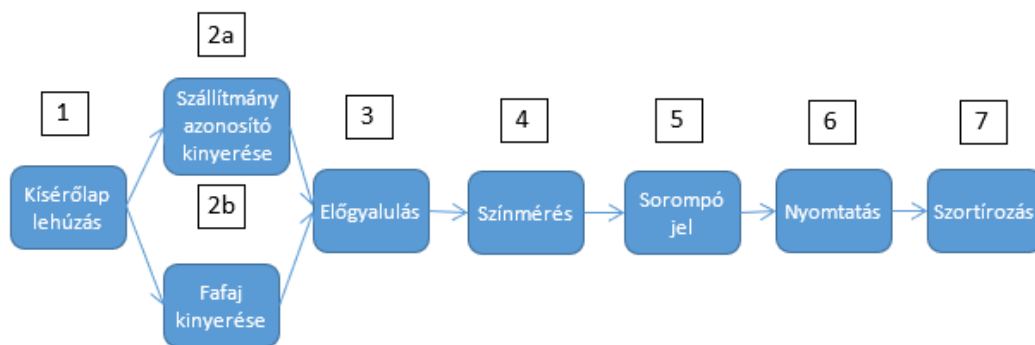
A faipar egy tipikusan hagyományos iparág, amely sok manuális munkafázissal, nagy élő munkaerőszámmal rendelkezik. Az ipari digitalizációnak köszönhetően azonban ez is megváltozik. Mára a hazai faipar egy igen „töredezett” szerkezetű iparág lett, igen széles területekkel: fűrészipar, lemezipar, bútorgyártás, épület-asztalosipar, faházépítés stb. [5]. Nyugat-Európa faiparában a jelentős automatizáltság, digitalizálás, az Ipar 4.0 bevezetése már megkezdődött. A versenyképesség fenntartása hazánkban nehézkes, mivel a bevételek jelentős része exportra alapoz, így tehát az Ipar 4.0 területén való felzárkózás elengedhetetlen. Az ipari famegmunkálás egyik legfontosabb lépése a fa színének a meghatározása. Ez dönti el, hogy a későbbi feldolgozási lépésekben milyen anyagokkal fogják kezelni

az adott deszkát, hiszen egy világos fát nem megfelelő anyaggal kezelve elsötétülhet, vagy túl világossá válhat. Ehhez hozzájárul még a bútorgyártó cégek magas minőséggaranciája is, amelynek nehéz megfelelni.

A kutatás első fontos eleme egy okos-kamerás rendszer által mért színadatok egységes kezelése volt, amely adatokat még egyéb leíró adatokkal kellett kiegészíteni (pl.: idő, beszállító, műszak stb.).

Kezdetben meg kellett ismerkednem azzal az alaprendszerrel (lásd: **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** bal oldala), amely működött a vállalatnál. Ez számos hiányossággal rendelkezett: a faanyagok részletesebb szétosztása szín alapján, döntéstámogatást nélkülöző megoldások, nehézkes gépbeállítás és menedzsment. Ennyi hátránnyal rendelkező rendszer a mai fejlett világban már gyakorlatilag használhatatlannak volt tekinthető és emiatt fontos volt egy kiterjedt informatikai fejlesztési folyamat megvalósítása.

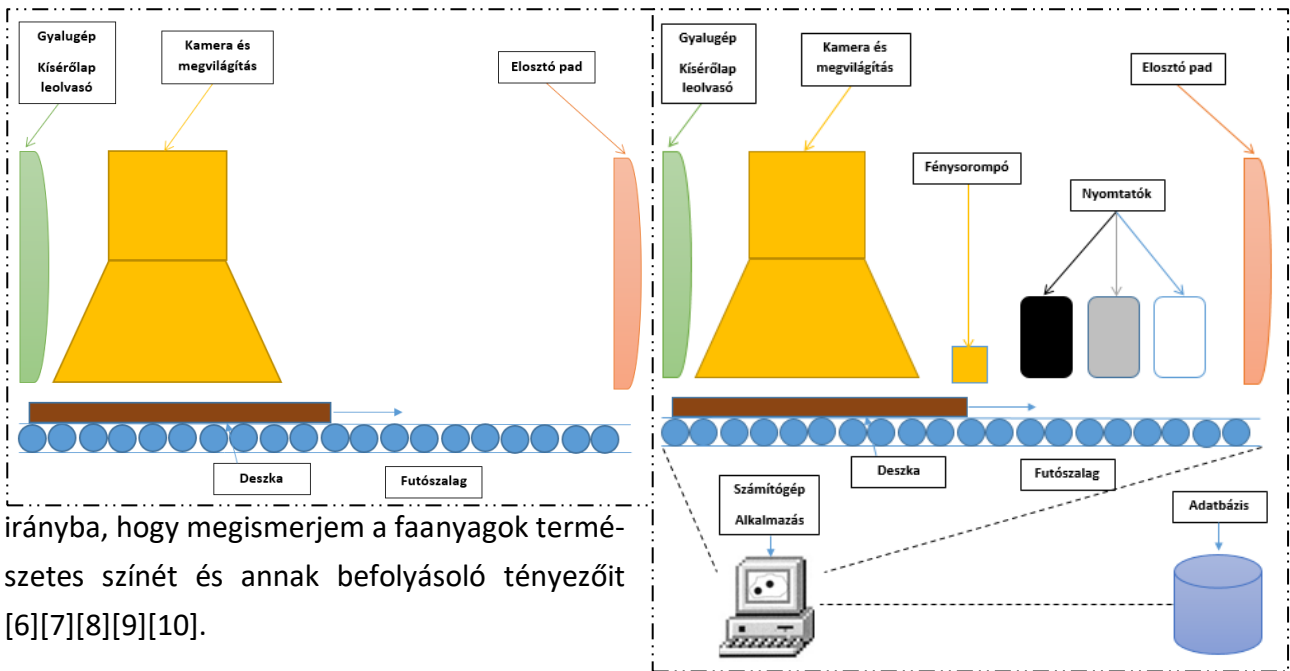
A cél az volt, hogy online módon mindig nyomon lehessen követni az egyes batchek (kötegek, rakatok) lefutását, könnyen lehessen beállítani a futási paramétereket, valamint a szállítmányok gyalulása után minden ezzel kapcsolatos adat kerüljön be egy központi adatbázisba. Ezután az adatbázisban lévő adatokon már különböző elemzéseket lehet végrehajtani, akár helyileg egy vezetői információs rendszer segítségével (mindennapi jelentések generálásával), akár az adatbázist mélyebben vizsgálva az egyetemen kifejlesztett döntéstámogatási rendszer segítségével. Így akár komplexebb összefüggések feltárására is lehetőség adódott. A gyalulás minőségének vizsgálata egy összetett folyamat, ennek részeit mutatja a **2. ábra** a kiterjesztett rendszerben, amelynek architektúrája a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** jobb oldalán látható.



