

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

KONCZ ADRIENN

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Sopron

2023

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert egyetemi tanár

Doktori program: Informatika az anyagtudományokban

Programvezető: Dr. Hegyháti Máté

Tudományág: anyagtudomány és technológiák

**GYÁRTÁSI ERŐFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNAK FELÜGYELETE ÉS
OPTIMALIZÁLÁSA IOT ESZKÖZÖK ÉS TECHNOLÓGIÁK TÁMOGATÁSÁVAL**

Készítette: Koncz Adrienn

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

Sopron

2023

**GYÁRTÁSI ERŐFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNAK FELÜGYELETE ÉS
OPTIMALIZÁLÁSA IOT ESZKÖZÖK ÉS TECHNOLÓGIÁK TÁMOGATÁSÁVAL**

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

Informatika az anyagtudományokban programja

Írta:
Koncz Adrienn

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola

Informatika az anyagtudományokban programja keretében

Témavezető: **Prof. Dr. Alpár Tibor László**

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

Témavezető: **Dr. Gludovátz Attila**

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori komplex vizsgán **100% -ot** ért el,

Sopron, 2020.06.19.

.....

a Komplex Vizsga Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. Bacsárdi László) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr. Garab József) 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 **Konczi Adrienn**, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a(z) **Gyártási erőforrások felhasználásának felügyelete és optimalizálása IoT eszközök és technológiák támogatásával** című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.¹

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezető(i)met, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2023.04.27.

.....
doktorandusz

¹ **1999. évi LXXVI. tv.** 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Kivonat

Gyártási erőforrások felhasználásának felügyelete és optimalizálása IoT eszközök és technológiák támogatásával

Kutatásomat egy Ipar 4.0 kompatibilis multinacionális bútorigipari vállalatnál végzem, ahol már adott volt egy hardveresen és szoftveresen is jól kiépített kiberfizikai rendszer. Ezzel a rendszerrel valósul meg a vállalatnál a termelési és energiafogyasztási adatok gyűjtése és a folyamatok felügyelete. A kezdetekben az adatgyűjtés csak a termelőgépek energiafogyasztására és a legyártott munkadarabokra vonatkozott. Az én kutatómunkám a meglévő kiberfizikai rendszer fejlesztésével kezdődött. A fejlesztésre azért volt szükség, hogy az adatgyűjtést ki lehessen terjeszteni a termelést támogató berendezések energiafogyasztásának és egyéb paramétereinek, valamint a vízfogyasztás mérésére is.

A vállalat vízfelhasználásának nyomon követésének és a gyűjtött adatok elemzésének köszönhetően sikerült olyan eredményeket elérni, amelyekből megállapíthatóak az esetleges problémák. Például a tűzoltói vízcsapnál a csőtöréseket, meghibásodott szenzorokat a rendszer segítségével sikerült azonosítani.

Az üzemekben működő két nagy termelést támogató berendezéstípus a kompresszorok és az elszívók a legnagyobb villamosenergia fogyasztók a vállalatnál, így fontosnak tartottuk a vizsgálatukat. A kompresszorokat tekintve az egyik cél az volt, hogy az újonnan kihelyezett szenzorok mérjék a kompresszorok által kibocsátott sűrített levegő mennyiségét és villamosenergia fogyasztását. A másik cél az volt, hogy létrehozzunk egy új kulcsfontosságú teljesítménymutatót, amely a kompresszorok által termelt léghőmennyiséget veti össze a villamosenergia fogyasztással. Ez a mutatószám azért fontos, mert ezáltal meg lehet határozni akár minden egyes kompresszorra nézve olyan ideális teljesítmény értékeket, amiket a normális, hatékony és hibamentes működés közben tartania kell. Az elszívókkal kapcsolatban az volt a fő célunk, hogy az általuk fogyasztott villamosenergia fogyasztásokat rá tudjuk terhelni az általuk támogatott termelő gépekre. Ezzel meg tudjuk állapítani azt, hogy egy adott elszívó működése mennyire volt hatékony a termelés közben. A módszertanunk segítségével az indirekt fogyasztásból meg tudtuk határozni a direkt fogyasztási mennyiségeket.

A kutatás következő fázisa a felhő szolgáltatások ipari használata és az energiatudatos munkavégzésre való ösztönzési lehetőségek vizsgálata volt. A felhőszolgáltatások használatával kapcsolatban az egyik eredményünk az erőforrásmenedzsmenttel kapcsolatos, mivel találtunk megoldást arra, hogy a kiberfizikai rendszernek egy részét, az adatbázist és az adatalemző szolgáltatást áthelyezzük a felhőbe. A felhőbe áthelyezett elemző alkalmazással ki lehet számolni a haszontalan energiafogyasztás költségeit, illetve az üzemben lévő számítógépeken közel valós időben nyomon lehet követni a termelőgépek hatékony működését, ezáltal energiatudatosabb munkára készítjük a dolgozókat.

Abstract

Supervision and Optimization the Application of Manufacturing Resources with the Support of IoT Devices and Technologies

I am doing my research at an Industry 4.0 compatible multinational furniture company, where a cyber-physical system was already installed with its hardware and software components. This system is used to collect production and energy consumption data and monitor processes at the company. In the beginning, the data collection only concerned the energy consumption of the production machines and the manufactured workpieces. My research work started with the development of the cyber-physical system. The development was necessary so that the data collection could be extended to measure the energy consumption and other parameters of the production support equipment, as well as the water consumption.

By monitoring the company's water consumption and the analysis of the collected data, it was possible to achieve results from which possible problems in the company can be determined. For example, we identified pipe breaks and malfunctioning sensors at the fire hydrant with the help of the system.

Compressors and extractors, the two types of production support equipment in the plants, are the largest consumers of electricity at the company, so we considered it important to examine their operation. Regarding the compressors, one of the goals was for the newly installed sensors to measure the amount of compressed air emitted by the compressors and the electricity consumption. Another goal was to create a new key performance indicator that compares the amount of air produced by compressors to their electricity consumption. This indicator is important because it allows to determine the ideal performance values for each compressor, which must be maintained during normal, efficient and error free operation. Our main goal regarding the extractors was to be able to charge their electricity consumption to the production machines that they support during processing. In this way, we can determine how efficient the operation of a given extractor was during production. With the help of our methodology, we calculated direct consumption values from indirect consumption values.

The next phase of the research was the examination of the use of cloud services in an industrial environment and the possibilities of encouraging energy conscious work. One of our results in relation to the use of cloud services can be related to resource management. We found a solution to move parts of the cyber-physical system, the database, and the data analysis service to the cloud. With the analytical application operating in the cloud, the costs of useless energy consumption can be calculated, and the efficient operation of the production machines can be monitored in real time on the computers in the plants. This way, the employees are encouraged to work more energy consciously.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1.	Motiváció	2
1.2.	A kutatásom során kitűzött célok és elvárt eredmények	3
1.3.	A doktori disszertáció felépítése	5
2.	Irodalmi áttekintés	7
2.1.	Bevezetés az Ipar 4.0 világába	7
2.1.1.	Internet of Things	8
2.1.2.	Big Data	14
2.1.3.	Cloud Computing	17
2.1.4.	Különbségek Ipar 4.0 és Ipar 5.0 között	26
2.2.	A kutatás során használt ipari rendszerek	31
2.2.1.	Kiberfizikai rendszer	31
2.2.2.	SCADA rendszer	33
2.2.3.	Vállalatirányítási rendszer	38
2.2.4.	Adatelemzésre használt üzleti intelligencia rendszerek	39
2.3.	A fejezet összefoglalása	43
3.	A kiberfizikai rendszer fejlesztése	45
3.1.	Kutatásaim előzményei (2016-2018): a kiberfizikai rendszer kiépítése	45
3.2.	Kiberfizikai rendszer kiterjesztése	48
3.2.1.	A Modbus protokoll és az adatgyűjtéshez használt szenzorok bemutatása	50
3.3.	Az adatbázis átalakítása	57
3.3.1.	2019 előtti adatszerkezet és minta adatai	57
3.3.2.	2019 utáni adatszerkezet és minta adatai (adattranszformációk)	59
3.3.3.	2021-es adatszerkezet adatelemzésre	62
3.4.	A fejezet összefoglalása	63
4.	Vízfogyasztás felügyelete	65
4.1.	Az ipari vízfelhasználásról általánosságban	65
4.2.	A vállalat vízfogyasztásának vizsgálata	66
4.2.1.	Az üzemekben lévő vízpára kibocsátás mennyiségének vizsgálata	67
4.2.2.	Szociális víz fogyasztásának vizsgálata	70
4.2.3.	Tűzoltói gyakorlatok során felhasznált víz	74

4.2.4.	A vízfelhasználással kapcsolatos költségek	75
4.3.	A fejezet összefoglalása	75
5.	Termelést támogató berendezések energiafogyasztásának és egyéb paramétereinek vizsgálata	77
5.1.	Kompresszorok energiafogyasztásával és sűrített levegő kibocsátásával kapcsolatos eredmények.....	77
5.2.	Elszívók energiafogyasztásával kapcsolatos eredmények.....	84
5.2.1.	Közvetlen és közvetett energiafogyasztás kalkulációi	85
5.2.2.	Módszertan szemléltetése (példa kalkuláció).....	86
5.2.3.	Valós működésbeli kalkulációk eredményei	88
5.3.	A fejezetben tárgyalt eredmények és további célkitűzések összefoglalása.....	94
6.	Energiahatékonysági fejlesztések a költségoptimalizálás és az energiatudatosság érdekében	96
6.1.	Erőforrásmenedzsment a felhőben.....	96
6.2.	Az energiafogyasztás pénzügyi oldala	99
6.2.1.	Az alkalmazás megvalósítása.....	100
6.2.2.	A kész alkalmazás diagramjai és szűrői	102
6.3.	Energiatudatos munkavégzés az üzemekben.....	104
6.3.1.	Az alkalmazás megvalósítása.....	106
6.4.	A fejezet összefoglalása	109
7.	Összefoglalás	110
8.	Kutatási és tudományos eredményeim	114
9.	Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája	117
9.1.	Idegen nyelvű folyóiratcikkek	117
9.2.	Idegen nyelvű konferenci cikkek (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények)	117
9.3.	Magyar nyelvű tudományos szakcikkek	117
9.4.	Tézisekhez nem kapcsolódó további konferenciapublikációk	118
10.	Irodalomjegyzék	119
11.	Ábrajegyzék	129
	Köszönetnyilvánítás.....	132

1. Bevezetés

Lassan már közel 240 éve zajlanak ipari forradalmak az egész világon. Az első ipari forradalom kezdetét az 1780-as évekre datálják, amikor megalapították az első gépesített szövőszéket és megnyitották az első gőzgépekkel működő gyárakat. A második ipari forradalom a XIX. század végén zajlott, amikor is már használtak elektromos áramot a gyárban lévő gépek működéséhez. Egy kiemelt esemény a második ipari forradalom korából, hogy egy Cincinnati-ben (USA) található vágóhídon bevezették a futószalag használatát, amivel lehetővé tették az ott lévő munkaelosztást. Ha összehasonlítjuk az első és a második ipari forradalom technológiai sajátosságait, látható, hogy 100 év alatt mekkora fejlődés ment végbe az ipari vállalatokat tekintve. A harmadik ipari forradalom kirobbanására is körülbelül 100 évet kellett várni. A kezdetét 1969-re becsülik, amikor megalkották az első programozható logikai vezérlő egységet, ami lehetővé tette az automatizálást a gyárakban [1]. Emellett informatikai és elektronikai szempontból rohamos fejlődés indult meg szinte az összes gyártási szektorban. Ennek a rohamos fejlődésnek köszönhetően jutottunk el a 2000-es években egy következő ipari forradalom küszöbére [2]. A negyedik ipari forradalom kezdete még mindig vitatott, de legelőször 2011-ben használták a kifejezést a hannoveri expon. Ha megvizsgáljuk együtt mind a négy ipari forradalmat, látható, hogy rövid idő alatt mekkora mértékű technológiai fejlődésen ment keresztül az ipari szektor szinte az egész világon [3]. A gőzmeghajtású gépektől eljutottunk a számítógép vagy mesterséges intelligencia által vezérelt gépekhez, a kézzel feljegyzett termelési és egyéb adatoktól a digitalizált és a felhőben tárolt adatokhoz. Ami még a technológiai fejlődést illeti, fontos megemlíteni, hogy az évek alatt az emberi munkát nagyon sok területen felváltották már a robotok. Ezt sokan negatív tényezőnek titulálják, mert hogy sok munkahely megszűnését eredményezte, de valójában hatalmas segítséget jelent a termelésben, és fel is gyorsítja a gyártási folyamatokat [4]. Például, ha az autóipart nézzük, egy vagy több robot sokkal gyorsabban és egyszerűbben pakolja át A pontból B pontba, szereli össze a nehéz autóalkatrészeket, továbbá egyéb munkafolyamatokat is sokkal kevesebb idő alatt képesek elvégezni, mint az emberek. Természetesen a robotok mellett más előnnyel is jár a negyedik ipari forradalom jelenléte, hiszen időben még mindig zajlik. Ide tartozik például a felhőszolgáltatások használata, informatikai és hálózati biztonság fejlődése, folyamatos adatmérés, legyen szó bármilyen környezeti tényezőről, mint például a hőmérséklet, páratartalom, vagy akár az iparhoz kapcsolódó folyamatokról, mint például a termelési darabszám, áramfogyasztás, állapotfigyelés [5]. Manapság már egy termék gyártása során valóban mindent tudunk mérni, és számokkal alátámasztani. Így tehát, ha most egy bútorigipari példát nézünk, egy teljesen átlagos, fából készült étkezőszékről meg tudjuk mondani, hogy a gyártása során mekkora volt például a villamosenergia és az egyéb erőforrások (víz, sűrített levegő, hőenergia) felhasználásnak mértéke. Ezekből a számokból meg lehet azt is állapítani, hogy pontosan mekkora egy termék értékébe közvetlen és közvetett módon beépülő alapanyagok és erőforrások költsége is. A közvetett költségeket korábban csak valamilyen osztó módszer szerint, vagy tapasztalatokon alapuló becsléssel

lehetett meghatározni, most viszont már adatokra alapozott kalkulációkkal vagyunk képesek kiszámítani az egyre pontosabb közvetett költségek mértékét is [6].

A negyedik ipari forradalom, vagy népszerűbb nevén „Ipar 4.0” adta lehetőségeket használtam fel a kutatásom és munkám során, annak érdekében, hogy új módszereket alkalmazzak egy, már az ilyenfajta fejlődés irányába elinduló bútorigipari vállalatnál [7].

1.1. Motiváció

Amikor 2018. szeptemberében megkezdtem doktori tanulmányaimat, a témavezetőm már az előző 2-3 évben számos eredményt ért el azon a területen, amelyen az én kutatási témám kidolgozását végeztem. A kutatás fő helyszíne egy nemzetközileg is ismert bútorigipari vállalat, ahol 2016-tól kezdődően kialakításra került egy olyan kiberfizikai rendszer, amely képes a villamosenergia fogyasztási adatok gyűjtésére, eltárolására és elemzésére (akár önmagában, akár a termelési adatokkal összevetve együttesen). Az adatok folyása ebben az integrált rendszerben aszerint történik, hogy a szenzorok által mért paraméterek szerinti adatok különböző belső informatikai hálózatokon keresztül eljutnak vagy az épület- és folyamatfelügyeleti (SCADA) rendszerbe (villamosenergia fogyasztási adatok), vagy a vállalatirányítási rendszerbe (termelési adatok). Ezeket az adatokat integráltan, tehát összekapcsoltan vagy önmagukban elemezzük. Az eredményeket olyan üzleti intelligencia alkalmazással és annak jelentéseivel prezentáljuk a helyi vezetőségnek (vagy a vállalat nemzetközi menedzsereinek), amelyek minden szakember számára értelmezhetőek, továbbá hasznos információval szolgálnak a vállalat működését vizsgálóknak.

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

A 2020-as év számomra is változásokat hozott a kutatásomat tekintve, mivel a koronavírus járvány elérte Magyarországot is, így a vállalat dolgozóinak nagy része otthoni munkavégzésre kényszerült. Ez a változás új kihívásokat és célokat adott, mivel megalkothattam olyan alkalmazásokat a vállalat rendszeréhez, amiket mi is és a vállalat dolgozói is elérünk a felhőn keresztül, tehát bárholon nyomon tudjuk követni a termeléssel és energiafogyasztással kapcsolatos adatokat.

2022. elejétől egyre csak közeledett a doktori tanulmányaim vége, egy újabb negatív világszintű esemény szintén újabb lehetőséget adott nekünk a fejlődésre és megújulásra. A jelenleg zajló energiaválság most főleg arra készíti az embereket, és főleg a vállalatokat, hogy az erőforrásait még hatékonyabban használják fel, és törekedjenek a pazarlásmentes folyamatokra. Itt értem például a villamosenergia, víz és egyéb erőforrások optimális felhasználását. Ehhez viszont szükség van mindenképpen egy jól felépített hardveres és szoftveres rendszerre, és a megfelelő szakértelemre az adatok elemzését és a termelési folyamatokat illetően.

További motiváció volt a kutatómunkám során, hogy témavezetőmmel, Gludovátz Attilával dolgozhattunk együtt közösen, akivel egymást motiválva a 4 év alatt több sikeres kutatási projektet és publikációt alkottunk meg közösen, így én tovább folytattam az általa megkezdett tudományos tevékenységet. Gondolok itt folyóiratcikkekre, konferencia előadásokra és a hozzájuk tartozó absztraktokra, nyertes ÚNKP (Új Nemzeti Kiválóság Program) pályázatokra és sikeres hallgatói szakdolgozatokra. Az említetteken túl számomra még nagy motiváló erő volt a sikeres komplex vizsgám, amely során a tudományos és szakmai bizottságot meggyőzhettem az adatbányászat és a vállalatirányítási rendszerek területén szerzett tudásomról, a vizsgát 100%-os eredménnyel zártam. Ez az eredmény nagy lendületet adott a munka folytatására. Természetesen számomra az is motiváló tényező, hogy az informatika több ágával és Ipar 4.0 világával foglalkozhatok mindennapjaim során. Mivel gazdasági, gazdaságinformatikus szakterületről érkezem, ezért a gyakorlati kutatásaim pénzügyi egyenleg (bevétel-költség és felesleges költség) oldalára is figyelmet fordítok.

1.2. A kutatásom során kitűzött célok és elvárt eredmények

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

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

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

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

Az alapszintű (nyers) adatokra épülő összetettebb vizsgálatok már ennél jóval komplexebb információval szolgálnak majd a gyár működéséről, amelynél a mélyebb elemzések, új kulcsfontosságú mutatószámok (KPI²) is segítik a munkám. Ezáltal például olyan gyengeségre is rávilágítok a korábbi kutatások kapcsán, hogy ott még csak termelési darabszámokkal volt összevetve a felhasznált villamosenergia felhasználása. Miközben a darabszám (db) nem biztos, hogy egy jó mérőszám ebben az esetben. Ha csak arra gondolunk, hogy egy kis faanyag is egy darabnak számít, míg egy több négyzetméter átmérőjű bútortlap, ami szintén egy darab a rendszerben, ezek megmunkálása is más-más kWh fogyasztást igényelhet a termelő géptől. Korábban ezt a rejtett problémát a db-kWh összevetés elfedte, emiatt egy m²-kWh összevetés sokkal több információval szolgálhat a számunkra.

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

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

Az elszívó berendezések (üzemenként 3-3 van) energiafogyasztása a vizsgált időszakokban szinte megegyezett a termelő gépek fogyasztásával. Így megfogalmaztam azt a célt is, hogy az elszívók villamosenergia felhasználásait „terheljem rá” azokra a gépekre, amelyek miatt az az elszívó működött. Így a termelés kapcsán közvetettnek tekinthető energiafogyasztásokat és

² Key Performance Indicator

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

A változások és válságok időszakában először a koronavírus járvány miatt kellett új kihívásokkal szembesülnünk. Emiatt az otthoni munkavégzés került a fókuszba és meg kellett vizsgálnom, hogy egy ilyen nagyméretű, robosztus kiberfizikai rendszer és annak elemei, hogyan és miképpen helyezhetők át a felhőbe. Ezt az Ipar 4.0 által is javasolt felhőtechnológiák segítségével terveztem végrehajtani. A 2021-22-es energiaválság pedig arra készítetett minket, hogy az energiatudatosság terén előre lépjünk a bútorigari vállalatnál: kialakítottunk egy olyan – közel valós időben működő – alkalmazást, amely már nem csak a menedzsereknek mutatja a termelés hatékonyságát (egy négyzetméternyi faanyagot mennyi kWh villamosenergia felhasználásból gyárt le az adott gép), hanem a gép mellett dolgozó úgynevezett operátor személyeknek is mutatja ezt az értéket a legutóbbi 10 percre vonatkozóan. Így az operátorok is jobban oda tudnak figyelni a hatékonyságukra, ezáltal energiatudatosabban fogják végezni munkájukat.

Ezek tehát a doktori munkám célkitűzései, amelyeket egy bútorigari vállalatnál valósítok meg, ugyanakkor megállapíthatom, hogy ezen kutatások, fejlesztések más típusú termelő vállalatoknál is adaptálhatók. Így tehát a rendszer univerzálisnak, könnyen adaptálhatónak tekinthető a jövőben.

1.3. A doktori disszertáció felépítése

A **2. Irodalmi áttekintés** fejezetben áttekintem a tudományos irodalmat, amelyek relevánsak a disszertációm témáihoz. Így egy átfogó képet adok a tudomány jelenlegi állásáról és azonosítom azokat a területeket, ahol meghatározom a tudományos célkitűzéseimet. Mivel a kutatásomnak egyértelműen van gyakorlati vetülete is, emiatt nem hagyhatom figyelmen kívül a terület szakmai oldalának bemutatását sem. Áttekintem az Ipar 4.0 világát és azokat a technológiákat, amiket a kutatás és fejlesztés során mi is alkalmaztunk.

A **3. A kiberfizikai rendszer fejlesztése** fejezetben bemutatom a kutatásaink előéletét, vagyis annak az időszaknak az eredményeit, amikor én még nem vettem részt tevőlegesen a kutatásban. Ez az időszak nagyon fontos, mivel a bemutatott fejlesztések nélkül nem sikerült volna tovább haladni és új eredményeket elérni. Ezután rátérek a kutatásnak arra a szakaszára, amikor már én is a résztvevője voltam. Először bemutatom, hogy milyen módon fejlesztettük tovább a kiberfizikai rendszert hardveresen és szoftveresen is. Illetve még kitérek az adatbázis átalakítására is, mivel a kutatás további részében ennek fontos szerepe lesz.

A **4. Vízfogyasztás felügyelete** fejezetről már a továbbfejlesztett rendszerrel elért eredményeinket mutatom be. Itt a gyár teljes területén történő vízfogyasztás vizsgálata kerül előtérbe. Külön vizsgáltuk az üzemekben elhasznált vízpára formájában felhasznált víz mennyiségét, illetve a gyár többi helyiségeiben felhasznált úgynevezett szociális víz mennyiségét is. Ezekon felül vizsgáltuk a tűzoltói gyakorlatokon felhasznált víz mennyiségét is. Az ebből született vizsgálatok eredményeit ebben a fejezetben mutatom meg.

Az **5. Termelést támogató berendezések energiafogyasztásának és egyéb paramétereinek vizsgálata** című fejezetben az üzemekben lévő kompresszorok és elszívók energiafelhasználásának és hatékonyságának vizsgálatát, valamint az elért eredményeket fejtem ki. Bemutatok egy nagyon fontos kutatás fejlesztési eredményt, amellyel bővítettük fizikailag és módszertanilag is a kiberfizikai rendszerünket. Ennek köszönhetően ki tudjuk számítani, hogy egy adott elszívó közvetett energiafelhasználása milyen mértékben terhelődik rá közvetlenül az adott termelő gépre, ezáltal magára a termék előállítására.

A **6. Energiahatékonysági fejlesztések a költségoptimalizálás és az energiatudatosság érdekében** fejezetben a kutatásnak a legújabb irányát és eredményeit mutatom be. Itt előtérbe kerül a felhőszolgáltatások kihasználása a vállalatnál, ami nem csak az otthoni munkavégzés korlátlan lehetőségeit érinti. Bemutatok egy webes alkalmazást, amivel ki lehet számolni a vállalat üzemeiben fellépő veszteséges energiafelhasználás költségeit. Továbbá bemutatok egy másik alkalmazást is, ami az üzemekben lévő gépeken fut, és közel valós időben követi nyomon a termelés hatékonyságát, így a vállalat dolgozóit energiatudatosabb tevékenységre tudjuk készíteni.

A **7. Összefoglalás** részben összefoglalom a munkám eredményeit.

2. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben bemutatom az Ipar 4.0 világát, és részletesebben kitérek azokra a technológiáira, amelyeket a kutatás során is alkalmazunk. Ez az Internet of Things, Big Data, Cloud Computing. A fejezet második felében bemutatom azokat az iparban használatos rendszereket, amelyek a vállalatnál is megtalálhatóak, és használtuk a kutatás során. Ezek a rendszerek elengedhetetlenek az Ipar 4.0 szempontjából.

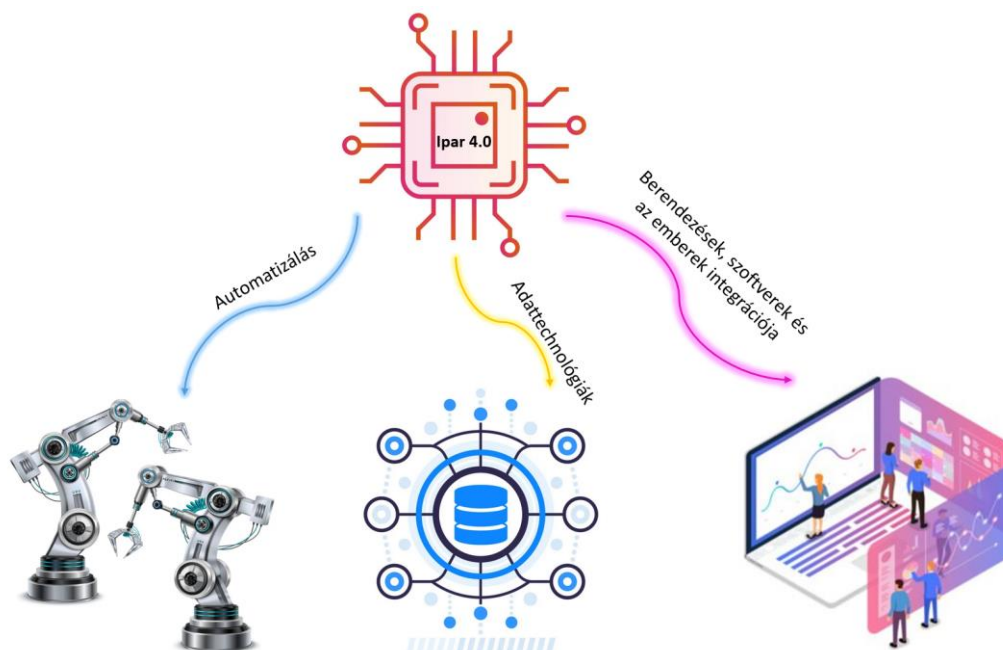
2.1. Bevezetés az Ipar 4.0 világába

Az Ipar 4.0 kifejezést először 2011-ben a hannoveri szakkiállításon használták, amikor Wolfgang Wahlster professzor, a német Mesterséges Intelligencia Kutatóközpont vezérigazgatója beszédet mondott a megnyitó ünnepségen. A fogalomhasználat kontextusa az volt, hogy a vállalatok hogyan lehetnek sikeresek azokban a régiókban, ahol a bérek magasak az akkor már létező globális verseny mellett. Wahlster azt javasolta, hogy a vállalatoknak alkalmazkodniuk kell az internet által vezérelt világhoz, vagy más szóval a 4. ipari forradalomhoz [8]. Azt nehéz megmondani, hogy pontosan mikortól lépett be a világunk a 4. ipari forradalomba, de az biztos, hogy a 2011-es év egy meghatározó vízvonal volt ebben a kérdésben. Mint tudjuk, az első három ipari forradalom kezdődött a mechanikus gyártással, majd következett a tömeggyártás időszaka, és harmadikként pedig a programozható logikai egységek vezérelte gyártási folyamatok. Sokan azon vitatkoznak, hogy a 4. ipari forradalom a korábbi három forradalom ötvözete (1. ábra), mások viszont azt vallják, hogy a negyedik ezeknél sokkal több, egyedibb és sokkal meghatározóbb [9].

Klaus Schwab professzor írt is a negyedik ipari forradalomról egy könyvet „*The Fourth Industrial Revolution*” címmel [10], amiben kifejti, hogy az Ipar 4.0 olyan új technológiákat foglal magába, amelyek egyesítik a fizikai, a digitális és a biológiai világot, és hatással vannak szinte minden létező tudományágra, így az anyagtudományra, a gazdaságra és az iparágakra is. Ezek a technológiák akkora lehetőségeket rejtenek magukban, hogy képesek lesznek több millió embert készíteni arra, hogy kapcsolódjanak az internetre, és használják ki a digitális világ adta lehetőségeket, illetve képesek lesznek javítani az üzleti élet és a vállalatok hatékonyságát [11]. Az Ipar 4.0 alkalmazása és univerzális értelmezése szerint maga a kifejezés leginkább a gyártás világához kapcsolódik, ennek értelmében akár nevezhetnék volna Manufacturing 4.0-nak. Amelyik termelő vállalat átállt az Ipar 4.0 számos technológiájára, rohamos növekedésen és drasztikus átalakuláson esett át. A gyártásra vonatkozólag az következő technológiák azok, amiket már Ipar 4.0-s vállalatnak nevezhetünk: automatizálás, adattechnológiák alkalmazása, ami a Dolgok Internetét³ használja, fejlettebb számítógépek, a felhő technológia és a robotika alkalmazása. Ezeknél a vállalatoknál a korszerű berendezések, a hozzájuk tartozó modern szoftverek és az emberek integrációja növeli a vállalat rendszerei között növeli a sebességet,

³ Internet of Things, IoT

a megbízhatóságot és az információáramlást. Ezáltal a termelés is hatékonyabban működik [12][13].



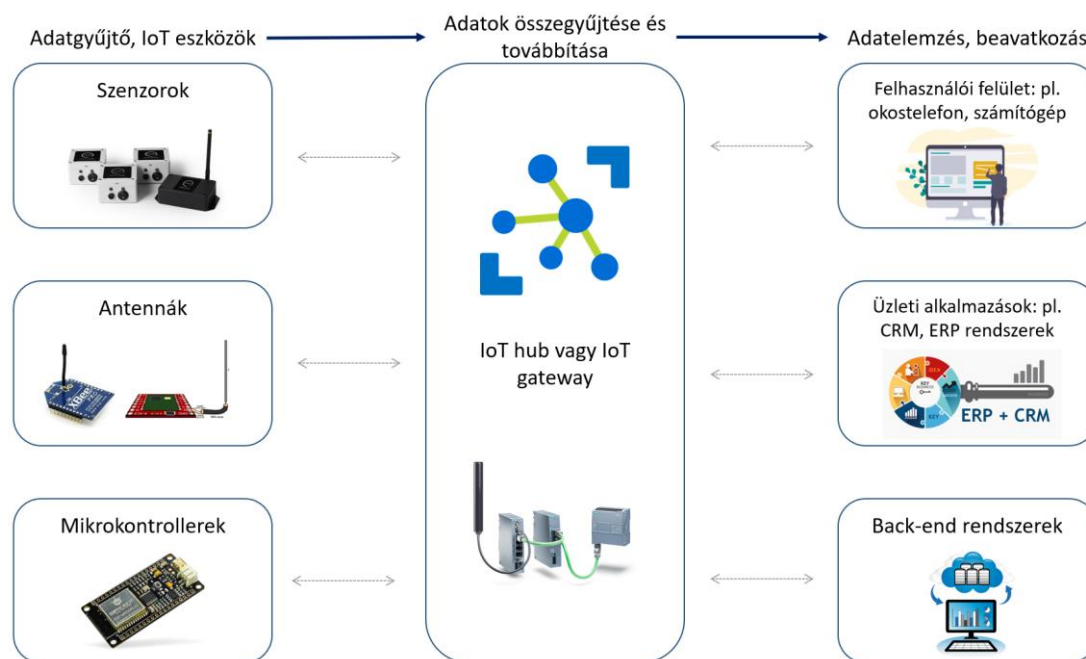
1. ábra: A gyártásban meghatározó Ipar 4.0 technológiák (forrás: saját szerkesztés)

A kutatásomat egy Ipar 4.0 kompatibilis termelő vállalatnál végzem, ezért ebben az alfejezetben részletesebben bemutatom azokat az Ipar 4.0 technológiákat, amiket a vállalat is alkalmaz. A vállalatról annyit érdemes tudni, hogy egy svéd alapítású, holland székhelyű multinacionális konglomerátum, ami összeszerelhető bútorok, konyhai berendezések és háztartási kiegészítők tervezésével és értékesítésével foglalkozik, egyéb áruk és otthoni szolgáltatások mellett. 2008 óta a világ legnagyobb bútorkereskedőjének számít [14]. Sopronban is van egy gyára, amelyben konyhabútorokhoz gyártanak elemeket. A vállalatnál a következő Ipar 4.0 technológiákat alkalmazzák: IoT, szenzoros adatgyűjtés és a hozzá kapcsolódó rendszerek, felhő szolgáltatások és Big Data. A felsoroltak közül itt most az IoT, Big Data és a felhő szolgáltatásokat fogom részletesen bemutatni, a szenzoros adatgyűjtést és a hozzá kapcsolódó rendszereket a 2.2-es alfejezetben fogom kifejteni [15].

2.1.1. Internet of Things

Az Internet of Things fizikai objektumok hálózatát írja le, amelyek szenzorokkal, szoftverekkel és egyéb technológiákkal vannak beágyazva, azzal a céllal, hogy az interneten keresztül kapcsolódjanak és cseréljenek adatot más eszközökkel, rendszerekkel [16]. Ezeknek az eszközöknek a skálája nagyon széles spektrumú, mivel terjedhetnek a közönséges háztartási tárgyaktól a kifinomult ipari eszközökig. Az IoT, mint ötlet és elméleti megoldás, már régóta létezik, de számos különböző technológiák fejlesztéseinek összessége teremtette meg a sikeres gyakorlati alkalmazását. Ez alapján az IoT rendszerek működése úgy épül fel, hogy az IoT eszközök megosztják az általuk összegyűjtött adatokat (2. ábra). A szenzorok valamelyik internetes protokoll segítségével az adatokat továbbítják a felhőbe vagy az adott vállalat belső

szervereire elemzés céljából. Bizonyos eszközök képesek egymással kommunikálni, és az egymástól kapott információ alapján működnek. Sok esetben ezek a folyamatok emberi beavatkozás nélkül zajlanak, de természetesen az emberek is interakcióba tudnak lépni az eszközökkel, beállításokat végezhetnek rajtuk, vagy különféle utasításokat adhatnak nekik, illetve az adatokhoz is hozzáférhetnek. Az IoT a mesterséges intelligenciát és a gépi tanulást is felhasználhatja, hogy megkönnyítse és dinamikusabbá tegye az adatelemzési folyamatokat [17].



2. ábra: Példa egy IoT rendszerre (forrás: [17])

Manapság már egy termelő vállalatnál fontos az IoT jelenléte és alkalmazása a mindennapokban. Emellett már rengeteg háztartás is kezdi bevezetni a mindennapi életébe az IoT eszközök használatát. Nem is csoda, hiszen legyen szó egy kisebb lakásról vagy egy nagyvállatról, az IoT segítséget nyújt abban, hogy az emberek intelligensebben éljék a mindennapjaikat otthon és munkahelyükön. A háztartásokban az IoT főleg automatizálás formájában jelenik meg, az ipar világában viszont valós idejű betekintést nyújt a vállalatok számára a rendszereik működésébe, a gépek teljesítményétől az ellátási láncig és a logisztikai műveletekig mindenbe [18]. Az IoT ipari környezetben lévő alkalmazását IIoT-nek, vagyis „Industrial Internet of Things”-nek nevezik. Az IIoT minden esetben alkalmaz szenzoros technológiát vagy felhőszolgáltatást, esetleg a kettőt együtt. Ezek együttese lehetővé teszi a vállalatok számára a folyamatok automatizálását, a termelés, energiafelhasználás optimalizálását, és így akár a költségek, szállítási idő csökkentését. Az IoT alkalmazása a vállalatoknál még számos előnnyel jár, amik közül néhány előny iparág-specifikusnak tekinthető, de léteznek olyan tulajdonságok, amelyek szinte az összes iparágára alkalmazhatók. Ilyen előnyök például az üzleti folyamatok monitorozása valós időben,

ügyfélélmény javítás, idő és pénz megtakarítás, növekvő alkalmazotti teljesítmény, jobb üzleti döntések meghozatala, magasabb bevétel generálás [19].

2.1.1.1. IoT előnyei

Az IoT koncepciójának kettő meghatározó jellemzője az automatizálás és az összekapcsolhatóság. Az automatizálás abban nyilvánul meg, hogy az IoT biztosítja a közvetlen kommunikációt egymástól különálló készülékek, eszközök és egyéb hardverek között emberi beavatkozás nélkül. Az összekapcsolhatóság pedig azt eredményezi, hogy az interneten keresztül már könnyű hozzáférni szinte bármilyen információhoz, és nemcsak az embereknek, hanem a gépeknek, eszközöknek is egymás között. Tekintettel ezekre a jellemzőkre, az IoT-nek számos technológiát kell alkalmaznia az automatikus adatátvitel, elemzés és válaszadás biztosítására több eszköz között. Például az automatizálás lehetetlen mesterséges intelligencia, Big Data és Machine Learning nélkül, míg az összekapcsolást nagyban megkönnyíti a felhő alapú számítástechnika és a vezeték nélküli kommunikációs technológiák [20].

Az alábbiakban összefoglalom, hogy hogyan eredményezik ezek a funkciók az IoT technológiáinak és szolgáltatásainak számos előnyét. Megjegyzem továbbá, hogy ez a rövid összefoglalás elsősorban az IoT üzleti előnyeire összpontosít, és nem tér ki az egyéni vagy az okos otthoni előnyökre. Ráadásul ezek az előnyök többnyire összefüggenek egymással, ami pozitív hatások láncreakcióját eredményezi [21].

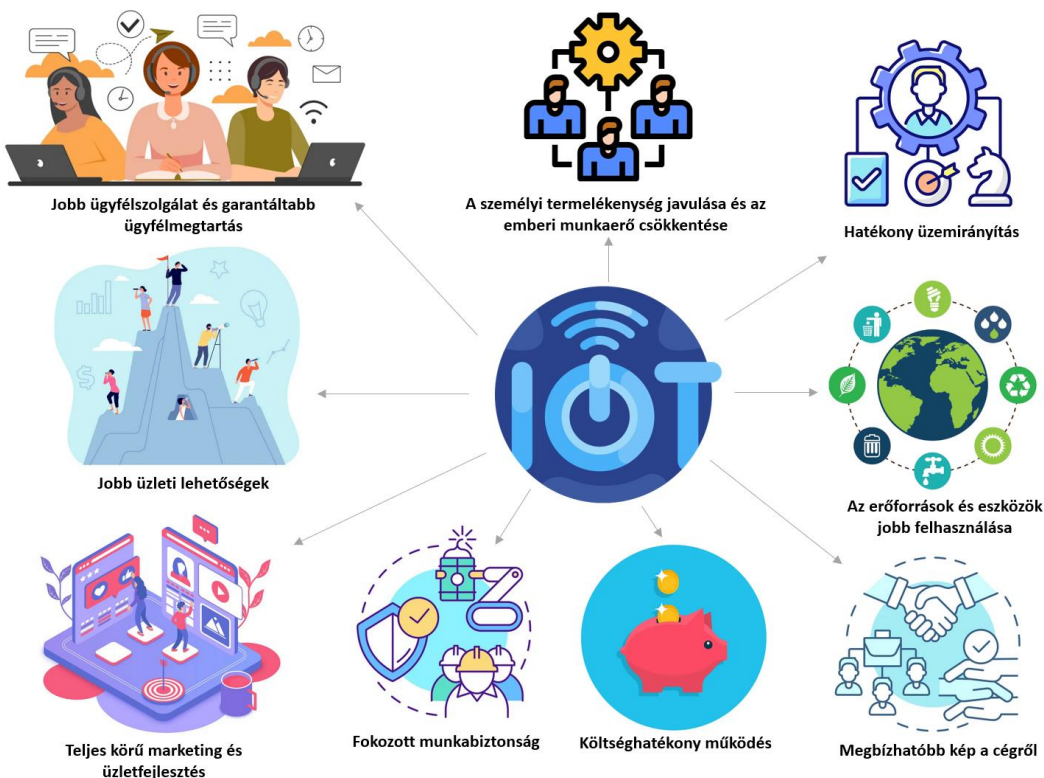
1. **A személyi termelékenység javulása és az emberi munkaerő csökkentése:** Az IoT megoldásoknak köszönhetően a hétköznapi feladatok automatikusan elvégezhetőek, így az emberi erőforrások összetettebb, személyes készségeket igénylő feladatokra, új ötletek megfogalmazására és megvalósítására helyezhetők át. Így minimalizálható a dolgozók száma, ami az üzleti működés költségeinek csökkenését eredményezi.
2. **Hatékony üzemirányítás:** Az okos eszközök összekapcsolásának másik jelentős előnye a több működési terület automatizált vezérlése. Ebbe beletartozik többek között a készletkezelés, a szállítás nyomon követése, az üzemanyag- és alkatrészkezelés. Ez a megközelítés például magában foglalja az RFID⁴ címkék és a megfelelő szenzoros hálózat használatát a berendezések és áruk helyének nyomon követésére.
3. **Az erőforrások és eszközök jobb felhasználása:** Az összekapcsolt szenzorok segítségével megvalósított automatizált ütemezés és felügyelet lehetővé teszi az erőforrások hatékonyabb felhasználását, például a jobb energiagazdálkodást és a pazarlás mentes vízfogyasztást. A mozgást figyelő szenzorok jelentős összegeket takaríthatnak meg a villany- és vízszámlákon is. Ezt úgy kell elképzelni, hogy ha a helyiségek fel vannak szerelve mozgásérzékelőkkel, abban az esetben csak akkor

⁴ Radio Frequency IDentification

kapcsolódik fel a villany, ha tartózkodik valaki az adott helyen. A vízfelhasználás tekintetében pedig úgy, hogy a mosdókra olyan csapokat szerelnek, amik érzékelik, hogy mikor érinti oda valaki a kezét kézmosás céljából. Így csak annyi víz fog folyni a csapból, ami épp elég egy kézmosásra. Ilyen megoldásokkal már a mindennapjaink során is számos helyen találkozhatunk, például egy reptéren.

4. **Költséghatékony működés:** Az automatikusan ütemezett és ellenőrzött karbantartás, nyersanyagellátás és egyéb gyártási igények által biztosított leállás csökkentés miatt a berendezések magasabb termelési rátával rendelkezhetnek, ami nagyobb profitot eredményez.
5. **Fokozott munkabiztonság:** Az ütemezett karbantartás az előző pontban leírt előnyön túl az üzembiztonság és az elvárt előírások betartása szempontjából is rendkívül előnyös. A biztonságos munkakörülmények viszont vonzóbbá teszik a vállalkozást a befektetők, a partnerek és a személyzet számára, növelve a márka hírnevét és bizalmát. Az intelligens eszközök csökkentik az emberi hiba valószínűségét is az üzleti működés különböző szakaszaiban, ami szintén hozzájárul a magasabb szintű biztonsághoz. Ezen túlmenően az IoT eszközök hálózata, például térfigyelő kamerák, mozgásérzékelők és egyéb megfigyelő eszközök használhatók a vállalat biztonságának biztosítására, valamint a lopások, sőt a vállalati kémkedés megelőzésére is.
6. **Teljeskörű marketing és üzletfejlesztés:** Az otthoni intelligens eszközök, különösen a „voice assistant”-ek és más olyan készülékek, amelyek rendszeresen képesek közvetlenül kommunikálni a végfelhasználókkal, felbecsülhetetlen értékű forrásinformációt nyújtanak az üzleti elemzéshez. Az IoT segíti a vállalkozásokat azáltal, hogy nagy mennyiségű felhasználóspecifikus adatot gyűjt össze az üzleti stratégiák kidolgozásához, a célzott reklámozáshoz, az árpolitika finomhangolásához és egyéb marketing- és menedzsmenttevékenységekhez.
7. **Jobb ügyfélszolgálat és biztosabb ügyfélmegtartás:** Az okoseszközök használatával elérhetőek az felhasználó specifikus adatok, amelyek gyűjtése segíti a vállalkozásokat abban, hogy jobban megértsék az ügyfelek elvárásait és viselkedését. Az IoT emellett javítja az ügyfélszolgálatot azáltal, hogy megkönnyíti az értékesítés utáni nyomon követést, például az automatikus teszi meg ezt, és emlékezteti az ügyfeleket a megvásárolt berendezés karbantartására, a jótállási időszak lejártára, esetleg új kiegészítők vagy újabb széria megjelenésére.
8. **Jobb üzleti lehetőségek:** A megnövekedett hatékonyságnak köszönhetően az IoT megoldásokat használó cég a versenytársakhoz képest szélesebb körű szolgáltatást vagy terméket kínálhat, illetve növelheti a minőséget megtartva az eredeti eladási árakat. Összességében az intelligens megoldások alkalmazása versenyképesebbé és vonzóbbá teszi a vállalkozást potenciális üzleti partnerként.
9. **Megbízhatóbb kép a cégről:** A csúcstechnológiás megoldásokat, különösen az IoT-t használó vállalatok esetében, általában pozitív benyomást keltenek az ügyfelekben, a

befektetőkben és más üzleti partnerekben, akik tisztában vannak az IoT által kínált előnyökkel [21].



