

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

GLUDOVÁTZ ATTILA

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Sopron

2018.

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Csóka Levente

Doktori program: Informatika és bioinformatika az anyagtudományokban

Programvezető: Dr. Bacsárdi László, Dr. Sipos György, Dr. Martin Münsterkötter

Tudományág: anyagtudomány és technológiák

Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben

Készítette: Gludovátz Attila

Témavezető: Dr. Bacsárdi László

Sopron

2018.

Az értekezés harmadik oldalának mintája (8. sz. melléklet)**Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája

Informatika és bioinformatika az anyagtudományokban programja

Írta:
Gludovátz Attila

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola

Informatika és bioinformatika az anyagtudományokban programja keretében

Témavezető: Dr. Bacsárdi László
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 93,3 % -ot ért el,

Sopron, 2015.08.26.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

Nyilatkozat

Alulírott Gludovátz Attila kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan rész, amelyet szó szerint vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával jelöltem.

Sopron, 2018. 10. 15.

.....

aláírás

2018.10.15.

Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben

Doktori disszertáció

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

Kivonat

Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben

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.

A vizsgált bútoripari vállalat fejlődését különböző termelésirányítási rendszerek telepítésével tettem hatékonyabbá. A munkám során áttekintettem a szakirodalmat, amely számos ajánlást fogalmaz meg a különböző eszközök, technológiák alkalmazására, ugyanakkor konkrét, kutatási eredményekkel alátámasztott, általánosan elfogadott megoldásokat nem mutat be. Ez azonban nem feltétlenül probléma, hiszen egyértelmű, hogy a termelés a vállalatok leginkább bonyolult belső folyamata, ezért is nehézkes a termeléshez általánosan használt vállalatirányítási rendszereket alkalmazni. A termelési folyamat fejlesztése mindig valamilyen új, egyedi megoldás használatát igényli.

A munkám során először egy valós idejű termelésirányítást segítő minőségmenedzsmenthez kapcsolódó integrált rendszeremet mutatom be. 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 a hatékony 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 összerendelek termelési adatokkal is. Az így kialakított integráltan működő keretrendszer segítségével számos elemzés lefuttatása vált elérhetővé. Ezek részleteit és eredményeit is bemutatom a dolgozatomban.

Abstract

Monitoring, controlling and analysing production processes from the aspect of Industry 4.0

The main goal is always the efficiency at a production company. By efficiency, we mean the reduction of the resource consumption as well, because this way the company implements cost reduction.

I support the reaching of the main goal in that way, that I solved several problems, which are related to my research. I developed the processes of a wood industrial company, which is working in the multinational environment. The parts of these developments are the digitalization, automatization and the optimization.

In my work, I made the development of the examined furniture company more effective with the help of different production management frameworks. During my work, I reviewed the literature, which formulates several recommendations for the usage of different tools and technologies but doesn't show concrete, generally accepted solutions. But this is not a problem, since it is clear, that the manufacturing is the most complex internal process of the companies, that's why it is hard to apply commonly used ERP (Enterprise Resource Planning System) to the production. The development of the manufacturing process requires a new, unique solution always.

First, I introduce my integrated system which is connected to a real-time production management supporting quality management. The core of the system is a camera application, which functions as a data provider sensor. This application provides the main data to determine the quality of the wood raw material (timber board). I examined the natural colour of the wood raw material surface and what kind of effects influence them.

As for the production efficiency gains, I focused on a more comprehensive area of the examined company and not only on a partial process. Nowadays, the smart manufacturing is more and more popular, and its most important parts are the effective energy consumption and management. I had to know the physical and IT tools of the company to develop the smart manufacturing supporting unique framework. Afterwards, the data source sensors of my framework were installed for the equipment and their integration to the network. I continuously collect the energy consumption data into my database structure, which I will confront with the production data before the analysis. With the help of this integrated framework numerous runs of analyses have become available, which I also present in my thesis.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1.	Motivációk	1
1.2.	Kutatás kezdeti főbb kérdései.....	3
1.3.	Elért eredmények a kutatási munkám során.....	4
1.4.	A disszertáció felépítése	5
2.	A 4. ipari forradalom és a kiválasztott főbb irányvonalai	7
2.1.	A 4. ipari forradalom motivációi, célkitűzései, kihívásai	8
2.2.	Az Ipar 4.0 keretrendszerei és a kapcsolódó információ technológiai újítások	10
2.2.1.	Predix keretrendszer	10
2.2.2.	SensorHUB keretrendszer.....	11
2.2.3.	Aneka keretrendszer	12
2.3.	A keretrendszerek komponensei és innovatív megoldásai	13
2.3.1.	Óraszinkronizáció	15
2.3.2.	Valós idejű Ethernet	15
2.3.3.	Rendszermenedzsment	16
2.3.4.	Biztonság.....	16
2.4.	Az elemzések nyolc szintje és az Ipar 4.0 irányvonalai	17
2.5.	Egyedi termelésirányítási keretrendszerek és a termelésirányítási modellek	18
2.6.	Termék életciklus és energia menedzsment	20
2.6.1.	IoT alkalmazások a termék életciklus energia menedzsmentben	21
2.6.2.	IoT kihívások a termék életciklus energia menedzsmentben.....	22
2.7.	Az IoT, a minőségi szabványok és az energiagazdálkodás.....	23
2.8.	Kulcsfontosságú teljesítményjellemzők és mutatószámok	25
2.9.	A fejezet összegzése	31
3.	Minőségvizsgálat támogatása automatizált folyamatokkal.....	33
3.1.	Digitalizáció és automatizálás a gyalulási folyamat után	33
3.1.1.	A kezdeti alaprendszer részei	33
3.1.2.	Az alaprendszer használata a hiányosságok mellett.....	34

3.1.3.	A kiterjesztett rendszer architektúrája és a folyamat részletes bemutatása.....	36
3.1.4.	Forrás-, kalkulált- és eltárolt adatok	40
3.2.	Bútoripari adatokon végzett vizsgálatok	41
3.2.1.	Adatelőkészítés: tipikus adathibák.....	41
3.2.2.	Tipikus adathibák kezelése adatérvényesítő eljárásokkal.....	42
3.3.	Bútoripari képelemzés vizsgálatok és eredmények	46
3.3.1.	A faanyagok természetes színe és azok befolyásoló tényezői	46
3.3.2.	Képeken végzett vizsgálatok.....	47
3.3.3.	Videón végzett vizsgálatok	56
3.4.	A fejezet összegzése	59
4.	Energiagazdálkodási és termelési adatok integrálása	60
4.1.	Ipari és fejlesztési környezet bemutatása	60
4.1.1.	Egy termék általános termelési folyamata gépekhez kötötten az üzemben	62
4.1.2.	Az alaprendszerben mért adatok	63
4.2.	Keretrendszer részletes bemutatása.....	65
4.2.1.	A rendszer adatforrásaiként szolgáló berendezések	66
4.2.2.	Az okos mérőműszerek és a hálózat	67
4.2.3.	Fejlesztések a felügyeleti rendszerben.....	69
4.2.4.	Univerzális adatbázisszerkezet a felügyeleti adatok tárolására	70
4.2.5.	Vállalatirányítási forrásadatok	73
4.2.6.	Forrásadatok összekapcsolása	73
4.2.7.	A keretrendszeren belüli berendezésbővítés általános folyamata	74
4.2.8.	Üzleti intelligencia megoldás az elemzéshez és megjelenítéshez	75
4.3.	A fejezet összegzése	77
5.	Energiahatékonysági vizsgálatok	79
5.1.	Kérdések és válaszok az energiahatékonyságról	79
5.1.1.	Az áramfogyasztás és a termelés kapcsolatának elemzése.....	79
5.1.2.	A villamos energiafogyasztás vizsgálata különböző berendezéseknél	81
5.2.	Elvégzett elemzések és eredmények ismertetése	83
5.2.1.	Az áramfogyasztás és a termelés kapcsolatának elemzési eredményei.....	83

5.2.2. Az áramfogyasztás vizsgálata különböző berendezéseknél elemzés eredményei 94	
5.3. Kutatási módszertanom összefoglalása	100
5.4. A fejezet összegzése	102
6. Összefoglalás	103
7. Kutatási és tudományos eredményeim	105
8. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája	107
8.1. Idegen nyelvű folyóiratcikkek	107
8.2. Idegen nyelvű konferenci cikkek (absztraktok, előadások és teljes cikkek).....	107
8.3. Magyar nyelvű konferenci cikkek (absztraktok, előadások és teljes cikkek).....	108
8.4. Tézisekhez nem kapcsolódó további konferenci publikációk (absztraktok, előadások és teljes cikkek).....	109
9. Irodalomjegyzék	111
10. Ábrajegyzék	119
11. Táblázatjegyzék.....	122
Köszönetnyilvánítás	123

1. Bevezetés

Dolgozatom bevezetésében bemutatom, milyen ismereteim voltak a tényleges kutatásaim megkezdésekor, valamint azt, milyen elérhető célok motiválták a kutatásaimat. Kitérek azokra a főbb kérdésekre, amelyek a kutatásom előtt és alatt is felmerültek, és megválaszolásuk folyamatos hajtóerőt jelentett számomra. A témámmal kapcsolatos elért eredményeimet megfelelő kontextusba helyezem, így az olvasó számára is teljesen egyértelmű lesz a kutatási területem aktualitása és fontossága. A fejezet végén pedig röviden összefoglalom, hogy hogyan épül fel a disszertációs dolgozatom.

1.1. Motivációk

Doktoranduszi kutatásom során legfőbb motivációm 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.

A 2010-es években az „*Internet of things*” elv alapján az ipari vállalatok is elkezdtek kiépíteni a különböző érzékelőkkel nyomon követett termelésüket [1]. Európában beindult a németek által kezdeményezett „*Industrie 4.0*” projekt (ennek hatásai Magyarországra is begyűrűztek és számos „*ipar 4.0*” témakörrel kapcsolatos konferencia, pályázat és projekt indult el) [2]. A legfontosabb célja ennek a gyártás optimalizálása korszerű informatikai eszközökkel. Magyarországon ezek a fejlesztések még eléggé kezdetlegesek voltak, pedig az ilyen megfigyelési rendszernek köszönhetően rengeteg hasznos információ tudható meg a termelési folyamatokról és azok körülményeiről is.

Az évtized elején egy innovációs projektnek köszönhetően kerültem kapcsolatba a céggel, amelynél először egy gyártási részfolyamat digitalizálása és automatizálása, majd későbbi optimalizálása volt a cél. Egy ilyen feladatnál pusztán az informatikai tudás nem elegendő, hiszen olyan kiber-fizikai rendszerkörnyezetben¹ kell dolgozni, amely egy egyszerű programozó számára elképzelhetetlen kihívásokat rejt magában. A feladat megoldása során kialakítottam egy olyan keretrendszert, amely képes az adott gyártási folyamat valós idejű

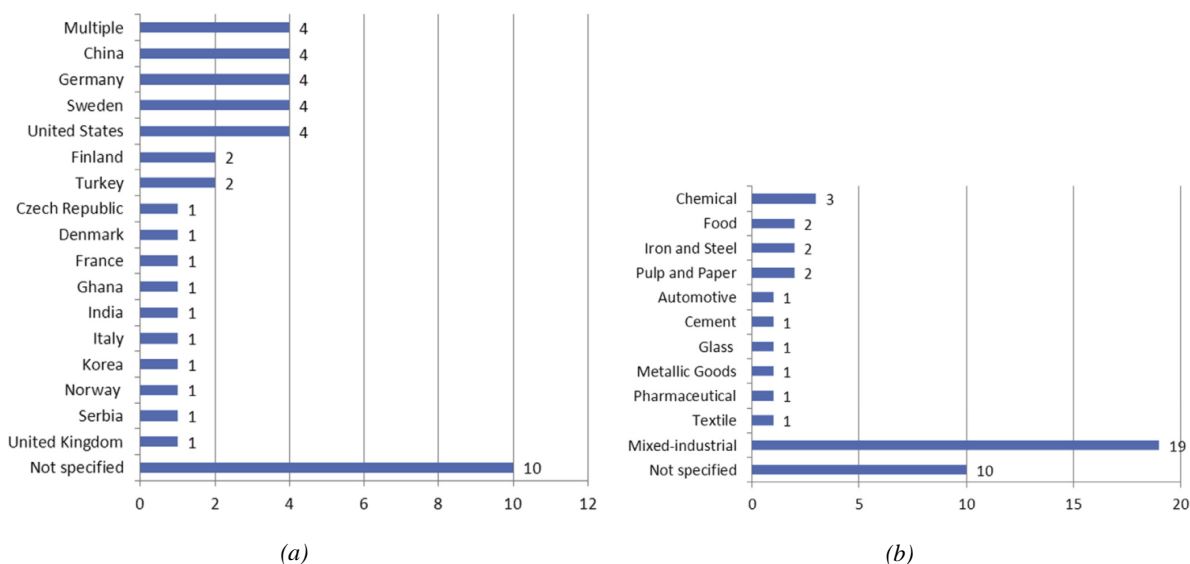
¹ Cyber-Physical System Environment angolul

megfigyelésére, emellett gyártásirányítási feladatokat is ellát, a háttérben pedig folyamatosan gyűjti az adatokat, amelyek utána alapját képezik a vezetői döntéstámogatási elemzéseknek.

A részfolyamat automatizálása és elemzése után egy jóval nagyobb feladatba vágtam bele. Az „Ipar 4.0” projektek egyik alapvető eleme a hatékony energiateljesítményvel kapcsolatos, ez azonban egy ilyen nagy vállalatnál közel sem tekinthető egyszerű feladatnak. A komplex rendszer kiépítése után következhet az informatikai eszközök összehangolása. A már együttműködő rendszerek segítségével olyan hasznos tudásra tehetünk szert a vállalat döntéshozóival közösen, amely a gyártás optimalizálását eredményezi. Így a megfelelő adatokra alapozottan vagyunk képesek a vezetői döntéseket támogatni, ami idő- és költségmegtakarításokhoz vezet, a vállalat működése ezáltal még inkább rentábilis lesz.

Egy további motivációként jelölöm meg, hogy 2016. nyarán elnyertem az Új Nemzeti Kiválóság Program ösztöndíját, amely a 10 hónapnyi támogatás során számos lehetőséget nyitott meg előttem, ezzel segítve a tudományos és a szakmai előmeneteltem az ipari folyamatok informatikai digitalizációja, automatizálása és fejlesztése mentén.

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 / bútorigipari témához. Ebből a kutatásból származik az 1. ábra, amely országonként (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 [3][4][5][6].



1. ábra: 1974-től 2014-ig a tanulmányok fókuszja a szisztematikus kutatás alapján: (a) ország szerint, (b) ipari szektor szerint (Forrás: [7])

A dolgozatban 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.

1.2. Kutatás kezdeti főbb kérdései

„Hogyan lehet adott gyártási folyamatot optimalizálni?”

Kutatásaim során több gyártási folyamat részleteibe is beleláttam. Egy olyan konkrét folyamat volt, amelynél a legalsó szintig belementem a fejlesztésébe. Ennek kapcsán a fizikai eszközök tervezésétől és bevezetésétől kezdve a legmagasabb szintű szoftveres támogatásig az én megoldásaim kerültek be a folyamat digitalizálásába és automatizálásába. Az előgyalulás minőségvizsgálatát és folyamatirányítását plusz fizikai eszközökkel (számítógép, fényorompó, nyomtatók) végeztem el. Az adatgyűjtést és az elemzést az általam fejlesztett alkalmazással, adatbázisszerkezettel és egyedileg fejlesztett elemzési szoftverekkel végeztem el.

Mivel a kutatást és a fejlesztést egy interdiszciplináris területen (faipar, termelésirányítás, informatika) végeztem el, emiatt fontosnak tartottam, hogy a számomra kevésbé ismert, ugyanakkor a kutatás szempontjából fontos faanyagok színét befolyásoló tényezőket is megismerjem.

„Hogyan lehet egy vállalati szintű energiagazdálkodási és felügyeleti rendszert bevezetni egy gyárban, amely heterogén rendszereket használ?”

Egy ilyen szintű keretrendszer létrehozásához ismerni kell magát az általános termelési folyamatot, az üzemek felépítését, a berendezések elhelyezkedését. Emellett tudni kell az adatgyűjtő mérőműszerek mérési lehetőségeit és jeltovábbítási protokolljait. A kommunikációs hálózat kialakításának összetevőit, kapcsolódási pontjait is. Továbbá a felügyeleti központ adatfogadási és feldolgozási képességeit, azok kiterjesztését az adott probléma megoldására. Adatbázis-tervezési, -kezelési és -fejlesztési ismeretek szükségesek hozzá, hogy kialakítsak egy olyan adatstruktúrát, amelybe az adatok egy széles köre betölthető. Ezután fontos megismerni a vállalat által használt vállalatirányítási rendszert, mert bizonyos adatokat onnan kell kinyerni az elemzésekhez. Az energiagazdálkodási és termelési adatok között kapcsolatot kell teremteni, hogy konzekvensen lehessen őket együtt kezelni és elemezni. A rendszer összeállítása után egy olyan szoftvert kellett választani, amellyel gyorsan és a vezetők számára ismert módon lehet felhasználni az előre beállított jelentéseket.

Mindezeket – a költséghatékonyság szempontjából – csakis olyan berendezésekkel és szoftvereszközökkel megvalósítani, amelyek a vállalat rendelkezésére állnak vagy esetleg ingyenesen elérhetők.

„Milyen összefüggések feltárásával, elemzések és vizsgálatok elvégzésével lehet segíteni a termelés és az energiagazdálkodás hatékonyabbá tételét egy gyárban?”

Az elkészülő integrált keretrendszer segít feltárni az energiefelhasználási adatokat mélységeiben. Eddig a vállalat vezetői csak egy napi összesített értéket ismertek a vállalat energiefogyasztásáról. Az új rendszer ugyanakkor napon, műszakokon, órákon belüli vizsgálatokat is lehetővé tesz majd a kezelője számára. Használatával együttesen lesznek elemezhetőek a termelési és az energiagazdálkodási adatok. Emiatt számos olyan területre rávilágíthatók, ahol veszteségek keletkeznek a termelési folyamatban. A berendezések energiefogyasztási trendjeit vizsgálva ugyanakkor előrejelző becslést is ad majd az esetleges meghibásodásra vagy végleges elromlásra is. Mindent összevetve, egy optimálisabb, hatékonyabb, gyorsabb és jobb minőségű gyártás működtetése felé lesz képes ellépni a vállalat a rendszer használatával. Ennek kapcsán a legfontosabb **feladataim és céljaim** voltak a következők:

1. Egy kiválasztott gyártási folyamatot optimalizáltam IoT² 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.

Ezeket a feladatokat és eredményeket részletezem a továbbiakban.

1.3. Elért eredmények a kutatási munkám során

Gazdaságinformatikus szakmai tapasztalataimra, motivációimra, valamint kutatási előzményeimre alapozottan olyan területet céloztam meg fő kutatási irányomnak, amely során kidolgoztam egy módszertant, tehát olyan módszerek összességét, amelyek segítségével optimalizálható egy vállalat termelése. Emellett, hogy bizonyítsam a módszereim helyes működését, egy multinacionális termelő vállalatnál alkalmaztam is őket. Meghatároztam magam számára azokat az elért eredményeket, amelyeket ténylegesen érvényesíték majd a vállalat szakembereivel együttműködve.

A fenti módszerek alkalmazása kapcsán felmérem a veszteségeket generáló részfolyamatokat is. Ezeket először alapjaiban megismerem folyamat- és informatikai támogatás szintjén is, majd azonosítom a veszteségeket, valamint azokat a területeket, ahol fejlesztésre szorulnak a folyamatok.

Kutatásomat egy kisebb részfolyamattal kezdtem, az előgyalulás minőségének vizsgálatával. Az újonnan kidolgozott és a vállalatnál bevezetett kiber-fizikai rendszerem segítségével az adatgyűjtés folyamatos volt a vállalatnál és különböző elemzések segítségével vizsgáltam az adathalmazt azért, hogy érdemi információkkal gazdagodjak én is és a vállalat vezetői is a

² Internet of Things = Dolgok Internete

részfolyamat működéséről. Ennek a rendszernek a bevezetése után a rendszer magját képező kép- és videóelemző rendszer lecserélését és egy hatékonyabb megoldás bevezetését kezdtem kutatni. Számos kép és videó került vizsgálatra a munkában azonosítva a deszkák színeit és fahibáit is. Ugyanakkor itt a dolgozatban csak néhány példán keresztül illusztrálom a kép- és videóelemző rendszer működését. A folyamat digitalizációját pedig az összegyűjtött adatok elemzésével mutatom be.

Ezen sikeres bevezetések és vizsgálatok elvégzése után a vállalattal együttműködve az Ipar 4.0 irányelveit követve elkezdtek a vállalat szakemberével együtt kidolgozni az üzemek energiagazdálkodását. Ennek kapcsán is először meg kellett ismernem a cégnél működő, meglehetősen sok korláttal rendelkező rendszer működését. Majd számos hardveres telepítés következett, hálózatfejlesztéssel kiegészítve. Az adatgyűjtéshez fejlesztéseket kellett végrehajtani a vállalat felügyeleti rendszerében. Majd kidolgozni egy univerzális adatbázisstruktúrát, amelybe további informatikai fejlesztés nélkül bekerülhetnek energiafelhasználási, hőmérsékleti, de akár vízfogyasztási adatok is a megfelelő beállítások után. Emellett a cég vállalatirányítási rendszeréből is ki kell nyerni olyan adatokat, amelyekkel részletesebben bemutathatók az egyes gyártási folyamatok. Ezeket a gyártási adatokat végül összekapcsolni az energiafelhasználási adatbázissal és egy üzleti intelligencia rendszer segítségével elemezni az adatokat. Rámutatok számos olyan területre, ahol a veszteségek keletkeznek a termelő gépeknél. A vállalat vezetői számára olyan felületet építetek ki, amelynek a segítségével egy már ismert módon képesek vizsgálni ezeket a kimutatásokat, elemzési eredményeket, amelyeket én kidolgozok a keretrendszerben.

Végül fontos kiemelni, hogy az összes vizsgálatom, kutatásom, fejlesztésem, elemzésem azért készült, hogy a termelés vezetői adatokra, információkra alapozott döntéseket legyenek képesek meghozni hatékonyabban, gyorsabban, pontosabban, mint korábban. Majd az így megszerzett tudást egy integrált megoldás segítségével képesek megosztani a vállalaton és elsősorban a vállalatcsoporton belül is egymással.

Az elért eredményeket a disszertáció 7. fejezetében kutatási és tudományos eredmények formájában összegzem, valamint hozzájuk rendelem a publikációimat is.

1.4. A disszertáció felépítése

A disszertáció **2. fejezetében** bemutatom az Ipar 4.0 világát. Kitérek arra, hogy milyen informatikai fejlesztések, újítások, valamint gazdasági paraméterek képezik a hajtóerejét ennek a forradalmi változássorozatnak. Továbbá ismertetem a témakörhöz kapcsolódó elemzési szinteket is. Az Ipar 4.0 világról azonban nem csak egy általános képet szeretnék nyújtani, hanem egyértelműen fókuszálok a kutatásaim során alkalmazott konkrét ajánlásaira.

A disszertáció **3. fejezetében** ismertetek egy olyan problémát és annak megoldását, amely egy termelő vállalat gyártásának egyik részfolyamatát, az előgyalulást és annak kapcsán a gyalult

deszkák minőségét vizsgálja, ellenőrzi. A gyalulás után pedig gyártásirányítási tevékenységeket hajtok végre, amelyek digitalizálják és automatizálják ezt a gyártási részfolyamatot. A műveletek során összegyűjtött adatok elemzésre kerültek, amelyek segítségével optimálisabb döntések születtek a gyártás ezen szakaszában. Ezután a kép- és videóelemző alkalmazásom segítségével deszkák színelemzését hajtom végre, vagy éppen a deszkák hibáit azonosítom és határozok a színükről. A digitalizálásnak köszönhetően, az összegyűjtött gyártási adatokat számos aspektusból megvizsgálom.

A disszertáció **4. fejezetében** bemutatok egy energiahatékonysági rendszer kiépítési folyamatot. Kitérek az átfogó folyamat részleteire is, gondolok itt arra, hogy az energiagazdálkodási rendszerek hogyan integrálhatók bele a vállalat saját hardveres és szoftveres környezetébe. Ez a keretrendszer alkalmas arra, hogy a segítségével rámutassak azokra a területekre, ahol veszteségek keletkeznek a gyártási folyamatban.

A disszertáció **5. fejezetében** ismertetem azokat a gyártási elemzéseket, amelyek segítségével hatékonyabbá vált a vállalat működése. Az elemzések során jónéhány olyan pontra rámutattam, amelyek elősegítették a vállalat energiagazdálkodásának optimalizálását, továbbá segítettek a döntéshozókat a még pontosabb (költség)tervek létrehozásában. Két aspektusból is vizsgálom a termelő gépek és az egyéb berendezések működését, továbbá rámutatok a veszteséges működésekre, vagy éppen egy-egy berendezés meghibásodását is előre jelzem a meglévő adatok birtokában.

A disszertáció **6. fejezetében** összefoglalom a disszertációs dolgozatomat.

Míg a dolgozat **7. fejezetében** az általam elért kutatási és tudományos eredményeket emelem ki és rendelem hozzá a konferencia absztraktjaimhoz, előadásaimhoz, cikkeimhez és a tudományos folyóiratokban publikált műveimhez is.

A disszertáció **8. fejezetében** a kutatási és tudományos eredményeimhez kapcsolódó publikációkat listázom úgy, hogy röviden ismertetem a tartalmukat is.

A dolgozat **9., 10., 11. fejezeteiben** az irodalomjegyzéket (hivatkozásokat), ábrajegyzéket, táblázatok jegyzékét veszem számba.

2. A 4. ipari forradalom és a kiválasztott főbb irányvonalai

Napjainkban az egyes vállalatoknál rendkívül színes az alkalmazott szoftverek palettája. Kezdvé a leginkább elterjedt irodai alkalmazásoktól, a specifikus termelést irányító szoftvereken át a menedzserek munkáját támogató rendszerekig. Ebből a sokrétű listából én most leginkább a termelésirányító szoftverekre koncentrálok. Mielőtt azonban megvizsgálom a konkrét rendszereket, érdemes áttekinteni, hogy milyen újfajta megközelítéseket, konvenciókat vezettek be az idők során a termelésirányítás területére. Az mindenki számára világos lehet, hogy a termelésirányítási folyamatok összehangolása meglehetősen szerteágazó és sok feladattal járó, magas odafigyelést igénylő tevékenység. Emiatt a gépesített termelésben professzionális mérnökök csoportja végezte ezt a munkát. Napjainkban azonban, az informatika előretörése nagyban segíti a vállalatok hasonló tevékenységeinek működését. Ehhez azonban szükség volt olyan magasan képzett programozókra is, akik a hatékony algoritmusokat a számítógépek nyelvére képesek átültetni.

A gazdasági növekedés motorja a 21. század kezdetéig mindig az ipar és annak fejlődése volt. Már a 18. században, amikor James Watt gőzgépe fellendítette az ipari teljesítményt, ezt tekintették az 1. ipari forradalomnak. Aztán a 19. század második felében a szállítószalag, majd a sorozat- és tömeggyártás jelentették a második mérföldkövet az ipari fejlődésben. Aztán az 1960-as évek végén a programozható logikai egységek (PLC) voltak az automatizálás és a robotok felhasználásának alapjai. Azóta viszont az ipari fejlődésben nem történt előrelépés. Pedig az informatika azóta óriási léptekben fejlődik, csak néhány példát kiemelve: fejlett kommunikációs hálózatok jöttek létre, szolgáltatásalapúvá vált a világ egyre több területe, emellett a legújabb irányok az fejlett adatelemzések, a „*big data*” jelentősége is nőtt [8]. Ezeknek a technológiai fejlesztéseknek pedig az ipar területére is hatást kell gyakorolniuk. Ez a motiváció vezetett oda, hogy a szakemberek a 2010-es évek elejére egyértelműen kimondták, hogy egy újabb ipari forradalom küszöbén állunk. Ez a negyedik ipari forradalom, amely immáron különböző országok nemzeti stratégiájában is szerepel, mint kiemelt tényező.

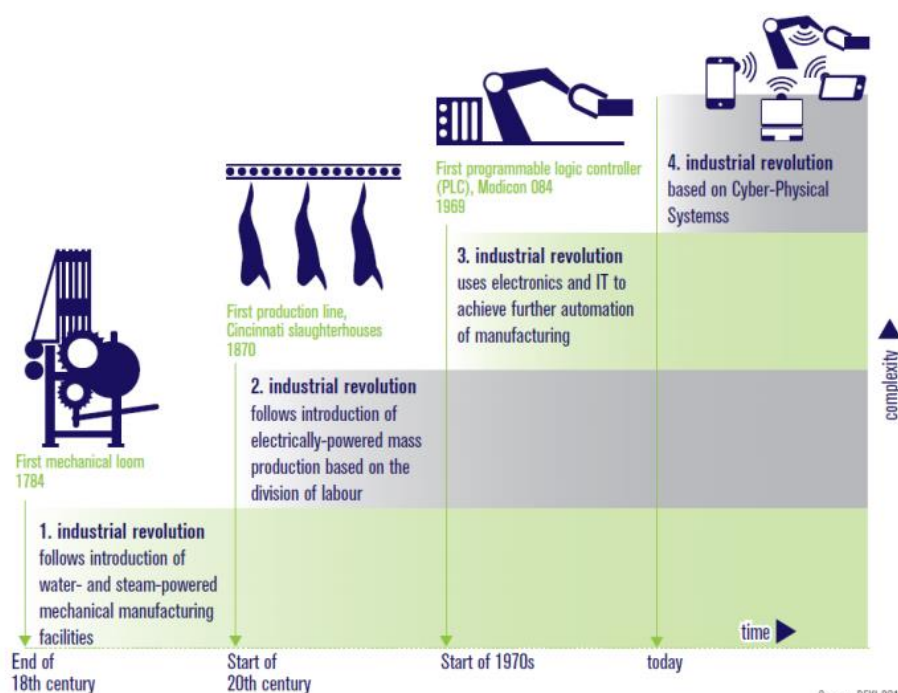
A 3. ipari forradalom előzményének tekinthető a 20. század közepén a Toyota iparvállalat által megfogalmazott vezetői innovatív tevékenységek, amelyek örökre megváltoztatták az ipar működését. Számos olyan újítást vezettek be, amelyeket a mai napig alkalmaznak a termelő vállalatoknál. Ezek közé tartozott a Toyota Termelési Rendszer [9], amely a „*lean menedzsmentre*” [10], a „*kanban*” rendszerre [11][12] és a „*just in time*” [13], vagyis az éppen időben történő gyártásra vagy a „*poka-yokes*”³ [14] esetleg a japán TQC⁴ technikákra épült. Ezek a kulcsszavak ma már alapvetőnek számítanak, ha egy modern ipari vállalatról és annak

³ Ez egy japán kifejezés, amely az angol szakirodalomban „*fail-safes*” megoldásként, magyarul pedig a „*bolondbiztos*” megoldásokra utal.

⁴ Total Quality Control angolul, Teljes minőségi vezérlés magyarul, amely az átláthatóságra, az 5S tisztasági és takarítási előírásokra és a megelőző karbantartások betartására épül

mindennapjairól beszélünk. Ezeket az újításokat próbálják hatékonyan megvalósítani a vállalatok a mai napig is. Kiterjedt szakirodalma van ezeknek a fogalmaknak, ugyanakkor mindezek ellenére ezt a fejlődési irányt nem tartják a szakértők egy újabb ipari forradalomnak.

A 4. ipari forradalom az IoT ötleten alapul, vagyis azon, hogy minden termelő gépet kapcsoljunk be egy elosztottan működő informatikai hálózatba. Ennek a negyedik ipari forradalomnak az újításait is számba veszem és megvizsgálom, hogy melyik alkalmazható hatékonyan egy faipari vállalat működésében. Az eddigi három és a jelenleg zajló negyedik ipari forradalomról ad egy áttekintést a 2. ábra. Az ábra vízszintes tengelye az időbeli előrehaladást, függőleges tengelye az egyes forradalmi találmányok vagy ötletek komplexitását ábrázolja. Emellett az ábrán maguk a találmányok is megtalálhatók.



2. ábra: Összefoglaló az ipari forradalmakról (a vízszintes tengelyen az idő előrehaladását a függőleges tengelyen a komplexitás fokát jelölték; Forrás: <https://blogs.sap.com/2015/06/30/industry-40-fourth-industrial-revolution/>)

2.1. A 4. ipari forradalom motivációi, célkitűzései, kihívásai

A téma fontosságát jelzi a 2015 novemberében Budapesten megtartott „IoT a Gyártás Optimalizálásért” konferencián elhangzott idézet is:

„Az iparban az elemzési projektek idejének és a költségének a 80%-a az adatok összegyűjtésére, előkészítésére megy el...”

Thomas Schulz

a GE IP regionális menedzsere, Közép-Kelet Európa, valamint az Industrie 4.0 munkacsoport tagja

Thomas Schulz fenti megállapításával nem tudok vitatkozni, mivel a cégek költségvetési számaint nem ismerem. Viszont egy olyan további gondolattal kiegészíteném az ő szavait, hogy manapság a cégek még mindig nem akarnak eleget költeni informatikai megoldásokra, miközben, ha leállnának az informatikai rendszereik, akkor a termelésük is leállna rögtön, ami hatalmas kieséshez vezetne a termelő cégeknél. Azt tapasztalom viszont, hogy az utóbbi években a vállalatok arra törekszenek, hogy ezt a meglehetősen magas, 80 százalékos értéket csökkentsék. Ehhez nyújt támogatást a jelenleg is zajló 4. ipari forradalom és annak technikai újításai, trendjei.

Ezeket a fejlesztéseket különböző körülmények és motivációk eredményezték [15]:

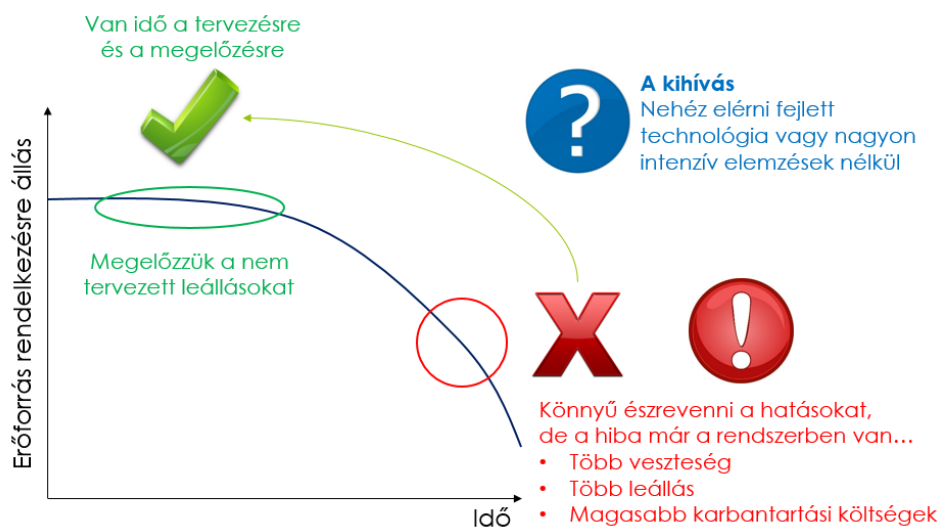
1. Gazdasági szempontból a következők támogatják:
 - a. az egy termékre jutó költségek csökkentek,
 - b. kevesebb munkaerő képes ellátni ugyanazt a feladatot,
 - c. növekszik az egy dolgozóra jutó előállított érték.
2. Technológiai szempontból pedig a következők támogatják leginkább:
 - a. az internet sávszélessége kb. 40-szeresére nőtt 10 év alatt,
 - b. az adatgyűjtő szenzorok ára kb. felére esett vissza 10 év alatt,
 - c. az okostelefonok mindenhol elterjedtek,
 - d. szinte mindenütt jelen van az internet (vezetékes vagy vezeték nélküli),
 - e. adattárolás költségei jelentősen csökkentek,
 - f. új technológiai fejlesztések segítik az adatgyűjtést és -elemzést.

Ezek a motivációk vezettek ahhoz, hogy a nagy ipari vállalatok egyre inkább nyissanak az informatikai megoldások felé - ezeket összefoglaló néven **Ipar 4.0 megoldásoknak** is nevezik.

Az Ipar 4.0 célkitűzései mentén kialakított rendszer tehát egy olyan elosztott, kiterjedt informatikai és hozzá kapcsolódó fizikai rendszer, amelyben az informatikai rész a begyűjtött adatok alapján a fizikai rész működésébe beavatkozik (CPS⁵ rendszer). A korábban és jelenleg működő ipari rendszerekben ezt a beavatkozást nem merik teljesen rábízni a gépre és a technikára, ezért azt általában egy emberi döntés zárja le. További cél a rendszer működésének digitalizálása és optimalizálása: meghibásodások esetén is hatékonyan működjön, figyelve a költséghatékonyagra, valamint a nem várt eseményekre.

Magyarországon jelenleg az IoT iparhoz kötődő megoldásai a következő célt szolgálják: működési költségek csökkentése, valamint a szolgáltatás kiesés megelőzése (lásd: 3. ábra). Az ábra a vállalat vezetőit érintő egyik legnagyobb kihívásra próbálja rávilágítani a figyelmet, amely az, hogy könnyű akkor felismerni a hibát, amikor már megtörtént, viszont megelőzni azt, adott esetben plusz karbantartásokkal, az már sokkal nehezebb feladat.

⁵ Cyber-Physical System, magyarul Kiber-fizikai rendszer



3. ábra: Elmozdulás a reaktívtól a proaktív döntések felé (Forrás: Thomas Schulz: Digitális forradalom a modern gyártásban, IoT a Gyártás Optimalizálásért konferencia, 2015, Budapest)

A későbbiekben vizsgált keretrendszereim nem tudják lefedni az összes létező ipari problémát, viszont ezek jó alapot képeznek a legfontosabb folyamatok kézben tartására. A rendszerek által kezelt adatok és szolgáltatások, valamint a beszédes információk jelentik az IoT világ igazi értékeit 2018-ban.

2.2. Az Ipar 4.0 keretrendszerei és a kapcsolódó információ technológiai újítások

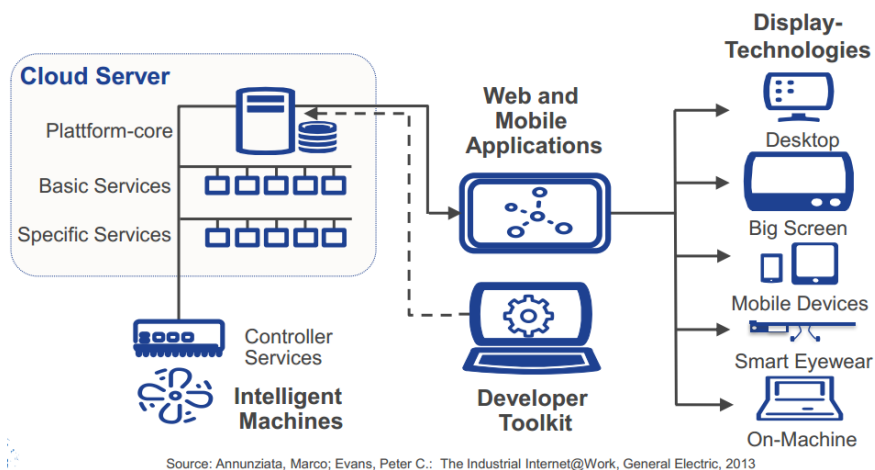
A technológia fejlődésével a világ vezető iparvállalatai egyre inkább kezdenek elmozdulni az „ipari vállalat” kategóriából és „szoftverfejlesztő / elemző vállalat” válik belőlük. Az Ipar 4.0 kapcsán is a legfontosabb feladatok között említhetem az ipari folyamatok fenntarthatóságát, az üzemeltetési folyamatok optimalizálását, valamint hatékonyságának elemzését és fokozását. Továbbá a valós idejű reagálás az adott eseményre is kiemelendő cél kell, hogy legyen az ilyen rendszereknél. Emellett az átalakuló ipari folyamatok integráltságának, automatizáltságának és optimalizálásának fokát is konstans módon emelni kell.

Amire én még koncentrálok a dolgozatomban, az az adatgyűjtők, a gépek, munkadarabok és vállalatnál működő IT rendszerek integráltságának növelése is megtörténjen a vizsgált folyamatoknál. A későbbiekben tárgyalt keretrendszereim kapcsán is ezek a legfontosabb céljaim, most azonban még az általam megismert egyéb keretrendszerekre mutatok példákat.

2.2.1. Predix keretrendszer

A General Electric felismerte, hogy úgy érhet el egyre nagyobb sikereket, ha kifejleszti saját szoftveres keretrendszerét, amelynek célja az adatok összegyűjtésének megkönnyítése, valamint az elemzések végrehajtása, majd a jelentések generálása. Az adattárolójuk különböző forrásokból érkező adatokat kezel, mint például: digitális tartalmakat, szenzorokból érkezőket, üzleti adatokat, földrajzi adatokat stb. Ezeket összegyűjtik egy központi helyre és

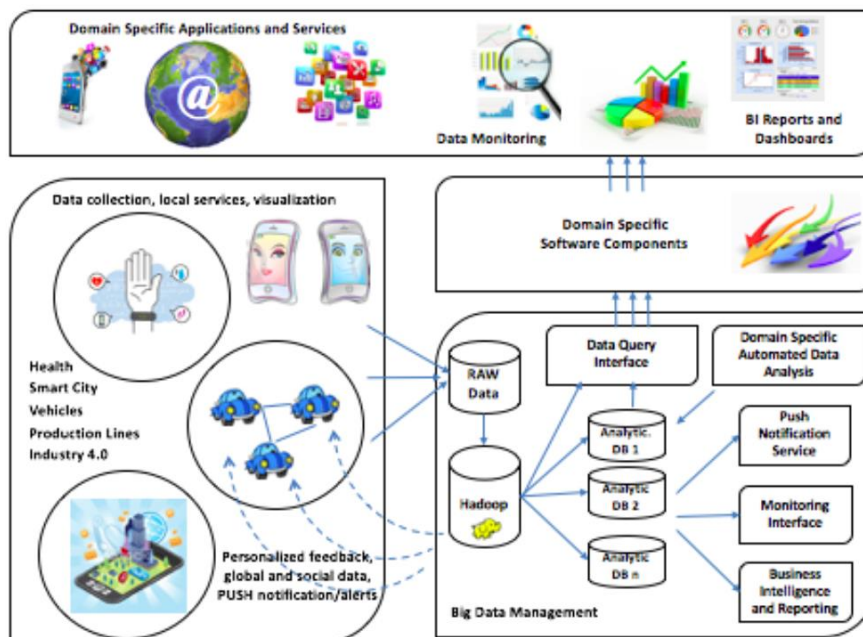
gyors hozzáférést biztosítanak hozzájuk. Az adatgyűjtőbe való bekerülés után hatékony elemzéseket képesek végrehajtani rajtuk, optimalizált algoritmusok segítségével. A keretrendszer a Predix nevet kapta [16]. A keretrendszer felépítését a 4. ábra mutatja. Ennek segítségével a General Electric a világon elsőként mondhatja el magáról, hogy teljes mértékben digitalizálta a működését. A cég továbbá működtet egy olyan globális tudásközpontot, amely még a világ vezető vállalatai számára is példaként szolgálhat.



4. ábra: A GE-nél alkalmazott Predix keretrendszer architektúrája (Forrás: Thomas Schulz: Digitális forradalom a modern gyártásban, IoT a Gyártás Optimalizálásért konferencia, 2015, Budapest)

2.2.2. SensorHUB keretrendszer

A fenti keretrendszer motiválta, hogy Magyarországon is létrejöjjön egy ilyen keretrendszer, amelyet Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kezdtek el fejleszteni, de most már a Soproni Egyetemen is történtek olyan fejlesztések, amelyek elősegítették a keretrendszer fejlődését. A rendszer magját egy Hadoop alapú elosztott fájlrendszer, valamint egy node.js alapokon működő egység segíti. Ezt a rendszert SensorHUB-nak (lásd: 5. ábra) hívják és Sopronban jelenleg is folynak olyan fejlesztések, amelyek egy faipari, kárpitos vállalathoz kötődnek [17]. Az ebben a rendszerben végrehajtható elemzések célja két oldalról vizsgálja a működést: elsőként a vállalatnál működő gépek energiafelhasználását vizsgálják, és ennek nyomán próbálnak meg költségcsökkentő intézkedéseket végrehajtani, másodsorban az adatgyűjtő gépek kihasználtságát mérik: memóriafelhasználás, háttértárkihasználtság, vagyis kapacitás-kihasználtsági információkat gyűjtenek ki a szakemberek. A keretrendszer alkalmas egyéb ipari területeken történő alkalmazásra is.



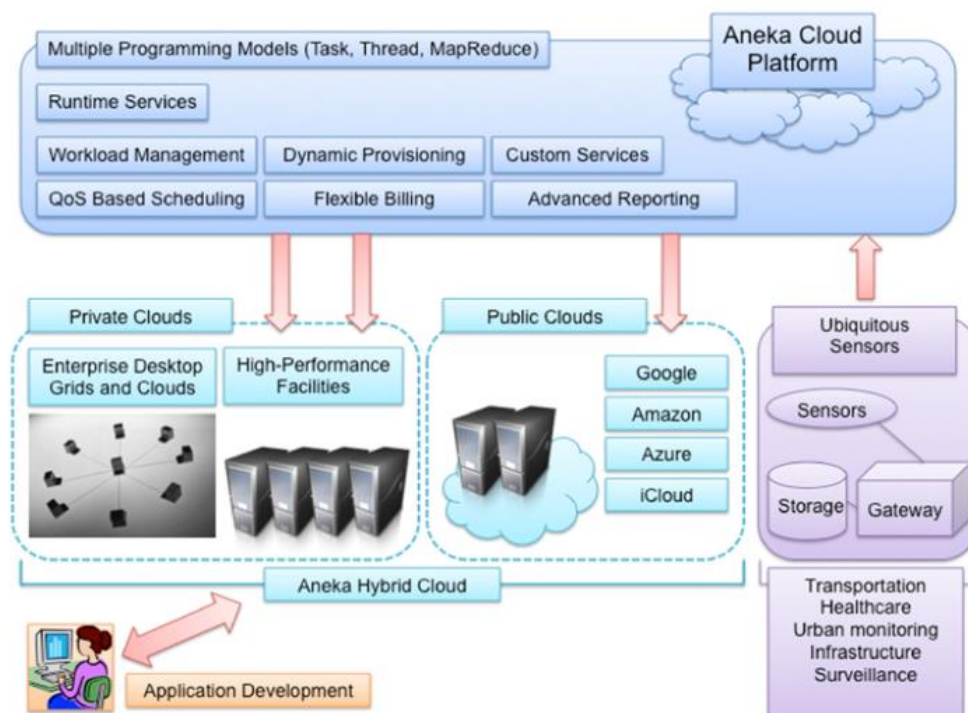
5. ábra: A SensorHUB felügyeleti és adatelemzési keretrendszer architektúrája és folyamatai (Forrás: [17])

2.2.3. Aneka keretrendszer

Manapság egyre inkább jellemző, hogy gyártóspecifikus keretrendszerek kerülnek a piacra. Itt gyártók alatt az informatikai óriás cégeket (Microsoft, Oracle stb.) értem, de a fizikai eszközök területén működő cégek is a saját megoldásaikkal lépnek a piacra (pl. Festo, KUKA stb.). Ebben az alfejezetben egy olyan keretrendszert mutatok be, amely a Microsoft felhőszolgáltatására épül.