**2. ábra:** A faanyagok feldolgozási, minőségellenőrzési folyamata az előgyalulás előtt, alatt és után.

A kiterjesztett rendszer által összegyűjtött adatokat adatbázisba töltöm fel. Ezután következhetnek a különböző vizsgálatok, elemzések a keretrendszerben. Elsőként a heterogén rendszerekből érkező jeleket kellett adatokká alakítani. Az átalakítás után következhetett az adatok megtisztítása a zajoktól, hiányoktól. Amellett, hogy a vállalat vezetése az adatok kapcsán leginkább a beszállítók sorrendezése érdekelte, én számos egyéb vizsgálatot is elvégeztem rajtuk, mint például a színértékek és a gyakoriságok alakulását, véletlenszerű hibageneráló szimulációt stb.

A későbbiekben igény merült fel arra, hogy ennek a kiterjesztett rendszernek a magját képző intelligens kamerát (és a rajta futó elemző szoftvert) lecseréljék. A kutatásom tehát elindult abba az



irányba, hogy megismerjem a faanyagok természetes színét és annak befolyásoló tényezőit [6][7][8][9][10].

Továbbá megismertem néhány olyan alkalmazást, amely segítségével a számítógépes látás, a képelemzés és a videóelemzés is megvalósítható akár valós időben.

A választásom az OpenCV nyílt forráskódú programozási függvényeket tartalmazó könyvtárra esett [11]. Ennek felhasználásával egy kialakított informatikai módszertan szerint detektáltam a faanyagokat képek, majd a későbbiekben videókon is. Az egyes képelemzések színvizsgálatának és fahiba elemzéseinek eredményei megtalálhatók példákkal illusztrálva a disszertációban. A videóelemzésnél ehhez képest az volt az állításom, hogy a színvizsgálat eredményei arányaiban meggyeznek a képekével. A videónál nem volt szükség arra, hogy a faanyagoknak a tökéletesen pontos színét meghatározzam, csak arra, hogy az egyes faanyagok egymáshoz viszonyítottan jól elkülöníthetők legyenek, hogy melyik lesz sötét, megfelelő vagy éppen világos a vizsgálat elvégzése után. Három kép és videó vizsgálatát összegzi az **1. táblázat**. Tehát példákkal támasztottam alá, hogy a **3. ábra**: Az alap- (balra) és a kiterjesztett rendszer (jobbra) elemei. színvizsgálat akár az ipari környezetben, egy szállítószalag felett elhelyezett kamera képét vizsgálva is működhet.

**1. táblázat:** Összesítő táblázat a faanyagok képes és videós színelemzéséről.

Képes vizsgálat eredményei (RGB és %)			Videós vizsgálat eredményei (RGB és %)		
1. kép	2. kép	3. kép	1. videó	2. videó	3. videó
141,36	150,46	139,23	66,22	70,08	63,38
A képekhez képest a videók színe (%):			46,84%	46,58%	45,52%
Összesen: 431,05 és ehhez arányosítva:			Összesen: 199,68 és ehhez arányosítva:		
32,79%	34,91%	32,30%	33,16%	35,10%	31,74%

**1. téziscsoport:** A saját vizsgálataim alapján elvégzett ipari fejlesztés hatékonyabbá tette a gyalulás, mint termelési részfolyamat menedzselését a vizsgált bútortipari vállalatnál. A fejlesztések várhatóan jól adaptálhatóak más termelő vállalatok gyakorlatába is.

1.1. *tézis*: A kutatás során az Ipar 4.0 módszertan eszközeit és ajánlásait felhasználva kialakítottam egy valós termelési folyamatot támogató keretrendszert, amely vezérlési, optimalizálási és egyéb döntéstámogatási feladatok megoldására is alkalmas bútortipari környezetben.

1.2. *tézis*: Ipari digitalizációs megoldásokat alkalmazva, a kialakított keretrendszert sikerrel alkalmaztam a gyalulás minőségének vizsgálatához. A fejlesztés eredményeként kialakított automatizált minőségellenőrzési folyamat hatására bizonyítottan nőtt a termelés hatékonysága.

1.3. *tézis*: A termelési folyamatról összegyűjtött adatok segítségével elemzéseket hajtottam végre többek között a fa színére vonatkozóan, amelyek segítettek a beszállító kiválasztás stratégiájának kialakítását.

### **Kapcsolódó publikációk<sup>2</sup>:**

*Idegen nyelvű folyóiratcikk*: [F1].

*Idegen nyelvű konferencia (absztraktok, előadások és teljes cikkek)*: [K1], [K2], [K3], [K4].

*Magyar nyelvű konferencia (absztraktok, előadások és teljes cikkek)*: [K7].

### **3.2. Energiagazdálkodási és termelési adatok integrálása**

Az itt végzett vizsgálatokat ugyanannál a multinacionális bútortipari cégnél végeztem, mint a korábbi minőségvizsgálati adatgyűjtő, folyamat felügyelő és irányító, valamint színelemzési vizsgálatokat is. A korábbi sikeres együttműködés hiányában aligha lett volna lehetőségem egy ilyen nagy volumenű, kutatási és fejlesztési projektrészvételre. Itt azonban már nem csak egy termelési részfolyamat digitalizálásáról és automatizálásáról lesz szó, hanem egy egész vállalatot átszövő integrált fizikai és szoftveres megoldásról. A keretrendszer segítségével könnyű hozzáférést biztosítok az elérhető adatokhoz, amelyek bár több helyről származnak, mégis konzisztensek, ellenőrzöttek. Emiatt egy olyan univerzálisnak tekinthető adatbázisszerkezetet terveztem, amelybe egyaránt tölthetők be energiagazdálkodási adatok, de akár emellett hőmérséklet vagy páratartalom adatok tárolására is alkalmas, mivel a paraméterek, illetve berendezések definiálásának lehetősége a rendszer menedzserének kezében van. Az új adatok eltárolásához tehát nincs szükség fejlesztési feladatokra. A keretrendszer kiépítése során figyeltem a megfelelő teljesítményparaméterekre, tehát konkrétan arra, hogy egy-egy lekérdezés ne tartson túl sokáig, ehhez különböző lekérdezés-optimalizálási technikákat alkalmaztam. A biztonság szempontjából pedig fontos kiemelni, hogy nem használtam külső (vállalaton kívüli) szolgáltatásokat, eszközöket, így a gyár belső informatikai rendszere megfelelő védelmet nyújt a keretrendszerem működéséhez.