3. ábra: Áttekintés az IoT előnyeiről (forrás: saját szerkesztés)

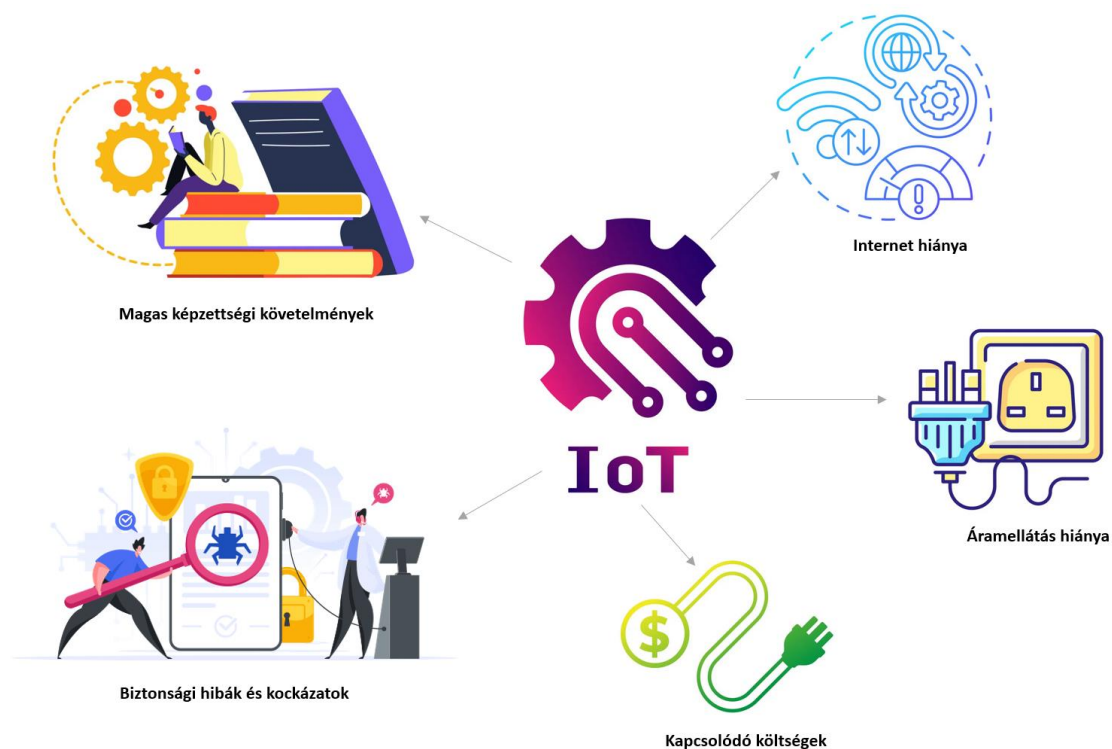
2.1.1.2. IoT hátrányai

Az IoT előnyei (3. ábra) különösen az üzleti jövedelmezőség növelése szempontjából kedvezőek, ez a technológia bizonyos fenyegetéseket is rejt magában. Az előnyök után összefoglalom az IoT legfontosabb hátrányait (4. ábra) [22].

1. **Biztonsági hibák és kockázatok:** Az IoT legnagyobb hátrányának mondható a nem megfelelő biztonsági intézkedések, amelyek hátráltatják az IoT egészének fejlesztését. Az adatszivárgástól való félelem mindig jelen van, mert az okoseszközök bizalmas információkat gyűjtenek és továbbítanak, amelyek felfedése drasztikus következményekkel járhat. Ennek ellenére az IoT megoldások ritkán vannak ellátva a megfelelő adat- és rendszervédelmi eszközökkel, vagy csak ritkán felelnek meg az összes vonatkozó adatvédelmi szabványnak, titkosítási protokollnak és más olyan szabályozásnak és technológiai követelménynek, amelyek megakadályozzák az adatokhoz való jogosulatlan hozzáférést. A megfelelő adatvédelem elmulasztása költséges, katasztrófális, sőt tragikus következményekkel járhat: személyazonosság lopások, vállalati titkok, berendezések vagy termékek elvesztése, szabotázs stb. Ezért az IoT megoldások fejlesztését és bevezetését az üzleti életben szakembereknek kell elvégezniük, akik gondoskodhatnak arról, hogy a telepített hardver- és szoftverrendszereknek ne legyenek gyenge pontjai, és jól védve legyenek a „hackelési”

kísérletekkel szemben. Az IoT eszközök hardver paraméterek szempontjából nem túl erősek, mivel nem amiatt hozták létre őket, hogy komplex számításokat és védelmi algoritmusokat futtassanak le rajtuk, hanem főleg méréseket, adatok továbbítását végzik csak.

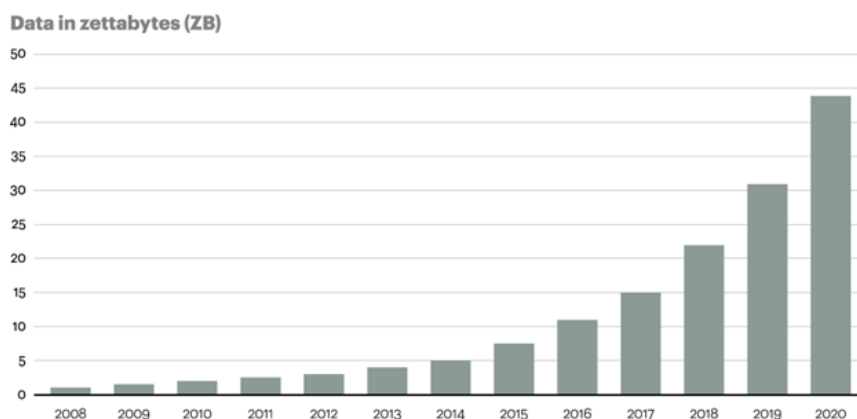
2. **Kapcsolódó költségek:** Az IoT infrastruktúra megvalósítása egy üzleti vállalkozásban nem valósulhat meg teljeskörűen kiépített hálózat nélkül, amely több okoseszközből és a kapcsolódó műszaki infrastruktúrából áll, beleértve az áramellátó hálózatot és a kommunikációs hálózatot is. Éppen ezért egy ilyen kezdeményezés jelentős beruházást igényel a kialakított hálózat telepítéséhez, karbantartásához és a jövőbeni igényeknek megfelelő fokozatos bővítéséhez. Bár az IoT megoldások többféle előnnyel is járnak, sok időbe telik, amire nyereséget generálnak, és pénzügyi hasznuk meghaladja a bevezetés kezdeti beruházási költségeit.
3. **Internet és áramellátás hiánya:** Az IoT eszközök működéséhez elengedhetetlen az internetkapcsolat és a folyamatos áramellátás. Ha bármelyiknél működésbeli zavar lép fel, akkor fennáll a veszély az egész rendszer részleges vagy teljes leállítására is.
4. **Magas képzettségi követelmények:** Az IoT megoldásokhoz felelősségteljes, tapasztalt szakemberekre van szükség, akik teljes mértékben megértik munkájuk hatókörét és lehetséges következményeit. Az IoT megoldások üzembe helyezése, beállítása, karbantartása és méretének megváltoztatása egy üzleti vállalkozásban magasan képzett rendszergazdákat igényel, akiket nehéz lehet megtalálni és toborozni, mivel magas fizetést várnak el. Míg az IoT csökkenti a humánerőforrás igényt, a megmaradt személyzetnek jól képzettnek kell lennie [22].



4. ábra: Áttekintés az IoT hátrányairól (forrás: saját szerkesztés)

2.1.2. Big Data

Az informatika világában talán az egyik legfontosabb fogalom és legalapvetőbb egység maga az adat. Az adatok azok a mennyiségek, szimbólumok vagy karakterek, amelyeken a számítógépek műveleteket végeznek. Az adatok tárolhatók és továbbíthatók elektromos jelek formájában és rögzíthetők mágneses, optikai vagy mechanikus adathordozón [23]. A Big Data hatalmas mennyiségű, de az idővel exponenciálisan növekvő adatgyűjtemény. Olyan nagy méretű és összetett adathalmazról van szó, hogy a hagyományos adatkezelési eszközök nem képesek hatékonyan tárolni vagy feldolgozni. Maga a fogalom, mint Big Data viszonylag új, de a nagy adathalmazok eredete az 1960-es és 1970-es évekre nyúlik vissza, amikor elkezdtek fejleszteni az első adatközpontokat és a relációs adatbázisokat. 2005 a másik nevezetes dátum az adatok történetében, mivel ezekben az években kezdték felismerni az emberek, hogy a közösségi média szereplőin keresztül a felhasználók mennyi adatot generálnak. Ugyanebben az évben fejlesztették ki a Hadoop⁵-ot, ez volt az első olyan nyílt forráskódú keretrendszer volt, ami képes volt nagy adatmennyiségek, adathalmazok tárolására és elemzésére [24]. Az ilyen fajta rendszerek fejlesztése elengedhetetlen volt a Big Data növekedéséhez, és ezalatt a közel 15 év alatt a Big Data mennyisége mondhatni, hogy egekbe szökött. Az elmúlt években keletkezett adatmennyiségeket az 5. ábra szemlélteti [25]. Az 5. ábrán az International Data Corporation egyik kimutatása látható, amely szerint 2008-tól kezdve az adatok növekedése rohamléptekben haladt [25]. Az emberek azóta csak még több adatmennyiséget generálnak naponta, sőt, akár órák alatt is. A nagy mennyiségű adatgenerálás nem csak az emberekre igaz, mivel az IoT megjelenése óta egyre több eszköz és objektum csatlakozik az internethez és gyűjtenek adatokat például a felhasználók szokásairól, termékek teljesítményéről. A felhőalapú számítástechnika még tovább bővítette a Big Data lehetőségeit. A felhő rugalmas skálázhatóságot biztosít, ahol a fejlesztők egyszerűen hozhatnak létre ad hoc klasztereket az adatok egy részhalmazának teszteléséhez [25].



5. ábra: A Big Data növekedési üteme 2008-2020-ig. Az adatok zettabyte-ban vannak megadva. 1 zettabyte 1 milliárd terabyte-nak felel meg. (forrás: [25])

⁵ <https://hadoop.apache.org/>

A Big Data-t három féle típusra osztották, a strukturált, strukturálatlan és félig strukturált. Strukturáltak nevezzük azokat az adatokat, amelyek rögzített állapotban tárolhatóak, elérhetőek és feldolgozhatóak. Strukturált adatok például egy vállalat adatbázisában a dolgozókra vonatkozó adatok. A strukturálatlan adatnak minősül minden ismeretlen formájú vagy szerkezetű adat. Ezek az adatok a feldolgozás szempontjából nagyobb kihívást jelentenek a feldolgozás szempontjából. Strukturálatlan adatok például a heterogén adatforrások, amelyek egyszerű szöveges fájlok, képek, videók stb. kombinációját tartalmazza. A félig strukturált adatok jellemzője, hogy tartalmazhat strukturált és strukturálatlan adatformát is. A félig strukturált adatokat láthatjuk strukturált formában, de valójában nincs definiálva például egy tábladefiníció a relációs adatbázisban. A félig strukturált adatokra példa egy XML⁶ fájlban lévő adatok [26].

A Big Data-t nem csak az adatok strukturáltsága szerint szokták tipizálni, hanem bizonyos jellemzők szerint is. A Big Data három legfontosabb jellemzője a volumen, a változatosság és a sebesség. Angolul a Big Data jellemzőit a Big Data's V-nek hívják, mivel minden tulajdonsága V betűvel kezdődik. Erre utal a 6. ábra. A Big Data volumene az adatok értékének meghatározására utal, illetve arra is, hogy egy adatmennyiség valóban Big Data-nak tekinthető-e vagy nem. A következő jellemző, a változatosság a heterogén forrásokra és a strukturált és strukturálatlan adatok természetére utal, a sebesség pedig az adatgenerálás sebességére utal [26].



6. ábra: A Big Data 3V tulajdonsága: Volume, Velocity, Variety (forrás: saját szerkesztés)

⁶ Extensible Markup Language

Az üzleti életben a Big Data-nak már nagyon nagy szerepe van. A vállalatoknak segítséget nyújt számos üzleti tevékenység kezelésében, mivel a Big Data nem csak az adatok jellemzőire utal, hanem magába foglalja az adatok újfajta elemzési, adatbányászati technikáit is. Például a termékfejlesztéssel foglalkozó cégeknél a Big Data-t használják a vásárlói igények előrejelzésére. Prediktív modelleket építenek új termékekhez és szolgáltatásokhoz a múltbeli és jelenlegi termékek vagy szolgáltatások kulcsfontosságú attribútumainak osztályozásával, valamint az ezen tulajdonságok és az ajánlatok kereskedelmi sikere közötti kapcsolat modellezésével. A gyártásban például a mechanikai hibák előrejelzésében nyújthat segítséget a Big Data, mivel a hibára mutató tényezők ott lapulnak a strukturált és strukturálatlan adatokban, mint például a gépek éve, modellje, naplóbejegyzések, hibaüzenetek, hőmérsékletadatok stb. A lehetséges problémák előrejelzésével a vállalat megelőzheti a meghibásodást, és ezzel akár maximalizálhatja is a berendezések, alkatrészek üzemidejét. Fontos a Big Data-hoz kapcsolódóan megemlíteni a gépi tanulást, mivel manapság már nem csak programozni tudjuk a gépeket, hanem tanítani is. A gépek betanításához használt modellek megalkotását a rendelkezésre álló óriási adathalmaz teszi lehetővé. Az innovációk tekintetében is fontos szerepe van már a Big Data-nak, mivel a rengeteg adatnak köszönhetően tudják tanulmányozni az emberek, intézmények, entitások és folyamatok közötti kölcsönös függőségeket. Ezek mellett vizsgálják még a különböző trendeket, és azt, hogy az ügyfelek milyen új termékeket és szolgáltatásokat szeretnének a jövőben vásárolni, igénybe venni. Igazából a Big Data felhasználásának lehetőségei ma már végtelennek mondhatók [27].

A kutatásom szempontjából is az egyik legfontosabb alapvető tényező az adat. A nagy kérdés tényleg az, hogy az az adatmennyiség, ami naponta beáramlik a vállalat adathordozóiba, Big Data-nak tekinthető-e. Ha a fentebb leírt beáramló adatmennyiségekkel szeretnénk összehasonlítani, akkor nagyon messze van a Big Data-tól, de ha eltekintünk a világméretű adatmennyiségtől, és egy kettő üzemmel rendelkező bútorigipari gyárra gondolunk, akkor viszont nem kevés a naponta beérkező adatmennyiség. A mennyiséget tekintve most adatok darabszámára gondolok, mivel az adatok mérete nem nagy, hiszen egyszerű adattípusokként (szám, szöveg, dátum) tárolják őket. A naponta beáramló adatok számát a 7. ábra mutatja be. Az ábrán láthatóak azok a berendezés típusok, amikhez szenzorok vannak felszerelve, így megvalósul az adatgyűjtés. A harmadik oszlop mutatja az adott berendezéseknél a paramétereket, amik a következők: hatásos villamosenergia fogyasztás (EC), pillanatnyi összteljesítmény (PS), meddő villamosenergia fogyasztás (QC), normál termelt/fogyasztott sűrített levegő (AV), pillanatnyi normál sűrített levegő átfolyás (AF), vízfogyasztás (WV), hőenergia termelés/fogyasztás (HE), hőtéljesítmény (HP). A „Berendezések száma” oszlop azt mutatja, hogy egy adott berendezésfajtából hány darab található, ami szenzorral van felszerelve. A „Napi szintű új mért adat” oszlop pedig azt mutatja, hogy az adott berendezés(ek)től hány darab adat érkezik be egy nap a rendszerbe. Látható, hogy a beérkezett napi adatok száma 35.568 darab. Ez az adatmennyiség bőven elég, hogy hasznos

elemzéseket készítsünk, amikből rengeteg információ leszűrhető adott gépre vonatkozóan vagy ha a berendezéseket egymással összefüggésben vizsgáljuk.

Típus	Név	Mért paraméterek	Mért paraméter (db)	Berendezések száma (db)	Napi szintű új mért adat (db)
1	Villamos főmérő	EC, PS 1 min, PS 15 min, QC	4	1	576
2	Villamos főelosztó	EC, PS	2	2	576
3	Áramsín	EC, PS	2	8	2304
4	Elszívó	EC, PS	2	6	1728
5	Kompresszor	EC, PS, AV, AF	4	8	4608
6	Gép (Általában)	EC, PS, Elszívó	4	29	16704
6 spec.	venjakob1b	EC, PS, EXT	3	1	432
7	Villamos elosztó	EC, PS	2	22	6336
8	Vízmérők	WV	1	3	432
9	Hőmennyiség mérők	HE, HP	2	5	1440
10	Páraközpont	EC, PS, WV	3	1	432
Összesen:			29	86	35568
Napi mérések száma: 144					

7. ábra: A vállalatnál mért adatok száma naponta (forrás: saját szerkesztés)

2.1.3. Cloud Computing

2010-es évektől napjainkig kedvelt informatikai ágazat a Cloud Computing (Felhőalapú számítástechnikaként fordíthatnánk) [28].

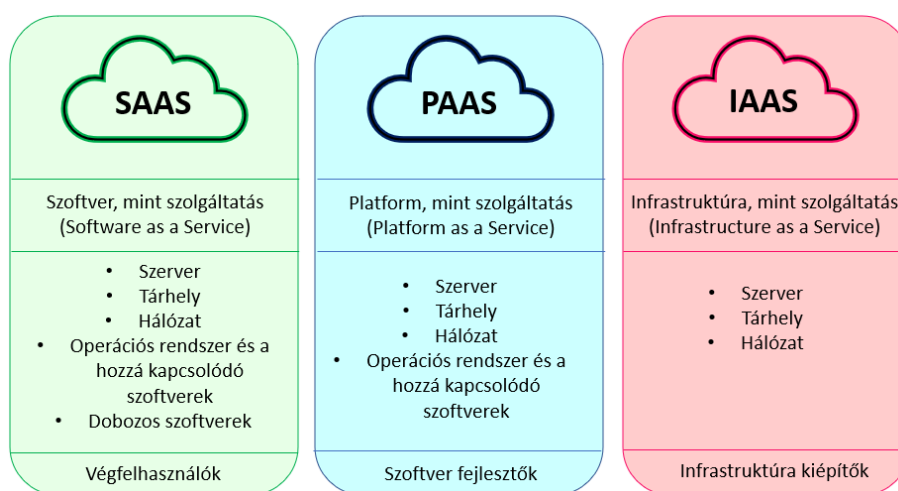
A tématerületet az egyik célkitűzésem megvalósítása miatt kutattam: fel akartam mérni, hogy egy ilyen Ipar 4.0-s rendszernek a felhőbe költöztetése milyen lehetőségeket rejt, milyen előnyöket és hátrányokat foglal magába. Erre azért is szükség volt, mivel a koronavírus járvány miatt a dolgozók egy részének biztosítani kellett a távoli hozzáférést és ez egy ipari rendszereket magába foglaló együttesnél biztonsági kockázattal is járt. A területet az alfejezet további részében mutatom be, majd a 6. fejezetben összegzem a tapasztalataimat és iránymutatásaimat, amelyeket egy ilyen felhőbe való költözés során érdemes megfontolni és aszerint dönteni, cselekedni.

John McCarthy nevéhez fűződik, hogy a technológiát az áramhoz és vízhez hasonlóan közüzemi szolgáltatásként akarta értékesíteni. Egyik fontos tulajdonsága, hogy a szolgáltatások nem csak egy eszközön, hanem a szolgáltató eszközein *elosztva*, a felhasználóktól rejtve működnek. A szolgáltatásokat a felhasználók publikus felhő esetében az interneten keresztül, míg privát felhő esetén a helyi hálózaton vagy szintén az interneten keresztül érhetik el. Fő jellemzője még az *önkiszolgálás*, a felhasználók dönthetnek a számítási kapacitás igénybevételéről és mértékéről. A hálózati tárolás vagy szerveridő igénylés a szolgáltatótól függetlenül, automatikusan, interakció nélkül történik. Továbbá még *rugalmasság (skalázhatóság)* jellemzi, hiszen az aktuális igénybevétel alapján változtathatják a kiszolgálási kapacitást [29].

A Cloud rendszerek automatikusan vezérlik és optimalizálják az erőforrásaikat a szolgáltatás típusának megfelelően. Az erőforrás-felhasználás jól megfigyelhető, ellenőrizhető és pontosan mérhető, ezzel biztosítva átláthatóságot a felhasználók számára. Ehhez szorosan kapcsolódik még, hogy a felhőszolgáltatásoknál az ügyfél sosem egy fix havidíjat, hanem az általa használt erőforrások arányában fizet. A legfontosabb tulajdonsága a közös erőforrás használata, ami lehet memória, sávszélesség vagy tárhely is. Nagy mennyiségű fizikai és virtuális erőforrásokat gyűjtenek össze, hogy azonos időben a sok ügyfél összes igényét ki tudják szolgálni [30].

2.1.3.1. Cloud szolgáltatások fajtái

A Cloud szolgáltatások fajtáira utal az „as a Service” kifejezés, amelyet egy harmadik fél biztosít a felhasználóknak. A Cloud Computing minden típusa arra törekszik, hogy felhasználóinak kevesebb helyszíni hálózatot kelljen üzemeltetni.



8. ábra: Felhőalapú szolgáltatások típusai (forrás: [31])

A továbbiakban ezeket a típusokat (8. ábra) fogom részletesen bemutatni.

SaaS (Software as a Service), vagyis Szoftver, mint Szolgáltatás

A szoftverfrissítéseket, hibajavításokat, beállításokat és általános szoftver karbantartásokat a szolgáltató kezeli. A végfelhasználók a szolgáltatói alkalmazásokat egy webböngészőn (irányítópulton vagy API⁷-n) keresztül érik el, ezért nincs szükség az alkalmazások telepítésére minden egyes számítógépen [32].

SaaS típusú szoftverek (9. ábra) az online levelezők, a számviteli rendszerek, az elemző és kommunikációs eszközök, valamint a tárolási kapacitást, másnéven felhőtárhelyet kínáló szolgáltatások. A felhőtárhelyek esetén láthatjuk, hogy bármilyen okoseszközzel el tudjuk érni az ott tárolt adatainkat [33].

⁷ Application Programming Interface



9. ábra: Szoftvertípusok mint szolgáltatások (forrás: [34])

A SaaS jó lehetőség lehet azon kisvállalkozások számára, akiknek nincs külön alkalmazottja vagy megfelelő sávszélessége (lehetősége) a szoftverek telepítésére és frissítésére, esetleg nem akarnak telepíteni és beállítani olyan alkalmazásokat, amelyeket csak időszakosan fognak használni. A felhasználók a szolgáltatásokért cserébe díjat fizetnek, ezt nevezzük licenc díjnak, amit fizethetnek havonta vagy akár évente is [34].

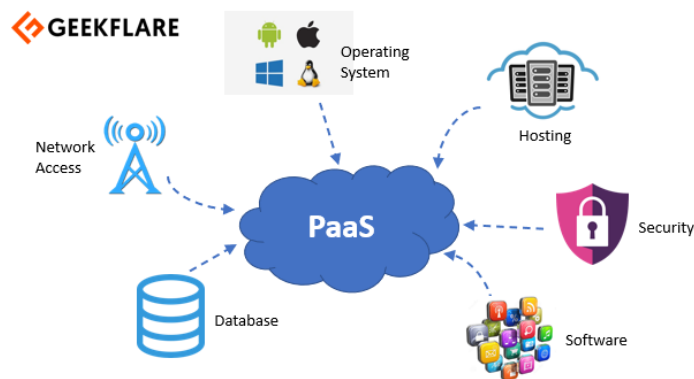
Össességében a SaaS időt és karbantartást takaríthat meg a felhasználóknak, ez viszont a biztonságukba és a teljesítményükbe kerülhet, ezért fontos, hogy megbízható és jó hírnévvel rendelkező szolgáltatót válasszanak.

PaaS (Platform as a Service), vagyis Platform, mint Szolgáltatás

Akkor beszélünk platformról, mint szolgáltatásról, amikor a szolgáltató biztosítja a mögöttes platformot (vagy operációs rendszert), illetve a teljes hálózatot, tárolást, kiszolgálást és a virtualizációt is. Ezt internetkapcsolaton keresztül nyújtja a felhasználóknak.

A PaaS főként a fejlesztők és programozók számára hasznos, mert lehetővé teszi saját alkalmazásaik fejlesztését és futtatását anélkül, hogy egy infrastruktúrát vagy platformot kellene kiépíteniük és karbantartaniuk. Ez a módszer egy keretrendszert biztosít a fejlesztők számára alkalmazásaik felépítésére és testre szabására [35].

A felhasználóknak, vagy jelen esetben a fejlesztőknek elegendő kifejleszteniük az alkalmazást és azt a felhőbe telepíteni. Nem kell foglalkozniuk a szoftverek frissítésével és hardvereszközök karbantartásával, a fejlesztéshez szükséges környezet biztosítva van számukra a szolgáltató által [31].

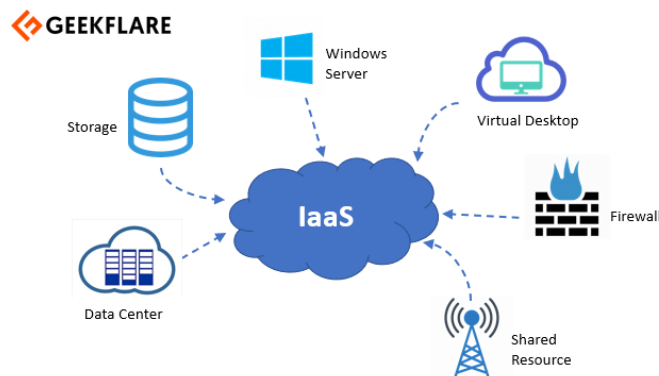


10. ábra: Platformok, mint szolgáltatások (forrás: [33])

A 10. ábrán látható, hogy a PaaS magába foglalja az operációs rendszereket, a webes kiszolgálást, biztonságot, adatbázis-kezelést, hálózati hozzáférést, sőt a SaaS-t is, de az alább található 12. ábra be is mutatja, hogy melyik szolgáltatás miket foglal magába és ki (a felhasználó vagy a szolgáltató) felügyeli az egyes részeket csoportonként [33].

IaaS (Infrastructure as a Service), vagyis Infrastruktúra, mint Szolgáltatás

Az IaaS egy olyan szolgáltatás, ahol a felhasználók egy harmadik fél (magán) infrastruktúráját, hardvereit tudják kibérelni. Interneten keresztül tárolási és virtualizációs szolgáltatásokat nyújt nekik. Fontos tulajdonsága, hogy a felhasználók nem havi- vagy licenc díjat kell fizetniük, hanem a felhasznált erőforrással arányos összeget. Alacsony fenntartási díjak jellemzik és nincsenek karbantartási költségek, ezért megfizethető lehetőséget kínál bármely cég számára [36].

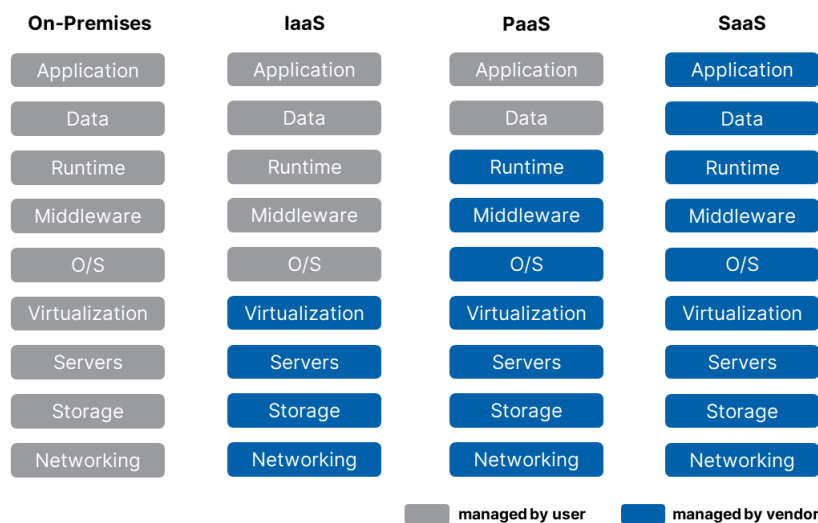


11. ábra: Infrastruktúrák, mint szolgáltatások (forrás: [33])

A 11. ábrán látható, hogy ez már jóval komplexebb „üzemeltetést” tartalmaz, mint a PaaS. Itt már magunknak kell figyelniük, beállítanunk a futtató szerver operációs rendszert, a tárhelyet menedzselniük kell, a tűzfalat beállítani stb. [33].

Akkor érdemes egy IaaS-t igénybe venni, amikor semmilyen berendezést, hardvert vagy szerveret sem szeretnénk fenntartani, de a szoftvereink feletti kontrollt szeretnénk megőrizni. A feladat ellátására egy virtuális gépet kell bérelnünk, ezen pedig az általunk választott

alkalmazásokat és operációs rendszert tudjuk használni. Használatával gyors, rugalmas fejlesztési és tesztelési környezetet tudunk kialakítani. Az infrastruktúrát bármikor tudjuk növelni vagy csökkenteni, továbbá annyiért fizetünk, amennyit használunk [35].



12. ábra: Áttekintés a legfontosabb „as a Service” szolgáltatásokról (forrás: [37])

Ez az összefoglaló (12. ábra) megmutatja, hogy melyik területeket felügyeli és menedzseli maga a felhasználó (user - szürke), vásárló, ügyfél, nevezhetjük többféleképpen. Illetve azt mutatja még meg, hogy melyiket menedzseli a „beszállító” (vendor - kék), vagy felhő szolgáltató. A bal oldali oszlopban gyakorlatilag egy saját szervergépet (vagy parkot) láthatunk, míg ahogy haladunk jobbra, egyre inkább átveszi „rólunk” a terhet a felhőszolgáltató [36].

2.1.3.2. Telepítési modellek

A szolgáltatások fajtái mellett létezik még egy csoportosítási mód, ez pedig a telepítési modellek halmazait jelképezi. Ebben a csoportosítási módszerben a hozzáférhetőség (a szolgáltatásokat ki, kinek és hogyan osztja meg) kerül előtérbe, ez alapján történik a kategorizálás. Az Amerikai Nemzeti Szabványügyi Intézet⁸ négy telepítési modellfajtát különböztet meg, amelyeket alább bemutatok [35].

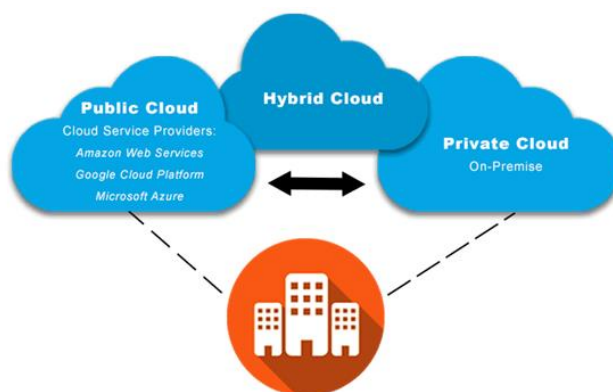
Nyilvános felhő (Public Cloud)

A legismertebb és leggyakrabban alkalmazott modell a nyilvános felhő. A hétköznapi emberek számára is könnyen elérhető, de az erőforrások a szolgáltatók tulajdonában vannak, ők birtokolják és működtetik az infrastruktúrát saját telephelyükön. A felhasználók általában interneten keresztül érik el, de ezen modell esetében nincs rálátásuk az infrastruktúrára és ellenőrizni sem tudják annak elhelyezkedését. Nyilvános felhők esetében a platform megosztás miatt kisebb a biztonság, a rugalmasság és az irányíthatóság [35].

⁸ American National Standards Institute, ANSI

Magán felhő (Private Cloud)

Ezt a fajta felhő infrastruktúrát kizárólag egy dedikált szervezet/ügyfél használhatja. Az üzemeltetés megoldható úgy, hogy a felhasználó szervezet maga kezeli, de ez is működtethető harmadik fél által. Itt is igaz, hogy az infrastruktúra lehet fizikailag a felhasználó telephelyén vagy akár azon kívül is. A magánfelhő általában magasfokú biztonsággal rendelkezik, így kiváló választás lehet azon felhasználóknak, akiknél fontos szempont az adataik biztonsága. Emellett még nagyfokú rugalmasság és irányíthatóság jellemzi [38].



13. ábra: Hibrid felhő (forrás: [39])

Hibrid felhő (Hybrid Cloud)

A „hibrid” szó itt is kettő vagy több dolog keverékére utal, jelen esetben általában a nyilvános és a magánfelhő erősségei vegyülnek (ezt láthatjuk a 13. ábrán). A felhők megtartják jellegzetes tulajdonságaikat, valamint szabványosított és szabadalmaztatott technológiák kapcsolják őket össze a megfelelő működés érdekében. A hibrid felhő lehetővé teszi az adatok és az alkalmazások hordozhatóságát. Rugalmasság és többféle telepítési lehetőség jellemzi. Hátrányt jelent azonban a hálózat összetettsége és a megfelelőségi problémák.

Hibrid felhőnél a vállalatok érzékeny adataikat magánfelhőben tárolják, míg a támogatott szolgáltatásaikat a nyilvános felhőben, így adataikat ellenőrzésük alatt tudják tartani [39].

Közösségi felhő (Community Cloud)

A közösségi felhő típusú infrastruktúrát több szervezet megosztottan használja, tehát az adott közösség közös érdekeit szolgálja (pl.: amerikai költségvetési intézmények) [30].

2.1.3.3. Felhőszolgáltatások használatának előnyei

A Cloud Computing előnyei sokkal változatosabbak és erőteljesebbek, mint a hátrányai.

A házon belüli (on-premise) adattárolás és kezelés jelentős pénzbe kerülhet egy cégnek, ugyanis minden egyes szerver megvásárlásának és azok telepítésének, sőt az üzemeltetésének akár óriási költsége is lehet. A felhőszolgáltatások esetében nincs tehát szükség induló tőkeberuházásra, korszerű informatikai eszközök beszerzésére. Ha saját informatikai

csapatunk van, akkor nem egy (több) külső szakembernek fizetünk érte, hanem nekik kell a telepítéseket elvégezni, majd később üzemeltetni. Ezután gondoskodniuk kell a szerverek megfelelő működéséhez szükséges karbantartások, illetve a biztonsági mentések elkészítéséről is. Bármilyen eszköznél előfordulhat, hogy elromlik (ez lehet hardveres probléma vagy emberi hiba miatt is). Ezek a problémák és költségek megszűnnek felhőalapú számítástechnika alkalmazásakor. A karbantartások összegei bele vannak kalkulálva az infrastruktúra költségeibe, ez pedig fel van osztva az összes ügyfél között (nyilván mi a szolgáltatások igénybevételének arányában fizetünk ezért). A Global Cloud Services Market jelentése szerint a felhőszolgáltatásokat használó szervezetek évente több, mint 35%-ot takarítanak meg a működési költségeiken. Ha kevesebb idő és figyelem megy el az infrastrukturális problémák megoldására, akkor már az tiszta nyereség a vállalat számára [40].

Felhőalapú tárolás esetén az adatok elosztásra kerülnek adatközpontok között, így sokkal kisebb az adatvesztés lehetősége. A szinkronizálás lehetővé teszi az adatok gyors összekapcsolását, azok frissítését, de felhő esetén szükségtelenné válik a manuális szinkronizálás (az adatok tükrözése), mert itt mindig pontosan tudjuk, hogy az adataink biztonságban vannak (nyilván, ha plusz biztosítást szeretnénk adatainknak, akkor azt plusz szolgáltatásként, és így költségként, igénybe tudjuk venni). Az adatvesztés bármekkora méretű vállalat számára katasztrófát okozhat. Az adatvesztés világszerte (USA-n kívül) átlagosan 3,86 millió dollárba, míg az Egyesült Államokban átlagosan ennek duplájába kerül. A felhőtárhelyek mellett szóló nagy előny, hogy nincsen egyetlen meghibásodási pont (SPOF⁹). Az adatokról több szerverre készül biztonsági mentés, így meghibásodás esetén a szervezet adatai biztonságban maradnak [41].

Egy nem tervezett leállás pénzügyi hatásait előre nem lehet (vagy nagyon nehéz) megbecsülni. Bekövetkezése súlyosan ronthatja a vállalat hírnevét, főleg, ha az ügyfeleket is érint. Ezen leállásoknak fő okai általában rendszer- vagy emberi hibák, pedig mindkettő elkerülhető lenne felhőszolgáltatások alkalmazásával.

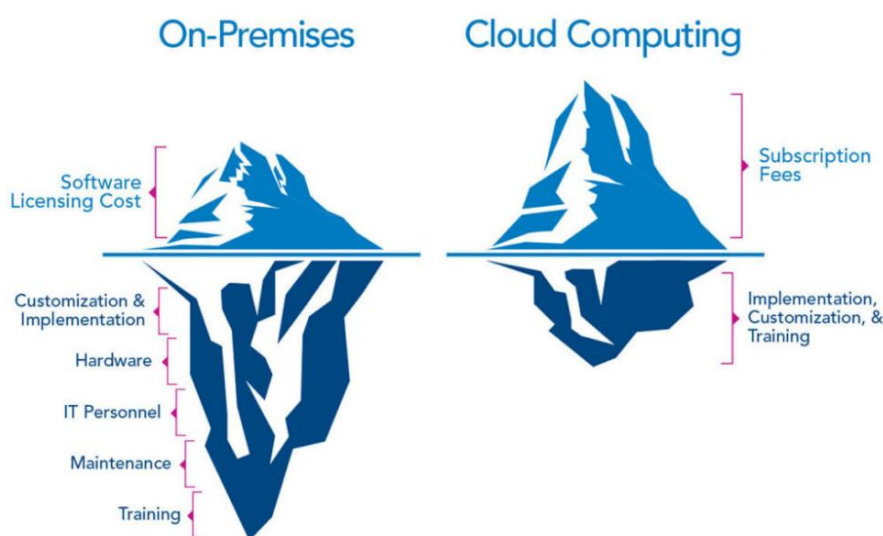
A felhőalapú számítástechnika lehetővé teszi, hogy a dolgozók hatékonyabban tudjanak együttműködni egy projektben akár otthonról, hiszen több alkalmazott valós időben tudja megtekinteni vagy módosítani a fájlokat. A dokumentumok felhőben való elérése segít, hogy mindenki a megfelelő verzió dolgozzon és az elavult változat ne kerüljön át a helyi források közé. A szolgáltatások költségei könnyen kiszámíthatók, valamint a befektetési kockázatok is kiküszöbölhetőek [42].

A házon belüli adattárolás karbantartásának jelentős részét képezik a rendszeres biztonsági mentések készítése. A felhőszolgáltatások nagyban hozzájárulnak a biztonsági mentések automatizálásához, így az IT csapatnak nem kell erre is időt szánnia. A szerverek és

⁹ Single Point of Failure

berendezések egyik jelentős tulajdonsága, hogy fizikailag helyet foglalnak és speciális környezetet igényelnek és használnak (villamosenergia felhasználás, hűtési költségek, személyi jogosultságok a beléptetéshez - záruk stb.). A felhőalapú számítástechnika lehetővé teszi, hogy munkaterületet vagy egyéb kényelmi, biztonsági szolgáltatást szabadítsanak fel, közben pedig szükségtelenné teszi a jövőbeli bővítések megtervezését. Számos előírást, amely különböző típusú adatok szabályzásáért felelős bonyolult megérteni, alkalmazásuk időigényes, karbantartásuk pedig fáradságos. Egy jó felhő alapú szolgáltatás az összes előírásnak megfelelően működik, így a vállalatnak nem kell aggódnia ezek miatt sem [43].

A legnagyobb előny lehet tehát a költségcsökkentés a felhőszolgáltatásokkal, de azért arra nem érdemes sajnálni a pénzt, hogy jól határozzuk meg a saját erőforrás keretünket, amivel kényelmesen és biztonságosan gazdálkodni tudunk majd a jövőben. Ekkor érvényesül leginkább a költségcsökkentés paramétere. A felhőbe való költözéshez vegyük igénybe szakemberek segítségét, így sok bosszúságtól megkímélhetjük magunkat a jövőben.



14. ábra: Az IT helyben (bal oldali jéghegy) vagy a felhőben (jobb oldali jéghegy) (forrás: [44])

A 14. ábra jól mutatja, hogy a bal oldalon (helyi IT-t, szerveret, szakembereket jelképez) a mélyben sokkal több rejtett, vagy közvetett költség van, mint a jobb oldalánál, ahol egy felhőszolgáltatást használ a cég ugyanarra a tevékenységcsoportra [44].

2.1.3.4. Felhőszolgáltatások használatának hátrányai

Bár a felhő használata bizonyos területeken segíthet a költségcsökkentésben, de mielőtt egy vállalat áttérne rá, fontos meggyőződniük arról, hogy van-e értelme a felhőszolgáltatások használatának. Első körben meg kell vizsgálni a szervezeten belüli összes rendszert, majd a rendelkezésre álló információk alapján egy megfelelő tervet kell készíteni. Ehhez a kulcs a rendszerek elemzése és azok két kategóriába való sorolása következik. Az első kategória a rendszer olyan részeit tartalmazza, amelyeket át kellene helyezni a felhőbe, a másodikba pedig

azok a komponensek tartoznak, amelyeknek helyben kell maradniuk. Ha ezeket sikeresen megismerték, akkor ki tudják számolni a felhőbe költözés részletes költségtervét [45].

A helyi kiszolgálókról a felhőalapú adatközpontokba való átköltözés a szervezet számára egy aránylag egyszerű folyamat. Ellenben a más felhőszolgáltatóhoz vagy egy helyi kiszolgálóhoz való költözés már nem ennyire könnyű. Ez a folyamat meglehetősen költséges lehet és a feltételek gyakran a felhőszolgáltatónak kedveznek. Szerződés-kötés előtt szükséges megismerni a felhő adatközpontból való kiköltözés folyamatát és fontos a szerződésben leszögezni a határidőket, a pénzügyi részét és magát a folyamat részleteit is.

Mivel a felhős infrastruktúra a szolgáltató birtokában van, a vállalkozások gyakran nem rendelkezhetnek kellő ellenőrzéssel a szolgáltatás felett. Ebben segíthet a szolgáltató véghasználói licencszerződése (EULA¹⁰). Minden felhőalapú szolgáltató lehetővé teszi a szervezet számára az ellenőrzést, de az infrastruktúra megváltoztatását nem. A szolgáltató felhasználóinak egy szolgáltatási szint szerződést (SLA¹¹) ad, amely segít, hogy az ügyfelek tájékozódjanak arról, mit tehetnek meg és mit nem a szolgáltatással kapcsolatban. A szerződés magába foglalja a saját eszközök elhelyezését a felhőszolgáltató adatközpontjában. Illetve megkapják a listát azon berendezésekről, amelyekhez karbantartás igénye esetén hozzáférést kaphatnak [46].

A felhőalapú számítástechnika egyik hátránya a szolgáltatók különbözőségéből ered. Ez általában másik kiszolgálóhoz való átköltözéskor jelentkezik. Ha a költözést nem kezelik megfelelően, akkor az adatok sérülékenységeknek vannak kitéve, amely adatvesztéshez vezethet. Egy jó felhőszolgáltató rendelkezik kellő szakértelemmel, hogy biztonságosan, adatvesztés és sérülés nélkül tudja a szervezet adatait átköltöztetni a két kiszolgáló között. Az adatok felhőbe való átköltöztetése jelentős kommunikációs késéssel járhat, ezért egy biztonsági mentés készítése hosszabb ideig eltarthat, mint egy helyi hálózat esetében. Teljes biztonsági mentés esetén a későbbi mentések sokkal kevesebb időt fognak igénybe venni. Ha egy teljes szervert kell visszaállítani, akkor az általában több időt vesz igénybe, de ezen sebességbeli különbségek elhanyagolhatóak megfelelő szolgáltató választásával [47].

A felhő egyik hátránya, hogy teljes mértékben a folyamatosan elérhető, stabil és nagy sávszélességű internetkapcsolatra támaszkodik. Ha megszakad a kapcsolat az adatközponttal, akkor nem lehet elérni az adatokat, de ez az adatokat semmilyen adatvesztéssel vagy sérüléssel nem fenyegeti. A felhőalapú számítástechnika semmiben sem különbözik egy webalapú eszköztől, mert az adatok és a funkciók eléréséhez szükség van internetkapcsolatra.

¹⁰ End-User License Agreement

¹¹ Service Level Agreement

Ha a biztonsági mentéseket munkaidőben készítik (amikor az emberek intenzívebben használják az internetet) a nagy felhőhasználat növelheti a torlódás esélyét és csökken az internet teljesítménye. Ez a fennakadás általában a kisvállalkozásokat érinti, mivel kevesebbet ruháznak be a sávszélesség és az internet sebességének növelésébe. Egy jó szolgáltató együttműködik az ügyfeleivel és segít abban, hogy ütemezésen és automatizáláson keresztül elkerülhessék ezeket a problémákat.