Ez a .NET keretrendszerre épülő, platformként használható szolgáltatáskészlet, amely hasznosíthatja a privát vagy publikus felhőszolgáltatások adattároló és számítási kapacitását is. Különböző API-k⁶ segítségével lehetőséget ad a programozóknak, hogy alkalmazások halmazát hozza létre ebben a keretrendszerben. Emellett támogatja a számos szolgáltatása segítségével, hogy a felhasználók vezérelhessék, nyomon követhessék az alkalmazásaik erőforrásigényét. A keretrendszer középpontjában a felhőszolgáltatások állnak, de számos további modullal, fizikai és szoftveres eszközzel rendelkezik (lásd: 6. ábra).

⁶ Application Programming Interface, magyarul: alkalmazásprogramozási felület



6. ábra: Az Aneka keretrendszer architektúrája és folyamatai (Forrás: [18])

Ezeknek a keretrendszereknek közös jellemzője, hogy rendelkezniük kell a következő alfejezetben tárgyalt komponensekkel.

2.3. A keretrendszerek komponensei és innovatív megoldásai

A keretrendszerek általában háromféle komponensből épülnek fel, ezek a következők:

1. „*Hardware*” közeli megoldások: okos mérőműszerek, szenzorok, valamint ezek beépített hálózati kapcsolódásai. Ezek gyakorlatilag, amik folyamatosan szolgáltatják az adatokat a keretrendszer többi komponense számára [19].
2. „*Middleware*” megoldások: az adatfogadás és -tárolás az egyik fő feladatuk, a másik pedig az adatoknak az elemzése, különböző kalkulációk végrehajtása. Ennek segítségével alakul át majd az adat információvá [20][21].
3. Prezentációs megoldások: különböző vizualizációs és értelmező eszközök, amelyek eltérő platformokon elérhetők (leginkább mobiltelefonon, táblagépen, asztali és webes felületeken is). De ez teszi lehetővé azt is, hogy a felhasználó kapcsolatba lépjen a keretrendszerrel, utasításokat fogalmazzon meg számára. Továbbá ennek segítségével lehet az információt tudássá alakítani.

A keretrendszerek „*részét*” képezik új információ technológiai újítások. Ezeket tekintem át a továbbiakban röviden:

- **Big data:** óriási mennyiségű feldolgozatlan adathalmazt jelöl a megnevezés, amely rengeteg kiaknázatlan többletinformációt tartalmaz [22][23]. A keretrendszerek

biztosítják, hogy ezeket az adatokat tárolni, feldolgozni tudják majd. Az „óriási adatmennyiséget” különböző kutatók, szakemberek különböző módokon értelmezik, definiálják. További jellemzői az óriási adathalmazoknak:

- adatok típusa változó (táblák, strukturálatlan esetleg multimédiás adatok),
 - az adatok időbelisége lehet valós idejű vagy éppen historikus,
 - az adatok minősége változó, a helyes adatok között előfordulhatnak hibák (zajok, kiugró adatok).
- **Számítási felhő (Cloud Computing):** a felhő alapú szolgáltatások a mindennapjaink részévé váltak, ugyanezek a folyamatok az Ipar 4.0-nak köszönhetően kezdenek beépülni az iparba is. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a problémákat nem próbáljuk meg minden esetben helyben megoldani, hanem a felhőben futtatjuk azt a szolgáltatást, ami megoldja a problémánkat. Attól függően, hogy az adathalmaz gazdája mennyire érzékeny az adatok biztonságára, léteznek különböző felhőtípusú architektúrák [24][25]:
 - *Lokális tároló:* adott cégeknél helyileg kialakítható olyan szerver és alkalmazás architektúra, amelynek segítségével elosztottan, megfelelően skálázva tárolhatók és elemezhetők az adatok.
 - *Publikus felhő:* a nagy IT cégek (Google, Microsoft stb.) felhői is bérelhetők adatok tárolására és elemzésére.
 - *Privát felhő:* Szolgáltatásokat nézve nagyon hasonló a publikus felhőre. Itt is igénybe vehetők operációs rendszerek és szoftverek. Ugyanakkor a fenntartásért magának az üzemeltető tulajdonos cégnek kell gondoskodni és a felmerülő beruházási költségeket magának a cégnek kell állnia, míg ugye a publikus felhőnél ezt a felhőszolgáltató biztosítja.
 - *A hibrid és a közösségi felhők alkalmazása* nem merült fel a témám kapcsán.
 - **Együttműködés (Interoperability):** ez a dolgok internetének alapját takarja, össze vannak kapcsolva a szerelőegységek, a termelő gépek, valamint az azokat kezelő felhasználók is [26].
 - **Virtualizáció (Virtualization):** ez a fogalom kétféleképpen értelmezhető az információ technológia és az ipari megoldások szempontjából [27][28]:
 - *Virtuális szerverek:* ennek segítségével adott fizikai szerveren különböző operációs rendszerek és alkalmazásösszetesek futnak egy időben igényfüggően.
 - *Virtuális gyárak:* a szenzorok segítségével egy virtuális gyárak hozható létre, amelyben ugyanazok a folyamatok mennek végbe, mint a valóságban, így teljes mértékben modellezhetővé válnak az ipari folyamatok.
 - **Decentralizált működés (Decentralization):** több adatgyűjtő központ is működik az integrált rendszerben, és ha valamelyik esetleg meghibásodik vagy üzemen kívül

helyezik, akkor a többi központ – az elosztottságból adódóan – át tudja venni a kieső szerver szolgáltatásainak üzemelését [29].

- **Szolgáltatás orientáció (Service Orientation):** az egyes központi számítógépeknek, személyeknek megvan a felelősségi köre, tehát mindegyik bizonyos szolgáltatások nyújtásáért felel. Így nem kell mindenkinek mindenhez értenie, elég igénybe venni a másik szolgáltatás felelősének szolgáltatásait. Ezeknek a köre könnyen bővíthető a dolgok internetén keresztül [30].
- **Modularitás (Modularity):** a modern, integrált rendszerek modulokból épülnek fel, aminek számos előnye van, mint például a szeparált, mégis hibamentes adattárolás és együttműködés, továbbá egy modul kicserélése – a többi változatlansága mellett – is működhet [31].
- **Valós idejű képesség (Real-time capability):** Az adatok monitorozása, elemzése és az ezzel kapcsolatos kiértékelés egy időben történik az adatgyűjtéssel. Tehát rögtön eredményeket láthatunk, esetleges riasztások is valós időben történnek meg a rendszerben [32].

Utolsóként emelem ki a „*valós idejű*” megoldásokat, mert az általam bemutatásra kerülő első faipari megoldásban leginkább erre koncentrálok.

Eddig az informatikai technológiákat egy magasabb értelmezési szinten tárgyaltam, de ha egy absztrakciós szinttel lentebb lépek, akkor a következő új megoldások léteznek manapság, amelyek az Ipar 4.0 témaköréhez kapcsolódnak, ugyanis ezek segíthetik a termelési folyamatok támogatását.

2.3.1. Óraszinkronizáció

A számítógépek órái nem feltétlenül mindig pontosak. A hálózaton lehet az órákat szinkronizálni, de a megfelelő pontosság elérése komoly kihívást jelent. Még relatív lassú folyamatok megfigyelése is nagyon pontos óraszinkronizációt igényel elosztott rendszerekben. Például energetikai rendszerek (50/60 Hz) esetén 1 μ s alatti hiba elfogadott. A speciális GPS⁷ alapú vevő elég pontos időt szolgáltat (10-100 ns), viszont minden szenzorba nem építhető be (költség vagy műszaki okok miatt) [33].

Az általam vizsgált vállalatnál már korábban bevezetésre került egy ilyen rendszer, amely a hálózatban lévő számítógépek – legyen szó akár szerverekről, akár termelő gépek melletti terminálokról – belső óráit szinkronizálja.

2.3.2. Valós idejű Ethernet

Audio-Video Bridging standard, az IEEE 802.1 szabvány része, 2011-ben jelent meg [34]. Garantált sávszélességű, kis késleltetésű, időben szinkronizált hang- és képátvitelt

⁷ Global Positioning System = Globális Helymeghatározó Rendszer

eredményez Ethernet felett. Lényege az óraszinkronizáció, valamint a szinkron kép és hang rögzítés és lejátszás valamint monitorozás.

A videó alapú IoT, amely integrálja a képfeldolgozást, a számítógépes látást, valamint a keretrendszerek hálózatát segít fejleszteni egy új kutatási területet [35][36][37]. Ennek kapcsán a *felügyelet* a leginkább érintett terület az iparban, ez segít nyomon követni a termékeket, azonosítani a hibákat stb.

Az általam vizsgált vállalatnál ez a technológia a gyártás során működő minőségmenedzsment részeként használható. Jelenleg is működik olyan alkalmazás, amely a gyalulás után vizsgálja meg videóelemző alkalmazás segítségével a faanyagok színét, hibáit és kiértékeli azok minőségét a további megmunkálások előtt. Ezt a 3. fejezetben részletesen bemutatom.

2.3.3. Rendszermenedzsment

Az „*Industrial Internet of Things*” (IIoT) nem működtethető hatékonyan a rendszermenedzsment nélkül. Az általános rendszermenedzsment, a klasszikus IT értelemben: eszközök nyilvántartása, erőforrás felhasználás monitorozása, kapacitás tervezése, diagnosztika stb. Kiegészítve a valós idejű folyamatok beállításával és megfigyelésével. A korábbi rendszermenedzsment megoldások nem elégségesek, de használni kell azokat is kompatibilitási okokból [38]. Új technológiák bevezetése elkerülhetetlen (Netconf/Yang) [39][40]. De vannak alkalmazható nyílt forráskódú megoldások is (NeDi⁸, Cacti⁹, Nagios¹⁰, stb.). Használhatók ezek is, de a szakértelem ezekhez is elengedhetetlen.

Az általam vizsgált vállalatnál a rendszermenedzsmentet a keretrendszerinél bemutatott szerver és kliensmegoldások menedzseralkalmazásai végzik, ezeket a további fejezetekben részletezem.

2.3.4. Biztonság

Az egyik legnagyobb kérdése az „*Internet of Things*” témakörnek a biztonság és a kapcsolódó részei [41]. Egyelőre nincs jó és széles körben elfogadott megoldás. A minősítési követelmények problémát okozhatnak: a biztonsági protokollok folyamatosan változnak, fejlődnek, tehát a javított protokollok miatt újraminősítés szükségeltetik [42].

Az IIoT nem követeli meg, hogy a teljes rendszer elérhető legyen az Internetről [43]. Továbbá a rendszer a biztonsági elvárásoknak megfelelően különböző biztonságú virtuális hálózatokra bontható: a fizikai hálózat integrált, és afelett nyújt virtuális hálózati szolgáltatásokat is.

⁸ NeDi: Network Discovery, management and monitoring, magyarul: hálózat feltérképezés, menedzsment és ellenőrzés, <http://www.nedi.ch/>

⁹ Cacti: The Complete RRDTool-based Graphing Solution, magyarul: egy teljes eszközkészleten alapuló grafikai megoldás, <https://www.cacti.net/>

¹⁰ Nagios: The Industry Standard In IT Infrastructure Monitoring, magyarul: egy ipari szabvány az informatikai infrastruktúra ellenőrzésére, felügyeletére, <https://www.nagios.org/>

Az általam vizsgált vállalatnál a biztonságkritikus rendszereket megfelelően beállított tűzfalakkal, protokollokkal és korlátozó intézkedésekkel védik. A lehető legkevesebb gép érhető el a külvilág számára az interneten keresztül, továbbá az intranet hálózataik is egymástól elkülönülten működnek. A felhőmegoldások egyelőre nem annyira jellemzők a vállalatnál.

2.4. Az elemzések nyolc szintje és az Ipar 4.0 irányvonalai

A keretrendszerek építése során a folyamatok adataira (minőség, energiafelhasználás, termelési adatokra) koncentrálok. Az összegyűjtött adatok segítségével célzott jelentéseket generálok a vállalat vezetői számára. A rendszerek kiépítésénél figyelembe veszem az Ipar 4.0 célkitűzéseit is, vagyis a jövőre vonatkozó proaktív döntéshozatal segítése is a célok között szerepel:

- A kialakított rendszerek segítségével képesek vagyok megválaszolni a következő **múltbéli eseményekre** vonatkozó kérdéseket: (reaktív döntéshozatal)
 - *Mi és mikor történt?*
 - Például: túlzott energiafelhasználás.
 - *Milyen gyakran és hol történt?*
 - Például: leállás.
 - *Hol kell igazából a problémát keresnem?*
 - Például: adott gépkezelő gépbeállításai.
 - *Mikor kellene reagálnom és hogyan?*
 - Például: riasztási szintek bevitele a rendszerbe.
 - *Miért történik ez?*
 - Például: adott termelő gépen milyen termékek gyártása történt.
- Céлом továbbá, hogy a kialakított rendszer segítségével a következő **jövőbeli eseményekre** vonatkozó kérdéseket is képes legyek megválaszolni (proaktív döntéshozatal):
 - *Mi lenne, ha ezek a trendek folytatódna? [44]*
 - Például: a trendek figyelésével előre jelezhetőek lesznek a kritikus időszakok, esetleges leállások, gépek meghibásodásai stb.
 - *Mennyi szükségeltetik?*
 - Például: lehet-e majd spórolni az energiaköltségeken, ha jobban megismerem az üzemek működési igényét.
 - *Mi fog történni ezután?*
 - Például: egy váratlan esemény milyen hatással lesz a teljes gyártási folyamatra.
 - *Hogyan tudja a vállalat a dolgokat jobban csinálni?*

- Például: ha elkezdik módosítani a termelő gépek beállításait adott munkadarabok gyártása során.
- *Mi a legjobb döntés egy komplex probléma esetén?*
 - Például: ha új termelőgépeket akarnak bevonni a rendszerbe, akkor jobban tudnak majd tervezni a költségekkel [45].

A fenti elemzési kérdések az Ipar 4.0-hoz kapcsolódóan számos területen megvizsgálhatók az okos gyártásnál. Ezek a területek a következők:

- **integrált hő- és energiafelhasználás,**
- energia tárolás,
- megújuló energiák felhasználása,
- **alkalmazás specifikus kutatás,**
- virtuális termékfejlesztés,
- fejlett vizualizációs technikák (virtuális valóság megjelenítése),
- 3D nyomtatás a prototípus előállításához,
- termék életciklus menedzsment,
- energia újrafelhasználás és hasznosítás,
- robotika,
- **szenzoros technológia,**
- **valós idejű monitorozás és vezérlés,**
- **fejlett technológiák együttes alkalmazása,**
- **ipari képfeldolgozás,**
- okos termékek használata,
- új világítástechnológia alkalmazása,
- gép-gép kommunikáció kialakítása,
- munkadarabok irányítása,
- ember-gép kommunikáció fejlesztése,
- automatikus szállító rendszerek használata,
- **folyamatok automatizálása,**
- előrejelző működésfenntartás [46] stb.

Látható ebből a meglehetősen hosszú listából is, hogy az Ipar 4.0 rendkívül szerteágazó területekre koncentrál a gyártás fejlesztése kapcsán. Az összes területre azonban nem lehet egyidejűleg koncentrálni, ezért vastagon kiemeltem azokat, amelyek számomra és a vizsgált vállalat termelési osztálya számára is a legfontosabbak.

2.5. Egyedi termelésirányítási keretrendszerek és a termelésirányítási modellek

Ahogy az ipar kezdett elmozdulni a tömeggyártás felől az egyedi gyártás felé, úgy volt még inkább szükség egyedi termelésirányítási hardver- és szoftvermegoldásokra [47]. Korábbi

kutatásaim során nyolc ilyen egyedi termelésirányítási rendszert is alkalmaztam, továbbá beépítettem az oktatási tananyagaim közé. Ezek az egyedi fejlesztésű rendszerek integráltan kapcsolódtak a vállalat folyamataihoz és leginkább a termelést támogatták. A rendszerek fejlesztése (némelyikében részt vettem) vagy megismerése hozzájárult ahhoz, hogy a disszertációm lényegi részét megalapozzam. A következő típusú rendszereket alkalmaztam, illetve ismertem meg:

1. Standard („dobozos”) vállalatirányítási rendszerek termelésirányítási megoldásai [48][49]:
 - a. SAP termékek bemutatása termelésirányítási szempontból;
 - b. Microsoft Dynamics NAV bemutatása termelésirányítási szempontból;
 - c. Movex (Infor) ERP és a termelésirányítási kiegészítése;
 - d. Baan (Infor) ERP és több kiegészítő termelésirányítási rendszer;
2. A termelésirányítási rendszerek speciális esetei:
 - a. Nyílt forráskódú vállalatirányítási rendszerek termelésirányítási megoldásai [50];
 - b. Speciális termelési eszközökhöz kapcsolódó monitorozó rendszer;
3. Hazai (magyar) fejlesztésű termelést támogató rendszerek:
 - a. Normax Termelési Rendszer¹¹;
 - b. Benefit vállalatirányítási szoftver és egyéb kiegészítő termékei¹².

A későbbiek során szintén ilyen egyedi fejlesztésű termeléssel kapcsolatos keretrendszereket mutatok be. Az ilyen rendszereknek számos feladatot kell ellátniuk akkor, ha teljeskörűen szeretnék támogatni a termelés működését. Az egyedi termelésirányítási rendszerek létrehozásához szükséges feladatokat összefoglaló néven angolul „*industrial engineering*”-nek nevezik. „Az *industrial engineering* az a terület, amelynek szakemberei olyan integrált gyártó- és szolgáltatórendszerek (stratégiai és műszaki) tervezésével, megvalósításával és menedzselésével foglalkoznak, amelyek az előírt műszaki paraméterek mellett, a minőség, a megbízhatóság, a karbantarthatóság, valamint a működési költségek és határidők vonatkozásában is teljesítik az előírt követelményeket” [51].

A piacon létező termelésirányítási rendszerek mindegyike valamilyen előre meghatározott modell alapján működik. A vállalati folyamatok támogatása mindegyik modell által támogatott lesz, ez köszönhető a moduláris felépítésüknek is.

Viszont ezeket a rendszer bevezetése során testre kell szabni és módosítani kell ahhoz, hogy az tökéletesen passzoljon az adott vállalat működéséhez. A szakirodalom szerint a leginkább elterjedt modellek a következők:

¹¹ <http://www.fiersinformatika.hu/> - Online forrás. Utolsó megtekintés dátuma: 2018.09.28.

¹² <http://www.portoro-szoftver.hu/products/custom/> - Online forrás. Utolsó megtekintés dátuma: 2018.09.28.

1. MRP I (Material Requirement Planning – Anyagszükséglet tervezés) [52];
2. CRP (Capacity Resource Planning – Kapacitásszükséglet számítás);
3. MRP II (Manufacturing Resources Planning – Gyártási erőforrások tervezése) [53];
4. OPT (Optimized Production Technology – Optimalizált Termelési Technológia) [54];
5. APS (Advanced Planning and Scheduling – Fejlett Tervező és Ütemező Rendszer) [55];
6. JIT (Just In Time – „éppen időben történő”) gyártás koncepció [56];
7. Push (nyomó) és Pull (húzó) elvű termelésstervezés, -ütemezés [57];
8. Product Lifecycle Management (Termék életciklus menedzsment) [58][59].

Ezek közül leginkább a termék életciklus menedzsmentet fogom vizsgálni, ugyanis ez hatékonyan összekapcsolható az IoT megoldásokkal.

2.6. Termék életciklus és energia menedzsment

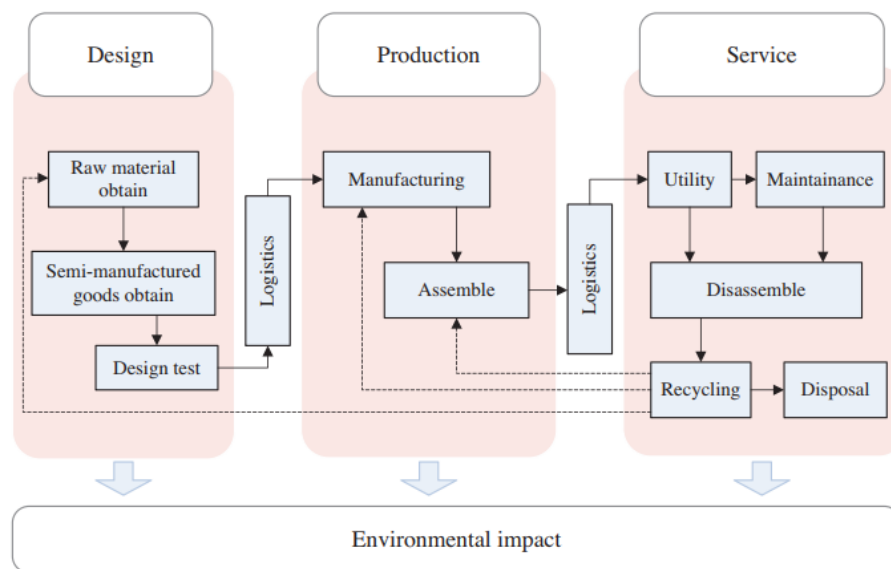
A termelés fontos szerepet játszik a globális gazdaságban, emellett az ipar a legnagyobb energiafelhasználó a végfelhasználói szektort figyelembe véve (az összes energiafogyasztást tekintve 37%-ot az ipar használ fel, többet, mint bármely más szereplő) [60][61][62]. Kutatások alapján, ha az okos gyártást tekintem, akkor az energiamegtakarítások szorosan kapcsolódnak a termék életciklus menedzsment témaköréhez. Továbbá az energiafelhasználási adatok elemzése feltétlenül szükséges ahhoz, hogy hatékony működést érjenek el a gyárak a működésüket tekintve. Az alapanyagok, a félkész munkadarabok és a késztermékek mind-mind részei egy valós időben, integráltan működő, felügyelő és vezérlő termelésirányítási rendszernek [63].

Az IoT eszközök alkalmazása a termék életciklus energia menedzsmentben már megjelentek a különböző innovatív gyárak működésében. Leginkább ezeket az eszközöket ellenőrzésre, felügyeletre és nyomon követésre használják. Ugyanakkor ezeknek a használata és a belőlük kinyerhető hasznos információk felhasználása még meglehetősen kezdetleges, elmaradott, ezért is van szükség olyan kutatási eredmények bemutatására, amelyekre én is rávilágítok majd a következő fejezetekben.

A termék életciklus menedzsment a 21. század kezdetén jelent meg és segítségével kezelhetővé vált a tudás felhasználása a folyamatok irányításánál, ehhez felhasználhatóak a piaci elemzések, a terméktervezési fázisok, a folyamatok fejlesztése, valamint a termékek gyártása is. Ezek számomra a leginkább fontosak a termék életciklus menedzsment területéről, de vannak további részei is [64].

A termék életciklus menedzsment lehetővé teszi a vállalatoknak, hogy csökkentsék a termékek előállításával kapcsolatos költségeket, ugyanakkor növeljék az aktivitást a termékek fejlesztése terén [65]. A termék életciklus menedzsmentnek hat fázisa van, beleértve a tervezést, a termelést, a logisztikát, a közmű szolgáltatások felhasználását, a működtetés fenntartását emellett az újrafelhasználhatóságot vagy hulladékkezelést. Energiafelhasználás szempontjából ez a hat rész lecsökkenthető a tervezés (bal oszlop), a termelés (középső

oszlop) és a szolgáltatások (jobb oszlop) körére (lásd: 7. ábra). Ezek közül én a termelésre fogok majd koncentrálni. Ennek a fázisnak van a legmagasabb százalékos értéke, ha a teljes energiafelhasználást tekintem a termék életciklusán belül. Maga a termelés a gyártási és az összeszerelési folyamatokat tartalmazza. A termelés energiafelhasználása három forrásból adódik: a termelő berendezések, a munkadarabok kezelése (például a szállítószalagnál), valamint a közös vagy privát helyiségeknél mért energia- és hőfogyasztás.



7. ábra: Termék életciklus menedzsment főbb folyamatai és alrészei (Forrás: [63][60])

Ezek közül kiemelem a termelő gépek energiafelhasználását, ugyanis ezeket összekötve a termelési adatokkal hasznos információkat lehet megtudni a termelés és az energiafogyasztás hatékonyságáról. Figyelni kell a termelő berendezések fogyasztását akkor is, amikor gyártanak vagy éppen készenléti állapotban vannak csak, így azonosíthatom például a haszontalan működési időket is, de a gépek elhasználódását is prognosztizálhatom, vagy az esetlegesen javítások szükségességét is, mert egy nem megfelelően működő gépnek az energiafelhasználása is nagyobb lesz.

2.6.1. IoT alkalmazások a termék életciklus energia menedzsmentben

A gyártásnál lévő energiafelhasználást mérő IoT alkalmazások még mindig alacsony szinten vannak, összehasonlítva a más területeken alkalmazott IoT megoldásokkal [63].

A hagyományos energia menedzsment módszerekkel nagyon nehezen csökkenthető az energiafelhasználás a gyáraknál. De egy okos gyárnál már felhasználják az IoT adta lehetőségeket:

- A munkadarabok észlelésére és nyomon követésére különböző okos mérőműszerek, szenzorok alkalmazhatók;
- Az adatok továbbítására új kommunikációs protokollok használhatók (pl. ZigBee - IEEE 802.15.4 alapú szabvány, IPv6);

- Az adatok tárolására lokális, valamint publikus és privát felhőszolgáltatások is használhatók;
- Az adatok feldolgozására különböző elemzési technikák alkalmazhatók;
- A feldolgozott adatok felhasználását különböző keretrendszerek segítségével tudják hasznosítani, ezáltal csökkentve az energiafelhasználási költségeket.

A termék életciklus menedzsment tervezési fázisában az alapanyagok kiválasztása és feldolgozása, valamint a félkész termékek kiválasztása történik. A termelési fázisban ellenben arra koncentrálnak, hogy mi történik az üzemekben a gyártásnál, és itt játszik fontos szerepet a fenti IoT technológiák, protokollok, technikák és szolgáltatások felhasználása. Összekapcsolva az IoT megoldásokat az életciklus menedzsment termelési fázisával a következő lehetőségekhez adódnak:

- Valós időben felügyelhető a közmű szolgáltatások felhasználása (energia, víz, gáz, hő) egy szenzoros hálózat segítségével:
 - az azonos folyamatok összehasonlításával levonhatók a következtetések a hatékony működési paraméterek használatára.
- A termelő gépek hatékony működésénél a gépek beállítása adhatja meg az optimális működés kulcsát:
 - az IoT megoldásokkal a gépek állapota (bekapcsolt, kikapcsolt, készenléti állapot, tesztelési állapot stb.) nyomon követhető, így csökkenthető a veszteséges működés és maguk az állási idők is. Azonos termékek, azonos mennyiségek mellett mennyi energiafogyasztás történt az adott berendezésnél. Emellett a hibásnak érzékelt termékek is hamarabb felismerhetők, emiatt hamarabb kivonhatók a termelés későbbi szakaszaiból.
- Az üzemekben lévő munkadarab továbbítás ütemezése egy extrém nehéz feladat:
 - az IoT megoldásoknak köszönhetően azonban vizualizációs eszközökkel nyomon követhetők a munkadarabok, hogy éppen hol tartanak a termelési fázisok közben, ezáltal jobban tervezhető az ütemezésük is.

2.6.2. IoT kihívások a termék életciklus energia menedzsmentben

Amikor az IoT megoldásokat elkezdi valaki használni a termék életciklus menedzsment energiafelhasználását tekintve, akkor számos kihívás felmerül a számára [63][66]:

1. Az információk összegyűjtése kapcsán:
 - a. A pontosabb adatgyűjtéshez szükség van még magas precizitású szenzorok kifejlesztésére;
 - b. A biztonság és az adatvédelmi házirend megtartása mindig sarokköve az informatikai megoldások működésének, ez is fontos kihívás, főleg mivel nagy területen, különböző hálózatokon is működhetnek az érzékelő berendezések;

- c. A különböző gyártók eltérő eszközöket és eltérő szabványokat használhatnak a kommunikáció során, szükség lenne egy egységesebb irány kialakítására, hogy az eszközök könnyen és egyszerűen cserélhetőek legyenek, vagy jobban tudjanak együttműködni egy ilyen IoT rendszerben.
2. A kapcsolódó rendszerelemek kommunikációja kapcsán:
 - a. A biztonság és adatvédelem kapcsán meg kell előzni az adatok kiszivárgásának lehetőségét, az adatokat biztonságos csatornán keresztül kell továbbítani méghozzá titkosítottan;
 - b. Fontos az azonosítás a rendszerben, hogy tényleg azzal az eszközzel kommunikálnak-e az egységek, amelyekkel szeretnének;
 - c. Pontosság és hitelesség kapcsán az adatoknak a rendszerben megvan az karakterisztikája, amelyet el kell tudni tárolni az adatbázisban, ha ettől eltérő adat érkezik, akkor azt a rendszernek le kell kezelnie.
 3. Az IoT alapú termék életciklus menedzsment rendszerek kapcsán a következők lehetnek kihívások:
 - a. Egy ilyen rendszernek hosszú távon biztosítani kell a menedzsmentet a komplex elemekhez. A jelenleg működő modellek eléggé statikusak, de szükség volna dinamikusan működő alkalmazásokra is;
 - b. Bővíthetőség szempontjából fel kell készülni arra, hogy az eszközök száma és az adathalmazok mérete folyamatosan növekszik;
 - c. Jelenleg az ilyen rendszerek azt teszik lehetővé, hogy az értékes információt megjelenítsék a döntéshozók számára, de szükség volna olyan rendszerekre, amelyek személyektől (felhasználóktól) független döntéshozatalt lennének képesek megvalósítani;
 - d. Az ilyen rendszerekben többnyire csak néhány információt tartalmaz az elérhető paraméterek köre, de szükség lenne arra, hogy a termelési folyamat során az egyes lépéseknél is gyűjtsék az információkat, amelyek integrálhatók egy olyan platformba, amivel akár menet közben is lehet fontos beavatkozásokat végrehajtani;
 - e. Az IoT eszközök energiafelhasználása ezekben a rendszerekben a korábban említett bővíthetőség miatt is nagyon megemelkedhet (a szenzorok száma, a kommunikációs hálózat, adathordozók fenntartása stb. miatt). Emiatt is hasznos lehet a zöld energiaforrások felhasználása vagy részfelhasználása is.

2.7. Az IoT, a minőségi szabványok és az energiagazdálkodás

Az energiagazdálkodás menedzseléséhez az egyik alapvetés, hogy gyűjteni kell az energiafelhasználással kapcsolatos adatokat. Az adatokat minden szinten elérhetővé kell tenni, kezdve a legalsó szinttől (például egyszerű ventilátorok), a nagyobb termelő gépek

szintjén és az akár 100 méter hosszú gépsorokon át egészen az üzem szintű energiafogyasztásig is. Ehhez érdemes egy listát készíteni az energiafogyasztók csoportjáról. Ahhoz, hogy hatékonyan történjen meg az adatok összegyűjtése, fontos lehet alkalmazni valamilyen szabványt, amely definiálja a felhasználója számára az előírásokat, így a máshol már megfelelően alkalmazott irányelveket tudom a saját rendszeremben is használni:

- ISO, 2008. ISO 9001:2008 Minőség Menedzsment Rendszerek – követelmények, Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO).
- ISO, 2011. ISO 50001:2011 Energia Menedzsment Rendszerek – Követelmények tanácsadással együtt a használathoz, Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) [67][68].
- ISO 22400 Kulcsfontosságú mutatószámrendszer a gyártási működés menedzsmentért [69].
- „*Europe 2020 Strategy*” projekt: a fentiek mellett azt tűzte ki célul, hogy az ipar területén a különböző intézkedések által 2020-ra 20%-kal kell csökkenteni az energiafelhasználást a 2005-ös szinthez képest.
- ISO 9000:2015 – Minőségirányítási alapelveket tartalmaz és az alapvetései között említhető a vevőközpontúság, vezetői irányítás, emberi (vevői, dolgozói, beszállítói stb.) kapcsolatok menedzselése stb. [70].
- ISO 14000 – amely hasonlít az előző szabványhoz, de még azon túl leír mennyiségi célkitűzéseket, amelyek megalapozottak, továbbá vészhelyzet vagy katasztrófa elkerülési irányelveket is [71][72].

A gépek, üzemek energiaprofiljának kialakítása során többféle döntés támogatása is megtörténhet. Elsőként az analízisek segítségével azonosítható, hogy hol van energia „szivárgás” a gépeknél és egy jobb kezeléssel ezek a veszteségek csökkenthetők. Másodsorban a beruházási döntéseket is támogathatom, például úgy, hogy a cég vásároljon az adott berendezésből egy újat, mert az adott régi gépnél túl nagy veszteségek termelődnek.

Az energiagazdálkodás kialakításához szükség van olyan specifikus rendszerekre, amelyek IoT megoldások, ugyanakkor például az okosházak működésénél nincs szükség ilyenekre (az első felsorolási pontot leszámítva). Az ipari vállalatoknál ilyen IoT-specifikus rendszer elemei lehetnek a következők:

- okos mérőműszerek és szenzorok: amelyek folyamatosan mérnek akár több paramétert is, vagy belső számítási kapacitással rendelkeznek,
 - ezek a mérőműszerek a fejlett ipari internetes hálózaton kapcsolódhatnak egymáshoz és a központokhoz,
- vállalatai energiamentedzsment rendszerek, amelyek képesek elemezni az összegyűjtött adatokat,

- ezek a rendszerek futhatnak a felhőben is,
- SCADA¹³ rendszerek: feladatuk a kommunikációs kapcsolat megteremtése, az adatgyűjtés, a megjelenítés és a komplex ember-gép kapcsolat létrehozása a mérő, vezérlő, szabályozó berendezésekben (az IoT és Ipar 4.0 szemléletmód terjedésével egyre több ilyen rendszerre van szükség),
- vállalatirányítási rendszerek, ügyfélkapcsolat rendszerek, ellátási lánc rendszerek: elsősorban mint adatforrások az ipari felhasználás nézőpontjából,
- különböző platformokon működő vizualizációs eszközök, amelyek az eredményeket képesek megjeleníteni.

Az ilyen IoT alapú energiagazdálkodási rendszerekhez szükség van kulcsfontosságú teljesítménymutatók definiálására is, ezt tárgyalja a következő fejezet.

2.8. Kulcsfontosságú teljesítményjellemzők és mutatószámok

Ahhoz, hogy lehessen növelni az energiafelhasználás hatékonyságát egy szervezetben belül, használni kell a felügyeletet és a megcélzott irányvonalak alkalmazási lehetőségeit. A felügyelethez szükségeltetik a tudás a jelenlegi energiahasználatról, továbbá egy olyan mutató halmaz, amely a kulcsfontosságú teljesítményjellemzőket tartalmazza. Ezek a mutatószámok (KPIs¹⁴) lehetnek azok a potenciális megcélzott irányok [73], amelyekben jobb szeretne lenni az adott cég. Ezeket a mutatószámokat érdemes úgy megtervezni, hogy a későbbiekben jól meghatározható módon kiderüljön belőlük, hogy ha ezekben jobban teljesít a vállalat, akkor az mekkora hasznot jelent a számára. Egy ilyen mutatószám esetén fontos, hogy ez összehasonlítható legyen az azonos paraméterek mentén történő lefutások (termelési folyamatok) mellett, vagy esetleg valamilyen külső ajánláshoz (benchmark) mérhető legyen. Ezek a mutatószámok leggyakrabban valamilyen statisztikai arányszámok, például adott befektetett energiából ennyi termelési kihatással keletkezett, de természetesen, léteznek ennél bonyolultabbak is. Ezek segítségével a vállalat döntéshozói képesek arra, hogy beavatkozzanak a termelés menetébe és módosítsák vagy optimalizálják a termelési folyamatokat. Előfordulhat ugyanakkor, hogy bizonyos mutatószámok nem alkalmazhatók bizonyos termelési szektorokban. Nekem emiatt meg kellett vizsgálnom, hogy melyek azok, amelyek a faiparban, illetve a bútorigarban felhasználhatók. Az ilyen mutatószámok elsősorban az energiafelhasználásra és -hatékonyságra, valamint a költségekre összpontosítanak. Ennek nyomán kijelenthetem, hogy a mutatószámok köre két nagyobb csoportba sorolható: fizikai és gazdasági mutatószámok [74]. A fizikai szintű méréseket és döntéseket követik a gazdasági hasznosság alapú kiértékelések, például egy beruházásnál (berendezés vásárlása) a nettó jelenérték számítása lehet az elemzők segítségére.

¹³ Supervisory Control And Data Acquisition, magyarul: Adatgyűjtő és felügyelő rendszer

¹⁴ Key Performance Indicators, magyarul: Kulcsfontosságú Mutatószámrendszer

Általában a berendezések hatékonyságának mérésére használható mutatószámok időalapúak. Úgy, mint például az OEE¹⁵ mutató, amely jelzi a minőséget (megfelelő/selejt termékek arányát), a teljesítményt (minél gyorsabban történjen meg a gyártás), valamint az elérhetőség arányszámát (ne legyenek állásidők). De szükséges az energiafelhasználással kapcsolatos KPI-k létrehozása is, amelyek kötődnek a gépek állapotaihoz és az azokon folyó termeléshez is.

A gyárak működésében szükség van tehát olyan KPI-k létrehozására, amelyek mélyebb információkat rejtenek magukban az energiafelhasználás területéről. A KPI-k létrehozásának folyamata két nagyobb fázisra bontható:

- 1) KPI tervezés és annak részletei:
 - a) képlet kiszámítása (például, hogy mennyi volt a hasznos munkaidő egy gépnél),
 - b) általános leírás,
 - c) mértékegység,
 - d) időhorizont,
 - e) kalkuláció gyakorisága,
 - f) kapcsolat a különböző mutatószámok között (van-e),
 - g) döntési szint.
- 2) KPI menedzsment és annak részletei:
 - a) IT szempontból:
 - i) teljes rendszer kialakítása: eredmények valós időben folyamatosan érkeznek,
 - ii) limitált, részleges: eredmények időszakonként érkeznek,
 - b) menedzsment szempontból:
 - i) eredmények elemzése,
 - ii) beavatkozási területek azonosítása,
 - iii) akcióterv,
 - iv) mérés és vezérlés.

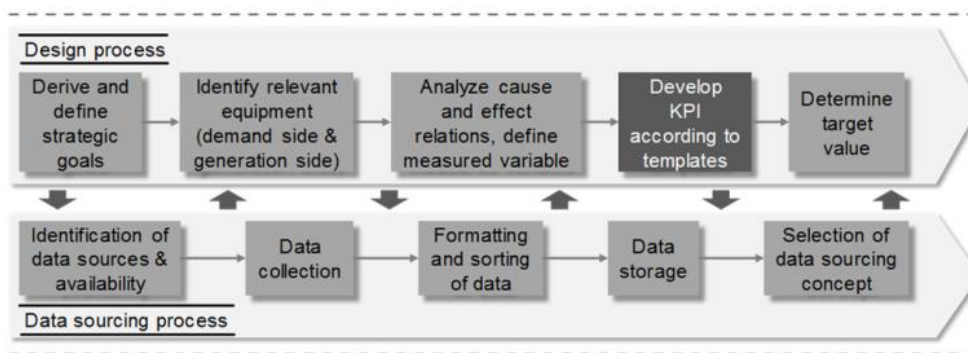
De más kutatások szerint a megfelelő energia hatékonysági KPI-k fejlesztéséhez szintén két lehetséges folyamatot kell követni [75]:

- 1) Tervezési folyamat:
 - a) Stratégiai célok definiálása;
 - b) Releváns berendezések azonosítása;
 - c) Elemezni az okok és a hatások kapcsolatát, mért változók definiálása (ez a pont talán a legfontosabb abból a szempontból, hogy ha szeretnénk sikeresen létrehozni új KPI-eket);
 - d) KPI-k fejlesztése;

¹⁵ Overall Equipment Effectiveness, magyarul Általános (gyártási) berendezés hatékonysága

- e) Meghatározni a célértékeket.
- 2) Adatforrásokhoz tartozó folyamat:
 - a) Adatforrások és elérhetőségük azonosítása és meghatározása;
 - b) Adatgyűjtés;
 - c) Adatok formázása és rendezése;
 - d) Adattárolás;
 - e) Az adatforrásokhoz tartozó koncepció kiválasztása.

Ezt a felsorolást grafikusan a 8. ábra mutatja (felül a tervezési folyamattal, alul az adatforrásokhoz tartozó folyamattal és alrészeikkel). Fontos kiemelni a fenti két párhuzamosan futó folyamat kapcsán, hogy menet közben folyamatos az interakció köztük. A második folyamat mintaszerűen illusztrál egy lehetséges ipari esettanulmányt is.



8. ábra: Kulcsfontosságú mutatószámok fejlesztési folyamatai a tervezés és az adatforrások tekintetében (Forrás: [75])

Érdeemes arra figyelni, hogy a különböző területszintek (négy ipari területszint azonosítható: gyár, gyártósor, termelő gép, termék) menedzsmentjei egyetértsenek a KPI tervezési irányokban, mert ha nincs konszenzus a szereplők között, akkor a KPI bevezetése és alkalmazása nagy eséllyel elbukhat. A gyárak szintjén csak egy felülnézeti kép látható a KPI-kről, viszont, ha lejjebb lépünk a gyártósorok vagy a gépek szintjére, akkor a KPI-k egy sokkal részletesebb képet mutathatnak az energiafelhasználásról vagy a gyártási költségekről.

A KPI fejlesztési folyamat elősegítéséhez definiálhatók sablonok, amelyek egyfajta csoportosításként foghatók fel a KPI-khez (korábban említettem, hogy léteznek statisztikai mutatószámok, amelyek lehetnek fizikai vagy gazdasági viszonyszámok, ez a csoportosítás azonban ennél részletesebb képet mutat). A lehetséges KPI sablonok / típusok tehát a következők [76]:

- 1) Az energia költségeket, felhasználásokat arányosítja valamilyen speciális mennyiséghez, mint például a termelési egységhez, gyártósorhoz, géphez vagy szervezeti egységhez.
 - a) Ehhez szükséges bemenetek például: energiaszámlán lévő költség, energia átlagár és a felhasznált mennyiség szorzata, a felhasznált energiamennyiség.

- b) Általános képlet például: a teljes energiaszámla költsége VAGY az áram átlagár szorozva a felhasználással VAGY a felhasználás leosztva a fent említett speciális mennyiségi paraméterrel vagy működési egységgel stb.
- 2) Ez a típus azt célozza meg, hogy általánosságban mérje az energia költségeket, felhasználásokat, gyakorlatilag a számlákat felhasználva hozzá. Elsősorban ez a menedzsereket támogatja a döntéshozatalban egy durva számítás segítségével, amely szerint a maximális energia szükségletet megszorozva a hozzá kapcsolódó maximális árral, akkor megkaphatók a költségmegtakarítások.
- a) Ehhez szükséges bemenetek például: a számlán szereplő költségek, maximális energia ár, maximális energia szükséglet, átlagár, felhasználás.
- b) Általános képlet például: direkt módon a számlát felhasználva kibonthatók az összegzett értékeket, vagy megszorozhatók a maximális energia szükséglet a maximális árral, vagy az átlagár felszorozható a felhasználással stb.
- 3) Ez a típus az energiát generáló berendezések hatékonyságára koncentrál a vállalaton belül („*on-site energy efficiency*”).
- a) Ehhez szükséges bemenetek például: energia bemenet és kimenet.
- b) Általános képlet például: az energiát előállító gépek energia felhasználására jutó általa megtermelt energia (arányszám).
- 4) Ez a típus az energiafelhasználás tökéletesítését vagy az energiaköltségek csökkentését vagy megtakarítását jelezhetik. Ezek a típusú KPI-k az operatív döntéseket meghozó menedzsment számára lehetnek fontosak, akik napi/heti szinten figyelik a gyártósorok, gépek energiafelhasználását.
- a) Ehhez szükséges bemenetek például: a jelenlegi és a korábbi értékei az energia költségeknek és felhasználásoknak, figyelembe véve az esetlegesen előállított energiát is.
- b) Általános képlet lehet a jelenlegi és a korábbi energia költségek vagy felhasználások bizonyos időszakokra vetített arányszáma.
- 5) Ez a típus kimutatja azt, hogy léteznek olyan vállalatok, amelyek saját maguknak állíthatják elő részben vagy egészben az energiát. Ez a mutatószám-típus összegzi az energiaköltségeket és -felhasználásokat, amelyet a cég maga állított elő.
- a) Ehhez szükséges bemenetek: az energiaköltségek és -felhasználások azon értéke, amelyet a vállalat a saját területén állított elő.
- b) Általános képlet lehet az ezekhez kapcsolódó összesítések, átlagszámítások a megfelelő időközönként.

A fenti listából látható, hogy ezek a típusok már arra is vonatkoznak, amikor valamilyen természeti erőforrásból a vállalat maga állít elő energiát (például üzemanyagból, fosszilis energiahordozókból vagy éppen zöld, megújuló energiaforrásokból). Az általam megismert

hazai gyárak működésénél nem tapasztaltam ilyen energiák felhasználásáról, viszont olyannal találkoztam, hogy a működő kazán hőenergiáját visszavezetik a termelésbe.