Ahhoz, hogy bármiféle fejlesztést hajtsak végre a vállalat életében, először meg kellett ismernem a vállalat alapfolyamatait, gyártási területeit, hardver és szoftverkörnyezetét is. A termelési gépek energiatárolása nagyjából konstans lehetne, viszont figyelembe kell venni, hogy kb. 1500 cikk-számú terméket gyártanak a cégnél.

A gyártási folyamatot egy általános furnérozott termék gyártásán keresztül mutattam be. A részfolyamatokhoz azt is hozzárendeltem, hogy melyik termelő gép végzi azt el. Tájékoztattam azokról az

---

<sup>2</sup> Jelmagyarázat: K = Konferencia absztrakt / előadás / cikk, F = Folyóirat cikk; K vagy F után sorszámozás van. A referenciákat a téziszűzet 6. fejezetében (és a disszertáció 8. fejezetében) részletezem.

adatokról, amelyeket addig mértek a termelés kapcsán a vállalatnál. Összefoglalva, az átfogó keretrendszerem bevezetéséig mindössze egyetlen egy adatot tudott a vállalat az egész gyár villamosenergia-fogyasztására vonatkozóan napi szinten.

A keretrendszer tervezésekor kiválasztásra került azoknak a gépeknek a halmaza, amelyeket mindenképpen mérni szerettek volna a vállalatnál, ugyanakkor a fogyasztás szempontjából eltérő volumenűek is. A termelő gépek okos mérőműszerekkel lettek felszerelve, amelyek segítségével a villamosenergia fogyasztás mérésre került. A mérőműszerek egy új számítógépes alhálózatba kerültek a cégnél, hogy még csak véletlenül se zavarjanak bele a többi kommunikációba. A vállalatnál alkalmazott felügyeleti rendszer segítségével az adatok folyamatosan nyomon követhetőek, viszont ennél mélyebb szintű lefűrésra az adatok kapcsán nem volt lehetőség. Emiatt a mért paramétereket (pl.: adott gép villamosenergia fogyasztása) periodikusan végrehajtott inkrementális mentések segítségével egy külső adatbázisba menti. Ebben az adatbázisban egy olyan univerzális adatszerkezetet alakítottam ki, amelybe bármely numerikus adat eltárolásra kerülhet a leíró paramétereivel együtt. Ezzel párhuzamosan megismertem és kiválogattam azokat az adatokat, amelyekre a cég vállalatirányítási rendszeréből (ERP<sup>3</sup>) szükség volt. A cél az volt, hogy ezeket a termelési adatokat összerendeljem az energiafelhasználási adatokkal. A kapcsolatot a két adatsor között a tényadatokhoz tartozó időbélyeg és az adott termelő gép azonosítója adta. Kezdetben a 10 perces időintervallumot határoztam meg az adatgyűjtéseknél, tehát ilyen időközönként érkeztek az inkrementális mentésnek köszönhetően energiafelhasználási adatok az univerzális adatbázisszerkezetembe. Viszont a vállalatirányítási rendszerbe ennél eltérőbb időközönként érkeztek adatok, gyakorta több is 10 perc alatt, így a két adatsor összekapcsolásakor a két adatsor tényadatait az előtte lévő kerek 10 percre állítottam be úgy, hogy a termelési adatokat még összegeztem is a több adatsor miatt. Az adatsorok összekapcsolását egy üzleti intelligencia eszköz segítségével végeztem el, különböző SQL utasításokat felhasználva. Így a szükséges termelési és energiafelhasználási adatok már egységesen, összekapcsolva érhetők el annak számára, aki vizsgálni, megjeleníteni vagy elemezni szeretné. A keretrendszer és az adatáramlási folyamatokat úgy alakítottam ki, hogy a későbbiek során olyan ember is tudjon új paramétereket mérni, aki informatikai szempontból nem feltétlenül tekinthető szakembernek. Így azóta a vállalaton belül már nem csak az energiafelhasználásokat mérik, hanem a hőenergia- és a vízfogyasztást is. A következő ábrán (4. ábra) látható az a kiber-fizikai rendszer, amely segítségével mérhetők és összegyűjthetők a különböző forrásokból érkező adatok. Az ábra mutatja a jelek és az adatok áramlását is alulról felfelé haladva.

**2. téziscsoport: Kialakítottam egy univerzálisan használható adatbázis-szerkezetet az üzemekben összegyűjtött energetikai és más fogyasztási adatok eltárolására, továbbá ezen adatsorok összekapcsolását lehetővé tettem a termelési adatokkal.**