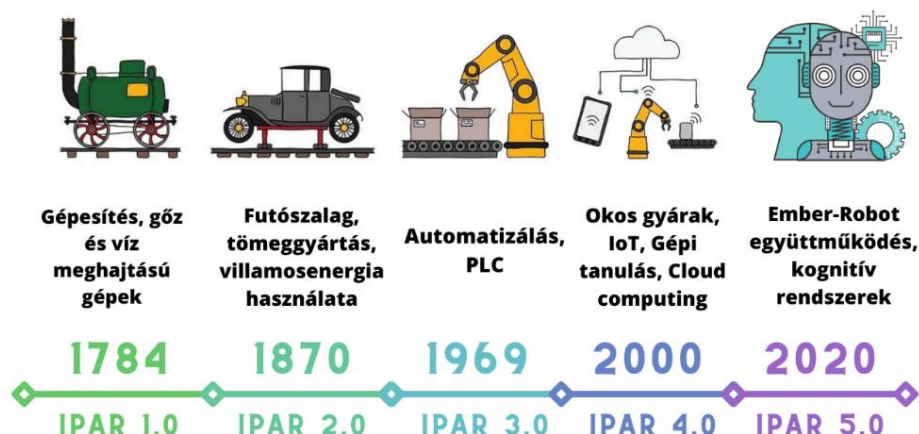
Nem lenne teljes ez a hátrányokat ismertető felsorolás, ha nem szerepelne benne a *bizalmatlanság* témaköre. A vállalatok vezetői a legtöbbször nem szeretnék a vállalat érzékeny (pénzügyi, működési stb.) adatait kiadni a kezeik közül, ha publikus felhőszolgáltatást használna. Ilyenkor érdemes javasolni, hogy alkalmazható magán- vagy hibrid felhőszolgáltatás is (nyilván úgy, hogy az érzékeny adatokat megtartja magának a cég), azokat az adatokat, alkalmazásokat, amelyeket pedig hatékonyabban lehet használni és működtetni a publikus felhőben, akkor azt tegyék meg ott [48].

A kutatásomban is megjelenik a felhőszolgáltatások gyakorlati alkalmazása. Ezt részletesen a 6. fejezetben fogom kifejteni.

2.1.4. Különbségek Ipar 4.0 és Ipar 5.0 között

A négy nagy ipari forradalom után napjainkban már megjelent az „Ipar 5.0” kifejezés és jelensége is. Ez valójában egy újabb ipari forradalomra utal, ami az ember és gépek közös együttműködésén alapuló koncepciót testesíti meg. Ismét az emberi munkaerő és szaktudás kerül a középpontba annak érdekében, hogy a gépek által vezérelt és működtetett termelés zökkenőmentesen történjen. Ez alapján szintén kijelenthető, hogy a termelésben mindig is szükség volt, és szükség is lesz a magas szintű emberi szaktudásra és munkaerőre. Egyrészt azért, mert akármennyire fejlett ma már a tudomány a mesterséges intelligencia terén is, egy gép, robot nem biztos, hogy meg tudja hozni önállóan az adott pillanatban a legmegfelelőbb döntést. Másrészt, sok gép fizikai karbantartását, javítását, programozását és egyéb műveleteket a szakemberek tudják megfelelően elvégezni [49][50].

IPARI FORRADALMAK



15. ábra: Ipari forradalmak (forrás: saját szerkesztés)

A 15. ábra szintén az ipari forradalmak sajátosságait mutatja be időrendben. Látható, hogy az Ipar 5.0 kezdetét a 2020-as évre teszik, tehát nem telt el olyan sok év a negyedik és az ötödik ipari forradalom között, sőt mondhatjuk, hogy az ötödik kinőtte magát a negyediktől.

Mik is a főbb különbségek? Miben más az Ipar 5.0, mint az Ipar 4.0? Az egyik főbb különbség, hogy az Ipar 5.0 koncepcióban az ember-gép verseny helyett a szinergikus együttműködésre fókuszál. Az Ipar 4.0 korában az volt a cél, hogy növeljék az innovatív technológiák számát és hatókörét a gyártásban, annak érdekében, hogy emberek és robotok versengjenek az állásokért és maximalizálják a technológiák felhasználását. Ezzel szemben az Ipar 5.0 esetében a hangsúlyt arra helyezik, hogy megtalálják azokat a területeket, ahol az ember és a technológia tökéletesen együtt tud működni, ahelyett, hogy az egyiket helyettesíteni kelljen a másikkal [51]. A másik nagy különbség az Ipar 4.0 és 5.0 között, hogy az Ipar 4.0 célja az volt, hogy technológiai fejlődés és ezen fejlett technológiák használata a vállalati profit növekedését szolgálja. Ezzel szemben az Ipar 5.0 már nem profit központú, hanem célja a társadalmi jólét biztosítása, amit szintén az ember-gép kollaboráció támogat. A 16. ábra is ad nekünk egy összefoglalót a főbb különbségekről [52][53].



16. ábra: Az Ipar 4.0 és Ipar 5.0 közötti főbb különbségek (forrás: saját szerkesztés)

A 2020-as év nem csak az ipari forradalmak tekintetében kiemelkedő. Ez az évszám talán minden ember életében nagy jelentőséggel bír, mivel ebben az évben robbant be a COVID-19 világszerte, és alakította át drasztikusan nem csak az emberek, hanem a vállalatok és egyéb intézmények életét is. Az Ipar 4.0 technológiák számos vállalatnál kiemelkedő szerepet játszottak a COVID-19 elleni küzdelemben, sőt, mondhatjuk azt is, hogy a digitalizációnak az eddigi legnagyobb próbatételeket kellett kiállnia. A vállalatok rendkívüli intézkedésekre kényszerültek az emberek védelme és a működésük fenntartása érdekében. Egyes vállalatok munkaerő- vagy nyersanyaghiánnyal miatt küzdöttek a működés fenntartásáért, mások azért harcoltak, hogy lépést tudjanak tartani a hirtelen megemelkedett kereslettel [54]. A McKinsey készített egy felmérést [55], amiben azt vizsgálja, hogy az Ipar 4.0 technológiák segítették-e a vállalatokat megbirkózni az előzőleg leírt nehézségekkel. Az eredmények három kategóriába sorolják a részt vevő vállalatokat. Az első kategóriába tartoznak azok a vállalatok, akik sokat nyertek azon, hogy már egy ideje alkalmazzák a digitális technológiákat. A kategóriára egy jó példa egy ázsiai vállalat, aki fogyasztási cikket forgalmaz. Ez a vállalat a COVID-19 előtt építette ki az ellátási láncának a digitális iker mását, amit több forgatókönyv használatára tudott használni a világjárvány alatt. Ezzel fel tudott készülni gyártási helyszínek hirtelen leállításaira vagy nyersanyagellátási problémákra. Egy másik példa egy észak-amerikai egyéni védőeszközök gyártó vállalat. Ők a kapacitásukat egy új gyártósorral növelték, amit kiterjesztett valóságon alapuló távsegítséggel helyeztek üzembe. A második kategóriába sorolják az úgynevezett korai alkalmazókat, akinél az Ipar 4.0 technológiák kritikusan bizonyultak a járvány okozta válság kezelése során. A kialakult helyzet arra kényszerítette őket, hogy újraértékeljék a saját digitális átalakulásuk előrehaladását. A harmadik kategóriába azok a vállalatok tartoznak, akik még egyáltalán nem alkalmazták Ipar 4.0 technológiát, és nem

is gondolkodtak a bevezetésén. Náluk megkongatták az úgynevezett vészharangokat, hogy ideje cselekedni az Ipar 4.0 technológiák bevezetését és alkalmazását illetően [8].

A McKinsey 2017 óta követte nyomon az Ipar 4.0 előrehaladását a világ több, mint 400 termelő vállalatánál. A felmérést a COVID-19 kirobbanása utáni hatodik hónapban zárták, az eredményekből pedig azt állapították meg, hogy válaszó vállalatok 94%-a nyilatkozta azt, hogy az Ipar 4.0 nagyban segítette őket a működésük fenntartásában és stabilitásában, míg 56%-uk azt nyilatkozta, hogy a válság okozta nehézségek leküzdésében kritikus szerepet játszottak az Ipar 4.0 technológiák. Az eredményekből számos kimutatás készült, például, hogy melyik országban helyezkedik el a vállalat, mik az elsődleges iparágak és a vállalatok mérete [55].

A COVID-19 okozta válságos helyzet arra ösztönözte a vállalatokat, hogy a működési stratégiájuk irányát újra gondolják. Az új működési stratégiába beletartozott az üzleti problémák kezelése és az ehhez használt Ipar 4.0 technológiák. A legfontosabb stratégiai prioritások közé tartozott még az agilitás, a műveletek rugalmassága, termelékenység növelése és a költségek minimalizálása. A további legfontosabbnak titulált stratégiai célok sorrendjéről a 17. ábra ad bővebb információt [8].



17. ábra: A vállalatok legfontosabb stratégiai céljai az Ipar 4.0 technológiák bevezetésével kapcsolatban (a válaszok %-os arányban kifejezve) szerint (forrás: [55])

Az Ipar 4.0 technológiák felhasználási eseteiről is készített a McKinsey egy kimutatást a 17. ábra hasonlóan. A lista első helyén (a válaszadók 51%-a jelölte az első helyen), hogy a távmunkát elősegítő lehetőségek állnak, úgy, mint például felhő alapú szolgáltatások használata, és olyan szoftverek, amelyek videókonferenciára is alkalmasak. A második helyen azok a technológiák állnak, amelyek segítenek a partnereknek (beszállító, gyártó, logisztikai partner, ügyfelek) a jobb láthatóságban és ellenőrzésben. A harmadik helyen azok a technológiák állnak, amelyek lehetővé teszik és megkönnyítik a csatlakozást, és biztosítják az adatvizualizációt, aminek segítségével átláthatóbb a teljesítmény. A technológiák felhasználási eseteinek sorrendiségét a 18. ábra mutatja be részletesebben.



18. ábra: Ipar 4.0 technológiák felhasználási esetei (forrás: [55])

A McKinsey eredményei a vállalatok Ipar 4.0 prioritásainak eltolódása mellett az ágazatok közötti konvergenciára is utalnak. Lehet, hogy a vállalatok céljai egybeestek, de a fejlettség tekintetében jelentős ágazati különbségek maradtak. A felmérésben részt vevő vállalatok közül az autóiipari válaszadók érték el a legnagyobb előrehaladást az Ipar 4.0 technológiák alkalmazása terén, míg a legkisebbet az energiaipari szereplők, valamint a fogyasztói cikket gyártók érték el. A felmérésből született megállapítások megerősítik azt az álláspontot, hogy a vállalatok saját iparágaik mellett is tekinthetnek példaként egy másik iparágban alkalmazott digitális gyakorlatra. Mivel az üzleti célok ilyen nagy átfedésben vannak, a fogyasztói cikket gyártó vállalatok, akik gyártási rugalmasságukat szeretnék javítani, inspirációt meríthetnek például az autóiipari beszállítók erőfeszítéseiből. A világhárvány megerősítette azt az üzenetet,

hogy a digitális megoldások akkor érik a legnagyobb hatást, ha túlmutatnak egy szervezet falain, és lefedik a teljes értéklánc egy nagyobb részét [8].

Az előzőekben összefoglaltak alapján látható, hogy az elmúlt 2-4 évben milyen hatalmasat fejlődött a technológia, ami valamennyi részben betudható a COVID-19 miatt kialakult helyzetnek. Ezeket a fejlett technológiákat sikerült a legtöbb ipari szereplőnek beépíteni a műveleteibe és alkalmazni a mindennapi tevékenységeik során. Úgy gondolom, hogy szerencsés vagyok, hogy egy ilyen időszak alatt végezhettem kutatást, hiszen rengeteg lehetőség adódott számomra az Ipar 4.0 több szemszögéből vizsgálni a kutatásban részt vevő vállalat tevékenységeit, termelési folyamatait.

2.2. A kutatás során használt ipari rendszerek

Ebben az alfejezetben bemutatom azokat az ipari rendszereket, amelyeket a vállalat is használ és a kutatás számára nélkülözhetetlenek. Ezek közé a rendszerek közé tartozik a kiberfizikai rendszer, épületfelügyeleti rendszer, vállalatirányítási rendszer és az adatelemzésre használt üzleti intelligencia rendszerek.

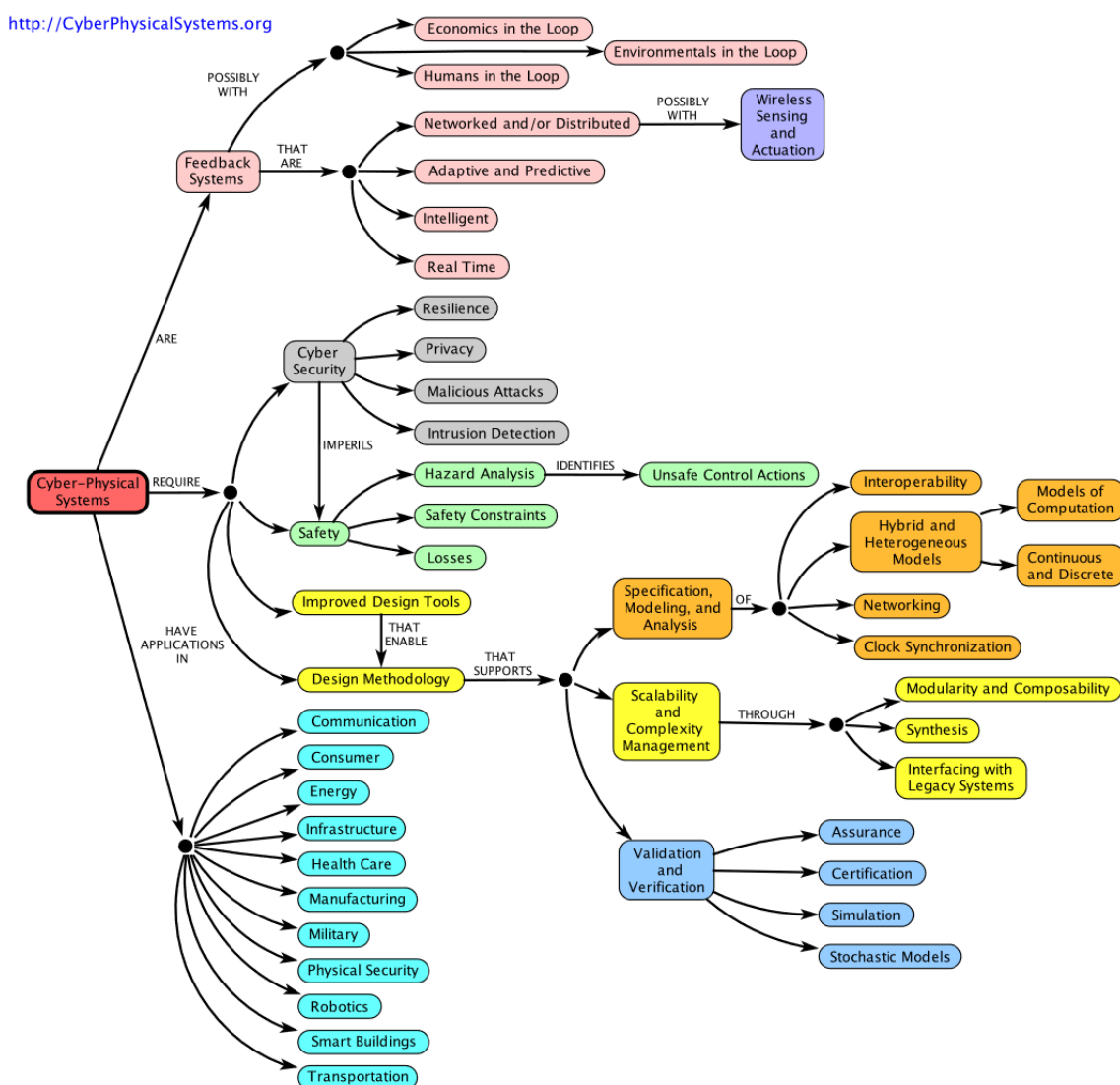
2.2.1. Kiberfizikai rendszer

A kiberfizikai rendszerek¹² a digitális rendszerek új generációja, amelyek számítástechnikai, fizikai és hálózati folyamatok integrációi. Úgy tervezték meg, hogy több változóból álló hálózatként működjön, ami rendelkezik fizikai bemenettel és kimenettel egyaránt, viszont önálló technológiával nem rendelkezik. Ez a fajta technológia nagyon szorosan kapcsolódik a szenzorhálózatokhoz és a robotikához, amik a számítási intelligencia szerint működnek. Ez a fajta kommunikációs és interakciós képesség jelentős lépést jelent a jelen és jövő technológiai számára. A kiberfizikai rendszerekben lévő gazdasági és társadalmi potenciál sokkal nagyobb, mint amennyit jelenleg megvalósítottak, éppen emiatt világszerte jelentős beruházások vannak a technológia fejlesztésére. Maga a technológia a régi beágyazott rendszerek, számítógépek és olyan eszközökbe ágyazott szoftverek diszciplínájára épül, amelyeknek alapvető célja nem kimondottan informatikai. Ilyenek például az autók, orvosi eszközök, tudományos műszerek és játékok. A kiberfizikai rendszerek integrálják a fizikai folyamatok dinamikáját a szoftverek és a hálózatépítés dinamikájával, amikhez absztrakciókat, modellezési, tervezési és elemzési technikákat biztosítanak, annak érdekében, hogy egy teljesskörűen integrált rendszer jöhessen létre. A 19. ábra szemlélteti, hogy milyen széles körben alkalmazhatóak a kiberfizikai rendszerek [56].

A kiberfizikai rendszereket a gyártásban, az egészségügyben és a mezőgazdaságban is széles körben alkalmazzák. Legszorosabban a gyártás kapcsolódik hozzá, mivel a feldolgozóiparban kiválóan használható a folyamatok optimalizálására, a teljes gyártási folyamat

¹² Cyber-Physical Systems, CPS

automatizálására, és képes egyetlen decentralizált platformot létrehozni az egész gyár számára. A gyártás optimalizálásával és automatizálásával csökkenthető a gyártási idő, és jelentős munkaerő-, energia- és anyagköltségek takaríthatók meg. Az egészségügyben a kiberfizikai rendszerekkel távolról és valós időben nyomon követhető a betegek állapota, sőt ma már otthoni betegápolás céljából is alkalmaznak kiberfizikai rendszert, hogy ha például egy idős vagy egy beteg embernél otthon baleset történik, akkor a rendszer ezt észleli és automatikusan riaszt. A mezőgazdaságban úgy nyújt segítséget a kiberfizikai rendszer, hogy például segít kiküszöbölni a túlzott növényvédőszer használatot, és csak akkor engedi használni, amikor valóban szükség van rá. Ez a módszer így nem csak hatékony, de környezetbarát is. Ezen kívül a kiberfizikai rendszerek lehetővé teszik a mezőgazdasági dolgozók számára, hogy pontosan gyűjtsék, elemezzék az éghajlattal, talajjal, vízzel kapcsolatos adatokat [57].



19. ábra: Kiberfizikai rendszer alkalmazási területei (forrás: [56])

2.2.2. SCADA rendszer

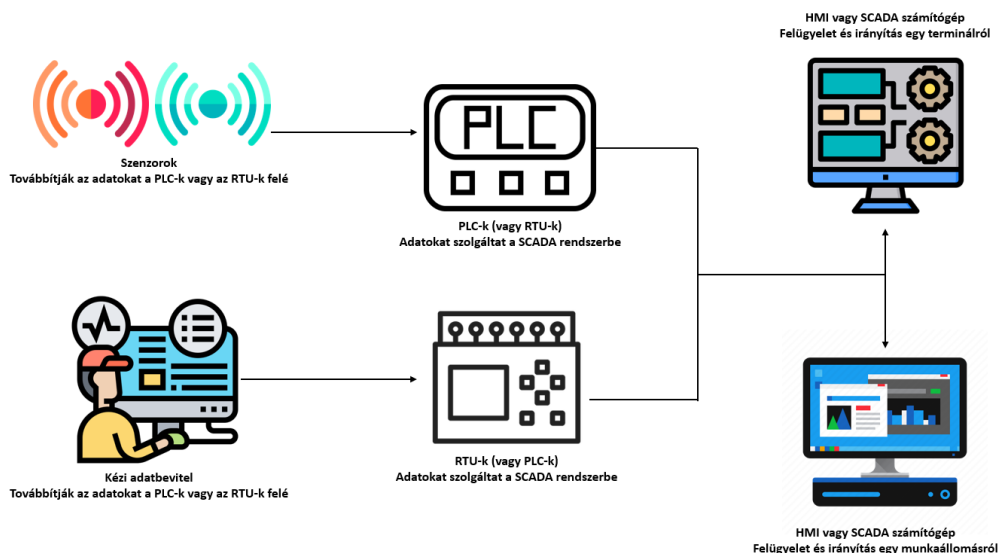
A SCADA a „Supervisory Control And Data Acquisition” rövidítése, amit magyarul épületfelügyeleti vagy folyamatmenedzselő rendszernek nevezünk. A SCADA rendszer hardverek és szoftverek együttese, amely lehetővé teszi az ipari folyamatok automatizálását helyben vagy távoli helyeken. Valós időben gyűjti, figyelni és feldolgozza az ipari eszközök, berendezések működéséből származó adatokat. A SCADA rendszer segítségével közvetlenül interakcióba tudunk lépni az eszközökkel és berendezésekkel (például termelő gépek, szivattyúk, kompresszorok, motorok stb.) egy úgynevezett „ember-gép interfész”¹³ szoftveren keresztül. A SCADA rendszerek ma már elengedhetetlenek az ipari vállalatok számára, mivel nagy segítséget nyújtanak a hatékonyság fenntartásában és növelésében, és az adatfeldolgozásban is nagy szerepet játszanak, továbbá jelzik a gépek, berendezések meghibásodásait, egyéb problémáit, így a szakemberek időben be tudnak avatkozni, ezzel csökkentve az állásidőket [58][59].

A SCADA rendszer architektúrája a 20. ábrán látható és a következő elemekből tevődik össze. A rendszer alapját képezik az programozható logikai vezérlők¹⁴ és a távoli terminálegységek¹⁵. Ezek olyan mikroszámítógépek, amelyek számos objektummal, például termelő gépekkel, szenzorokkal, HMI-vel kommunikálnak, majd ezekből az objektumokból a SCADA egy szoftver segítségével az információkat tovább irányítja számítógépekre. A SCADA szoftver képes az adatokat feldolgozni, szétosztani és megjeleníteni az adatokat, segítve az alkalmazottakat és vezetőket az adatok elemzésében és fontos döntések meghozatalában. Például a SCADA rendszer szinte azonnal értesíti a gépkezelőt, ha a termelés vagy működés közben hibát érzékel. A kezelő akkor szünetelteti a műveletet, és a gépcsoport monitorozásához használt számítógépen keresztül megnézi a SCADA rendszer adatokat, hogy meg tudja határozni a probléma pontos helyét. Így be tudja azonosítani, hogy melyik gépnél lépett fel az adott hiba és rögtön orvosolni is tudja. Ennek köszönhetően a termelés viszonylag rövid időn belül zökkenőmentesen tud tovább folyni [60][61].

¹³ Human-Machine Interface, HMI

¹⁴ Programming Logic Controllers, PLC

¹⁵ Remote Terminal Units, RTU



20. ábra: SCADA rendszer architektúrája (forrás: [60])

A SCADA rendszereket rengeteg iparág és vállalat használja, például olaj- és gázipar, termelő vállalatok, közművek, élelmiszeripar, szennyvízkezelő vállalatok is a SCADA rendszereket használják. Ezt úgy kell elképzelni, hogy ezekben a városokban a SCADA rendszerek segítik a szennyvízkezelést, az elektromos hálózatok kezelését, közlekedést, sőt még a nyilvános energiafogyasztást is képes nyomon követni. A városok így képesek hosszú távon optimalizálni az erőforrásokat, mivel az adatgyűjtésnek köszönhetően fel tudnak állítani ismétlődő trendeket, amikből kiderül, hogy melyek azok az időszakok, vagy környezeti anomáliák, amelyek befolyásolják a városban élők energiafogyasztási szokásait. Például bizonyos hőmérsékleti és páratartalmi értékek közvetlenül összefüggnek azzal, hogy az emberek bekapcsolják a fűtést vagy éppen a klímát. A hálózatot ezután fel lehet készíteni az elektromos termelés és átvitel növelésére. Napjainkban okos városnak számít például London, Amszterdam és New York, de már a soproni vízműben is ilyen SCADA rendszert használnak [58][62].

Visszatérve a termelő vállalatokhoz, a fa- és bútortipari vállalatoknál is használják a SCADA rendszert. Azért előnyös ez az említett vállalatok számára, mert a mai modern SCADA rendszerek már rendelkeznek tervezőalkalmazással és gyors alkalmazásfejlesztési modulokkal, amelyek lehetővé teszik a vállalat dolgozói számára, hogy viszonylag egyszerűen tervezzenek kisebb alkalmazásmodulokat még akkor is, hogy ha nem rendelkeznek a megfelelő szoftverfejlesztői vagy informatikai ismeretekkel. Még egy nagy előnye a SCADA rendszereknek, hogy már integrálva vannak benne SQL és webalapú alkalmazások, ami egyrészt a webalapú alkalmazásoknak köszönhetően biztosítja a rendszer hatékonyságát, megbízhatóságát és biztonságát, másrészt az SQL adatbázisnak köszönhetően könnyebben

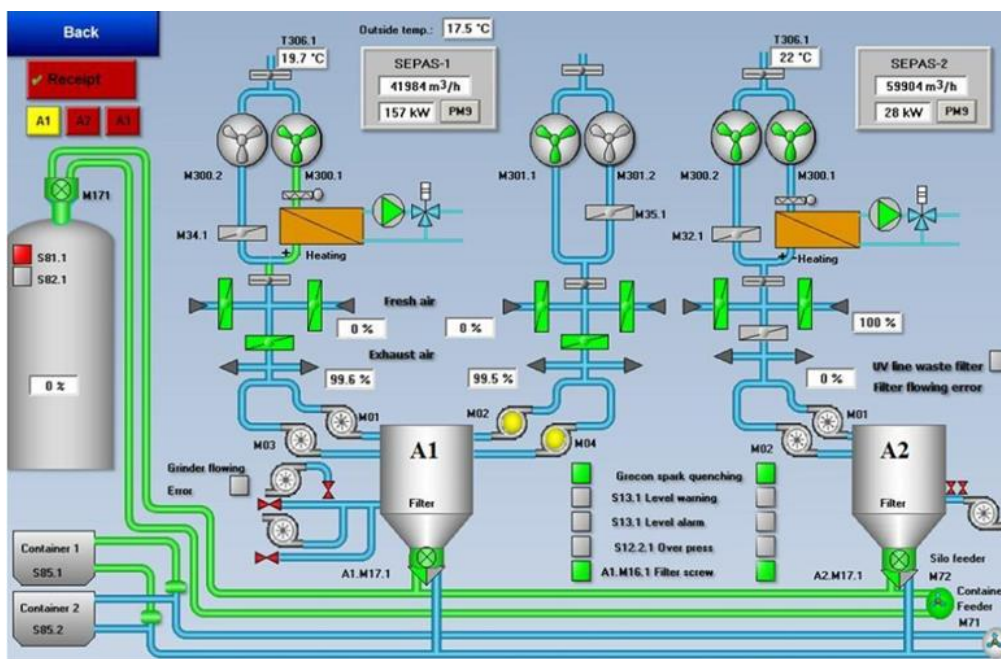
integrálhatóak gyártás végrehajtási (MES¹⁶) vagy vállalatirányítási (ERP¹⁷) rendszerekbe, és megkönnyíti az adatok problémamentes áramlását az egész vállalaton belül. A SCADA rendszer historikus adatai SQL adatbázisba naplózhatóak, ami megkönnyíti az adatok elemzését [63][64].

A kutatásomhoz kapcsolódóan a vállalatnál működő SCADA rendszer a következő feladatokat látja el: ezzel lehet gyűjteni és nyomon követni a fogyasztási adatokat és a környezeti paramétereket. Az itt található épületfelügyeleti rendszerben valós időben jelennek meg az adatok, és azok tendenciáit is láthatjuk különböző grafikonokon. Az épületfelügyeleti rendszer tökéletesen alkalmas az összes mért adatállomány összegyűjtésére és prezentálására a rendszer kezelője számára. Emellett ezzel a rendszerrel a gyárban lévő termelő gépek és más berendezések állapotának távvezérlését is végre lehet hajtani. A 21. ábrán például a szenzorok egy aktuális értékkészletét és az elszívó berendezések elhelyezkedését mutatja.

Az adatok elemzését eléggé bonyolultan lehetne csak az épületfelügyeleti rendszerben elvégezni, ezért az adatokat érdemes átmenteni egy „külső” adatbáziskezelő-rendszerbe a saját tervezésű és fejlesztésű adatstruktúrában. Ezek az adatmentések úgynevezett inkrementális backup-oknak felelnek meg, ami azt jelenti, hogy az épületfelügyeleti rendszerből új adatsorok beszúrásával lehet átmenteni az adatbáziskezelő-rendszerbe az adatokat (amelyek a legutóbbi mentés óta újként generálódtak). Ezt a rutint 10 percenként futtatom le. 10 perc bőven elegendő, mivel még a legnagyobb áramfogyasztók (egy felületkezelő gép és egy elszívó ventilátor) is csak 10-100 közötti kWh-t fogyasztanak 10 perc alatt, így a villanyórák másodpercenkénti vagy percenkénti ellenőrzése nem szükséges az üzem áramfogyasztásának nyomon követéséhez. Az épületfelügyeleti rendszernek saját programozási nyelve van, amellyel végrehajtható az inkrementális mentési rutin, vagy röviden: a kitérítés.

¹⁶ Manufacturing Execution Systems

¹⁷ Enterprise Resource Planning Systems



21. ábra: SCADA rendszer képernyőkép az elszívó berendezések rendszeréről (forrás: saját szerkesztés)

Néhány fontos információ a vállalat eszközparkjáról: a vállalat közel 100 termelő géppel és más termelést támogató berendezéssel rendelkezik. Van egy fő villanyóra (a villamosenergia szolgáltató által hitelesített mérőműszer), 2 gyárüzem, 5 fő villamos főelosztó, 6 elszívó berendezés 105 zsaluval vagy szeleppel, 9 kompresszor, 29 termelő gép és még néhány más fontos termelést támogató eszköz.

2.2.2.1. A VISION X10 rendszer

A vállalatnál a Vision SCADA program X10 verzióját használják, ami 2018-ban jelent meg. Ez a szoftver egy teljeskörű megoldást kínáló integrált fejlesztőrendszer (IDE¹⁸), amivel alkalmazások készíthetők az ipar számára. Egy másik előnye és különlegessége ennek a szoftvernek, hogy az első olyan folyamatmegjelenítő rendszernek számít, ami az összes komponens számára egy egységes konfigurációs és programozási környezetet tesz lehetővé. A programban minden fájl szöveges, legyen szó az képekről, riasztásokról, vezérlő programokról, ütemezőkről, jelentésekről. Tehát minden script ugyanazzal a szintaktikával és nyelven programozható ugyanazzal a szerkesztővel. A VISION használatának egyetlen kritériuma, hogy csak MS Windows operációs rendszeren fut [65].

A VISION rendszer és a VISION X10 program legfontosabb tulajdonságai a következők:

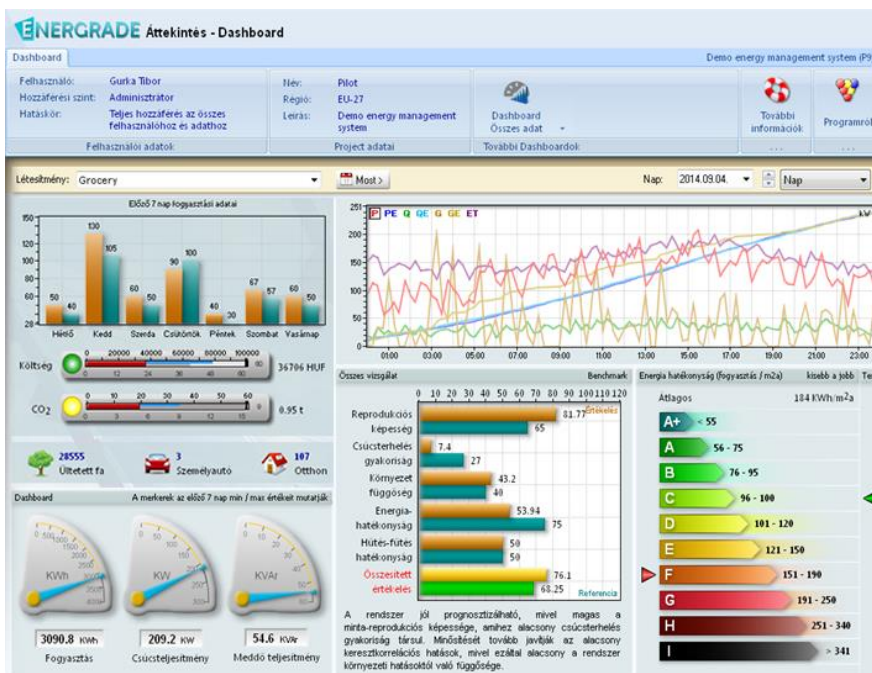
- Teljes körű megoldást kínál, ami azt jelenti, hogy nem kell speciális programokat fejleszteni, vásárolni és futtatni. A VISION-ben benne van minden, amire egy vállalatnak szüksége lehet. Külön előny, hogy a rendszer integrált, saját programozási

¹⁸ Integrated Development Environment

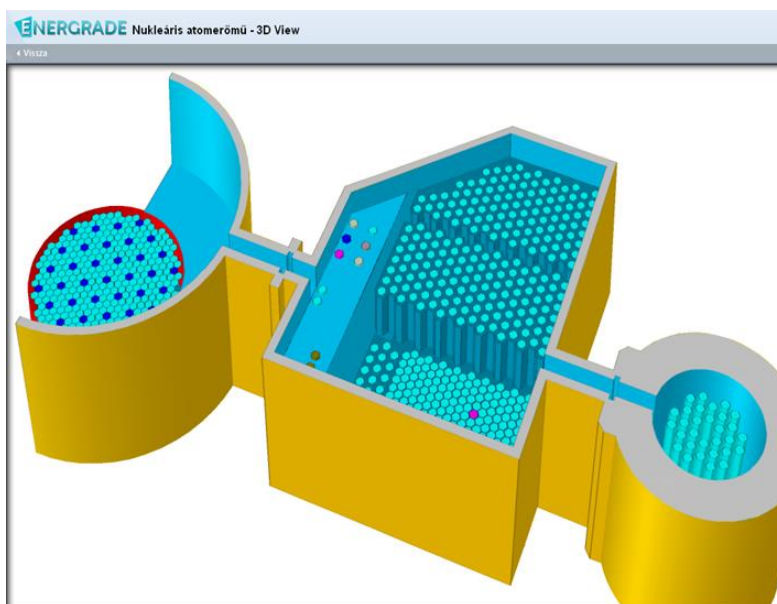
környezettel rendelkezik, amit XSDL¹⁹-nek neveztek el, de C-ben és Pascal nyelvben is lehet benne programozni.

- A programnak modern és sokszínű a megjelenítő felülete, ami főleg a látványos dashboard-okban (22. ábra) nyilvánul meg. Itt meg lehet jeleníteni 3D-s oszlopdiagramokat, további különböző diagramokat, analóg műszereket és még sok minden mást. Elérhető benne valós idejű vezérlés és megjelenítés, valós idejű és historikus trendek, fejlett riasztási rendszer, esemény térkép, időszűrők. Az automatikus adatgyűjtést és a 3D-s modellek megjelenítését is támogatja (23. ábra).
- A VISION rendszere támogatja a webtechnológiákat, így az alkalmazásokat meg lehet jeleníteni webes felületen is bármilyen eszközön. Ez azt is jelenti, hogy mobileszközökön való megjelenítést is lehetővé teszi. A webes támogatáshoz hozzá tartozik az is, hogy lehet benne kiegészítő webes alkalmazásokat is fejleszteni.
- A rendszer rendelkezik saját SQL motorral, de támogatja az összes SQL alapú adatbázist. Emellett számos adatfeldolgozási funkcióval rendelkezik, sőt az Excel bizonyos funkcionálisait is belefejlesztették a programba, a könnyebb import-export érdekében.
- A rendszer támogatja a felhőszolgáltatásokat és illeszkedik szinte az összes adatbázishoz. A korábbi verzióknál ez a funkció nem volt elérhető.
- A legfontosabb funkciónak mondható a folyamatmegjelenítés, ami számos ipari vállalat számára elengedhetetlen funkció egy SCADA szoftverben, illetve épületautomatizálásra is van lehetőség. Ezen kívül támogatja az energiamenedzsmentet is.
- Elérhető benne a multiprojekt funkció, ami azt jelenti, hogy egy nagy projektben több, teljesen független rendszer adatait lehet közös platformon kezelni és jelentéseket készíteni, és az adatokat exportálni [65].

¹⁹ XML Semantics Definition Language



22. ábra: VISION X10 Dashboard példa (forrás: [66])



23. ábra: VISION X10 3D modell megjelenítés példa (forrás: [67])

2.2.3. Vállalatirányítási rendszer

A vállalatirányítási rendszer az angol Enterprise Resource Planning (ERP) kifejezésből ered. Ha szó szerint szeretnénk fordítani, akkor vállalati erőforrás tervezést jelent, ami a vállalatok számára egy fontos folyamat, melyet a vállalat működési egységeinek menedzselésére és integrálására használnak. Tehát az ERP rendszerek olyan szoftverek, amelyek egyetlen rendszerbe integrálják a vállalat működtetéséhez szükséges összes folyamatot. Integrálni lehet például tervezést, készletgazdálkodást, értékesítést, marketinget, emberi erőforrást, pénzügyi és számviteli folyamatokat, raktározási tevékenységét és még sok más [68][69].

A vállalatirányítási rendszerek kialakulása és első alkalmazására az 1960-as évek közepén került sor. Akkor még csak anyagszükséglet tervező rendszernek nevezték. Az 1980-as vége és 1990-as évek elején ezek a rendszerek rengeteget fejlődtek funkcionalitásban, és akkor kezdték vállalatirányítási rendszernek hívni őket. Azokban az időkben az ERP rendszerek monolitikus csomagok voltak, amelyek külön működtek és nem kommunikáltak más rendszerekkel. Mindegyik rendszerhez drága, összetett és testreszabott kód kellett, hogy megfeleljen az egyedi üzleti követelményeknek. Ez a régi technológia nagyon lelassította, vagy sok esetben meg is akadályozta az újabb technológiák vagy a korszerűbb folyamatoptimalizálási eszközök bevezetését. Az ERP rendszerek az évek során a hagyományos, fizikai kliens-szervereket használó szoftvermodellektől a távoli, webalapú hozzáférést kínáló felhőalapú szoftverekké fejlődtek. Mára már léteznek nagyon modern, a mai digitalizált és automatizált ipari kor igényeit szinte teljes mértékben kielégítő ERP szoftverek. Ezek a szoftverek abban különböznek a régebbi rendszerektől, hogy a különböző vállalati folyamatokat egyetlen rendszerben egyesíti. Másik előnye a mai modern ERP rendszereknek, hogy könnyen telepíthetőek, fokozott biztonságot és adatvédelmet, fenntarthatóságot és alacsony kódszámú testreszabást kínálnak. Az ERP rendszerek azt is lehetővé teszik, hogy a vállalat különböző részlegei könnyebben kommunikáljanak és osszanak meg információkat egymással. Egy vállalatirányítási rendszerrel információkat lehet gyűjteni a különböző részlegek tevékenységéről és állapotáról. Ezek az információk a többi részleg és a vezetőség számára is elérhetőek, így produktívan fel tudják használni őket. Még további előnye az ERP rendszereknek, hogy segíthetnek a vállalatnak öntudatosabbá válni azáltal, hogy összekapcsolja a termelésre, a pénzügyekre, az értékesítésre, raktározásra és az emberi erőforrásokra vonatkozó információkat [70][71].

A vállalat ERP rendszer szoftvere a kutatásban is nagy szerepet játszik, mivel abban rögzítik a termelő gépek termelési adatait. Konkrétan a vállalat egy Blueprint nevű ERP rendszert használ, ami egy egyedi svéd fejlesztésű rendszer. A rendszerben nyomon lehet követni, hogy egy-egy termelő gép mennyi idő alatt hány darab vagy mennyi négyzetmétert gyártott le az egyes termékekből. A termelési adatok összesítve érkeznek gépenként a vállalatirányítási rendszerbe. Mivel minden egyes termelő gép egyedi gépazonosítóval rendelkezik, ez megkönnyíti a beazonosításukat a rendszerben. Az ERP rendszerben a mért időszakokat tetszőleges periódusra tudjuk osztani, így nem csak napi szinten tudjuk nyomon követni a legyártott termékeket, hanem le lehet szűrni óránként, sőt 10 percenként is a gyártási mennyiségeket. Ezáltal folyamatosan nyomon tudjuk követni, hogy az egyes termelő gépek milyen termékeket és hány darabot vagy négyzetmétert gyártottak [72].

2.2.4. Adatelemzésre használt üzleti intelligencia rendszerek

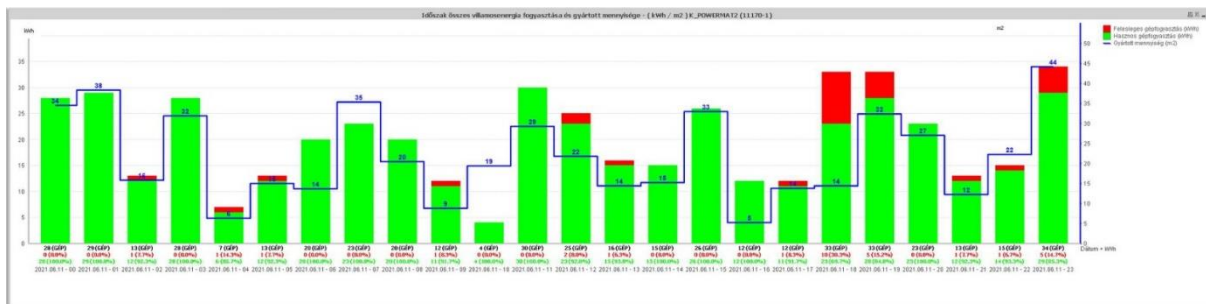
Manapság már rengeteg alkalmazás létezik, amivel adatelemzést lehet végezni. Én most kimondottam azt a kettő alkalmazást fogom bemutatni, amit a vállalatnál használunk erre a célra. Ezek a szoftverek a QlikTech, svédországi szoftvercég termékei, a QlikView és a Qlik Sense üzleti intelligencia szoftverek [73].

Az üzleti intelligencia (BI²⁰) egy technológia által vezérelt folyamat az adatok megjelenítésére, elemzésére és az üzleti információk kezelésére, amely segít a vezetőknek és a dolgozóknak megalapozott üzleti döntések meghozatalában. A BI folyamat részeként a vállalatok adatokat gyűjtnek belső informatikai rendszerekből és külső forrásokból, előkészítik azokat elemzésre, lekérdezéseket futtatnak a begyűjtött adatokra, valamint adatvizualizációkat, BI irányítópultokat (dashboard-okat) és jelentéseket készítenek, hogy az elemzések eredményeit elérhetővé tegyék az üzleti felhasználók számára operatív döntéshozatalhoz és stratégiai tervezéshez. A BI eszközök használatának fő célja a jobb üzleti döntések meghozatala, amelyek lehetővé teszik a szervezetek számára, hogy növeljék bevételeiket, javítsák a működési hatékonyságot, és versenyelőnyre tegyenek szert üzleti riválisaival szemben. A BI eszközök nagy mennyiségű strukturált és bizonyos esetekben strukturálatlan adatot tudnak kezelni, és lehetővé teszik ezeknek a nagy mennyiségű adatoknak a könnyű értelmezhetőségét, elemzését [74][75].

A QlikView a klasszikus adatelemző megoldás, aminek segítségével gyorsan készíthetünk és fejleszthetünk interaktív, irányított elemző alkalmazásokat és dashboard-okat. Hívhatjuk akár első generációs üzleti intelligencia alkalmazásnak is. A vállalatnál szinte már az adatelemzés és a teljes kutatási időszak kezdetétől ezt az alkalmazást használtuk a termelési és fogyasztási adatok elemzéséhez és különböző kimutatások készítéséhez. Jelenleg egyetlen hátránya van ennek az alkalmazásnak, hogy ez egy asztali alkalmazás, tehát a vállalat lokális szerverein fut, és távolról nem elérhető (csak távoli asztalos belépéssel). Így nyilván ez nem egy home office barát alkalmazás. A QlikView alkalmazással készített kimutatásokat mutatják nekünk a következő ábrák, amelyeken szemléltetjük a QlikView képességeit és lehetőségeit [76][77].