Németországban 2017. novemberében jelentette be a Siemens, hogy proaktívan áll ezeknek a fosszilis energiahordozóknak a felhasználásához, és ezért is tekinthető az egyik vezető iparvállalatnak, amely az ipari digitalizáció területén jelentős szerepet játszik. Emiatt például spórolnak az emberi erőforrásokon, és a digitalizációnak köszönhetően néhány erőművi berendezéseket és turbinákat gyártó üzemük is bezárásra kerül, valamint 6900 embert elbocsátottak, mert az okos robotok kiváltják az emberi munkaerőt a termelésben. Ezt a számot 2018-ban további 2900 ember elbocsátásával növelték meg az erőművi üzletágukban¹⁶.

Egy következő tanulmány a KPI-ket abból a szempontból csoportosítja, hogy milyen formában, módokon alakulhatnak ki veszteségek a gyártás során. Ezek a KPI-k egyedi gépeknél, részfolyamatoknál vagy akár az egész üzem szintjén alkalmazhatók [77]:

- Energiafelhasználáshoz kapcsolódó KPI-k: az energia (elektromosság, gáz, szén, olaj stb.) és a termelési be/kimenetek különböző mértékegységekkel láthatók el, mint például: munkadarab/óra, m³/óra, tonna/óra. Lehetséges mutatószámok:
 - Energia kimenet / Energia bemenet;
 - Energia bemenet / Termelési kimenet.
- Alapanyagokhoz tartozó KPI-k: ezek nem csak a termékekhez tartozó alapanyagok lehetnek, hanem a gyártásukhoz szükséges segédanyagok is (víz, ragasztó stb.): Lehetséges mutatószámok:
 - Alapanyag bemenet / Termelési kimenet;
 - Káros anyag kibocsátás / Termelési kimenet;
 - Kárba ment alapanyag / Termelési kimenet.
- Működési KPI-k: a legfőbb ezek közül a korábban már említett OEE mutató és ennek egyedi részei. További lehetséges mutatószámok:
 - A tervezett termelési idő százalékosan adott időszak alatt (nap, hét, hónap, év);
 - A tervezett termelési idő aktivitási ideje százalékosan kifejezve;
 - A termék előállítási ráta a maximális rátához viszonyítva adott terméktípusnál adott időszak alatt;
 - A termelés során előállított maximális minőségű termékek aránya adott idő alatt (ennek ellentéte lehet a selejtek aránya a termelésben).
- Termelés vezérlési teljesítmény KPI-k: amelyek befolyásolhatják a termék minőségét, a termelés sebességét és a berendezések elhasználódását. Lehetséges mutatószámok:

¹⁶ https://hvg.hu/kkv/20180925_Tobb_ezer_dolgozojat_rugja_ki_a_Siemens_Nemetorszagban - Online forrás. Utolsó megtekintés dátuma: 2018.09.28.

- A beavatkozások száma manuális módban / az összes beavatkozás száma;
- Vezérlési hibák aránya;
- Átállási idő egy gépbeállítás megváltoztatása után.
- Javítási, karbantartási KPI-k: ennek kapcsán érdemes megjegyezni, hogy a túl kevés javítás esetlegesen többször okoz termelésleállást, míg a túl sokszori karbantartás magas javítási költségeket és a kiesett termelés magas költségeit eredményezhetik. Lehetséges mutatószámok:
 - Karbantartási költségek / Termelési kimenet adott időszak alatt;
 - Karbantartási idők / Termelési kimenet adott időszak alatt;
 - Veszélyes figyelmeztetések a termelésben adott időszak alatt;
 - A fenti működési KPI-k és az alábbi berendezésekhez kapcsolódó KPI-k is tartozhatnak ide.
- Tervezési KPI-k: amelyek megmutatják, hogy milyen jól vannak kihasználva a gyárnak a kapacitásai. Ez nem annyira a KPI-kre épül, hanem arra, hogy elkészíthető egy optimális terv a gyár működéséhez és ez összehasonlítható a jelenlegi állapottal. Majd a vezetés megpróbálja elmozdítani a tervezési irányokat az aktuális felől az optimálisba. A pozitív irányvonalak összegyűjtése és pontos betartása történik a tervezés során.
- Raktárkészletek felhasználása KPI-k: a tartalék raktárkészletek fenntartása költséges, ugyanakkor, ha nincs elég tartalék, akkor az a termelés leállításához vezethet. Emiatt jól kell megválasztani a raktárkészletek mennyiségét, arányát. Lehetséges mutatószámok:
 - A termelésen átmenő mennyiség / átlagos raktárkészlet;
 - A tartalékos készletszint változása.
- Berendezéshez kapcsolódó KPI-k: ezek arra használhatók, hogy nyomon követhetők legyenek a gépek állapotai és bizonyos esetekben előre jelezzék, hogy karbantartás szükségességét:
 - Különböző gépeknél eltérő teljesítménymérők alkalmazhatók, például egy gyalugépnél a gyalulás hatékonyságát mérhetik, míg egy szárítógépnél a szárítás hatékonyságát stb.
 - Nyilvántartva a működési időszakokat a gépnél, előírható, hogy a karbantartás történjen meg bizonyos időszakonként, ezáltal a kopást, elhasználódást megelőzhetik.
 - A rezgési amplitúdó is beszédes lehet egy gép kapcsán.
 - Mért és előre jelzett teljesítmény aránya.

Az imént felsorolt KPI típusok felhasználásának egy általános módszertana lehet a következő:

1. Válasszuk ki azokat a jeleket, jelzéseket, amelyeket mérni szeretnénk (inkább többet válasszunk, mint kevesebbet). Például egy részfolyamat összes leíró jellegű paraméterét válasszuk ki.
2. Vegyük a paraméterekhez tartozó historikus adathalmazt az utóbbi fél vagy 1 évből, de az időtáv nagyban függhet a rendelkezésre állástól, vagy a KPI típusától is.
3. Távolítsuk el azokat a paraméterhez tartozó mért értékeket, amelyek nem relevánsak a számunkra vagy rossz irányba vezetnének: például az üzem zárva tartásához tartozó értékeket ne vegyük figyelembe, valamint a nagyon kiugró mért értékeket sem.
4. Számítsuk ki a KPI értékét a historikus adatokra alapozottan.
5. Keressük meg azt a paramétert vagy paramétereket, amelyek a legnagyobb hatással vannak a KPI értékünkre, ehhez használhatunk korrelációanalízist. Fontos viszont, hogy ezeknek a ráható paramétereknek változtathatónak kell lenniük, ellenkező esetben irrelevánsak lennének számunkra.
6. Változtassuk meg a ráható paraméter(ek)e)t és figyeljük meg, hogy a KPI-nk jobb eredményeket mutat-e. Ha nem, akkor a következő leginkább korreláló paraméter értékét kell változtatni és így tovább.

A fentiekben bemutatam a KPI-k kapcsán számos csoportosítási és példalehetőséget, valamint a KPI-k tervezése, létrehozása, tesztelése is bemutatásra került több módszer segítségével. A KPI-k használata mellett lehetőségem van még egyéb hasonló teljesítménymérő technikák használatára is, azonban ezek a faipari vállalat szempontjából nem elérhetők vagy nem feltétlenül relevánsak:

- Benchmarkok [78][79]: A benchmarkok használata akkor volt lehetséges, amikor a KPI-k mértékegysége azonos volt és esetlegesen ugyanannál a folyamatnál képes voltam ilyeneket alkalmazni. Viszont nem volt lehetőségem hasonló (leány)vállalattal összehasonlítani az általam vizsgált céget, illetve teljesen azonosan működő termelőgép is csak kevés van abban a mintarendszerben, amelyet kiépítettem az üzemekben. Ezen hasonló gépek teljesítményének összehasonlítására mutatók is vizsgálatot az 5.2.1.5 alfejezetben.
- Balanced Scorecard (kiegyensúlyozott mutatószámrendszer) [80][81][82]: az ok-okozati összefüggések vizsgálata nem túl bonyolult egy ilyen termelő vállalatnál, például, ha egy termelő gép több energiát használ fel ugyanannak a terméknek az azonos volumenű gyártásánál, akkor az egyértelműen a gép beállításából, vagy kezdődő meghibásodásából adódik, de ennél mélyrehatóbb összefüggések nincsenek a jelenleg működő ipari energetikai rendszeremben.

2.9. A fejezet összegzése

A fejezet során a háttéranyagok, publikációk, szakirodalmak feldolgozása történt meg. Tisztáztam számos alapfogalmat, amely az adott témához kapcsolódik. Mivel a továbbiakban

különböző keretrendszereket fogok bemutatni, emiatt itt áttekintettem három olyan rendszert, amelyet már használnak az iparban. A rendszerek méretezése (bonyolultsága) természetesen eltérő, hiszen szerepel köztük egy magyarországi fejlesztés (SensorHUB), de a General Electric elemző keretrendszere is, ami egy világszintű óriáscég adatait elemzi és támogatja a vezetői döntéseket. Megvizsgáltam olyan új informatikai technológiákat, amelyek a 4. ipari forradalomban is kulcsszerepet játszanak egy-egy fejlesztési folyamat során. A kihívásaikat és a megoldásaikat is összegeztem. Az elemzések szintjeinek és az egyedi fejlesztésű termelésirányítási rendszerek típusainak áttekintése után az energiamedzszmenttel kapcsolatos rendszerek értékelésére tértem át. A feldolgozott szakirodalmakon és tudományos publikációkon keresztül mutattam rá arra, hogy milyen hasznos lehet az IoT eszközök alkalmazása ipari környezetben. A vállalatoknál bevezetett szabványok és azok auditján túl meghatároztam, hogy miért és hogyan érdemes kulcsfontosságú teljesítményjellemzőket definiálni és azokat fejleszteni, majd mérni. Ezek segítségével hatékonyabbá tehetők a vállalatok belső folyamatai.

A kutatásaim során harmincnél is több olyan szakirodalmat vizsgáltam meg, amely az energiagazdálkodással foglalkozik, ugyanakkor például a termelési adatokkal való összevetést egyikben sem találtam. Emiatt is gondolom úttörőnek a disszertációm „4. *Energiagazdálkodási és termelési adatok integrálása*” és „5. *Energihatékonysági vizsgálatok*” fejezetét is. A szakirodalomban ismertetett megoldások leginkább technikai jellegűek, de ezek a legtöbb ipari vállalatnál eltérő környezetet mutatnak, így nehéz általános kiindulni egy-egy általános megoldásból, ha az általam vizsgált ipari környezet speciális (lásd még: faiparban egyáltalán nem létezett még ilyen rendszer). A tudományos folyóiratok a témában pedig leginkább országok, iparágak egységes számszerűsített eredményeit mutatták be az energiagazdálkodás szempontjából, főleg statisztikai adatokkal alátámasztva a meglátásaikat és a konklúziókat.

3. 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. [83].

Az ágazat szerkezete is igen változatos, de jellemzően KKV alapú, kevés a nagyvállalat, ugyanakkor sok a mikrovállalkozás is. Az általam épített rendszer viszont egy nagyvállalathoz fog kapcsolódni. De itt is egyre jobban megjelenik az a trend, hogy tömeggyártási technológiával egyedi igényeket kielégítő termékeket kell létrehozni a gyártás során.

Ahogy azt a korábbiakban összefoglaltam, Nyugat-Európa faiparában a jelentős automatizáltság, digitalizálás, az Ipar 4.0 bevezetése már megkezdődött. Erre a gép és technológia szállítói felkészültek (példaként a Festo [84] vagy a KUKA vállalatokat tudom említeni elsőként). 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 deszkákat színük alapján három osztályba soroltuk be a kutatásom során a cégnél: sötét, megfelelő színű és világos. A problémát bonyolítja, hogy a beszállítók minősége is kérdéses lehet, hiszen a cél a megfelelő színű osztályba történő besorolása a faanyagoknak. Amennyiben a szín túl sötét, vagy világos, úgy a termelés további lépéseit ehhez kell igazítani.

3.1. Digitalizáció és automatizálás a gyalulási folyamat után

A kutatás lényege egy okos-kamerás rendszer által mért színadatok egységes kezelése volt, amely adatokat még egyéb leíró adatokkal kellett kiegészíteni (pl.: idő, beszállító, műszak stb.). Az összegyűjtött adatokat adatbázisba töltöm fel. Ezután következhetnek a különböző vizsgálatok, elemzések a keretrendszerben.

3.1.1. A kezdeti alaprendszer részei

Kezdetben meg kellett ismerkednem azzal az alaprendszerrel (lásd: 11. ábra bal oldala), amely működött a vállalatnál. Az előgyalulás folyamatát már korábban elkezdtek informatikai megoldásokkal támogatni, ugyanakkor ez még egy meglehetősen kezdetleges megoldás volt és hiányoztak belőle olyan részek, amelyek a döntéstámogatást egyáltalán nem tartalmazták.

Ebben az alfejezetben a folyamatot és a fizikai rendszer részeit mutatom be:

1. A cég beszállítóitól érkezett faanyagok megmunkálása az előgyalulás folyamatával kezdődik.

2. A gyalulás megkezdése előtt a gépbeállító dolgozó megadja a szállítmány azonosítóját és így a kamera tudja, hogy milyen fajú anyagok érkeznek, tehát milyen határértékekkel kell dolgozni a színérték elbírálása során.
3. A faanyagok a gyalulás után egy kamera (szenzor) alatt mennek el, ami megállapítja róluk a színértéküket.
4. A futószalag végén pedig egy elosztópad mellett az emberi munkaerő újra szemügyre veszi, másodrendű ellenőrzésként a faanyag színértékeit és ha úgy ítéli meg, hogy a kamera által irányított elosztópad rossz helyre küldte ki a faanyagot, akkor felülbíráhatja a kamera döntését. Ugyanakkor az elosztópad egyik hátránya, hogy csak két színosztályba tudta szétosztani a faanyagokat. Az üzemi vezetők viszont bizonyos fajú anyagoknál ennél sokkal több osztályba szeretnék volna sorolni a deszkákat, de az alaprendszer korlátaiból adódóan erre nem volt lehetőségük.
5. A kamera közben a belső rendszerébe napló (log) fájlok segítségével eltárolta a működésének részleteit.

(Megjegyzés: az előgyalulás előtt történik még egy minőségellenőrzési fázis, amikor a rakatokból kiválasztanak egy bizonyos számú mintát és az ebben lévő deszkákat megvizsgálják abból a szempontból, hogy egyenesek-e. Ha a minta bizonyos százaléka nem felel meg az egyenességnek, akkor azt a rakatot félreteszik és visszaküldik a beszállítónak. Ez a folyamat viszont nem képezi részét az én keretrendszeremnek.)

A fenti fő hiányosság mellett a kamera beállításainak megváltoztatása is nehézkes volt, illetve nehéz volt belőle kinyerni a naplózott adatokat is. A kamera beállításaihoz egy távoli asztal kapcsolat segítségével lehetett hozzáférni és egy inicializációs fájl átírásával lehetett megváltoztatni a fajokhoz tartozó határértékeket.

3.1.2. Az alaprendszer használata a hiányosságok mellett

Szükség volt tehát egy olyan kiterjesztett rendszerre, amely az Ipar 4.0 ajánlásait követve egy kiber-fizikai környezetet határoz meg az üzemben. A fő hiányosságai az alaprendszernek tehát: 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.

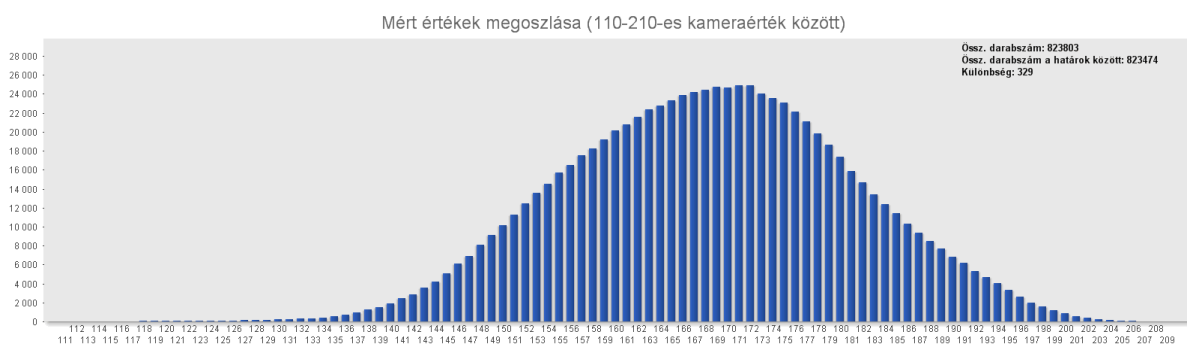
A cél az volt, hogy online módon mindig nyomon lehessen követni az egyes batchek (kötegek, rakatok) lefutását, könnyen lehessen beállítani a futási paramétereket, valamint a szállítmányok gyalulása után minden ezzel kapcsolatos adat kerüljön be egy központi adatbázisba. Ezután az adatbázisban lévő adatokon 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 menedzsment legfőbb prioritása az volt, hogy szeretnék volna tudni a szállítmányok minőségét a faanyagok színének szempontjából. Ehhez szükség volt egy olyan informatikai fejlesztésre, amelynek segítségével konkrét adatokra, sőt, információkra alapozott döntéseket voltak képesek meghozni. Néhány adatsor a kamera által gyűjtött log fájlokból:

```
Jan 1 18:20:58 Bi-i compactserver[216]: [Warning]-Result: DARK (avg:137)
Jan 1 18:21:00 Bi-i compactserver[216]: [Warning]-Result: OK (avg:174)
Jan 1 18:21:02 Bi-i compactserver[216]: [Warning]-Result: OK (avg:167)
Jan 1 18:21:04 Bi-i compactserver[216]: [Warning]-Result: DARK (avg:146)
```

Ezeket az adatokat a kamera napi szinten egy-egy új log (napló) fájlba mentette el. A fejlesztett megoldásom segítségével feldolgoztam ezeket a naplózott sorokat (reguláris kifejezések segítségével kinyertem a kamera által mért átlagos adatokat, majd egy adatszerkezetbe tároltam el ezeket a leíró adataikkal kiegészítve). Ennek végrehajtása után képes voltam a következőkre: szállítmányokhoz átlagos színminőség értéket tudtam rendelni, vizsgáltam a kötegenkénti értékek eltérését az átlagtól, meghatároztam a szórásokat rakatonként és összességében, színosztályok arányszámaikat szállítmányonként, fafajonként és ami még fontosabb szállítóként. Így a menedzsment ezek után már olyan alkupozíciót volt képes felvenni a szállítókkal szemben, amelyek segítségével esetlegesen beszerzési költségeket spórolhattak meg a vállalatnak [122]. Az idő előrehaladtával és újabb fejlesztésekkel pedig komplexebb elemzések lefuttatása is fókuszba került, mint például a faanyagok minőségének időszakonkénti vizsgálata (javulás, romlás azonosítása stb.) [85]. Egy átfogó képet mutat a faanyagok színértékéről (vízszintes tengely) és a darabszámokról (függőleges tengely) a 9. ábra.



9. ábra: A faanyagok színértékeihez viszonyított darabszám a rendszerben (Forrás: saját ábra)

Ez a megoldás azonban továbbra sem volt túlságosan felhasználóbarát, mert a menedzserek nem tudtak akár napi szinten ilyen jelentéseket generálni, nehézkes volt az adatok kezelése és menedzselése is. Emiatt született az a döntés, hogy egy integrált alkalmazást kell kialakítani a részfolyamat támogatásához.

3.1.3. A kiterjesztett rendszer architektúrája és a folyamat részletes bemutatása

A hiányosságok miatt az alaprendszer fejlesztésre szorult. Emiatt újabb fizikai eszközöket és vállalati rendszereket vontam be a rendszerbe, hogy az azonosított hátrányokat kijavítva, előnyöket kovácsoljak belőlük.

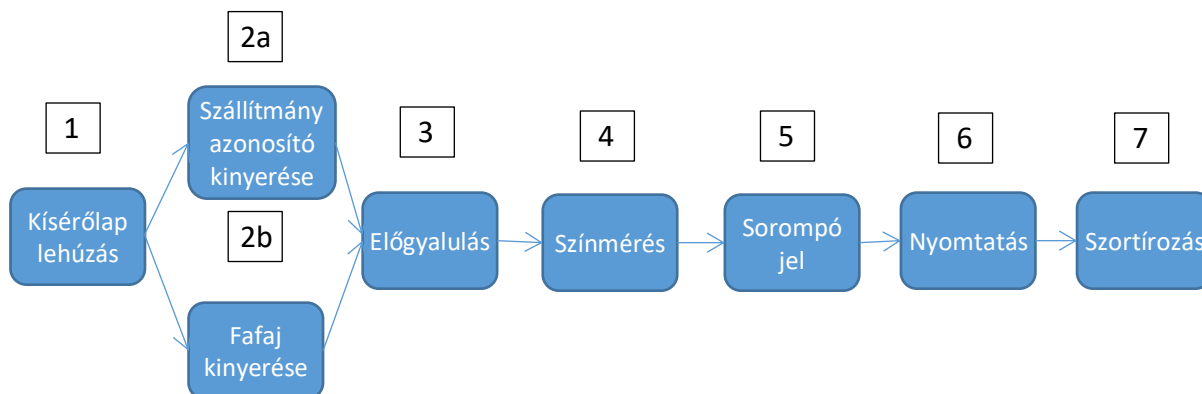
A megmunkálási részfolyamatot tekintve a feldolgozás rakatonként történik (az egész folyamat itt látható: 10. ábra). Ezekhez mindig tartozik egy kísérőlap, amelyet a kísérőlap leolvasó (1) segítségével visznek fel a rendszerbe, a folyamat elindul. Ez két eseményt indít el: (2a) a fejlesztett szoftver (továbbiakban alkalmazás) felkészül a folyamat menedzselésére és kinyeri az adott szállítási azonosító értékét az egyik adatbázistáblából, valamint (2b) szintén a kísérőlap adataiból kinyert fafaj nevét a kamera elküldi az alkalmazásnak.

Ezután elkezdődik a fizikai megmunkálás, a deszkák átesnek az előgyalulás fázison (3), amelyet a deszka színértékének mérése követ (4). Ezt a kamera végzi el olyan módon, hogy az egész deszka elhalad alatta és egy átlagszínértéket számol, amely az adott deszka színértéke lesz. Ebből adódóan a deszkának teljes egészében el kell haladnia a kamera alatt, hogy megkapjuk az értéket. (Ez indokolja majd a nyomtatási fázisnál a fénySOROMPÓ bevezetését). Ezután következik a nyomtatási fázis, amelyhez az említett színértéken kívül szükséges még az is, hogy a deszka a megfelelő pozícióba kerüljön a nyomtatók alá. Ezért a mérés után a deszka elhalad a fénySOROMPÓ előtt, amely akkor küld egy jelet az alkalmazásnak, amikor az adott deszka éppen elhagyja (5). Ez a fizikai kialakításból adódóan azt jelenti, hogy a deszka megfelelő nyomtatási pozícióba kerül. Ekkor történik meg a nyomtatás a deszkára (6).

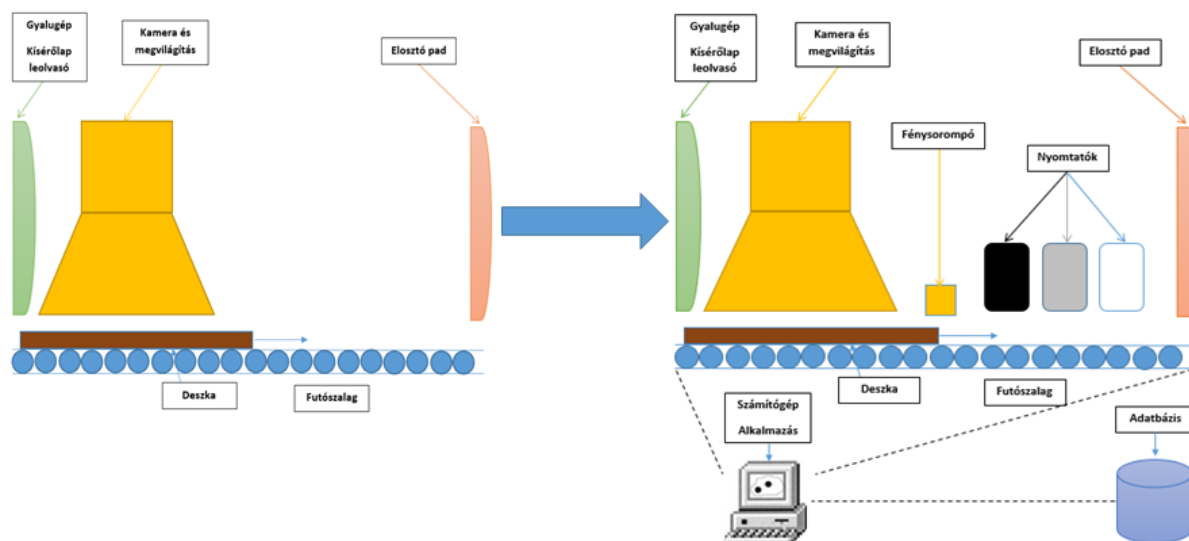
A kamera által mért színérték, illetve az egyes fajokhoz tartozó határértékeknek megfelelően sötét (DARK), OK, illetve világos (LIGHT) deszkákat különböztetünk meg. Ezen ítéletnek megfelelően az adott deszkára „S” vagy „OK” vagy „V” szimbólumok kerülnek nyomtatásra. Mindegyik szimbólumot egy másik ipari nyomtató nyomtatja (ennek megfelelően a fekete színnel jelölt nyomtató „S” szimbólumot, a szürke nyomtató „OK” szimbólumot, a fehér nyomtató pedig „V” szimbólumot nyomtat, 11. ábra jobb oldala). De lehetőség van arra is, hogy amennyiben további színosztályok definiálására kerülne sor, úgy további nyomtatók beszerzése történhet meg, és az alkalmazásban több határértéket is megadhatunk. A határértékek számát jelenleg az LPT¹⁷ port adatlábainak száma korlátozza, így nyolc darab nyomtatót lehet maximum rákötni a port adatlábjaira.

A nyomtatási fázis után további szortírozási folyamatok következnek (7). Az alapkonfiguráció szerint az „OK” minősítésű fák a második szortírozó asztalra kerülnek, az ettől eltérő minősítésűek az első szortírozó asztalra kerülnek. További szortírozó asztalok beállításával a három állapotú deszkákat (például a nyír lehet sötét, ok és világos) is szortírozni lehetne.

¹⁷ Linear Print Terminal, magyarul Lineáris Nyomtató Terminál



10. ábra: A faanyagok feldolgozási, minőségellenőrzési folyamata az előgyalulás előtt, alatt és után (Forrás: saját ábra)



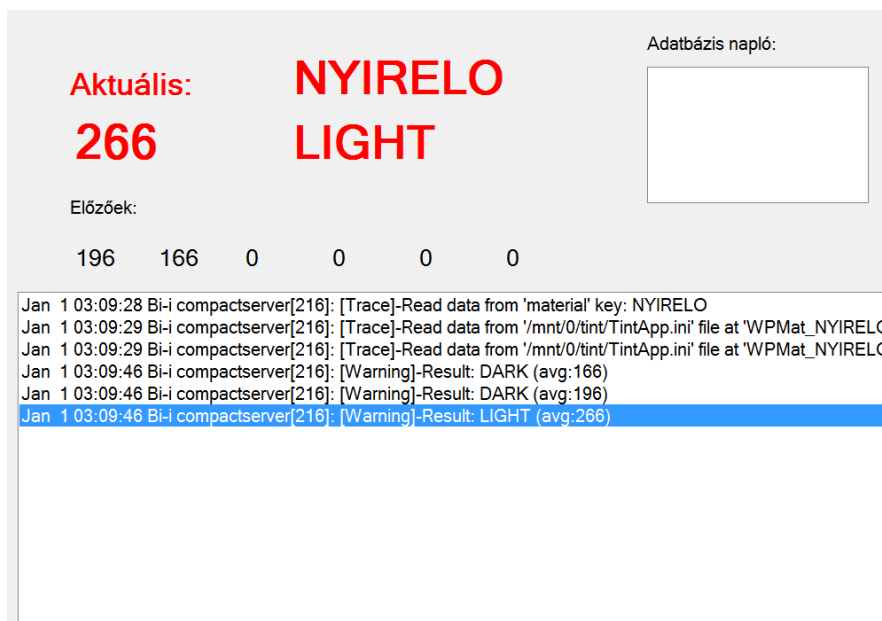
11. ábra: Az alaprendszer (balra) és a kiterjesztett rendszer (jobbra) elemei (Forrás: saját ábra)

A kiterjesztett rendszer architektúráját mutatja a 11. ábra jobb oldala. A megmunkálási folyamat lezárultával azonban nem ér véget a teljes folyamat. Ugyanis annak van egy támogató **informatikai részfolyamata** is. Az általam fejlesztett alkalmazás kapcsolatban áll a fizikai eszközökkel: a kamerával soros porton (RS-232), a fénySOROMPÓVAL szintén soros porton keresztül, a nyomtatókkal LPT porton keresztül, míg a háttérben működő adatbázisszerverrel UTP kábelen, vagyis lokális internet hálózaton keresztül kommunikál az alkalmazás. A feladatok, amelyeket elvégez a termelési folyamat monitorozása, irányítása és az adatgyűjtés érdekében a következők:

1. A kísérőlap vonalkódjának lehúzásakor tehát kinyeri a szállítmány azonosítóját a termelési adatbázisból, valamint a hozzá tartozó fajtát megkapja a kamerától. Ugyanekkor elkezd összegyűjteni a batchhez tartozó leíró adatokat (dátum, idő, műszak stb.) és deszkánként a színértékeket is.
2. A kamerától kapott színértékek és az alkalmazásban eltárolt fajfajhoz tartozó határértékek segítségével meghatározza a színítéletet.

3. A fényesorompótól megkapja a jelet, hogy elhaladt előtte a deszka és ezáltal kiadhatja az alkalmazás a nyomtatási parancsot. Azt a nyomtatót szólítja meg, amelyikhez a színítélet tartozik. A nyomtató memóriájában lévő karakter pedig rákerül az alatta elhaladó deszkára.
4. Mikor a szállítmány véget ér és új szállítmány következik (új kísérőlapot húznak le a gyalugép kezelőfelületén), az alkalmazás az összegyűjtött adatokat elküldi a háttérben működő termelési adatbázisnak. Így a későbbiekben az adatok elemezhetőek és nyomon követhetőek.

Technikai oldalról nézve, az informatikai részfolyamat fejlesztése során a Microsoft .NET keretrendszerét használtam és egy olyan C# programozási nyelven alkalmazást készítettem, amely telepítés nélkül, tehát hordozható módon használható a számítógépeken. A telepítés nélküli használatot az is indokolta, hogy két gép van, amely gyalulást végez az üzemben és így mindkettőn könnyedén használható volt az alkalmazás (az operációs rendszer esetleges újraindításakor is azonnal elindul az alkalmazás, mert beillesztettem a kezdeti folyamatok közé). A különböző eszközökkel és rendszerekkel való kommunikáció megvalósítását (soros port, LPT port, internet) mind hibamentesen végeztem el. Fontos követelmény volt még, hogy az alkalmazás megfeleljen a 3 műszakos, tehát 0-24 óráig történő állandó működésnek, a hónapokon, éveken át tartó működés során ezt a próbát is kiállta az alkalmazásom. A háttérben futó adatbáziskezelő rendszer a Firebird, amely ingyenesen elérhető és használható az adatok eltárolására. A felügyelő, irányító és adatgyűjtő alkalmazás egy képernyőképe itt látható (12. ábra). Ennek az alkalmazásnak a képét látja az az operátor, aki felügyeli az előgyalulási folyamat minőségvizsgálatát. Egyből látható számára, hogy milyen fajta fát gyalulnak (NYIRELO = nyírfa), az aktuális deszka színértéke (266) és színítélete (LIGHT = világos), valamint a korábbi hat faanyag színértéke is ott van még a képernyőn. Így ez nagyban segíti az operátor személyt, aki korábban csak a jelenleg is az ábra alján látható naplózási sorokat látta és ha már túl nagy számú deszka volt egy rakatban, akkor vissza kellett volna keresnie, hogy milyen fajtát is gyalulnak éppen.



12. ábra: A felügyelő, irányító és adatgyűjtő alkalmazás felhasználói felülete (Forrás: saját ábra)

Az alkalmazás jól láthatóan mutatja a gép mellett dolgozó számára az aktuális batch legutóbbi értékeit. A kommunikációs felületek is láthatóak emellett, hogy ha valamilyen hiba adódik, akkor azt egyből tudja érzékelni a kezelője (kamerából érkező adatok alul, adatbázis napló jobbra felül).

Az alkalmazás folyamatos fejlesztése során természetesen figyelni kellett optimalizálási, illetve biztonsági kihívásokra is. Emiatt az alkalmazást mindenképpen „bolondbiztossá” (poka-jokes) kellett tenni, tehát a sima operátoroknak nem szabadott hozzáférést adni az alkalmazás menedzseléséhez, emiatt jelszavas védelmet állítottam be a beállítások eléréséhez. A hitelesített bejelentkezés után az alkalmazás menedzselőjének lehetősége van beállítani a gépezonosítót (melyik gyalugép mellett fut az alkalmazás), fajták határértékeit képes módosítani, fajtát képes hozzáadni és elvenni, az adatbázisszerver IP címét tudja módosítani, továbbá egy késleltetést is beállíthat, hogy mikor történjen meg a deszkákra az ítéletek nyomtatása. Ez utóbbira akkor lehet szükség, hogy ha az üzemben a kamera, fényzorompó, nyomtatók távolsága túl nagy, akkor az adott nyomtató ne hogy túl hamar akarjon nyomtatni a deszkára, amikor az még oda sem ért alá (lásd 13. ábra).

Az adatvesztés megakadályozása céljából, ha éppen nem volt belső hálózat az üzemben, akkor az alkalmazás az összegyűjtött adatokat egy fájlba mentette el helyileg, majd, ha újra helyreállt a kapcsolat, akkor az aktuálisan mért szállítmányadatokkal együtt az elmentett fájl tartalmát feldolgozva szintén átküldésre kerültek az adatbázisnak. Továbbá az adatbázis későbbi terhelése szempontjából az egy-egy szállítmányban előforduló azonos színértékeket mutató deszkák aggregálásra kerültek és egy mennyiségi szám jelzi, hogy mennyi fordult elő belőlük az adott szállítmányban.

13. ábra: A felügyelő, irányító és adatgyűjtő alkalmazás beállítási lehetőségei (Forrás: saját ábra)

Gazdaságinformatikusként kihívást jelentett számomra, hogy ne csak vállalatirányítási rendszerekkel, esetleg fejlett programozási környezetekkel foglalkozzak, hanem a számítógépek fizikai szintjén kellett megoldanom azt a részfeladatot, hogy a nyomtató (LPT) portját felhasználva irányítsak különböző fizikai eszközöket. Ez úgy valósult meg, hogy az LPT port megfelelő lábára feszültséget küldtem ki, az adott lábra pedig egy-egy nyomtatót kötöttem rá a villamossági kollégák segítségével. Így az adott ipari nyomtató akkor nyomtatta a memóriájában lévő jelet az előtte elhaladó deszkákra, amikor feszültséget kapott az alkalmazásom által vezérelt számítógéptől.

3.1.4. Forrás-, kalkulált- és eltárolt adatok

A szoftver megoldásom által kezelt adatbázisstruktúra elemei a következők:

1. Számítógépes környezeti vagy előre beállított adatok:
 - a. Operációs rendszerből érkező adatok: dátum és idő
 - i. ... és az ebből származtatott adat a műszakazonosító.
 - b. Gépezonosító;
 - c. Fafajokhoz beállított határértékek;
 - d. Nyomtatási késleltetés (ms).
2. Termelési adatbáziskezelő rendszerből érkező adatok:
 - a. Szállítmányazonosító.
3. Soros (RS-232) porton érkező adatok:
 - a. Kamera által mért átlagos színérték

- i. ... és az ebből, valamint a határértékekből számított színtételek.
- b. Kamera által szolgáltatott fafaj;
- c. Fénysorompó jelzése, hogy elhagyta a deszka.

Ezek az adatok írják le a gyalulás utáni minőségmérő folyamatot.

Az itt bemutatott adatgyűjtő és termelést vezérlő alkalmazás segítségével egy olyan adathalmazt gyűjtöttem össze, amelynek elemzése a fejezet további részeiben található. Emellett azonban az itt felhasznált kép- és videóelemző megoldás elavulttá vált az utóbbi években, ami arra motivált, hogy kidolgozzak egy olyan helyettesítő megoldást, amely ipari környezetben is megállja a helyét (0. fejezet: A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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.

Bútoripari képelemzés vizsgálatok és eredmények) [86].

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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 bútoripari környezetben.

3.2. Bútoripari adatokon végzett vizsgálatok

A rendszerek működése során az összegyűjtött adatokkal kapcsolatban keletkezhetnek problémák, amelyeket valamilyen módon ki kell javítani. Az általam definiált keretrendszerben is megtörténtek ezek, így az alfejezet további részében ezeket mutatom be. Fontos kitétel, hogy csak a javítások után történhetnek meg a tényleges adatelemzések.

3.2.1. Adatelőkészítés: tipikus adathibák

Egy keretrendszer adatgyűjtő és -tároló részének implementációs, teszt és működési időszakában megtörténhetnek a következők:

1. *Hiányosság („incompleteness“):* a rekordok tartalmazhatnak egy vagy több hiányzó attribútum-értéket, ennek többféle oka lehet. Lehetséges, hogy néhány adat a forrásokban éppen nem volt elérhető, amikor az áttöltési tranzakció megkezdődött. Más esetekben az adatok azért is hiányozhatnak, mert rosszul működik az adatgyűjtő eszköz. Az adatgyűjtő eszköz, valamint az adatbázis közötti hálózat meghibásodásából is adódhatnak hiányosságok [87][88][89].

2. *Zaj („noise“)*: az adatok tartalmazhatnak olyan hibás, rendellenes értékeket, amelyeket gyakran „*outliereknek*” neveznek. Más esetekben ezek a zajok felléphetnek a meghibásodott eszközök közötti adatszállítás során. Az adatok különbözőképpen is tárolódhatnak a heterogén rendszerekben, ezáltal további pontatlanságok és anomáliák is felmerülhetnek. A zaj numerikus adatok mérésére rakódott véletlenszerű hibát jelent. A hiba természetéből fakadóan lehet kismértékű, vagy pedig ritka esetekben nagy, kiugró értékeket generáló, illetve ezek valamilyen kombinációja [90][91].
3. *Belső ellentmondás vagy következetlenség („inconsistency“)*: néha az adatok ellentmondásokat tartalmazhatnak a kódoló rendszerekben használt adatrepresentációk megváltoztatása miatt. Példa: egy termelő vállalatnál a termékek kódolására más-más paradigmákat használnak, rossz elnevezéseket használnak termékekre, nem írják oda, hogy összesített értékekről van szó stb. [92].

A fenti hibák kezelésére adatérvényesítő technikákat használtam a keretrendszeremben. Ezeknek a technikáknak az a céljuk, hogy azonosítsák a hiányos/következetlen/zajjal fertőzött adatokat és implementálják a javító akciókat/metódusokat.

3.2.2. Tipikus adathibák kezelése adatérvényesítő eljárásokkal

Az adatérvényesítő technikák besorolhatók aszerint, hogy hiányossággal vagy zajokkal rendelkező adatsort szeretnénk kijavítani. A **hiányos adatok kipótlásának problémájához** alkalmazott technikák lehetnek a következők:

- *Kiküszöbölés, megszüntetés, kizárás, eltávolítás (elimination)*: lehetséges, hogy eldobjuk az összes olyan adatbázisrekordot, amelyben hiányzó attribútum-érték szerepel. A felügyelt adatbányászati algoritmusok esetében fontos kizárni egy rekordot, ha annál a célattribútum értéke hiányzik. Ez az én keretrendszerem esetében egyértelműen a színekre vonatkozó meghatározás volt, ha az hiányzott, akkor azt a rekordot töröltem. Itt számolni kell az esetleges nagymértékű információvesztéssel, de az én esetemben ezzel nem volt probléma.
- *Megtekintés, vizsgálat (inspection)*: ez azt jelenti, hogy minden egyes adathiány pótlásához hozzáértő szakértőt kérünk fel az elbírálásra. Ez a leginkább időrabló és kevésbé életszerű egy termelési rendszer esetén a megvalósítása, ugyanakkor a tapasztalatok alapján ez a legpontosabb korrekciós eljárás, ha megfelelően alkalmazzák.
- *Azonosítás, felismerés (identification)*: ennél egy „*hagyományos érték*” használható a hiányzó érték pótlására. Ezáltal nem kell eltávolítani az egész adatsort, amiben a hiányzó érték volt. Ez a hagyományos érték egy olyan érték lehet, amely nincs benne az adott attribútum értékkészletében. Például, ha az attribútum értékei csak pozitív egész szám értékeket vesznek fel, akkor „-1”-gyel jelölhető a hiányzó értékeket.

- *Helyettesítés, csere (substitution)*: például egy attribútum hiányzó értékét lecserélhetjük a maradék attribútum-értékek számított átlagával (közéértékével).
- Vagy ha kevés a hiányos adat, akkor manuálisan is pótolhatók valamilyen átlagoló módszer alkalmazásával.

Zajos adatok esetén először arra van szükségünk, hogy azonosítsuk a zajokat az adathalmazban, következésképpen ezeket kijavítsuk és tökéletesítsük, vagy pedig szélsőséges esetben a „zajos rekordokat” eltávolítsuk. A **zajos adatok azonosításának problémájához** alkalmazott technikák lehetnek a következők:

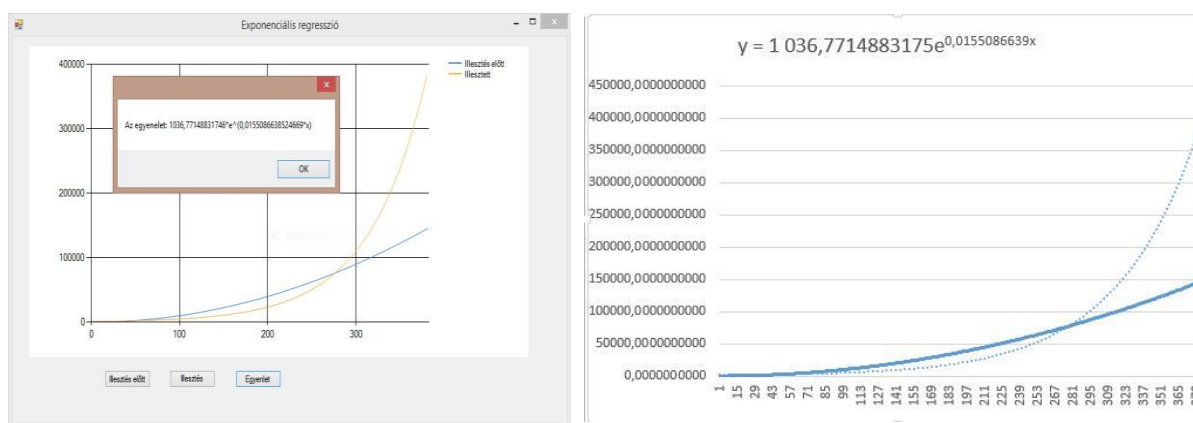
- A zaj hatással van az adatsor természetére, alakjára, amit például a szórással jellemezhetünk („*standard deviation*”).
- A zajban fellépő kiugró értékek („*outlier*”) távol vannak az értékes adatoktól. Ezt a távolságot általában az interkvartilis távolság függvényében adják meg (ennyivel kisebb, illetve nagyobb az adott értéknél). Az extrém kiugró adatokat úgy határozhatjuk meg, hogy a kiugró értékekhez tartozó intervallum határait a kétszeresére bővítjük.

A **zajos adatok javításának problémájához** alkalmazott technikák általában valamilyen adatsimítási feladatot látnak el. Ez egy olyan folyamat, amely módosítja az értékeket a szomszédos adatok alapján, így egy simább reprezentációját kapjuk az adatoknak, főként sorozatok, idősorok és képek esetében. Itt a Gauss függvényt használható az átlagok, szűrők kiszámításához. A simítást kiterjeszthetjük több dimenzióra is, így az adatértékeket összetettebben is simíthatjuk. Ezek az adatsimító technikák a következők lehetnek:

- *Kosarazás*: lényege: azonos számú kiválasztott értéket ugyanazzal az értékkel írjunk felül:
 - Kiválasztáshoz egy kosárba legfeljebb n darab adat fér;
 - Rendezzük az adatokat és az egymás mellett lévő n darab értéket egy-egy diszjunkt kosárnak feleltetjük meg;
 - A simítást úgy végezzük el, hogy vesszük a kosárban lévő értékek átlagát vagy mediánját (mozgó átlag - MA), vagy felső-alsó határát (MIN, MAX) és a kosárban lévő adatokat ezek alapján írjuk felül;
 - Minél szélesebb (nagyobb) kosarat használunk, annál erősebb a simítás hatása.
- *Klaszterezés*;
- *Kombinált számítógépes és emberi vizsgálat*: ebben az esetben a számítógép adott mérték használatával képes detektálni az eltérő mintákat. Viszont ezekben a mintákban lehetnek értékes információk is, ezért egy személy ekkor már csak az eltérő mintákat kell, hogy áttanulmányozza az egész adathalmaz helyett;
- *Regresszió*: alkalmazhatunk többfélét (lineárist vagy többváltozósat is);
- *Mozgóátlagolás*;
- *Exponenciális simítás*.

Az adatokból nem lehet maradéktalanul eltávolítani a zajt. Ezért használják a *becslés* kifejezést is, amikor a zaj viselkedését határozzák meg. A simítás is egy eszköz a zajok, kiugró értékek (outlier), kivételek csökkentésére. Mivel a zaj a mért és továbbított adatok természetéből adódik, számolnunk kell vele az előfeldolgozás során, történjen az tisztítási céllal vagy az elemzésre való felkészítés céljából.