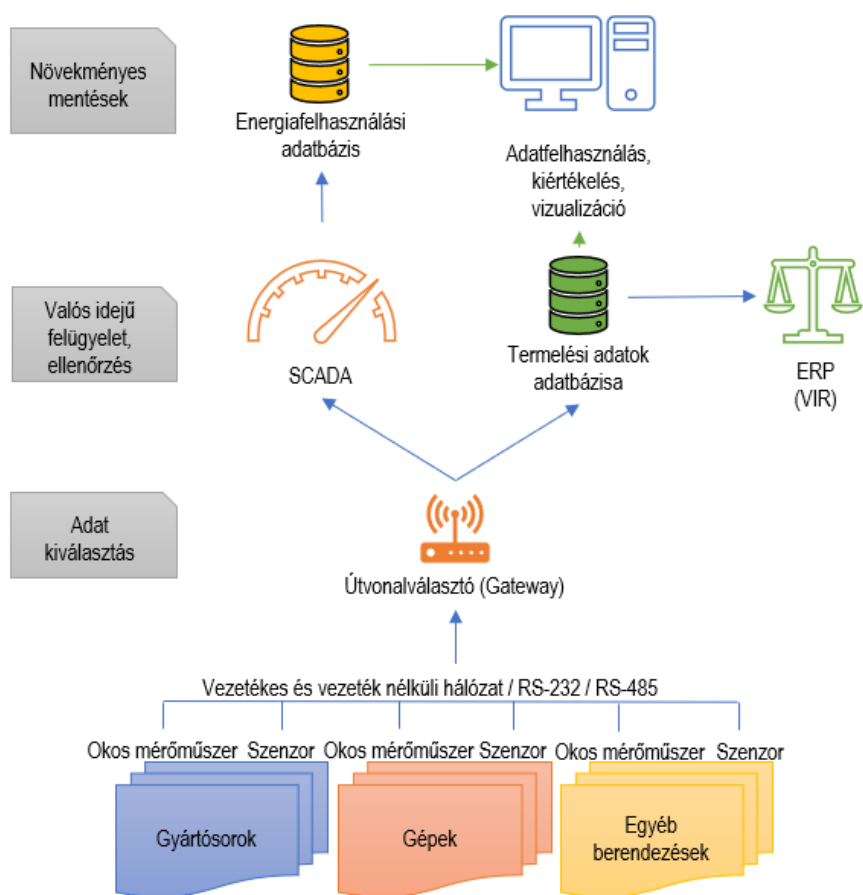
---

<sup>3</sup> Enterprise Resource Planning system



2.1. *tézis:* Univerzálisan használható adatbázis szerkezetet alakítottam ki, amelybe gyakorlatilag bármilyen szenzoros adatként érkező fogyasztási adat betölthető. Megterveztem és megvalósítottam a saját fejlesztésű keretrendszerem fizikai és szoftveres környezetét. Ezzel elértem azt, hogy az új adatok eltárolásához nincs szükség újabb informatikai fejlesztési feladatokra.

2.2. *tézis:* Az energiagazdálkodási adatokat összekapcsoltam a vállalat termelési adataival (termékek, gyártott mennyiségek, műszakadatok, gépbeállítások). Az így kialakított rendszer alkalmas volt arra, hogy az így összegyűjtött és összekapcsolt adatsorokat egységesen elemezzem.



4. ábra: Kiber-fizikai keretrendszerem architektúrája és adatfolyamai.

#### Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F2], [F3].

Idegen nyelvű konferencia (absztraktok, előadások és teljes cikkek): [K5].

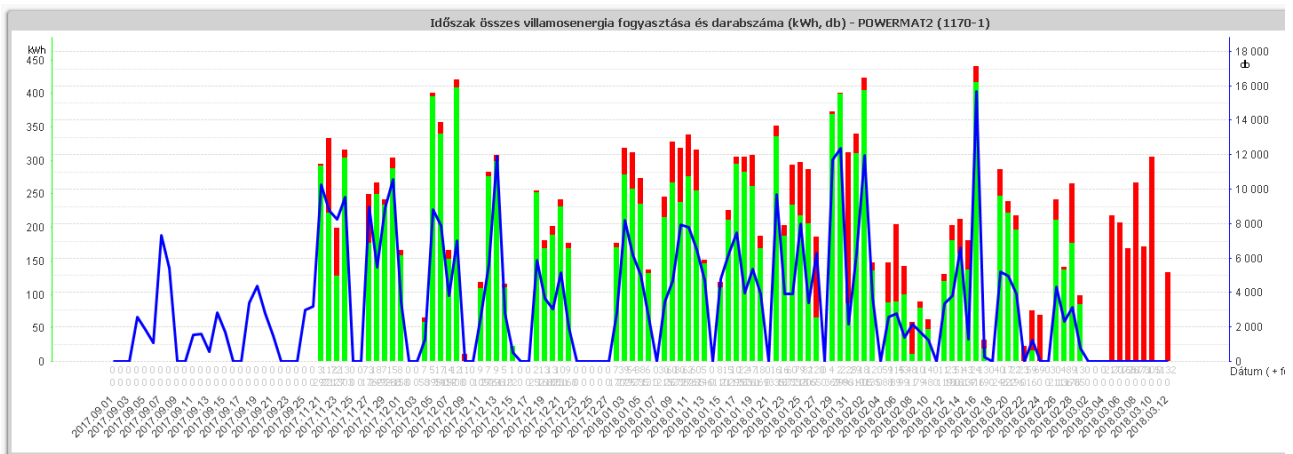
Magyar nyelvű konferencia (absztraktok, előadások és teljes cikkek): [K8].

### 3.3. Energiahatékonysági vizsgálatok

Itt bemutatom, hogy az előző alfejezetben kialakított keretrendszer milyen lehetőségek megvalósítására teszi képessé a rendszer kezelőjét, ezáltal támogatva a vezetői döntéshozatalt és a hatékony működést a vizsgált vállalatnál. A döntéstámogatáshoz elengedhetetlen, hogy hasznos eredményeket nyerjek ki az adatokból, ezáltal választ kapjak kezdeti kérdéseimre, alapfeltételezéseim bizonyosságának vagy éppen cáfolatának megállapítására. A kérdéseket két nagyobb csoportba lehet sorolni. Az első csoport a termelő gépekkel, azok energiafelhasználásával és termelési adatokkal

kapcsolatos. A második csoport a termelő gépek mellett a további berendezésekre is koncentrálnak, amelyek áramfogyasztóként megjelennek az üzemekben. Ez utóbbi csoportban inkább az áramfogyasztásra, míg az elsőnél a termelés és az áramfogyasztás kapcsolatát elemzem.