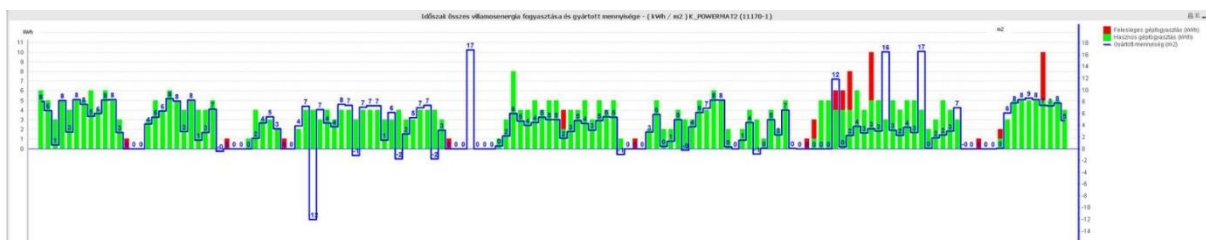
Egy ilyen kimutatás például, amikor a vállalatirányítási rendszerből érkező termelési darabszámokat össze tudjuk kapcsolni és ezáltal hasonlítani az adott termelő gép energiafogyasztásával, ami pedig a SCADA rendszerből érkező adatsor. Így a vállalat menedzsmentje felé olyan eredményeket és jelentéseket tudunk közvetíteni, ami megmutatja, hogy egy adott gép, adott időintervallum alatt (hét, nap, óra vagy perc) hány darab vagy négyzetméter terméket gyártott le, és ehhez mennyi energiát használt fel. A vállalat ERP rendszere hozzá van kapcsolva az adatelemző szoftverhez, hogy azon keresztül könnyen hozzá tudjunk férni az adatokhoz elemzés céljából. Ha ezeket az információkat ismerik a vállalat alkalmazottai és a vezetőség is, akkor tudnak lépéseket tenni az esetleges energiafelhasználás csökkentése érdekében. Például, ha az egyik gépnél olyan eredmény születik, amiben kimutatható, hogy alacsony a termelési szám, viszont magas az energiafelhasználás, akkor optimalizálni kell a műveleteket, vagy karbantartást kell elrendelni és elvégezni. Példa kimutatásokat a 24. és 25. ábra szemlélteti.

²⁰ Business Intelligence



24. ábra: Egy gyalugép energiafogyasztásait és termelési mennyiségeit mutatja 1 napon belül órára lebontva (2021. június 11-én) (forrás: saját szerkesztés)

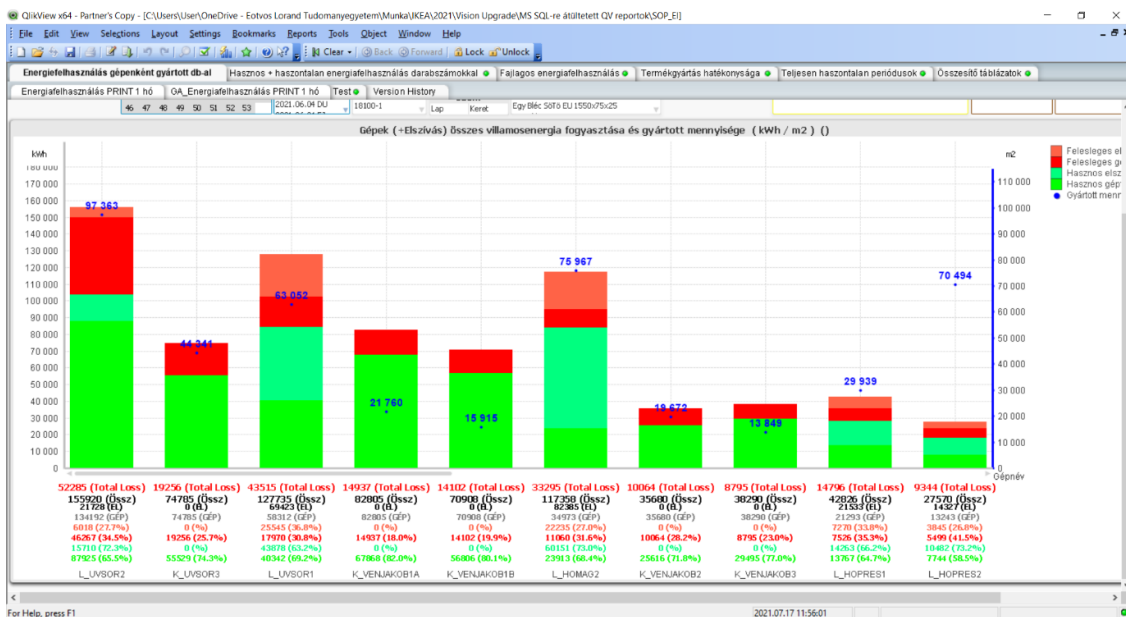
A 24. ábrán egy gyalugép egy napi energiafogyasztása és termelési mennyisége látható órára lebontva. Az ábrán a zöld oszlopok a hasznos energiafelhasználást mutatják, amikor valóban zajlott a termelés. A piros oszloprészek a haszontalan energiafelhasználást mutatják, amikor működésben volt a gép, de épp nem gyalult egyetlen bútorlapot sem. A kék vonal jelzi a termelési mennyiségeket, azaz, hogy egy óra alatt mennyi négyzetmétert gyalult le a gép. A diagramon a bal oldali tengely az energiafogyasztás mennyiségét mutatja kWh-ban, a jobb oldali tengely a legyalult mennyiségeket négyzetméterben. Az alsó tengely mutatja az időegységeket (órában megadva), illetve egy összesítés is látható, hogy adott órában hány %-os volt a hasznos és haszontalan energiafogyasztás (bár ez a kép méretezése miatt kevésbé látható).



25. ábra: Egy gyalugép energiafogyasztásait és termelési mennyiségeit mutatja 1 napon belül 10 perckre lebontva (2021. június 11-én) (forrás: saját szerkesztés)

A 25. ábrán ugyanaz a gyalugép egy napi energiafogyasztása látható, mint a 24. ábrán, csak itt most 10 perces időegységekre lebontva. Ami ezen a diagrammon szembeűnő, hogy mutat negatív gyártási mennyiségeket is. Ennek az az oka, hogy vannak olyan bútorlapok, faanyagok, amiket nem elég egyszer legyalultatni a géppel, hanem többször is át kell esnie ezen a folyamaton, hogy tökéletes legyen. Emiatt azt az adott bútorleletet a gépkezelőnek ismét rá kell helyeznie a gyalugépre, de a gép sajnos nem olyan intelligens, hogy felismerje, hogy egy adott bútorlapot már legyalult, hanem egy újabb darabnak, vagy újabb négyzetméternek érkezel. Ezért a folyamat végén, mikor már az előírásoknak megfelel a bútorlap, akkor a gépkezelőnek manuálisan kell bevinni az adatokat a gépbe, vagyis le kell vonni az ismétléseket.

A 26. ábrán is látható, hogy valóban egy Windows operációs rendszeren futó asztali alkalmazásról van szó.

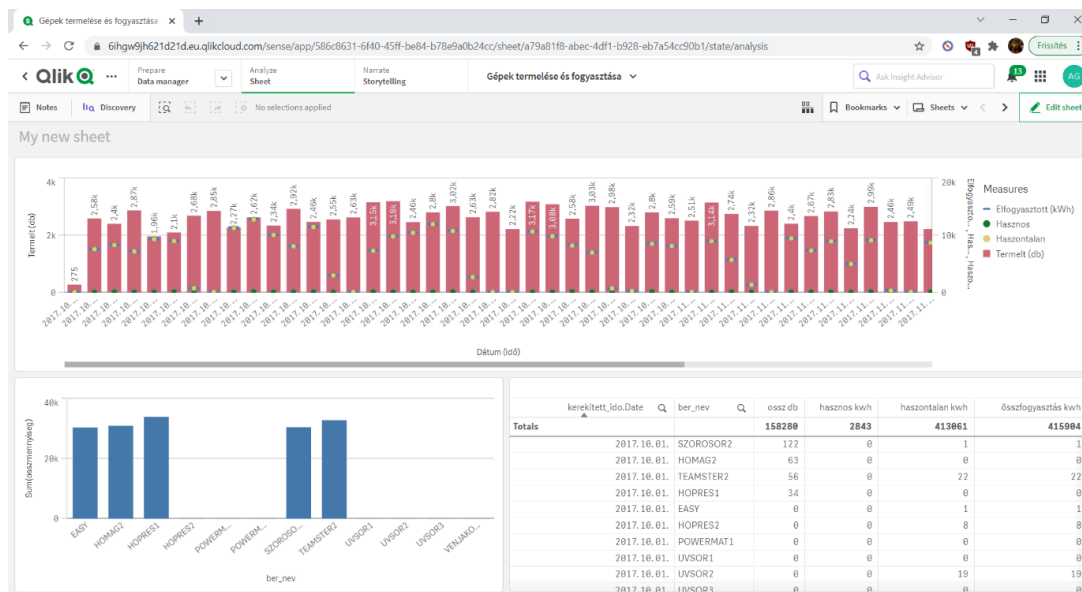


26. ábra: Példa kimutatás a QlikView alkalmazással (forrás: saját szerkesztés)

A 26. ábrán a gépek és az elszívó villamosenergia-fogyasztási adatait mutatja összesítve. Az adatok 2020 augusztusának egy hetéből származnak.

2014-ben a technológiák rohamos fejlődésével a Qlik alkalmazások is robbanásszerűen fejlődtek, így létrejött a Qlik Sense nevű alkalmazás, ami egy modern önkiszolgáló-orientált elemző alkalmazás következő generációs platformja. A Qlik Sense az elemző módszerek és elemzési területek teljes skáláját támogatja szervezetben belül – az önkiszolgáló vizualizációtól és feltárástól kezdve az irányított elemző alkalmazásokig és dashboard-okig, egyéni és beágyazott elemzésekig, mobilanalitikáig, jelentéskészítésig és adatrásztásokig. A vállalat számára pedig egy modern, felhőalapú platformot is nyújt szabványos API-kkal, hatékony adatintegrációval, valamint központosított kezeléssel és irányítással. Az adatelemzést tekintve a vállalatnál is áttértünk ennek az alkalmazásnak a használatára, mivel a Qlik Sense igazából egy felhőben futó üzleti intelligencia alkalmazás, ezért weben keresztül bárhonnán hozzá tudunk férni magához az alkalmazáshoz, bármilyen eszköztől (nem csak számítógépről, hanem akár tabletről vagy telefonról) elkészíthetők vele az újabb, és hozzáférhetőek a már meglévő kimutatások. A Qlik Sense másik nagy előnye, hogy a benne lévő és alkalmazható algoritmusok mellett lehetőség van saját algoritmusokat is készíteni a felhőben Python nyelven, és azokat alkalmazni az adatainkra. A Qlik Sense applikációval is készült kimutatás, amit a 27. ábra mutat be [78][73].

A 27. ábrán látható, hogy valóban egy webes alkalmazásról van szó, és a felhőben működik. Lényegében szinte ugyanaz látható itt, mint amit a 27. ábra is mutat: a termelő gépeknek a hasznos és haszontalan villamosenergia-fogyasztása, és a termelt mennyiségek (m²) egy adott időszakban.



27. ábra: Példa kimutatás a Qlik Sense alkalmazással (forrás: saját szerkesztés)

Jelenleg a vállalat élesben a QlikView alkalmazást használjuk az adatvizualizációra, mivel könnyebben kezelhető nekik és ez elérhető a számukra. A készített elemzésekből egyből kirajzolódik a gépeknek a teljesítménye, és az is, ha valamelyik gépnél probléma van. A Qlik Sense-t én leginkább azért próbáltam ki, hogy szemléltessem, a kibernetika rendszer adatmegjelenítő- és elemző része, az üzleti intelligencia alkalmazás hatékonyan használható a felhőben is.

2.3. A fejezet összefoglalása

A 2. fejezetben egy általános betekintést adtam az Ipar 4.0 és főbb technológiáiba. Bemutattam az Internet of Things, Big Data és Cloud Computing alkalmazási lehetőségeit ipari szinten. Kitértem azokra az ipari rendszerekre is, amelyeket a kutatásom során használunk az adatok gyűjtésére és feldolgozására. Ezek alapján látható, hogy mennyire sokoldalú egy Ipar 4.0 kritériumainak megfelelő termelő vállalat, és mennyi komponensre van szükség ahhoz, hogy a különböző rendszerek egy nagy egészként tudjanak működni. Ezeket a technológiákat használva a vállalat sokkal mélyebben és részleteiben nyomon tudja követni a termelés minden fázisát és paramétereit.

A kutatásom során azt tapasztaltam, hogy a faipar, az energiagazdálkodás, az Internet of Things és a termelés témájában számos kutatómunka és publikáció született, de egyik sem foglalkozik a mi kutatási területünkkel együttesen. Ahogy vizsgáltam a témához kapcsolódó publikációkat, a következőket állapítottam meg:

1. Kallam és szerzőtársai „*Low energy aware communication process in IoT using the green computing approach*” című publikációja középpontban az IoT, illetve annak energiagazdálkodással kapcsolatos elemei állnak, de itt a fő cél az eszközök közötti kommunikáció megvalósítása volt. Ez technikailag összefoglalja az IoT technológia

előnyeit és hátrányait, azonban mi az IoT alapú kommunikáció alkalmazását és előnyeit vizsgáljuk elsősorban [79].

2. Hashmi és társai „*Internet of things and cloud computing-based energy management system for demand side management in smart grid*” című kutatómunkájukban egy IoT alapú energiamenedzsment rendszert fejlesztettek ki, amelynek elemei különféle eszközökből és szoftverekből épülnek fel. Kiemelt hangsúlyt kapott a rendszer elemei közötti kommunikáció és a vizsgált eszközök (pl. izzók) energiafogyasztásának monitorozása. Mi a kutatásunkban többet foglalkozunk egy adott termelő vállalat IoT alapú energiamenedzsmentjével [80].
3. Li és Kara a kutatásukban egy IoT-alapú vezeték nélküli rendszer architektúráját mutatják be. Igaz, hogy a mi rendszerünk is IoT alapú, és főleg ezek elemeiből (szenzorjaiból) áll, de az ő kutatásukban a hőmérséklet vizsgálata volt a fő tesztkörnyezet, a gyártáshoz kapcsolódó elemek nem kerültek be a rendszerbe. Ezzel szemben a mi kutatásunkban a tesztkörnyezet valós termelési környezet volt, valós időben [81].
4. Avancini és szerzőtársai az „*A new IoT-based smart energy meter for smart grids*” című munkájukban az általunk kidolgozotthoz hasonló rendszerről ír. Ez egy IoT alapú rendszer, amely szenzorokkal méri az energiafogyasztást, de nem egy konkrét ipari környezetben, hanem általánosságban a folyamat működéséről szól. A fő különbség ezen tanulmány és a mi munkánk között, hogy mi a termékek mennyiségét, a sűrített levegő termelését és az elszívott levegő mennyiségét is mérjük, és ezeket az adatokat összevetjük az adott gépek energiafogyasztási adataival is [82].

Az irodalomkutatás során olyan komplex tanulmányt nem találtam (témavezetőm disszertációján kívül), ami az előbb felsorolt paraméterek mindegyikét vizsgálná valós ipari környezetben. Ezért is volt motiváló a választott kutatási témám és maga az egész kutatási tevékenység, mivel itt szinte az egész gyárra nézve együttesen vizsgáljuk a termelő gépek és a termelést támogató berendezések energiafogyasztását és egyéb paramétereit, és tudom, hogy az elért eredmények mind a vállalat, mind a saját részünkre is nagyon tanulságosak és hasznosak lesznek.

Egy általános célkitűzésem volt, hogy megvizsgálom egy termelésben használt kiberfizikai rendszerrel a részegységek felhőbe való költöztetésének lehetőségeit, előnyeit, hátrányait. Ebben a fejezetben áttekintettem a felhőszolgáltatások elméleti hátterét és ismertettem a kiberfizikai rendszer elemeit. A célkitűzés elérésének megvalósítása így itt megalapozásra került, a következő fejezetek során pedig mindig visszautalok majd arra, hogy az adott elem áthelyezésének menete hogyan történhet meg és milyen következménnyel járhat.

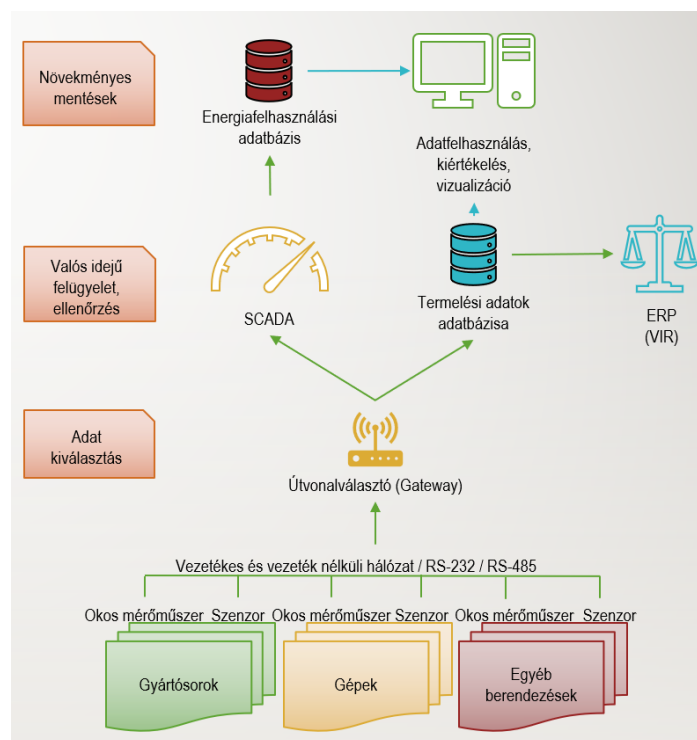
3. A kiberfizikai rendszer fejlesztése

Ebben a fejezetben először bemutatom röviden a kutatásomat megelőző időszakot abból a célból, hogy látható legyen, hogy hogyan indult és meddig jutott az a kutatási és fejlesztési folyamat, amelybe én becsatlakoztam. Ezután térek rá arra az időszakra, amikor az én kutatómunkám kezdődött 2018-ban. Először bemutatom a kiberfizikai rendszeren belüli és kívüli fejlesztéseket, bővítéseket, mivel ezek nélkül számos termelést támogató berendezéstől érkező adat mérése és gyűjtése nem tudott volna megvalósulni. A fejezet további részében bemutatom a szenzoros környezet felépítését és elemeit, valamint az általunk használt adatbázis szerkezetét is szemléltetem, amiben gyűjtjük a gépektől és berendezésektől érkező adatokat.

3.1. Kutatásaim előzményei (2016-2018): a kiberfizikai rendszer kiépítése

A 2016/17-es gazdasági évben (szeptembertől augusztusig) lehetőség nyílt egy együttműködésre egy multinacionális bútorigipari vállalattal, ahol a fő cél az volt, hogy a vállalat informatikai rendszere, beleértve a hardware és software környezetet korszerűsítve legyen a jelen kor ipari innovációs trendjei szerint. Ebből a célból kiépítésre került egy olyan kiberfizikai mintarendszer, amely alapját képezi annak, hogy az Ipar 4.0 kritériumainak megfelelően működhessen a vállalat [83]. Emiatt egy energiafelhasználást felügyelő és menedzselő keretrendszer került kialakításra, amely segítségével az energiafelhasználási adatok összevethetők a tényleges termelési adatokkal. Így az operatív döntéshozók képesek nyomon követni és kezelni a termelő gépek és a hozzájuk kapcsolódó rendszereik működését, ezáltal hatékonyabb stratégiai döntéseket képesek meghozni. A kezdeti kiberfizikai rendszer részét képezik fizikai szempontból: villamosenergia mérőszensorok, hálózati kábelek és átjátszók, szervergép. A rendszer szoftveres részét tekintve tartalmazza a következőket: SCADA (épületfelügyeleti) rendszer, vállalatirányítási rendszer, adatbáziskezelő rendszer, üzleti intelligencia rendszer [84][85].

Itt történt meg tehát a kiberfizikai rendszer megtervezése és kiépítése. A rendszer elmei, architektúrája, az adatok folyásának irányai a következő ábrán láthatók (28. ábra). Az utána lévő további három ábra a rendszerrel végezhető mintaelemzések eredményeit szemlélteti, amelyeket az ábrák feliratánál magyarázatokkal is ellátok.

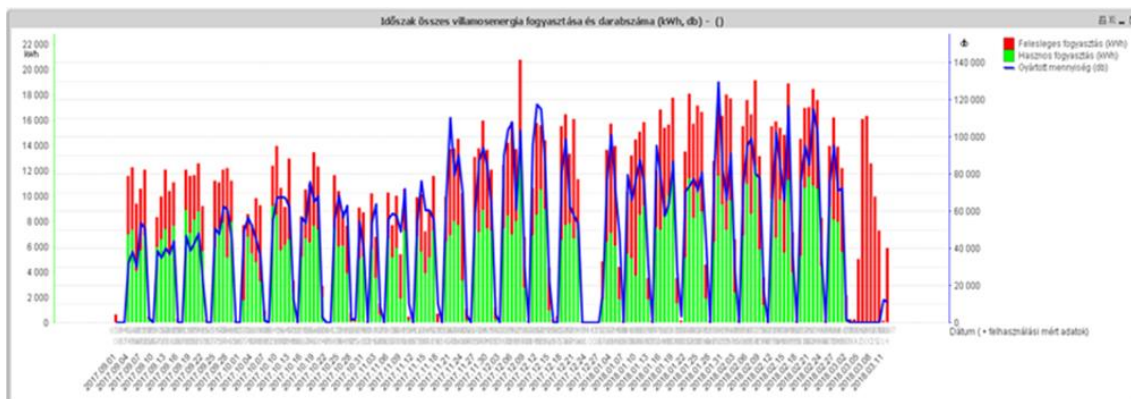


28. ábra: Kiberfizikai rendszer felépítése 2017-ben (forrás: saját szerkesztés)

Az előző ábrán látható, hogy a termelő gépekhez, és más termelést támogató eszközökhöz szenzorok lettek felszerelve, amelyek MODBUS TCP/IP, illetve RTU²¹ interfésszel rendelkeznek különösen alkalmasak ipari rendszerek központi adatgyűjtésére. A szenzorok rögzítik a legfontosabb elektromos paramétereket, például az áramokat, feszültségeket, teljesítménytényezőket, teljesítményeket és energiaértékeket leíró paramétereket és még egyéb adatokat is. A szenzorok a vállalat belső hálózatán keresztül az adatokat az épületfelügyeleti rendszerbe (SCADA) és a vállalatirányítási rendszerbe (ERP) továbbítják. Ezután kapcsoljuk össze a termelési és energiafogyasztási adatokat üzleti intelligencia szoftver segítségével, amiben különböző jelentéseket, kimutatásokat is készítünk. Ezek jól ábrázolják a trendeket, és az adatcsoportok közötti szoros összefüggéseket.

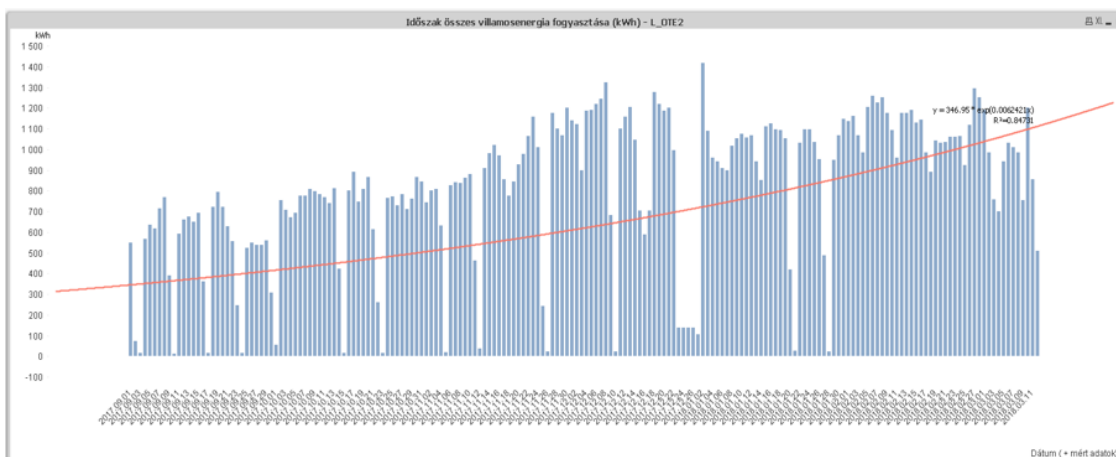
A 2017/18-as gazdasági évben a rendszer fizikai bővítése történt meg a rendelkezésre állás és a megbízhatóság növekedése mellett. A korábbi mintarendszerben nagyjából 10 gép és berendezés felszerelése és mérése történt meg, de ebben az évben a mért és vizsgált berendezések száma 100 fölé emelkedett. Ehhez nem csak a szenzorokra volt szükség, de a hálózatokat is bővíteni kellett a cégnél. Szoftveres szempontból új jelentések elkészítése történt meg, így nyomon követhető a gépek hasznos (termelt) és haszontalan (működött, de nem termelt) energiafogyasztása is 10 perces viszonylatban (29. ábra) [86].

²¹ Remote Terminal Unit



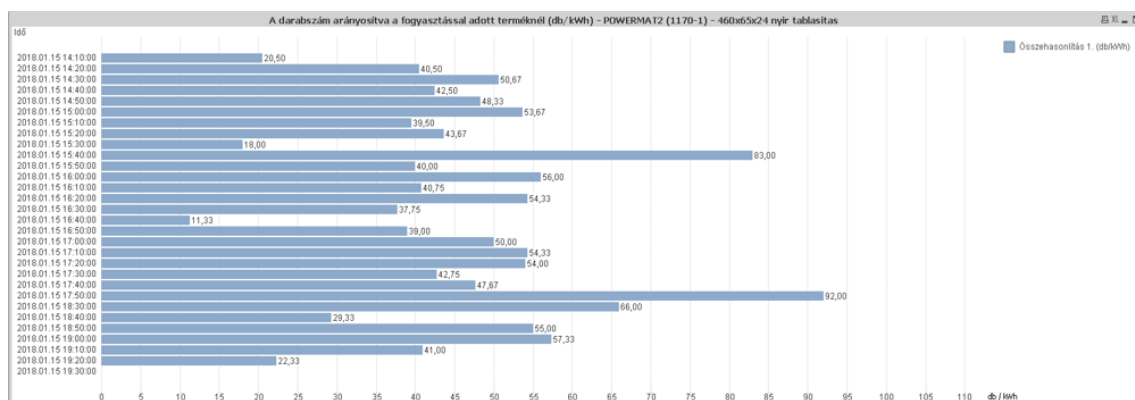
29. ábra: A 2017-2018-as gazdasági év (2017 szeptemberétől 2018 márciusáig) mért fogyasztási és termelési adatai a keretrendszerben (kék vonal: gyártott darabszámok, zöld oszloprész: hasznos villamosenergia fogyasztás, piros oszloprész: haszontalan villamosenergia fogyasztás; hasznos: történt termelés, haszontalan: nem történt termelés) (forrás: [86])

A villamosenergia fogyasztás monitorozásával fény derült egy berendezés egyre inkább pazarló működésére (30. ábra), így előzetes karbantartás (vagy cseré) is megtörténhetett operatív intézkedésként.



30. ábra: Adott berendezés napi szintű energiafelhasználása és a trendvonalja 2017. szeptemberétől 2018. márciusáig (forrás: [86])

Ennek a szakasznak a végén (2018) pedig összevetésre kerültek egy termelő gép hatékonysági értékei, vagyis az, hogy egy kWh energiafelhasználásból hány darab terméket tudott legyártani (31. ábra).



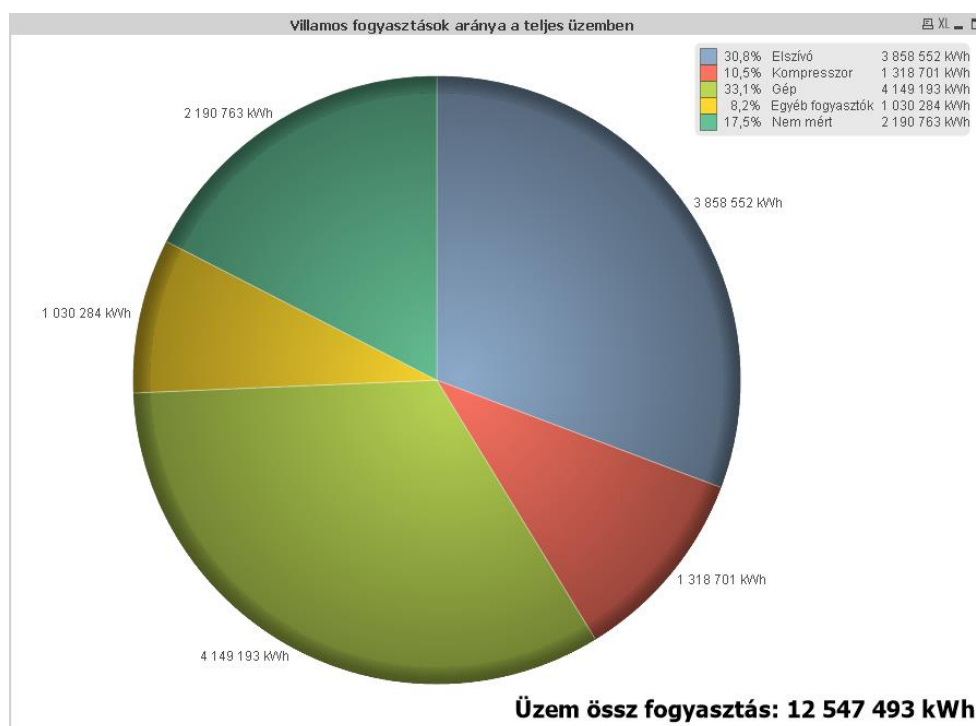
31. ábra: Termelési hatékonyság egy adott termékénél és gépnél: 1 kWh villamosenergia felhasználásából mennyi munkadarab készült el (forrás: [86])

A kutatásom előzményeinek összefoglalása: elkészült egy olyan kiberfizikai rendszer, amelynek a segítségével az egész gyárat átszövő villamosenergia fogyasztási adatok összegyűjtése és elemzése is megvalósult. Ezen felül az energiafogyasztási adatokat sikerült összevetni a termelési adatokkal, így az adott időszakra, vagy adott termelő gépre szűrve is megtekinthetőek azok a trendek, amelyek a termelés és a villamosenergia-fogyasztás összevetését mutatják (db/kWh, kWh/db, m²/kWh). Kezdetben csak darabszámok voltak nyilvántartva, de most már finomítva lett annyit a rendszer, hogy nem elégséges, vagy nem mindig mond sokat a darabszám, mert nem mindegy, hogy egy kis deszkát munkál meg a gép, vagy egy néhány négyzetméteres munkadarabot kezel. Ez könnyen belátható, hogy nem jelent ugyanannyi munkát, így szükséges volt a pontosítás [86].

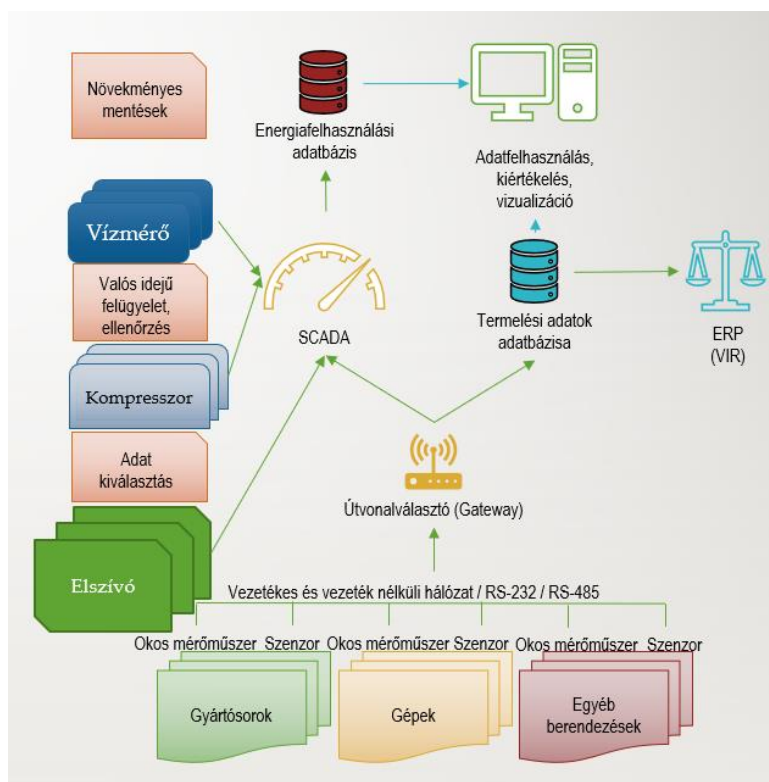
3.2. Kiberfizikai rendszer kiterjesztése

A kutatásom jövőbeli céljainak meghatározása után az első lépés az volt, hogy megterveztük, és lépésről lépésre meg is valósítottuk a meglévő kiberfizikai rendszer hardveres és szoftveres fejlesztését. A kiberfizikai rendszer fejlesztésére azért volt szükség, mert már nem csak a termelő gépek villamosenergia fogyasztását szerettük volna mérni, hanem minden más termelést támogató berendezést (elszívókat és kompresszorokat) is szerettünk volna a hálózatra kapcsolni, és mérni azok energiafogyasztási és egyéb adatait. Ehhez viszont arra is szükség volt, hogy ezekhez a berendezésekhez is fel legyenek szerelve szenzorok, amelyek mérik a fogyasztási és/vagy termelési paramétereket [87]. A szenzorok beszerzésében és felszerelésében a vállalat szakemberei készségesen segítséget nyújtottak, így viszonylag hamar meg is valósult ez a fázis. A szükséges beállítások után már sikerült mérni az elszívók és kompresszorok villamosenergia fogyasztási adatait is. Ezeknél a gépeknél fontosnak tartottuk, hogy több paramétert is mérjünk, ezért, szintén szenzorokat alkalmazva, elkezdtek mérni a légköbméter elszívási és kibocsátási mennyiségeket is. A fő célunk az volt, hogy a beáramlott adatokból, csak úgy, mint a termelő gépeknél, különböző elemzéseket készítsünk, illetve a vállalat vezetésével együtt szerettük volna tudni a gyár működésének erőforrás felhasználásokkal kapcsolatos további adatait.

Itt felmerülhet a kérdés, hogy miért pont a kompresszorok és elszívók teljesítményét kezdtük el vizsgálni, amikor a termelésben a főszerep a termelő- és munkagépeké és a termékeké. Ennek egyszerű oka van: minden más berendezés a termelő gépek mellett elég nagy áramfogyasztónak bizonyult, viszont ezt a vállalat csak sejtette, bizonyítéka nem volt róla. Mikor már egy-két éve gyűjtöttük az adatokat ezekről a gépekről is, sikerült készíteni egy éves elemzést, ahol nagyon jól látható, hogy valóban az elszívók a legnagyobb energiafogyasztók, de a kompresszorok fogyasztásai is szembetűnőek. A 32. ábra a vállalat teljes villamosenergia fogyasztását mutatja a 2020-as évben, ami összesen több mint 12 millió kWh volt. Az ábrán az is látszik, hogy ebből a 12 millió kWh-ból 3,8 millió kWh volt az elszívók, és több, mint 4 millió a termelő gépek éves energiafogyasztása. A kompresszoroké 1,3 millió kWh volt, ami éves szinten kimagasló a többi fogyasztó mellett. Amikor láttuk, hogy az elszívók ilyen sokat fogyasztanak, új célok fogalmazódtak meg bennünk a kutatással kapcsolatban. Kezdetben az elszívók villamosenergia fogyasztási adatait nem lehetett összekapcsolni a gyártási teljesítménnyel. Emiatt is volt a fő cél megismerni az elszívó berendezések hasznos és haszontalan energiafogyasztását. Elszívók esetében itt a hasznos villamosenergia fogyasztás azt jelenti, hogy miközben a gépek termékeket állítottak elő, addig működésben volt az elszívó; a haszontalan villamosenergia fogyasztás azt jelenti, hogy a gépek nem állítottak elő semmilyen terméket, viszont az elszívó működésben volt. A közvetett költségek közvetlen költségekre való átváltása érdekében számos módosítást és bővítést kellett végrehajtani kiberfizikai keretrendszerben [88]. A közvetett és közvetlen költségek kalkulációja a kutatási egyik sarkalatos pontja, így ezt is az 5.2. fejezetben fogom részletesen bemutatni, mivel ez is az elszívókhoz kapcsolódik.



32. ábra: Villamosenergia fogyasztás a 2020-as évben (forrás: saját szerkesztés)



33. ábra: A kibővített kiberfizikai rendszer felépítése (forrás: saját szerkesztés)

A 33. ábra szemlélteti a kibővített kiberfizikai rendszer felépítését és az adatok áramlásának irányát. Itt látható, hogy az új berendezések bekerültek (kompresszorok és elszívók), illetve a vízfogyasztás, mint mérési paraméter is megjelenik a rendszerben, amiket a SCADA rendszerben tudunk felügyelni [89]. Így a gyártásnál használt további erőforrások (a villamosenergián kívül) felhasználásainak mért adatait a SCADA rendszerhez tartozó adatbázisban tudjuk eltárolni és nyomon követni.

3.2.1. A Modbus protokoll és az adatgyűjtéshez használt szenzorok bemutatása
Ebben az alfejezetben bemutatom az adatgyűjtéshez használt különböző szenzorokat és az eszköz kommunikációhoz használt Modbus hálózati protokollt, ami nélkül nem jöhetne létre a tényleges adatgyűjtés. Habár egyre népszerűbbek az iparban is a vezeték nélküli, rövid vagy nagy hatótávolságú rádiókommunikációs megoldások, a magyarországi gyárakban még a vezetékes hálózatokat részesítik előnyben, főleg a magasabb szintű megbízhatóság és a magasabb rendelkezésre állás miatt.

3.2.1.1. Modbus protokoll

A Modbus az egyik legrégebben használt hálózati protokoll az iparban. A Modicon (ma már Schneider Electric) fejlesztette ki. A vállalat először 1979-ban mutatta be, és a programozható logikai vezérlőihez (PLC²²) használta. Alkalmazási körébe beletartozik az ipari automatizálás,

²² Programmable Logic Controller

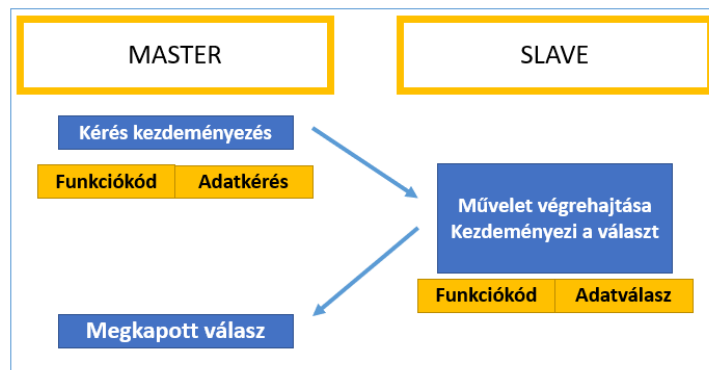
folyamatirányítás, épületautomatizálás, továbbá energia, szállítás és távfelügyelet is. Manapság már gyakorlatilag minden szenzor és vezérlőeszköz képes rácsatlakozni a MODBUS hálózatra, ilyen eszközök például a PLC-k, folyamatvezérlők, PID²³ vezérlők, energiamérők, épületfelügyeleti rendszerek (SCADA), programozható automatizálási vezérlők (PAC) és egyéb beágyazott eszközök.

Egyszerűbben fogalmazva a Modbus egy olyan módszer, amelyet az elektronikus eszközök közötti soros kommunikációs vonalakon történő adatátvitelre használnak. Eredetileg PLC-k és számítógépek közötti kommunikációra tervezték, de gyakorlatilag egy szabványos kommunikációs protokoll lett az iparban használt elektronikai eszközök hálózatra csatlakoztatására és használatára. A Modbus előnye, hogy nagyon sokféle alkalmazáshoz és eszközhöz adaptálható, továbbá egy nyílt szabvány, ami azt jelenti, hogy a gyártók jogdíj nélkül építhetik be a berendezéseikbe. A Modbus népszerűvé válásával és elterjedésével lehetővé tette a gyárakban teljes eszköz- és gépcsoportok csatlakoztatását a hálózathoz, és ezzel megvalósította az ipari adatgyűjtést [90][91].

Ma már a Modbus a 21. század egyik vezető ipari hálózata, aminek sikeressége három okon alapul. Az első a nyílt szabvány, amit a Modicon vállalat tudatosan alakított így, mivel azt szerették volna, hogy a Modbus sikeres legyen a piacon. Ezért nem szabadalmaztatott szabványként adták ki, és megvalósítás során szívesen fogadták fejlesztők és a versenytársaik ötleteit. Ennek köszönhetően lett a Modbus az első széles körben elfogadott Fieldbus szabvány. A második sikerességi tényező, hogy a Modbus szabványos átvitelt használ, ami azt jelenti, hogy a Modbus RTU parancsok szállítási rétege szintén könnyen értelmezhető. A szállítási réteg azt jelenti, hogy hogyan továbbítjuk az üzenetet az egyik végpontról a másik végpontra. A Modbus RTU az RS232, RS422 és RS485 portokat használja, míg a Modbus TCP/IP Ethernetet használ. Az RS232 a „Recommend Standard” 232 rövidítése, ami valójában a régi idők soros portja, amit nagyon sok évvel ezelőtt használtak a számítógépek. Az RS485 az RS232 utódja, ami hasonló módon működik a szinkronizáló bitek tekintetében. A szinkronizáló bitek feladata biztosítani a bitek átvitelét egy küldő ponttól a fogadó pontra. Az RS485-nek van kettő meghatározó jellemzője, ami miatt nagyban különbözik az RS232-től. Az első különbség az, hogy az RS485-tel több célállomásra is lehet küldeni üzenetet. Az RS485 adók legfeljebb 32 céleszközt képesek elektromosan jelezni. Emiatt részesítik előnyben az RS485 továbbítási módot a Modbus üzenetek tekintetében. Az RS485 másik előnye és meghatározó jellemzője a fokozott zajvédelem. A Modbus Etherneten keresztüli kommunikációja Modbus TCP néven ismert. A Modbus életében egy nagyon nagy előrelépés volt, amikor elkezdte az Ethernet-et átviteli protokollként használni. Ma már az Ethernet sebessége és sáv szélessége is olyan nagy, hogy hatalmas mennyiségű üzenetet képes küldeni rövid idő alatt. Ennek köszönhetően már több ezer eszközt lehet hozzácsatlakoztatni a Modbus TCP hálózatához, és több klienst is

²³ Proportional-Integral-Derivative Controller

támogat. A harmadik oka a Modbus sikerességének az, hogy egyszerű protokollt használ. Ennek elsődleges célja az adatok egyszerű átvitele egy RTU Master eszköz (kliens a Modbus TCP-ben) és egy RTU Slave eszköz (kiszolgáló a Modbus TCP-ben) között. Ezt a kapcsolatot a 34. ábra szemlélteti [91].



34. ábra: Modbus protokoll adatátviteli struktúrája (forrás: [91])

A 34. ábrán látható, hogy a Modbus egy nagyon egyszerű kérdés-válasz parancsstruktúrát használ. A Modbus Master adatokat kér vagy küld válaszul egy Slave-nek. A regiszter és tekercs írására és olvasására egyszerű parancsok léteznek. Az ábrán látható a funkciókód felirat, ami azonosítja a Modbus Slave-hez intézett kérést. Látható, hogy a Modbus nem egy bonyolult rendszer, ezért még azok az emberek is képesek hamar megérteni és megtanulni a sajátosságait, akik csak csekély, vagy egyáltalán nem rendelkeznek programozói tudással.

A Modbus-ban az adatábrázolás is nagyon egyszerű. Csak kettő adattípus létezik és továbbítható, az úgynevezett regiszterek és tekercsek. A regiszterek 16 bites előjel nélküli egész számok. A regiszterek értéke 0 és 65535 között lehet (vagy hexadecimálisan kifejezve 0 és FFFF között, 2^{16} értéke lehet). Negatív értékeket, a 65535-nél nagyobb értékeket és a valós értékeket (pl. 200,125) nem képes megjeleníteni. A Modbus eszközöket kezelő alkalmazások bármelyike képes tetszőleges módon rendezni és kezelni a regiszter adatokat, viszont itt arra kell ügyelni, hogy egyik fajta Modbus eszköz nem fogja tudni automatikusan kezelni egy másik fajta Modbus eszköz regiszteradatait. Ahhoz, hogy több fajta Modbus eszköz adatait tudjuk egységesen kezelni, a kezelő alkalmazásban kell haladó szintű beállításokat végezni, illetve az alkalmazásnak rendelkeznie kell alapról olyan funkciókkal, amik az egyes regiszterek helyes kezeléséért és helyes feldolgozásáért felelősek. A regiszter mellett a másik adattípus a tekercs, ami egy bit. A bit vagy ON (1) vagy OFF (0) lehet (tehát a BE és a KI állapot). Bizonyos tekercsek bemeneteket jelentenek, ami azt jelenti, hogy valamilyen fizikai diszkrét bemenet állapotát tartalmazzák. A tekercsek másik fajtája kimenetet jelent, tehát valamilyen fizikai diszkrét kimenet állapotát tárolják el.