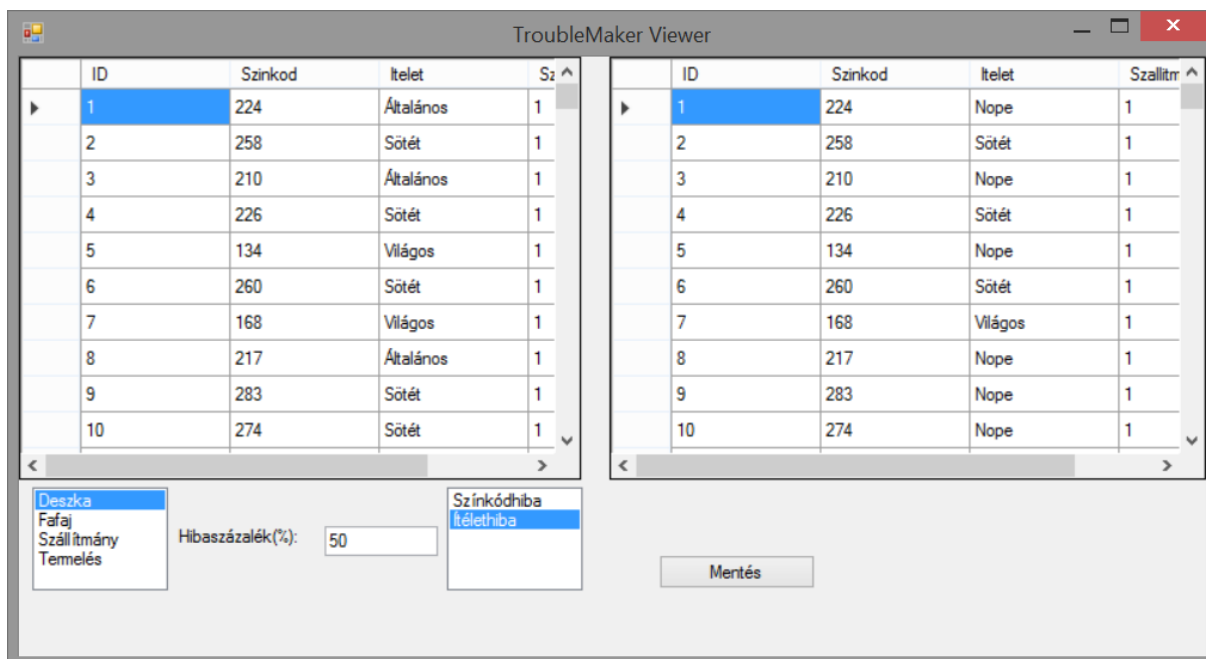
A fenti eljárások közül én a mozgóátlag számítását implementáltam az adatelőkészítéshez, valamint az exponenciális regresszió számítását is [93]. Mivel az algoritmusok számítási magját magam programoztam, ezért fontosnak tartottam, hogy valamilyen validáció is történjen meg a kalkulációk kapcsán. Emiatt az algoritmusokat, mint például az exponenciális regresszió számítását a Microsoft Office Excel programja segítségével ellenőriztem (lásd: 14. ábra). Az ábrán az egyenletek és a függvények alakjai megegyeznek, még ha itt a dokumentációban nem is tűnnek egyformának a képek elhelyezésének torzítása miatt. Ennek az exponenciális regresszió típusnak főleg az idősorok esetén van értelme. Azt vizsgálja, hogy az egyik időszakról a másikra hogyan változott a vizsgált jelenség. Az alábbi példában a színértékekhez (vízszintes tengely) tartozó gyakoriság értékeket (függőleges tengely) vizsgáltam.



14. ábra: Exponenciális regresszió számítás: balra az alkalmazásban, jobbra az Excel-ben (Forrás: saját ábrák)

Láthatóvá téve és kicsit átalakítva a képletet, azt kaptam, hogy $\hat{y} = 1036,7715 * 1,01563^x$, amelynél a szorzat első tagját nem értelmezem, a második paraméter, a 1,01563 azt jelzi, hogy ha a színérték eggyel emelkedik, akkor a gyakoriság érték 1,563%-kal (101,563%-ra) növekszik.

Mivel a vizsgált időszakban (az elemzéseket az adatgyűjtés megkezdése után 7 hónappal kezdtem meg) nem következett be olyan mértékű adathiány, illetve zajos adatsor, emiatt az algoritmusok teszteléséhez létrehoztam egy olyan osztályt az alkalmazásban, amely véletlenszerűen generál hibás adatértékeket a tesztadatsorban. Majd az algoritmusokat a tesztadatsoron teszteltem és így futtattam le a vizsgálatokat. Ez egyfajta szimulációnak tekinthető az alkalmazásban [94].

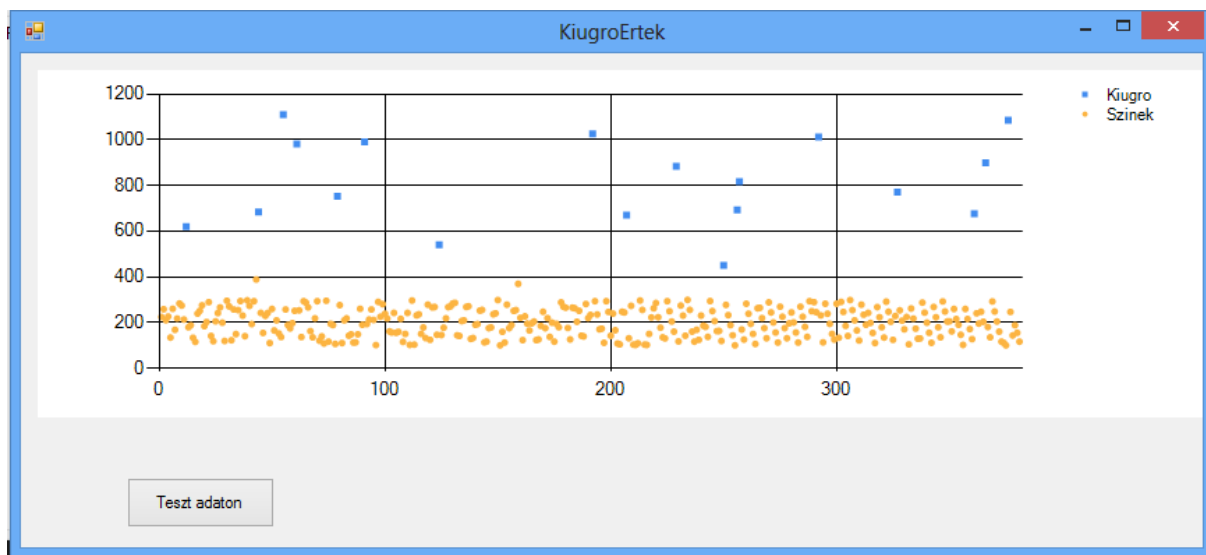


15. ábra: Véletlenszerű hibagenerálás az adatsorban (ítélethibát generál véletlenszerűen: "Nope" címkével)
(Forrás: saját ábra)

A generált hibák a következők voltak:

- Adott deszka, faanyag szempontjából:
 - a színkódját értékkészleten kívülre állítja,
 - a színítéletét véletlenszerűen értékkészleten kívülre („Nope”-ra, vagyis ismeretlenre) állítja. Ez látható a 15. ábra összesítésén is a jobb oldali generált tesztadatsorban.
- Adott fafaj esetében:
 - a sötét vagy a világos határértéket értékkészleten kívülre állítja,
 - megcseréli a sötét és a világos limiteket.
- Adott szállítmány esetében:
 - beérkezési időpontra állít be értelmezhetetlen vagy túl régi (2011 év előtti) értéket, (megjegyzés: azért 2011, mert inentől voltak elérhető termelési adataim, ekkor került éles beállításra a keretrendszerem a termelésben)
 - értelmezhetetlen fafaj azonosítót állít be.
- Adott termelés esetében:
 - értelmezhetetlen deszka vagy gép azonosítót állít be a termelésre.

Egy adott tesztadatsoron a hibás adatok generálása után futtattam le a kiugró értékek detektálása és szűrése algoritmusomat. Az így kapott eredményeket a 16. ábra szemlélteti. Az ábrán látható, hogy a függőleges tengelyen ábrázolt színértékeknél a 200 körüli értékek azok, amelyek megfelelőek, valós értékeket tartalmazhatnak, míg a 400 feletti értékek már kiugró értékeknek számítanak, így azokkal az adatokkal valamilyen további feldolgozást kell végezni.



16. ábra: Kiugró értékek detektálása (vízszintes tengelyen a deszka azonosítói, függőleges tengelyen a színértékek láthatók)
(Forrás: saját ábra)

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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.

3.3. Bútoripari képelemzés vizsgálatok és eredmények

Az alfejezetben bemutatom a keretrendszer faipari aspektusát, emiatt is összegzem a faanyagok színének jellemzőit és azok befolyásoló tényezőit. Utána a képeken végzett számítógépes vizsgálatokat részletezem, majd néhány példával zárom az alfejezetet, amelyek videókon végzett elemzéshez kapcsolódnak.

3.3.1. A faanyagok természetes színe és azok befolyásoló tényezői

Mielőtt elkészítettem a bútoripari felügyeleti rendszert, megvizsgáltam, hogy a faanyagoknak milyen a természetes színe, mik azok a hatások, amelyek befolyásolják azt.

A természetes faanyag színe a világosságból, telítettségéből és a színezetből tevődik össze. Ez a szín függ a faanyagban lévő konjugált kettős kötések számától. Ha nagyobb mennyiség van benne, akkor sötétebb lesz, ha kevesebb van benne, akkor világosabb lesz. Ez magyarázza azt, hogy a faanyagok fafajonként eltérő színt mutatnak. Általában a faanyagok színe sárgás-barnás színű, ennek az az oka, hogy a fa elnyeli a ráeső fény kék színrészét közel 90%-ban, míg a piros és sárga színeket nagy részét (kb. 70-80%-ban) visszaveri [95]. Emellett a faanyagok színezetét befolyásolja a járulékos anyagok¹⁸ típusa és mennyisége is [96]. Az egyik legegységesebb járulékos anyag a víz, tehát a nedvességtartalom. A száraz faanyag színe

¹⁸ Azok az anyagok vagy szerves vegyületek, amelyek nem épültek be a sejtfalba, azaz könnyen kioldhatók.

világosabb, mint a még nedves faanyagé, az eltérés mértéke akár 10-15% is lehet. Ennek az oka pedig az, hogy a nedves faanyagba jobban behatol a fény, ezáltal sötétebb a tónusuk. A nedvesítés hatására a faanyag színezetében történnek leginkább változások, a színezetek élénkebbé válnak a kutatók tapasztalatai alapján.

A faanyagok természetes színe kapcsán befolyásoló tényezőként említhetem a fizikai, kémiai, valamint a biológiai hatásokat is. Ezek mellett a termőhelynek is jelentős szerepe van, tehát a földrajzi, környezeti szempontok sem elhanyagolhatóak. A fák növekedésénél pedig megfigyelhető, hogy az idősebb korban növesztett évgyűrűk sötétebbek, mint a fiatalabb korban növesztett évgyűrűk, összességében tehát ezek is befolyásolják a faanyag színét.

A faipari feldolgozás után vagy közben hatások érik a fát, amelyek szintén befolyásolhatják a későbbi színét. Történhetnek elszíneződések, amelyeket okozhatnak a levegővel való érintkezések, vagy a fémszerszámokkal való érintkezés is. Továbbá a feldolgozás közben ért fény által is változhat a fafelületek színe, ezt *photodegradációnak* nevezik. A degradáció hatására bekövetkező színváltozás nagyrészt a világosság csökkenéséből következik és kevésbé a színezet vagy a telítettségi tényezők változása miatt [97]. Ha biológiai szempontból vizsgáljuk a színváltozásokat, akkor legfontosabb befolyásoló tényezőt a baktériumok, gombák élősködése jelenti a faanyagban. Így a faanyagokon kialakulhat álgesztesedés, penészesedés, kékülés, fülledés vagy korhadás, amelyek mindegyike módosítja a faanyag színét is (lásd: 17. ábra).



17. ábra: Fahibák típusa (fekete göcs, lap- és bütürepedés, bélholt) (Forrás: saját ábrák)

3.3.2. Képeken végzett vizsgálatok

A faipari tudományterületen a faanyagok színmérését többféle módszerrel is végzik. Ezek lehetnek *tristimulusos* színmérések, amikor 4 optikai szűrő segítségével négy meghatározott hullámsávban megméri a színínger összetevőket, azonban ezt a mai számítógépes mérések idejében már kevesen használják [98]. Létezik továbbá *spektrofotometriás* színmérés is, amely a minta reflexiós színeképét méri meg, majd a színeképből integrálszámítások segítségével meghatározzák a színínger összetevőket [99]. Az általam létrehozott rendszerben a számítógépes látást támogató osztálykönyvtárral dolgoztam. Ebben a bútortiparban alkalmazott rendszerben, nem az a legfontosabb, hogy a faanyag színösszetevőit megvizsgáljam részletesen, hanem az, hogy rendszerben végzett vizsgálatok eredményei konzekvensenek legyenek. Tehát ha egy adott faanyagot megvizsgállok bármennyiszer egymás

után, akkor mindig ugyanazt a színértéket kapjam eredményül. Ekkor egy jól beállított (maximálisan zárt rendszerben közel állandó megvilágítás mellett) rendszer ugyanazokat az eredményeket képes megállapítani a faanyagokról. Ekkor pedig már csak a határok kifinomult beállítása van hátra, hogy mit is tekintek majd például sötétnek, megfelelőnek vagy éppen túl világosnak.

A számítógépes látás alkalmazásának egyik legfontosabb motivációja volt, hogy az emberi szem nagyon jól és érzékenyen képes reagálni a homogén felületek akár kismértékű színekülönbségeire is, de a faanyagok színe meglehetősen heterogén: szabálytalan rajzolatok, évgyűrűk, fahibák lehetnek a felületen, amelyek módosítják egy-egy deszka átlagos színét, de például az sem mindegy színítélet szempontból, hogy milyen irányban történt meg a faanyag felvágása. Az általam vizsgált vállalatnál a faanyagok színének emberek által végzett minőségellenőrzését fel kellett, hogy váltsa a számítógépes látás által implementált rendszer.

3.3.2.1 *OpenCV leírás*

Megvizsgáltam számos alkalmazást, amelyeket képesnek tartottam arra, hogy az korábbi alfejezetben említett integrált rendszer magját képező megoldást kiválthassa. Ezek közé tartozott Image Transformation, Tracker, Image-J, ProAnalyst mozgás analízáló szoftver, LabVIEW vagy például a Cognox Solutions. Viszont ezen alkalmazások többsége mintegy fekete dobozként működik és nehézkes a belső hozzáférésük, ezért olyan nyílt forráskódú megoldást kerestem, amely, ha felhasználóbarátságban nem is, de az alkalmazható algoritmusok tárát tekintve képes felvenni a versenyt ezekkel. Nem utolsó sorban az ipari képfeldolgozás a vállalatoknál rendkívül költséges is tud lenni, ezért én az egyik elsődleges szempontként a költséghatékonyságot tekintettem. Emiatt esett a választásom az OpenCV nyílt forráskódú osztálykönyvtárstruktúrára.

Az OpenCV (Open Source Computer Vision Library) egy nyílt forráskódú, programozási függvényeket tartalmazó könyvtár, amely több mint 2500 optimalizált algoritmust tartalmaz, főként valós idejű képelérés, képfeldolgozás céljára. Hivatalosan 1999-ben indult, eredetileg egy Intel fejlesztés volt, hogy hatékonyabbá tegyék a nagy CPU igényű alkalmazásokat. Az első stabil verzió 2006-ban jelent meg [100].

Kezdetben C++ nyelven íródott, de C, Python, Java és MATLAB nyelven is fejleszthető és támogatja a Windows-t, a Linux-ot, az Android-ot és a Mac OS platformokat is. Moduláris felépítésének köszönhetően a következő főbb dolgokra képes: (1) kezeli az alap adatstruktúrákat és alapvető funkciókat, (2) képfeldolgozási funkciókat tartalmaz, (3) kép és videó olvasási és írási funkciókat tartalmaz, (4) kamera kalibrálási, geometriai becslési funkciókat tartalmaz, (5) mozdulat becslési, nyomkövetési funkciókat és osztályokat tartalmaz, (6) objektum detektálási funkciókat is tartalmaz, de az említetteken kívül még sok más kényelmi funkcióval is rendelkezik. Továbbá a könyvtár biztosít más segédprogram

modulokat is, amelyek gépi tanulás funkciókat, számítási geometriai algoritmusokat, hozzájáruló kódot, elavult kód szűrést és GPU gyorsított kódot tartalmaznak.

3.3.2.2 A konkrét elemzési folyamat bemutatása

A képelemzésekhez az OpenCV osztálykönyvtárat használtam fel és emellé implementáltam egy olyan kezelői felületet, amely segítségével valós időben paraméterezhetők a képelemzési algoritmusok.

A fő folyamat részeként detektáltam a számomra fontos téglalapot (deszkát), majd különböző információkat kaptam meg a téglalapról, mint például a színéről és a fahibákról. A fő folyamat a következő alfolyamatokból áll össze:

- 1) **Előkészítés és előfeldolgozás:** kép megjelenítése, algoritmusok bemenetének paraméterezése, valós időbeli paramétermódosításhoz egy úgynevezett trackbar-t vagy más néven csúszkákat helyeztem el a programban. Minden egyes csúszkán szereplő érték valamelyik elemzési algoritmusnak ad bemenetet. A csúszkán meghatározhatók előre a minimális és maximális értékek, továbbá, ha valamelyik csúszkán változtatok az értéken, akkor egy újbóli algoritmus kiértékelés történik meg az alkalmazáson belül.
- 2) **Képmánipuláció:** például: zajok kiszűrése és eltávolítása. Ezt filterekkel, vagyis szűrőkkel lehet megoldani.
- 3) **Csatornák módosítása:** a fekete-fehér kép 1 csatornából, a színes kép 3 csatornából áll össze. Ez azt jelenti, hogy 1 pixelhez 3 érték tartozik (RGB – Red, Green, Blue), mindegyik érték 8 bites, 0-tól 255-ig terjed. Mivel színes képekkel szeretnék foglalkozni, ezért 3 csatornán kell elvégezni a további teendőket. Mindhárom csatornát fekete-fehérré kell változtatni a hatékonyabb kontúr keresés érdekében. Az erre alkalmas függvény megkapja paraméterként a módosítandó képet és a csatornákat külön-külön fekete-fehérré változtatja, majd elmenti egy objektumba.
- 4) **Küszöbértékek (threshold) beállítása és keresés:** ezáltal tudom különválasztani azokat a régiókat, amelyeket elemezni szeretnék és kiszűröm azokat, amelyekre nincsen szükség. A Canny algoritmus éleket és peremeket keres a megadott paraméterek mellett és egy olyan képet eredményez, amelyeken az élek ki vannak már hangsúlyozva [101]. A helyes paraméterek beállításához különböző ökölszabályokat érdemes alkalmazni, mint például azt, hogy a minimum háromszorosa legyen a maximum értékem. Futtattam még továbbá ebben a részben egy éltágító algoritmust, amely az élek közti lyukak eltávolítására szolgál.
- 5) **Kontúrok detektálása:** a kontúr egy görbe, ami az olyan folytonos pontokat kapcsolja össze a határok mentén, amelyeknek ugyanaz a színük vagy az intenzitásuk. A korábbi elemzési pontok ennek az alfolyamatnak a sikeres lefutásához járulnak hozzá. Az algoritmus által detektált kontúrokat pontok vektoraként tárolja el az alkalmazás. A

tényleges kontúr megtalálásához olyan beállításokat használtam, amelyek tömörítik a vízszintes, függőleges és átlós szegmenseket, valamint ezeknek csak a végpontjait hagyja meg. Így egy téglalap kontúrja négy végpontból fog állni.

- 6) **Kontúrok tesztelése:** A detektált kontúrokat ellenőrizni kell, hogy csak a számomra szükségeseket mentse le végeredményként az alkalmazás. Amire szükségem van, az jelen esetben csak a téglalap kontúr, tehát azt kell megvizsgálni, hogy 4 csúccsal rendelkezzen és konvex legyen. Emellett szükséges feltétel az is, hogy aránylag nagy területet képezzen le a négy csúcs, hogy az egymáshoz túl közeli csúcsokat, zajos kontúrokat kiszűrje, továbbá, hogy kisebb legyen a téglalap, mint maga a kép 95%-a, ezzel kiszűröm, hogy magát a képkeretet is detektáljam. Annak érdekében, hogy elkerüljem ugyanannak a téglalapnak a többszöri megtalálását figyelmen kívül kell hagyni az olyan négyszögeket, amiknek több mint két pontja közel azonos (néhány pixel távolságú) egy előzőleg detektált négyszög pontjaival.
- 7) **Téglalapok kirajzolása:** ahhoz, hogy a csúszkák (trackbars) értékeinek változtatása és az eredmény látható legyen, ki is kell rajzolni ezeket a téglalapokat.
- 8) **Átlagos szín, foltok (fahibák) megtalálása:** a téglalap detektálása után következik a téglalap átlagos színének megállapítása, majd a fahibák detektálása a téglalapon, ami paraméterezéssel történik meg. Információt adok továbbá arról, hogy a fahiba nélkül milyen lenne a deszka átlagos színe. Ezáltal egy újabb küszöbérték beállításával megadhatok elfogadható és nem elfogadható fahibákat is.

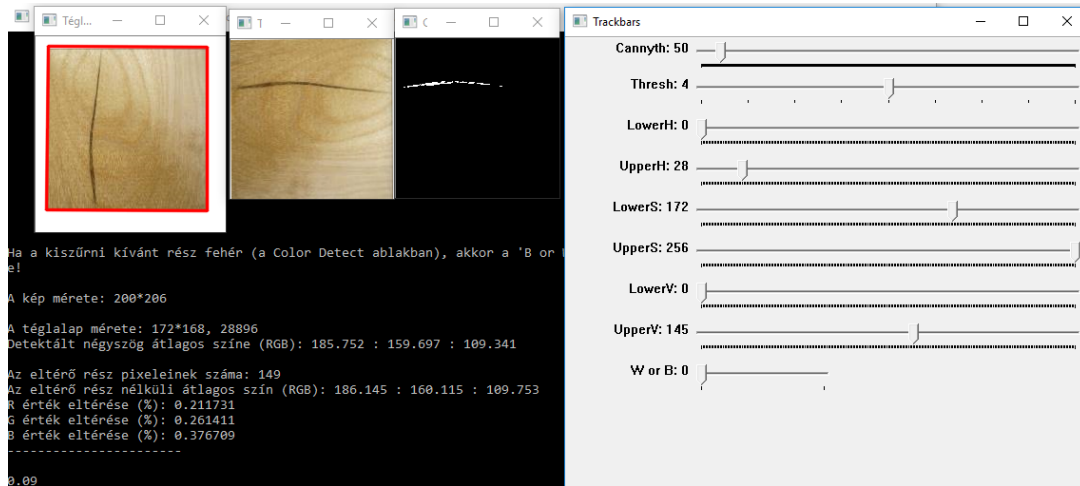
A trackbar csúszkáin a következő paraméterek állíthatók be valós időben:

- **Canny és Threshold paramétereket:** az iménti felsorolás 4) pontjában fejtettem ki részletesebben.
- **Lower és Upper HSV értékek:** színválasztáshoz az RGB¹⁹ színrendszert nem könnyű használni, mert színtengelyek nem kapcsolódnak a mindennapi tapasztalat színhasználatával. Ezen segít a HSV színrendszer, amely a színeket a színárnyalathoz (H – Hue, a szín azon jellege, amit a köznyelvi használatban sárga, kék, piros stb. színnek nevezünk), telítettséghez (S – Saturation, amely a szín élénkségét jellemzi) és a világosságához (V – Value, amely a szín világosságát jellemzi) kapcsolja [102]. A Value elnevezést, amely egyébként a Munsell-féle színrendszer használt először, helyettesítheti a Brightness, ekkor a színmodell elnevezése HSB [103].
- **W or B:** megadható, hogy a kiszűrni kívánt rész milyen színű a fekete-fehér képünkön, ahol a detektált foltok láthatók. Ha a foltok fehéren jelennek meg (ahogy a további képeken), akkor ezt az értéket nullára kell állítani, ha feketén akkor pedig egyre. Ezt az értéket vizsgálva menthető le a pixelek egy területként egy tárolóba, így megkapom az összes olyan pixelt, amely nem tartozik a kiszűrni kívánt részhez.

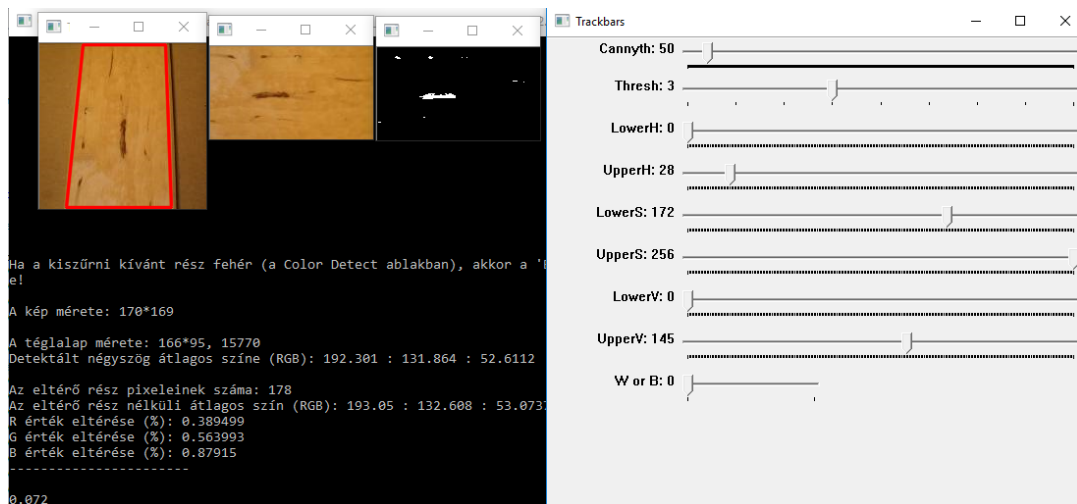
¹⁹ Red, Green, Blue, magyarul a vörös, zöld, kék színekből adódó mozaikszó.

3.3.2.3 Faanyagokon végzett képelemzési eredmények

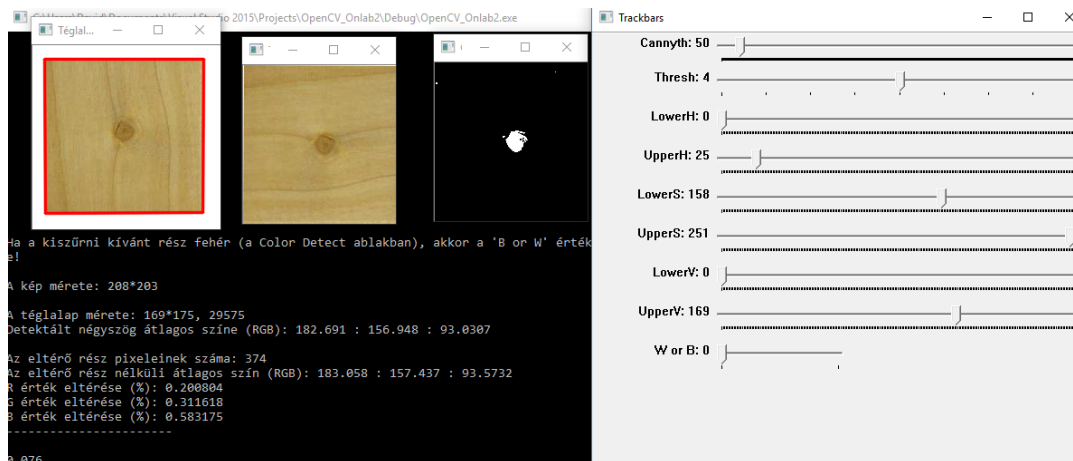
Ebben az alfejezetben konkrét felvételeken illusztrálom a fejlesztés működését. Olyan képeket választottam, amelyek valamilyen fahibát tartalmaznak, így téve érthetőbbé az ábrákon látható eredményeket (lásd: 18. ábra, 19. ábra, 20. ábra, 21. ábra, 22. ábra).



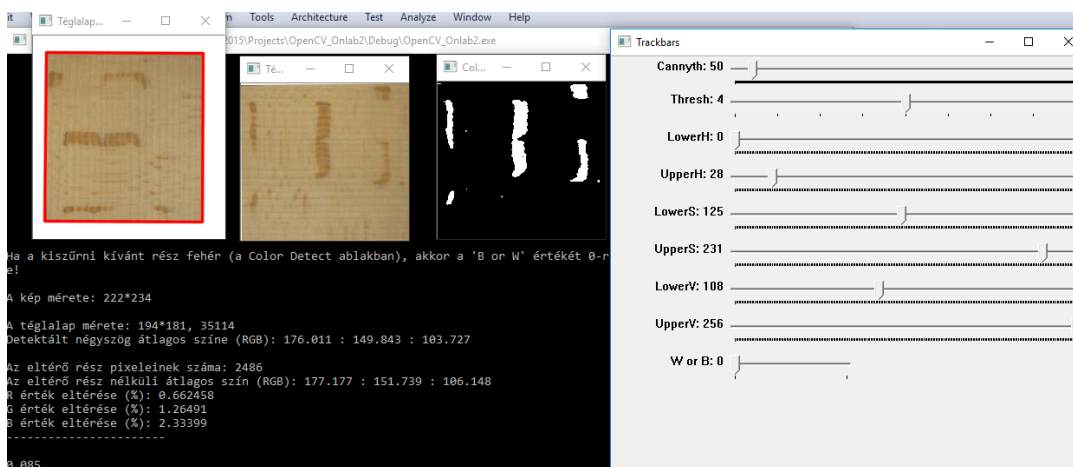
18. ábra: Első vizsgálat eredményei (fahiba: bélfolt) (Forrás: saját ábra)



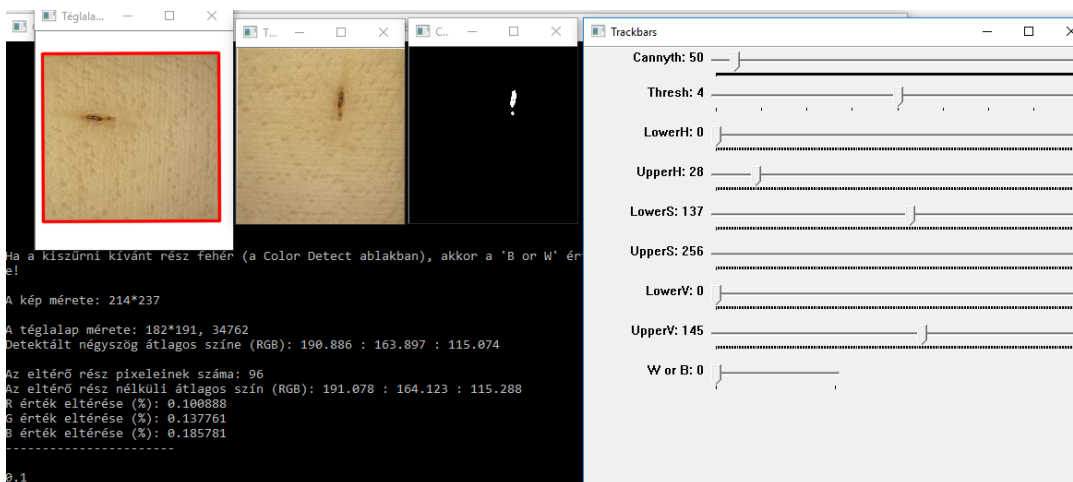
19. ábra: Második vizsgálat eredményei (fahiba: bélfolt) (Forrás: saját ábra)



20. ábra: Harmadik vizsgálat eredményei (fahiba: egészséges tűgöcs) (Forrás: saját ábra)



21. ábra: Negyedik vizsgálat eredményei (fahiba: fekvő tükrösség) (Forrás: saját ábra)



22. ábra: Ötödik vizsgálat eredményei (fahiba: fekete göcs) (Forrás: saját ábra)

Bizonyos képeknél ugyanaz a beállítás (H: 0-25, S: 172-256, V: 0-145) is megfelelő eredményt hozhat, például sötétebb göcsök, foltok esetén, viszont a tükrösségnél már szükséges volt változtatni az értékeken. Ez nagyrészt a faanyagon látható hiba színétől és a deszka hibátlan részének színétől függ, tehát ugyanolyan színű deszkák és hasonló színű hibák esetén

megfelelő lehet ugyanaz a beállítás is. Néhány beállítási paraméter, például az *UpperH* egy bizonyos érték után nem változtat az eredményen.

Összefoglalásként elmondható a kapott eredményekről, hogy ahol a fahiba mérete nem túl nagy, ott a színbeli eltérés nem lesz túl eltérő. Viszont ez nem jelenti azt, hogy lényegtelen eltérésről lenne szó, hiszen egy egységes színű lapot készítő gyárnál már ekkora eltérés miatt is hibásnak könyvelhetnek el egy faanyagot.

3.3.2.4 Valós idejű operációs rendszeren végzett eredmények

A fejlesztések során számos egyéb lehetőséget megvizsgáltam, hogyan lehetne hatékonyabbá tenni a vizsgálatok lefutását időben és teljesítményben egyaránt. Emiatt áttekintettem a valós idejű operációs rendszerek használatának lehetőségét. Ennek az a lényege, hogy a beérkező ingerekre egy megadott időn belül reagál a rendszer. Az adat feldolgozási ideje – beleértve az operációs rendszer késését is – csupán tizedmásodpercekben vagy rövidebb időkből mérik. Ilyen rendszereket használnak például automata gyártósorokon, ahol a futószalagon mozgatott termékeket vizsgálja egy rendszer.

Az egyik legfontosabb jellemzője, hogy állandó/konstans időt vesz igénybe, hogy a bejövő ingert érzékelje, feldolgozza, majd a megfelelő reakciót végrehajtsa. Használnak úgynevezett kemény („*hard*”) és lágy („*soft*”) operációs rendszereket, melyek a reakcióidőkből eltérőek, illetve prioritási listájukban is különböznek. A fő tervezési vonala, hogy nincs szükség magas hardverkövetelményekre, de mégis gyors legyen a rendszer. A lágy rendszer azt jelenti, hogy a kritikus folyamatok prioritással fussanak, míg a kemény rendszerek biztosítják, hogy a kritikus folyamatok időben lefussanak.

Több szempontból is különbséget lehet tenni a rendszerek között. Van, ahol csak egy átlagos válaszidőt követelnek meg, de van, ahol az összes határidőt be kell tartania. A folyamat válaszidő alatt a folyamatot indító jeltől a folyamat eredményéig tartó időt értik. A rendszer válaszideje pedig a beérkező inger időpontjától a szükséges folyamat elindításáig eltelt időt értik. A határidő pedig a feldolgozásnál fontos, mivel, ha a beérkezett inger időpontjától számított megadott időn belül nem készül el a folyamat, tehát kicsúszik az időintervallumból, az hibának számít. A kemény rendszereknél a határidő be nem tartása megengedhetetlen, míg a lágy rendszereknél egy bizonyos előre meghatározott mértékben és szintén előre meghatározott időközönként van lehetőség a megadott határidőtől eltérni.

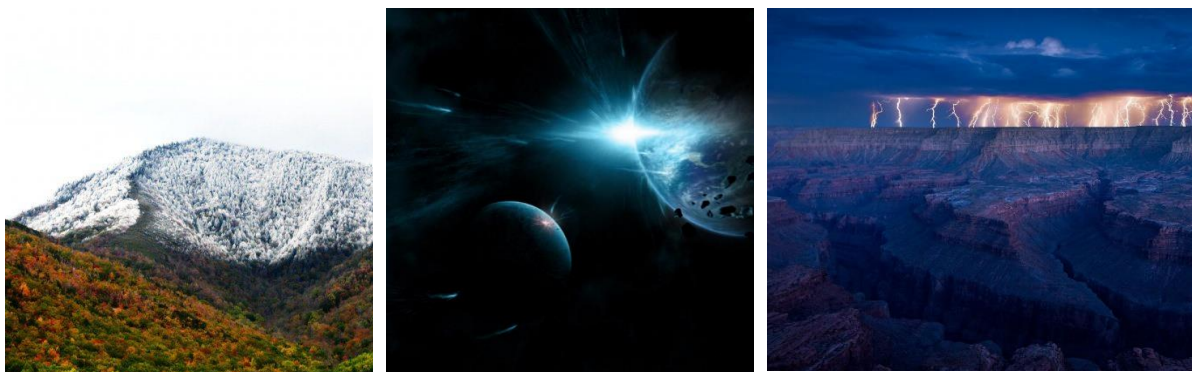
A rendszer *tervezése során* meg kell határozni a vele szemben támasztott követelményeket és ezeket szét kell osztani a hardveres és a szoftveres követelmények között, attól függően, hogy melyik megvalósítás a gyorsabb, egyszerűbb, jobb az adott rendszer szempontjából. Az ilyen valós idejű rendszereket több különböző nyelven is lehet programozni [104]. Lehetőség van, az Ada névre keresztelt nyelven, illetve lehetőség van például Real-Time C, Real-Time C++, Real-Time Java és egyéb speciális valós idejű programozási nyelvek alkalmazására is.

Az én kutatásom szempontjából azt vizsgáltam meg, hogy egy-egy ilyen valós idejű operációs rendszer mennyivel teljesít jobban egy „*hagyományos*” operációs rendszernél. Emiatt a korábban bemutatott képeken végzett vizsgálatokat ilyen rendszerekben is lefuttattam.

A tesztek egy asztali számítógépen futtattam le. Ebben a számítógépben egy ASUS P8H67-M LE alaplap, egy Intel i3-2120 kétmagos 3,3 GHz processzor és 4 GB memória található, továbbá egy Western Digital Blue 320 GB merevlemez, mely 5200-as fordulattal rendelkezik. A videokártya integrált.

Mind a három rendszer alapbeállításokkal fut, csak a rendszer számára szükséges programok vannak telepítve rajtuk, illetve azok a kiegészítő programok, melyeket a rendszer telepítéskor alapértelmezetten felkerültek. Az operációs rendszerek kiválasztása a teszteléshez természetesen nem csak véletlenszerűen történt. Igyekeztem minél több adatot keresni azzal kapcsolatban, hogy melyek a legnépszerűbb Windows és Linux operációs rendszerek manapság a felhasználók körében. A Windows 7 még mindig tartja az első helyét az operációs rendszerek versenyében így fontosnak tartottam, hogy ezt a rendszert válasszam egyik tesztalanyként. 2016-ban az Ubuntu Linux lett a legnépszerűbb, így a második választásom erre esett. A harmadik választásom egy valós idejű Linux disztribúcióra esett, ez volt az Arch Linux. A döntést az indokolja, hogy ez a disztribúció a leginkább testre szabható, így csak azok a programok vannak a rendszeren, melyek elengedhetetlenek a működést tekintve, vagy amire a felhasználónak szüksége van. A döntésemet a Linux mellett tovább indokolja, hogy amennyiben nem húzom meg a határt szigorúan a „*soft*” és „*hard*” valós idejű rendszer között, akkor egy ilyen megoldás tökéletes lehet a feladatra. Természetesen ez felhasználási terület függő, hiszen a repülőgépeken biztos, hogy egy „*hard*” rendszer található, míg egy gyár szortírozó részlegére elég lehet egy „*soft*” rendszer is.

A képelemző tesztek ugyanazzal a platformfüggetlen szoftverrel készítettem el három különböző képet felhasználva. Itt viszont arra szerettem volna törekedni, hogy a képek színösszetétele eltérő legyen, mert azért a faanyagok nagyjából hasonlóak és nem generáltak volna szignifikáns különbséget operációs rendszerenként, ennél a tesztnél viszont pont az volt a cél, hogy az operációs rendszereknél mérjem a lefutási időket és az erőforrás (memória, processzor) felhasználásokat. Ezért három eltérő képet (23. ábra) kezdtem el vizsgálni, amelyek felbontása: 1. 604x453, 2. 1024x768, 3. 1920x1200, tehát a pixelek száma a képen: 1. 273612, 2. 786432, 3. 2304000.



23. ábra: A három mintakép kicsinyített változata, amelyek színvizsgálatra kerültek a rendszerekben

Alább pedig bemutatom az összesítő táblázatot a színelemző program futási eredményeiről operációs rendszerenként (1. táblázat):

1. táblázat: Teljesítményértékek különböző platformokon a képelemzési tesztekénél (Forrás: saját táblázat)

	Windows 7			Ubuntu linux			arch Linux		
	Idő (s)	Memória (MB)	CPU (%)	Idő (s)	Memória (MB)	CPU (%)	Idő (s)	Memória (MB)	CPU (%)
1. kép	210,046	1,4	37	2,802	5,6	37	4,462	6	29
2. kép	570,119	1,4	38	7,928	5,6	37	12,760	6	27
3. kép	1750,151	1,4	35	22,853	5,6	37	36,537	6	31

Memóriánál állandó értékek figyelhetők meg. A program erőforrás kihasználtsága mindegyik futásnál azonos vagy közel azonos, csupán az időben különböznek. Ezalatt arra gondolok, hogy egy rövidebb futás esetén is ugyanannyi erőforrást használ, mint egy hosszabb esetén. Ahogy a táblázat is jól mutatja a Windows és a Linuxok között igen nagy eltérés van. Illetve ami érdekes, hogy a valós idejű rendszer rosszabb elemzési időket produkál a „sima” rendszerénél.

Majd elkezdtem kutatni, hogy miből adódhatnak az időkülönbségek. Elsőként fontos megjegyezni, hogy mindhárom platformon ugyanazt a programot, ugyanazokat a kódsorokat fordítottam és futtattam le. Tehát nem használtam olyan kódsorokat, amelyek esetleg a valós idejű kernelt használták volna a futásuk során, mert ha használtam volna, akkor úgy gondolom, hogy az összehasonlítás nem lett volna igazságos.

A Windows rendszerhez mindenképpen szükség volt DirectX támogatásra a grafikus megjelenítéshez, míg az Ubuntu-nál nem volt ilyen megkötés, és míg a Windows-nál mindenképpen kell használni grafikus felületet (ami csökkentheti az erőforrások elérhetőségét), addig az Ubuntu Linux-nál nincs ilyen megkötés, tehát csak egy sima konzolos felületről is futtatható az alkalmazásom. A két Linux között kisebb az eltérés idő és erőforrásfelhasználás szempontjából, ugyanakkor a különbséget a következő dolgok

eredményezhették: a valós idejű rendszerénél is volt lehetőségem grafikus felhasználói felületet használni, viszont ennél a rendszerénél nem a felhasználói kényelem lenne a prioritás, hanem hogy az ingerekre minél gyorsabb reakciót adjon.

Ha egy olyan rendszert szeretnék építeni, amelynek a válaszideje a legfontosabb, akkor mindenképpen valamilyen Linux disztribúciót érdemes használni. Ugyanakkor az is látható volt, hogy ha az alkalmazásom kódja nem használ valós idejű programozási lehetőségeket, akkor nem lesz hatékonyabb az egyik leginkább elterjedt Ubuntu verzióval. Emellett ehhez a problémának a megoldásához egy bizonyos szinten hardver specialistának is kell lenni, mert egy valós idejű rendszer erejét pont az adja, hogy a termelés megoszlik a hardveres és a szoftveres megvalósítás között. A különböző platformokon végrehajtott képelemzések után rátérek arra a megoldásra, amelynek a segítségével videókon tudtam elemezni a faanyagok színét.

3.3.3. Videón végzett vizsgálatok

Az alkalmazás működésének bemutatásához három darab mintát választottam ki a teljes halmazból. Ezekhez adottak voltak a deszkáról készült teljes képek, valamint a fizikai, zárt rendszerben vizsgált videók. A videók elemzésre azért van szükség, mert egy termelés során nincs idő arra, hogy a deszkákat egyesével lefényképezzék és emiatt megálljon a termelés, hanem a deszkákat, miközben viszi őket a szállítószalag, egy kamera segítségével vizsgáljam és elemezzem. Az alkalmazás megírása és tesztelése után a következő három vizsgálatot végeztem el:



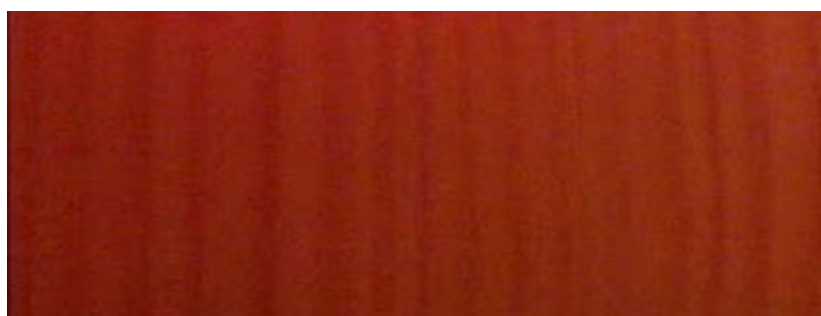
24. ábra: 1. deszka képe (Forrás: saját ábra)

Rövid leírás a deszka képéről: az első kép majdnem teljesen azonos színű, nem található rajta göcs, csak egy kisebb világos folt.

A kép (24. ábra) átlagos színe (RGB): [173.063, 145.794, 105.217]

Ehhez képest a videó elemzés által mért színvizsgálat a következő főáglatot adta:

Főátlag (kép): 141,36



25. ábra: 1. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)

A videón (25. ábra) detektált négyszögek átlagos színeinek átlaga (RGB): [141.241, 39.6227, 17.8065]

Főátlag (videó): 66,22 (46,84% a képes színméréshez képest)



26. ábra: 2. deszka képe (Forrás: saját ábra)

Rövid leírás a deszka képéről: a második képen csak egy göcs található, viszont a sötétebb árnyalatú csíkozottság miatt jóval sötétebb lesz az átlag szín is.

A kép (26. ábra) átlagos színe: [174.214, 143.518, 99.9789]

Főátlag (kép): 139,23



27. ábra: 2. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)

A videón (27. ábra) detektált négyszögek átlagos színeinek átlaga: [141.269, 32.644, 16.2331]

Főátlag (videó): 63,38 (45,52% a képes színméréshez képest)



28. ábra: 3. deszka képe (Forrás: saját ábra)

Rövid leírás a deszka képéről: a harmadik képen több göcs is található, amelyek befolyásolhatják a deszka színét, viszont jóval több a világos folt is, így végeredményben egy világosabb átlag színt kapunk.