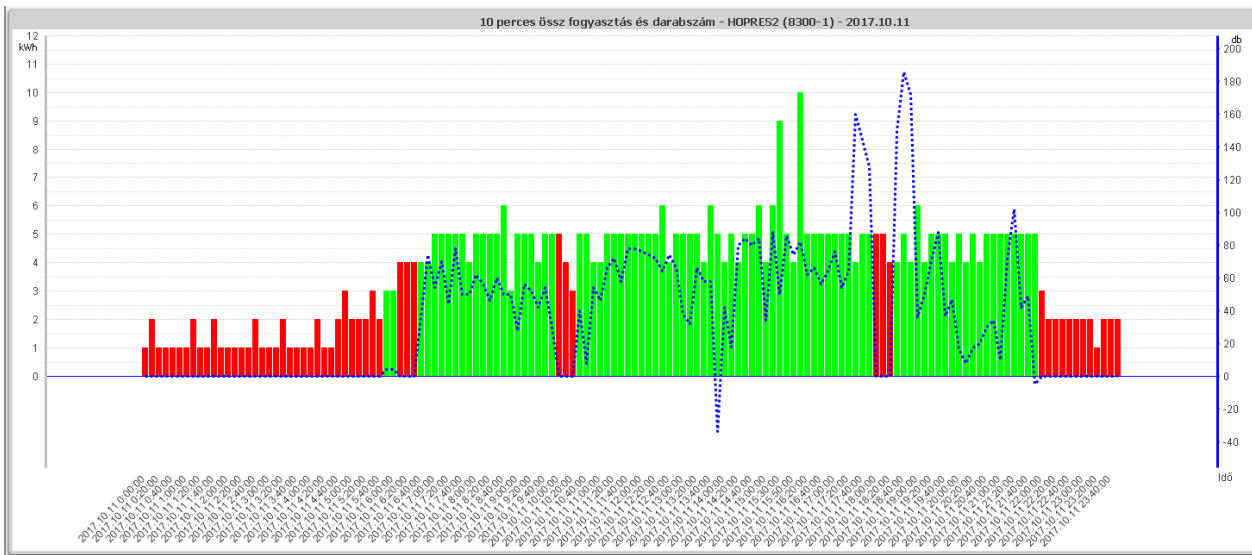
A kapcsolódó szakirodalom áttekintése során azt tapasztaltam, hogy az energiagazdálkodás témakörében keletkeztek eredmények, azonban olyat csak elvétve találtam, amelyek az energiagazdálkodást összekapcsolták volna a termeléssel, folyamatokkal, termékekkel. Egyik érdekes kérdés számomra, hogy mikor volt a termelő gépnek felesleges energiafogyasztása, tehát amikor működésbe volt hozva, de nem termelt. Ehhez áttekintettem a gépek lehetséges állapotait és azonosítottam azokat, amelyek haszontalanok és fontos lenne őket minél inkább kiiktatni. Emiatt olyan jelentéseket kellett létrehozni, amelyek az adott időszakokban mutatják a gépek termelését és energiafogyasztását együttesen.



**5. ábra:** Előgyaluló gép hatékonysága a keretrendszerem alapján: a vízszintes tengelyen láthatók az adott gazdasági év dátumai, bal oldali függőleges tengelye a kWh felhasználásokat jelöli (a zöld oszlopdiagram a hasznos energiafelhasználást, míg a piros oszlopok vagy részoszlopok a haszontalan energiafogyasztásokat jelölik). A jobb oldali függőleges tengelyen a gyártott darabszámokat jelöli a diagram, ehhez a kék vonaldiagram tartozik.

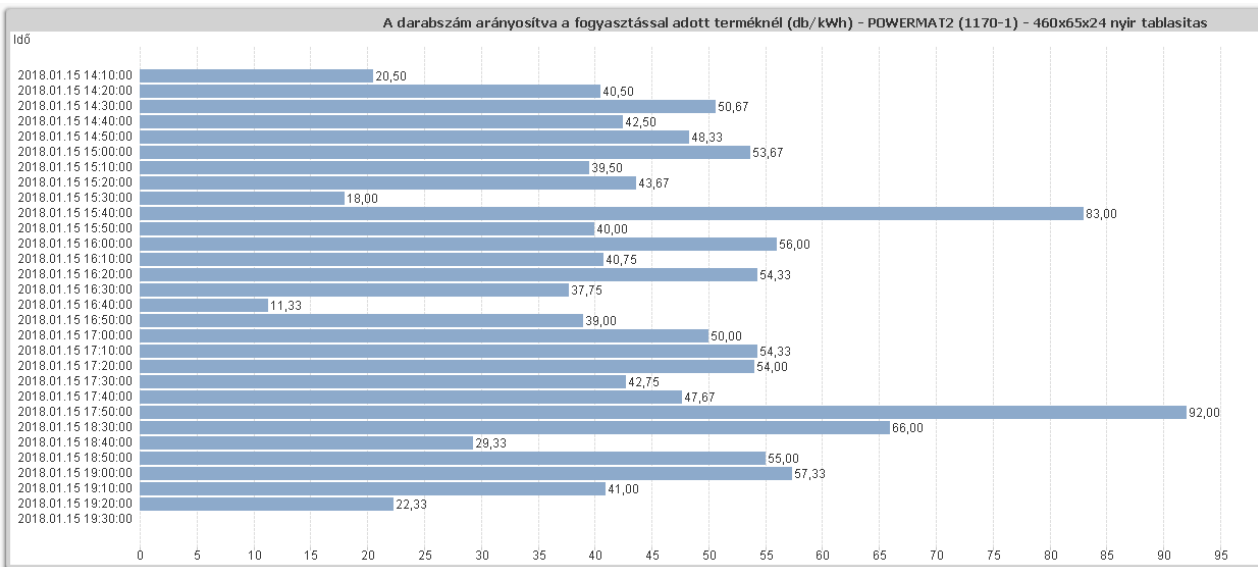
Az előgyaluló gép kapcsán elmondható, hogy egy kevéssel a gazdasági év kezdése után került be a keretrendszerbe és aránylag jó hatékonysággal működik (5. ábra). A kétféle függőleges tengely segítségével összerendelésre kerültek az energiafelhasználások és a gyártott darabszámok egy diagramon belül.

A részletezett diagramon (6. ábra) jól látszódik, hogy az éjszaka során készenléti üzemmódban hagyták a gépet és 1-2 kWh-t fogyasztott 10 percenként. A délelőtti műszak megkezdésekor történt a gépen néhány tesztelési munkadarab legyártása, majd a délelőtti műszak során gyakorlatilag folyamatosan termeltek, csak a tízórai szünetben nem (10:00-tól 10:20-ig). Viszont az is látszódik, hogy ekkor nem helyezték készenléti állapotba a gépet, hogy kevesebbet fogyasszon, csak otthagyták működés közben.