A Modbus egyik gyengepontja a biztonság, mivel a Modbus RTU és Modbus TCP esetében sem létezik védelem. Az emberek azt gondolhatják, hogy mivel a Modbus vezérlő tűzfal mögött van, és a vezérlője nincs az interneten ezért védett a hálózat, de ez nem így van. Az igazság az,

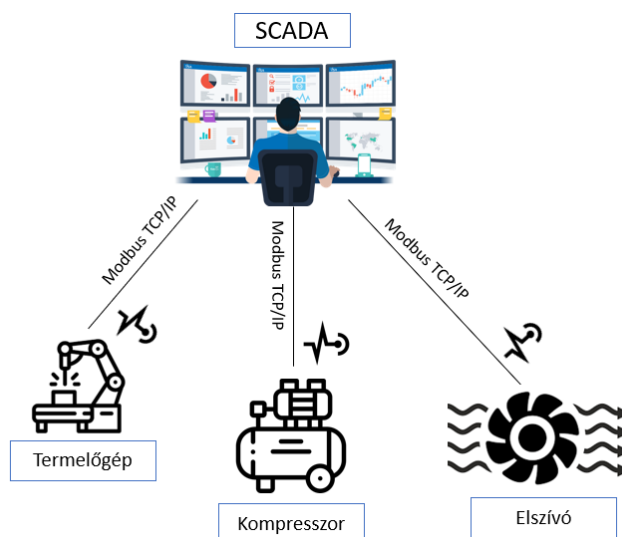
hogy a Modbus nem a biztonságosság miatt lett tervezve és megalkotva, ugyanis jelszavak és engedélykérések lehetősége egyáltalán nincsen benne, sőt tanúsítványok átadásának lehetősége se áll fent, tehát azok a biztonsági paraméterek mind hiányoznak belőle, amik nélkül ma már senki sem építene biztonságos hálózatot [90]. Ezeket a hiányzó paramétereket újabb biztonságot biztosító protokollréteggel lehet pótolni. Ez a protokollréteg a Modbus TCP esetében lehet a Modbus TLS²⁴, ami növeli az interneten keresztüli kommunikáció biztonságát. A TLS segítségével a kliens és a szerver eszközök közötti üzenetek kriptográfiai kulcsok segítségével kerülnek ellenőrzésre. A szerveren lévő eszközök kódokat és kulcsokat is küldenek egymásnak ellenőrzés céljából. Ezek a kulcsok segítenek megelőzni a kívülről érkező támadásokat. A TLS használ olyan tanúsítványokat (például x.509 v3) [92], amivel kivédhetőek a man-in-the-middle (közbeékelődéses) támadások [93] [94]. Viszont a TLS sem tud 100%-os biztonságot nyújtani, ezért még javasolt minden Modbus csomóponton használni egy Modbus/OPC UA átjárót [95]. Az OPC UA²⁵ egy olyan kommunikációs technológia, ami lehetővé teszi a biztonságosabb kliens-szerver kapcsolatot és kliens szerver hitelesítést, a felhasználók hitelesítését biztosítja a közöttük lévő kommunikáció integritását. Az OPC UA segítségével számos támadás, fenyegetés kivédhető, így IoT hálózatok esetében is megfelelő védelmet tud nyújtani [96] [97].

3.2.1.2. Modbus TCP/IP

A vállalatnál is az Modbus TCP/IP protokollt használják a szenzoros adattovábbításra. A TCP/IP a Transmission Control Protocol és Internet Protocol rövidítése, ami a Modbus adatátviteli közege, ez lehetővé teszi a bináris adattömbök cseréjét a számítógépek között. A Modbus TCP/IP gyakorlatilag magát a TCP/IP-t és az Ethernetet használja a Modbus üzenetstruktúra adatainak továbbítására az erre alkalmas eszközök között. Ezek alapján azt lehet mondani, hogy a Modbus TCP/IP egy fizikai hálózatot (az Ethernet-et), egy hálózati szabványt (a TCP/IP-t) és egy szabványos adatmegjelenítési módszert (a Modbus-t, mint alkalmazási protokoll) kombinál. Ha a vállalatra vetítjük ezt a hálózati rendszert, a következő képet kell látnunk: vannak a termelő gépek, kompresszorok és elszívók, amikhez szenzorok vannak telepítve. Jelen példában most csak nézzük a villamosenergia mérő szenzorokat az egyszerűség kedvéért. Ezek a szenzorok mérik a gépek energiafogyasztását, és továbbítják a Modbus TCP/IP protokollon keresztül a vállalat SCADA rendszerébe. Ennek egy leegyszerűsített vázlatát mutatja a 35. ábra [98].

²⁴ Transport Layer Security

²⁵ Unified Architecture



35. ábra: Modbus TCP/IP kommunikáció a szenzorok és a SCADA rendszer között (forrás: saját szerkesztés)

A Modbus protokoll ismertetése után folytatom a bemutatást a szenzorokkal.

3.2.1.3. Adattgyűjtő szenzorok a vállalatnál

A vállalatnál háromféle erőforrást vizsgálunk elsősorban, ezért az erőforrás fajtájának megfelelő mérőműszerek felszerelése elengedhetetlen volt. Vizsgáljuk a villamosenergia fogyasztást a termelő gépeknél és több termelést támogató berendezésnél is, de ez nem akadály abban, hogy ugyanazt a típusú villamosenergia fogyasztásmérő szenzort szereljük fel az adott gépekhez, illetve a fő villamosmérőkhöz is. Ahogy az előző részben írtam, már szinte az összes szenzor alkalmas a Modbus protokoll alapú hálózatra való csatlakoztatásra, ezért a piac elég széles termékpalettát kínál energiafogyasztás mérő szenzorokból. Az, hogy a vállalatnál konkrétan milyen típus van felszerelve a kutatás szempontjából nem releváns, nekünk a lényeg, hogy tökéletesen működjön az adattgyűjtés. Mielőtt megvizsgálánk, hogy melyek azok a fő paraméterek, amelyek egy ipari automatizálásban és adatgyűjtésben használt szenzoroknak az elengedhetetlen funkcionalitásai, először bemutatom, hogy mi is pontosan maga a szenzor. Létezik erre egy nagyon lényegre törő definíció, azt az eszközt nevezzük szenzornak, amely valamilyen fizikai mennyiség (hőmérséklet, nyomás, energia, áramlás, távolság stb.) érzékelésére alkalmas, és ezt képes egy értelmezhető kimeneti jellel alakítani.

Egy fogyasztásmérőnek a következő műszaki specifikációknak kell megfelelnie: fontos, hogy különféle mérési egységeket tudjon mérni, úgy, mint a teljesítmény, áramerősség, feszültség, energia és akár frekvencia. Természetesen a másik legfontosabb tényező a Modbus kommunikáció, de emellett legyen rajta két digitális bemenet és kimenet. Időbélyeggel ellátott riasztásokra is képesek ezek a szenzorok, ez akkor fontos például, ha túl nagy a feszültség, vagy épp túl alacsony, és emiatt veszélyhelyzet vagy meghibásodás állhat fenn. Emiatt például létezik bennük olyan funkció is, hogy bizonyos paraméterekhez be lehet állítani minimális és maximális értékeket is. Ilyen készülékre látható példa a 36. ábrán [99].



36. ábra: Teljesítmény mérő szenzor, ami alkalmas a villamosenergia fogyasztás mérésére ipari környezetben (forrás: [100])

A vállalatnál vizsgáljuk a kompresszorok által kibocsátott sűrített levegő mennyiségét, ezért ennek a paraméternek a méréséhez is szükséges volt a megfelelő szenzorokat felszerelni. Erre a célra az áramlás mérő szenzorok alkalmasak. Ezek a szenzorok a sűrített levegő szabványos térfogatáramát ellenőrzik, illetve alkalmasak még más, nem agresszív gázok mérésére is (mint például szén-dioxid, argon vagy nitrogén), viszont a kutatás szempontjából nekünk csak a sűrített levegő mennyiségének a mérése a fontos, így másféle gáz mérésére nem használtunk ilyen szenzort. Egy iparban használatos sűrített levegő mennyiség mérésére alkalmas szenzornak fontos tulajdonsága, hogy az esetleges szivárgásokat is monitorozza a rendszerben, képes legyen mérni a nyomást és a kibocsátott levegő hőmérsékletét is. Példaként erre alkalmas szenzorok láthatók a 37. ábrán [101].



37. ábra: Sűrített levegő mennyiség mérő szenzorok (forrás: [102])

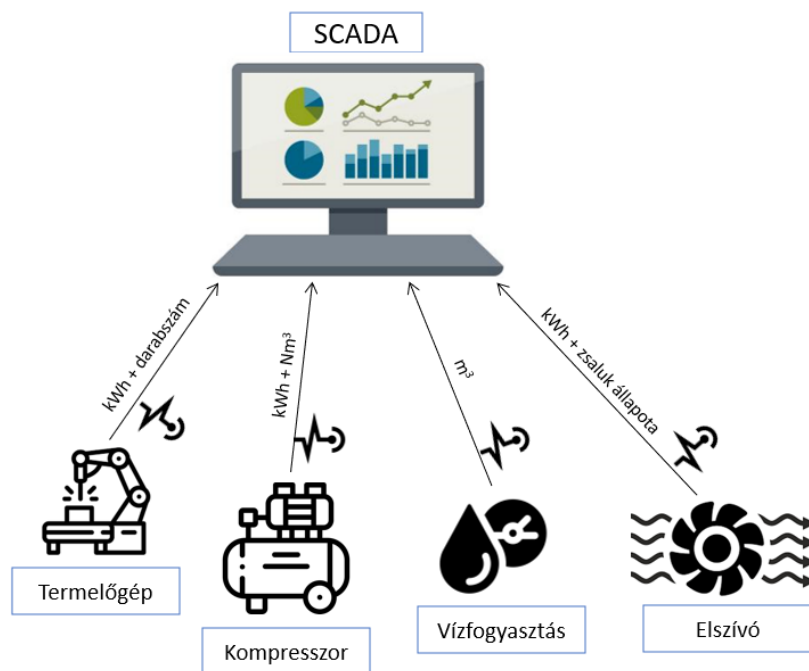
A harmadik paraméter, amit szenzorosan mérünk: a vízfogyasztás. A vízfogyasztás nyomon követéséhez áramlásmérő szenzorok szükségesek. Ennek több fajtája is van, de bemutatok kettőt, amelyek a legjobban megfelelnek a célnak. Az egyik a mágneses-induktív átfolyásérzékelő, a másik az ultrahangos átfolyásérzékelő. A kettő között a különbség, hogy a mágneses-induktív a Faraday-féle indukciós elv alapján működik. Ez azt takarja, hogy a csövön át befolyó vezetőképes közeg generál feszültséget a mágneses térbe, ami a sebességgel és az áramlási mennyiséggel arányos. Az így keletkezett feszültséget érzékelik és továbbítják az elektródák. Az ultrahangos átfolyásérzékelők hangimpulzusokat kibocsátó és befogadó impulzusokból és visszaverőkből állnak, amelyek a keletkezett impulzusokat az egyik átalakítótól a másikig irányítják. Az impulzus haladása közben egy érzékelő méri a haladási időt minden egyes átalakítónál. Ezután az impulzust az ellenkező irányba küldi ki, és ennek a folyamatsorozatnak az időkülönbségét méri és számítja ki ebből az átfolyó mennyiséget. Az

ultrahangos átfolyásérzékelő alkalmas még más folyadékok paramétereinek mérésére is, mint például az iparban használatos olajok. Mindkettő fajta szenzor a mérési folyamatoknál három mennyiséget mérnek, az áramlási mennyiséget, a fogyasztást és a hőmérsékletet. Erre a kétféle áramlásmérő szenzorra mutat példát a 38. ábra [99].



38. ábra: Áramlásmérő szenzorok a vízfogyasztás monitorozásához. Jobb oldalon a mágneses-induktív, bal oldalon az ultrahangos átfolyásmérő (forrás: [103][104])

A vállalatnál a bemutatott szenzor típusokkal folyik az adatgyűjtés és a Modbus hálózati protokollal az adatok továbbítása. A villamosenergia mérő szenzorok a fő villamosmérőhöz, a villamos főelosztókhoz, trafókhoz, sínekhez, termelő gépekhez, elszívókhoz és a kompresszorokhoz vannak felszerelve, és a SCADA rendszer kérdezi le, hogy mennyi az adott pillanatban a mérőóra állása kWh-ban. Az, hogy az adatlekérés melyik időpontban valósul meg, az a SCADA rendszerbe van beprogramozva, és maga a rendszer kéri le az adatokat a szenzoroktól. A sűrített levegő mérő szenzorok a kompresszorokhoz vannak feltelepítve és mérik a kibocsátott sűrített levegőt Nm³-ben (normál légköbméterben). Itt szintén a SCADA rendszer kéri le az aktuális értékeket. A vízfogyasztás mérő szenzorok által mért értékek m³ mértékegységgel jelennek meg a SCADA rendszerben. Az elszívóknál van még egy másik típusú szenzor, amit nevezhetünk állapot jelző szenzornak is. Ezek a szenzorok az elszívók zsalihoz, szelepeihez vannak felszerelve, és azt jelzik, hogy nyitva volt-e az adott zsalu vagy zárva. Így ezek alapján az elszívókkal kapcsolatban több típusú mérési adat jelenik meg a SCADA rendszerben: a villamosenergia fogyasztás kWh-ban, a zsalu állapota, és egy időtartam percben kifejezve, amit kalkulálunk (10 perc alatt a SCADA percenként lekérdezi, hogy éppen nyitva van-e az adott zsalu és ha igen, akkor összegzi ezeket az értékeket programozottan). A 3.3. alfejezetben azt fogom bemutatni, hogy ezeket az adatokat hol tároljuk és kezeljük.



39. ábra: A berendezéseknél mért adatok áramlása a SCADA rendszerbe (forrás: saját szerkesztés)

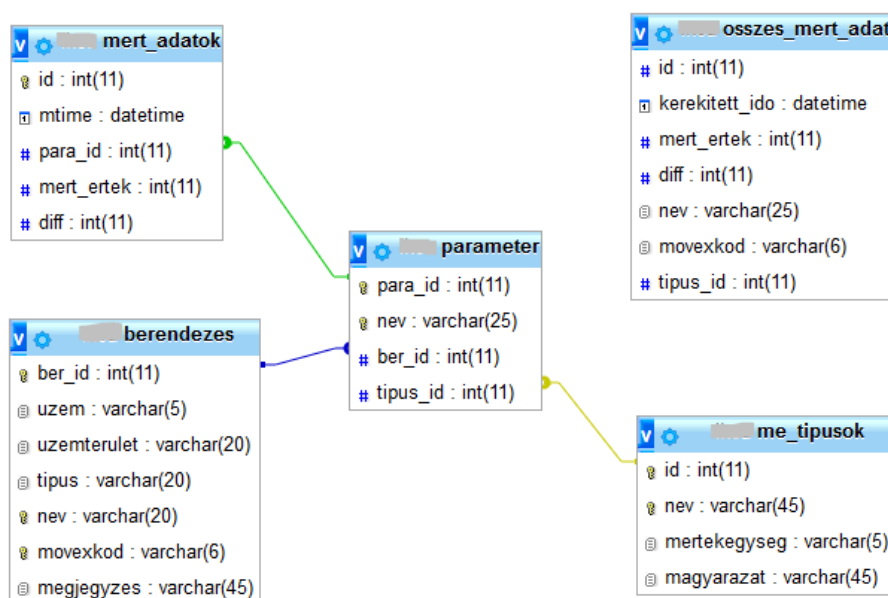
3.3. Az adatbázis átalakítása

A kutatás kezdetén a vállalatnál ki kellett alakítani egy külön adatbázist a historikus adatok eltárolásához, mivel a VISION rendszer belső adatbázisában levő adatszerkezetek nem voltak megfelelőek a hatékony és gyors munkához. Emellett az átalakítás célja még az volt, hogy más rendszerek (pl.: ERP) adataival is össze lehessen kapcsolni az energiafogyasztási adatokat. Hiába programozható maga a VISION rendszer, az adatok könnyebb átláthatósága és felhasználása érdekében a vállalat szakembereivel közösen jobbnak láttuk, hogy kialakítsunk egy saját adatbázis szerkezetet egy különálló adatbázis kezelőben, amely MySQL alapú. Ez az adatbázis úgy lett megalkotva, hogy csak a termelő gép villamosenergia fogyasztási adatokat tárolja. Ezt a különálló adatbázisba történő inkrementális mentést (mindig csak a legfrissebb adatokat mentse ki az adatbázisba) még implementálni kellett a VISION rendszerbe, hogy automatikus legyen az adatok mentése. Az adatbázisban megjelentek a vállalat összes üzemében mért adatok, amik valamilyen berendezéshez adtak információt számos paraméteren keresztül [105][106].

3.3.1. 2019 előtti adatszerkezet és minta adatai

A 40. ábra mutatja az akkori, főleg energiafelhasználásokat tartalmazó historikus adatainak adatbázis struktúráját. Az öt adattábla közül az alsó három nevezhető leíró adatokat (metadata) tároló (ritkán változó adatok, például a gép neve, üzemterülete stb.) tábláknak, tehát a *berendezes*, a *parameter* és a *me_tipusok*. Az adattáblák magyar elnevezését az indokolja, hogy jelenleg csak a helyi leányvállalat használja ezt az adatbázist. Ha a jövőben a cégcsoport más országban lévő leányvállalatai is úgy döntenek, hogy bevezetnék ennek az adatszerkezetnek a használatát, akkor át tudjuk nevezni a táblák neveit angol nyelvűre. A *berendezes* táblában lettek eltárolva a berendezésekhez kapcsolódó adatok, amik közül a

movex kód a legfontosabb, mivel ennek a segítségével valósítható meg a termelési és az energiafogyasztási adatok összekapcsolása az ERP rendszerből érkező adatokkal (akkor még a Movex ERP rendszert használta a vállalat). A *me_tipusok* táblában a mért paraméterek típusainak részletesebb leírását tartalmazza, valamint az adott paraméter mértékegységét. A *parameter* tábla azokat a paramétereket tartalmazza, amelyeket a felügyeleti VISION rendszerben beállítottak folyamatos mérésre. A fenti kettő adatbázis objektum a *mert_adatok* tábla és az adatok összesítésére generált *osszes_mert_adatok* nézet. A *mert_adatok* tábla neve nagyon árulkodó, mivel nevének megfelelően a mért adatokat tartalmazza, ezek az úgynevezett tényadatok, amelyeket többféle szempontból elemezhetünk. Ebben a táblában az adatok el vannak látva időbélyeggel, illetve azt is mutatja, hogy a mért érték melyik paraméterhez tartozik. Ebben a táblában a *diff* oszlop, amit ki kell emelni, mivel egy tárolt eljárás segítségével kiszámítja az adott beérkezett paraméter értékhez tartozó legutóbbi mért értékkel összevetett különbségét. Ez röviden annyit jelent, hogy minden *diff* érték a 10 perc alatt felhasznált energiát mutatja, így például 10 percenként nagyjából 100 új adat érkezik be.



40. ábra: Az energiafelhasználás adatbázis struktúrája (forrás: [86])

A szenzorok nem képesek fogyasztási adatok tárolására, így a mért felhasználási értékeket nem tudják kiszámolni és megjegyezni, ezért számításokat kellett végeznünk ahhoz, hogy a szenzorok által mért nyers adatokból számunkra értékes számokat kapjunk. Egy-egy adatsor tárolásához minden beszuráshoz definiáltunk egy trigger-t (automatikusan lefutó adatbázistábla funkcionalitást), ami a következő utasításokat viszi véghez:

1. Az új szenzorok által mért értékek validálása (érvényesség vizsgálat, hogy ne fordulhasson elő teljesen rossz adat a rendszerben);
2. Feltételes beszurási utasítások:
 - a) ha az újonnan mért érték helyes (nem negatív szám, és nem is túl magas érték a legutóbbi értékhez viszonyítva), akkor kiszámolja az új mező értékét,

- b) ha az újonnan mért érték nem helyes, akkor nem illeszt be semmit sem az új mezőbe (0-val jelöljük).

A trigger funkció kiszámolja az újonnan érkező adatoknál a szenzorok által mért új és meglévő értékek közötti különbséget (a legutolsó 10 percből), és ez lesz az új adatunk, ami megmutatja, hogy egy adott berendezés hány kWh villamosenergiát fogyasztott az utóbbi 10 percben.

Az *osszes_mert_adat* nézetben pedig az energiafelhasználások láthatók úgy, hogy az adatsor időbélyege kerekítésre került az adott 10 percre, így tudtuk összekapcsolni a termelési darabszámokkal, így az üzleti intelligencia rendszerben látható lesz, hogy egy adott termelő gépnél adott időben mennyi volt az energiafelhasználás és termelési darabszám [86].

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	meritekegyseg
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

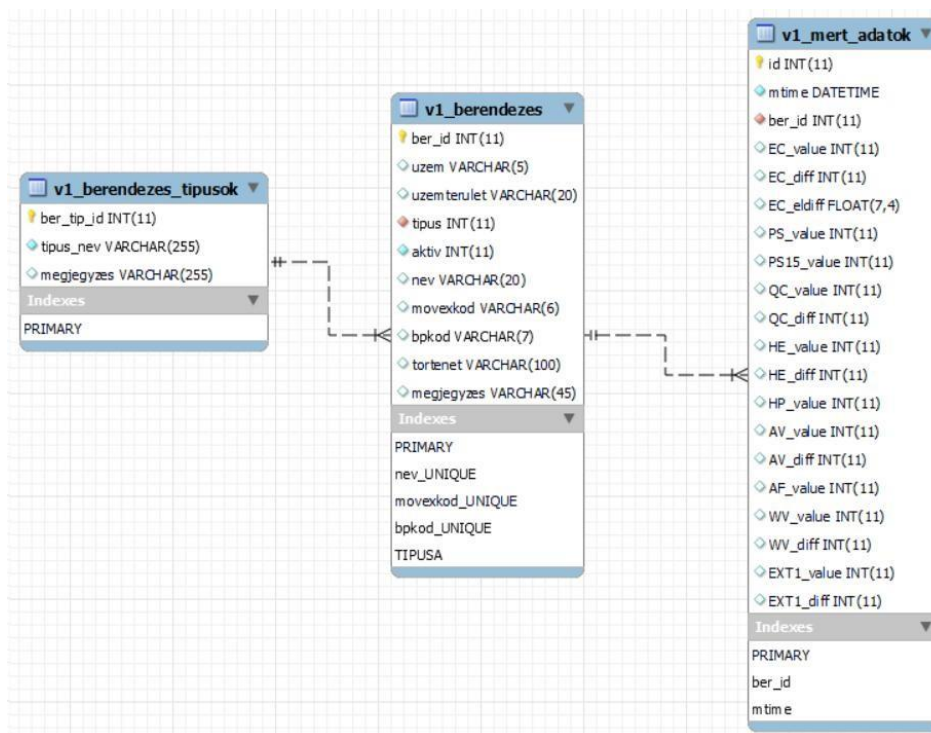
id	mtime	para_id	mert_ertek	diff
1	2017-05-09 12:50:35	3	427757	0
2	2017-05-09 13:00:35	3	427757	16
3	2017-05-09 13:10:35	3	427773	6
4	2017-05-09 13:20:35	3	427779	5
5	2017-05-09 13:30:35	3	427784	6

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

41. ábra: Az alaptáblák néhány minta adatsorral és az összes mért adatot tartalmazó nézet (forrás: [86])

3.3.2. 2019 utáni adatszerkezet és minta adatai (adattranszformációk)

A motivációt az adta az új adatszerkezethez, hogy az elszívókkal, kompresszorokkal és a vízfogyasztással kapcsolatban mért értékek is tárolhatóak legyenek az adatbázisban, ezt az előző struktúrát át kellett alakítani (41. ábra). A táblák neveit a vállalat szakembereivel egyeztetve módosítottuk, és minden meglévő tábla kapott egy „v1_” előtagot kapott, ami a verziószámra utal. Mivel a berendezések típusáról több mindent szeretnénk eltárolni, ezért a *v1_berendezes* tábla típus oszlopa már nem egy szöveges oszlop (Gép, Kompresszor stb. tartalommal), hanem egy külső kulcsokat tartalmazó oszlop lett, amely a *v1_berendezes_tipusok* tábla elsődleges kulcsára mutat. Ebben az új táblában lehet további információkat felvinni a berendezések típusához, például, hogy milyen paramétereket (EC, HE, C stb.) mérünk az adott típusú berendezésnél. A legfontosabb táblánk a *v1_mert_adatok*, mivel ez tárolja el az összes újonnan érkező mérési adatot (42. ábra).



42. ábra: Jelenleg használt adatbázis struktúra (forrás: [86])

Az ábrán jól látható, hogy táblák neve alatt az oszlopok vannak felsorolva az adattípusaikkal együtt. Az „Indexes” részben az elsődleges kulcsok, idegen kulcsok, egyediségi megszorítások vannak beállítva, amely a táblában való gyors szűrést és rendezést hivatott segíteni.

A táblák létrehozása után következett az adatok áttöltése a régi adatszerkezetből az új adatszerkezetbe. Itt az az előnyünk megvolt, hogy az alaptáblák szerkezetét és adatait egy az egyben át tudtuk tölteni az új szerkezetbe, illetve a berendezés típusokat tartalmazó tábla sorait külön kigyűjtöttük. Az új adatbázis struktúrában a *v1_berendezes_tipusok* és a *v1_berendezes* adattáblák néhány minta adatsora látható a következő ábrákon (43. ábra, 44. ábra).

ber_tip_id	tipus_nev	megjegyzes
1	Villamos főmérő	EC, PS 1 min, PS 15 min, QC
2	Villamos főelosztó	EC, PS
3	Áramsín	EC, PS
4	Elszívó	EC, PS
5	Kompresszor	EC, PS, AV, AF
6	Gép	EC, PS, HE, HP, AV

43. ábra: *v1_berendezes_tipusok* adattábla minta adatsorai (forrás: [86])

ber_id	uzem	uzemterulet	tipus	aktiv	nev	movexkod	bpkod	tortenet	megjegyzes
1	L	Lapszabászat	6	1	L_HOLZMA1	8000-1	18000-1	HULL	HULL
2	L	Lapszabászat	6	1	L_HOLZMA2	8100-1	18100-1	HULL	HULL
3	L	Présüzem	6	1	L_HOPRES1	8200-1	18200-1	HULL	HULL
4	L	Présüzem	6	1	L_HOPRES2	8300-1	18300-1	HULL	HULL
5	L	Famegmunkáló	6	1	L_HOMAG2	8700-1	18700-1	HULL	HULL
6	L	Famegmunkáló	6	0	L_HOMAG3	8720-1	18720-1	2018.04.03 megszűnt, elbontva	HULL

44. ábra: v1_berendezes adattábla minta adatsorai (forrás: [86])

A *v1_mert_adatok* táblába való áttöltés volt bonyolultabb: az összes adatsor betöltéséhez EC, C és HE értékek beszúrására volt szükség, ami egyenként kb. 6 millió (villamos energia – EC), 2 ezer (vízfogyasztás – C) és 2 ezer (hőenergia – HE) sor volt. Ezek az adatok 2017. 09. 01. és 2019. 08. 01. közötti időszakból származtak. De általában is elmondható, hogy ahogy fejlődött a vállalat IoT szempontjából, úgy került egyre több mérőszensor (és ezáltal a kapcsolódó berendezés) integrálása az adatgyűjtő rendszerbe. Ezekre az eltérő kezdődátumokra is figyelni kellett az adat áttöltés során. Az új *v1_mert_adatok* adatszerkezet kialakítása után következett tehát az ETL²⁶ folyamat, ami arra utal, hogy kinyertük a korábbi adatszerkezetből az adatokat, ha szükségesnek tartottuk, akkor tisztításokat és transzformációkat (átalakításokat) végeztünk rajtuk, majd betöltöttük őket az új adatszerkezetbe. Egy ilyen adattisztítási igényt azonosítottunk a 45. ábrán, ami arra utal, hogy 10 percenként gyűjtjük az adatokat, itt viszont egy adott 10 perces intervallumban négy darab mérés is történt, aminél döntenünk kellett, hogy milyen aggregáló eljárással (SUM, AVG, MIN, MAX) generálunk egy adatsort a *diff* értékekből. Végül ebben az esetben a négy adatsor fogyasztásának összegzése mellett döntöttünk, mert az adott 10 percen belül különböző időbélyegekhez más-más fogyasztási értékek tartoztak. Az első adat az előző 10 perc fogyasztását mutatja, a második adat az utána lévő 3 perc fogyasztását, a 3. és 4. adat pedig 0-2 másodperc fogyasztási értékeit mutatja. Emiatt ezeket az adatokat összegeztük, és azt jegyeztük fel a 2018-11-06 11:10:00 időbélyeghez. A rendszer ebben az időszakban azért kérdezte le többször az adatokat, mivel itt történt egy VISION újraindítás. Számos ilyen tisztítási és transzformációs döntést kellett még meghozni.

²⁶ Extract, Transform, Load

	id	mtime	para_id	1	mert_ertek	diff	ber_id	tipus_id	kerekített_ido
Törles	9457874	2018-11-06 11:10:54	177	117408	117	52	8	2018-11-06 11:10:00	
Törles	9458015	2018-11-06 11:13:56	177	117433	25	52	8	2018-11-06 11:10:00	
Törles	9458156	2018-11-06 11:13:56	177	117433	0	52	8	2018-11-06 11:10:00	
Törles	9458297	2018-11-06 11:13:58	177	117434	1	52	8	2018-11-06 11:10:00	

45. ábra: Adatgyűjtési probléma a 2019 előtti adatszerkezetben (forrás: [86])

Az új *v1_mert_adatok* tábla néhány példa adatsora látható a következő ábrán (46. ábra).

id	mtime	ber_id	EC_value	EC_diff	EC_eldiff	PS_value	PS15_value	QC_value	QC_diff	HE_value	HE_diff	HP_value	AV_value	AV_diff	AF_value	WW_value	WW_diff	EXT1_value	EXT1_diff
4071828	2019-01-25 00:10:00	61	10374654	33	NULL	202	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071829	2019-01-25 00:10:00	62	2416154	19	NULL	116	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071830	2019-01-25 00:10:00	63	11071909	70	NULL	437	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071831	2019-01-25 00:10:00	64	1795044	30	NULL	177	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071832	2019-01-25 00:10:00	65	8195035	34	NULL	204	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071833	2019-01-25 00:10:00	66	271636	14	NULL	86	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071834	2019-01-25 00:10:00	67	1599094	14	NULL	109	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071835	2019-01-25 00:10:00	79	28498	1	NULL	4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	111014	5	31	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071836	2019-01-25 00:10:00	80	51422	0	NULL	4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071837	2019-01-25 00:10:00	81	89	0	NULL	0	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071838	2019-01-25 00:10:00	82	130244	16	NULL	93	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	584819	105	636	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071839	2019-01-25 00:10:00	69	139278	8	NULL	53	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
4071840	2019-01-25 00:10:00	16	188000	6	NULL	32	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

46. ábra: *v1_mert_adatok* adattábla minta adatsorai (forrás: [86])

A 46. ábra is mutat arra, hogy mi a baj ezzel az adatszerkezettel: minden egyes berendezésnél tárolni akarja a villamosenergia fogyasztást, hőteljesítményt, vízfogyasztást, generált sűrített levegő mennyiségét stb. Miközben egy vízfogyasztást monitorozó szenornál egyáltalán nincs szükség arra, hogy villamos energiával, vagy hőfogyasztással, vagy generált levegővel foglalkozzunk. Ezért ezek a paraméterek a vízfogyasztó szenornál mindig NULL értékkel kerülnek be. Emiatt szedtük szét arra az adatbázisszerkezetet, ami külön kezeli a termelő gépeket, a főmérőt-trafókat-síneket, a kompresszorokat, az elszívókat, a vízfogyasztókat stb. (lásd a következő 3.3.3. alfejezetet).

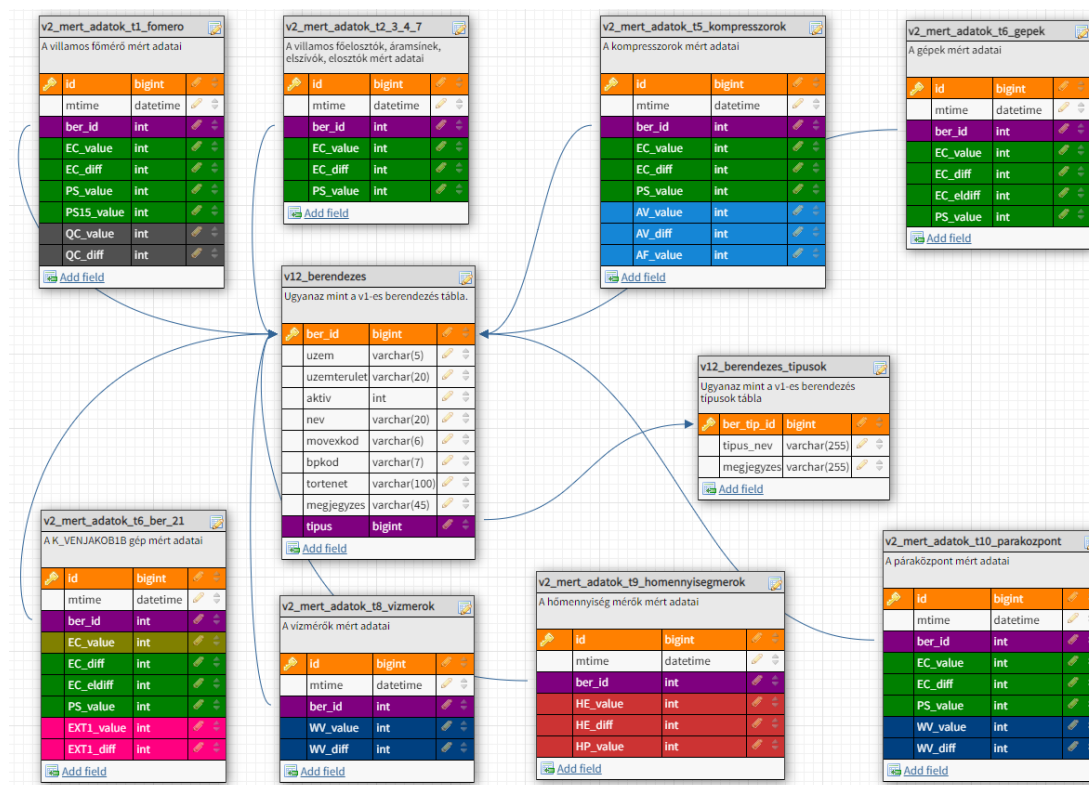
3.3.3. 2021-es adatszerkezet adatelemzésre

A vállalatnál élesben az előző alfejezetben bemutatott adatszerkezetbe gyűjtik az adatokat, azonban az ott említett rengeteg NULL-os adatmezőt tartalmazó sorok miatt a vállalatnak javasoltunk egy még hatékonyabb adatszerkezetet. Ez azonban még nincsen használatban, csak a mi adatelemzési eljárásainkhoz tudjuk használni egy újabb ETL folyamat végrehajtásával.

Az adatbázisban létrehoztuk az alap (dimenzió) adattáblákat (*v12_berendezes*, *v12_berendezes_tipusok*), a verziószámok arra utalnak, hogy az 1. és 2. verzióban is alkalmazhatók ezek a táblák. Ezeket meghagytuk az adataikkal. A *v1_mert_adatok* táblát viszont teljesen szétdaraboltuk, pontosabban létrehoztuk a különböző berendezés típusainak és az általuk mért adatok típusainak megfelelő adattáblákat. Ezek a következők:

1. a villamos főmérő,
2. a villamos főelosztók, trafók, sínek,
3. a termelő gépek,
4. az elszívók,
5. a kompresszorok,
6. a vízmérők,
7. a hőmennyiség mérők
8. és a párapont által mért különböző szenzorok mérésadataira.

Az ezt bemutató adatbázis szerkezet látható a következő ábrán (47. ábra).



47. ábra: Adatbázis struktúra 2021-től a további elemzésekhez (forrás: saját szerkesztés)

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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

3.4. A fejezet összefoglalása

Ezt a fejezetet kettő nagyobb részre osztottam. Az első részben bemutattam a kiberfizikai rendszer „életszakaszait”. A leírtak alapján látható, hogy a rendszer az elmúlt 6-7 évben rengeteg fejlesztésen esett át, és minden egyes fejlesztési fázisban a kutatásunk más és más

szakasza került a középpontba. Ebben a kiberfizikai rendszerben még rengeteg továbbfejlesztési lehetőség rejlik, ami újabb és újabb kutatási lehetőséget biztosít számunkra. Természetesen ehhez nemcsak magát a rendszert kell fejleszteni szoftveres szinten, hanem a hardver eszközöket is, úgy, mint például további szenzorokat felszerelni adott berendezésekhez újabb és újabb paraméterek vizsgálatához. A fejezet második részében az adatbázison és a szenzoros adatok tárolásán volt a fókusz. Az adatbázis is több fejlesztési szakaszon esett át az elmúlt években. Az adatbázis fejlesztése közben törekedtünk arra, hogy átláthatóak legyenek a különböző berendezésekből érkező adatok táblái és a mérési eredmények. Ezt az adatbázist a jövőben is tudjuk használni, akár más projektnél vagy más vállalatnál is, és ki is tudjuk bővíteni újabb és újabb berendezésekkel, szenzor paraméterekkel, hogy ha szükséges lesz.

4. Vízfogyasztás felügyelete

2018. szeptemberében az első feladataim között szerepelt a vállalat vízfelhasználásának monitorozása és az ebből keletkező adatok elemzése. A vízfogyasztás vizsgálata itt nevezhető a kutatás egy mellékágának is, mivel a fő fókusz a termelő gépeken és a termelést támogató berendezéseken van. Mivel egy bútorigipari vállalatról van szó, ezért az elszívókon, kompresszorokon és a vezérlők mellett a vízpárát kibocsátó berendezések is termelést támogató berendezésnek nevezhetőek. Emiatt is volt igény, és tartottuk mi is érdekesnek és hasznosnak a kutatásunk szempontjából vizsgálni a vállalat vízfogyasztását. Ebben a fejezetben kifejtem, hogy mi jellemző általánosságban az ipari vízfelhasználásra, majd bemutatom a vízfogyasztással kapcsolatos kutatást, a belőlük született eredményeket és az esetleges továbbfejlesztési lehetőségeket.

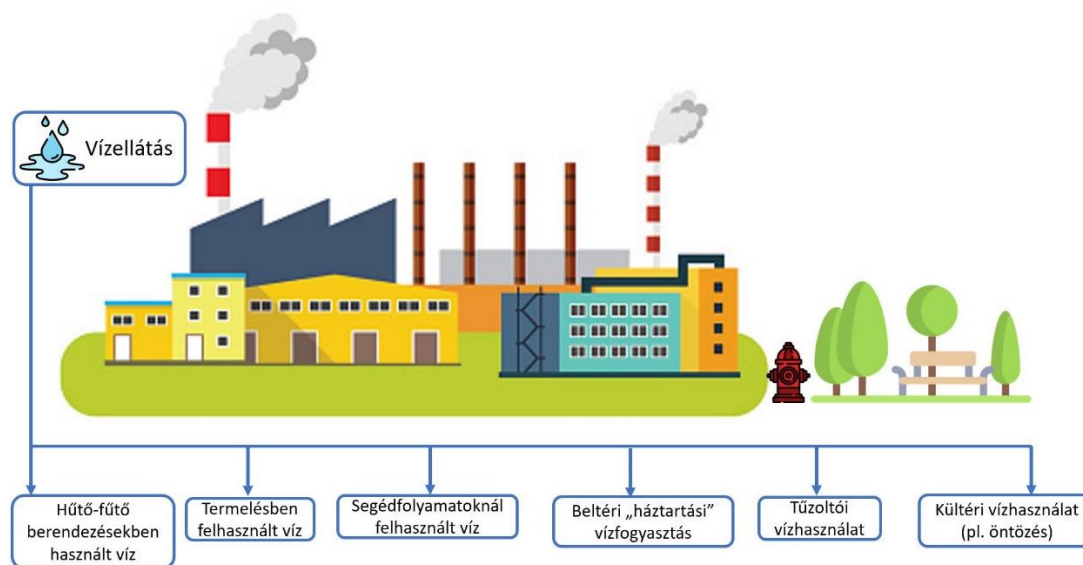
4.1. Az ipari vízfelhasználásról általánosságban

A víz mindennapi életünk létfontosságú eleme háztartási, mezőgazdasági, ipari és szabadidős tevékenységeink zökkenőmentes lebonyolításához. A UNESCO legfrissebb, 2022-es beszámolója szerint az ipari vízfelhasználás a világ vízfelhasználásának 19%-át adja. Ebből a 19%-ból 56%-ot az európai felhasználás tesz ki [107]. A feldolgozóipar és más iparágak, mint például a hőerőművek, gyártóüzemek, érc- és olajfinomítók, vízerőművek, gyártási folyamat során vizet használnak fel termékeik létrehozására vagy a termékeik létrehozásához használt hűtőberendezésekre. Az ipari vizet a termékek előállítására, feldolgozására, mosására, hígítására, hűtésére vagy szállítására használják [108]. A vízhasználat számos iparág gyártási és termelési folyamatainál szinte minden lépésében jelen van. Mivel a víz ennyire nélkülözhetetlen az ipari vállalatok működésében, ezért gyakorlatilag a víz is beágyazódik a termékek lábnyomába. Az ipari víz mellett a szennyvíz is a kereskedelmi vagy ipari tevékenységek mellékterméke, ezért a folyamatok során keletkezett szennyvizet gondosan kell kezelni. A gyártott terméktől és a régió nyersvízminőségétől függően különböző szintű tisztítási technológiákra van szükség. Például az orvostudományban, az elektronikai gyártásban és az élelmiszer-feldolgozásban az ionmentesített víz elengedhetetlen összetevő. Ezt ultratiszta víznek hívják, és szinte az összes ásványi anyagot, oldott gázt és szennyeződéscsészecskéket eltávolítják a vízből, amelyek a tisztítás hiányában megzavarhatják a precíz és érzékeny termékek, például az áramköri lapok gyártását. A tápvizet kazánokban és hűtőtornyokban használják a hatékonyság, a kazán és a rendszer élettartamának maximalizálása, a karbantartási költségek csökkentése és a működési teljesítmény szinten tartása érdekében. A magas vízfelhasználású és vízkezelést igénylő iparágak a következők: sörfőzdék és szénsavas ital gyártók, tejipar, cukorgyárak és -finomítók, textilgyártók, cellulóz- és papírgyárak, olajipar, autóipar, repülőgépipar és még sokan mások [109].

A gyártás során még egy vízfelhasználási típus jelenik meg, amit rejtett víznek neveznek. A rejtett víz gyakorlatilag láthatatlan és érzékelhetetlen víz, amelyet számos nyersanyag és késztermék gyártási folyamatában használnak. A rejtett víz adja meg egy terméknek a

vízlábnymát, amit úgy határoznak meg, hogy összeadják a gyártási folyamat egyes lépéseinél felhasznált összes vizet. A vízlábnymnak három fajtája létezik. Az egyik a *kék* vízlábnym, ami egy cikk előállításához szükséges felszíni és talajvíz (elpárologtatott vagy közvetlenül felhasznált formában) mennyisége. A másik fajtája a *zöld* vízlábnym, ami egy cikk előállításához szükséges esővíz (elpárologtatott vagy közvetlenül felhasznált formában) mennyisége. A harmadik fajtája a *szürke* vízlábnym, ami a gyártás során keletkező szennyvíz hígításához szükséges édesvíz mennyisége a vízminőség megőrzése érdekében (itt figyelembe kell venni az erre vonatkozó állami és a helybeli szabványokat) [109][110].

Ha a bútoripart vizsgáljuk vízfelhasználási szempontból, itt is elmondható, hogy a víznek nagy szerepe és több felhasználási módja van. Az első, és talán legfontosabb vízfelhasználási mód a termelés közbeni vízpára kibocsátás, illetve a fűtő-hűtő berendezésekben használt víz. A víz másik leggyakoribb felhasználási módja az emberi vízfogyasztás, ami a belső személyes vízhasználatból adódik (ebbe beletartozik a takarításhoz, tisztításhoz, mosdóknál és étkezésnél felhasznált víz). Létezik az iparban még egyéb vízfelhasználási eset, ami a kinti területek öntözéséhez, a biztonsághoz és a kármegelőzéshez köthető. A különböző vízfelhasználási eseteket a 48. ábra szemlélteti.



48. ábra: Vízfelhasználás esetei a bútoriparban (forrás: saját szerkesztés)

A következő alfejezetben részletezem, hogy a kutatásom során a vállalatnál hogyan alakult a különböző területeken a vízfelhasználás mértéke és milyen megoldások születtek a vízfogyasztás optimalizálására.