A kép (28. ábra) átlagos színe (RGB): [178.346, 155.88, 116.248]

Főátlag (kép): 150,46



29. ábra: 3. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)

A videón (29. ábra) detektált négyzetek átlagos színeinek átlaga (RGB): [149.769, 40.8561, 19.6222]

Főátlag (videó): 70,08 (46,58% a képes színméréshez képest)

A vizsgálatok elvégzése után az az állításom, hogy a képes színvizsgálathoz képest a videó színvizsgálata arányaiban megegyezik. A fenti három példán keresztül illusztrálva ezeket az arányokat a következő összesítő táblázathoz jutok (2. táblázat):

2. táblázat: Összesítő táblázat a faanyagok képes és videós színelemzéséről (Forrás: saját táblázat)

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%

Az összesítő táblázatból látható, hogy a képekhez képest a videók színértékei átlagosan kb. 46%-os értéket mutatnak. Ez abból adódik, hogy amíg a képeket természetes, világos fényviszonyok között készítették, addig a videókat egy zárt rendszerben, sötétebb környezetben, kevesebb megvilágítással. Ezen felül ugyanakkor azt is megállapíthatom, hogy arányaiban nézve a kép1 : kép2 : kép3 színeredmény hármassal megfelel a videó1 : videó2 : videó3 színeredmények arányainak, szignifikánsan nem térnek el egymástól. Tehát megállapítható, hogy az alkalmazásom megfelelően működik a videó színének a vizsgálatára. Ezek után, ha a zárt környezet kalibrációját elvégeztem, akkor a faanyagok egymáshoz viszonyított színeredményére elmondható például, hogy egyik sötét, másik megfelelő vagy éppen világos.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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

3.4. A fejezet összegzése

A fejezet során bemutatásra került egy olyan integrált informatikai alkalmazás, amelynek segítségével a termelés egy részfolyamatát (a gyalulás minőségének vizsgálatát) képes vagyok nyomon követni és elemezni az utána következő folyamatirányt pedig vezérelni. Az elemzések eredményeit felhasználva rámutattam számos olyan ipari fejlesztésre, amelyek egyértelműen hatékonyabbá teszik ennek a termelési részfolyamatnak a menedzselését a bútoripari vállalatnál.

Mielőtt a további fejlesztéseket elvégeztem volna, megvizsgáltam, hogy a faanyagoknak milyen a természetes színe, milyen tényezők és hatások befolyásolják azt. A kiterjesztett rendszer magjának számító kamerás színelemző komponens elavultsága miatt egy új szoftverkomponens kidolgozását végeztem el. Ennek kapcsán először egy képelemzési szoftvert fejlesztettem le, amely a faanyagokat detektálja, azoknak a színét meghatározza, valamint a fahibákat is figyelembe veszi. A képelemzési szoftvert a válaszdíők fontossága miatt eltérő operációs rendszereken is teszteltem. Végül a már éles ipari környezetben is alkalmazható videóelemző szoftvert mutattam be és vizsgáltam a működését a képelemzéssel összevetve.

A fejezet során bemutatott legfontosabb tudományos eredményem:

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

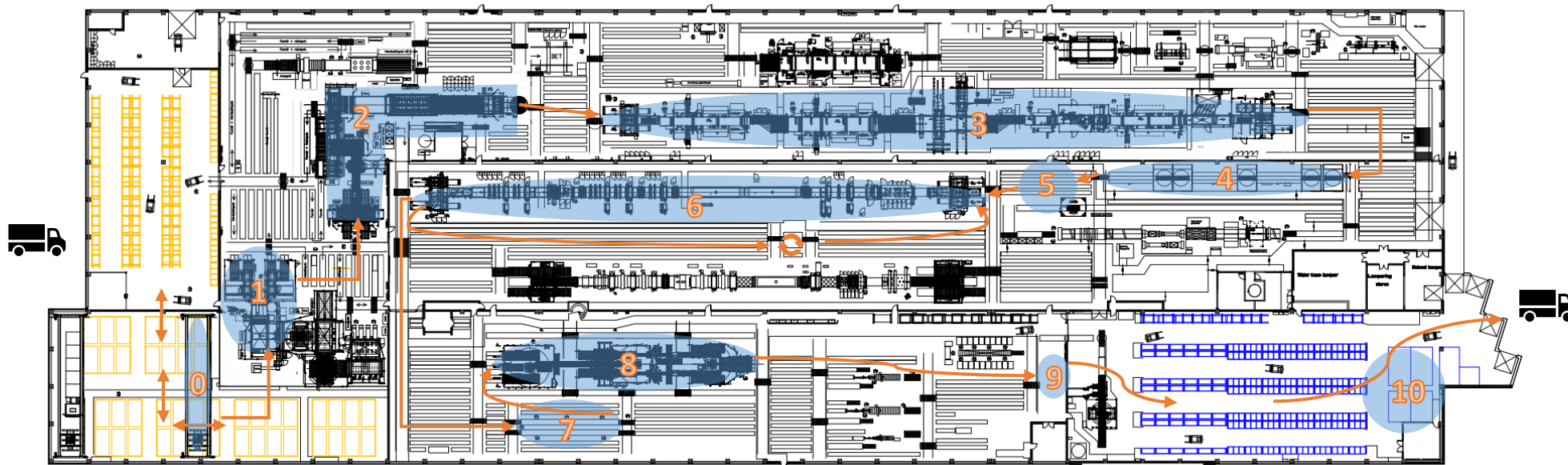
4. Energiagazdálkodási és termelési adatok integrálása

Az energiagazdálkodás és az Ipar 4.0 kapcsolatának fontosságát a 2.6 és a 2.7 alfejezetekben már kifejtettem és bemutattam az ehhez kapcsolódó tudományos publikációkat és a szakirodalmat [105]. Ebben a fejezetben a gyakorlati kutatási megoldásomra és az ehhez kapcsolódó eredményekre helyezem a hangsúlyt. Az itt végzett vizsgálatokat ugyanannál a multinacionális bútorigipari 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.

Elsőként az ipari és a fejlesztési környezetet mutatom be a vállalati folyamatokkal együtt, majd a keretrendszeremet, annak hatékonyságát részletesen is ismertetem. A keretrendszer segítségével könnyű hozzáférést biztosítok az elérhető adatokhoz, amelyek bár több helyről származnak, mégis konzisztensek, ellenőrzöttek. A keretrendszerrel szemben támasztott követelmények között szerepelt az igények, folyamatok és az adatok változásának kezelése. 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. A hordozhatóság szempontjából: mivel az általam megvalósított kiber-fizikai rendszer egy multinacionális cég magyarországi leányvállalatánál került implementálásra, ezért prioritás volt egy olyan keretrendszer kiépítése, amely akár az anyavállalat többi leányvállalatánál is sikerrel telepíthető és alkalmazható.

4.1. Ipari és fejlesztési környezet bemutatása

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 energiafelhasználása nagyjából konstans lehetne, viszont figyelembe kell venni, hogy kb. 1500 cikkszámú terméket gyártanak a cégnél, továbbá van olyan felső korlát is, amelyet napi átlagban mindenképpen be kell tartani és nem szabad túllépni, különben a cég „büntetést” fizet az energiaszolgáltató felé.



30. ábra: Az egyik üzem alaprajza a gyárban található gépekkel és egy mintafolyamattal, ahogy az alapanyagok elindulnak és a végén késztermék lesz belőlük

(Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona az alaprajz, a képen látható jelöléseket magam helyeztem el az ábrán)

4.1.1. Egy termék általános termelési folyamata gépekhez kötötten az üzemben

A gyártási folyamatot egy általános furnérozott termék gyártásán keresztül mutatom be. A részfolyamatok rövid leírása előtt azt is meghatározom, hogy melyik termelő gép végzi azt el. A folyamatot nyomon lehet követni a 30. ábra alapján. Az ábrán lévő folyamat bal oldalról indul, onnan, ahova a teherautóval beszállításra kerülnek az alapanyagok és lerakják őket és ott ér véget, ahol a bal oldalon a másik teherautó elviszi a készterméket a vállalat disztribúciós raktárába. Az ábrán lévő számozás az alábbi felsorolásban lévő pontokat követi. Az ellipszisek magukat a gépeket, gyártósorokat jelölik az ábrán, míg a nyilak segítik az eligazodást a termék útjában. Itt részletezem, hogy az egyes gépek milyen tevékenységet végeznek el a gyártás során:

0. **„Híddaru”**: felépíti és átemeli a rakatokat (batcheket), ez forgatja be a Holzma gépre a rakatokat.
1. **„Holzma 2” gép**: a lapszabász gépnél indul meg a termelési folyamat, nagyjából levágják a forgácslapot egy tömbbe, a termékeket összehangolva szabja a gép (tehát egy tömbből nem csak 1-1 terméktípust szab ki, hanem optimálisan olyan termékeket válogat össze, amelyekből a legjobb arányban jön ki az alapanyag), hogy minél kevesebb hulladék keletkezzen belőle.
 - a. Bizonyos esetekben egyből mehet utána tovább, de általában várni kell, mert ez nagyon gyorsan dolgozó gép (valamelyik termék megáll, de valamelyik tovább megy, termelésstervezéstől is függően).
2. **„Hőprés 2” gép**: ez ráragasztja a lapfurnért a forgácslap aljára és tetejére, de túllógással teszi meg mindezt.
 - a. Technológiai pihentető fázis következik utána (néhány óra vagy műszak telik el, amíg kihűl és megszárad a ragasztó a rakatban lévő cikkeknel).
3. **„Homag 2” gép**: ez a gép méretre vágást és élzárást végez: a terméknek a kész méretét csinálja meg a gép és négy oldalon körbezárja, továbbá az éleket csiszolja, valamint lekerekíti; a pánthelyeket és egyéb furatokat is elkészíti az ajtón.
 - a. Utána egyből mehet tovább a termék, a ragasztó már megszárad annyira a részfolyamat végén, annyira amennyire kell.
4. **„Szórósor 2” gép**: itt a rakatokban lévő termékek élszórását végzik kéziszórópisztollyal (felviszik a lakkréteget mind a négy élére több rétegben is akár). A szórósoron belül vannak szárítási fázisok a belső kabinokban, alagutakban, amikor a végén lejön a gépről a cikk, akkor készen is van az adott munkafolyamat.
5. *Kézi művelet, de szükséges*: közbenső sor, hivatalosan nem lenne szükséges, de a lakk összeragadása miatt kézi gumialapáccsal leütögetik egymásról a rakatban a lapokat. Ha ezt nem tennék meg, akkor a felemelő vákuumos gerenda (felületkezelő sor adagoló robotjában van benne ez) több lapot emelne meg, vagy egyáltalán nem tudná feladagolni. Erre a műveletsorra a balesetveszély, valamint a károkozás elkerülése

miatt is szükség van, és a vállalatnál egyelőre nem ismernek olyan megoldást, ami ennél a kézi műveletsornál hatékonyabb lenne úgy, hogy a cikkek is épségben maradjanak.

6. **„Uvsor 2” gépsor:** ez egy nagyon hosszú gépsor, ami felületkezelést végez: megtörténik a termék mindkét oldalának alapozása, csiszolása, lakkréteg felvitele, újra csiszolása, fedőréteg felvitele is. A gépen a szállítószalag 25-30 méter/perc sebességgel halad. Ha az egyik oldala kész az anyagnak, akkor utána vissza kell küldeni a gépsor elejére, út közben megforgatni (ezt is gép végzi), majd a másik oldalát is felületkezelni kell.
 - a. A villamosenergia felhasználása ennél a sornál a legkritikusabb, a sok UV lámpa miatt főleg, amelyeknek az átlagos teljesítménye 350-400 kW.
 - b. Utána nincs várakozás, mert a sor úgy van kitalálva, hogy már a soron a szárítóalagútnak és az UV lámpák hatására végbemenjen a száradás.
7. *Minősítő sor (emberi erőforrás végzi):* ahol a felületkezelt termékek végigmennek, és a dolgozók megnézik, hogy sérült-e a termék. Gyakorlatilag minőségellenőrzés történik ebben a fázisban.
8. **„Teamster 2”:** kézi vagy robot csomagoló, amely kartondobozba csomagolja a terméket.
9. *Szűrőpróbaszerű minőségellenőrzés (emberi erőforrás végzi):* ahol mindent megnézik adott darabonként (terméket, csomagolás címkéjét, minőségi paramétereket ellenőriznek, valamint színhúséget is), gyakorlatilag mintha egy vevő nézné át a kapott terméket, csomagot.
 - a. Ha ez megfelelő, akkor egyből megy a helyi raktárba.
10. **Rakatba fóliázó gép** (megjegyzés: nem érdekes a kódja)
 - a. Utána vagy a polcra kerül vissza, vagy egyből a kamionba, vasúti konténerbe rakodják be a becsomagolt termékeket és elszállítják a disztribúciós raktárba.

4.1.2. Az alaprendszerben mért adatok

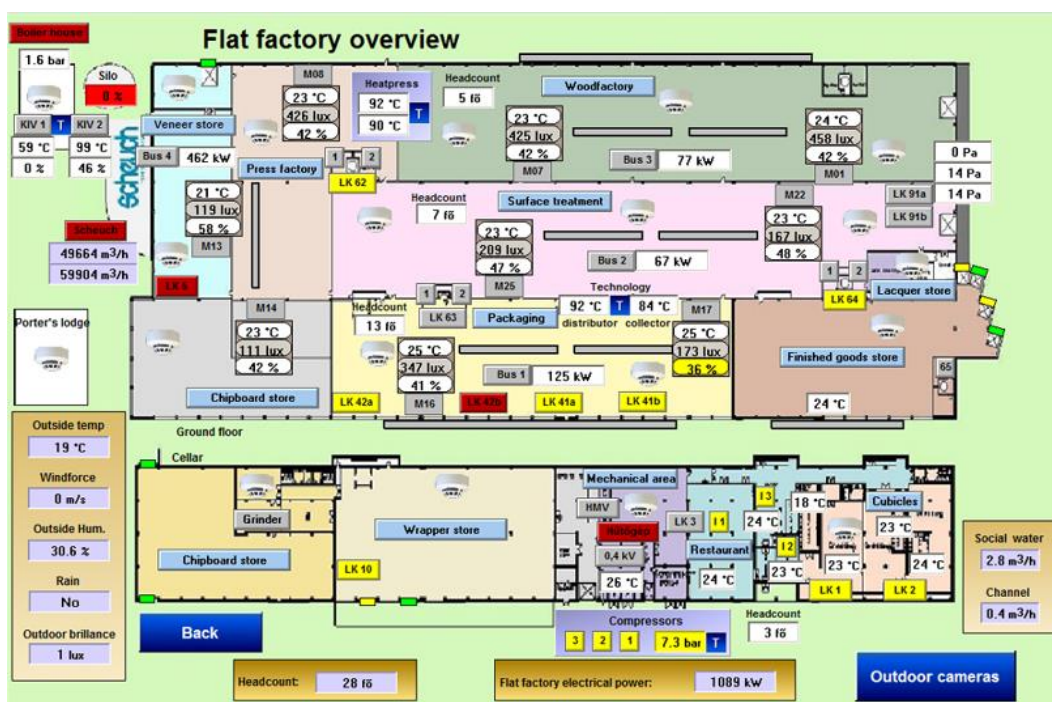
Ebben a szekcióban áttekintem, hogy a vállalatnál a vezetői döntéstámogatást milyen háttér adatok segítik [106]. A forrás adatok kétfelé oszthatók: termelési forrás, felügyeleti forrás.

4.1.2.1 Termeléshez kapcsolódó mért adatok

A folyamat és a gépek szempontjából általában elmondható, hogy a gépek egy úgynevezett „operátor” (gépi számláló) segítségével mentik az adatokat a cég vállalatirányítási rendszerébe. Ezek az adatok eddig (2018. március 1-ig) üzemenként különböző adatbázisokba kerültek be, ugyanakkor jelenleg zajlik a vállalatirányítási rendszer frissítése (verzióváltása) és a jövőben az üzemekben lévő adatok összefésülésre kerülnek már az adatbetöltéskor.

4.1.2.2 Felügyelethez kapcsolódó mért adatok

Ezeket az adatokat a vizsgált vállalatnál telepített SCADA rendszer (lásd még a 2.7 alfejezetet) kezeli. Azonban ezeket az adatokat csak valós idejű felügyeletre használták a vállalat mérnökei (lásd 31. ábra), illetve a későbbi adatszolgáltatáshoz napi szintű, üzemeket átfogó összesített adatokkal rendelkeztek a fogyasztási (például: energia, hő, víz) értékekről (lásd 32. ábra). Különböző technikák segítségével az üzemek részterületeinél az összegzett adatokból kivonják a rezi jellegű költségeket és úgy kapják meg a konkrét termelő gépek energiafogyasztását. Ez az aggregált, kalkulált adathalmaz azonban nem elegendő olyan döntések meghozatalához, amelyek ténylegesen szeretnék vizsgálni, hogy hol keletkeznek az üzemekben a veszteségek.



31. ábra: Pillanatkép a SCADA rendszer működéséről (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)



32. ábra: Összegzett energiafelhasználás az üzemekben (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)

4.2. Keretrendszer részletes bemutatása

A fejezet során eddig ismertetett rendszer volt az, amely kiindulási alapként szolgált egy hatékonyabb keretrendszer kialakításához.

Az egységes keretrendszerem alkalmas a következőkre:

- Szenzoradatok folyamatos gyűjtésére, tárolására az általam kialakított adatbázisszerkezetben;
- Adatok feldolgozására, jelentések készítésére.

A létrehozott megoldás lehetőséget nyújt a következőkre:

- A feldolgozott adatokra alapozott riasztási funkciók alkalmazására;
- A mintarendszerbe bevonható gépek, szenzorok számának akár jelentős növelésére is;
- A meglévő és további gépekből kinyerhető adatok összekapcsolására;
- Termékekhez, műszakokhoz, személyekhez kapcsolódó adatok bekapcsolására;
- Mélyebb (géphasználati, energiafelhasználási, energiaracionalizálási) elemzésekre;
- Előrejelzésekre, normakontrollra, termelésprogramozásra.

A cél tehát az volt, hogy a termelési folyamat energiagazdálkodását IoT megoldásokra alapozottan támogassam, ehhez egy bővített kiber-fizikai rendszert alakítottam ki a vállalatnál [107].

4.2.1. A rendszer adatforrásaiként szolgáló berendezések

A vállalat vezetőivel egyeztetve további célként tűztük ki, hogy az energiagazdálkodási mintarendszer kialakítása során nagyjából 10 termelő gépet és emellett számos berendezést vonunk be ennek a keretrendszernek a működésébe.

4.2.1.1 Gépek

Az itt összegzett termelő gépek és gépsorok jelentik azokat, amelyek bekerültek a mintarendszer forrásai közé. Volt úgy, hogy valamelyik gép kikerült és egy új került be helyette a rendszerbe, de a rendszer magja, ami kb. 8-9 gépet jelent, az adott volt. De az a cél, hogy ezeknek a gépeknek a halmaza folyamatosan bővüljön szintén megmaradt (3. táblázat).

3. táblázat: Összefoglaló táblázat a mintarendszer gépeiről, gépsorairól (Forrás: saját táblázat)

SCADA rendszer adatpontjai						
No	Üzem	Gép	Gépkód	Megmunkálási fázis	Pillanatnyi teljesítményfelvétele (kW érték) ²⁰	Óraállást jelző változó (kWh érték) ²¹
1	Lap	Hóprés 2	8300-1	prézelés	UJHOPRESL_SP	UJHOPRESL_EC
2	Lap	Hóprés 1	8200-1	prézelés	REHopresl_SP	REHopresl_EC
3	Lap	Uvsor 1	9000-1	felületkezelés	REUVL_SP	REUVL_EC
4	Lap	Uvsor 2	9100-1	felületkezelés	UJUVL_SP	UJUVL_EC
5	Lap	Easy	8970-1	felületkezelés	L_PM_EASY_SP	L_PM_EASY_EC
6	Lap	Teamster 2	9250-1	csomagolás	CSOM2L_SP	CSOM2L_EC
7	Keret	Powermat 2	1170-1	gyalulás	POWT2_SP	POWT2_EC
8	Keret	Uvsor 3	4120-1	felületkezelés	UVT_SP	UVT_EC
9	Keret	Venjakob 1B	4420-1	felületkezelés	VENJAKOB1B_SP	VENJAKOB2B_EC
10	Lap	Homag 2	8700-1	élzárás	UJHOML_SP	UJHOML_EC
11	Keret	Powermat 1	1150-1	gyalulás	POWT1_SP	POWT1_EC
12	Lap	Szórósor 2	8900-1	élszórás	SZORO2_SP	SZORO_EC

Általánosan elmondható, hogy minden egyes gépet el kellett látni egy mérőműszerrel és rá kellett kapcsolni az üzemekben már elérhető hálózatokra azért, hogy az adatkinyerés működjön (erről bővebben a 4.2.2 alfejezetben lesz szó).

A kiválasztott gépek táblázata tartalmazza azt, hogy melyik üzemben találhatóak, mi a nevük, mi az azonosítójuk, milyen tevékenységet végeznek és milyen paramétert definiáltam hozzá a felügyeleti rendszerben (erről bővebben a 4.2.3 alfejezetben lesz szó).

²⁰ A gépnek a pillanatnyi teljesítmény felvételét mutató változó. A változók elnevezése később változhat az újonnan bevezetett konvenciók miatt.

²¹ Óraállást jelző géphez tartozó változó. Folyamatosan növekvő érték. A változók elnevezése később változhat az újonnan bevezetett konvenciók miatt.

Az alfejezet további részében nem szeretnék minden egyes gépet külön-külön bemutatni, de van a gépeknek néhány speciális esete, amelyek jelzik a probléma bonyolultságát és nehézségét.

Speciális gép I.: Hóprés 1 és Homag 2

A Homag 2-es gyártósor kb. 120 m hosszú és 1000-1500 egyedi alkatrész legyártására képes egy műszakban, viszont a keretrendszer szempontjából fontosabb megemlíteni, hogy ezeknél a gépeknél telepítésre került a termelési adatok mellett az energiafelhasználást mérő okos műszer is, de maga a hálózat még nincs meg a gépekhez, így ezektől nem érkezik ilyen adat az adatbázisba.

Speciális gép II.: Szórósor 2

Ennek a gépnek a helyzete ellentétes az előbb említettekével. Itt az energiafelhasználási adatokat méri a rendszer, ugyanakkor nem társulnak hozzá termelési adatok. Így az összes energiafelhasználási adat, amely erről a gépről érkezik, a termelés vizsgálatának szempontjából, haszontalannak tekinthető.

Speciális gép III.: UVSor 2

Ez a gyártósor olyan hosszú, hogy több ponton (14 helyen) is csatlakozik áramfelvételi sínre. Emiatt a gyártósor tényleges áramfogyasztását csak különböző mellékkalkulációk segítségével lehet megbecsülni. Azonban a keretrendszer bevezetése után már sokkal pontosabb információk érhetőek el erről a termelési egységről is.

4.2.1.2 Egyéb termelést támogató berendezések

Az üzemben számos olyan berendezés érhető el, amelyek nem feltétlenül támogatják közvetlenül a termelési folyamatot, azonban, ha nem működnének, akkor a termelés is leállna nélkülük. Ezek közé a berendezések közé tartoznak például az elszívó berendezések, a ventilátorok, kompresszor stb. Ezek energiafelhasználását is mérik és eltárolom, mivel közvetetten hozzájárulnak az előállított termékek árához és eddig ezekről csak becsült információi voltak a menedzsereknek. Ami még fontos ebben a témakörben, hogy az egyes elosztó sínek, valamint a főmérő teljesítményét és fogyasztását is mérjük és ezek a mérések a többi berendezés mérésének *ellenőrzése* szempontjából lehet hasznos.

4.2.2. Az okos mérőműszerek és a hálózat

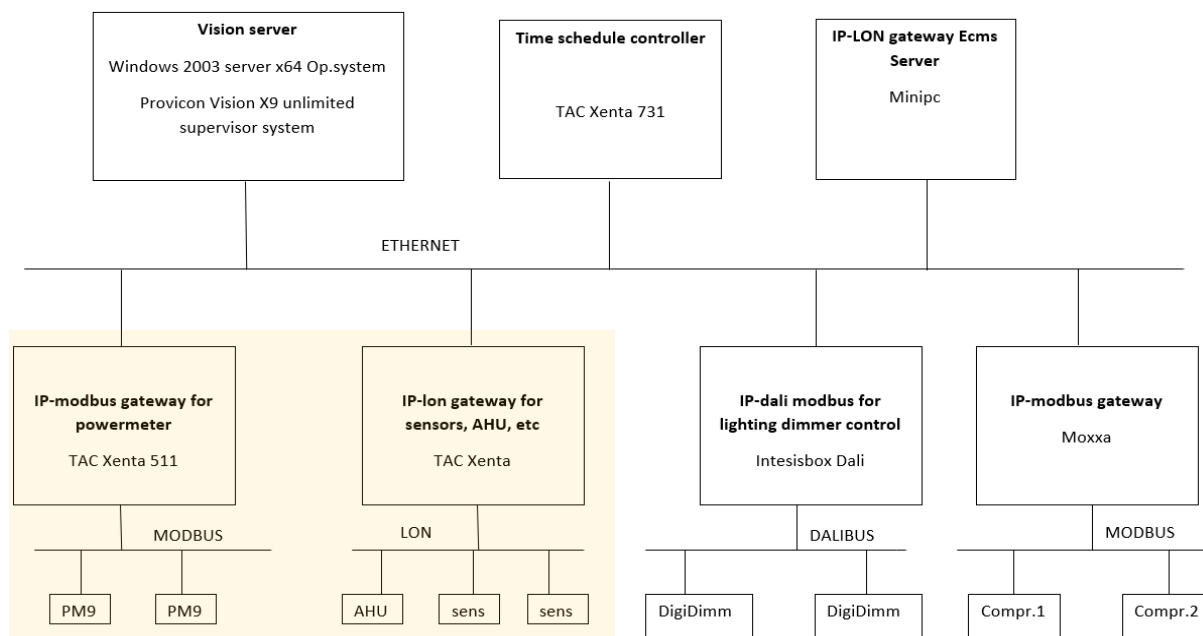
Egy termelő vállalatnál általában három műszakban dolgoznak, tehát hétköznapokon 0-24 óráig, emellett néha még hétvégén is. Tehát olyan mérőműszerekre van szükség, amelyeknek magas a rendelkezésre állása és a megbízhatósága, emiatt folyamatosan képesek az adatokat szolgáltatni (lásd: 33. ábra). A telepített mérőműszereknek a következő paramétereket kell mérniük, amelyek fontosak lehetnek: teljesítmény, feszültség, áramerősség stb. [108].



33. ábra: Mérőműszerek (balra: PM3250 és jobbra: PM9) (Forrás: saját fotók)

A legtöbb irányítástechnikai megoldásban használatos ipari készülék a Modbus protokollt használja RS-485 vagy Ethernet hálózaton keresztül. Ez nagyon egyszerű és könnyen kiépíthető hálózati kapcsolatot jelent soros kapcsolat esetén. Azonban létezik egy Ethernet feletti Modbus/TCP protokoll is. Ez került kialakításra a vizsgált vállalatnál is. A protokoll kapcsolat-orientált, tehát egy kérésre mindig választ vár a kérő, ez nagyon jól passzol a Modbus master/slave elgondolásához és működéséhez. Az ipari PLC-k és energiamérők rendelkeznek ezzel az RS-485 interfésszel. Amire még szükség volt a hálózat kialakításánál az a Modbus Gateway eszköz, amely a Modbus/TCP (Ethernet) és a Modbus/ASCII/RTU²² (soros kapcsolat) protokollok közötti átalakítással foglalkozik. A 34. ábra mutatja a gyárban kialakított sematikus hálózati topológiát, amely azóta a PM9-es mérőműszerek mellett a PM3250-esekkel is ki lett egészítve a pontosabb energiamérés miatt. Ezen az ábrán látszódnak a kialakított alhálózatok és a fő gerinchálózat a vállalatnál (kiemeltem a bal alsó sarokban azokat, amelyek most leginkább érdekesek a téma szempontjából). Ezen a fontos részen a „PM9”, az „AHU”, a „sens” a mérőműszerekre, a „MODBUS”, a „LON” a hálózati protokollokra utalnak. A nagyobb négyzetekben található technológiák pedig az említett protokollok és az „ETHERNET” hálózat közötti jelátalakítást végzik. Az ábra további részein láthatók még számítógép hálózatos alrendszerek, például felül az épületfelügyeleti („Vision”) rendszer hálózata vagy az idő szinkronizációt végző rendszer hálózata is.

²² A formátumok típusára utalnak ezek: ASCII üzenetek, vagy pedig RTU, azaz bináris kódolást használó üzenetek mennek a hálózaton.



34. ábra: Hálózati topológia (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)

4.2.3. Fejlesztések a felügyeleti rendszerben

A vállalat felügyeleti rendszerként a VISION folyamatmegjelenítő rendszert használja, amely gyors és grafikai látványosan ábrázolja az üzemek környezetét, emellett korlátlanul skálázható, nem csak új változók, képek, jelentések valós idejű bevitelét és módosítását teszi lehetővé, de új változótípusok és rendszerkomponensek fejlesztését is támogatja. Ez a rendszer arra törekszik, hogy a területek képeinek és paramétereinek összehangolása úgy történjen meg, ahogy a felhasználójának is egyértelmű.

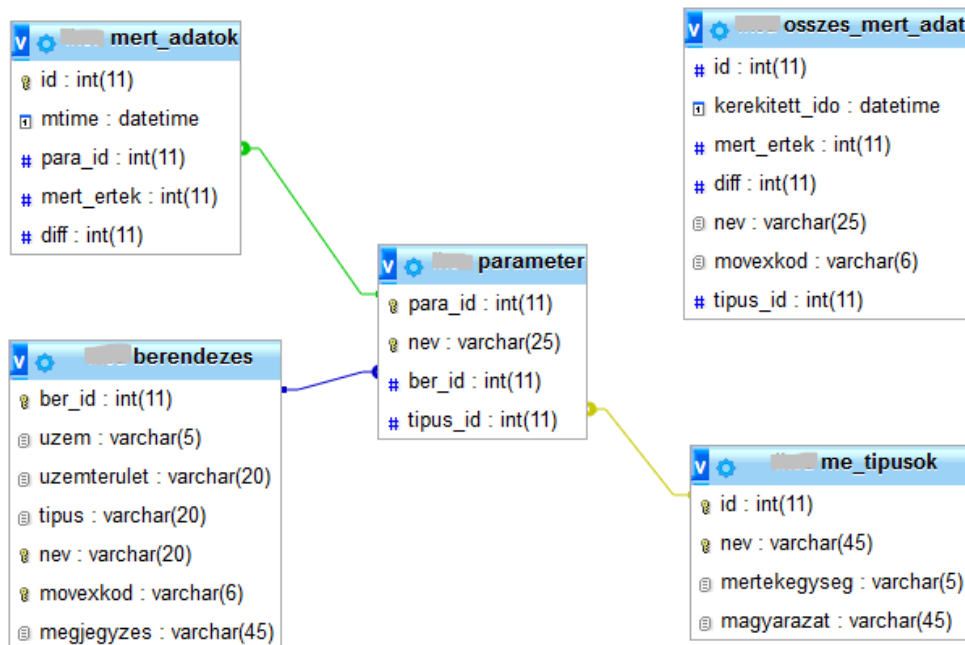
Így amikor elkezdődött a keretrendszer kialakítása szoftveres oldalról, akkor a rendszerbe bevásárolt gépek és berendezések (és az azok melletti mérőműszerek) adatainak fogadására beállítottam a paramétereket a felügyeleti alkalmazásban és oda helyeztem el őket az üzemek képén, ahová ténylegesen valók (egy mintaképet mutat a 31. ábra). A paraméterek alatt itt azokra a változókra gondolok, amelyeket mérni szeretnék: egy paraméter például a gyalugép energiafelvétele is.

Ezeket a paramétereket a felügyeleti rendszer valós időben képes ábrázolni. Azonban nekem arra volt szükségem, hogy a historikus adatokhoz hozzáférjek. Viszont hiába lehet például programozni is a felügyeleti rendszert, a saját belső adatbázisához nem engedett hozzáférést. Emiatt olyan ütemezett feladatot kellett implementálni a felügyeleti rendszerben, amely időközönként végez egy mentést a mérőműszer óraállásairól egy külső adatbázisba. A mentések közötti időközöt először 10 percben határoztam meg, mert ennyi idő alatt fogyasztanak a gépek el 1-2-néhány kWh-t, amely így jobban értelmezhető, mint ha kisebb időközöket néznék és sok 0 kerülne be az adatbázisunkba. Az inkrementális, vagyis

növekményes mentéseket egy MySQL adatbázisba végeztem el. Ez az adatbázis lett az energiafelhasználást követő adatok tárolóhelye.

4.2.4. Univerzális adatbázisszerkezet a felügyeleti adatok tárolására

Az adatbázis kialakításánál törekedtem arra, hogy az összes lehetséges üzemben mért adat eltárolásra kerülhessen az adatszerkezetemben [109]. Az adatokról általánosan elmondhatók, hogy azok valamilyen berendezéshez vagy magához az üzemterülethez adnak leírásokat különböző paramétereken keresztül.



35. ábra: Az energiafelhasználás adatainak adatbázis diagramja (Forrás: saját ábra)

A 35. ábra mutatja az energiafelhasználás éppen aktuális és historikus adatainak táblaszerkezetét, adatbázis diagramját.

Ahhoz, hogy az inkrementális mentések a felügyeleti rendszerből helyesen érkezzenek meg az adatbázisba, először fel kell paraméterezni az alaptáblákat. Alaptáblák közé sorolom az ábrán látható alsó három táblát. A „berendezes” táblában tárolom a berendezésekhez kapcsolódó legfontosabb adatokat: hogy mely üzem mely területén található, a nevét és a movexkódját. Az utóbbi az egyik legfontosabb, ugyanis majd ennek segítségével történik meg az energiafelhasználási és a termelési adatok összekapcsolása. A „me_tipusok” táblában tárolom a mért paraméterek típusainak részletesebb leírását, valamint azt a mértékegységet, amelybe az adott paramétert mérjük. A „parameter” táblában tárolom azokat a paramétereket, amelyeket a felügyeleti rendszerben beállítottam folyamatos mérésre. A paramétereknek van egy kódnevük (amely a szakértő számára beszédesebb lehet), valamint a kapcsolatai az adott berendezéshez és a mértékegységhez.

A továbbiakban a jobb megértés érdekében kiemelek néhány adatot a táblákból (36. ábra).

ber_id	uzem	uzemterulet	tipus	nev	movexkod
12	L	Felületkezelő	Gép	UVSOR2	9100-1
13	L	Felületkezelő	Gép	EASY	8970-1
14	L	Felületkezelő	Gép	SZOROSOR2	8900-1
15	L	Csomagoló	Gép	TEAMSTER2	9250-1
16	K	Előgyalulás	Gép	POWERMAT1	1150-1

id	nev	merkegyseg
1	hatásos villamosenergia fogyasztás	kWh
2	pillanatnyi összes hatásos teljesítmény	kW
3	meddő villamosenergia fogyasztás	kvarh
4	pillanatnyi összes meddő teljesítmény	kvar

para_id	nev	ber_id	tipus_id
22	PM_K_VENJAKOB2_EC	22	1
23	PM_K_VENJAKOB3_EC	23	1
24	PM_K_SZOROSOR3_EC	24	1
25	PM_L_HOLZMA1_PS	1	2
26	PM_L_HOLZMA2_PS	2	2
27	PM_L_HOPRES1_PS	3	2

36. ábra: Az alaptáblák (sorrendben: berendezes, me_tipusok, parameter) néhány mintasorral (Forrás: saját ábrák)

A három alaptábla megfelelő feltöltése után érkehetnek az adatok a felügyeleti rendszer segítségével. A „mert_adatok” táblában tárolom ezeket a mért adatokat (lásd: 37. ábra). Mellettük egy-egy időbélyeggel (dátum és idő) és még, hogy melyik paraméterhez tartozik a mért érték. Továbbá tartalmaz még a tábla egy „diff” oszlopot is, amely egy tárolt eljárás segítségével kiszámítja az adott beérkezett paraméter értékhez tartozó legutóbbi mért értékkel összevetett különbségét. Erre az energiafelhasználás szempontjából van leginkább szükség, mivel a mérőóraállások annyira nem lennének beszédesek számomra, hiszen csak egy folyamatosan növekvő értéket mutatnak, így viszont a 10 perc alatt felhasznált energiát mutatják a „diff” értékek. A táblába 10 percenként körülbelül 100 mért érték, tehát ugyanennyi adatsor kerül beszállásra. Ebbe a táblába ugyanakkor bármilyen számszerűsített mért adat bekerülhet, hiszen a leíró adatait majd úgymint a paramétere, mértékegysége és a berendezése határozza meg.

id	mtime	para_id	mert_ertek	diff
1	2017-05-09 12:50:35	3	427757	0
2	2017-05-09 13:00:35	3	427757	16
3	2017-05-09 13:10:35	3	427773	6
4	2017-05-09 13:20:35	3	427779	5
5	2017-05-09 13:30:35	3	427784	6

37. ábra: A „mert_adatok” tábla néhány mintasorral (Forrás: saját ábra)

A táblák tehát elkészültek strukturálisan, az alaptáblákat feltöltöttem alapadatokkal a „mert_adatok” táblába pedig folyamatosan érkeznek az adatok. Egy lépés volt hátra ahhoz, hogy az energiefelhasználási adatokat összekapcsolhassam a termelési adatokkal. Ehhez annyit kellett tenni, hogy egy nézetet generáljak a szükséges oszlopokkal, ez az „osszes_mert_adat” nevet kapta (lásd: 38. ábra). Ebben az időbélyeget kerekítem mindig az előtte lévő 10 percre. Így a kerekített idő és a movexkód (berendezés azonosító a vállalatirányítási rendszerben) alapján összekapcsolhatók lesznek majd az adatsorok, ezáltal kiadódik az energiefelhasználási és a termelési mennyiség az adott gépnél.

kerekített_ido	movexkod	diff	para_id
2017-12-22 18:10:00	1150-1	1	16
2017-12-22 18:20:00	1150-1	0	16
2017-12-22 18:30:00	1150-1	0	16
2017-12-22 18:40:00	1150-1	6	16
2017-12-22 18:50:00	1150-1	6	16
2017-12-22 19:00:00	1150-1	6	16
2017-12-22 19:10:00	1150-1	7	16

38. ábra: Az „osszes_mert_adat” nézet néhány mintasorral (Forrás: saját ábra)

4.2.4.1 Tipikus adathibák (befejezetlen adatok, zajok) kezelése

Amíg a keretrendszert terveztem és fejlesztettem előfordulhattak az adatok között olyan hibák, amelyeket a későbbiek során kezelni kellett. Ez tipikusan úgy nézett ki, hogy a rendszer éles bevezetése előtt volt egy fejlesztési és tesztidőszak (körülbelül 4 hónap). Ezen időszak alatt a 3.2.2 alfejezetben ismertetett befejezetlen és zajos adatok kerültek tisztításra.

A folyamatos adatbetöltések a különböző összegző függvények segítségével (például a null adatok számának összegzése) kerültek ellenőrzés alá. Ezek adódhattak a felügyeleti rendszer újraindításából vagy például egy adatgyűjtő mérőműszer meghibásodásából. A rendszer élesbe helyezése után ezek az adatminőséggel kapcsolatos problémák már nem jelentkeztek, vagy ha igen, akkor azok olyan kis adatsor hiányt jelentettek, amely – ha a rendszer egészét tekintem –, elenyészőnek tekinthető. A zajos adatok is bekerültek ekkor a rendszerbe, ezeket elsősorban a diagramos ábrázolással tudtam azonosítani. Ezek többnyire akkor fordultak elő,

amikor egy új mérőműszer került telepítésre, de az adatbázisban implementált eljárások segítségével ez a hiba is kiküszöbölésre került, így már szabadon bővíthető az adatgyűjtő rendszer, nem fordulhatnak elő ennek kapcsán zajos adatok a rendszerben.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

2.1. *tézis:* Univerzálisan használható adatbázis szerkezetet alakítottam ki, amelybe gyakorlatilag bármilyen szenzoros adatkészletről 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 fejlesztési feladatokra.

4.2.5. Vállalatirányítási forrásadatok

A vizsgált vállalat szakértőjével egyeztetve összegyűjtöttük azokat a termelési adatokat, amelyekről azt feltételeztük, hogy egy ilyen elemzési keretrendszerhez szükséges adatokat szolgáltatnak. Természetesen, ha felmerül egy olyan igény, amely egy új KPI definiálásához és kiértékeléséhez szükséges, akkor ezeknek az adatoknak a köre is bővíthető.

A termelési adatok vizsgálata során szintén készült egy felmérés, hogy mely adattáblákra lesz biztosan szükség, melyekre opcionálisan és hogy ezek milyen adatokat tartalmaznak. Ennek a felmérésnek egy részét most kiemelem ide:

- *Resource_statistics tábla:* Gépazonosító alapján műszakonként (periódusonként) gyűjt adatokat, mennyi ideig termeltek, milyen hatékonysággal.
- *Material tábla:* Minden törzsadat, amit a cikkekről tudni kell.
- *Jobr_opr tábla:* Termelési mennyiségi jelentések, a PLC-kből érkező adatok (szenzoros méréssel), esetleges későbbi korrekcióval az operátor személy részéről.
- *Npc_setup tábla:* Melyik termékszámot, melyik munkaközpontban tervezik legyártani, továbbá 1 perc alatt hány darabot kellene megcsinálni belőle, tehát gyakorlatilag ez a normákat tartalmazza.
- *Jobr_resource tábla:* Alapértelmezetten 40 másodpercenként jegyzi fel a termelő gépek állapotát (normal, reduced, stopped), emellett a leállás okát is itt kell jelezni, például tízórai szünet, beállítás, tesztelés stb.
- *Mat_unit tábla:* Kezeli az alternatív termelési mennyiségeket, amelyek nem darabszámok, például a Homag gépnél négyzetméter vagy folyóméter ez.

Ezek a termelési adatok a Microsoft SQL Server-ébe kerülnek eltárolásra és a Movex vállalatirányítási rendszerrel kezelhetők.

4.2.6. Forrásadatok összekapcsolása

Alapvetésként fogalmaztuk meg a vezetőkkel, hogy a termelési és az energiateljesítmény adatokat össze kell kötni azért, hogy sikeresen lehessen elemezni az üzemek működését ebből

a szempontból, majd ezután azonosítani a veszteségeket és megszüntetni őket. Ugyanakkor a keretrendszer arra is lehetőséget ad, hogy csak az energiafelhasználási adatokat elemezzem (a termelési adatokat a vállalatirányítási rendszerből kinyerve már korábban is elemezték).

Az adatsorok közötti kapcsolat alapja minden esetben az adatbázisokban tárolt gépkódok és kerekített idők szerinti összerendelés. A feladat nehézségét adta, hogy a vállalatirányítási adatok egy Microsoft SQL Server-ben, az energiafelhasználási adatokat pedig a már említett MySQL adatbáziskezelő rendszerben tárolják. További nehézséget jelentett, hogy mielőtt ezt a két adatsort összekapcsoltam volna, előbb a termelési oldalon a két különböző üzem adatait kellett összefűzni. Azonban amíg az energiafelhasználási oldalról 10 percenként érkezett 1 rekord az 1 mért gépi paraméterhez, addig a termelési oldalon akár több sor is keletkezhetett ugyanahhoz a géphez az adott időintervallum alatt. Emiatt először egy összegzést kellett végezni a termelési adatokban, majd a kerekített időre beállítani ezt a mennyiséget. Csak ezután következhetett az összerendelés a gépkód és a kerekített idő alapján. Ez azonban nem mindig volt elegendő, ugyanis előfordulhat, hogy az adott 10 percben történnek termékváltások (X, Y, Z termék) az adott gépen és ekkor minden esetben az adatsor összerendelné az adott 10 percben fogyasztott villamos energiát X, Y és Z termék legyártott darabszámaihoz is. Ez egyértelműen nem lenne helyes, emiatt az energiafogyasztást súlyoztam a három termék darabszámaival és mindegyikhez az adott részenergiafogyasztást rendeltem hozzá (39. ábra).

Termelési adatok		Közös adatok		Energiafelhasználási adatok	
Termék ID	Mennyiség	Movexkód	Kerekített idő	Mért adat	Paraméter ID
1	23	1150-1	2017.09.31. 10:00:00	3	1
2	56	1150-1	2017.09.31. 10:10:00	6	1
3	89	1150-1	2017.09.31. 10:20:00	5	1
...

39. ábra: Az adathalmazok összekapcsolása példaszorokkal (Forrás: saját ábra)

4.2.7. A keretrendszeren belüli berendezésbővítés általános folyamata

A keretrendszer hatékony alkalmazásának egyik alapvető követelménye az volt, hogy informatikai fejlesztés nélkül elérhető legyen a berendezésbővítés lehetősége. Ennek az általános folyamatát mutatom be ebben az alfejezetben:

- 1) Termelő géphez beállítani az okos mérőműszert.
- 2) Bekötni a hálózatba a mérőműszert.

- 3) Energiafelhasználási adatbázis alaptábláinak feltöltése (berendezés, paraméter, mértékegység típus) a berendezésnek megfelelően.
- 4) A mérőműszert felügyelő rendszerben paraméter definiálása az adatok inkrementális kimentéséhez.
Megjegyzés: az energiafelhasználási adatbázis nézete, valamint az üzleti intelligencia megjelenítő alkalmazása [110], vagyis annak a jelentései automatikusan generálják és felismerik az új berendezés mért adatait.
- 5) Ezután már ugyanúgy lekérdezhetőek és elemezhetőek az új berendezés adatai, mint az összes előtte definiálté.

Ebből is látható tehát, hogy az általam implementált és kialakított rendszer bővíthető informatikai szaktudás nélkül, így a vállalat termelési mérnökei is képesek hatékonyan használni ezt a keretrendszert [111].

4.2.8. Üzleti intelligencia megoldás az elemzéshez és megjelenítéshez

Ahogy azt korábban idéztem is Thomas Schulz-tól, a GE egyik menedzserétől, az ilyen hatékonyságfejlesztési projekteknél az idő és a pénz 80%-a az adatok összegyűjtésére megy el. A keretrendszerem kapcsán viszont elmondható, hogy eljutottam abba az állapotba, amikor az adatok folyamatosan gyűlnek és már rendelkezésre állnak a megfelelő helyen. Következhetett a rendszer finomhangolása, ezalatt az üzemeltetés alatt fellépő problémák elhárítását értem. Emellett párhuzamosan elkezdtem az elemzéseket megtervezni. Ehhez azonban szintén olyan eszközkészletet szabadott csak használnom, amely a vállalat számára elérhető volt, elsősorban a szoftver licencek miatt. A választás a Qlik cég QlikView szoftverére esett. A Gartner cég legutóbbi (2018. februári) jelentéséből (40. ábra) is látható, hogy ez az üzleti intelligencia eszköz rendkívül hatékonyan használható, valamint jónéhány erősséggel és előnnyel rendelkezik. A Qlik a vezető kvadránsban foglal helyet (jobb felső terület). Az ábra leírásában szereplő forrásmegjelölés számos tekintetben méri a termék szolgáltatók szoftvereit. Ez ugyanakkor csak egy összefoglaló ábra, amely a tanulmányban szereplő képességeket összegzi egy koordináta rendszerben. Az ábra vízszintes tengelyén a megjelenítés teljessége szerinti növekvő sorrendben láthatók a gyártók, míg a függőleges tengelyen a végrehajtási hatékonyság szerint láthatók a gyártók és közvetve azok termékei.