**6. ábra:** A Hőprés 2 ragasztógép 2017.10.11. napi teljesítménye: a vízszintes tengelyen láthatók az adott nap 10 percei. A bal oldali függőleges tengelye a kWh felhasználásokat jelöli (a zöld oszlopdiagram a hasznos energiafelhasználást, míg a piros oszlopok vagy részoszlopok a haszontalan energiafogyasztásokat jelölik). A jobb oldali függőleges tengelyen a gyártott darabszámokat jelöli a diagram, ehhez a kék vonaldiagram tartozik.

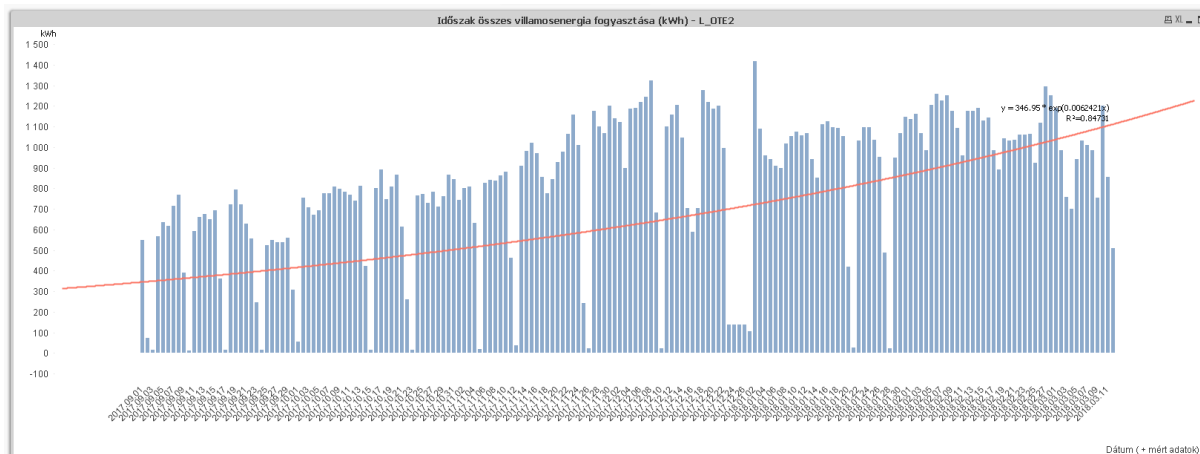
Az is látható, hogy adott energiafelhasználás mellett változó volt a termelési kihozatal a gépnél és ennek kapcsán utalok a következő ábrára, amely egy kulcsfontosságú mutatószámot, vagyis az „Összehasonlítás 1. (db/kWh)” jelzi. Ez azt mutatja meg, hogy adott kWh elfogyasztása után mekkora termelési darabszámot hoz ki a gép (7. ábra).



**7. ábra:** Termelési hatékonyság egy adott termékénél és gépnél. A vízszintes tengelye az „Összehasonlítás 1. (db/kWh)” értékeket jelzi. A függőleges tengelyen láthatjuk azokat a dátumokat, amikor ezt az adott terméket gyártották.

Az összefüggések keresése és a vizsgálatok során az is érdekelt, hogy esetleg képes vagyok-e előre jelezni egy adott gép elromlását. Az elromlás folyamatát úgy definiáltam, hogy egyre több energiát vesz fel az adott berendezés ugyanannak a teljesítménynek a leadásához. A vizsgálatok során megállapítottam, hogy a gyárban működő OTE2 névre hallgató kompresszor az idő előrehaladtával a keretrendszerem működése során, egyre nagyobb kWh villamosenergiát fogyasztott. A trendszámí-

tást az exponenciális regresszió segítségével végeztem el. A regressziós statisztikában szereplő megfigyelések száma 26 666 volt [12]. Az illeszkedéshiány vizsgálat során nem tapasztaltam illeszkedéshiányt, így folytattam a meghatározottsági együtthatók kiszámításával. A vizsgálathoz kapcsolódó  $R^2=0,84731$  ezzel az értékkel elég biztos kapcsolatot feltételez, mivel az  $R^2$  értékét a minta nagyságának növekedése a tapasztalatok szerint negatívan befolyásolja. Ezzel szemben egy ilyen nagy adathalmaznál a  $\sim 0,85$ -ös érték több mint kiváló. Ezek után a regressziós parabola „legjobb” egyenlete a következő:  $\hat{y} = 346,95 * 0,006262^x$ . Ez a gyakorlatban az én példámban azt jelenti, hogy mivel a vízszintes tengelyen napi szintű besorolás van, ezért naponta 0,62%-kal növekszik a gép energiafelhasználása (8. ábra).



**8. ábra:** OTE2 berendezés napi szintű energiafelhasználása és a trendvonala 2017. szeptemberétől 2018. márciusáig.

**3. téziscsoport: Az energiagazdálkodási adatok elemzésével olyan értékes üzleti intelligencia rendszer megvalósítását végeztem el, amely a pontosabb költségvetési tervek elkészítése mellett a karbantartás és a szükséges fejlesztések előre tervezését is lehetővé teszik.**

**3.1. tézis:** Energia hatékonysági vizsgálatokat végeztem az ipari környezetből kinyert adatok segítségével. Az elemzések eredményeit felhasználva javaslatot tettem, hogy milyen gépbeállítások mellett lehet optimális futást elérni a termelésben.

**3.2. tézis:** Az elvégzett adatgyűjtések és feldolgozások használatával lehetővé tettem, hogy a vállalat pontosabb éves költségvetési terveket tudjon készíteni.

#### **Kapcsolódó publikációk:**

*Idegen nyelvű folyóiratcikk:* [F4].

*Idegen nyelvű konferencia (absztraktok, előadások és teljes cikkek):* [K6].

## **4. Elért eredmények alkalmazhatósága és hasznosítási lehetőségei**

A téziscsoportok, tézisek hasznosíthatóságát több szempontból is megvizsgáltam, amelyeket alább kifejtek részletesen.

## 1. téziscsoport (1.1., 1.2., 1.3. tézis) hasznosíthatósága

Kutatásaim során több faipari céggel is kapcsolatba kerültem és mindegyikről elmondható, hogy informatikai szempontból nem feltétlenül a leghatékonyabb megoldásokat alkalmazták (leginkább MS Excel-t).