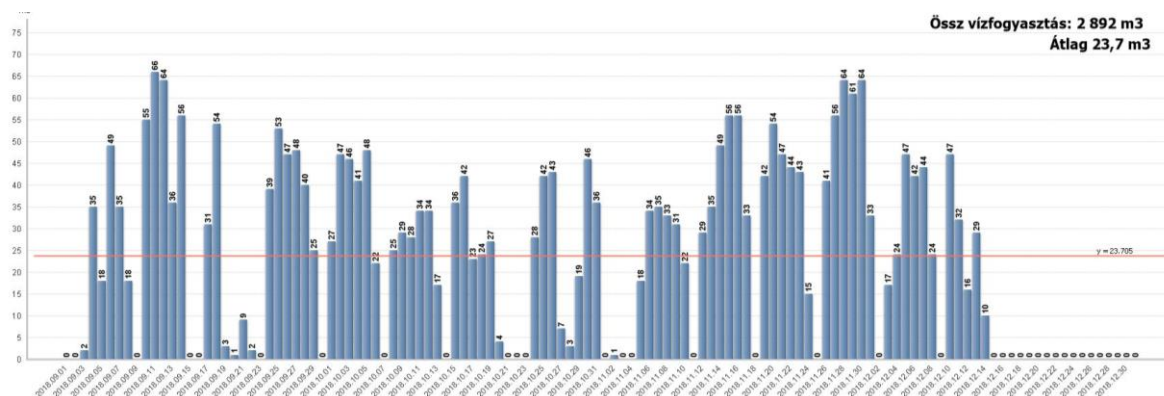
4.2. A vállalat vízfogyasztásának vizsgálata

A vállalat területére beérkező víz ellát kettő üzemet és az irodaépületeket. A beérkező vizet mi három fő csoportba soroltuk, az első az úgynevezett *szociális* víz, amin belül megkülönböztettük a szennyvizet és az úgynevezett háztartási vízfogyasztást [111]. A másik nagy csoport a termelés közben felhasznált víz, ami vízpára, vagyis a *párasítás* formájában

jelenik meg, ez is része a szociális víznek. A harmadik csoportba tartozik a *tűzoltói* vízfelhasználás, amire legjobb esetben csak akkor kerül sor, amikor tűzoltói gyakorlatok vannak a gyár területén. A következő alfejezetekben részletesebben bemutatom a három vízfelhasználási terület vizsgálatából született eredményeket.

4.2.1. Az üzemekben lévő vízpára kibocsátás mennyiségének vizsgálata

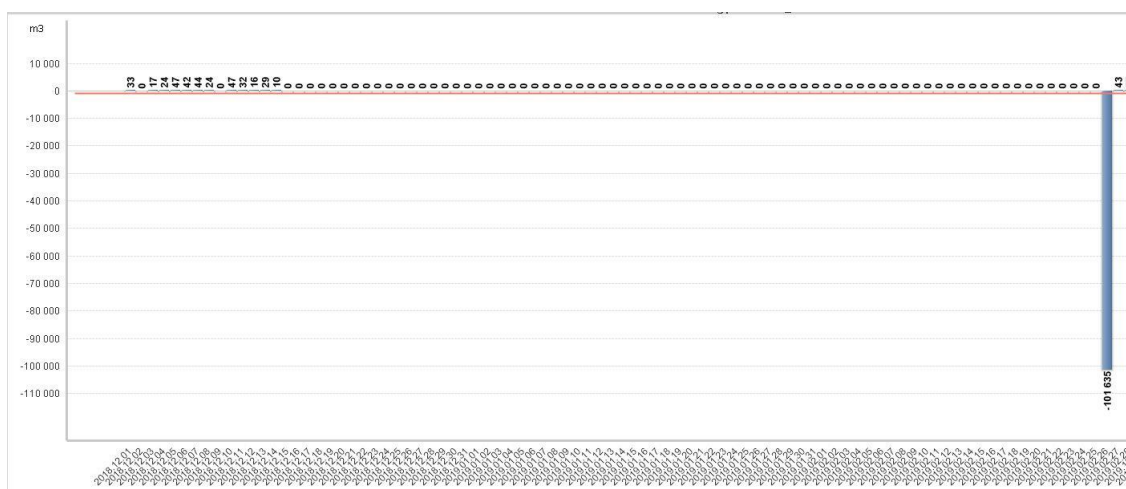
A vállalat szinte a legnagyobb mennyiségű vizet termelés közben használja el. A bútorgyártásnál elengedhetetlen a termelés közbeni párasítás, ugyanis a különböző bútorelemek gyártásánál előre meghatározott nedvesség és páratartalom szükséges. A gyár három féle fából készíti a konyhabútor elemeket, bükkből, nyírből és tölgyből. Mind a három fafajtnál meg van határozva, hogy hány százalék nedvességtartalommal rendelkezhetnek a már kész, megmunkált bútorelemek. Emiatt is nagyon fontos, hogy megmunkálás közben a megfelelő mennyiségű vízpára biztosítva legyen. Az előírt nedvességtartalom a három fafajta esetében 6-8% \pm 1% eltéréssel. A megegyező nedvességtartalmi érték miatt nem kell külön minden fafajta megmunkálása közben megváltoztatni a vízpára kibocsátás mennyiségét vagy intenzitását, hanem ez történhet egységes ütemben, mennyiségben. Arra viszont figyelni kell, hogy különböző területeken más-más vízpára mennyiséget kell biztosítani a munkadarabok minimális nedvességtartalmának eléréséhez. Például egy termelő gépnél aránylag gyorsan elhaladnak a munkadarabok, míg a raktárban egyhelyben állnak, így eltérő módon kell figyelni az üzem- és raktárterületek párasításának biztosítására. Az adatgyűjtésnél nem kellett elkülöníteni a vízpára kibocsátás mennyiségét a három fafajtahoz viszonyítva, hanem gyűjthettük és elemezhetjük egyben az összes kibocsátást. A vízpára kibocsátással kapcsolatos eredményeket a következő ábrák mutatják be.



49. ábra: Vízpára kibocsátás mennyisége 2018. szeptemberétől decemberig (forrás: saját szerkesztés)

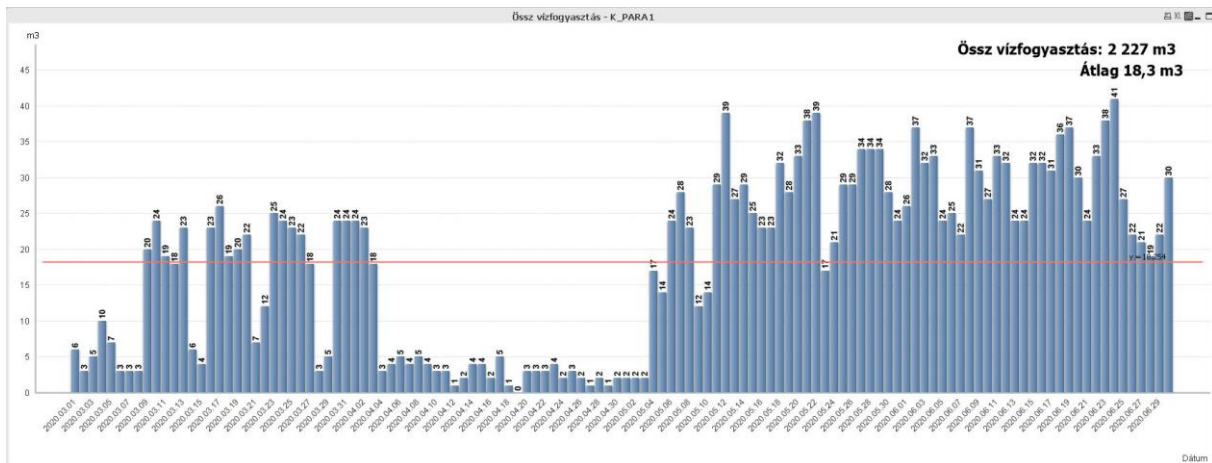
A 49. ábra az üzemekben elhasznált vízpára mennyiségét mutatja be napi bontásban 2018. szeptember 1-től december 31-ig terjedő időszakban. A diagram oszlopain jól kivehető, hogy a vízpára kibocsátása egységesen történik. Amelyik érték 0-t mutat, azokon a napokon hétvégék és ünnepnapok voltak, tehát akkor szünetelt a termelés. Az időszak végén megfigyelhetőek a folyamatos nullás érték. Ez a jelenség amiatt volt, mert valójában 2018-ban még csak a tesztüzemben működtek itt a mérőrendszer elemei. Még fellépett itt egy zavaró tényező, ugyanis a tesztfázis és az éles működés közötti átállás közben szenzor meghibásodás

is történt, ezért az éles vízpára kibocsátást mérő rendszert csak 2019. márciusában tudták a megfelelő módon üzembe helyezni. Ezt a meghibásodási és átállási időszakot mutatja az 50. ábra, ahol láthatóak az időszak elején még fogyasztási értékek, amiket nullás értékek követnek. A nullás értékeket a rendszer minden esetben eltárolja, így nem csak szenzor meghibásodás esetén jelennek meg a kimutatásokban, hanem akkor is, amikor a vízfogyasztás valóban 0 m³ volt adott időpontban. Az ábrán az időszak végén azért látható negatív fogyasztási érték, mert ott kicserélésre került a hibás szenzor, és az új szenzor kezdőértéke kisebb volt, mint a régi szenzor által mért utolsó mérőóra állása, ekkor egyetlen 10 percben a különbség képzés miatt negatív szám kerül be az adatbázisba fogyasztásként. Ez a negatív fogyasztási érték egyetlen manuális felülírással kijavítható az adatbázisban, a következő 10 perc (és az utána lévő összes többi 10 perc) fogyasztása pedig automatikusan jó lesz.



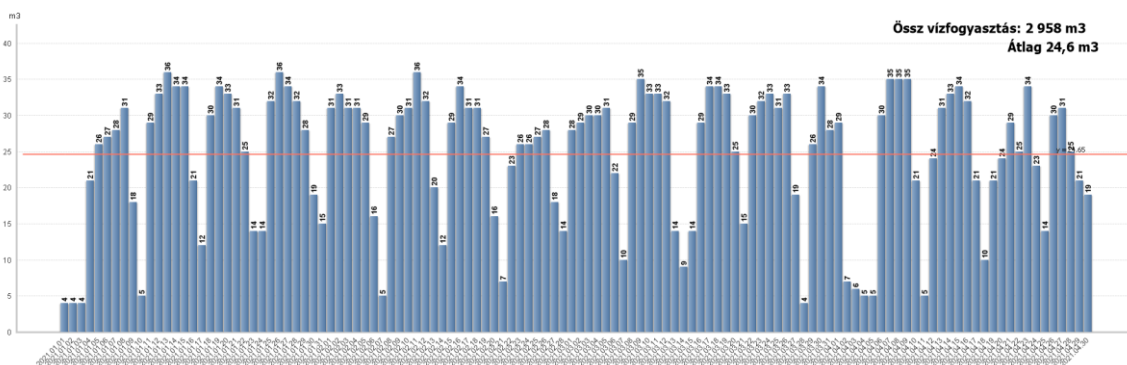
50. ábra: Vízpára kibocsátás mérő szenzor probléma 2018. decembertől 2019. februárig (forrás: saját szerkesztés)

A 2018-as évben a tesztüzem szeptember 1-től indult, így arra az évre nem tudjuk meghatározni részleteiben (akár napon belül is), hogy mekkora mennyiségű volt a vállalat éves vízpára kibocsátása. Viszont azt tudjuk, hogy a vizsgált időszakban (2018.09.01-12.14.) az összes vízpára kibocsátás 2892 m³ volt. A 2019-es évben az éles üzemre átállás miatt csak márciustól tudtuk nyomon követni a vízfogyasztási értékeket, ezért itt sem ismert az egész éves vízfogyasztás. 2019-ben a vizsgált 10 hónap vízfogyasztása 7072 m³ volt, és a vízpára kibocsátás mértéke is minden hónapban egységes volt. Ez az egységes vízpára felhasználás megfigyelhető egészen 2020. márciusáig, ugyanis itt szólt közbe a COVID-19 okozta üzemi leállítás. Ezt az időszakot mutatja be az 51. ábra.

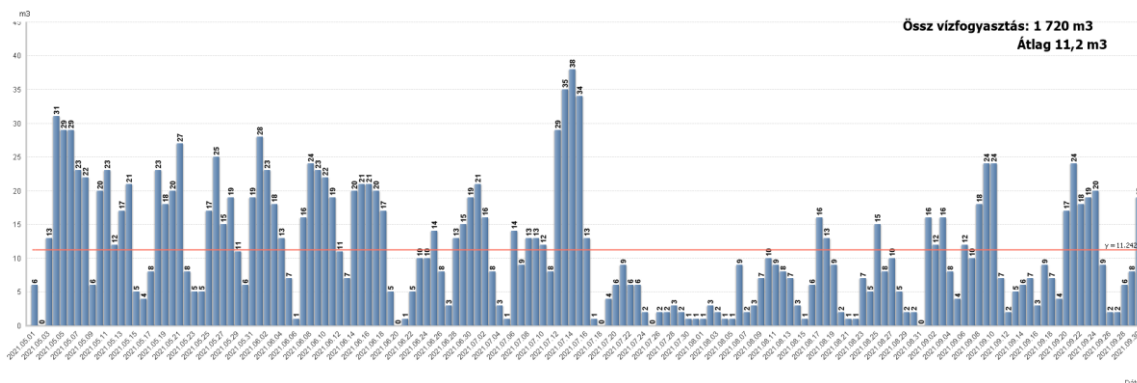


51. ábra: Vízpára kibocsátás az első COVID-19 időszakban (2020. március 1-től június 30-ig) (forrás: saját szerkesztés)

Az országban 2020-ban március 15. volt a vízváltás a jelenléti és online munkavégzés között. Ahogy a diagram mutatja, a vállalatnál áprilisban következett be a tényleges COVID-19 miatti leállítás, ami egy hónapig tartott nagyon szigorú módon. Ezután elmondható, hogy normalizálódott a termelés, sőt megfigyelhető, hogy a hétvégi napokon (szombat és vasárnap) is teljes gőzzel zajlott a munka. Megfigyelhető, hogy a hétköznapokon is megnövekedett a vízfelhasználás az év eleji hónapokhoz képest. Ebből arra következtetünk, hogy az áprilisi munka és termelés kiesést a hétvégi napokon folyamatos pótolták, hogy tudják teljesíteni a megrendeléseket. A 2020-as évben az összes vízpára kibocsátás 7711 m³ volt.



52. ábra: Vízpára kibocsátás 2021.01.01-től 04.30-ig (forrás: saját szerkesztés)



53. ábra: Vízpára kibocsátás 2021. nyarán (2021.05.01-től 09.30-ig) (forrás: saját szerkesztés)

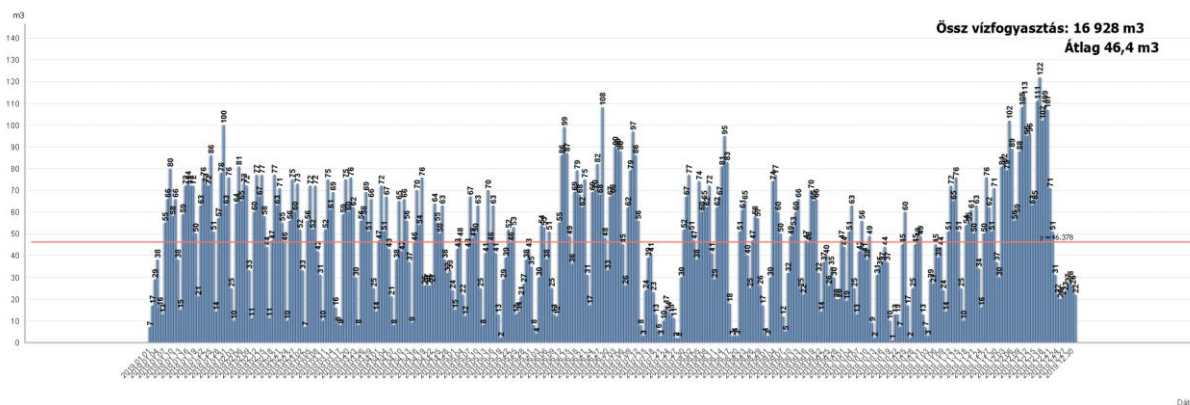
Az 52. ábra és az 53. ábra már a 2021-es évnek a vízpára kibocsátását mutatja. A 2021-es év első fele még azért nagyban a COVID-19 időszak volt (lezárások, online munkavégzés, korlátozások, betegség miatti kényszerpihenő), ami rányomta a bélyegét a termelés alakulására is. Az 52. ábra az év első négy hónapját mutatja, amiről azt lehet elmondani, hogy a termelés mértéke egységes volt, így vele egyenesen arányosan a vízpára felhasználás is. Kiugró értékeket nem tapasztaltunk. Az 53. ábra a 2021-es év nyári időszakát mutatja. Itt megfigyelhető, hogy a vízpára felhasználás mennyisége visszaesett, ami nagyrészt betudható a gyári leállásnak. A vízpára mennyiségének változása függ a faanyag minőségétől és nedvességtartalmától is. Ezeknek a paramétereknek a vizsgálatát a minőségellenőrző szakemberek végzik, és a tőlük kapott adatok alapján tudják beállítani az üzemekben a megfelelő vízpára kibocsátásának mértékét. Még, ami megfigyelhető a diagrammokon, hogy a hétvégi napokon is mérhető volt a vízfogyasztás. Ennek az az oka, hogy az üzemekben fel vannak szerelve páratartalom mérő műszerek is, amik be vannak programozva a megfelelő páratartalom fenntartására. Így, ha az elvártnál alacsonyabb a páratartalom, automatikusan beindul a párásítás. Erre még azért van szükség, mert az üzemekben elhelyezett és tárolt faanyagoknak is fontos a megfelelő páratartalom biztosítása. A 2021-es év az adatgyűjtés és adatelemzés szempontjából egy szerencsés év volt, mivel itt egész évben folyamatos és viszonylag hibamentes volt az adatgyűjtő rendszer működése, így tudjuk, hogy párásításhoz felhasznált víz mennyisége összesen 7066 m³ volt. A 2022-es évben jelenleg csak november 11-ig állnak rendelkezésre a rendszerből az adatok, ezért itt sem tudjuk az egész éves vízpára kibocsátás mennyiségét. Ennek az időszaknak (2022.01.01. – 11.11.) az összes vízfelhasználása 5407 m³. A 2022-es évről már nem tartottuk szükségesnek egy újabb ábra megjelenítését, mivel semmilyen olyan eseményt nem tapasztaltunk, ami eltért volna a normáltól. Elmondható, hogy 2022-ben rendben és előírászerűen zajlott a termelés, és egyenletes volt a vízpára felhasználás.

Összeségében a vízpára kibocsátás mennyiségének méréséből és vizsgálatából született eredményekről elmondható, hogy a 2018. előtt nem volt folyamatos a vízpára mennyiségének mérésre, csak napi 1 darab adat állt rendelkezésre (valójában kezdetben mindegyik kategóriájú vízfelhasználásról napi 1 darab adat került bele az adatbázisba). A kutatási időszak alatt tovább tudtuk fejleszteni úgy a szenzoros adatmérő rendszert, mind hardveri, mint szoftveri szinten, hogy napi 144 darab adat (24*6) áramlik be az adatbázisba. Így sokkal hatékonyabban tudjuk nyomon követni vízfogyasztásokat, és ha bármilyen probléma adódik, pontosabban tudjuk azonosítani a probléma forrását.

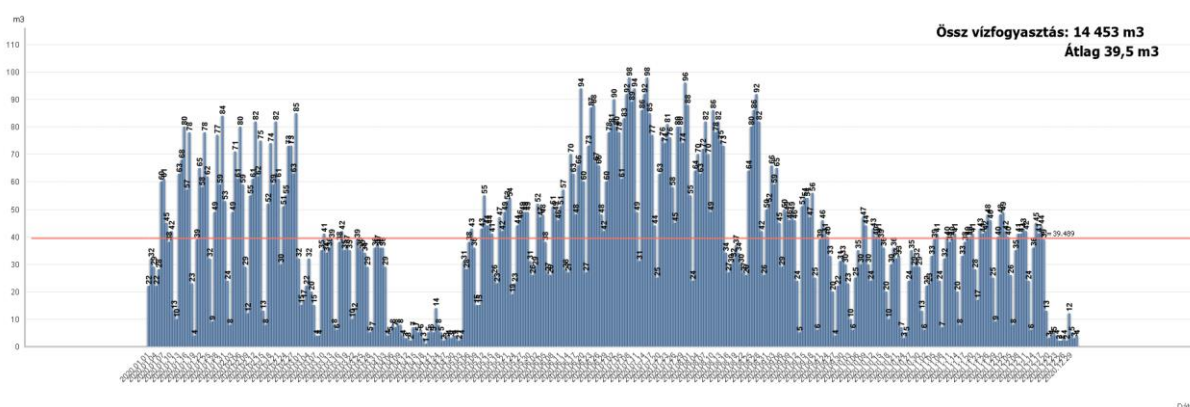
4.2.2. Szociális víz fogyasztásának vizsgálata

A vállalatnál az úgynevezett szociális víz képezi a legnagyobb vízfogyasztási kategóriát (hiszen a párásítás is ebből történik). A szociális víz kategóriáján belül külön követjük nyomon a szennyvíz mennyiségét és a szociális terekben lévő víznek a fogyasztását (gondolok itt az ivóvízre, takarításra, főzéshez, egyéb vízfogyasztó tevékenység által használt víz mennyiségére). A szociális vízfogyasztás alakulását első körben évekre lebontva vizsgáltuk,

mivel minden évben egységes, kiugró mennyiségek nélküli vízfogyasztást állapítottunk meg. Ezért nem tartottuk indokoltnak, hogy kisebb időintervallumokra bontsuk le az elemzést. Itt is meg kell jegyeznem, hogy csak úgy, mint a vízpára kibocsátásnál 2018-ban csak szeptember 1-től gyűjtöttük az adatokat nagy részletességgel, és 2022-ben csak november 11-ig állnak rendelkezésre az adatok nálunk a kutatás céljából. Kiemelném viszont a 2019-es és a 2020-as év fogyasztását, amit az 54. ábra és a 55. ábra szemléltet.



54. ábra: Szociális vízfogyasztás a 2019-es évben (2019.01.01 – 2019.12.31.) (forrás: saját szerkesztés)

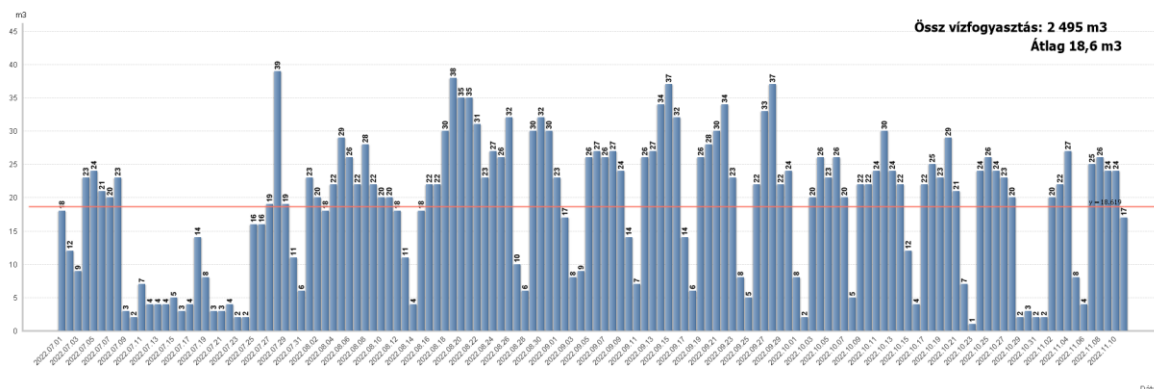


55. ábra: Szociális vízfogyasztás a 2020-as évben (2020.01.01 – 2020.12.31.) (forrás: saját szerkesztés)

Több okból emeltük ki és hasonlítjuk ezt a két évet. Az egyik, hogy ha megnézzük az összes éves vízfogyasztás mennyiségét nagyobb különbséget fedezünk fel. A 2020-as évet szintén a COVID-19 miatt emeltük ki, ugyanis itt is látható, hogy a leállás hónapjában (április) nagyon visszaesett a vízfogyasztás mértéke. Mind a kettő évben a nyári hónapokban valamivel kiemelkedőbbek a vízfogyasztási értékek, kivétel 2019-ben a nyári, kötelező gyári leállás időszakában. Nyáron valószínűleg a magasabb hőmérsékletnek tudható be a nagyobb mértékű vízfogyasztás ezen a területen. Ha az őszi és téli hónapokat hasonlítjuk össze a két évben, látható, hogy 2020-ban még mindig alacsonyabb volt a vízfogyasztás a 2019-eshez képest. Ez betudható szintén a COVID-19 időszakoknak, mivel több irodai alkalmazott „home office”-ban dolgozott. A másik ok, ami miatt lecsökkent a vízfogyasztás – és ez az ok igaz a 2021. és 2022-es évre is -, hogy a vállalatnál üzemelt egy kisebb vendéglátó egység, ami naponta látta el az ott dolgozókat meleg és hideg étellel. Ezt a vendéglátó egységet egy külső

vállalkozó üzemeltette, és a COVID-19 időszak miatti bevétel kiesés és kereslet hiány miatt végleg be kellett zárnia. Így emiatt mondhatjuk, hogy egy komolyabb vízmennyiség felhasználást megspórolt a gyár. A 2021. és 2022-es év összes vízfogyasztása 14.917 m³ és 13.287 m³ (2022. november 11-ig) volt. Tehát az éves vízfogyasztások viszonylag hasonló mennyiségeket produkáltak.

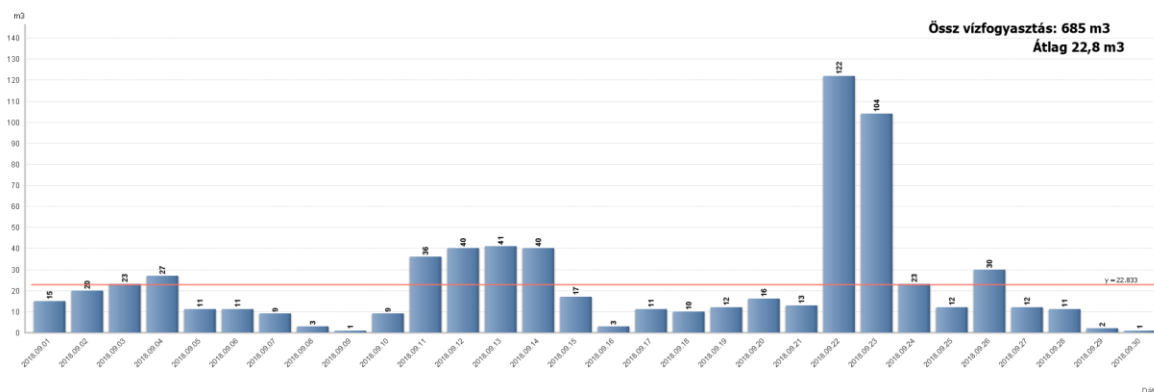
A szennyvíz mennyiségének alakulása is viszonylag megegyező értékeket produkált mind éves, mind havi szinten. A szennyvíz mennyiségének alakulását az 56. ábra mutatja be.



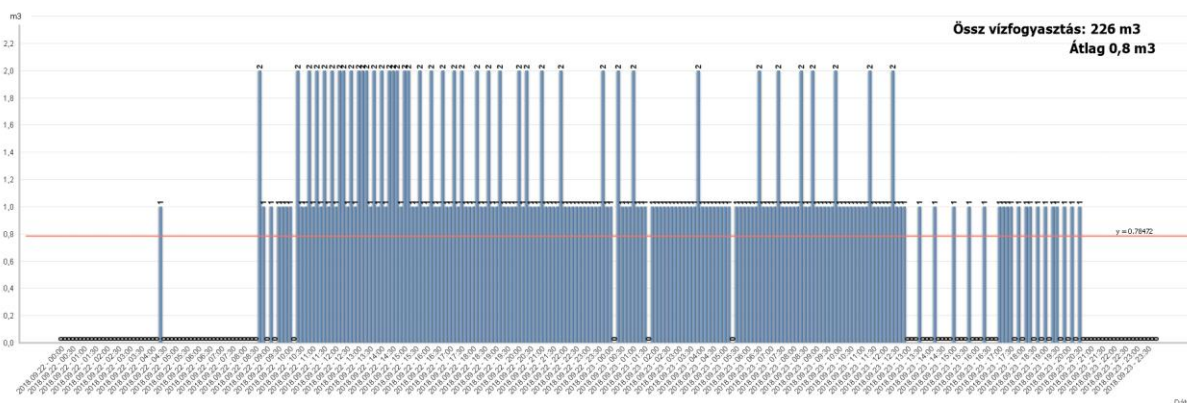
56. ábra: Szennyvíz mennyiségi alakulása 2022.07.01. – 2022.11.11-ig (forrás: saját szerkesztés)

Az 56. ábra a 2022-es év második felét mutatja a példa kedvéért. A diagrammon kirajzolódik, hogy a nyári leállás és hétvégi, illetve ünnepnapokon minimálisra csökkent a szennyvíz elfolyás. A korábbi években is hasonló egységes ütemben zajlott a szennyvíz mennyiségi elfolyása, így most nem tartottuk szükségesnek további ábra megjelenítését.

Az adatelemzés során felfigyeltünk több kiugró értékre minden évben. Ezeket a napokat jobban megvizsgáltuk úgy, hogy a kiugró mennyiségeket produkáló napokon lefűrtünk az adatok mentén egészen 10 perces időszakokra. Mindegyik napnál azt a képet kaptuk, hogy folyamatos volt a szennyvíz folyása. Az egyik ilyen eseményt mutatja be az 57. ábra.

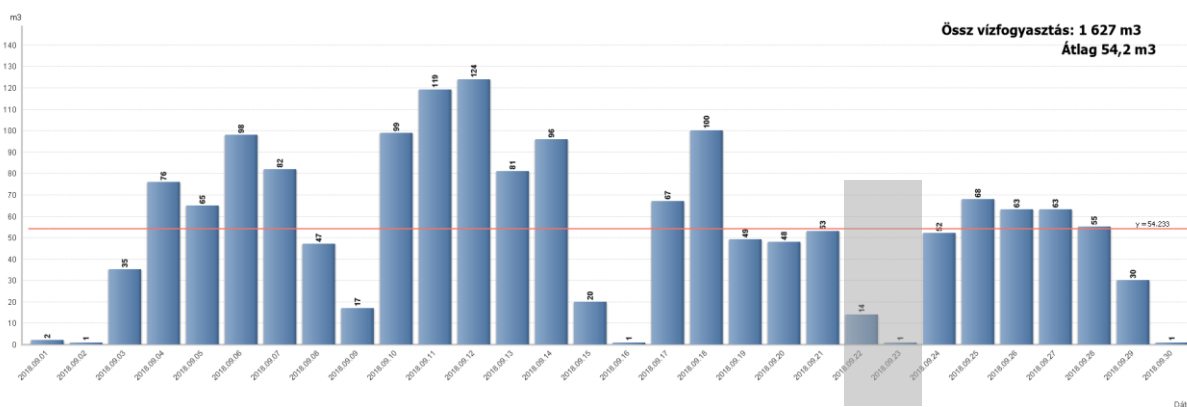


57. ábra: 2018. szeptember hónap szennyvíz elfolyás mennyisége (2018.09.01 – 2018.09.30.) (forrás: saját szerkesztés)



58. ábra: 2018. szeptember 22. és 23. szennyvíz elfolyása 10 perces bontásban (forrás: saját szerkesztés)

Az 57. ábra mutatja az egész szeptember hónapot, így látható, hogy 22. és 23. volt az a nap, amikor a többi naphoz képest kiugró mennyiségű (122 m³ és 104 m³) szennyvíz elfolyást tapasztaltunk. Így ezt a napot bontottuk tovább 10 perces időintervallumokra (58. ábra). Látható, hogy aznap a reggeli órától végig egységes és folyamatos a vízfogyasztás. Ennek az volt oka, hogy csőtörés alakult ki a gyár területén, és folyamatosan ömlött ki a víz. Az elemzések során tapasztalt kiugró értékek is csőtörés miatt keletkeztek és hasonló diagramot rajzolnak ki, ha szintén lebontjuk 10 perces időszakokra. Azt még hozzá kell tennem, hogy mielőtt kijelentettük a csőtörés okozta vízmennyiség emelkedést, végeztünk egy összehasonlítást a szennyvíz és szociális víz fogyasztásának alakulásáról. Először arra gondoltunk, hogy ezen a napon a vízfogyasztás is biztosan magas volt. Nem lett igazunk, ezt az 59. ábra is alátámasztja.



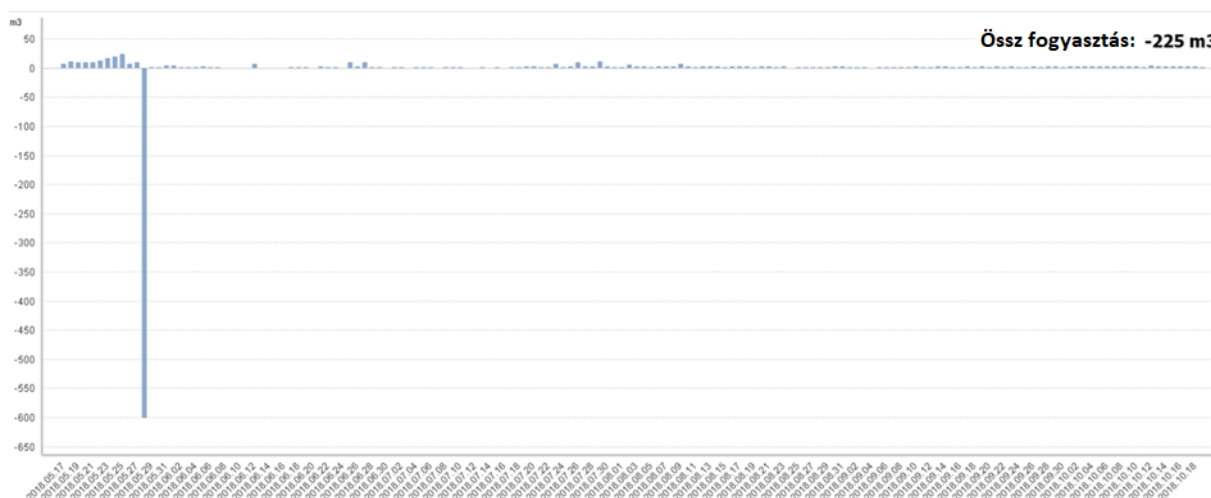
59. ábra: Szociális vízfogyasztás mennyisége 2018. szeptember hónapban (2018.09.01 – 2018.09.30.) (forrás: saját szerkesztés)

A diagrammon szürke színnel emeltem ki a vizsgált napokat, és látható, hogy azokon a napokon (szeptember 22. és 23.) nagyon minimális volt a vízfogyasztás mennyisége a szennyvíz mennyiségéhez képest, ráadásul ezek a napok szombati és vasárnapi nap voltak. Emiatt kezdtünk el más irányba is kutakodni a szennyvíz mennyiségi alakulásával kapcsolatban.

Összességében a szociális víz fogyasztásának monitorozásáról elmondhatjuk, hogy kiberfizikai rendszer fejlesztése és kiterjesztése volt az elsődleges feladat. 2018. kezdetén a szociális víz (beleértve a szennyvizet is) csak napi egy darab fogyasztási érték állt rendelkezésre, amiből nem lehetett kiszűrni az esetleges anomáliákat. A jelenlegi rendszerrel képesek vagyunk 10 perces gyakorisággal mérni az adatokat és a belőlük készült kimutatásokat nem csak konkrét naponként tudjuk megjeleníteni, hanem műszakonként, óránként és 10 percenként is. Ennek köszönhetően könnyebben felismerhetők és előrejelezhetőek az esetleges meghibásodások (akár szenzoros, vagy például csőtörések).

4.2.3. Tűzoltói gyakorlatok során felhasznált víz

Országos tűzvédelmi előírás és szabály, hogy minden vállalat (ebbe nem csak az ipari vállalatok tartoznak bele) területén biztosítva legyen a tűzvédelmi ellenőrzés lehetősége, valamint tűzoltási gyakorlatok is végrehajthatóak legyenek. Ebből adódik, hogy a gyár területén mérés szempontjából elkülönül a tűzoltói gyakorlatok során felhasznált víz mennyisége. Ezek a gyakorlatok általában a tavaszi és nyári hónapokban zajlanak több alkalommal. A kutatási időszak alatt a tűzoltói vízfogyasztás nagyrészt egységes volt, viszont elvették akadtak kiugró események. Az egyik ilyen esemény 2018. májusában volt, ahol az adatgyűjtésünk segítségével tényleges operatív beavatkozásra adtunk javaslatot. Ezt az időszakot és eseményt a 60. ábra szemlélteti.



60. ábra: Tűzoltói vízfogyasztás 2018. májusától októberig (2018.05.17 – 2018.10.18.) (forrás: saját szerkesztés)

A 60. ábra mutatja, hogy a vizsgált időszak elején fokozatosan növekedett a vízfelhasználás mennyisége, miközben nem volt tűzoltói gyakorlat. Az indokolatlan vízfelhasználás okaként két lehetőséget jelöltünk meg: az egyik a csőtörés fennállása, a másik pedig a hibás mérőműszer. A második megoldás volt a helyes, a meghibásodott mérőműszer küldött valótlan adatokat a rendszerbe. Ezután a hibás mérőműszer kicserélésre került, ekkor azt tapasztaltuk, hogy az új műszer alacsonyabb kezdőértéket mutat, mint a régi, de ezt a „hibát” egyszerűen korrigálni lehetett az adatbázisban a negatív kezdőérték felülírásával. Ezután már egységesek voltak a tűzoltók általi vízfelhasználásból származó adatok. A következő

időszakokban is ez az egységesség jellemezte a tűzoltói gyakorlatok alatt elhasznált víz mennyiségét, bár mi felfedeztünk az adatsorokban olyan eltéréseket, értékeket, amik nem tükrözték a rendeltetészerű vízhasználatot. Kiderült, hogy a mérési rendszer bizonyos elemei hibásan lettek összerakva a fizikai mérési folyamat szempontjából és a meghibásodás mellett még más tényezők is befolyásolták a rendszer megfelelő működését, emiatt nem küldött valós adatokat az adatbázisba. A rendszer javítására csak 2022. decemberében került csak sor, így ezen a vízfogyasztási területen nem tudtunk több elemzést végrehajtani, de a javítás elhúzódásából is látszódik, hogy termelési és működési szempontból nem ez volt a legnagyobb prioritást élvező terület a vízfogyasztásnál. Mindenesetre megállapíthatjuk, hogy a probléma azonosításában a rendszerünk bővítése is segített, mivel így nem csak napi 1 adatot ismertünk, jelenítettünk meg, hanem napi 144 adatot.

4.2.4. A vízfelhasználással kapcsolatos költségek

Mindig is a céljaink részét képezte az, hogy az összegyűjtött adatokból ne csak adott fogyasztási mennyiségeket jelenítsünk meg, hanem azt is, hogy adott mennyiségeket meg tudjuk jeleníteni pénzügyileg („forintosítva”) is. Készítettünk egy informatív kimutatást a vízfelhasználás éves költségeiről. A kimutatás a 2019, 2020 és 2021-es év összes vízpára (amely részét képezi a szociális víznek), szociális víz elfogyasztott mennyiségét és a hozzájuk tartozó költségeket tartalmazza. Azért ezt a három évet néztük meg, mert ez az a három év, ahol minden hónapról ismertek a fogyasztási adatok. Igaz, 2019. januárban és februárban nem voltak még a vízpára fogyasztási adatok, de itt a többi év januári és februári fogyasztásaiból egy egyszerű átlag számítással próbáltuk megbecsülni, hogy mennyi lehetett a vízpára fogyasztásának mennyisége. A tűzoltók által használt víz mennyiségét itt nem adtuk hozzá a kimutatáshoz az adatgyűjtő rendszer hibája miatt. A három év összesített fogyasztásait és költségeit a 61. ábra mutatja.

Év	Vízpára		Szociális víz		Szennyvíz	
	m ³	Ft	m ³	Ft	m ³	Ft
2019	8932	2 417 892 Ft	16928	4 582 410 Ft	5306	1 534 495 Ft
2020	7711	2 087 368 Ft	14453	3 912 427 Ft	4194	1 212 905 Ft
2021	7066	1 912 766 Ft	14917	4 038 032 Ft	3898	1 127 302 Ft
Összesen	23709	6 418 026 Ft	46298	12 532 869 Ft	13398	3 874 702 Ft

61. ábra: 2019, 2020 és 2021-es év vízfogyasztásának költségei (ÁFA nélkül) (forrás: saját szerkesztés)

A költségek kiszámítása nagyon egyszerű volt, mivel 1 m³ víz ára publikus információ. A vállalat vízdíjaira is a Soproni Vízmű Zrt. által megállapított díjszabás van érvényben, így 1 m³ víz ára 270,70 Ft + ÁFA, a szennyvízelvezetés díja pedig 289,20 Ft + ÁFA.

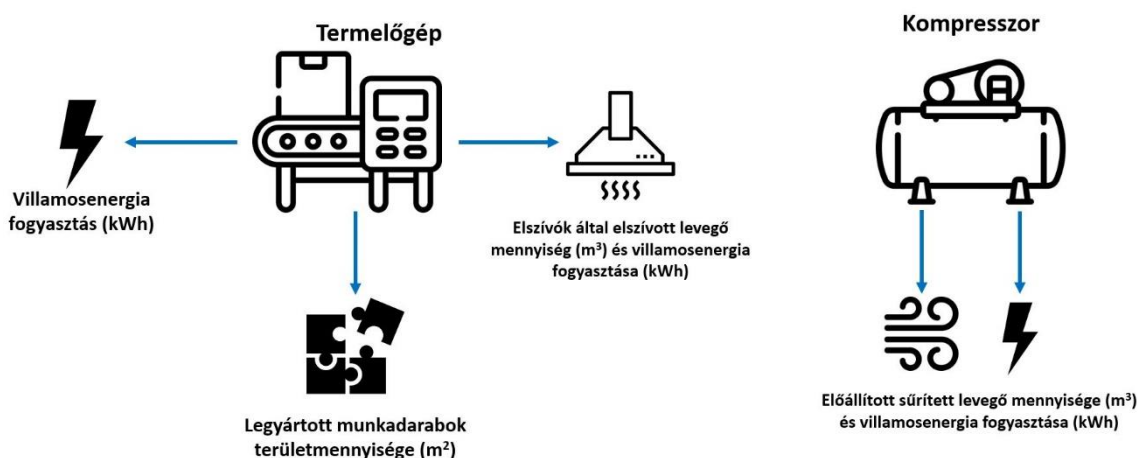
4.3. A fejezet összefoglalása

Összefoglalva a vállalat vízfogyasztásával kapcsolatos kutatásról elmondhatjuk, hogy a kitűzött céljainkat teljesítettük. Sikerült fejleszteni egy olyan adatgyűjtő rendszert, amely 10 percenként fogad adatot az elfogyasztott víz mennyiségéről az adatbázisba. Ennek

köszönhetően képesek vagyunk részletes kimutatásokat készíteni, amelyekből megállapíthatóak az esetleges problémák, például csőtörés, egyéb vízszivárgás. Konkrét példa erre a tűzoltói vízcsapnál a csőtörések, meghibásodott szenzorok, de magára a tűzoltói vízfogyasztással kapcsolatos problémára (fizikai eszközök elhelyezkedése a mérési folyamatban) is a rendszer segítségével sikerült rávilágítani. A korábbi napi adatokhoz képest 10 percre lebontva tudjuk azonosítani a problémákat, ez 144-szeres pontosságot eredményez, a korábban alkalmazott napi egyszereshez képest. Nem említve azt, hogy a napi összesített adatok esetleg el is fedhetnék ezeket a hibákat vagy nehezebb lenne azonosítani őket.

5. Termelést támogató berendezések energiafogyasztásának és egyéb paramétereinek vizsgálata

A kutatásom következő nagy témaköre a termelést támogató berendezések, pontosabban az üzemekben működő kompresszorok és elszívó berendezések energiafogyasztásának és más egyéb paramétereinek vizsgálata volt. A kompresszorok és elszívók használata elengedhetetlen, mivel a kompresszorok biztosítják a megfelelő sűrített levegőt bizonyos termelő gépek működéséhez. Az elszívók pedig a gépek környezetének tisztántartásáért és stabil működéséért felelnek legfőképpen, ugyanis a fa bútorelemek megmunkálása közben nagy mennyiségű por és faforgács keletkezik. Ezt a felgyülemllett hulladékot a megmunkálási területekről a lehető leghatékonyabb módon el kell távolítani [112]. A kompresszorok esetében a termelt léghőmérték mennyiségét is monitoroztuk és vetettük össze a villamosenergia fogyasztással. Az elszívók esetében sikerült nagyobb változásokat végrehajtanunk a kiberfizikai rendszerben. Eredményeinknek köszönhetően már egy termelő gépek esetében nem csak a villamosenergia fogyasztást és a legyártott munkadarabok területmennyiségét (m^2) tudjuk nyomonkövetni, hanem az elszívók villamosenergia fogyasztását részarányosan rá tudjuk terhelni közvetlenül az érintett termelő gépekre. Ezeket a mért paramétereket a 62. ábra is bemutatja. A kompresszorok és az elszívók vizsgálatával kapcsolatos eredményeinket mutatom be részletesen ebben a fejezetben.