40. ábra: BI Magic Quadrant²³ (Forrás: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-3TXXSLV&ct=170221&st=sb>, Online forrás, utolsó megtekintés dátuma: 2018. 04. 25.)

Az elemzési lehetőségeken túl az eredmények megjelenítését is támogatja. Továbbá ez egy olyan üzleti intelligencia alkalmazás, amelynek segítségével profi lekérdezések generálhatók [112]. A lekérdezések eredményeként üzleti jelentések segítik a döntéshozók munkáját. Ez az alkalmazás is számos szolgáltatással, modullal rendelkezik, amelyek támogatják a különböző iparágakban működő cégeket, azonban a vizsgált vállalatom elsősorban a saját adatainak a jelentések formájában elérhető megjelenítésére használja ezt. Nagy előnye, hogy bármilyen vállalati rendszerrel összeköthető, így könnyedén képes csatlakozni a Movex ERP-hez, valamint a Microsoft SQL és a MySQL szerveréhez is. A QlikView továbbá képes arra, hogy összefogja és elemzi a vállalat részlegeinek eredményét különböző paraméterek szerint (például: termék, termékcsoport vagy akár gépcsoport szerint is). A megjelenített jelentések bármilyen eszközön megfelelően mutatnak a webes „responsive”²⁴ technikáknak köszönhetően. Emellett a csoportmunka támogatását is elvégzi a szoftver, így az egymástól távol lévő adatelemzők is képesek ugyanazokat a riportokat valós időben kezelni.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

2.2. tézis: Az energiagazdálkodási adatokat összekapcsoltam a vállalat termelési adataival (termékek, gyártott mennyiségek, műszakadatok, gépbeállítások). Az így kialakított rendszer

²³ Üzleti intelligencia mágikus koordináta rendszere, amely azt mutatja, hogy az egyes üzleti megoldások miben jók és miben kevésbé teljesítenek jól.

²⁴ Minden platformon (nagy monitor, tablet, mobil) egységes megjelenési felület angol megfelelője.

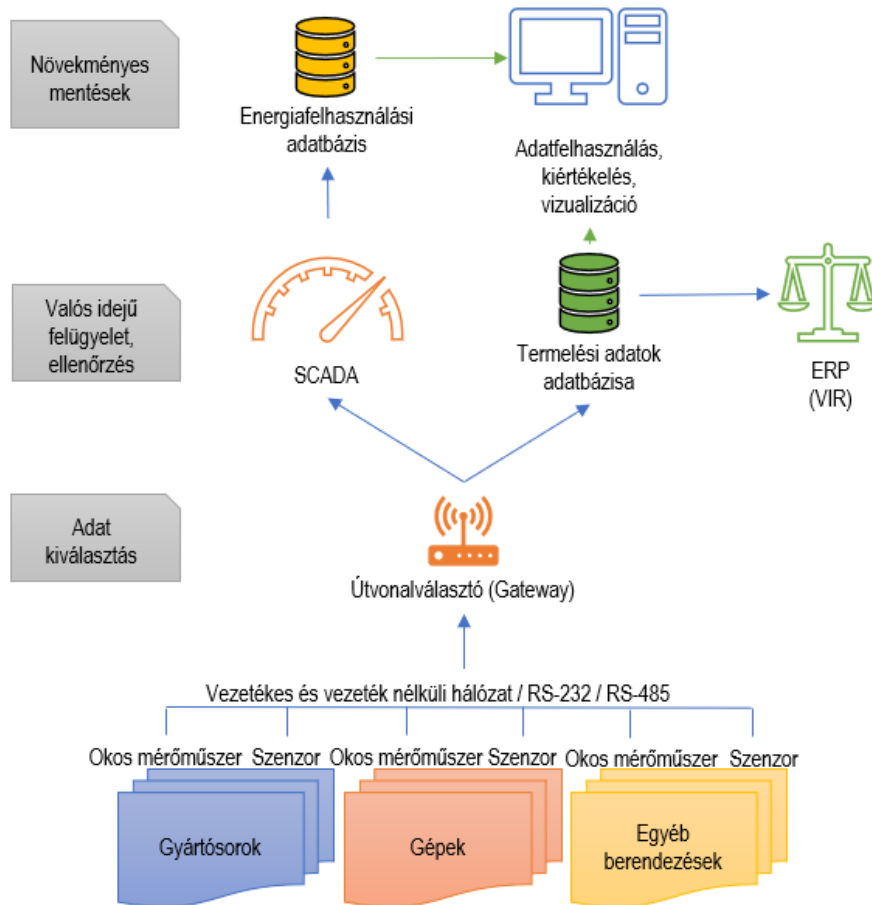
alkalmas volt arra, hogy az így összegyűjtött és összekapcsolt adatsorokat egységesen elemezzem.

4.3. A fejezet összegzése

Ebben a fejezetben bemutattam a vizsgált vállalat egy általános termelési folyamatát egy üzemben belül végigkövetve, és ismertettem az energiafelhasználáshoz kapcsolódó környezetét, amelyet alaprendszernek hívtam. Rávilágítottam ennek az alaprendszernek a hiányosságaira, majd megterveztem és megvalósítottam a saját keretrendszerem fizikai és szoftveres környezetét. Ennek során az üzemben található berendezések egy részét kiválasztottuk, amelyek a kezdeti rendszer részét képezi a rendszeremnek, majd a berendezésekhez okos mérőműszerek kerültek telepítésre. Továbbá kialakításra került hozzájuk a kommunikációs hálózat is. A vállalat felügyeleti rendszerében végeztem el olyan fejlesztéseket, amelyek segítségével összegyűjthetők és kezelhetők a berendezésektől érkező adatok. Ezeket az adatokat egy olyan univerzális adatbázisszerkezetben tároltam el, amely bármilyen olyan számszerűsített tényadatot és azok dimenzióadatait képes eltárolni a rendszerben, amelyet a vállalat menedzserei csak mérni szeretnének. Az adatbázisszerkezetet és annak részeit részletesen is tárgyaltam. Áttekintettem a vállalat gazdasági törzs- és tranzakciós adatait a vállalatirányítási rendszerükben, majd kiválasztottam azokat az adatsorokat, amelyek a termelés szempontjából fontosak voltak a vállalat számára. Ezeket az adatokat felkészítettem arra, hogy összekapcsolhatók legyenek az energiafelhasználási adatsorokkal, majd egy rövid, általános folyamatleírással összefoglaltam, hogy a rendszer a későbbiekben hogyan bővíthető további berendezésekkel komplex informatikai szaktudás nélkül is. Végül a következő fejezet előzményeként röviden rátértem arra, hogy milyen üzleti intelligencia eszközzel elemeztem a vállalat energiafelhasználási és termelési adatait. A fejezetben bemutatott keretrendszer architektúrája és az adatok áramlása az alábbi ábrán tekinthető meg (41. ábra).

A fejezet során bemutatott legfontosabb tudományos eredményem:

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



41. ábra: Kiber-fizikai keretrendszerünk architektúrája és adatfolyamai (Forrás: saját ábra)

5. Energiahatékonysági vizsgálatok

A célom az volt, hogy a szakirodalom és a tudományos publikációk áttekintése után (a tervezés és a menedzsment fázis a 2.8-as fejezetben bemutatásra került), a saját tapasztalataimra alapozottan legyenek az általam definiált keretrendszerben is létrehozva a mutatószámok. Ebben a fejezetben bemutatom, hogy az előző fejezetben kialakított keretrendszer milyen lehetőségek megvalósítására teszi képessé a rendszer kezelőjét, ezáltal támogatva a vezetői döntéshozatalt és a hatékony működést a vizsgált vállalatnál.

5.1. Kérdések és válaszok az energiahatékonyságról

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 koncentrál, amelyek áramfogyasztóként megjelennek az üzemekben. Ez utóbbi csoportban inkább az áramfogyasztásra, míg az elsőnél a termelés és az áramfogyasztás kapcsolatát elemzem. A 4. fejezetben bemutatott keretrendszert azért hoztam létre, hogy az itt felsorolt kérdésekre képes legyek – adatokra alapozottan – megválaszolni, és ezáltal segíteni a vállalat menedzsereit abban, hogy hatékonyabb döntéseket tudjanak meghozni a termelésirányításban.

5.1.1. Az áramfogyasztás és a termelés kapcsolatának elemzése

A tudományos publikációk áttekintése során azt tapasztaltam, hogy az energiagazdálkodás témakörében keletkeztek eredmények, azonban olyat csak elvétve találtam, amelyek az energiagazdálkodást összekapcsolták volna a termeléssel, folyamatokkal, termékekkel. Természetesen itt annál komolyabb szintű összefüggésekre voltam kíváncsi, hogy ha termel a gép, akkor energiát fogyaszt, ha pedig nem termel, akkor nem is fogyaszt. Sokkal érdekesebb viszont az a kérdés, *hogy mikor volt a termelő gépnek felesleges energiafogyasztása, tehát amikor működésbe volt hozva, de nem termelt*. Ehhez áttekintettem a termelő gépek állapotait és a hozzá kapcsolódó energiaállapotokat, amelyek a következők lehetnek [113]:

- beüzemelés a napi működéshez (egy hosszabb szabadságolás után vagy esetleg, ha napi szinten kell felfűteni adott gépeket stb.),
- gépbeállítási idő, amikor egy másik terméket kezdenek gyártani az előző után, akkor ki kell választani az új termelési programot a gépek terminálján,
- normál működés, amikor az adott gép energiát fogyaszt a működéséhez és emellett termel is,
- karbantartási állapot, ezek előfordulhatnak részleges vagy totális hibák kialakulásakor, esetleg a tervezett szerviz kapcsán,

- tesztüzem állapot, amikor egy-egy termék gyártását tesztelik vagy amikor a karbantartás után megnézik, hogy jól működik-e az adott gép,
- áll a gép, haszontalan működés, ez előfordulhat a termelés megállásakor (pl.: nincs több alapanyag), vagy egy dolgozó megállíthatja a termelést, ha olyat tapasztal, aminek következtében selejtek gyártása történik, vagy a legrosszabb esetben akkor, ha a dolgozók csak úgy otthagyják a gépet bekapcsolva és teljes fordulatszámon működik,
- „stand-by” állapot leginkább akkor fordul elő, amikor a dolgozóknak tizórai szünete van és nem akarják teljesen lekapcsolni a gépet, mert a szünet után ugyanúgy folyhat tovább a termelés.

Nyilván vannak olyan állapotok, amelyekkel nem lehet mit kezdeni, azokat el kell végezni, nem lehet rajtuk spórolni, mint például a gépbeállítás ideje, de a „stand-by” és a haszontalan működések idejét is csökkenteni kell ahhoz, hogy a veszteségeket csökkenteni lehessen.

Az tehát, hogy a felesleges energiafogyasztásokat csökkentsék a cégnél, egy kardinális kérdés volt. Emiatt olyan jelentéseket kellett létrehozni, amelyek az adott időszakokban mutatják a gépek termelését és energiafogyasztását együttesen. Erre a kérdéskörre a kialakított keretrendszer segítségével tudtam válaszolni. Szükség volt hozzá mind az operátor szerver (PLC gépekből jövő termelési adatokra), mind az energiafelhasználási mérőműszerekből jövő adatokra. A megfelelő üzleti intelligencia eszköz alkalmazásával pedig a szűrők segítségével képes vagyok ezeket megjeleníteni. Emellett a menedzsmint igényelte, hogy olyan kimutatások is készüljenek, amelyek mutatják azt, hogy az egyes időszakokban melyek voltak azok a termelő gépek, amelyek hasznosan (termeléssel), vagy haszontalanul (termelés nélkül) a legtöbb energiát fogyasztották.

A fenti kérdések mellett talán a legfontosabb az optimalizálás kérdésköre. Fontos lenne látni, hogy mely műszakok használták az adott gépeket, vagy termelték az adott termékeket a legnagyobb hatékonysággal. Természetesen nem lehet az adott műszak minden szempontból a legjobb, ha például a minőségre helyezi a hangsúlyt, akkor előfordulhat, hogy maga a termelési folyamat lassabb lesz és több energiát használ fel. Fordított esetben viszont, ha gyorsabb a folyamat és kevesebb energiát használnak, akkor pedig nagyobb eséllyel lehetnek hibák, rossz minőségű termékek a kihozatalnál. Emiatt ennek a kérdéskörnek a vizsgálatához egy plusz paramétert is be kellett vezetni, ez pedig termék paraméter volt. Ennél a témakörnél fontos, hogy az összehasonlítások megfelelőek legyenek, tehát nem elég csak arra figyelni, hogy az adott terméket figyeljük adott termelő gépnél, hanem figyelni kell a rakatok, batchek méretére is, ami átfut a termelő gépen és ilyenformán egy súlyozott átlag mindenképpen felhasználásra kerül a kalkuláció során. Érdekes lenne tudni például, hogy egy adott terméket más-más időszakokban milyen hatékonysággal gyártottak. Ehhez egy gyártási mennyiség (db) / elfogyasztott energia (kWh) arányszámot vettem alapul, mert fogyasztás létezik gyártás

nélkül, fordítva viszont ez nem lehetséges. De érdekes lenne még megtudni, hogy adott termék más-más rakatát milyen hatékonysággal gyártották az üzemben és így tovább.

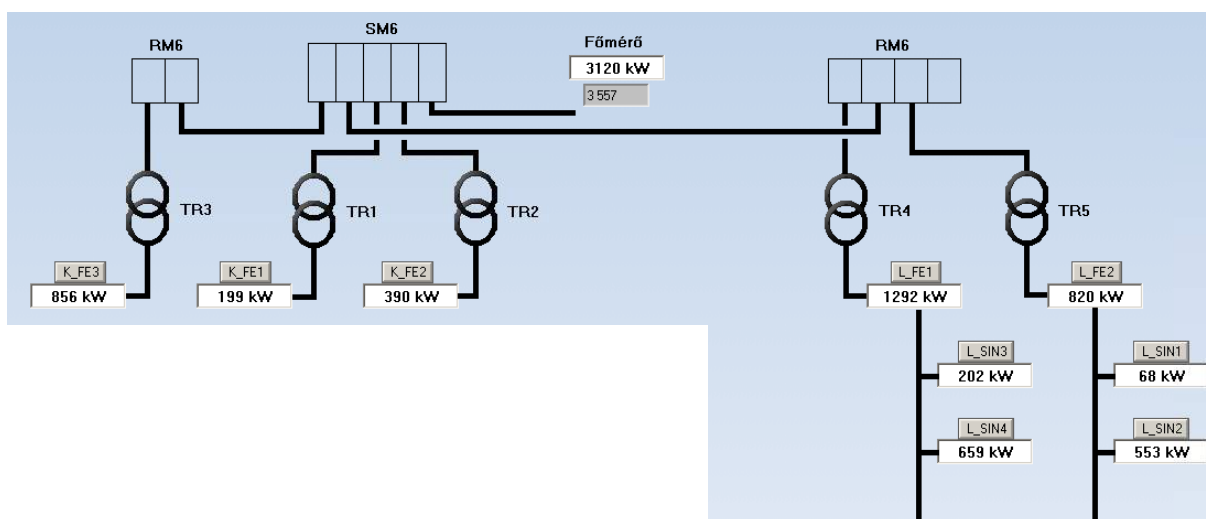
A vállalatnak ezen kérdések vizsgálata a költségvetés tervezésénél is hasznos lehet, mert eddig ezek csak a vezetőség tapasztalatain alapultak, most viszont már számszerűsített adatokra lehet alapozni a keretrendszer által kiadott döntéstámogatási javaslatokat. A keretrendszer továbbá képes választ adni arra is, hogy hogyan lehet finomítani, pontosítani a normaidőket (termékek átfutási idejét), valamint a normaköltségeket a gyárban. Az új tényleges adatok segítségével javíthatók ezek a korábban becsléseken alapuló számítások.

Összefoglalva, számos olyan kérdéskör van (valószínűleg nem is gondoltam még az összesre), amely az energiafelhasználás és a termelés összekapcsolásából adódhat és ezekre válaszolva, hatékonyabbá tehető a termelési folyamatok a gyárban.

A kérdésekre adott válaszokat táblázatos összesítésekkel, valamint diagramok segítségével adtam meg az 5.2.1 alfejezetben.

5.1.2. A villamos energiafogyasztás vizsgálata különböző berendezéseknél

Ahhoz, hogy a különböző berendezések villamos energiafogyasztását vizsgálni tudjam, előbb meg kellett ismerkednem azzal a hálózattal, amelyet kialakítottak a vállalatnál. A cég energiaigénye egy darab hitelesített főmérőn keresztül érkezik be az üzemekhez. A két üzemben összesen ötfelé oszlik szét a felhasználás (3:2 arányban, lásd: 42. ábra). Erre az öt trafóra vannak csatlakoztatva a sínek, amelyekre pedig az összes energiafogyasztó berendezés csatlakozik az üzemben. Ennek látható alább egy még nem teljesen befejezett sematikus ábrája.



42. ábra: Villamosenergia hálózat részlete a vállalaton belül (részlet) (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)

Ahogy említettem, a főmérő hitelesített mérőműszer, ez látható felül középen a fehér szövegdobozban (3120 kW fogyasztásértékkel). Alatta látható egy másik szám, ez egy kalkulált érték, amely azt mutatja, hogy az öt trafó méréseinek aggregálása milyen számot ad ki.

Látható, hogy vannak mérési hibák a rendszerben, amelyek összeadódnak és egy szignifikáns különbséget mutatnak a főmérő hitelesített méréséhez képest. Ez is azt motiválta, hogy érdemes lenne egy sokkal részletesebb, a legalsó szinten helyezkedő gépek szintjére kiterjeszteni az energiamérést és azt összevetni majd a sínek, a trafók és végül a főmérő méréseivel. Elvárás volt még, hogy az energiafogyasztási adatokat képes legyenek időszakokra, illetve berendezésekre is leszűrni.

Ebben a témakörben, amikor a berendezéseket vizsgáltam, szerettem volna olyan elemzéseket is végezni, hogy milyen berendezéseknél vannak kiugró értékek. Ugyanakkor a vállalat menedzsmentje jelezte, hogy számukra ez jelen pillanatban nem annyira érdekes, mert van egy olyan felügyelő rendszerük, amely egy beépített „wattór” funkcionalitással is rendelkezik. Ez sorban lekapcsolja azokat a berendezéseket, amelyek a legnagyobb fogyasztók, ha esetleg nagyon túllépnék a napi energiafelhasználási limitet, amely értékben megegyeztek az energiaszolgáltatóval. Viszont én rámutattam arra, hogy ez esetleg a későbbiekben mégis érdekes lehet abban az esetben, ha szeretnénk megtudni vagy előre jelezni, hogy mely berendezések fognak tönkre menni, mert valószínűleg a végső elromlás előtt a berendezés többször fog kiemelkedő értékeket produkálni. De jelen pillanatban ennek a funkcionalitásnak a bevezetése egyelőre függőben maradt a vállalatnál.

Az energiagazdálkodás kapcsán egy ilyen nagy vállalatnak azért is fontos, hogy tisztában legyen a fogyasztásainak az alakulásával, mert nem mindegy, hogy mikor milyen mennyiségben köti le a következő évre, fél évre, negyedévre az energia fogyasztását a szolgáltatónál. Ehhez a döntéshozatalhoz a vállalat nem csak a saját fogyasztását figyeli, hanem az energiatőzsdé²⁵ alakulását is számításba veszi annak eldöntéséhez, hogy mikor történjen meg a jövőre vonatkozóan az energiamennyiség megvásárlása [114].

A kérdésekre adott válaszokat táblázatos összesítésekkel, valamint diagramok segítségével adtam meg az 5.2.2 alfejezetben.

A kutatások és a fejlesztések azonban ezután sem állnak le. Érdekes lehet például az, hogy végig kövessem az egyes termékek életútját a gyártás során a keretrendszer segítségével és összegyűjtsem azt, hogy mennyi energiafelhasználás történt a termék elkészülése során. Az egyedi termékek nagy száma miatt ez azért jóval részletesebb nyomkövetést igényel, itt már szükség lenne egy RFID²⁶ alapú rendszerre. De azért kérdéses az is, hogy megéri-e ilyen beszerzés elvégzése, mivel azért még nem ez a legolcsóbb megoldás, amely elérhető a piacon. További tudományos kérdések már az épületfelügyelet más területéhez is kapcsolódhatnak, például, hogy egy-egy kapu nyitva tartása milyen hatással van az elszívó berendezések működésére, fogyasztására egy ilyen faipari vállalatnál [115]. Esetleg a termelési folyamatok

²⁵ Egy ilyen energiatőzsdét lehet például nyomon követni ezen az oldalon: <https://www.hupx.hu>

²⁶ Radio-frequency identification, magyarul rádiófrekvenciás azonosító technológia

és gépek mélyebb megismerése után azt is érdemes lehet vizsgálni, hogy az adott termelési gépek haszontalan energiafogyasztása, a többi támogató berendezésnél (elszívó, párásító stb.) mennyi haszontalan energiafogyasztást eredményez.

5.2. Elvégzett elemzések és eredmények ismertetése

A keretrendszerem elkészüléséig a vállalat semmilyen információval nem rendelkezett arról, hogy mennyi volt a veszteséges működése a gépeknek, berendezéseknek az üzemekben.

5.2.1. Az áramfogyasztás és a termelés kapcsolatának elemzési eredményei

Most már rendelkezésre állnak a forrásként használt adathalmazok (4.2.4 és 4.2.5 alfejezet) és azt is definiáltam, hogy milyen paraméterek alapján tudom összekapcsolni őket (4.2.6 alfejezet).

5.2.1.1 Adatbetöltés

Annak érdekében, hogy az áramfogyasztás és a termelés adatait együttesen elemezhessem, viszont szükség volt a QlikView üzleti intelligencia eszközre. Ennek segítségével egyetlen SQL lekérdezésen belül le tudtam kérni az OPC szerveren lévő termelési adatokat (Microsoft SQL Server 2008) és az általam definiált energiafogyasztási adatokat (MySQL Server 5.7.16). Arra kellett azonban figyelni, hogy a termelési adatok 2018. márciusáig két adatbázisban kerültek eltárolásra a vállalat két üzeme szerint. A két adatbázis szerkezete teljesen megegyezett, csak az üzem volt az a paraméter, amelyben eltértek. Ezen említett dátum után a vállalat átáll a vállalatirányítási rendszerük egy új verziójára és a két üzemhez tartozó adatbázisok is migrálásra, összevonásra kerülnek [116]. Ahhoz azonban, hogy az adathalmazok helyesen legyenek összekapcsolva először a két üzem termelési adatait kellett lekérni, ezután gyakorlatilag egymás alatt szerepeltek a termelési adatok az ideiglenes adattárban, majd utána következhetett az összekapcsolás az energiafelhasználási adatokkal. (Energiafelhasználási oldalon már az elejétől kezdve egy adatbázissal dolgoztam és nem szedtem szét az adatokat üzemenként.)

5.2.1.2 Szűrők

Az adatok betöltése után következhetett az eredmények megjelenítése. Ehhez számos diagramtípus és táblázattípus áll rendelkezésre. Egy-egy jelentésbe bármennyi külön lapfület lehet definiálni és azokon különböző diagramokat, táblázatokat elhelyezni. Ami fontos a jelentés szempontjából, hogy szűréseket lehet meghatározni, amelyek mindegyik lapfülre érvényesek lesznek. Tehát ha például kiválasztom a 2017.09.01 dátumot, akkor mindegyik diagram/táblázat, amely az adott jelentésben van, az ennek a szűrésnek megfelelő eredményt fogja mutatni. A kezelési idő szempontjából nézve a vizsgálatokat, azok nagyon gyorsak, gyakorlatilag pár pillanat alatt egyből látható is a frissített eredmény, csak az adatok betöltése tart több ideig (de maximum 1 percig) a jelentés definiálása elején.

5.2.1.3 Részletező és összesítő táblázatok

Elsőként egy olyan jellegzetes táblázatot mutatok be, amely eléggé lefedi azokat a lehetőségeket, amelyek előfordulhatnak a gyár működésében, emiatt a szűrési feltételeket a következőképpen állítottam be: a dátumot 2017.09.05-re a gépnek pedig az „EASY” nevűt választottam ki.

Móvevkód	Gépnév	Termék - 7 db	Mennyiség (db)	Kalkulált felhasználás (kWh)	Összehasonlítás 1. (db/kWh)	Mért érték (kWh)	Gépnév (Vision)	Gépnév (Operator)
8970-1	2017.09.05 6:40:00	-	4	10,00	2,50	4696 EASY	-	5
8970-1	2017.09.05 6:50:00	INVEN door 60x64 black-brow...	3	0,27	11,09	4676 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 6:50:00	-	119	10,73	11,09	4676 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:00:00	INVEN door 60x64 black-brow...	71	11,00	6,45	4671 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:10:00	INVEN door 60x64 black-brow...	73	10,00	7,30	4678 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:20:00	INVEN door 60x64 black-brow...	59	12,00	4,92	4678 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:30:00	EKSTAD gép d 15x40' brown NA	0	0,00	0,00	4670 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:30:00	INVEN door 60x64 black-brow...	43	11,00	3,91	4670 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:40:00	EKSTAD gép d 15x40' brown NA	54	11,00	4,91	4671 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 7:50:00	EKSTAD gép d 15x40' brown NA	81	10,00	8,10	4672 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 8:00:00	EKSTAD gép d 21x30' brown NA	94	11,00	8,25	4670 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 8:10:00	EKSTAD gép d 21x30' brown NA	90	11,00	8,18	4673 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 8:20:00	EKSTAD gép d 21x30' brown NA	-44	11,00	0,00	4684 EASY	Easy FL	5
8970-1	2017.09.05 8:30:00	-	-	9,00	-	4683 EASY	-	5
8970-1	2017.09.05 8:40:00	-	-	10,00	-	4684 EASY	-	5
8970-1	2017.09.05 8:50:00	-	-	9,00	-	4684 EASY	-	5
8970-1	2017.09.05 9:00:00	-	-	6,00	-	4683 EASY	-	5
8970-1	2017.09.05 9:10:00	-	-	6,00	-	4684 EASY	-	5

43. ábra: Szűrési feltételek (zölddel az aktuálisan beállított) alul pedig a feltételeknek megfelelő adatok (Forrás: saját ábra)

A részletező táblázat a következő dimenziókat használja az adatok felsorolására: a gépek azonosítóját (Movexkód), a mért adatsor dátumát és idejét, valamint a gyártott termékek nevét. Ezek után értelmezem az adatsorokból érkező nyers és kalkulált paramétereket is. Látható, hogy a műszak reggel 6 órakor kezdődött meg és egy ideig még nem is történt a gépen termelés. A „Mennyiség (db)” oszlopban szerepelnek a darabszámok, amelyeket az adott gépen, adott 10 percben, adott terméket megtermelt a gép. Érdekeség, hogy az oszlopban szerepelhetnek 0 és negatív értékek is. A 0 értékek azért fordulhattak elő, mert az adott 10 percben éppen termékváltás volt az adott gépen, míg a negatív számok azért lehettek, mert a gépkezelő a termékek gyártása után megadta, hogy az adott termékből nem X darab ment át a gépen, mert néhány darabot újra meg kellett munkálni, és emiatt csak X-Y darab termék készült el ténylegesen. Tehát egyfajta kézi korrigálás történt az adott rakat átfutása után. Kezdetben megfigyeltem, amikor még csak a movexkód és az adott 10 perces időbélyeg volt a dimenziós érték, hogy minden termelési adathoz egy energiafogyasztási adatsor kapcsolódott. Viszont amikor bevitettem a terméket is a dimenziók közé, akkor egy-egy termékváltáskor két termelési adatsor is keletkezett az adott 10 perc időbélyegével és mindkettőhöz hozzárendelte az energiafogyasztási adatot. Ez egyértelműen nem volt megfelelő így, mert hamisan, duplázva esetleg még többszörözve kalkulálta ekkor az összesítések készítésekor az adott 10 perchez tartozó energiafogyasztási kWh értéket. Emiatt volt szükség a sima energiafogyasztási adat helyett egy kalkulált felhasználás oszlopra. A „Kalkulált felhasználás (kWh)” oszlop mutatja, hogy ha történt termelés, vagy termékváltás, vagy csak kézi korrigálás, akkor azokat úgy ossza fel az energiafelhasználás szempontjából, hogy a teljes 10 perc fogyasztását a termelt darabszámok függvényében súlyozza. Néhány példaeseten keresztül mutatom be a tényleges működését ennek a számításnak a 43. ábra alapján:

- 6:00-kor még nem volt a gépnek fogyasztása, nem volt bekapcsolva, emiatt 0 a kWh,
- 6:10-kor már be volt kapcsolva a gép és valószínűleg a beállítását végezték, emiatt 2 kWh a fogyasztás,
- 6:40-kor már teljes fordulatszámon működött a gép, azonban a rakatot még nem rakták fel rá, tehát még nem termelt, emiatt 10 kWh a fogyasztás,
- 6:50-től már ment a termelés is nem csak a gép, érkeztek be a mennyiségek és a fogyasztási értékek is,
- 7:30-kor történt egy termékváltás, emiatt az adott időbélyeggel 2 sor is keletkezett, viszont a fogyasztásnak emiatt a súlyozott átlagát kellett venni, mivel az új termékből még nem történt termelés, ezért a „régi” termékhez írtam az összes 11 kWh fogyasztást,
- zajlott tovább a termelés, majd 8:20-kor befejeződött a termék gyártása és a gép kezelője egy -44-es darabszám korrekciót jegyzett bele a rendszerbe,
- utána már nem történt termelés a gépet mégsem helyezték „stand-by” (készenléti) üzemmódba (ekkor kb. 2 kWh-t fogyasztana) és nem is kapcsolták ki, emiatt továbbra is, pazarló módon fogyasztotta a 6-10 kWh értékeket.

Azonosítottam tehát a veszteséget az adott gépnél, adott nap, adott időszakában. Korábban erre nem voltak képesek a vállalatnál, mindössze egy napi összesített aggregált értékkel rendelkeztek, amely nagyjából annyit mondott meg nekik, hogy a 2 üzem összes energiafogyasztás aznap ~3600 kWh volt és ennyit, nem többet. Azonban a termelés menedzserei továbbra is kíváncsiak voltak az összesített adatokra is, emiatt egy összesítő táblázatot is készítettem úgy, hogy kivettem a korábban beállított szűrőket (lásd: 44. ábra). Ekkor az összes rendszerben lévő termelő gép termelése és fogyasztása látható. Egy olyan időszakot választottam (2018. január vége - február eleje) bemutatásra, amikor már több termelő gép is aktívan a rendszer részét képezte, mert például 2017. szeptemberében még aránylag kevés gép volt a rendszerben. Elmondható azonban, hogy a vállalatnak hasznos ez a kezdeményezés, úgyhogy a mérőműszerek számát, a hálózatot és a rendszerbe bevont gépek körét folyamatosan tervezik bővíteni.

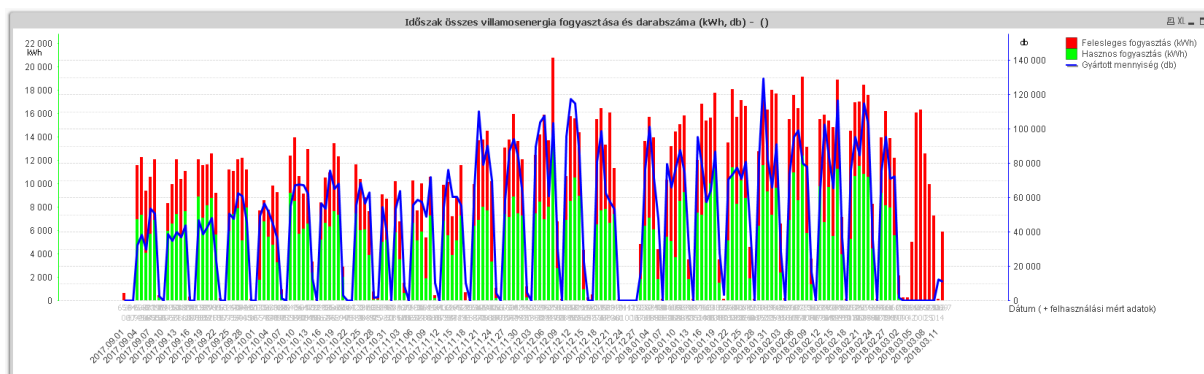
Gyártott mennyiség (db) és energia felhasználás (kWh)				
Dátum	Gyártott mennyiség (db)	Összes felhasználás (kWh)	Hasznos (kWh)	Felesleges (kWh)
	8 730 689	1 688 215	894 519	793 696
2018.01.22	70 663	13 537	5 153	8 384
2018.01.23	73 477	18 079	11 378	6 701
2018.01.24	77 522	15 694	8 238	7 456
2018.01.25	70 864	17 112	10 235	6 877
2018.01.26	80 605	16 611	8 786	7 825
2018.01.27	42 320	4 565	1 906	2 659
2018.01.28	0	114	1	113
2018.01.29	82 160	12 787	6 357	6 430
2018.01.30	129 278	17 130	11 573	5 557
2018.01.31	81 884	16 321	9 325	6 996
2018.02.01	65 999	18 040	7 297	10 743
2018.02.02	90 990	17 726	9 641	8 085
2018.02.03	28 500	6 580	2 353	4 227
2018.02.04	0	194	0	194
2018.02.05	73 940	15 503	6 865	8 638
2018.02.06	95 318	17 587	10 927	6 660

44. ábra: Összesítő táblázat a termelés és az energiafelhasználás napi kapcsolatáról (Forrás: saját ábra)

Ebben a táblázatban jól látható napokra lebontva, hogy mennyi volt az összes gyártott mennyiség, továbbá az összes felhasználás a termelő gépeknél. Emellett pedig mennyi volt az az energiafelhasználási mennyiség, ami hasznos volt (történt termelés is) és felesleges volt (nem történt termelés). Ebben a táblázatban ugyanakkor jól látszanak a „hetes” időszakok: a vállalat hétköznap 3 műszakban, míg szombaton általában 1 műszakban termel, vasárnap van leállás. A táblázat ugyanakkor mutatja azt is, hogy arányaiban mérve rengeteg a felesleges kWh felhasználás a hasznoshoz képest, így ennek az aránynak a javításán mindenképpen kell dolgozni.

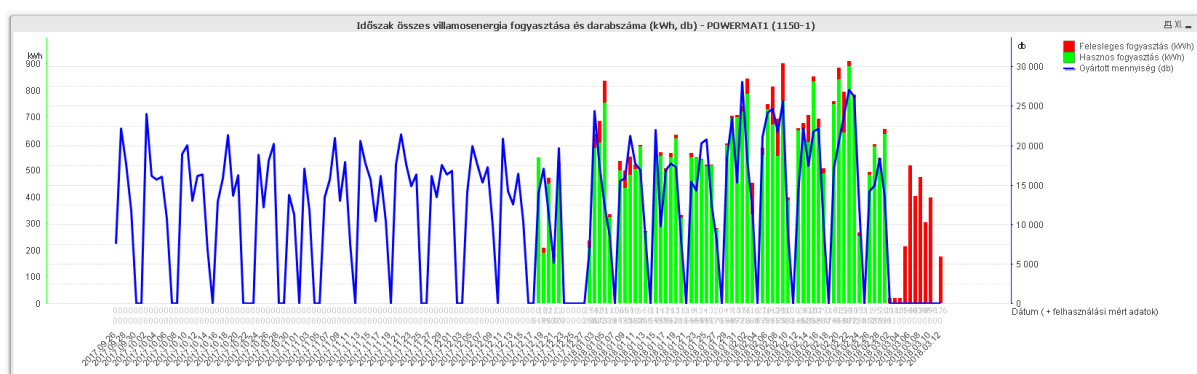
5.2.1.4 Összefüggések vizsgálata

A fenti táblázatok segítettek akkor is, ha a diagramokon valamilyen anomáliát tapasztaltam, mert akkor az adatokat képes voltam részleteiben is megtekinteni. Viszont a továbbiakban diagramok segítségével fogom megmutatni a vizsgálatok eredményeit. A fenti táblázathoz hasonlóan, adott időszak összes (zöld oszlop: hasznos, piros: haszontalan) villamosenergia fogyasztását és legyártott darabszámát (kék vonaldiagram) mutatja a következő diagram (45. ábra):



45. ábra: A 2017-2018-as gazdasági év (2018 márciusáig) mért fogyasztási és termelési adatai a keretrendszerben
(Forrás: saját ábra)

Ez az ábra azonban nem mond még túl sok információt a vállalat termeléséről és fogyasztásáról, azon túl, hogy szépen láthatók itt is a heti fogyasztási adatok, a karácsonyi leállási szünet, valamint az, hogy március elején történt meg a vállalatirányítási rendszer verzióváltása, ezért ennek a hónapnak az elején nem érkeztek be termelési darabszámok a keretrendszerbe, emiatt minden energiafogyasztást feleslegesnek könyveltem el. Az már sokkal beszédesebb a vállalat számára, amikor azonos tevékenységeket végző gépeket mértem össze egymással. Ilyenek például az előgyalulást végző gépek (Powermat 1 és 2), valamint a felületkezelést végző gépek (UVsor 1, 2, 3). Ezeket mutatom be a továbbiakban sorban egymás után (a diagramok fejlécében látszódnak a gépek nevei, ahogy itt is felsoroltam az imént). A diagramokon 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 (46. ábra). A kétféle függőleges tengely segítségével összerendelésre kerültek az energiafelhasználások és a gyártott darabszámok egy diagramon belül.



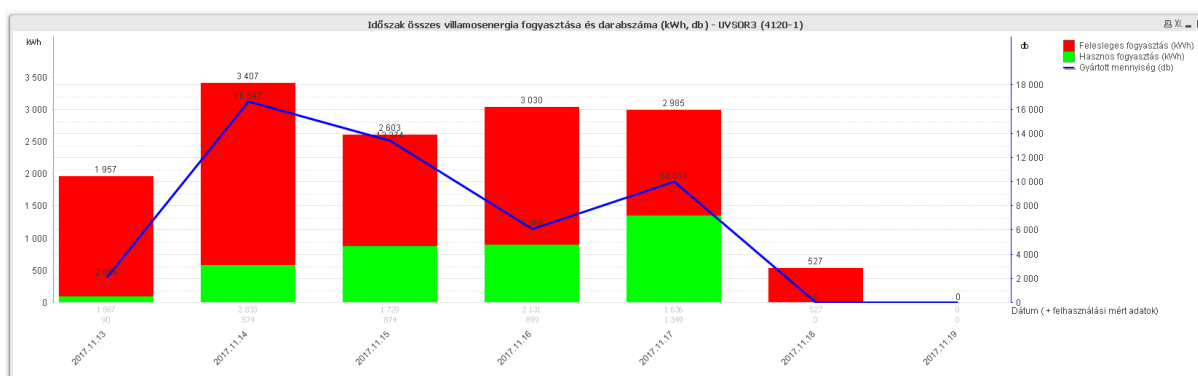


46. ábra: Előgyaluló és felületkezelő gépek hatékonysága a keretrendszer alapján (Forrás: saját ábra)

Az előgyaluló gépek kapcsán elmondható, hogy mindkettő egy kevéssel a gazdasági év kezdése után került be a keretrendszerbe és mindkettő aránylag jó hatékonysággal (az oszlopok piros-zöld aránya) működik. Míg a felületkezelő gépeknél kitűnik, hogy az UVsor 3 dolgozik a legrosszabb hatékonysággal, tehát az a gép (vagy az azon dolgozó munkások) szorulnak rá

leginkább a fejlesztésre, a veszteségek csökkentésére. Emiatt a vállalat, ha a humán erőforrás oldalát nézem az elemzésnek, akkor figyelmeztetheti az ott dolgozókat, vagy bevezethet például szankciókat a termelésnek azon a részén. Azt még ehhez külön kiemelném, hogy az UVsor gépek melletti egyéb támogató berendezések (világítás, elszívás stb.) fogyasztása is kiemelkedő, tehát ha feleslegesen megy egy UVsor, akkor a mellette működő berendezések is szintén feleslegesen működnek, ami további veszteséget jelent a vállalatnak.

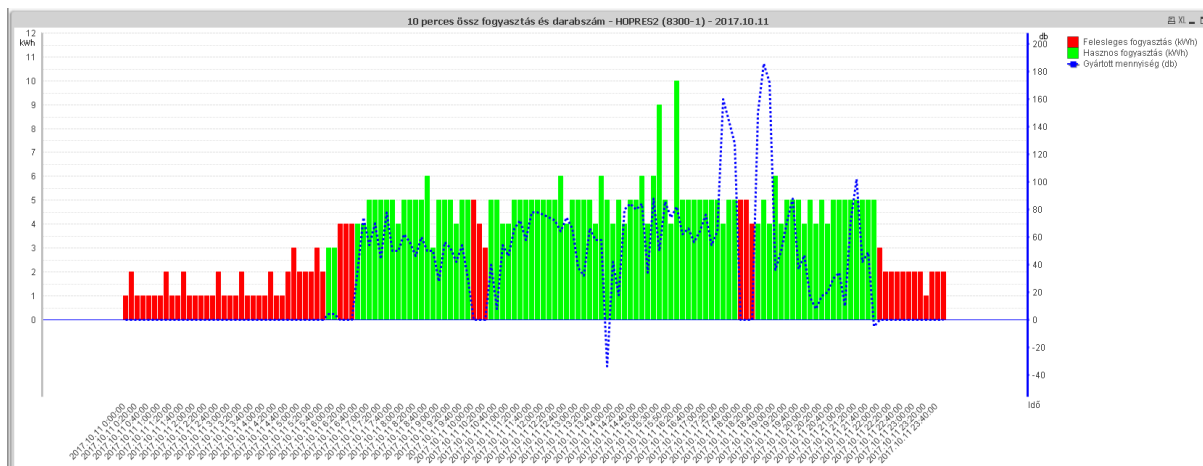
Ha ilyen széles időskálán nézem a diagramokat, akkor nem biztos, hogy a rejtett dolgok is egyből feltűnnek a keretrendszer kezelőjének, ugyanakkor lehetősége van néhány egérgattintással leszűrni a dimenzióadatokat mentén. Egy példát megnézve az UVsor 3 gép részletesebb termelési és fogyasztásadatait, akkor számszerűsítve láthatom az értékeket is a diagramon (47. ábra). A diagram tengelyei, oszlopai és vonaldiagramja ugyanazok, mint a 46. ábra diagramjai esetén.



47. ábra: Az UVsor 3 felületkezelő gép hatékonysága egy véletlenszerűen kiválasztott hét alatt (Forrás: saját ábra)

Egy példaidőszakot kiválasztva, 1 héten belül látszódik az UVsor 3 gép számszerűsített termelése és fogyasztási paraméterei, látható például, hogy 2017.11.18-án, szombaton egyáltalán nem történt termelés, a dolgozók valószínűleg csak otthagyták a gépet működés közben és a műszak végén lekapcsolták.

A következő diagram segítségével azt szemléltetem, hogy nem csak a dátum dimenzió mentén lehet vizsgálni a fogyasztásokat, hanem arra is van lehetőség, hogy az adott kiválasztott időszakban akár 10 percnként is lehessen vizsgálni a termelő gépek hatékonyságát, sőt, ha ilyen mélységig lemegyek, akkor már be kell venni a terméket is mint dimenziót, azért, hogy a táblázatban mutatott termékmennyiségekkel súlyozott értékeket láthassak egy-egy termékváltásnál. Ezáltal a napi működés vagy az egyes műszakok „teljesítménye” is vizsgálható a keretrendszerrel. Ezt egy példán keresztül illusztrálom (48. ábra). A diagram tengelyei, oszlopai és vonaldiagramja ugyanazok, mint a 46. ábra diagramjai esetén, annyi különbséggel, hogy most a vízszintes tengelyen nem dátumok láthatók, hanem az adott kiválasztott nap 10 perces beosztással, összesen 6 (bejegyzés óránként) * 24 (óra) értékkel.



48. ábra: A Hőprés 2 ragasztógép 2017.10.11. napi teljesítménye (Forrás: saját ábra)

A részletezett diagramon 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.

Az is látható itt ugyanakkor, hogy adott energiafelhasználás mellett változó volt a termelési kihozatal a gépnél és ennek kapcsán visszautalok a 43. ábra „Összehasonlítás 1. (db/kWh)” oszlopára, amely azt mutatta meg, hogy adott kWh óra elfogyasztása után mekkora termelési darabszámot hoz ki a gép. Ennél a Hőprés 2 gépen bemutatott példánál is jól látszik, hogy nagyon is fontos a cég számára ez a mutatószám, de ezt a későbbiekben még részletezem.