Mindegyik cégre jellemző volt, hogy kevésbé vagy egyáltalán nem voltak tisztában a termelés vezetői a vállalatuk saját folyamatainak részleteivel (adataival). Csak a bemenetről és a kihazatalról rendelkeztek információkkal. Egy olyan rendszer bevezetése, amely digitalizálná és automatizálná a gyártási folyamataikat, mindenképpen indokolt lenne, mégsem áldoznak erre (idő és költség miatt).

A fa egy különleges alapanyag szín és annak kezelése szempontjából. Több esetben is szükség lett volna arra a vállalatoknál, hogy egy színelemző alkalmazás segítségével ítéletet mondjanak az anyagról, de ez is hiányzott az ő hardveres és szoftveres környezetükből.

Ipar 4.0 ajánlásainak szempontjából egy termékkövető rendszer bevezetése is indokolt lenne az ilyen cégeknél.

## 2. téziscsoport (2.1., 2.2. tézis) hasznosíthatósága

Egy ilyen rendszer bevezetése nem csak a faipari vállalatoknál lenne hasznos, hanem bármely egyéb ipari, termelési tevékenységet folytató vállalatnál.

A termelési adatok összevetése energiafelhasználási adatokkal szintén elengedhetetlen lenne minden gyártó vállalat számára.

Az ehhez szükséges kiber-fizikai infrastruktúra rendszerét a disszertációmban egy általános folyamaton keresztül mutattam be, de ez más vállalatoknál is hasonlóan történhet meg, még akkor is, ha náluk különbözőek a gépek vagy a menedzser szoftverek a háttérben.

## 3. téziscsoport (3.1., 3.2. tézis) hasznosíthatósága

Az adatokon alapuló információ és tudáskinyerés gyakorlatilag minden kis- és középvállalkozás számára potenciális megoldást jelenthet a belső problémáikra.

A vezetői döntéshozatalt megkönnyítettem az elemzéseim eredményeivel, ugyanez a folyamat más vállalatok esetében is hasonlóképpen működhet. A vizsgált vállalat számára előnyt jelent, hogy az adatgyűjtés és -elemzés által több információt szereztek meg a belső folyamataikról, ezeket most már képesek összevetni más hasonló folyamatukkal.

## 5. Összefoglalás

Az egyik általam kialakított keretrendszer segítségével egy bútoripari vállalatnál alkalmazott termelésfelügyeletet és -irányítást valósítottam meg. Ehhez először meg kellett ismernem az ott működő fizikai és szoftveres eszközkészletet, mivel a vállalat csak a saját hardver- és szoftvereszközait felhasználva szeretett volna hatékonyabb működést elérni. Emiatt az általuk alkalmazott alaprendszerhez képest egy kiterjesztett megoldást valósítottam meg, amelynek segítségével lehetővé vált az

adatgyűjtés, az adathibák kijavítása és az elemzése is. A keretrendszer részét képező kép- és videóelemző megoldás fejlesztésre szorult, emiatt megismerkedtem azzal a témakörrel, hogy milyen a faanyagok természetes színe és melyek azok a tényezők, amelyek befolyásolják ezt. Ezután kialakítottam egy olyan kép- és videóelemző alkalmazást, amely képes meghatározni a faanyagok – elsősorban egymáshoz viszonyított – színét és a fahibákat. A képelemző szoftvermegoldást a gyorsabb válaszidők elérése miatt különböző operációs rendszerkörnyezetekben teszteltem.

A továbbiakban az ipari vállalat teljes energiagazdálkodásának alapjait fektettem le. Ehhez először szükség volt arra, hogy megismerjem az aktuálisan működő rendszer elvi kialakítását, hiányosságait és azonosítsam azokat a területeket, ahol a fejlesztés végrehajtható. Elsőként felmértem a vizsgálatokhoz szükséges berendezés halmazát az üzemekben, valamint áttekintettem egy tipikus gyártási folyamatot a gépek kapcsán az üzemben belül. Majd a fizikai eszközkészlet került telepítésre a berendezésekhez az okos mérőműszerek segítségével. Ezekhez bővíteni kellett a hálózati topológiát az üzemekben, hogy minden mérőműszer elérhető legyen az adatgyűjtés szempontjából. A hálózatba való bekapcsolás után következhetett a felügyeleti rendszer adatgyűjtő és -mentő folyamatának a definiálása és élesítése. Az adattovábbítás után az adatok bekerültek az általam kialakított univerzális adatbázisba, amelybe számos különböző numerikus adat eltárolásra kerülhet, amit csak mérni akarnak a termelés vezetői a gyártással kapcsolatban. Emellett a vállalatirányítási rendszert is adatforrásként használtam és kinyertem belőle a termelés szempontjából fontosnak tekintett adatokat, mint például, hogy melyik termékből, melyik gép, mekkora mennyiséget gyártott le az adott időszakban. Ezután történt meg az adatok összefűzése az üzleti intelligencia eszközzel. Továbbá a termelés vezető a különböző kimutatásaim segítségével információkat tudnak kinyerni a termelés állapotáról. A rendszer bővítése a továbbiakban már nem igényel informatikai szakértelmet, azt a termelés irányítói is képesek lesznek kibővíteni, ha szükséges.

A keretrendszer éles működése mellett – amikor már biztosan szállította az adatokat az adatbázisomba – az üzleti intelligencia eszköz segítségével különböző elemzéseket, ezek jelentéseit és kimutatásait készítettem el. Ezek mindegyike hasznos információt tartalmazott a vállalat menedzsmentje számára és így hatékonyabb döntéseket voltak képesek hozni a termelés irányításával kapcsolatban.

A feladat során a gyárban megjelenő változásokra is fel kellett készítenem a rendszert, egy ilyen volt például, amikor a vállalatirányítási rendszer verzióját frissítették, ezáltal a belső adatbázis adattáblái és oszlopai is megváltoztak. A fejlődés tehát folyamatos, de az én kutatásom és fejlesztésem által bevezetett és alkalmazott keretrendszer segítségével most már optimálisabb és hatékonyabb döntéseket képesek meghozni a termelés vezetői az adott vállalatnál.

## 6. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája

*Idegen nyelvű folyóiratcikkek*

**[F1]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „IT Challenges of a Production System”, SEFBIS JOURNAL 2016 (10), pp. 32-40.