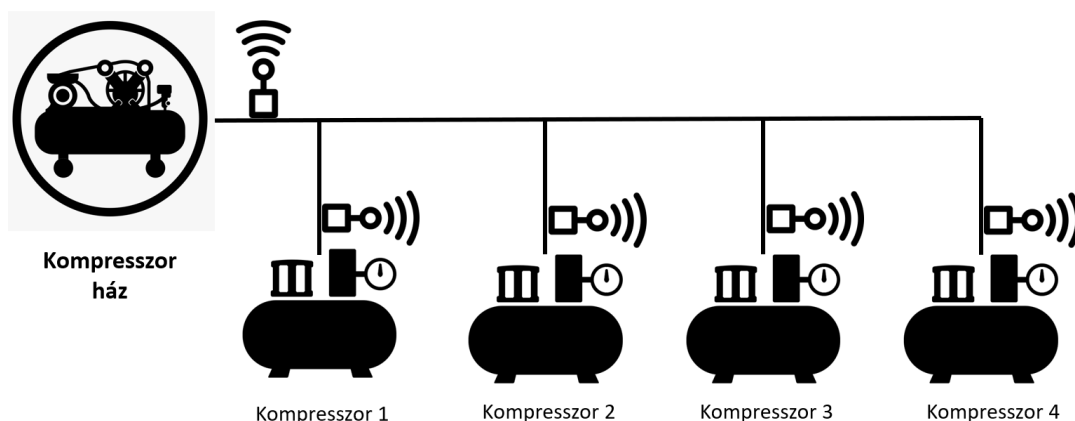
62. ábra: Mért paraméterek egy termelő gépnél és kompresszornál (forrás: saját szerkesztés)

5.1. Kompresszorok energiafogyasztásával és sűrített levegő kibocsátásával kapcsolatos eredmények

A kompresszor az a berendezés, ami a sűrített levegő előállításáért felel. A sűrített levegő valójában egy másodlagos energiahordozó, amit az iparban főként munkagépek, szerszámgépek, ipari robotok mechanikus működtetésére alkalmaznak [113]. A kutatásunkban részt vevő bútoripari vállalat is rendelkezik számos termelő géppel, amelyek működéséhez nélkülözhetetlen a sűrített levegő. A kutatás kezdetén még a sűrített levegő kibocsátott mennyiségéről semmilyen, a villamosenergia fogyasztásáról pedig csak nagyon

minimális információk volt, ezért a vállalat dolgozóival együtt fontosnak tartottuk az üzemekben működő kompresszorok vizsgálatát.

A vállalat üremeiben több kompresszor található, amik egy-egy kompresszorházhoz kapcsolódnak (63. ábra). Munkánk megkezdése előtt csak a kompresszorházak voltak felszerelve szenzorral, ami az összes kompresszor villamosenergia fogyasztási adatait mérte összesítve. A kutatás sikeres és eredményes kimenetele érdekében egyetértettünk abban, hogy itt szükség van további szenzorok telepítésére, még hozzá minden egyes kompresszornál. A kompresszorokhoz telepített szenzorok berendezésekre lebontva tudják mérni, hogy hány köbméter sűrített levegőt generálnak és emellett mennyi villamosenergiát fogyasztanak.

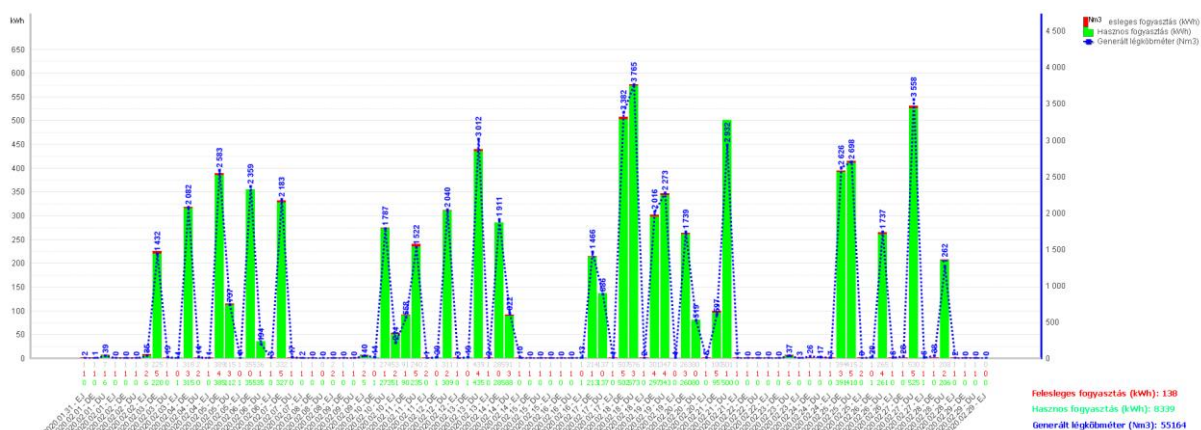


63. ábra: Kompresszorház felépítése (forrás: saját szerkesztés)

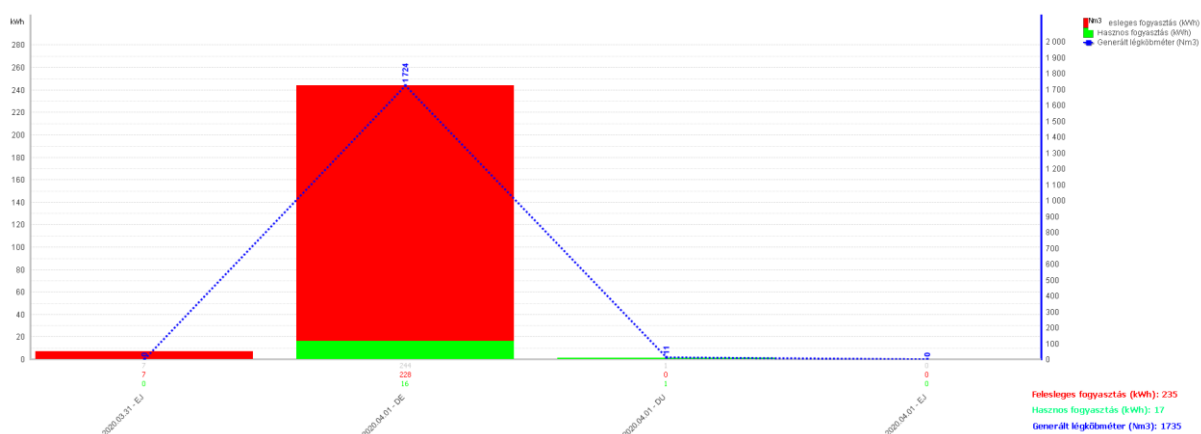
Az üzemekben lévő kompresszorokról még azt fontos tudni, hogy a vállalat kettő üzemében egy-egy nagy kompresszorház van, amikhez összesen 8 darab kompresszor csatlakozik, 5 darab az egyik üzemben (itt készülnek a konyabútor fronthoz a keret elemek) és 3 darab a másik üzemben (itt készülnek a bútorhoz a front elemek). A kettő üzemben nem mindegyik kompresszor üzemel egy időben, tehát például a nyolc kompresszorból egyszerre csak három van működésben, kettő pedig készenléti vagy kikapcsolt állapotban. Ez egy hatékonysági és energiagazdálkodási módszer, mert van egy terheléelosztást felügyelő berendezés, amely figyel arra, hogy a kompresszorok működése nagyjából kiegyenlített legyen: ne fordulhasson elő, hogy egy kompresszor túlságosan vagy alig-alig használva működjön.

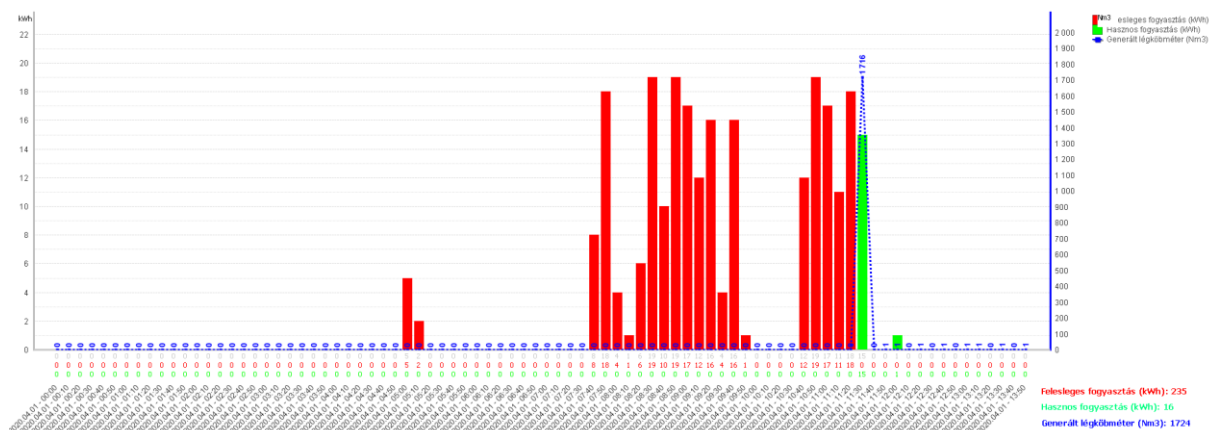
Az egyes kompresszorok energiafogyasztásáról és generált sűrített levegő mennyiségéről számos kimutatást készítettünk. Egy ilyen kimutatás látható a 64. ábra. Az ábrán a vízszintes tengely a dátumot, pontosabban itt 2020. február hónap napjait jelöli. A bal oldali függőleges tengelyen látható az energiafogyasztás kWh-ban megadva: ehhez tartoznak a zöld és piros oszlopok. A zöld oszlopok mutatják a hasznos energiafogyasztást, ami a kompresszorok esetében azt jelenti, hogy termelte a sűrített levegőt az adott időszakban. A piros oszlopok a haszontalan energia fogyasztást mutatják, amikor a kompresszorok működésben voltak, de nem termelték a sűrített levegőt. A jobb oldali függőleges tengely a generált sűrített levegő mennyiségét mutatja, amit a diagramon a kék szaggatott vonal is szemléltet. Ez az érték Nm³-

ben van megadva, ami a normál köbmétert jelenti. A normál köbméter nem más, mint 1 m^3 gáz (jelen esetben a sűrített levegő) 0 Celsius fokon 1 bar nyomáson [114].



A példán látható, hogy február hónap összes kibocsátott légméter mennyisége $55,164 \text{ m}^3$, a hasznos energiafogyasztás 8339 kWh, a haszontalan fogyasztás pedig 139 kWh. Ahol 0 értékek látszódnak, ott hétvégi napok voltak, amikor nem volt termelés, vagy épp másik kompresszor volt üzemben. Ez a kompresszor elég hatékonyan működik, mivel a haszontalan energiafogyasztása nagyon minimális. Az adatbázisban az időszakokat itt is tudjuk szűrni 10 percekre, így még pontosabban meg tudjuk vizsgálni a kompresszorok működését. Ennek köszönhetően, az elemzéseink során rábukkantunk olyan kompresszorra, ami nem működött hatékonyan. Ennek a kompresszornak a fogyasztási adatai láthatóak a 65. ábra. Látható, hogy ennek a kompresszornak sokkal több volt a haszontalan energiafogyasztása, tehát be volt kapcsolva, de nem termelte és nem bocsátotta ki a sűrített levegőt. Ezt a napot megvizsgáltuk 10 perces időszakokra lebontva is nem csak műszakok szerint (66. ábra), mindezt azért, hogy pontosabban detektálni tudjuk a jelenség időszakát.

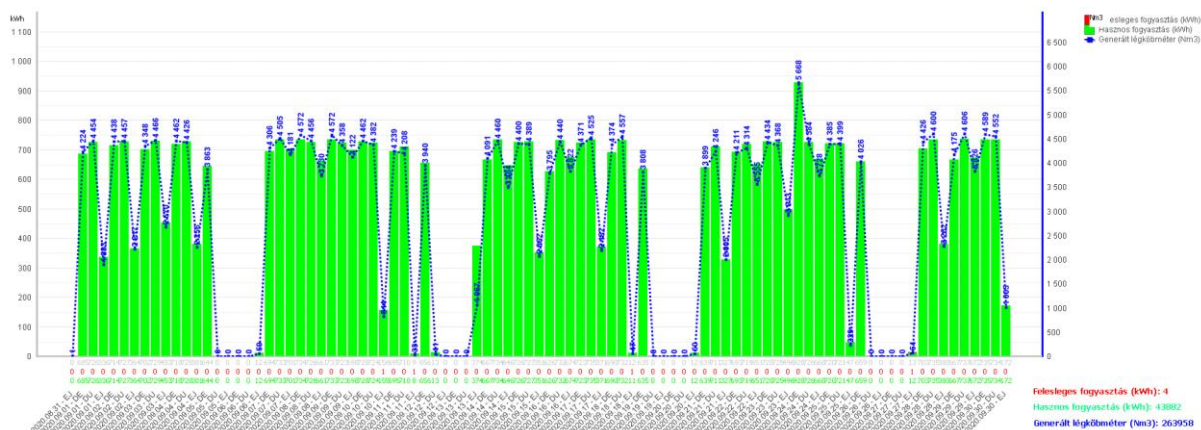




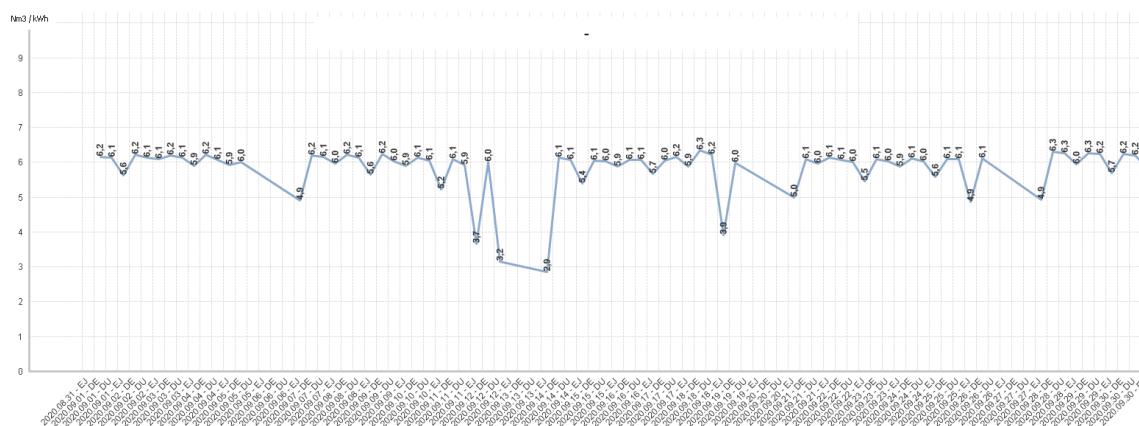
66. ábra: Nem hatékonyan működő kompresszor fogyasztása 10 perces időszakokra bontva (forrás: saját szerkesztés)

Ezt a nagy mértékű haszontalan működést okozhatta meghibásodás, karbantartás elhanyagolása, vagy csak egyszerűen a műszakban dolgozó emberek voltak felelőtlenek és hagyták bekapcsolva a kompresszort. Jeleztük a felfedezésünket a vállalat dolgozóira felé, akik megtették a szükséges lépéseket a kompresszor megfelelő működése érdekében. A COVID-19 és a gyári leállítás miatt nehéz megmondani melyik állítás lehetett a valóság, de ahogy vizsgáltuk ennek a kompresszornak az adatait ebben a hónapban, láttuk, hogy ez a kompresszor nem volt működésben. Az időszakban megvizsgáltunk más kompresszorokat is, ahol viszont tapasztaltunk hasznos működéseket, sűrített levegő termelést, tehát mégis voltak olyan napok, mikor dolgoztak az üzemekben. Mivel a következő hónapokban nem tapasztaltunk efféle negatív jelenséget a vizsgált kompresszornál, gyanítjuk, hogy valóban áteshetett egy teljeskörű karbantartáson, mert a működése teljesen hatékony volt már később.

A kompresszorok hatékonyságát matematikailag a *fajlagos energiafelhasználás mutatószámmal* jellemezzük. Ennek köszönhetően egy új KPI került be a rendszerünkbe, ami egy adott kompresszor által generált sűrített levegő és villamosenergia fogyasztási arányát veti össze (Nm^3/kWh), tehát azt mutatja, hogy egy adott kompresszor 1 kWh villamosenergia felhasználással mennyi léghőméter sűrített levegőt tud generálni. A fajlagos energiafelhasználási teljesítménymutatóval nyilvánvalóvá válik, hogy a kompresszorok mennyire hatékonyan használják fel a villamosenergiát. A következő ábrákon bemutatjuk egy adott időszakban egy adott kompresszor teljesítményét.

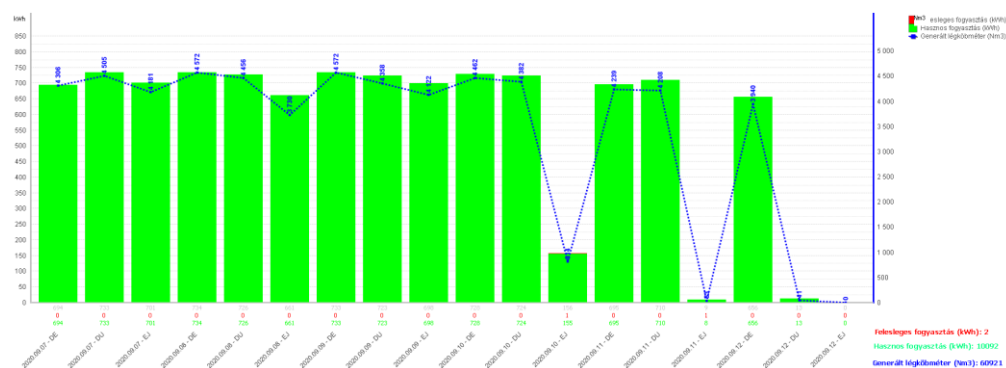


67. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált léghőmennyisége 2020. szeptember hónapban (forrás: saját szerkesztés)

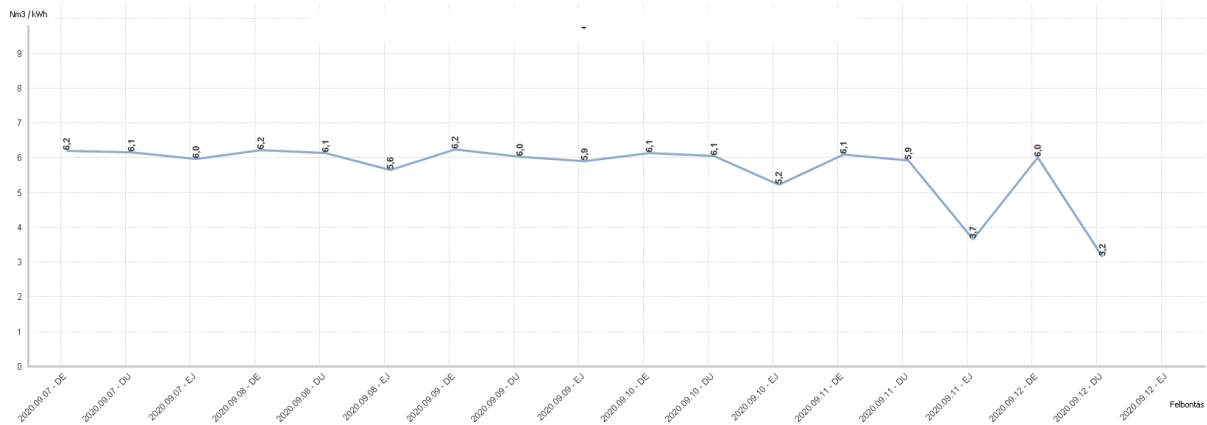


68. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. szeptember hónapban (forrás: saját szerkesztés)

A 67. ábra és a 68. ábra az egyik üzem egyik kompresszorjának villamosenergia és léghőmennyiség fogyasztásait és a fajlagos energiafelhasználását mutatja be. Ha mind a kettő ábrát megnézzük, látható, hogy ez a kompresszor hatékonyan működik, mivel szinte az egész hónapban egyenletes a teljesítménymutató értéke működés közben. A 0 értékeknél a kompresszor nem volt használatban. A 69. és a 70. ábrákon kiemeltünk ebből az időszakból néhány napot, hogy a grafikonokon jobban láthatóak legyenek az értékek és az egyenletesség.

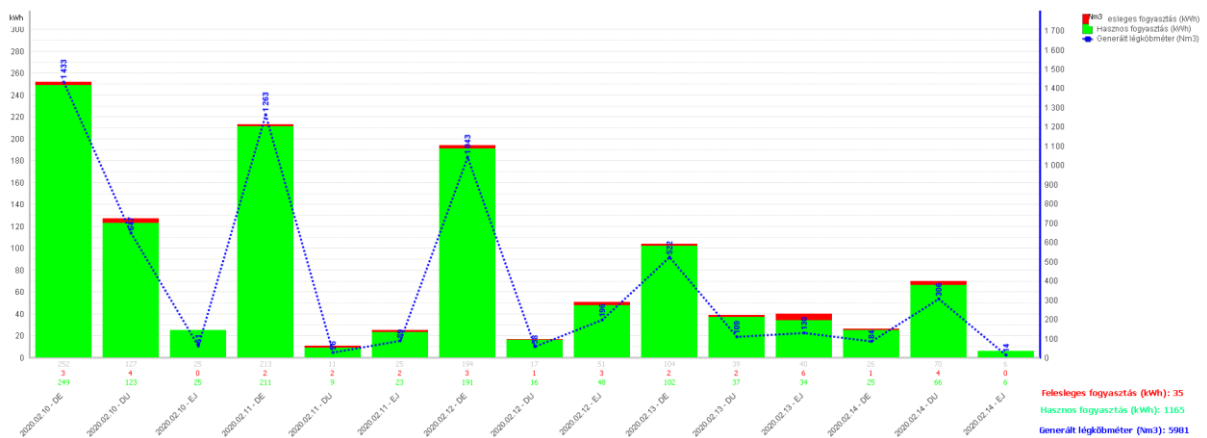


69. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált léghőmennyisége 2020. szeptember 7-12-ig (forrás: saját szerkesztés)

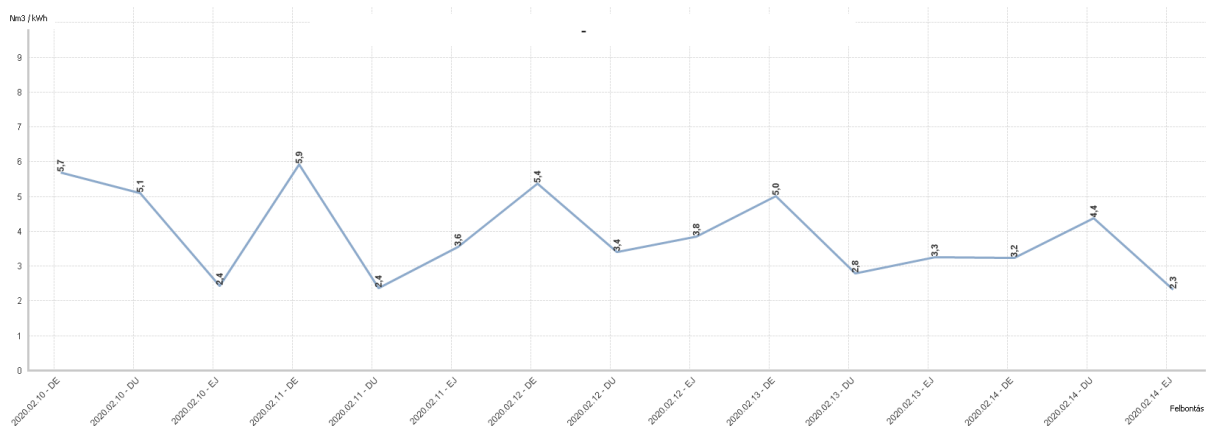


70. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. szeptember 7-12-ig (forrás: saját szerkesztés)

Az elemzéseink során mindegyik kompresszor hatékonyságát megvizsgáltuk a fajlagos energiafelhasználásuk alapján. Több kompresszornál találtunk olyan időszakokat, amikor nem volt teljesen hatékony a működés közbeni energiafelhasználás. Erre példát a 71. és a 72. ábra mutat.



71. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált léghőméter mennyisége 2020. február 10-14-ig (forrás: saját szerkesztés)



72. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. február 10-14-ig (forrás: saját szerkesztés)

Az időszakban látható, hogy sem az energiafogyasztás, sem a léghőméter kibocsátás nem volt egyenletes, így jóval könnyebben elő tud fordulni az, hogy a fel- és lefutási időszakokban vesztésgesen működik egy-egy kompresszor. Ez a technológiából is adódik, mivel ezeknek a gépeknek bekapcsolás után el kell telnie bizonyos időnek, amíg az elvárt szinten tudnak működni, míg a feladatának elvégzése végén, amikor lekapcsolják, ott szintén van egy rövid szakasz, amikor még használatban vannak, fogyasztanak energiát, de az általuk termelt léghőméter mennyiségre már nincsen szükség. Más időszakokban is megvizsgáltuk ezt a kompresszort, és mindegyik időszakban hasonló képet kaptunk a működéséről. Valószínűnek tartjuk, hogy ezt a kompresszort karbantartás vagy teljes csere alá kellene vetni, vagy újra kellene gondolni a termelés támogatásba való becsatlakozását, mivel nagyon gyakran produkál haszontalan energiafelhasználási értékeket is, ami a többi kompresszorra csak csekélyebb arányban jellemző. Ha megnézzük a fajlagos energiafelhasználási diagramot, látjuk, hogy az arányszámok $2,3 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$ és $5,9 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$ közötti intervallumon mozognak. A korábban megvizsgált kompresszornál (70. ábra) ezek az értékek $3,2 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$ és $6,2 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$ között alakultak. A kompresszorok működésénél meg kellene határozni úgynevezett *hatékonysági optimum értéket*, és ha huzamosabb ideig ez alá esik a hatékonyság, akkor beavatkozás szükséges és egy jelzést kaphatna az illetékes személy. Itt sajnos az a probléma, hogy a hatékonysági optimum érték meghatározása nem egy egyszerű feladat és nem is lehet egy konkrét értéként meghatározni. Nagyon sok tényezőtől függ, hogy egy adott kompresszornál mekkora lehet ez az érték. Például attól is függ, hogy a kompresszor által támogatott termelő gép milyen terméket munkál meg és milyen teljesítménnyel (lassú vagy gyors megmunkálás). Ezek alapján a hatékonysági optimum megállapítása felfogható egy újabb kutatási célkitűzésként a jövőre vonatkozóan.

Összefoglalva a kompresszorokkal kapcsolatban elért eredményeket elmondhatjuk, hogy a kutatás elején kitűzött célokat sikerült teljesíteni. Azt látjuk, hogy ezen a területen fellelhető még több kutatási célkitűzés, mint például az imént említett hatékonysági optimumok meghatározása, vagy annak a mérése, hogy egy adott termelő gépnél adott időpontban mekkora léghőméter mennyiség kibocsátás történik, illetve ehhez mekkora villamosenergia fogyasztás tartozik. Egy jóval komplexebb célkitűzés lehet még, hogy az adott termelő gép mennyi sűrített levegőt használ fel a működéséhez. Ez viszont, a feltételezett szivárgások miatt is egy jóval összetettebb kutatási feladat lehet még a jövőben. Mindezen felvetések segítettek minket abban, hogy elinduljunk a következő kutatási célkitűzésünk megvalósítása felé: ez pedig az elszívók és a gépek kapcsolatáról szól, amit a következő alfejezetben részletezünk.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg összefüggésben a vízfogyasztás felügyeletével:

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

5.2. Elszívók energiafogyasztásával kapcsolatos eredmények

A másik nagy berendezéscsoport, amit energiafogyasztás szempontjából is vizsgáltunk kezdetben, az üzemekben működő elszívók voltak [115]. Az üzemek területén az elszívók a második legnagyobb energiafogyasztók a termelő gépek után (kevésbé elmaradva csak tőlük, például a 2020-as évben az összes fogyasztás 33,1%-át a gépek tették ki, az elszívók pedig 30,8%-ot – lásd itt: 32. ábra), így elengedhetetlen volt a vizsgálatuk. Ez a nagy energiafogyasztást és a velejáró költségeket itt viszont még nem lehetett közvetlenül összekapcsolni a termeléssel, mert bár a működésük elengedhetetlen a gyártás során, nehezen, csak becsléssel, vagy valamilyen osztó módszerrel lehetett ráterhelni a termelő gépekre és a legyártott termékekre. Ez adta a következő motivációnkat a kutatás során.

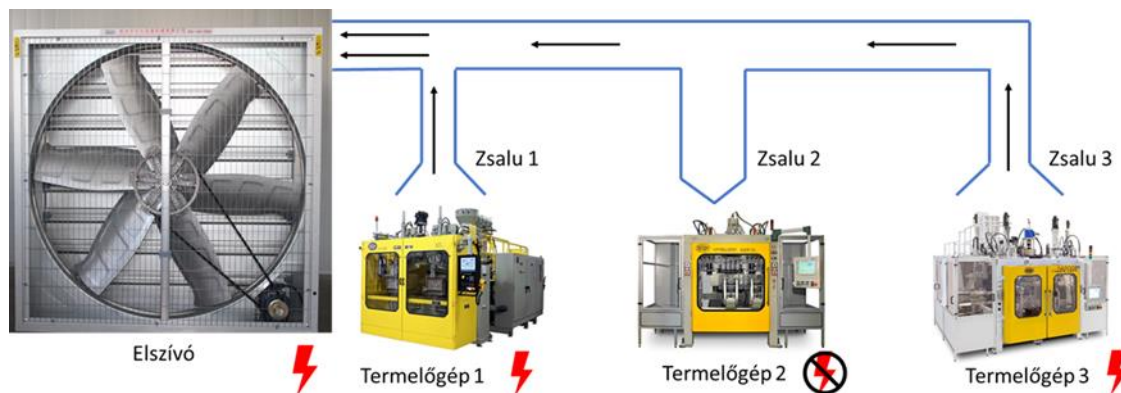
A fő célunk az volt, hogy a közvetett (elszívók által fogyasztott) villamosenergia mennyiségét ráterheljük a kapcsolódó munkagépekre, így a termeléshez közvetetten kapcsolódó költségekből közvetlen fogyasztásokat (így kvázi költségeket) számítottunk ki [116]. Ez azért is volt nagy eredmény, mivel így nem csak a termelő gépnél tudjuk meghatározni azt, hogy mikor működött hatékonyan és veszteségesen, hanem a hozzá kapcsolódó elszívó fogyasztásokról is el tudjuk mondani ugyanezt a felosztott megállapítást (hasznos/haszontalan működés). Ezt a módszertant mutatom be ebben az alfejezetben.

A kutatás kezdetén az elszívókról sem rendelkezünk sok adattal, csak az összfogyasztásuk volt ismert. Emiatt egy teljeskörű kibernetikai rendszerbővítéssel kellett kezdeni a munkát. Szükséges volt létrehozni egy új hardveres környezetet, amin belül az elszívók zsaluihoz (vagy más néven szelepeihez) a vállalat szakemberei felszereltek további szenzorokat, amik a zsaluk állapotát érzékelik. Ezek az állapotjelző szenzorok azt mutatják a rendszerben, hogy egy adott elszívó zsalui nyitva vannak-e vagy zárva. A zsaluk állapotai bármikor lekérhetőek, a működéséből adódóan azonban elegendő ezeket percekre lebontva nyomon követni, mivel nem fordul elő olyan, hogy egy zsalut egy percen ki-be tudnának nyitni-zárni. A rendszert szoftveresen is fejleszteni kellett, hogy az újonnan érkező adatokat helyesen meg tudja jeleníteni az adatbázisban. A fejlesztések után a következő bemeneti adatokat tudja mérni és megjeleníteni a rendszer:

- Az elszívók villamosenergia fogyasztása (kWh) minden 10 percben.
- Az elszívók zsaluinak szívási kapacitása, áteresztő képessége (m^3/h) (ismert információ).
 - Például: egy elszívónak 3 darab zsaluja van, és ha egy zsalu nyitva van, akkor történik elszívás, ami 4000 m^3 levegőmennyiség elszívását jelenti óránként.
- A kapcsolódó termelő gépek villamosenergia fogyasztása (kWh) minden 10 percben.
- Tudjuk, hogy melyik elszívó, melyik zsaluja milyen termelő géppel van összekapcsolva.

Ezeket tekinthetjük tehát alapvető bemeneti adatnak a kalkulációhoz. A VISION folyamatmenedzselő rendszer segítségével minden percben lekérjük a szenzoroktól a zsaluállapotokat, amelyeket utána 10 percenként összegzünk. Az így kapott összegzést

arányosítjuk az elszívható léghőméter kapacitással és az elszívó villamosenergia fogyasztásával, így minden 10. perc után arányosan hozzáadódik az elszívók részleges energiafogyasztása a kapcsolódó termelő gépek energiafogyasztásához. Ezáltal kapunk a közvetett fogyasztási adatokból közvetlen fogyasztási adatokat.



73. ábra: Elszívó berendezés és zsaluinak működése (forrás: saját szerkesztés)

Példaként a 73. ábra mutat egy elszívó berendezést, ami működése közben áramot fogyaszt, és három termelő géptől szívja el a levegőt, amikor a zsaluk nyitva vannak. A képen látható, hogy az első és a harmadik zsalu van nyitva, és a második zárva. Ha egy zsalu nyitva van, akkor az elszívó részleges villamosenergia fogyasztási adatai hozzáadódnak a hozzá kapcsolódó termelő gép villamosenergia fogyasztási adataihoz. Ha egy zsalu nincs nyitva, az azt jelenti, hogy az adott termelő gép nem üzemel, így elszívásra sincs szüksége és a kalkulációból is kivonható ez a gép.

5.2.1. Közvetlen és közvetett energiafogyasztás kalkulációi

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

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

Az (1) képlet a következő elemekből áll:

- E_{S_i} : A j . elszívó i . zsalujára (angolul: shutter) jutó részleges villamosenergia fogyasztása (kWh)
- j : Az adott elszívó azonosítója
- i : Az adott zsalu azonosítója
- l : A j . elszívóhoz tartozó zsaluk száma, és $1 \leq i \leq l$

- E_{EX_j} : A j . elszívó teljes villamosenergia-fogyasztása (kWh)
- t_i : Azon percek száma (legfeljebb 10), amikor az i . zsalu nyitva van
- C_i : Az i . zsalu kapacitása (m^3/h)

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

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

A (2) egyenlet a következő elemeket tartalmazza:

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

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

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

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

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

5.2.2. Módszertan szemléltetése (példa kalkuláció)

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

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

- Zsalu 1 kapacitása [S1]: $36.550 m^3/h$
- Zsalu 2 kapacitása [S2]: $14.500 m^3/h$

Adott elszívó villamosenergia fogyasztása:

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

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

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

„Zsalu 2 nyitva” állapot:

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

Termelő gépnél mért villamosenergia fogyasztás:

- [T1] időszakban:
 - E_{M1} : 25 kWh
 - E_{M2} : 10 kWh
- [T2] időszakban:
 - E_{M1} : 30 kWh
 - E_{M2} : 13 kWh

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

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

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

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

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

A számításainkról készítettünk egy *összefoglaló ábrát* a jobb átláthatóság érdekében. Ezt mutatja a 74. ábra.



74. ábra: Összefoglaló ábra a példa kalkuláció (forrás: saját szerkesztés)

A szürke mezőben található az elszívó zsaluinak kapacitása, amik konstans értékek (nagyon ritkán változhatnak: ilyenkor a kiberfizikai rendszerbeli kommunikáció, a kalkulációnkban a zsaluk kapacitásai is rögtön frissülnek). A sárga mezőben látható az elszívó energiafogyasztási adatai kettő darab 10 perces egységre bontva, és az, hogy az adott 10 percekben hány percig voltak nyitva a zsaluk, továbbá még az látható, hogy az adott 10 percekben a két zsaluhoz kapcsolódó termelő gép mennyi villamosenergiát fogyasztott. A narancssárga mezőben látható az elszívó arányos villamosenergia fogyasztásának kiszámítása zsalunként az adott időegységekben. A zöld mezőben pedig a termelő gépek és elszívók fogyasztásának valós összértéke látható időszakonként, immár a közvetlen fogyasztásokhoz hozzáadva az elszívó által fogyasztott közvetett értékeket is együttesen.

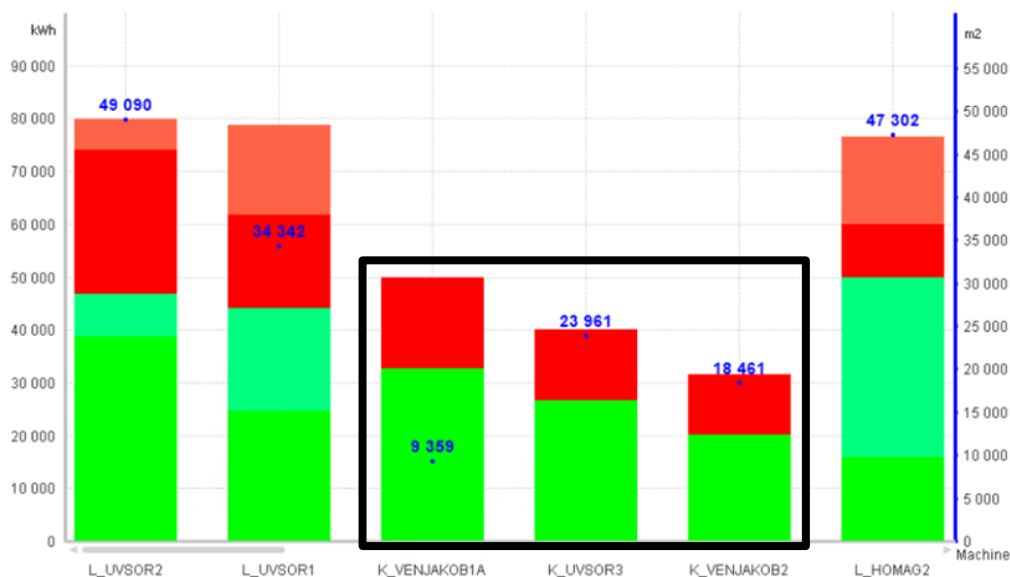
Az itt bemutatott módszertant az éles működés során érvényesítettük (validáltuk): a működés során kapott összetett bemeneti adatokat és a kalkulációinkat is ellenőriztük, így kijelenthető, hogy azok helyes eredményeket adnak.

5.2.3. Valós működésbeli kalkulációk eredményei

A számítások eredményei 10 percenként eltárolásra kerülnek az adatbázisban és ehhez kiterjesztettük a termelő gépek adatmegjelenítéseit is.

A 75. ábra a gépek villamosenergia fogyasztásait és a hozzájuk kapcsolódó elszívó villamosenergia részfogyasztási adatait mutatja összesítve. Az adatok 2020. augusztusának egy hetéből származnak. Azért tartjuk fontosnak először egy 2020-as adatokból készült kimutatásnak a szemléltetését, mert a kutatás ezen fázisban még nem lehetett mérni az üzemben az összes elszívó zsaluinak működését. Emiatt a diagramon láthatóak „hiányos” (halványzöld és halványpiros) oszlopok az elszívókhoz kapcsolódóan, amelyeket fekete négyzettel kiemeltünk. A diagramon a zöld oszlopok ábrázolják a hasznos energiafelhasználást működés közben, amikor a gépek termékeket állítanak elő, tehát a gép és az elszívó működése nyereséges a vállalat számára. A piros oszlopok haszontalan energiafelhasználást jelentik, amikor a gépek nem állítottak elő termékeket, ezért a gép és az elszívók működése veszteséges a vállalat számára. Minden oszlopnál a halványabb zöld (hasznos) és a halványabb

piros (haszontalan) jelöli az elszívók által közvetetten fogyasztott, és így a módszertanunk által végül közvetlenül gépre terhelt fogyasztási értékeket. A kézzel jelölt számok a termelési mennyiségeket (m²) jelentik. Ezen a diagramon csak azok a gépek vannak megjelenítve, amelyek a legnagyobb villamosenergia fogyasztók voltak az adott héten. A 76. ábra a 75. ábra kapcsolódó mérési értékeit mutatja.

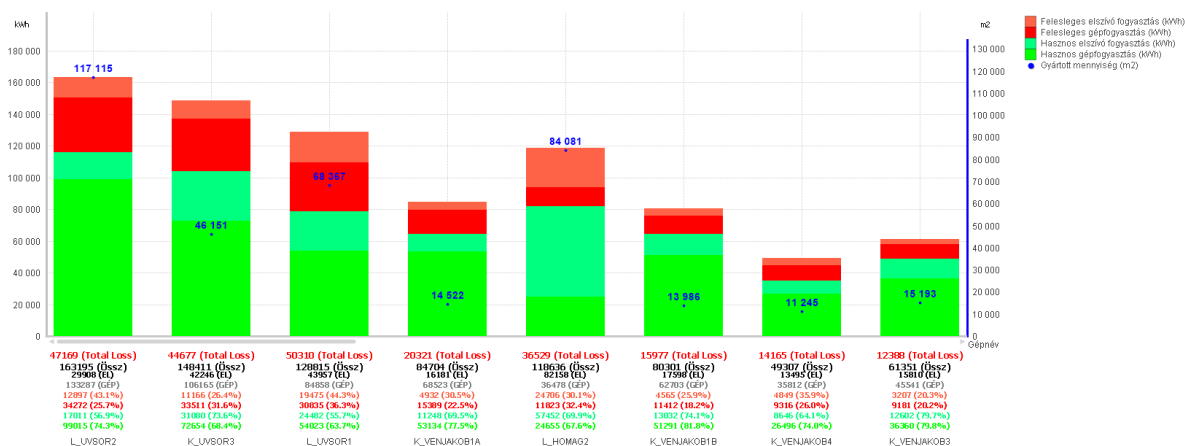


75. ábra: A termelő gépek és az elszívók hasznos és haszontalan energiafogyasztása (forrás: saját szerkesztés)

Gépek típusai		L_	L_	K_	K_	K_	L_
		UVSOR2	UVSOR1	VENJAKOB1A	UVSOR3	VENJAKOB2	HOMAG2
Haszontalan energiafogyasztás (kWh)	Közvetett - elszívó	5.781 41,5%	17.053 46,9%	0 0%	0 0%	0 0%	16.556 32,8%
	Közvetlen - termelőgép	27.288 41,3%	17.748 41,8%	17.218 34,6%	13.462 33,6%	11.301 35,90%	10.151 38,9%
Hasznos energiafogyasztás (kWh)	Közvetett - elszívó	8.155 58,5%	19.309 53,1%	0 0%	0 0%	0 0%	33.975 67,2%
	Közvetlen - termelőgép	38.713 58,3%	24.677 58,2%	32.573 65,4%	26.551 66,4%	20.180 64,1%	15.943 61,1%
Termelt mennyiség (m ²)		49.090	34.342	9.359	23.961	18.461	47.302

76. ábra: A 75. ábrához kapcsolódó mérési értékek (forrás: saját szerkesztés)

2020. augusztusa után kezdődött meg az új szenzorok telepítése további elszívó berendezések zsaluhoz. A vállalat kettő darab üzemében összesen 6 darab elszívó dolgozik, üzemenként 3-3. Miután az újonnan telepített szenzorok már a tovább elemzésekhez elegendő adatot szolgáltatottak az adatbázisba, már tudtunk újabb elemzéseket készíteni. A következő ábrákon (77. ábra és 78. ábra) láthatóak újabb, már 2022-es kimutatások az elszívók és termelő gépek fogyasztásával kapcsolatban.