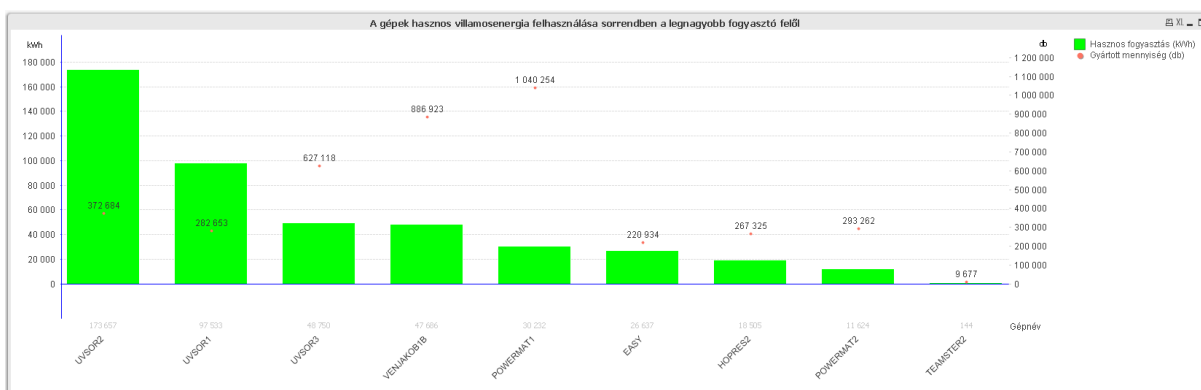
5.2.1.5 Sorrendek, összesítések, célzott vizsgálatok

A kutatásom részét képezte, hogy a termelő gépeknél vizsgáljam meg azt is, hogy melyek voltak a legnagyobb hasznos és haszontalan fogyasztók a vállalatban. A jelenleg működő rendszerben viszont még nem mind a 12 géphez van beépítve a mérőműszer vagy bekötve a hálózat. Ezért szűkítéseket hajtottam végre a vizsgált időszakokra és gépekre vonatkozóan azért, hogy egy reális képet mutasson az eredmények megjelenítésekor:

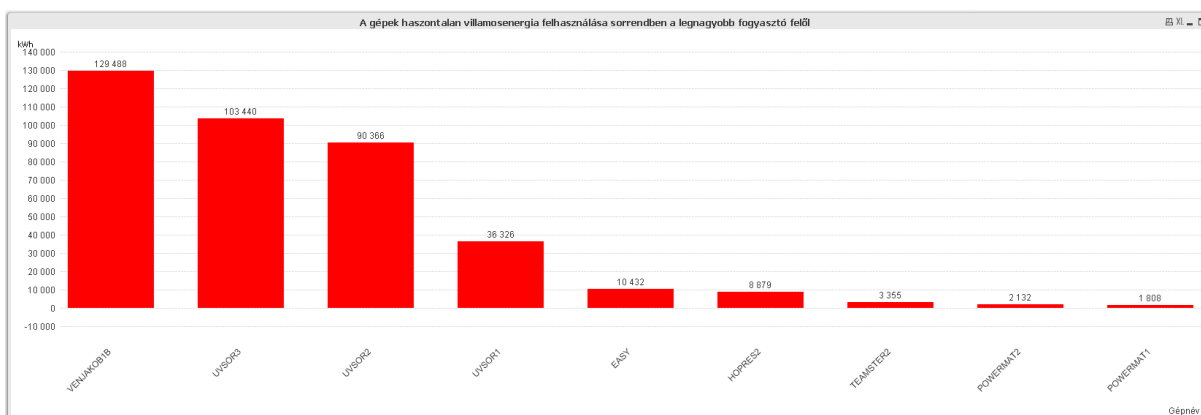
- a Hőprés 1 és a Homag 2 gépsorokon még nincs meg az energiamérő műszer vagy annak hálózata,
- a Powermat 1-es gépsoron csak 2017.12.08-ra került bevezetésre az energiamérés,
- a Szórósor 2 gépen pedig a termelési mennyiség mérés hiányzik egyelőre.

Emiatt az első kettő és az utolsó gépet kivettem a rangsorok összeállításából, valamint a vizsgált időszak indulását leszűkítettem arra, hogy a Powermat 1-es gépsor még bekerülhessen a tényleges sorrendek kialakulásába, illetve a vállalatirányítási rendszer verzióváltása miatti termelési adatok kiesése kapcsán a befejezés dátumát 2018.02.28-ra

állítottam. Az alábbi ábrákon (49. ábra, 50. ábra, 51. ábra) a vízszintes tengelyeken a mért termelő gépek nevei láthatók. Az 49. ábra mutatja a „hasznos” energiafogyasztást, ezt a zöld oszlopok jelölik és a bal oldali függőleges tengelyen láthatók a kWh értékek. Az ábra jobb oldali függőleges tengelyén a gyártott darabszám értékek láthatók, ezeket a diagramon egy-egy ponttal és az adott darabszámérték címkével jelöltem a termelő gépekhez rendelve. A gépeket „hasznos” energiafogyasztás szerint csökkenő sorrendbe helyeztem el a vízszintes tengelyen. Az 50. ábra mutatja a gépek (vízszintes tengely) „haszontalan” vagy „felesleges” energiafogyasztását a piros oszlopokkal és a felettük lévő konkrét kWh értékekkel. A gépeket energiafogyasztás szerint csökkenő sorrendben helyeztem el a diagramon.

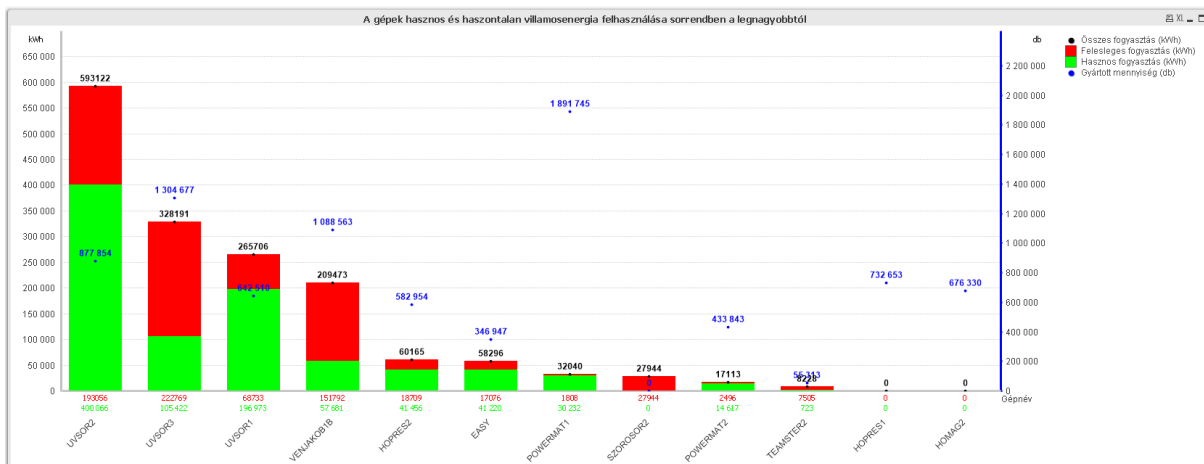


49. ábra: „Hasznos” energia fogyasztók csökkenő sorrendje és a legyártott darabszámok (szűrt nézet) (Forrás: saját ábra)



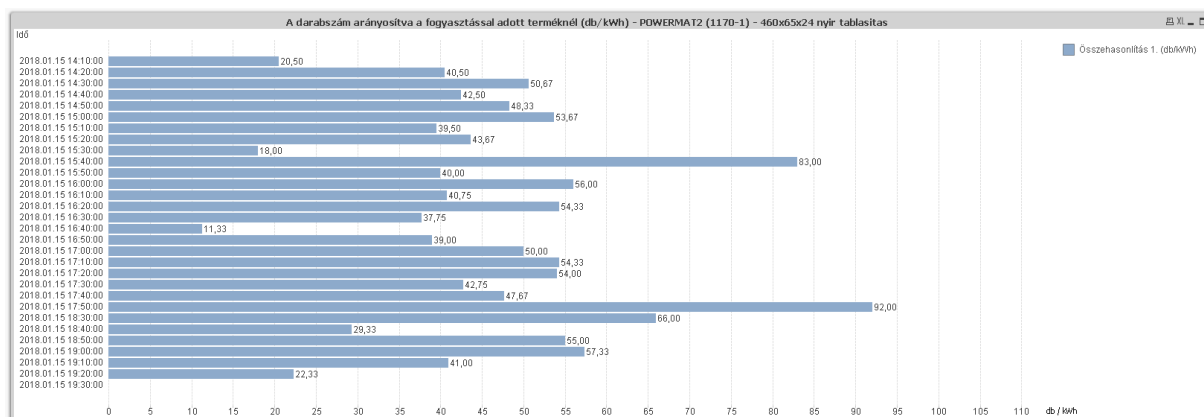
50. ábra: „Haszontalan” energia fogyasztók csökkenő sorrendje és a legyártott darabszámok (szűrt nézet) (Forrás: saját ábra)

Az 51. ábra összesítve mutatja a sorrendeket minden mért gépet figyelembe véve.



51. ábra: Az energiafogyasztások sorrendje, hasznos és haszontalan együtt, továbbá a legyártott darabszámok (Forrás: saját ábra)

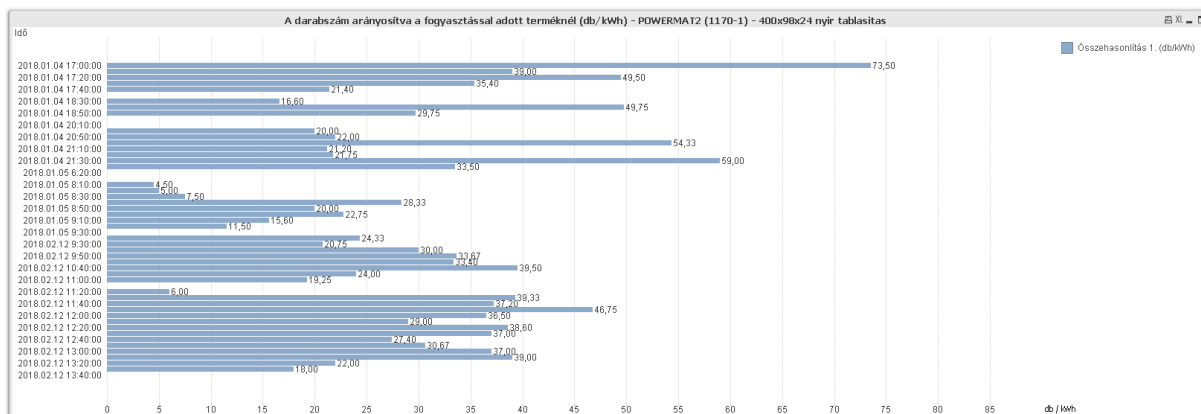
Az utolsó, termelő gépekhez tartozó vizsgálatom kapcsán szeretnék ismét visszautalni a 43. ábra „Részletező táblázat”-ában látható „Összehasonlítás 1. (db/kWh)” oszlopra és annak értékeire. Ezt a kulcs mutatószámot azért készítettem el, hogy be lehessen mutatni, hogy egy termék gyártásának adott gépen történő megmunkálásánál 1 kWh energiafelhasználásra mennyi darab megtermelt mennyiség adódik és mindezt különböző időszakokban megtekintve. Az 52. ábra mutatja a vízszintes tengelyen ezeket az „Összehasonlítás 1. (db/kWh)” értékeket. Míg a függőleges tengelyen azokat a dátumokat, amikor ezt az adott terméket gyártották.



52. ábra: Termelési hatékonyság egy adott termékénél és gépnél (Forrás: saját ábra)

A diagramon azért láthatók a dimenzióként alkalmazott időbélyegek a függőleges tengelyen, mert ha a vízszintes lennének, akkor sokkal kevésbé lennének átláthatók a vízszintes tengely értékei, mert az időbélyegek ferdén látszódnának rajta, így nehezen lenne beazonosítható, hogy melyik tényérték melyik dimenzióértékhez tartozik. A diagramon a termékszűrésen kívül nem alkalmaztam más szűrési feltételt. Látható tehát, hogy ezt az egyedi terméket a vizsgált időszakban (2017.09.01-től 2018.03.12-ig) csak 2018.01.15-én gyártották a Powermat 2 gépen. Talán emiatt is van, hogy ebben az egy adott műszakban a termelési hatékonyság közel azonos

(néhány kiugró értéket leszámítva). Ezzel szemben, ha egy másik terméket választok véletlenszerűen, akkor már sokkal eltérőbb hatékonysági mutatószám értékek adódnak, ezt a következő ábrán látható. Az 53. ábra jelölése megegyezik az egyel korábbi ábra jelöléseivel csak egy másik termék értékeit mutatja.



53. ábra: Termelési hatékonyság egy másik termékénél és gépnél (Forrás: saját ábra)

A rendszerben jelenleg 1373 darab egyedi termék van jelen és vizsgálható meg a termelési hatékonysága. A vizsgálatomhoz egy olyan terméket választottam (neve: Inviken door 60x64 ash veneer), amely meglehetősen nagy mennyiségben került megmunkálásra a felületkezelő gépek által. A vállalat három ilyen gépsorral is rendelkezik, ezek az UVSor 1-2-3 nevet viselik.

4. táblázat: Felületkezelési átlagos hatékonyság azonos termékénél különböző gépsorokon (Forrás: saját táblázat)

Gépnév	Összes mennyiség (db)	Termelési kihatás / Felhasznált energia átlagos értéke (db / kWh)
UVSor1	35645	2,9
UVSor2	5116	2,7186
UVSor3	2476	11,273

Ezen információk ismeretében (4. táblázat) arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes lenne további statisztikai vizsgálatok alá vetni a kapott eredményeket. Azonban a korábbi kutatásaink során a cég beszállítóinak a teljesítményét vizsgáltuk meg kollégámmal, és arra az eredményre jutottunk, hogy az ilyen magas darabszámok az általánosan ismert és alkalmazott statisztikai próbák eredményeit negatívan befolyásolják [117]. Akkor a deszkák színeredményeiből szeretnénk volna következtetni a beszállítói minőségekre, ugyanakkor az adatsor normalitás vizsgálatát elrontották a magas csoporton belüli darabszámok, így a legtöbb statisztikai próba nem volt alkalmazható (mert az adatsor normális eloszlása a legtöbb próba előfeltétele). Emiatt egy új számítási módszert kellett kidolgozni erre a vizsgálatra, amelyet kollégám a disszertációjában mutatott be [118].

Így én inkább tüzetesebben megvizsgáltam az adatsorok részletesebb alakulását és azt a megállapítást vontam le ezután, hogy amíg az UVSor 1 és 2 gépeken a mennyiségek számlálását és kimentését a PLC gép végezte, addig az UVSor 3 gépnél nem történtek meg a folyamatos adatmentések, hanem csak a rakatok végén a gépnek a kezelője megadta a gépnek, hogy az adott rakat, amelyet kezel a gép éppen mekkora darabszámú volt. Így ennél a gépnél előfordult olyan is, hogy több mint ezer darab termék felületkezelése egy 10 perces időintervallumban történt meg, ami a gép technológiai hátterét ismerve, lehetetlen lenne.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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.

5.2.2. Az áramfogyasztás vizsgálata különböző berendezéseknél elemzés eredményei

Amikor csak az energiafogyasztási adatokat elemeztem, akkor nem volt szükség a termelési adatokkal való összekapcsolásra. Viszont itt már nem csak a termelést végző gépeket kellett bevonni az adatok lekérdezésébe, hanem az egyéb energiafogyasztási berendezéseket. Ezek voltak a következők: transzformátorok, elosztó szekrények, kompresszorok és természetesen maguk az energiamérési funkcionalitással rendelkező termelő gépek is.

Ahogy azt az 5.2.1 alfejezetben tettem, itt is egy jelentéscsoportot hoztam létre arra, hogy elemezhetőek legyenek a gépek energiafelhasználásai.

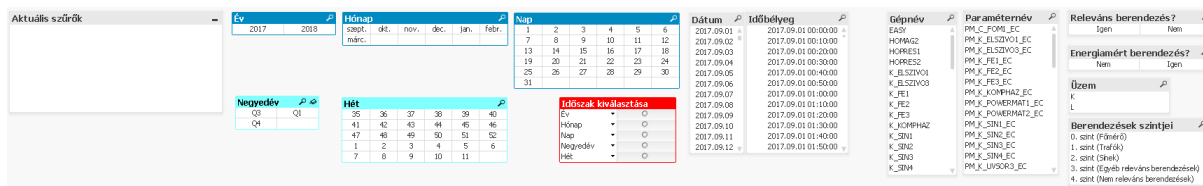
5.2.2.1 Adatbetöltés

Az itt vizsgált jelentéscsoport alapját az energiamérési MySQL adatbázisban lévő adattáblák jelentették. Emiatt nem volt szükség a termelési adatokkal való összekapcsolásra, viszont maga az adathalmaz nagyobb volt, de így is nagyjából 1 percbe került az adatok betöltése a jelentésbe. Ezután már a jelentés szabadon mozgatható a gépek között, így én ezt a jelentést és a mögöttes adathalmazt a saját gépemen elemezhettem tovább. Az így kapott mindössze 16 MB-os mérettel rendelkező fájlt a QlikView könnyedén képes kezelni. Ebben a jelentésben az adatsor fókuszuma (oszlopszám) kisebb volt, mint az előző fejezetben, de a sorok száma sokkal nagyobb, mert itt már nem csak a termelő berendezésekre fókuszáltam.

5.2.2.2 Szűrők

Az előző jelentéshez képest vannak megmaradó és változó szűrők is. Az állandó szűrők közé tartozik a dátum és az időbélyeg szűrők, de ide sorolom a gépnév vagy a paraméterszűrőket is (54. ábra bal oldalán és közepén láthatók ezek). Amik itt újdonságként jelentek meg, az az üzem szűrője, illetve a berendezések szintjeit jelző szűrő (54. ábra jobb oldalán). Ez utóbbi talán a legérdekesebb. Ahogy azt a 42. ábra is mutatja, különböző szinteken helyezkednek el a berendezések az üzemekben. A 0. szinten van a főmérő, az 1. szinten van az öt darab trafó, a 2. szinten vannak a sínek, a 3. szinten vannak a releváns berendezések, amelyek a termelést

végzik, a 4. szinten pedig azok a termelést és működést támogató berendezések. Ezekre a szintekre lehet szűrni az itt látható lista segítségével.



54. ábra: Szűrők (dátum, idő, gép, üzem, berendezések szintjei) az energiamérés vizsgálatára (Forrás: saját ábra)

5.2.2.3 Részletező és összesítő táblázatok

Ebben a szekcióban is egy táblázatos részletezéssel kezdem az adatok összefoglalását. A részletező táblázatomban elsősorban azt a célt szolgálta, hogy ha valamilyen anomáliával talákoztam a diagramos vizsgálatok során, akkor itt betekinthessem az adatok hátterébe. A benne lévő adatok gyakorlatilag az adatbázisban lévő adattáblákból érkeztek. Egyetlen további oszloppal egészítettem ki a részletező táblázatot, amelyben azt vizsgáltam, hogy az adott energiaméréshez tartozó berendezés hányadik szinten van a rendszerben (55. ábra).

Részletező táblázat					
Gépnév	Időbélyeg	Energiafelhasználás (kWh)	Mért érték (kWh)	Paraméternév	Szint
EASY	2017.09.04 5:40:00	1	46055	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 6:10:00	2	46056	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 6:20:00	4	46058	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 6:30:00	7	46062	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 6:40:00	10	46069	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 6:50:00	10	46079	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 7:00:00	11	46089	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 7:10:00	10	46100	PM_L_EASY_EC	3
EASY	2017.09.04 7:20:00	10	46110	PM_L_EASY_EC	3

55. ábra: Részletező táblázat a berendezések energiamérésének jelentésében (részlet) (Forrás: saját ábra)

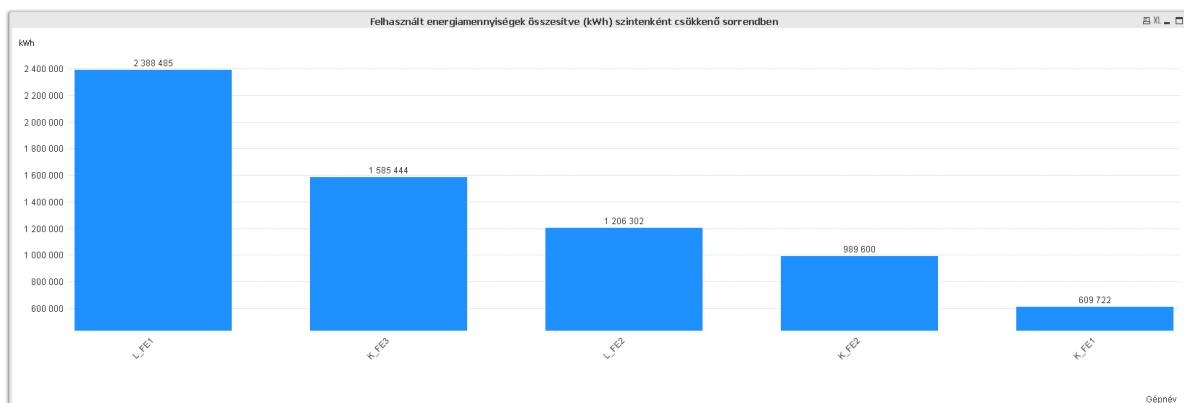
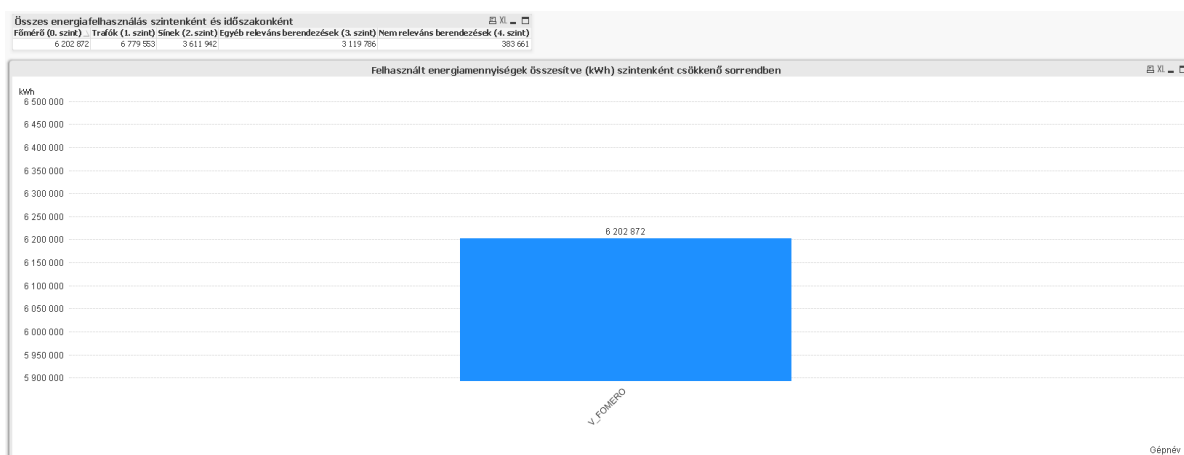
Emellett arra a felvetésre is szerettem volna reagálni, hogy az adott szintek összesített energiefelhasználásának nagyjából ki kell adnia a felette lévő szint energiefelhasználását. Erre a felvetésre az 5.1.2 alfejezetben tértem ki bővebben. Az összesítéseket az idő dimenzió (naponta) mentén végeztem el. Fontos azonban kiemelnem, hogy bár a számomra ismert, hogy egy darab főmérő (0. szint) és öt darab trafó (1. szint) van a rendszerben, a többi szint részletes listájáról nincsen információm (56. ábra).

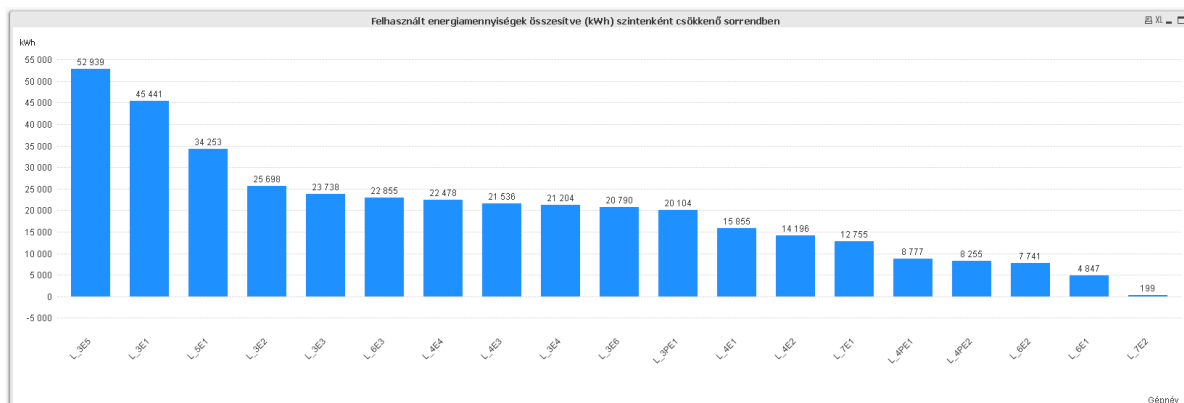
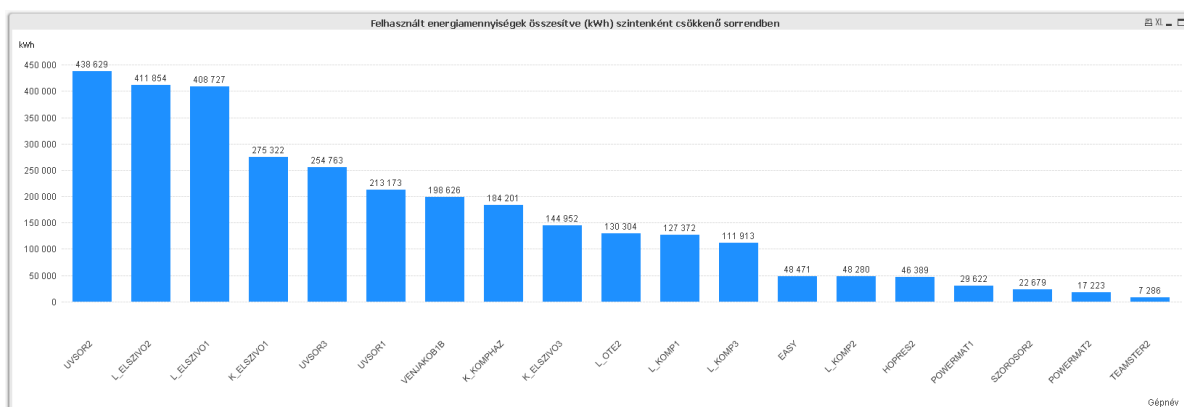
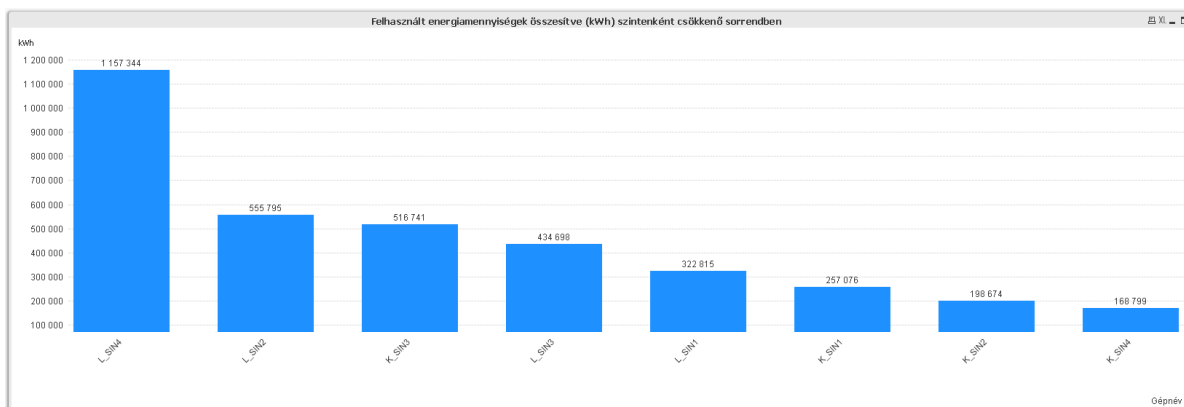
Összes energiafelhasználás szintenként és időszakonként					
Dátum	Főmérő (0. szint)	Trafók (1. szint)	Sínek (2. szint)	Egyéb releváns berendezések (3. szint)	Nem releváns berendezések (4. szint)
	6 315 864	8 457 189	4 258 642	3 679 117	496 883
2017.11.20	53 240	58 373	21 191	19 305	2 942
2017.11.21	66 064	72 607	27 196	25 995	3 356
2017.11.22	63 120	69 353	33 190	28 052	3 349
2017.11.23	58 224	63 731	46 580	33 207	3 365
2017.11.24	52 224	56 186	41 659	27 619	3 190
2017.11.25	4 816	6 750	4 291	3 055	980
2017.11.26	1 168	2 130	672	152	427
2017.11.27	51 920	56 731	31 322	28 230	3 084
2017.11.28	61 696	67 358	36 329	33 597	3 349
2017.11.29	60 232	66 142	36 368	33 481	3 414
2017.11.30	61 360	67 121	36 344	34 160	3 478
2017.12.01	57 992	63 809	34 303	31 820	3 335
2017.12.02	16 960	17 795	6 991	7 777	1 307
2017.12.03	4 184	4 110	2 025	1 048	883
2017.12.04	55 632	61 385	33 283	30 933	3 191
2017.12.05	62 680	68 750	36 734	34 508	3 496

56. ábra: Összes energiafelhasználás a berendezések szintjeiként és időszakonként (részlet) (Forrás: saját ábra)

5.2.2.4 Sorrendek, összesítések, célzott vizsgálatok

A táblázatos összesítések után megvizsgáltam a gyárban működő berendezések szintenkénti energiafelhasználási sorrendjét a teljes időszak alatt. Az alábbiakban a szinteken tapasztalható csökkenő sorrendeket egymás után mutatom be (57. ábra egyes diagramjai 0. szinttől a 4. szintig). A 0. szinten a főmérő látható, az 1. szinten az öt darab trafó, a 2. szinten a sínek, a 3. szinten a releváns (termelő) berendezések, a 4. szinten a nem releváns (támogató) berendezések kWh felhasználásai összesítve az adott időszakban.



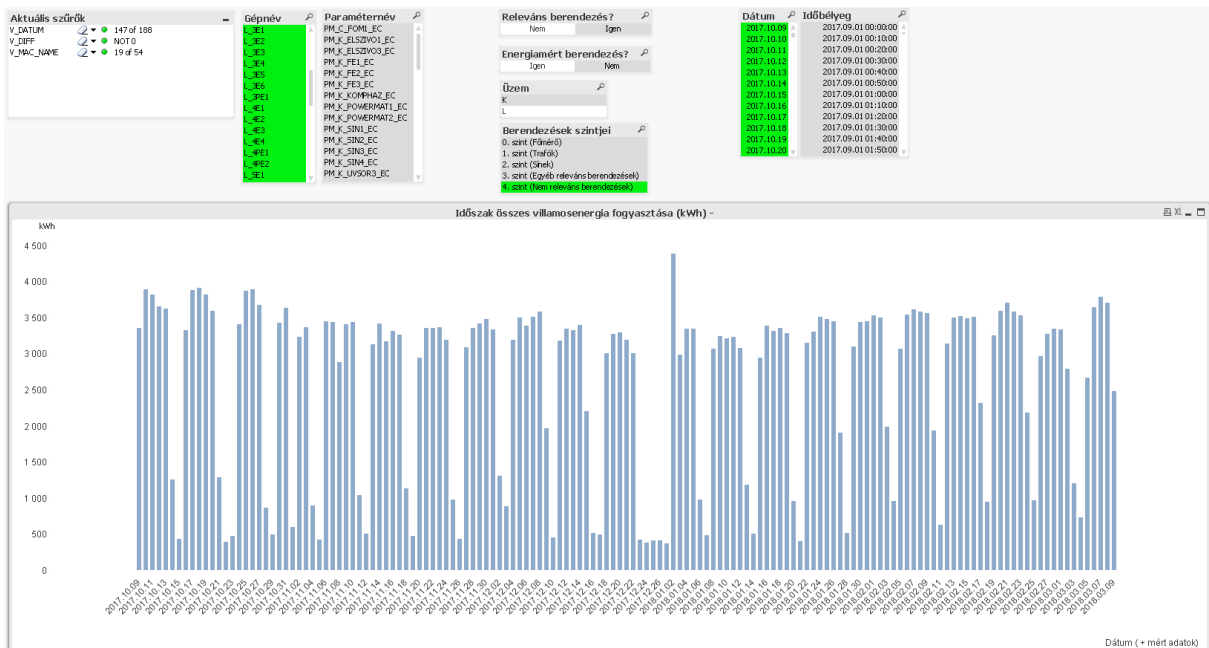


57. ábra: Felhasznált energiamennyiségek berendezésenként és szintenként összesítve csökkenő sorrendben
(Forrás: saját ábra)

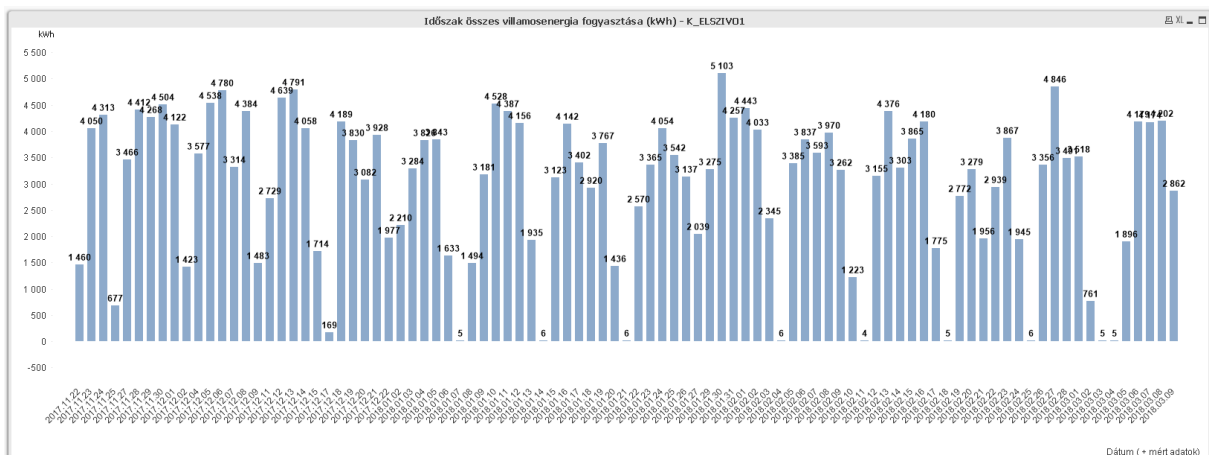
Fontosnak tartottam, hogy az adott szintek összegzett adatai láthatóak legyenek mindig az adott szint részletezése fölött, ezért ehhez a diagramhoz készítettem egy kiegészítő táblázatot, amit a diagram fölött helyeztem el (57. ábra legelső diagramja feletti táblázat).

A szinteken túl képes vagyok adott gép, vagy gépek egy csoportjának összes villamosenergia fogyasztását megvizsgálni az általam kijelölt időszakban. Ez látható az alábbiakban (58. ábra) az aktuális szűrőértékekkel kiegészítve (a zöldek a kiválasztott szűrőértékek), az oszlopdiagram vízszintes tengelyén a dátumok, függőleges tengelyén az adott szint gépeinek a kWh felhasználásai láthatók. Nagyon hasonló a 59. ábra és a 60. ábra is, annyi különbséggel, hogy előbbinél csak egy elszívó berendezés fogyasztásai láthatók, míg utóbbinál szintén egy

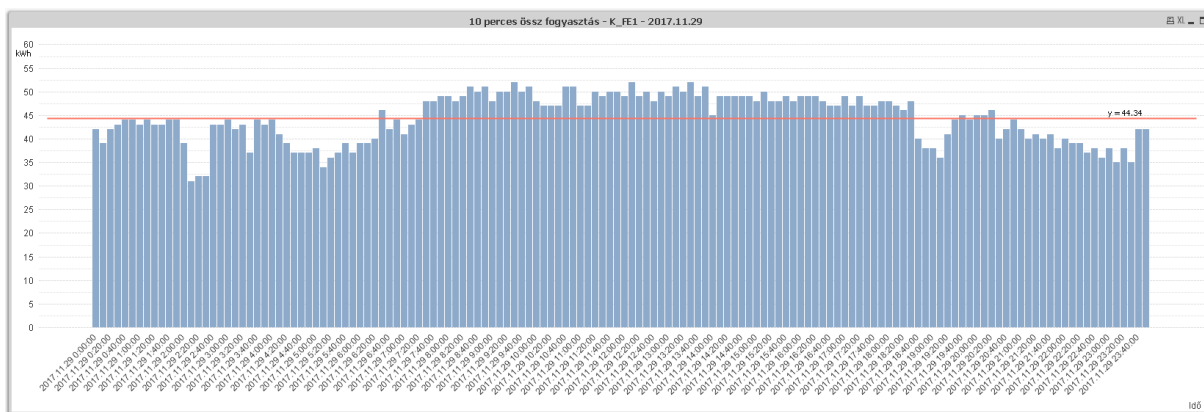
berendezés energiafelhasználási értékei láthatók de egy adott napon 10 perces bontásban (vízszintes tengely).



58. ábra: A 4. szintű berendezések adott időszakra vetített energiafelhasználása (napi eredmények) (Forrás: saját ábra)

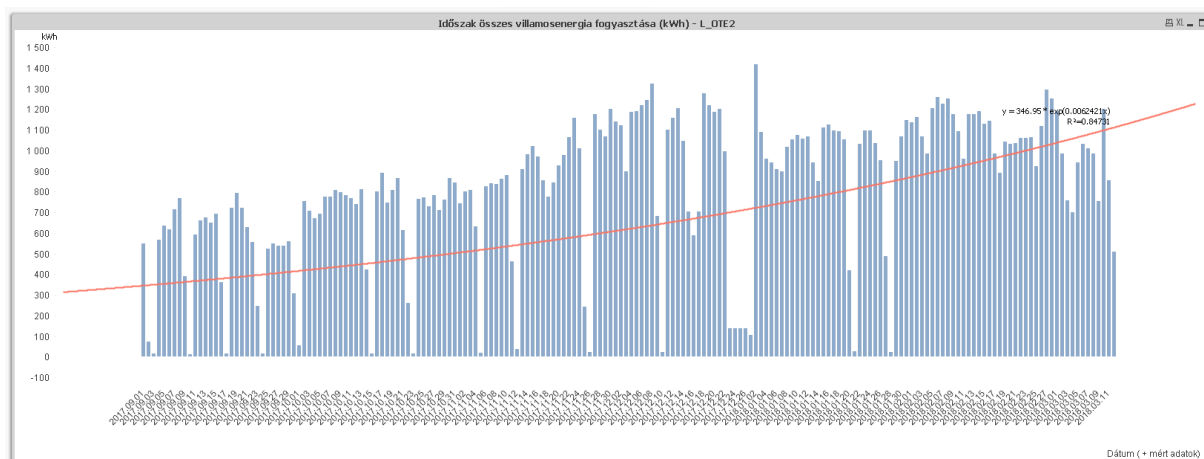


59. ábra: Adott berendezés (elszívó) energiafelhasználása egy kiválasztott időszakban (napi eredmények) (Forrás: saját ábra)



60. ábra: Egy trafó adott napi (2017.11.29.) energiafelhasználása 10 perces viszonylatban az átlaghoz képest (Forrás: saját ábra)

A fentiek mellett és a korábbi kérdések-válaszok témakörhöz kapcsolódóan érdekelt az is, hogy esetlegesen a vizsgálatok segítségével képes vagyok-e előrejelezni 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 trendszámítást az exponenciális regresszió segítségével végeztem el. A regressziós statisztikában szereplő megfigyelések száma 26 666 volt [119]. 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 (61. ábra).



61. ábra: OTE2 berendezés napi szintű energiafelhasználása és a trendvonal 2017. szeptemberétől 2018. márciusáig (Forrás: saját ábra)

Meglehet, hogy a 61. ábra leírásához fűzött következtetésem bátornak tekinthető, ugyanakkor az akkori adatok és az elemzési módszer ezt az eredményt szolgáltatta a számomra. További friss adat (a korábbi 2018. májusáig történt megfigyeléshez képest), hogy 2018. szeptemberében a vállalat már jobban elosztja a kompresszorainak terhelését és további ilyen berendezéseket helyezett üzembe, és az eddig terheltek működését fel is függesztették addig, amíg a terhelések ki nem egyenlítődnek a kompresszorok között.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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

5.3. Kutatási módszertanom összefoglalása

Ahhoz, hogy egy átfogó kép alakuljon ki a disszertációmban és a kutatásomban, emiatt szükségesnek tartottam, hogy egy teljes Ipar 4.0 projekt általános folyamatát bemutassam. Ennek kapcsán ez volt az általánosan (más termelő vállalatoknál) is alkalmazható kutatási módszertanom:

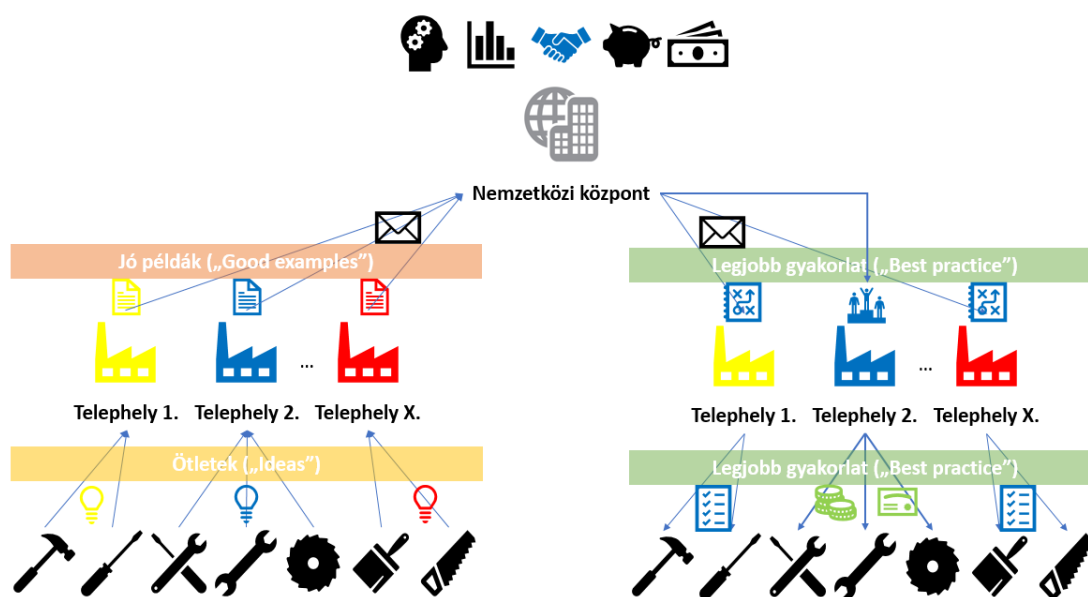
1. Az első és legfontosabb dolog az, hogy egy stratégiai döntést hozzon meg a vállalat vezetése: *„Miben akarnak jobbak lenni?“, „Milyen területet akarnak fejleszteni és optimalizálni?“*
2. A kiválasztott folyamatot mélyebben meg kell ismerni adatgyűjtés segítségével.
 - a. Adatgyűjtők, szenzorok kihelyezése.
 - b. Adatgyűjtők hálózatba kapcsolása.
 - c. Adatbázisba gyűjteni az érkező adatokat.
3. Alapadatok vizsgálata vizualizációs eszközzel.
 - a. Problémák felderítése, kijavítása.
4. Adatok elemzése: matematikai, alapstatisztikai, 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.
8. Mivel egy olyan multinacionális cégről van szó, amelynek számos országban működik telephelye, ezért a hasznos ötleteket, tudást meg kell osztani a többi leányvállalattal.

Ez utóbbi pont képezi az alapját alfejezet további részének is. Az 5. fejezet korábbi szakaszában megszerzett energiagazdálkodással kapcsolatos tudást most már nem csak a szakmai tapasztalatokra alapozottan lehet megosztani a vállalaton és a vállalatcsoporton belül, hanem adatokra alapozottan lehet kiemelni fontos részleteket a termelés és a felhasznált erőforrások kapcsán is.

Tehát az elemzések által megszerzett tudás elengedhetetlen a vállalat életében [120]. Mára a tudás lett az egyik legfontosabb szervezeti tőke, stratégiai erőforrássá vált [121].

A tudásmenedzsment a vizsgált vállalat kultúrájában már a kezdetek óta jelen van, hiszen a cég alapítója a vállalat működésének kezdetén a kiállítótermében megtekinthetett termékekről azonnali visszajelzést kapott. Azon visszajelzések vagy észrevételek közül, amelyeket ismerősöktől vagy ismeretlenektől kapott, és ő is jogosnak vélt, mint „best practice”-t fel tudta használni a vállalati fejlődés érdekében.

A tudás menedzselése és megosztása egymással, valamint egy nemzetközi cégcsoportban a leányvállalatok egymás közötti tapasztalatainak elérhetővé tétele kulcsfontosságú. Egy ilyen tudásmegosztási folyamatot mutat be a 62. ábra a vizsgált vállalatnál. *(Magyarázat az ábrához: bal alulról kell kezdeni az ábra értelmezését, majd felfelé haladni a nyilak mentén lesz az ötletből jó példa, ha pedig a nemzetközi központ is elfogadásra érdemesnek találta, akkor utána pedig jobbra lefelé végignézve az ábrán a nyilak mentén a jó példákból már legjobb gyakorlat válik, amelyet minden leányvállalatnak alkalmaznia kell.)*



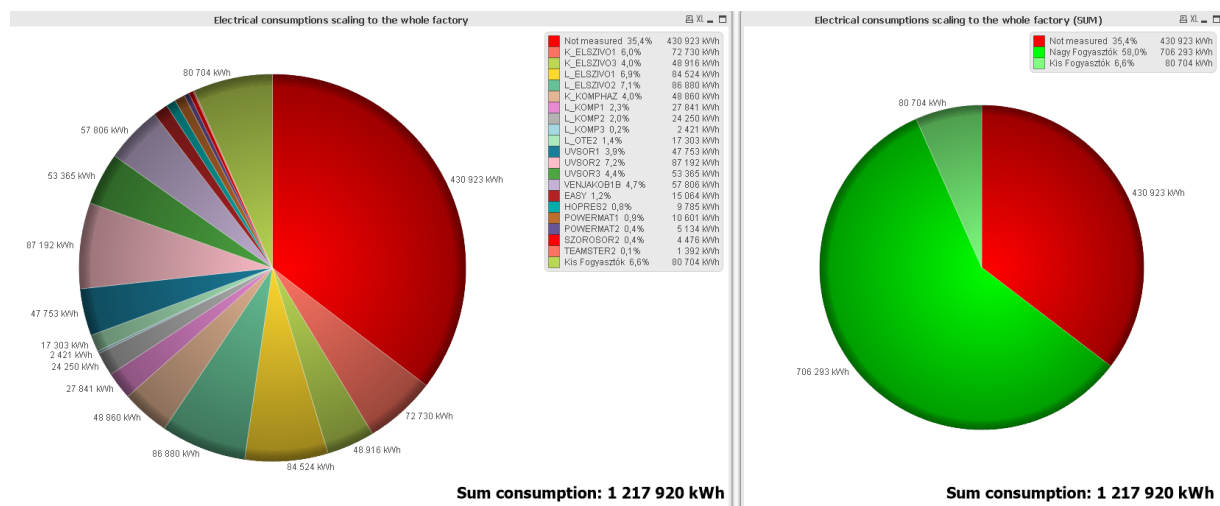
62. ábra: Ötletekből keletkező lehetséges legjobb gyakorlatok (tudás) (Forrás: saját ábra)

A 4. és az 5. fejezetekben bemutatott energiagazdálkodási keretrendszer, valamint az energiahatékonysági vizsgálatok eredményét a vizsgált vállalat termelési menedzserei ismertették a cég svéd központjának ipari stratégiákkal foglalkozó vezető mérnökével. Ő érdemesnek találta az itt is áttekintett eredményeket a többi leányvállalat szakembereivel is megosztani. Így a rendszer fejlesztése és az általa elért eredmények mindenképpen hasznosak a bútorigipari vállalat számára már nemzetközi szinten is.