**[F2]** Z. Pödör, A. Gludovátz, L. Bacsárdi, I. Erdei, F. N. Janky: „Industrial IoT techniques and solutions in wood industrial manufactures”, Infocommunications Journal, Volume IX, Issue 4, 2017, pp. 24-30.

**[F3]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „Industry 4.0 projects’ background: Experiences at the wood industrial manufactures”, SEFBIS JOURNAL 2017 (11), pp. 34-41.

**[F4]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „The connection of the production and the energy usage in a smart factory”, SEFBIS JOURNAL 2018 (12), pp. 60-69.

*Idegen nyelvű konferenciatickek (absztraktok és teljes cikkek)*

**[K1]** G. Bencsik, A. Gludovátz, L. Jereb: „Adaptation of analysis framework to industry related economic problems”, The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment: International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint, Sopron, 2012, pp. 6.

**[K2]** G. Bencsik, A. Gludovátz: „Adaptation of a universal decision support system in forestry”, Implementation of DSS tools into the forestry practise, Zvolen, Szlovákia, 2013. pp. 37-49.

**[K3]** A. Gludovátz, G. Bencsik, L. Bacsárdi: „IT Challenges of a Production System”, Országos Gazdaságinformaticai Konferencia, Veszprém, 2015, pp. 31.

**[K4]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „Production Related IT Solutions in the Operation of Factories”, 17<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, 17-19. November 2016, Budapest, Hungary, pp. 187-191.

**[K5]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „The 4<sup>th</sup> industrial revolution's challenges at the wood industrial manufactures”, XIII. OGIK Gazdaságinformaticai Konferencia, Dunaújváros, 2016, pp. 15-17.

**[K6]** A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „The connection of the production and the energy usage in a smart factory”, OGIK'2017 Országos Gazdaságinformaticai Konferencia, Sopron, 2017, pp. 40-42.

*Magyar nyelvű konferenciatickek (teljes cikkek)*

**[K7]** Gludovátz A., Bacsárdi L.: „Termelésinformaticai eszközök hazai gyárak működésében”, Informatika a felsőoktatásban 2014. konferencia, Debrecen, 2014, pp. 278-286.

**[K8]** Gludovátz A., Bacsárdi L.: „Ipar 4.0 ajánlásait támogató mintarendszer kiépítése egy bútorigipari vállalatnál”, Informatika a felsőoktatásban konferencia, Debrecen, 2017. augusztus 29-31., pp. 341-352.

*Tézisekhez nem kapcsolódó további konferenciapublikációk*

**[K9]** Gludovátz A., Bencsik G.: „Egy felsőoktatási képzés Balanced Scorecard alapú mintarendszer működésének demonstrálása”, 5. Nemzetközi Gazdaságinformaticai Konferencia (ISBIS'2007), Magyarország, 2007.11.09-10. Győr: p. 88.

**[K10]** Gludovátz A.: „Erdészeti döntéstámogatás Magyarországon”, NyME FMK doktoranduszi minikonferencia, 2010 június 4.

**[K11]** A. Gludovátz, M. Edelényi, G. Bencsik: „Adaptation possibilities of knowledge management tools in higher education”, Szellemi tőke, mint versenyelőny avagy A tudásmenedzsment szerepe a versenyképességben, Komarno, Szlovákia, 2010, pp. 883-897.

- [K12] Bencsik G., Gludovátz A., Bacsardi L.: „Tudasmenedzsmet módszeres faipari alkalmazása”, Inno Lignum kiállítás, Sopron, 2010.
- [K13] Gludovátz A.: „Integrált informatikai elemző keretrendszer alkalmazása interdiszciplináris környezetben”, Doktoranduszi konferencia, absztrakt, Sopron, 2011.
- [K14] Bencsik G., Gludovátz A., Jereb L.: „Integrált informatikai elemző keretrendszer alkalmazása a magyar felsőoktatásban”, Informatika a felsőoktatásban 2011 konferencia, Debrecen, pp. 1040-1047.
- [K15] Gludovátz A., Jereb L.: „Univerzális elemzo keretrendszer gazdasági alkalmazasa”, Doktoranduszi konferencia, Sopron, 2012.
- [K16] G. Bencsik, A. Gludovátz, L. Jereb: „Decision support framework with wood industrial application”, Eight International PhD & DLA Symposium: Architectural, engineering and information sciences, Pecs, 2012, pp. 30.
- [K17] G. Bencsik, A. Gludovátz: „Experience with universal data analyses”, Umeå, Svedorszag, eloadas, 2013.

## 7. Irodalomjegyzek

- [1] E. Cagno, A. Trianni: „Exploring drivers for energy efficiency within small- and medium-sized enterprises: First evidences from Italian manufacturing enterprises”, Applied Energy, Volume 104, 2013, pp. 276-285, ISSN 0306-2619.
- [2] L. B. Christoffersen, A. Larsen, M. Togeby: „Empirical analysis of energy management in Danish industry”, Journal of Cleaner Production 14, 2006, pp. 516-526.
- [3] P. Thollander, M. Ottosson: „Energy management practices in Swedish energy-intensive industries”, Journal of Cleaner Production 18, 2010, pp. 1125-1133.
- [4] M. Schulze, H. Nehler, M. Ottosson, P. Thollander: „Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework”, Journal of Cleaner Production 112, 2016, pp. 3692-3708.
- [5] Alpár T.: „Gyartaszervezes támogatása a faiparban”, IOT4U konferencia előadás, Budapest, 2016. december 6.
- [6] Tolvaj L.: A faanyag optikai tulajdonságai. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2013.
- [7] Molnár S.: „Faanyagismeret”, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1999.
- [8] Németh K.: „A faanyag degradációja”, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 1998.
- [9] Ábrahám Gy., Wenzelne Gerofy K., Antal ., Kovács G.: „Műszaki optika”, BME MOGI Kiadó, 2015.
- [10] Persze L.: „A fotodegradációs folyamat színváltoztató hatása a bútoriparban felhasználható faanyagoknál”, doktori disszertáció, Sopron, 2014.
- [11] G. Bradski, A. Kaehler: „Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library”, O’Reilly Media Inc., 2008.
- [12] Lukacs O.: „Matematikai statisztika”, Muszaki Konyvkiado, Budapest, 1996.