5.4. A fejezet összegzése

A fejezet során bemutatott vizsgálatok az előző fejezetben részletezett keretrendszerre épülnek. Azt felhasználva fogalmaztam meg kérdéseket és válaszokat, amelyek a vállalat energiafelhasználási működését két nagyobb aspektusból vizsgálták meg. Az első nézőpont a közvetlen termelést végző gépek energiagazdálkodási és termelési adatait vetette össze és azokat elemezte részletekbe menően. A második aspektus a vállalat területén működő összes energiámért berendezés felhasználásait vizsgálta és elemezte. A fejezetben bemutatásra került számos összesítő és részletező táblázat, valamint a működést és az elemzéseket leíró diagramok is. A fejezet utolsó alpontjában megfogalmaztam egy általános folyamatot, amely az Ipar 4.0-hoz kapcsolódóan ad meg támpontokat, valamint az általam vizsgált vállalatnál a megszerzett tudás megosztását ismertettem.

A 63. ábra összesíti a 2017-2018 gazdasági év energiafelhasználását (2018 májusáig). Az eddig felhasznált kWh fogyasztás mindkét kördiagram jobb alsó sarkában látható (*a fejlesztéseim és a kutatásaim előtt csak ezzel az egy adattal rendelkeztek a vállalat vezetői*). A bal oldalon lévő kördiagramon a piros cikkely jelzi azt az energiafelhasználást, amely még ismeretlen forrásból érkezik, míg a többi körcikk a kisebb-nagyobb fogyasztású gépek energiafelhasználását jelzik. A jobb oldali kördiagramon ugyanez látható, viszont ott az ismert nagyfogyasztókat összegeztem sötétzöld, míg a kisfogyasztókat világoszöld színnel, így jobban kivehető, hogy a teljes felhasználás kb. 65% ismert már a cégnél és ezt a százalékértéket kell növelni újabb szenzorok kihelyezésével, gépek és berendezések a keretrendszerbe való bevonásával.



63. ábra: A vállalat összes (ismert és ismeretlen forrásból adódó) energiafelhasználása (Forrás: saját ábra)

A fejezet során bemutatott legfontosabb tudományos eredményem:

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.

6. Összefoglalás

A dolgozatomban bemutatam olyan ipari területen alkalmazható és bevezetett megoldásokat, amelyek segítségével különböző gyártási folyamatok optimalizálásra kerültek. Ehhez először feldolgoztam a tudományos és a szakmai publikációkat. Három példán keresztül megismertem, hogy hogyan működnek az ilyen feladatok megoldására létrehozott keretrendszerek. Megvizsgáltam a témához kapcsolódó legfrissebb IT technológiákat abból a szempontból is, hogy én melyeket tudom alkalmazni a saját keretrendszereim létrehozása során. Ezután bemutatam az Ipar 4.0 ajánlásait és a lehetséges elemzési irányvonalait. Röviden kitértem az egyedi fejlesztésű termelési megoldásokra, majd utána az Ipar 4.0 és a termelés- valamint energiamenedzsment összehangolásának lehetőségeit vettem számba. Az energiagazdálkodás során alkalmazható szabványok ajánlásai is alapját képezik a keretrendszereimnek. Ezután összefoglaltam, hogy az elemzések során milyen kulcsfontosságú mutatószámok működhetnek az iparban és hogyan kell ezeket a mutatószámokat megtervezni, illetve megvalósítani a vállalatoknál.

Az egyik általam kialakított keretrendszer segítségével egy bútorigipari 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 szoftvereszközeit 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 halmaza 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 meghozni a termelés irányításával kapcsolatban. A vizsgálatokat két nézőpontból készítettem el. Az első nézőpont szerint a termelési adatokat és az energiagazdálkodási adatokat együttesen értelmeztem. Kiemeltem, hogy mikor működött hasznosan és haszontalanul egy-egy termelési berendezés. A korábbi napi szintű aggregált adat helyett, most már a vezetők képesek lefűrni olyan mélységben az alapadatokhoz, hogy akár a 10 perces fogyasztásokkal is tudnak kalkulálni és ellenőrizni a gyártás hatékonyságát. Emellett fontos volt annak a mutatószámnak a bevezetése és vizsgálata, hogy adott terméket milyen hatékonysággal gyártanak adott gépeken és időszakokban. A második nézőpont szerinti vizsgálatok csakis az energiafelhasználásra koncentráltak. A vállalatnál alkalmazott szintekre osztottam szét a berendezéseket a vizsgálatoknál is és így szintenként és időszakonként vizsgáltam a működésüket. Szezonális vizsgálat segítségével elemeztem a berendezések energiafogyasztását és abból vontam le következtetéseket. A vizsgálatok köre mindig bővül, a gyárban tervezik kiterjeszteni a keretrendszerem működését további gépekre is, valamint további mutatószámok segítségével optimalizálni a gyártás folyamatát. Végül egy olyan általános Ipar 4.0-hoz kapcsolható gyártásfejlesztési folyamatot mutattam be, amely más vállalatoknál is sikeresen alkalmazható az hatékonysági problémák megoldására.

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.

7. Kutatási és tudományos eredményeim

Ebben a fejezetben először részletezem a legfontosabb kutatási és tudományos eredményeimet. Majd a következő fejezetben összerendelem az eredményeimet azokkal a publikációkkal (folyóirat cikkekkel, konferencia absztraktokkal, előadásokkal és cikkekkel), amelyeket én írtam vagy adtam elő.

Az „1.2. Kutatás kezdeti főbb kérdései” alfejezetben még kissé bizonytalanul fogalmaztam meg, hogy melyek azok a legfőbb kérdések és problémák, amelyekre kerestem a válaszokat a doktori kutatásaim során. Ezek a következők voltak:

1. *„Hogyan lehet adott gyártási folyamatot optimalizálni?”*
2. *„Hogyan lehet egy vállalati szintű energiagazdálkodási és felügyeleti rendszert bevezetni egy gyárban, amely heterogén rendszereket használ?”*
3. *„Milyen összefüggések feltárásával, elemzések és vizsgálatok elvégzésével lehet segíteni a termelés és az energiagazdálkodás hatékonyabbá tételét egy gyárban?”*

A fenti kérdések bővebb megválaszolásával foglalkozott a disszertációs dolgozatom, ugyanakkor itt néhány pontba szedve szeretném összefoglalni a legfontosabb *kutatási eredményeimet*:

1. 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 bűtoripari környezetben.
2. 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.
3. A termelési folyamatról összegyűjtött adatok segítségével elemzéseket hajtottam végre többek között a fa színére vonatkozóan, amelyek segítették a beszállító kiválasztás stratégiájának kialakítását.
4. Univerzálisan használható adatbázis szerkezetet alakítottam ki, amelybe gyakorlatilag bármilyen szenzoros adatmérőről 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 fejlesztési feladatokra.
5. Az energiagazdálkodási adatokat összekapcsoltam a vállalat termelési adataival (termékek, gyártott mennyiségek, műszakadatok, gépbeállítások). Az így kialakított adatsor alkalmas volt arra, hogy az így összegyűjtött és összekapcsolt adatsorokat egységesen elemezzem.

6. 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.
7. Az elvégzett adatgyűjtések és feldolgozások használatával lehetővé tettem, hogy a vállalat pontosabb éves költségvetési terveket tudjon készíteni.

A disszertációs dolgozat és az elvégzett kutatási munka alapján *új tudományos eredménynek* tekintem a következőket²⁷:

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

Kapcsolódó publikációk:

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]

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

Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikkek: [F2], [F3]

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

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

3. 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.

Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F4]

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

A tézisekhez szorosan nem kapcsolódó további publikációk:

Idegen nyelvű: [K11], [K16], [K17]

Magyar nyelvű: [K9], [K10], [K12], [K13], [K14], [K15]

²⁷ Jelmagyarázat: K = Konferencia absztrakt / előadás / cikk, F = Folyóirat cikk; K vagy F után sorszámozás van. A referenciákat a disszertációs dolgozatom 8. fejezetében részletezem.

8. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája

8.1. Idegen nyelvű folyóiratcikkek

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

Ebben a folyóiratcikkekben ismertettem azokat az gyártási megoldásokat, amelyeket napjainkig sikeresen alkalmaztak a fejlődő ipari vállalatok. Továbbá a jövőbeli leginkább meghatározó irányvonalakat definiáltam. A publikációban ismertettem azt a felügyeleti és irányítási rendszert, amelyet a vizsgált bútorigipari vállalatnál alkalmaztam.

[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.

Ebben a folyóiratcikkekben ismertettük az Ipar 4.0-hoz és annak hálózati megoldásaihoz kapcsolódó technológiai újításokat mutattunk be. Emellett két olyan kiber-fizikai rendszert és azok működését is vizsgáltuk, amelyeket valós ipari körülmények között is alkalmaznak.

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

Ebben a folyóiratcikkekben ismertettem a vállalati folyamatok integrálásának lehetőségeit, valamint azokat az IT technikákat, amelyek támogatják ezeket. Ezután bemutattam két olyan esettanulmányt, amely magyarországi faipari (bútorigipari) vállalatok informatikai kihívásait és azok megoldásait részletezi fizikai és szoftveres lehetőségeket egyaránt számba véve.

[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.

Ebben a folyóiratcikkekben ismertettem a bútorigipari vállalatnál kialakított energetikai keretrendszer kialakításának lépéseit, valamint ennek motivációit. Továbbá a rendszerrel elemezhető kulcsfontosságú mutatószámok mérésére mutattam két konkrét esettanulmányt.

8.2. Idegen nyelvű konferenci cikkek (absztraktok, előadások 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.

A konferencián a saját fejlesztésű döntéstámogatási keretrendszerünk alapjait és működését mutattuk be egy bútorigipari problémán szemlélítve a hatékonyságát és előnyeit. A rendszer részét képezte egy univerzális adatszerkezet is.

[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.

Ezen a konferencián a már korábban is bemutatott saját fejlesztésű döntéstámogatási rendszerünkkel elért további eredményeket mutattuk be.

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

Ebben az absztraktban és prezentációban ismertettem azokat az gyártási megoldásokat, amelyeket napjainkig sikeresen alkalmaztak a fejlődő ipari vállalatok. Továbbá a jövőbeli leginkább meghatározó irányvonalakat definiáltam. Ennek kapcsán a későbbi folyóiratcikkben ismertettem azt a felügyeleti és irányítási rendszert, amelyet a vizsgált bútorigipari vállalatnál alkalmaztam.

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

A konferenciacikkben és előadásban ismertettem a 4. ipari forradalom legújabb vívmányait. Röviden bemutattam nyolc esettanulmányt, amelyek egyedi fejlesztésekhez kapcsolódnak az iparban. Egyet kiemeltem ezek közül, amely a faiparhoz és a bútorigiparhoz kapcsolódott. Ehhez kapcsolódóan a faanyagok természetes színét és azok befolyásoló tényezőit is kutattam.

[K5] A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „The 4th industrial revolution's challenges at the wood industrial manufactories”, XIII. OGIK Gazdaságinformatikai Konferencia, Dunaújváros, 2016, pp. 15-17.

Ebben az absztraktban és prezentációban ismertettem a vállalati folyamatok integrálásának lehetőségeit, valamint azokat az IT technikákat, amelyek támogatják ezeket. Ennek kapcsán a későbbi folyóiratcikkben két olyan esettanulmányt mutattam be, amely magyarországi faipari (bútorigipari) vállalatok informatikai kihívásait és azok megoldásait részletezi fizikai és szoftveres lehetőségeket egyaránt számba véve.

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

Ebben az absztraktban és prezentációban ismertettem a bútorigipari vállalatnál kialakított energetikai keretrendszer kialakításának lépéseit, valamint ennek motivációit. Ennek kapcsán a későbbi folyóiratcikkben a rendszerrel elemezhető kulcsfontosságú mutatószámok mérésére mutattam két konkrét esettanulmányt.

8.3. Magyar nyelvű konferenciacikkek (absztraktok, előadások és teljes cikkek)

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

Termelésinformatikai trendek és három esettanulmány bemutatása. Továbbá ezek beépítésének lehetősége a gazdaságinformaticus hallgatók oktatásába.

[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.

Energiamenedzsmenthez kapcsolódó mintarendszer kialakítása egy bútorigipari vállalatnál. Elsősorban a rendszer fizikai és szoftveres megoldásaira koncentrálnak készült ez a konferenciacikk és előadás.

8.4. Tézisekhez nem kapcsolódó további konferenciapublikációk (absztraktok, előadások és teljes cikkek)

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

Konferencia absztraktunkban és előadásunkban egy felsőoktatási rendszert mutattunk be, amely a hallgatók különböző Balanced ScoreCard alapú paramétereire épült.

[K10] Gludovátz A.: „Erdészeti döntéstámogatás Magyarországon”, NyME FMK Doktoranduszi konferencia, Sopron, 2010.

A konferencia előadásban a hazai és a nemzetközi projektekben való részvétel motivációit, illetve várható eredményeit mutattam be.

[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.

A konferenciacikkben és előadásban bemutattuk a Nyugat-Magyarországi Egyetem hallgatói teljesítményének anoním módon történő elemzését különböző technikák (adatbányászat, Balanced ScoreCard) segítségével.

[K12] Bencsik G., Gludovátz A., Bacsárdi L.: „Tudásmenedzsment módszerek faipari alkalmazása”, Inno Lignum kiállítás, Sopron, 2010. szeptember 10. Innovatív technológiák és termékek a faiparban szekció.

Az előadás során különböző tudásmenedzsment alkalmazásokat vettünk számba és mutattunk be. Továbbá ezek faipari kapcsolódási lehetőségeire is kitértünk.

[K13] Gludovátz A.: „Integrált informatikai elemző keretrendszer alkalmazása interdiszciplináris környezetben”, Doktoranduszi konferencia, absztrakt, Sopron, 2011.

Egy elnyert TÁMOP projekt keretében saját döntéstámogatási keretrendszer építésébe kezdtünk, amely rendelkezett adatgyűjtő, -tisztító, -elemző komponensekkel. Ezt a keretrendszert alkalmaztuk erdészeti és faipari problémák megoldására.

[K14] Bencsik G., Gludovátz A., Jereb L.: „Integrált informatikai elemző keretrendszer alkalmazása a magyar felsőoktatásban”, Informatika a felsőoktatásban 2011 konferencia, Debrecen, pp. 1040-1047.

Az imént [K14] említett keretrendszert alkalmaztuk felsőoktatási adatokon, amelyeket a NEPTUN rendszerből nyertünk ki anoním módon.

[K15] Gludovátz A., Jereb L.: „Univerzális elemző keretrendszer gazdasági alkalmazása”, Doktoranduszi konferencia, Sopron, 2012.

Kutatási és fejlesztési eredményeim bemutatása, ipari kapcsolat kiemelése, elemzések háttérének és eredményeinek rövid összefoglalása.

[K16] G. Bencsik, A. Gludovátz, L. Jereb: „Decision support framework with wood industrial application”, Eight International PhD & DLA Symposium: Architectural, engineering and information sciences, Pécs, 2012, pp. 30.

Egy saját fejlesztésű döntéstámogatási rendszert mutattunk itt be, amelybe saját adatgyűjtő és -elemző algoritmusokat implementáltunk.

[K17] G. Bencsik, A. Gludovátz: „Experience with universal data analyses”, Umeå, Svédország, előadás, 2013.

Egy erdészeti nemzetközi projektrésztétel kapcsán készítettük ezt az előadást. Az előadásban az erdészethez kapcsolódó döntéstámogatási lehetőségeket vettük át, valamint informatikai szempontból bemutattuk az univerzális kezelését az adatoknak és a technikáknak.

9. Irodalomjegyzék

- [1] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, T. Watson: „The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework”, *Computers in Industry*, Vol. 101, 2018, pp. 1-12.
- [2] S. Wang, J. Wan, D. Li, C. Zhang: „Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- [3] T. Fleiter, J. Schleich, P. Ravivanpong: „Adoption of energy-efficiency measures in SMEs—An empirical analysis based on energy audit data from Germany”, *Energy Policy*, Volume 51, 2012, pp. 863-875, ISSN 0301-4215.
- [4] 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.
- [5] L. B. Christoffersen, A. Larsen, M. Togeby: „Empirical analysis of energy management in Danish industry”, *Journal of Cleaner Production* 14 (2006), pp. 516-526.
- [6] P. Thollander, M. Ottosson: „Energy management practices in Swedish energy-intensive industries”, *Journal of Cleaner Production* 18, 2010, pp. 1125-1133.
- [7] 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.
- [8] V. Mayer-Schönberger – K. Cukier: „Big Data - A Revolution That Will Transform How We Live”, *Work, and Think*, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, Boston, 2013.
- [9] J. Heizer, B. Render, C. Munson: „Operations Management – Sustainability and Supply Chain Management”, Pearson Education Limited, 12th Edition, 2017, pp. 673-714, ISBN-10: 1-292-14863-2.
- [10] P. J. Martínez-Jurado, J. Moyano-Fuentes: „Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review”, *Original Research Article Journal of Cleaner Production*, Volume 85, 2014, pp. 134-150.
- [11] T. Björkholm, J. Björkholm: „Kanban in 30 Days”, Impackt Publishing, 2015.
- [12] M. Hammarberg, J. Sundén: „Kanban in Action”, Manning Publications, 2014.
- [13] S. Sakakibara, B. B. Flynn, R. G. Schroeder, W. T. Morris: „The Impact of Just-in-Time Manufacturing and Its Infrastructure on Manufacturing Performance”, *Management Science*, 1997, pp. 1246-1257.
- [14] R. Chase, D. Stewart: „Make your service fail-safe”, *Sloan Management Review* 35, 1994, pp. 35-44.
- [15] R. M. Soley: „The Industrial Internet: Opportunities, Disruptions & Standards”, IoT for the optimization of manufacturing conference presentation, Budapest, 2015.
- [16] H. D. Morris, S. Ellis, J. Feblowitz, K. Knickle, M. Torchia: „A Software Platform for Operational Technology Innovation”, International Data Corporation, 2014.

- [17] 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.
- [18] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami: „Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Future Generation Computer Systems* 29, 2013, pp. 1645-1660.
- [19] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin: „An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, *INFOCOM*, 2002, pp. 1567-1576.
- [20] D. Thangavel, X. Ma, A. Valera, H. Tan, C.K. Tan, „Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware”, *Intelligent Sensors Sensor Networks and Information Processing*, 2014, ISBN: 978-1-4799-2843-9.
- [21] H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, S. Woelfflé: „Vision and Challenges for Realising the Internet of Things”, *Cluster of European Research projects on the Internet of Thing*, 2010, pp. 153-164.
- [22] K. E. Martin: „Ethical Issues in the Big Data Industry”, *MIS Quarterly Executive*, 2015, pp. 67-85.
- [23] A. Gandomi, M. Haider: „Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics”, *International Journal of Information Management*, Vol. 35, 2016, pp. 137-144.
- [24] P. Mell, T. Grance: „The NIST Definition of Cloud Computing”, *Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, MD 20899-8930, September 2011.
- [25] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, *Pearson Education Limited*, 7th International Edition, 2017, pp. 185-201, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [26] Y. Nugraha Bahar, C. Pere, J. Landrieu, C. Nicolle: „A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform”, *Buildings*, Vol. 3(2), 2013, pp. 380-398.
- [27] C. Liua, C.-L. Siab, K.-K. Wei: „Adopting organizational virtualization in B2B firms: An empirical study in Singapore”, *Information & Management*, Vol. 45, Issue 7, 2008, pp. 429-437.
- [28] K. C. Laudon, J. P. Laudon: „Management Information Systems – Managing the Digital Firm”, *Pearson Education Limited*, 15th Edition, pp. 213, 2018, ISBN-10: 1-292-21175-X.
- [29] D. Acemoglu, P. Aghion, C. Lelarge, J. Van Reenen, F. Zilibotti: „Technology, Information, and the Decentralization of the Firm”, *The Quarterly Journal of Economics*; Vol. 122 (4), 2007, pp. 1759-1799.
- [30] C. Homburg, W. D. Hoyer, M. Fassnacht: „Service Orientation of a Retailer’s Business Strategy: Dimensions, Antecedents, and Performance Outcomes”, *Journal of Marketing*, Volume 66 (4), 2002, pp. 86-101.

- [31] S. Byggeth, G. Broman, K.-H. Robèrt: „A method for sustainable product development based on a modular system of guiding questions”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 15, Issue 1, 2007, pp. 1-11, ISSN: 0959-6526.
- [32] P. Dallasega, R. A. Rojas, E. Rauch, D. T. Matt: „Simulation Based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-time-capability in ETO Production Planning”, *Procedia Manufacturing*, Volume 11, 2017, pp. 846-853, ISSN: 2351-9789.
- [33] D. L. Mills: „Improved algorithms for synchronizing computer network clocks”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume 3, Issue 3, 1995, pp. 245-254.
- [34] X. Li and L. George: „A Survey of Switched Ethernet Solutions for Real-time Audio/Video Communications”, *Building Wireless Sensor Networks*, edited by Smain Femmam,, Elsevier, 2017, pp. 1-30, ISBN: 9781785482748.
- [35] IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for for Networked Measurement and Control Systems, <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1588-2008.html> [Online, Utolsó megtekintés dátuma: 2017. december 18.]
- [36] T. Cooklev, J. Eidson, and A. Pakdaman: „An implementation of IEEE 1588 over IEEE 802.11b for synchronization of wireless local area network nodes”, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Volume 56 (5), 2007, pp. 1632-1639.
- [37] G. M. Garner, H. Ryu: „Synchronization of audio/video bridging networks using IEEE 802.1AS”, *IEEE Communications Magazine*, Volume 49, Issue 2, 2011.
- [38] D. Harrington, R. Presuhn, B. Wijnen: „An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks”, *IETF RFC 3411*, 2002.
- [39] R. Enns: „NETCONF Configuration Protocol”, *IETF RFC 4741*, 2006.
- [40] M. Björklund, YANG: „A Data Modeling Language for NETCONF”, *IETF RFC 6020*, 2010.
- [41] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, I. Chlamtac: „Internet of things: Vision, applications and research challenges”, *Ad Hoc Networks*, Volume 10, Issue 7, 2012, pp. 1497-1516, ISSN: 1570-8705.
- [42] M. Ammar, G. Russello, B. Crispo: „Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks”, *Journal of Information Security and Applications*, Volume 38, 2018, pp. 8-27, ISSN: 2214-2126.
- [43] R. H. Weber: „Internet of Things – New security and privacy challenges”, *Computer law & security review* 26, 2010, pp. 23-30.
- [44] K. C. Laudon, J. P. Laudon: „Management Information Systems – Managing the Digital Firm”, Pearson Education Limited, 15th Edition, 2018, pp. 256-259, ISBN 10: 1-292-21175-X.
- [45] Eight Level of Analytics, In SASCOM Magazin, 2008, http://alliantmgmt.com/yahoo_site_admin/assets/docs/8_Levels_of_Analytics.149110024.pdf [Online, Utolsó megtekintés dátuma: 2018. június 12.]

- [46] J. Heizer, B. Render, C. Munson: „Operations Management – Sustainability and Supply Chain Management”, Pearson Education Limited, 12th Edition, 2017, pp. 143-196, ISBN-10: 1-292-14863-2.
- [47] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 119-141, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [48] Heteyi J.: ERP rendszerek Magyarországon a 21. században, ComputerBooks kiadó, 2004.
- [49] Dr. Kacsukné Bruckner L., Kiss T.: Bevezetés az üzleti informatikába, Akadémiai Kiadó Zrt., Budapest 2009, pp. 136-138, 243-244.
- [50] David L. Olson, B. Johansson, R. Atem De Carvalho: „Open source ERP business model framework”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 50, 2018, pp. 30-36, ISSN: 0736-5845.
- [51] G. Salvendy: „Handbook of Industrial Engineering”, John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [52] J. Heizer, B. Render, C. Munson: „Operations Management – Sustainability and Supply Chain Management”, Pearson Education Limited, 12th Edition, 2017, pp. 601-622, ISBN-10: 1-292-14863-2.
- [53] T. F. Wallace, M. H. Kremzar: „ERP - Vállalatirányítási rendszerek”, HVG Könyvek Kiadó, 2006, ISBN: 9789637525933.
- [54] R. Verma: „Management science, theory of constraints/optimized production technology and local optimization”, Omega, Volume 25, Issue 2, 1997, pp. 189-200, ISSN: 0305-0483.
- [55] H.-H. Hvolby, K. Steger-Jensen: „Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems”, Computers in Industry, Volume 61, Issue 9, 2010, pp. 845-851, ISSN: 0166-3615.
- [56] Polónyi I.: „Tevékenységmenedzsment”, Debreceni Egyetem – Közgazdaságtudományi Kar jegyzet, 2007.
- [57] Ohno, Taiichi: „Toyota Production System - beyond large-scale production”, Productivity Press, 1988, pp. 29. ISBN: 0-915299-14-3.
- [58] C. Vila, J. V. Abellán-Nebot, J. C. Albiñana, G. Hernández: „An Approach to Sustainable Product Lifecycle Management (Green PLM)”, Procedia Engineering, Volume 132, 2015, pp. 585-592, ISSN: 1877-7058.
- [59] Y. Zhang, S. Ren, Y. Liu, T. Sakao, D. Huisingh: „A framework for Big Data driven product lifecycle management”, Journal of Cleaner Production, Volume 159, 2017, pp. 229-240, ISSN: 0959-6526.
- [60] European Environment Agency. The European Environment State and Outlook 2010.
- [61] International Energy Agency (IEA). International Energy Outlook 2013.
- [62] U.S Energy Information Administration, 2009. International Energy Outlook 2009: World Energy and economic Outlook.

- [63] F. Tao, Y. Wang, Y. Zuo, H. Yang, M. Zhang: „Internet of Things in product life-cycle energy management”, *Journal of Industrial Information Integration* 1, 2016, pp. 26-39.
- [64] U.G. Wegst, M.F. Ashby: „Materials selection and design of products with low environmental impact”, *Adv. Eng. Mater.* 4 (6), 2002, pp. 378–383.
- [65] J. Stark: „Product Lifecycle Management”, Springer International Publishing, 2015, pp. 1-29.
- [66] R. Van Kranenburg, E. Anzelmo, A. Bassi, D. Caprio, S. Dodson, M. Ratto: „The Internet of things. A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of RFID”, *Network Notebooks*, 2011.
- [67] B. Jovanovic, J. Filipovic: „ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 112, Part 4, 2016, pp. 2744-2755, ISSN: 0959-6526.
- [68] B. Gopalakrishnan, K. Ramamoorthy, E. Crowe, S. Chaudhari, H. Latif: „A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 7, 2014, pp. 154-165, ISSN: 2213-1388.
- [69] ISO 22400, Automation systems and integration -- Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22400:-1:ed-1:v1:en> [Online, Utolsó megtekintés dátuma: 2018. január 11.]
- [70] S. T. Foster: „Managing Quality – Integrating the Supply Chain”, Pearson Education Limited, 2017, ISBN-10: 1-292-15421-7.
- [71] G. Hale, C. Hemenway: „ISO 14000 Will Likely Join the Regulatory Framework”, *Quality Digest* Volume 16 (2), 1998, pp. 29-34.
- [72] S. A. Ates, N. M. Durakbasa: „Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey”, *Energy*, Volume 45, Issue 1, 2012, pp. 81-91, ISSN: 0360-5442.
- [73] K. Vikhorev, R. Greenough, N. Brown: „An advanced energy management framework to promote energy awareness”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 43, 2013, pp. 103-112, ISSN: 0959-6526.
- [74] K. Bunse, M. Vodicka, P. Schönlsleben, M. Brühlhart, F. O. Ernst: „Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issues 6-7, 2011, pp. 667-679, ISSN: 0959-6526.
- [75] C. Schmidt, W. Li, S. Thiede, B. Kornfeld, S. Kara, C. Herrmann: „Implementing Key Performance Indicators for Energy Efficiency in Manufacturing”, *Procedia CIRP* 57, 2016, pp. 758-763.

- [76] J. Hrebicek, J. Soukopová, M. Stencl, O. Trenz: „Corporate Key Performance Indicators For Environmental Management And Reporting”, *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Volume 59 Issue 14, 2011, pp. 99-107.
- [77] C-F. Lindberg, S. Tan, JY. Yan, F. Starfelt: „Key performance indicators improve industrial performance”, *Energy Procedia* 75, 2015, pp. 1785-1790.
- [78] W. Cai, F. Liu, H. Zhang, P. Liu, J. Tuo: „Development of dynamic energy benchmark for mass production in machining systems for energy management and energy-efficiency improvement”, *Applied Energy*, Volume 202, 2017, pp. 715-725, ISSN: 0306-2619.
- [79] H. A. ElMaraghy, A. M.A. Youssef, A. M. Marzouk, W. H. ElMaraghy: „Energy use analysis and local benchmarking of manufacturing lines”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 163, 2017, pp. 36-48, ISSN: 0959-6526.
- [80] J. Sánchez-Ortiz, T. García-Valderrama, V. Rodríguez-Cornejo: „Towards a balanced scorecard in regulated companies: A study of the Spanish electricity sector”, *The Electricity Journal*, Volume 29, Issue 9, 2016, pp. 36-43, ISSN: 1040-6190.
- [81] S. H. Wang, S-P. Chang, P. Williams, B. Koo, Y-R. Qu: „Using Balanced Scorecard for Sustainable Design-centered Manufacturing”, *Procedia Manufacturing*, Volume 1, 2015, pp. 181-192, ISSN: 2351-9789.
- [82] M. Wynder: Chemico: „Evaluating performance based on the Balanced Scorecard”, *Journal of Accounting Education*, Volume 28, Issues 3-4, 2010, pp. 221-236, ISSN: 0748-5751.
- [83] Alpár T.: „Gyártásszervezés támogatása a faiparban”, IOT4U konferencia előadás, Budapest, 2016. december 6.
- [84] Újvári F.: „A FESTO termelési rendszerének bemutatása”, Magyar Logisztikai, Beszerzési és Készletezési Társaság (MLBKT) konferencia előadás, 2005.
- [85] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 69-71, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [86] A. Gludovátz, L. Bacsárdi: „Production Related IT Solutions in the Operation of Factories”, 17th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, 17-19. November 2016, Budapest, Hungary, pp. 187-191.
- [87] G. Liu, J. Yang, Y. Hao, Y. Zhang: „Big data-informed energy efficiency assessment of China industry sectors based on K-means clustering”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 183, 2018, pp. 304-314, ISSN: 0959-6526.
- [88] C. Emmer, K.-H. Glaesner, A. Pfouga, J. Stjepandic: „Advances in 3D Measurement Data Management for Industry 4.0”, *Procedia Manufacturing*, Volume 11, 2017, pp. 1335-1342, ISSN: 2351-9789.
- [89] S. Garetto: „Firms’ heterogeneity, incomplete information, and pass-through”, *Journal of International Economics*, Volume 101, 2016, pp. 168-179, ISSN: 0022-1996.

- [90] W. Chen, K. Zhou, S. Yang, C. Wu: „Data quality of electricity consumption data in a smart grid environment”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 75, 2017, pp. 98-105, ISSN: 1364-0321.
- [91] G. Chen, X. Zhang, Z. J. Wang, F. Li: „Robust support vector data description for outlier detection with noise or uncertain data”, *Knowledge-Based Systems*, Volume 90, 2015, pp. 129-137, ISSN: 0950-7051.
- [92] S. Zhang, Q. Chen, Q. Yang: „Acquiring knowledge from inconsistent data sources through weighting”, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 69, Issue 8, 2010, pp. 779-799, ISSN: 0169-023X.
- [93] Denkinger Géza: *Valószínűségyszámítás*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 1997.
- [94] J. Heizer, B. Render, C. Munson: „Operations Management – Sustainability and Supply Chain Management”, Pearson Education Limited, 12th Edition, 2017, pp. 829-846, ISBN-10: 1-292-14863-2.
- [95] Tolvaj L.: *A faanyag optikai tulajdonságai*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2013.
- [96] Molnár S.: „Faanyagismeret”, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, Budapest, 1999.
- [97] Németh K.: „A faanyag degradációja”, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, 1998.
- [98] Dr. Ábrahám Gy., Dr. Wenzelné Gerőfy K., Dr. Antal Á., Dr. Kovács G.: „Műszaki optika”, BME MOGI Kiadó, 2015, ISBN: 978-963-313-202-9.
- [99] Persze L.: „A fotodegradációs folyamat színváltoztató hatása a bútoriparban felhasználható faanyagoknál”, doktori disszertáció, Sopron, 2014.
- [100] G. Bradski, A. Kaehler: „Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library”, O’Reilly Media Inc., 2008.
- [101] J. Canny: „A Computational Approach to Edge Detection”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, 1986.
- [102] A. R. Smith: „Color Gamut Transform Pairs”, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Volume 12 Issue 3, 1978, pp. 12-19.
- [103] D. Malacara: „Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications”, SPIE Press, 2nd Edition, Bellingham, WA, 2011.
- [104] P. A. Laplante, Seppo J. Ovaska: „Real-Time Systems Design and Analysis”, IEEE Press, 4th Edition, 2011.
- [105] G. May, B. Stahl, M. Taisch, D. Kiritsis: „Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 167, 2017, pp. 1464-1489, ISSN: 0959-6526.
- [106] K. C. Laudon, J. P. Laudon: „Essentials of MIS”, Pearson Education Limited, 12th Edition, 2015, pp. 245-247, 408-430, ISBN 10: 1-292-15377-6.

- [107] M. Rudberg, M. Waldemarsson, H. Lidestam: „Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry”, *Applied Energy*, Volume 104, 2013, pp. 487-496, ISSN: 0306-2619.
- [108] F. Shrouf, G. Miragliotta: „Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 100, 2015, pp. 235-246, ISSN: 0959-6526.
- [109] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 153-171, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [110] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: *Experiencing MIS*, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 277-297, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [111] M. Wei, S. H. Hong, M. Alam: „An IoT-based energy-management platform for industrial facilities”, *Applied Energy*, Volume 164, 2016, pp. 607-619, ISSN: 0306-2619.
- [112] Gludovatz A., Bacsardi L.: „Ipar 4.0 ajanlasait tamogato mintarendszer kiepıtese egy butoripari vallalatnal”, *Informatika a felsooktatasban konferencia*, Debrecen, 2017 augusztus 29-31., pp. 341-352.
- [113] G. May, I. Barletta, B. Stahl, M. Taisch: „Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency”, *Applied Energy* 149, 2015, pp. 46-61.
- [114] T. H. H. Pham: „Energy management systems and market value: Is there a link?”, *Economic Modelling*, Volume 46, 2015, pp. 70-78, ISSN: 0264-9993.
- [115] K. C. Laudon, J. P. Laudon: „Management Information Systems – Managing the Digital Firm”, Pearson Education Limited, 15th Edition, pp. 514-553, 2018, ISBN-10: 1-292-21175-X.
- [116] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 550, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [117] G. Bencsik, L. Bacsardi: „Novel methods for analyzing random effects on ANOVA and regression techniques”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, 2016, pp. 499-509, ISSN 2194-5357.
- [118] G. Bencsik: „Decision support and its relationship with the random correlation phenomenon”, *Dissertation*, 2016.
- [119] Lukacs O.: „Matematikai statisztika”, Muszaki Konyvkiado, Budapest, 1996.
- [120] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 75-78, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [121] D. M. Kroenke, R. J. Boyle: „Experiencing MIS”, Pearson Education Limited, 7th International Edition, 2017, pp. 91-116, ISBN-10: 1-292-16357-7.
- [122] K. C. Laudon, J. P. Laudon: „Management Information Systems – Managing the Digital Firm”, Pearson Education Limited, 15th Edition, 2018, pp. 444-479, ISBN-10: 1-292-21175-X.

10. Ábrajegyzék

1. ábra: 1974-től 2014-ig a tanulmányok fókuszja a szisztematikus kutatás alapján: (a) ország szerint, (b) ipari szektor szerint (Forrás: [7]).....	2
2. ábra: Összefoglaló az ipari forradalmakról (a vízszintes tengelyen az idő előrehaladását a függőleges tengelyen a komplexitás fokát jelölték; Forrás: https://blogs.sap.com/2015/06/30/industry-40-fourth-industrial-revolution/)	8
3. ábra: Elmozdulás a reaktívól a proaktív döntések felé (Forrás: Thomas Schulz: Digitális forradalom a modern gyártásban, IoT a Gyártás Optimalizálásért konferencia, 2015, Budapest)	10
4. ábra: A GE-nél alkalmazott Predix keretrendszer architektúrája (Forrás: Thomas Schulz: Digitális forradalom a modern gyártásban, IoT a Gyártás Optimalizálásért konferencia, 2015, Budapest)	11
5. ábra: A SensorHUB felügyeleti és adatelemzési keretrendszer architektúrája és folyamatai (Forrás: [17]).....	12
6. ábra: Az Aneka keretrendszer architektúrája és folyamatai (Forrás: [18])	13
7. ábra: Termék életciklus menedzsment főbb folyamatai és alrészei (Forrás: [63][60]).....	21
8. ábra: Kulcsfontosságú mutatószámok fejlesztési folyamatai a tervezés és az adatforrások tekintetében (Forrás: [75])	27
9. ábra: A faanyagok színértékeihez viszonyított darabszám a rendszerben (Forrás: saját ábra)	35
10. ábra: A faanyagok feldolgozási, minőségellenőrzési folyamata az előgyalulás előtt, alatt és után (Forrás: saját ábra)	37
11. ábra: Az alaprendszer (balra) és a kiterjesztett rendszer (jobbra) elemei (Forrás: saját ábra)	37
12. ábra: A felügyelő, irányító és adatgyűjtő alkalmazás felhasználói felülete (Forrás: saját ábra).....	39
13. ábra: A felügyelő, irányító és adatgyűjtő alkalmazás beállítási lehetőségei (Forrás: saját ábra).....	40
14. ábra: Exponenciális regresszió számítás: balra az alkalmazásban, jobbra az Excel-ben (Forrás: saját ábrák).....	44
15. ábra: Véletlenszerű hibagenerálás az adatsorban (ítélethibát generál véletlenszerűen: "Nope" címkével) (Forrás: saját ábra)	45
16. ábra: Kiugró értékek detektálása (vízszintes tengelyen a deszka azonosítói, függőleges tengelyen a színértékek láthatók) (Forrás: saját ábra).....	46
17. ábra: Fahibák típusa (fekete göcs, lap- és bütürepedés, bélfolt) (Forrás: saját ábrák)	47
18. ábra: Első vizsgálat eredményei (fahiba: bélfolt) (Forrás: saját ábra)	51
19. ábra: Második vizsgálat eredményei (fahiba: bélfolt) (Forrás: saját ábra)	51

20. ábra: Harmadik vizsgálat eredményei (fahiba: egészséges tűgöcs) (Forrás: saját ábra).....	52
21. ábra: Negyedik vizsgálat eredményei (fahiba: fekvő tükrösség) (Forrás: saját ábra)	52
22. ábra: Ötödik vizsgálat eredményei (fahiba: fekete göcs) (Forrás: saját ábra)	52
23. ábra: A három mintakép kicsinyített változata, amelyek színvizsgálatra kerültek a rendszerekben.....	55
24. ábra: 1. deszka képe (Forrás: saját ábra)	56
25. ábra: 1. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)	56
26. ábra: 2. deszka képe (Forrás: saját ábra)	57
27. ábra: 2. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)	57
28. ábra: 3. deszka képe (Forrás: saját ábra)	57
29. ábra: 3. videó pillanatképe (Forrás: saját ábra)	58
30. ábra: Az egyik üzem alaprajza a gyárban található gépekkel és egy mintafolyamattal, ahogy az alapanyagok elindulnak és a végén késztermék lesz belőlük.....	61
31. ábra: Pillanatkép a SCADA rendszer működéséről (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona) ..	64
32. ábra: Összegzett energiafelhasználás az üzemekben (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)	65
33. ábra: Mérőműszerek (balra: PM3250 és jobbra: PM9) (Forrás: saját fotók).....	68
34. ábra: Hálózati topológia (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona)	69
35. ábra: Az energiafelhasználás adatainak adatbázis diagramja (Forrás: saját ábra)	70
36. ábra: Az alaptáblák (sorrendben: berendezes, me_tipusok, parameter) néhány mintasorral (Forrás: saját ábrák).....	71
37. ábra: A „mert_adatok” tábla néhány mintasorral (Forrás: saját ábra)	72
38. ábra: Az „összes_mert_adat” nézet néhány mintasorral (Forrás: saját ábra).....	72
39. ábra: Az adathalmazok összekapcsolása példasorokkal (Forrás: saját ábra).....	74
40. ábra: BI Magic Quadrant (Forrás: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-3TXXSLV&ct=170221&st=sb , Online forrás, utolsó megtekintés dátuma: 2018. 04. 25.)	76
41. ábra: Kiber-fizikai keretrendszerünk architektúrája és adatfolyamai (Forrás: saját ábra) .	78
42. ábra: Villamosenergia hálózat részlete a vállalaton belül (részlet) (Forrás: a vizsgált vállalat tulajdona).....	81
43. ábra: Szűrési feltételek (zölddel az aktuálisan beállított) alul pedig a feltételeknek megfelelő adatok (Forrás: saját ábra)	84
44. ábra: Összesítő táblázat a termelés és az energiafelhasználás napi kapcsolatáról (Forrás: saját ábra)	86
45. ábra: A 2017-2018-as gazdasági év (2018 márciusáig) mért fogyasztási és termelési adatai a keretrendszerben (Forrás: saját ábra)	87
46. ábra: Előgyaluló és felületkezelő gépek hatékonysága a keretrendszer alapján (Forrás: saját ábra).....	88

47. ábra: Az UVsor 3 felületkezelő gép hatékonysága egy véletlenszerűen kiválasztott hét alatt (Forrás: saját ábra)	89
48. ábra: A Hőprés 2 ragasztógép 2017.10.11. napi teljesítménye (Forrás: saját ábra)	90
49. ábra: „Hasznos” energia fogyasztók csökkenő sorrendje és a legyártott darabszámok (szűrt nézet) (Forrás: saját ábra).....	91
50. ábra: „Haszontalan” energia fogyasztók csökkenő sorrendje és a legyártott darabszámok (szűrt nézet) (Forrás: saját ábra)	91
51. ábra: Az energiafogyasztások sorrendje, hasznos és haszontalan együtt, továbbá a legyártott darabszámok (Forrás: saját ábra).....	92
52. ábra: Termelési hatékonyság egy adott terméknél és gépnél (Forrás: saját ábra)	92
53. ábra: Termelési hatékonyság egy másik terméknél és gépnél (Forrás: saját ábra)	93
54. ábra: Szűrők (dátum, idő, gép, üzem, berendezések szintjei) az energiamérés vizsgálatára (Forrás: saját ábra)	95
55. ábra: Részletező táblázat a berendezések energiamérésének jelentésében (részlet) (Forrás: saját ábra)	95
56. ábra: Összes energiafelhasználás a berendezések szintjeiként és időszakonként (részlet) (Forrás: saját ábra)	96
57. ábra: Felhasznált energiameennyiségek berendezésenként és szintenként összesítve csökkenő sorrendben (Forrás: saját ábra)	97
58. ábra: A 4. szintű berendezések adott időszakra vetített energiafelhasználása (napi eredmények) (Forrás: saját ábra)	98
59. ábra: Adott berendezés (elszívó) energiafelhasználása egy kiválasztott időszakban (napi eredmények) (Forrás: saját ábra)	98
60. ábra: Egy trafó adott napi (2017.11.29.) energiafelhasználása 10 perces viszonylatban az átlaghoz képest (Forrás: saját ábra)	99
61. ábra: OTE2 berendezés napi szintű energiafelhasználása és a trendvonal 2017. szeptemberétől 2018. márciusáig (Forrás: saját ábra).....	99
62. ábra: Ötletekből keletkező lehetséges legjobb gyakorlatok (tudás) (Forrás: saját ábra) .	101
63. ábra: A vállalat összes (ismert és ismeretlen forrásból adódó) energiafelhasználása	102

11. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Teljesítményértékek különböző platformokon a képelemzési tesztekénél (Forrás: saját táblázat).....	55
2. táblázat: Összesítő táblázat a faanyagok képes és videós színelemzéséről (Forrás: saját táblázat)	58
3. táblázat: Összefoglaló táblázat a mintarendszer gépeiről, gépsorairól (Forrás: saját táblázat)	66
4. táblázat: Felületkezelési átlagos hatékonyság azonos termékénél különböző gépsorokon (Forrás: saját táblázat)	93

Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretném megköszönni édesanyámnak és édesapámnak, akik mindvégig támogattak az összes lehetséges módon a tanulmányaim és kutatásaim során.

Köszönöm Szerelmemnek, Adrinak a folyamatos biztatást és támogatást, amelyet a kutatásaim során nyújtott. Bencsik Gergely barátomnak és kollégámnak a mindennapi küzdelem során nyújtott segítségeit.

Köszönöm bátyámnak, Gábornak, akihez bármikor fordulhattam, ha valamilyen problémába ütköztem és köszönöm menyasszonyának, Juditnak, aki egy év alatt megtanított németül.

Köszönöm konzulenseimnek, Jereb Lászlónak, akinek a segítségével elindulhattam ezen az izgalmas úton, amely a gyártás optimalizálását jelentette. Bacsárdi Lászlónak a további iránymutatását, akivel céltudatosan haladhattam előre a doktorrá válás folyamatában.

Köszönöm még, hogy a problémák megoldása és a keretrendszerek építése során segítségemre voltak a vizsgált vállalat szakemberei is.

Jelen disszertáció elkészülése során az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-16-3-3 kódszámú (10 hónapos) és az ÚNKP-18-3-3 (5 hónapos) Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatását is sikeresen felhasználtam.

„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-16-3-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.”

„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.”

„Jelen disszertáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.”