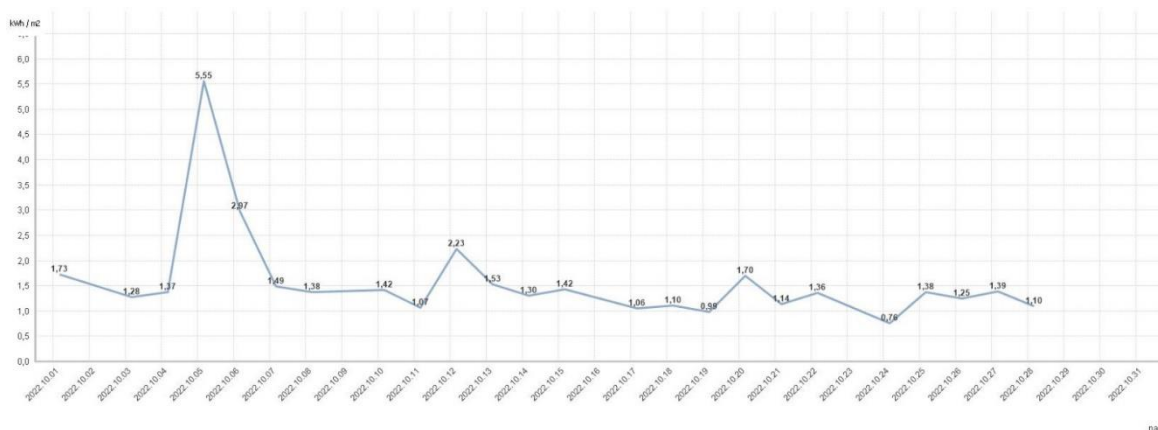
77. ábra: A termelő gépek és az elszívók hasznos és haszontalan energiafogyasztása 2022. októberében (forrás: saját szerkesztés)

Gépek típusai		L_	K_	L_	K_	L_	K_	K_	K_
		UVSOR2	UVSOR3	UVSOR1	VENJAKOB1A	HOMAG2	VENJAKOB1B	VENJAKOB4	VENJAKOB3
Haszontalan energiafogyasztás (kWh)	Közvetett - elszívó	12.897	11.166	19.475	4.932	24.706	4.565	4.849	3.207
	Közvetlen - termelőgép	34.272	33.511	30.835	15.389	11.823	11.412	9.316	9.181
	Összes	47.169	44.677	50.310	20.321	36.529	15.977	14.165	12.388
Hasznos energiafogyasztás (kWh)	Közvetett - elszívó	17.011	31.080	24.482	11.248	57.452	13.032	8.646	12.602
	Közvetlen - termelőgép	99.015	72.654	54.023	53.134	24.655	51.291	26.496	36.360
	Összes	116.026	103.734	78.505	64.382	82.107	64.323	59.536	48.962
Termelt mennyiség (m ²)	117.115	46.151	68.367	14.522	84.081	13.986	11.362	15.193	

78. ábra: A 77. ábrához kapcsolódó mérési értékek (forrás: saját szerkesztés)

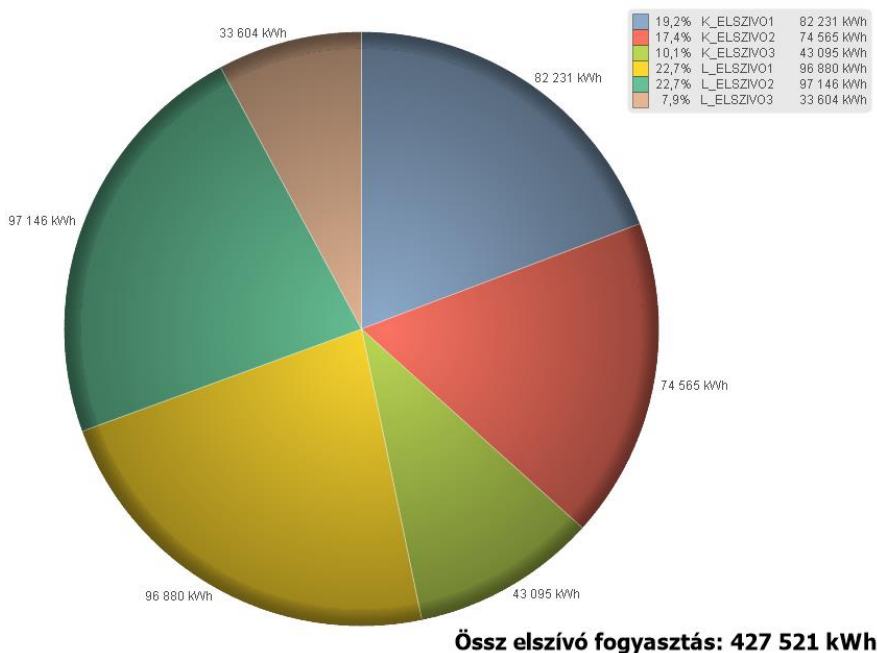
A 77. ábra a legnagyobb energiafogyasztó termelő gépeket és az őket közvetlenül támogató elszívók hasznos (zöld oszloprészek) és haszontalan (piros oszloprészek) energiafogyasztását mutatja 2022. októberében. A kék színnel jelölt számok a gépek által egy hónap alatt legyártott összes termék terület mennyiségei (m²). A fő különbség a 75. ábrához képest az, hogy sokkal több gép adata látható elszívó részfogyasztásokkal együttesen (halvány zöld és piros). A 78. ábra egy összefoglaló táblázat, ahol a 76. ábrához hasonlóan az egyes termelő gépek és a hozzá kapcsolódó elszívók részfogyasztás értékei és a legyártott mennyiségek (m²) láthatók.

Bekerült egy új hatékonysági mutatószám is a rendszerbe, amely az elszívók villamosenergia-fogyasztásához kapcsolódik. A 79. ábra diagramon az értékek azt mutatják, hogy mennyi kWh villamos energiát fogyasztott 1 m² faanyag (vagy bútorelem) előállításához. A jövőben a vezetőség megcélozhat egy értékhatárt, amelyet a gyártás során be kell tartaniuk, de itt is, ahogy a kompresszoroknál említettük, érdemes figyelembe venni például a faanyagok méretét és a gép teljesítményszintjét, miközben megmunkálja a munkadarabokat legalább. Így ez is egy meglehetősen összetett problémát eredményezhet a későbbiekre.



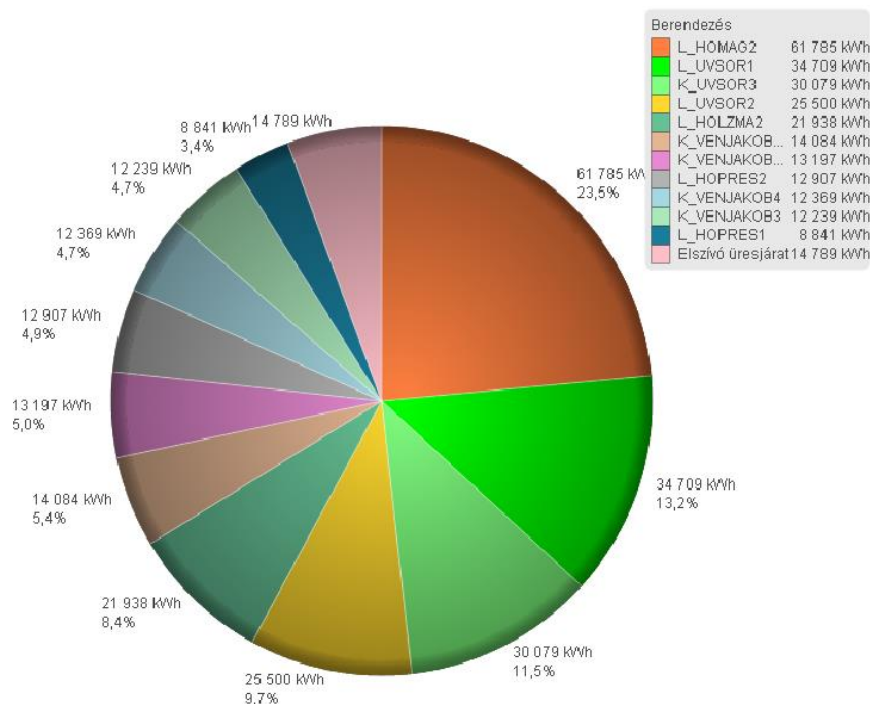
79. ábra: Az L_UVSOR2 gép fajlagos energiafelhasználása (kWh/m2) 2022. októberében (forrás: saját szerkesztés)

A kutatásainknak és fejlesztéseinknek köszönhetően a rendszerben meg tudtuk azt is csinálni, hogy az egyes elszívókhoz hozzárendeltük a kapcsolódó termelő gépeket, és az elszívók fogyasztását arányosan rávetítettük az egyes, hozzájuk kapcsolódó termelő gépekre.



80. ábra: Az elszívók összfogyasztása 2022. október hónapban (forrás: saját szerkesztés)

A 80. ábrán látható az összes elszívó és fogyasztásuk 2022. október hónapban. A legnagyobb energiafogyasztók az egyik üzemben található L_ELSZIVO1, illetve a másik üzemben lévő K_ELSZIVO1. A 81. ábra az összes elszívó fogyasztásának arányait mutatja az egyes termelő gépekre levetítve.

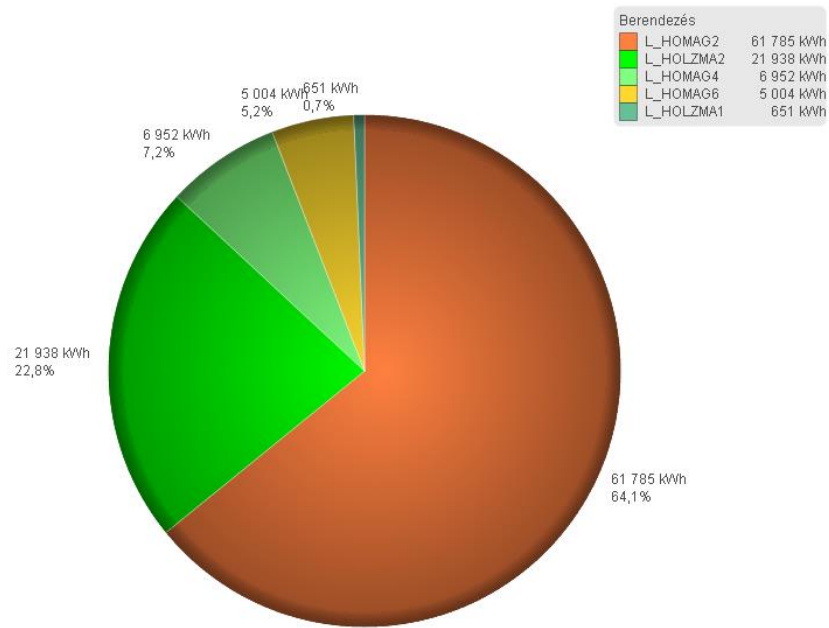


Össz fogyasztás: 262 438 kWh

81. ábra: Elszívó fogyasztások aránya gépekre vetítve (forrás: saját szerkesztés)

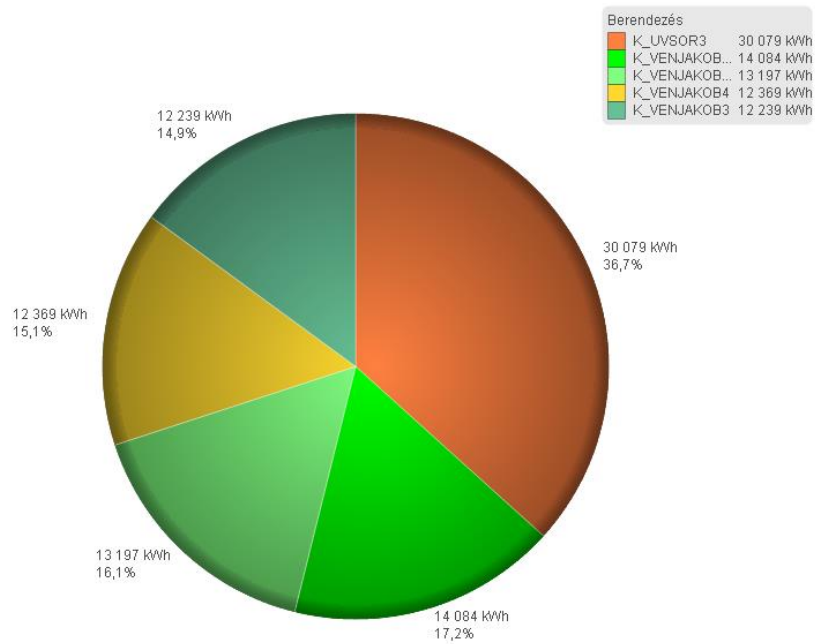
A 81. ábrán látható, hogy az összfogyasztás sokkal kevesebb, mint az összes elszívó fogyasztás (80. ábra). Ennek az az oka, hogy nem minden elszívóhoz (és az összes zsalihoz) lettek még hozzárendelve a termelő gépek a rendszerben, ezért ezek az adatok hiányoznak. Ezen felül számolnunk kell olyan „üres járatokkal”, amelyek például az elszívók indításához és leállításához szükségeltetnek. Ezek viszont mindenképpen a technológiai folyamat részét képezik, hiszen nem „spórolhatjuk” meg az indítási és leállítási fázist, amelyek ilyen nagy elszívóknál nem kevés fogyasztással járnak még.

A következő ábrákon (82. ábra és 83. ábra) látható, hogy a két legnagyobb villamosenergia fogyasztással rendelkező elszívóhoz melyik termelő gépek vannak hozzácsatlakoztatva és az egyes gépekre vetítve mekkora az elszívó részarányos fogyasztása, valamint az összes fogyasztás.



Össz fogyasztás: 96 330 kWh

82. ábra: L_ELSZIVO1-hez kapcsolódó termelő gépek (forrás: saját szerkesztés)



Össz fogyasztás: 81 968 kWh

83. ábra: K_ELSZIVO1-hez kapcsolódó termelő gépek (forrás: saját szerkesztés)

Ha jobban megvizsgáljuk a 82. ábra és a 83. ábra mutatja, hogy egyik elszívóhoz sincs ugyanaz a termelő gép hozzárendelve. Ez az összes elszívóra igaz, mindegyik elszívóhoz más-más

termelő gépek vannak hozzárendelve, ami már csak a területi elhelyezkedésekből is adódik az üzemekben. Ami még megfigyelhető mind a két ábrán, hogy az összes fogyasztás kevesebb, mint amennyi kWh fogyasztást mutat a 80. ábra az egyes elszívóknál. Ennek az az oka, hogy az üresjáratok nem szerepelnek külön a diagramokon. Az üresjáratok az elszívók tekintetében azt jelentik (az indítási és leállítási procedúrán túl), hogy az elszívók működésben voltak, de a termelő gépek nem, vagy épp nem munkáltak meg egy bútorelemet sem. A cél itt tehát lehet az, hogy ezeket az üresjáratokat mindenképpen csökkentsék az üzemekben. A rendszerben külön kiszűrhetőek ezek a fogyasztási mennyiségek, így az L_ELSZIVO1 üresjáratos fogyasztása 550 kWh és a K_ELSZIVO1 üresjáratos fogyasztása 263 kWh volt az adott időszakban. Ha az üresjáratos fogyasztásokat hozzáadjuk az összfogyasztásokhoz megkapjuk a 80. ábrán szereplő elszívók összfogyasztásait.

A kutatás kezdete óta az elszívókkal kapcsolatban a munkánkkal jelentős eredményeket értünk el. Viszont a fejlesztés itt nem állhat meg, hiszen az elszívók tekintetében is még rengeteg lehetőség van arra, hogy további kutatásokat végezzünk, és új, a termelés tekintetében is hasznos eredményeket kapjunk. Az elengedhetetlen, hogy minden elszívó minden egyes zsalujához ki legyen helyezve szenzor, amiket szintén csatlakoztatunk a kiberfizikai rendszerbe, és hozzájuk rendeljük a rendszerből hiányzó termelő gépeket is: 2023. januárjában újabb két nagy elszívó került be a rendszerbe a 26, illetve 43 zsalujával és csatlakoztatott termelő gépeivel együtt. Egy további célkitűzés lehet az elszívók kapcsán még azt is vizsgálni, hogy konkrét gyártási folyamatoknál és konkrét fatípusok megmunkálásakor mekkora a villamosenergia fogyasztása, szintén levetítve a gépekre is. Ha ezeket a fejlesztéseket is véghez vinnénk a jövőben, akkor el lehetne jutni olyan szintre, hogy meg lehetne nagyon pontosan becsülni, hogy egy konkrét termék vagy termékcsoport legyártásának mekkora a közvetett költsége a felhasznált villamosenergia tekintetében [117][118].

A fentiek alapján a következő tézist fogalmaztam meg:

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

5.3. A fejezetben tárgyalt eredmények és további célkitűzések összefoglalása
Ebben a fejezetben az üzemekben működő, két nagy termelést támogató berendezéstípus volt fókuszban. A kompresszorok (2020-ban az összes fogyasztás 10,5%-ért feleltek) és elszívók (2020: 30,8%) a termelő gépek (2020: 33,1%) mellett a legnagyobb villamosenergia fogyasztók a vállalatnál, így fontosnak tartottuk a vizsgálatukat. A kompresszorok a sűrített levegő generálásával és kibocsátásával támogatják a termelő gépek működését a termelés bizonyos szakaszaiban. A kompresszoroknál a kutatás tekintetében több célt tűztünk ki, amiket

sikeresen teljesítettünk. Az egyik cél a rendszer bővítése volt hardveresen és szoftveresen is, ami azt jelentette, hogy a kompresszorokhoz ki lettek helyezve szenzorok, amelyek mérik az egyes kompresszorok kibocsátott sűrített levegő mennyiségét és villamosenergia fogyasztását. A SCADA rendszer segítségével elmentett adatok alapján az üzleti intelligencia rendszerben is szeretnénk volna nyomonkövetni a fogyasztási értékeket, ezért itt is módosításokat kellett végeznünk, hogy megjelenjenek a kompresszorokhoz tartozó fogyasztási adatok mellett a hatékonysági (hasznos/haszontalan) mértékek is. A másik célunk az volt, hogy létrehozzunk egy új KPI-t, amely a kompresszorok által termelt léghőmérséklet mennyiségét veti össze a villamosenergia fogyasztásukkal. Így számunkra kiderül, hogy egy m^3 levegőmennyiség generálásához mennyi kWh villamosenergiát használ fel egy adott kompresszor. Ez a mutatószám azért fontos, mert ezáltal meg lehet határozni akár minden egyes kompresszorra nézve olyan ideális teljesítmény értékeket, amiket a normális, hatékony és hibamentes működés közben tartania kell. A kompresszorokat tekintve a kutatás még nem ért véget, hiszen számos olyan meghatározatlan összefüggés van a kompresszorok és termelő gépek működése, valamint termelés között, amelyekkel mindenképpen érdemes tovább foglalkozni [119].

A másik nagy berendezés csoport, amit vizsgáltunk, azok az elszívók voltak. Az elszívókkal kapcsolatban az volt a fő célunk, hogy a villamosenergia fogyasztásaikat rá tudjuk terhelni az általuk támogatott termelő gépekre. Ahhoz, hogy teljesüljön a célunk, szintén szenzorok telepítésére volt szükség kezdetben. Az elszívók zsaluikhoz lettek felszerelve az új szenzorok, amelyek mérték a zsalu állapotát (nyitva vagy zárva). Az állapotfigyelő szenzorok mellett fogyasztásmérő szenzorok is telepítve lettek, amik a villamosenergia fogyasztást mérték. A kiberfizikai rendszerben (annak SCADA és adatbáziskezelő rendszerében) is fejlesztéseket kellett végezni, hogy megjelenjenek az újonnan mért értékeink. Ezután a SCADA rendszerben összekapcsoltuk az elszívókat a támogatott termelő gépekkel, és ezáltal vált lehetővé az, hogy az elszívók energiafogyasztása rá legyen terhelve az adott termelő gépekre. Ezzel meg tudjuk állapítani azt, hogy egy adott elszívó működése mennyire volt hatékony a termelés közben. Úgy gondoljuk, hogy az elszívókkal kapcsolatban megfogalmazott kutatási célkitűzéseket is sikeresen teljesítettük, hiszen az elszívók által fogyasztott villamosenergia, amely a termeléshez (és a gépekhez) közvetetten kapcsolódott, most már közvetlenül is hozzá kapcsolható a gyártáshoz, így a hasznos/haszontalan működésekről is több információval rendelkezünk [120][121].

A kutatásunk egy nem lezárt, hanem egy élő folyamat, mi sem bizonyítja ezt jobban, mint az, hogy 2023 januárjában is újabb elszívók és zsaluik felügyeletével bővült a kiberfizikai rendszer, így folyamatosan újabb részleteket tudunk meg a gyár működéséről. Amellett, hogy egyre jobban ismerjük a gyárat, folyamatokat, berendezéseket és a rendszerek működését, újabb kutatási célkitűzések feltűnnek a látóterünkben, amelyek további fejlesztésre és optimalizálásra sarkalnak minket a tudományterületen.

6. Energiahatékonysági fejlesztések a költségoptimalizálás és az energiatudatosság érdekében

A termelési erőforrások (villamos energia, víz, sűrített levegő) felhasználásának felügyeletén túl, fontos számunkra az egyre hatékonyabb, optimális gyári működés és működtetés elérése. Ennek az egyik útja a felhőbe való költözés, amelynek lehetőségeit már a 2.1.3. alfejezetben ismertettük, itt viszont már a kutatás gyakorlati eredményeiként mutatunk rá példát. Emellett ezzel egy olyan elvárásnak is eleget teszünk, amelyet kutatásaink során többször hiányosságként jeleztek számunkra: ez a haszontalan működés miatti villamosenergia veszteségek konkrét költségként való megjelenítése volt. Ez a kutatásunknak mindenképpen egy gazdasági vetületét képezi.

Az ilyen pazarló tevékenységek, plusz költségek, veszteségek elkerülése viszont csak akkor működhet, ha az *energiatudatosságot* helyezzük a középpontba a gyártás során. Ennek a körülményeit felmértük és egy olyan kutatás-fejlesztési projektet hajtottunk végre, amelynek eredményeként a gépek mellett dolgozó operatív személyektől kezdve a menedzserekig (és végső soron a kutatókig) mindenkit energiatudatosabb működtetésre ösztönzünk. A kutatás elvégzéséhez a kibernetikai rendszert bővítettük és közel valós időben jelenítjük meg a dolgozók számára a saját vagy más dolgozók energiahatékonyságát.

Az energiatudatosságnak napjainkban kiemelkedően fontos szerepe van a működésben, ez is bizonyítja kutatásunk ezen részének létjogosultságát és fontosságát [122].

6.1. Erőforrásmenedzsment a felhőben

Az elmúlt években egyre népszerűbbek a felhőszolgáltatások vállalati szintű alkalmazása. A COVID-19 időszak alatt még jobban elterjedtek a különböző felhőszolgáltatások és az online alkalmazások használata nélkülözhetetlenné vált. A bútoripari vállalatnál (ahol a kutatást végezzük) is szükségessé váltak olyan megoldások alkalmazása, amelyek biztosítják az otthoni munkavégzés zavartalan működését. Ilyen megoldások például a népszerű irodai alkalmazások mellett, a termelés és erőforrásfelhasználás nyomon követésére, elemzésére megfelelő alkalmazások. Erre a célra a vállalat szakembereinek mi is adtunk egy javaslatot, hogy hogyan valósítanánk meg a nyomon követését és az adatok elemzését a felhőben [123].

Jelenleg a SCADA rendszerbe érkező adatok a rendszer fizikai tárhelyein és virtuális szerverein tárolódnak. Itt a célunk az, hogy ezeket az adattárolókat hozzá lehessen csatlakoztatni a felhőhöz és a jövőben ott tárolni őket, hogy bármikor és bárhol hozzá lehessen férni biztonságosan. Magát az egész SCADA rendszert nem lehet áthelyezni a felhőbe, mivel erre a VISION X10 szoftver jelenleg nem alkalmas. A SCADA rendszernek csak és a kizárólag az adattárhelyeit lehet teljes mértékben a felhőben is használni. Itt kellett tehát meghúzni azt a határvonalat, ami a helyi (úgynevezett „on-premise”) és a felhő között volt [124]. A vállalat a SCADA rendszerként a VISION X10 folyamatmenedzselő, épületfelügyeleti programot használja, ami már alkalmas a felhőben történő adattárolásra. A 84. ábra szemlélteti, hogy a

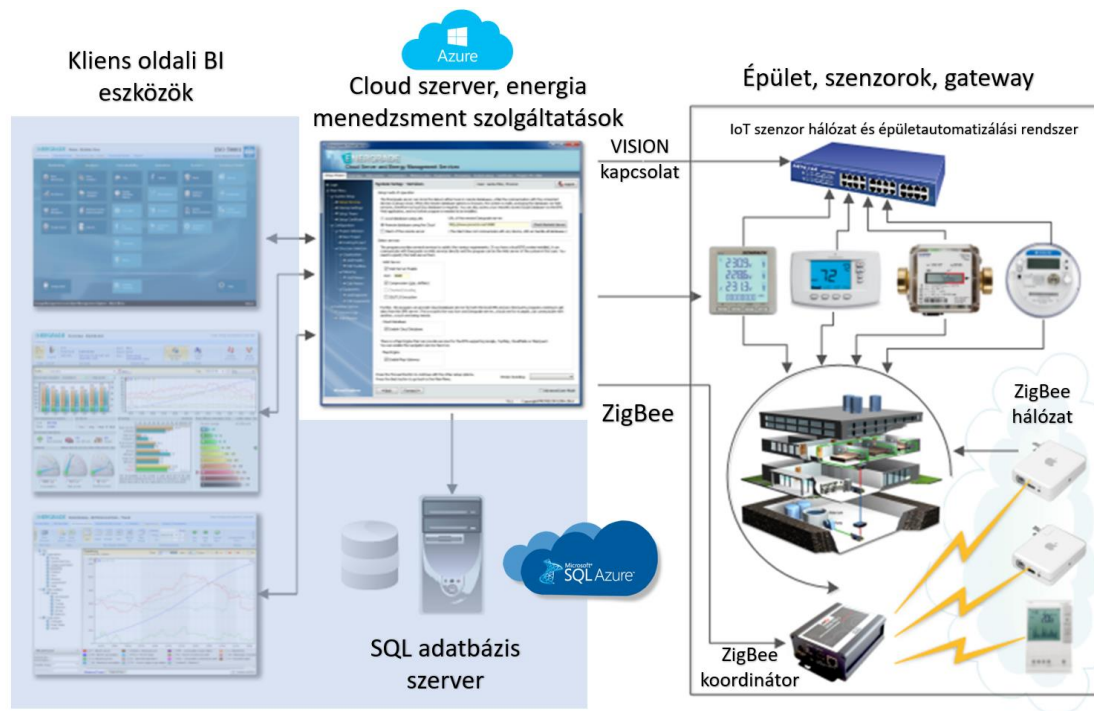
VISION X10 milyen sok fajta adatbázist képes kezelni. A VISION X10 hatféle adatbázis alaptípust foglal magába: (1) Natív (közvetlen) adatbázis kezelők (MS-SQL, Access, Oracle, MySQL, PostgreSQL, SAP); (2) OLE DB alapú adatbázis kezelők (MS SQL, MS Access, Oracle); (3) Vision saját adatbázis kezelői (XDB, XBD, DBF, Trend és adatgyűjtés); (4) Cloud adatbázisok és szolgáltatás platformok (BiCommerce, Magento, Azure); (5) BDE (Borland Database Engine) alapon kapcsolható adatbázisok (DB2, InterBase); (6) Big Data adatbázisok, részben a Vision saját Big Data-ja (XBD), részben a MongoDB [65].



84. ábra: Vision X10 által támogatott adatbázisok (forrás: [65])

A 42. ábra a jelenlegi adatbázis struktúrát ábrázolja, ami MS SQL szervertől található. A kutatás során arra jutottunk, hogy ez az adatbázisstruktúra ebben a formában működni fog a felhőben is a megfelelő felhős adatbázis megválasztása és használata mellett.

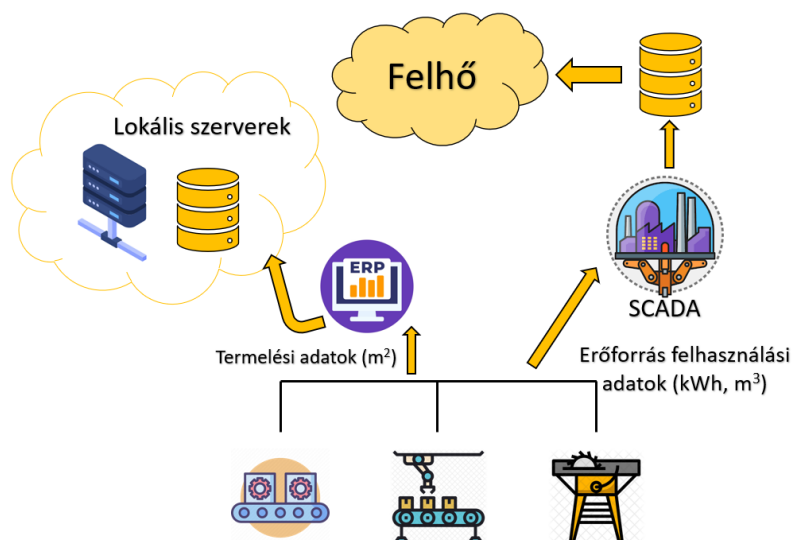
A 85. ábra a SCADA rendszer architektúráját szemlélteti, ami a hardver és szoftver komponenseket tartalmazza. A rendszerelemek közötti kommunikációt a nyilak mutatják. A szenzorok nagy és heterogén halmaza különböző kommunikációs protokollokon, például ZigBee-n keresztül küldheti az adatokat a VISION szerverének (de a jól bevált Modbus protokollal is tudja kezelni a rendszer) [125]. A VISION valós időben mutatja az aktuális szenzorértékeket a rendszer üzemeltetője számára. A háttérben ezek az értékek az adatbázisban tárolódnak. A VISION-ben van beépített adatelemző komponens is, de a meglévő kiberfizikai rendszerünkben erre egy speciális üzleti intelligencia alkalmazás áll rendelkezésünkre. A 85. ábra világoskékkel kiemelt rendszerkomponenseket (bal oldalon) szeretnénk a felhőben létrehozni. Így magát az adatbázist és az adatelemző szolgáltatást tudjuk áthelyezni a felhőbe a kiberfizikai rendszer elemei közül.



85. ábra: SCADA rendszer architektúrája (forrás: [65])

A vállalat elsősorban a Microsoft termékeit, szolgáltatásait használja és támogatja, ezért az MS Azure felhőszolgáltatást választottuk minden célunk eléréséhez és megvalósításához. További előny volt, hogy a VISION szoftver is kompatibilis az Azure-ral, így az Azure-ban lévő adatbázis használata nem okozott problémát. Emellett számos dokumentáció elérhető, ami még jobban megkönnyíti az Azure megismerését és használatát [126].

A SCADA rendszer mellett még fontos kiemelni a vállalat ERP rendszerét, mivel a termeléssel kapcsolatos adatok (melyik gép, mit, mikor és mennyit termelt), valamint a gépleállításokra vonatkozó információkat ebből lehet kinyerni és kezelni. Az ERP-rendszer nem a felhőbe fogadja és tárolja az adatokat, hanem a vállalatnál helyben elérhető szerverein, ezekhez a vállalat dolgozói is hozzáférnek [127]. Az ERP rendszer áthelyezését a felhőbe azért nem tartottuk reális célkitűzésnek, mivel a vállalat gazdasági adatait is ebben tárolja, így a bizalmatlanság (a termelési adatokon túl, a pénzügyi adatok érzékenysége miatt) a felhőszolgáltatásokkal szemben egy picit magasabb fokú a vállalatoknál, mint egy erőforrásfelügyeleti rendszer adatainál. Az így átalakított hibrid módon (felhőben és lokálisan) működő kiberfizikai rendszer architektúráját, felépítését a 86. ábra mutatja be.



86. ábra: Termelési adatok áramlása az ERP rendszerbe (forrás: saját szerkesztés)

A rendszer jelenlegi lehetőségeinek, az elvárásainknak és az aktuális céljainknak megfelelően leginkább egy hibrid megoldást javasolhatunk egy ilyen komplex ipari kibernetikai rendszernél [128]. A fejezet további részében két olyan megoldást is bemutatunk, amelyeknél az adatmegjelenítés, -elemzés és a felügyelet képes működni a felhőszolgáltatások támogatásával ipari környezetben.

6.2. Az energiafogyasztás pénzügyi oldala

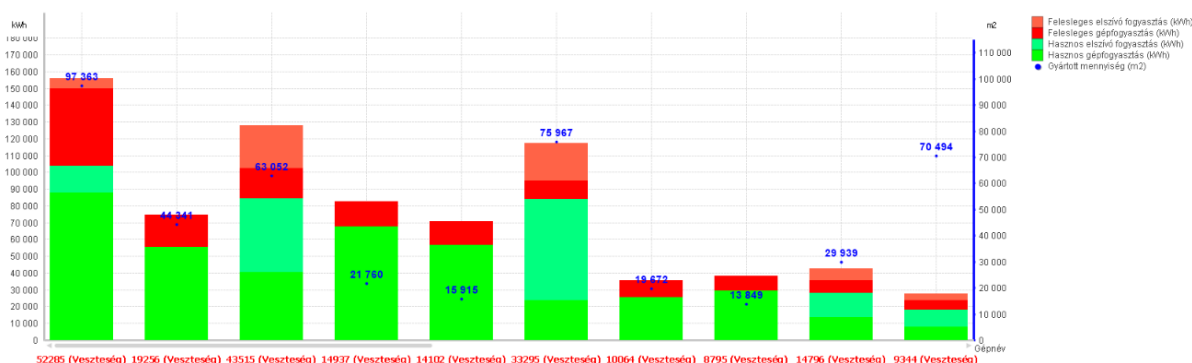
Létezik Magyarországon egy olyan Ipar 4.0 mintagyár, ahol a termelési veszteségeket egy bizonyos autómárka darabszámában mérték, mivel a vezetők azt vallották, hogy a dolgozók nem képesek felmérni azokat a pénzügyi veszteségeket, amelyeket tájékoztatásként megosztanak velük. Sőt, manapság egy nem feltétlenül hozzáértő személy (tehát nem villamosmérnök vagy szakember) nem tudja elhelyezni a világában, hogy adott esetben 10-100-1000 kWh veszteség mit is jelent a vállalat számára költségként. Emiatt látták jobbnak a mintavállalat vezetői az autós érték kifejezését. 2015 környékén egy olyan márkájú autó árát 2,5 millió forintban határozták meg, így, ha azt írták ki, hogy az adott évre vonatkozóan addig 4 autónyi a veszteségük, az 10 millió forintot jelentett. Ahhoz, hogy ugyanezt meg tudjuk tenni a bútorigipari vállalatnál, előbb ismernünk kell az energiafogyasztás „forintosított” (vagy „eurósított”) összegét. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy nekünk nem a termelés kapcsán képződő veszteségeket kellett felmérnünk, hanem az erőforrásgazdálkodás (főleg energia) során fellépő hiányokat. Ehhez a korábban vázolt kibernetikai keretrendszert tudtuk alkalmazni, viszont az üzleti intelligencia szoftver helyett egy saját fejlesztésű webes alkalmazással valósítottuk meg az adatmegjelenítést és ezt publikáltuk, telepítettük fel a felhőbe.

Mivel nekem gazdasági végzettségem van, ezért mindenképpen a céljaim között szerepelt megvizsgálni az erőforrásfelhasználás pénzügyi oldalát is. Kitűztem ezzel kapcsolatban egy

újabb célt, ami az volt, hogy megismerjem a vállalat villamosenergia fogyasztásából adódó pénzügyi veszteségeit. Így a cég dolgozói számára sokkal kézzelfoghatóbb információt lehet szolgáltatni, mintsem „csak” azt, hogy mennyi kWh használat volt haszontalan (nem termelő) az időszakok során (főleg a hónapok végén).

6.2.1. Az alkalmazás megvalósítása

Az alkalmazásnak az alapja a meglévő adatgyűjtő és -megjelenítő keretrendszer volt. Ismertek voltak a villamosenergia fogyasztásból adódó veszteségek éves / havi / napi / műszak / 10 perces intervallumban, de még csak kWh mértékben meghatározva a veszteségeket.



87. ábra: A gépekhez és az őket támogató berendezésekhez tartozó veszteséges, haszontalan működés (piros oszloprészek) kWh-ban kifejezve (forrás: saját szerkesztés)

Az üzleti intelligencia rendszerek képesek a múltbéli és a jelenlegi adatokból információt kinyerni. Az általuk használt modern technológiák is egyre pontosabb előrejelzéseket tesznek lehetővé. Így könnyebben hozhatók stratégiaileg pontosabb döntések. A 87. ábra például olyan adatok láthatók egy üzleti intelligencia rendszerben, amely több termelő gép (vízszintes tengely) adott hónapra vonatkozó hasznos (világoszöld) és haszontalan (piros) energiafogyasztásait mutatja. Mindezeket kibővítettük a támogató berendezés hasznos és haszontalan energiafogyasztásával, mivel a legtöbbször ezek is jelentős többletet jelentenek a fogyasztások felmérésénél. Így a villamosenergia fogyasztással összefüggő veszteségek döntő része könnyen azonosítható már. A veszteségek összesítése során és a hónap végi jelentések közzétevése után a vállalat dolgozói joggal mondhatják azt, hogy nehéz értelmezni, hogy mennyi is volt igazából a pénzügyi veszteség az azonosított pazarló működések miatt. Ez napjainkban, az extrém módon változó (növekedő) energiaárak miatt még fontosabb, hogy láttassuk a haszontalan működés következményeit.

A kutatási-fejlesztési feladat követelményleírás és specifikáció készítése során számba vettük, hogy milyen adatokat ismerünk eddig, mik voltak adottak ahhoz, hogy elinduljunk a megvalósítás felé:

1. Villamosenergia fogyasztási adatok termelő gépekre és támogató berendezésekre lebontva 10 perces mérési intervallumokkal.
2. Termelési adatok: milyen termékből, melyik termelő gép, mikor, mennyit (darabszám vagy négyzetméter) termelt.

3. Az előző két adatsor összekapcsolását már megvalósítottuk a gépazonosító és a (kerekített) időbélyegek által. Így kimutattuk, hogy adott mennyiség legyártásához mennyi villamosenergia fogyasztás tartozott.

A cél eléréséhez olyan peremfeltételeket térképeztünk fel, amely arra ösztönzött minket, hogy inkább egy egyedi webes alkalmazásfejlesztéssel valósítsuk meg ezt a célt, mintsem egy üzleti intelligencia rendszer segítségével. Ezek a peremfeltételek a következők voltak:

1. Bár az energiaárak az egyszerű lakossági fogyasztók számára is jól látható módon váltakoznak (nőnek) hónapról-hónapra (manapság már inkább napról-napra), nekünk ezt a kihívást kezelniük kell. A villamosenergia szolgáltató biztosít egy olyan nyilvánosan elérhető táblázatot, amelyben összesíti, hogy a hónapon és napon belül, az adott órában mennyi volt a villamosenergia ára, amelyért értékesítette (felszámolta) a cég számára a MWh (Megawattóra) mennyiség árát.
 - A kimutatásról azt érdemes tudni, hogy ez egy Excel táblázat, amelynek adott lapján, adott celláiban helyezkednek el a villamosenergia fogyasztás értékesítési árai Európában.
 - A mérési gyakoriság (intenzitás), tehát a villamosenergia fogyasztásnál 10 perces, míg az Excel táblázatban 60 perces az időköz. Itt tehát egy standardizálásra volt szükség.
 - Megjegyzések:
 - Mivel ez csak egy Excel táblázat, ha a későbbiekben megváltoztatja a villamosenergia szolgáltató a táblázat szerkezetét, akkor a mi alkalmazásunk könnyen elromolhat, így az utánkövetést folyamatosan felügyelni és ellenőrizni kell.
 - Kutatásainkhoz ez az összesítő táblázat egyfajta ellenőrzésként is szolgált, hiszen a gépeknél és berendezéseknél kihelyezett fogyasztásmérő szenzorok nem hatóság által hitelesített mérőeszközök, a villamos főmérő viszont az. Úgyhogy ennek a méréseit felhasználva, képesek vagyunk felmérni, hogy milyen szinten áll a vállalat főbb fogyasztóinak és azok fogyasztásainak az azonosításával [129].
2. Az előző felsorolásban említettük, hogy a fogyasztási árak euróban érkeztek a villamosenergia szolgáltatótól. Az energiaárak mellett pedig talán a EUR-HUF árfolyam, amely a legkevésbé tekinthető stabilnak és kiszámíthatónak napjainkban. Így az a lehetőség nem volt megfelelő, hogy próbáljunk meg „kitűzni” egy olyan átváltási árat, amely nagyjából fixnek tekinthető az adott időszakra vonatkozóan. Létezik viszont olyan webszolgáltatás, amely a Magyar Nemzeti Bank (MNB) hivatalos valuta- és devizaárfolyamait szolgáltatja, és az átváltási adatok egy dátum- és pénznemszűrés után publikusan elérhetőek.

A megvalósítása során az adatintegráció volt talán a legnehezebb feladat. Hiszen négy heterogén forrás adatait kellett egységesen kezelni (beolvasni, hozzáférni, feltölteni, eltárolni, kinyerni):

1. A termelési adatok, mivel egy fix vállalatirányítási rendszer (dobozos termék) alatt tárolódtak, ezért ennél fixen egy adatbáziskezelő szerverhez kellett kapcsolódnunk és a vállalatirányítási rendszer adattárolási struktúráját megismerve, kinyerni a számunkra releváns adatokat (mikor, miből, mennyit, mivel gyártottak).
2. Energiafogyasztási adatokat teljes mértékben mi felügyeltük, így az annál alkalmazott adatszerkezet és az adatok jellegzetességeit, tulajdonságait ismertük.
3. A villamosenergia szolgáltatótól érkező havi kimutatást (Excel fájlt) először értelmezni kellett, hogy azonosítsuk, melyik lapokra és cellákra van szükségünk a kalkulációkhoz. Ehhez a webalkalmazásban egy fájlfeltöltő és értelmező felületre volt szükség. Természetesen a különböző funkcionalitások eléréséhez más-más jogosultsági szintű felhasználó szükségeltetik (például a fájlfeltöltéshez csak egy arra jogosult felhasználó férhet hozzá, míg a későbbi eredményeket egy adatelemzési jogkörrel rendelkező felhasználó tudja böngészni). A fájlfeltöltés megkezdésekor ellenőrizni (validálni) kellett, hogy a feltölteni kívánt fájl szerkezete megfelel-e elvárásainknak, hogy ne kezdjen el az alkalmazás olyan fájlt feldolgozni, ami nem felel meg a követelményeknek (szerkezeteknek). Ha minden megfelelő volt, akkor következhetett az adatok beolvasása és eltárolása, amit havonta egyszer kell elvégezni.
4. A HUF-EUR árfolyamnál a webszolgáltatást használtunk adatforrásként, amely az MNB hivatalos napi középárfolyamait mutatja. (Nyilván ez nem a legpontosabb, hiszen attól függően nagyban eltérhetnek az árak, hogy a vállalat milyen kereskedelmi banknál vezet számlát és annál milyen árfolyamok vannak.)

Az alkalmazás kinézetét egy ingyenesen használható, reszponzív sablon biztosította, amely kiválóan alkalmas olyan alkalmazásokhoz, ahol az adminisztrációs felületen van a fő hangsúly. A kommunikációt a backend-frontend között egy saját API szolgáltatáson és végpontokon keresztül valósítottuk meg, így a felhasználók kéréseit a lehető leggyorsabban szolgáltuk ki a weboldal teljes újratöltődése nélkül. Az alkalmazást publikáltuk a Microsoft Azure felhőjébe, így bárhol elérhető. Az adatok titkossága miatt minden funkcionalitáshoz olyan jogosultságot rendeltünk, ami bejelentkezés és azonosítás nélkül nem elérhető.

6.2.2. A kész alkalmazás diagramjai és szűrői

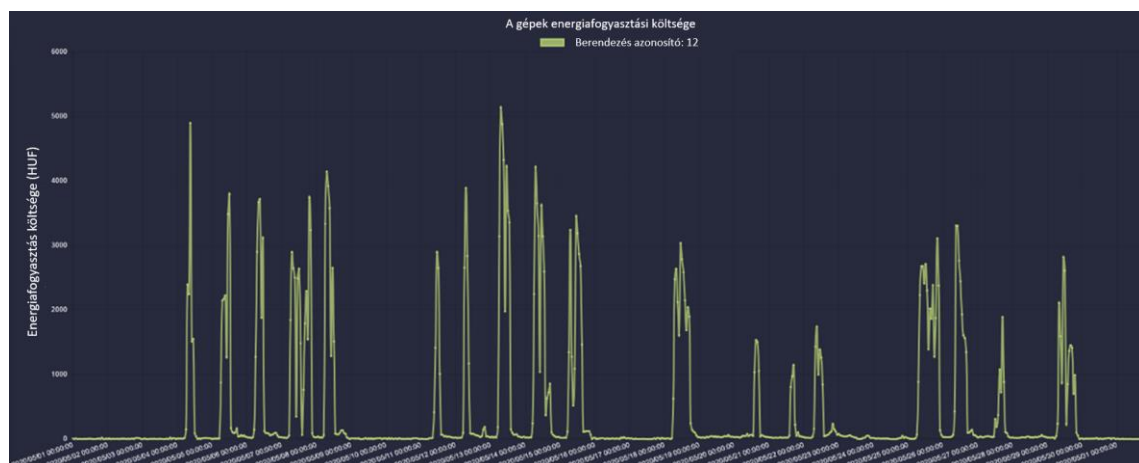
Az alkalmazás képes az összegyűjtött 10 perces villamosenergia fogyasztásokat összerendelni az EON áramszolgáltató által kapott egy órás árakkal. Mivel az árak Európában érkeznek, az alkalmazás felszorozza a Magyar Nemzeti Bank napi szintű devizaárfolyamával, és így megkapjuk, hogy egy-egy gép vagy berendezés konkrétan mennyi Forintot pazarolt el adott hónapban, napon vagy akár egy műszakban. Az alkalmazás által készített példa kalkulációkat a következő ábrák mutatják be. Mivel tesztüzemről van szó, ezért csak egy kiválasztott hónapnál (2020. május) tudjuk lekérni az adatokat. Az alkalmazás fejlesztése során úgy ítéltük

meg, hogy ennek az egy hónapnak az adatsora is elegendő, mivel kutatás szempontjából nekünk nem az a fontos, hogy mennyi volt éppen a villamosenergia ára, hanem az, hogy megismerjük az adatsor szerkezetét. Ezáltal tudtunk olyan alkalmazást fejleszteni hozzá, amely ki tudja nyerni belőle az értékeket. Amennyiben az Excel struktúra szerkezete nem változik, akkor az alkalmazásunk bármely adatsorát ki tudja nyerni a későbbiekben. Ha mégis változna az Excel szerkezete akkor a kinyerési eljárást hozzá kell igazítani.

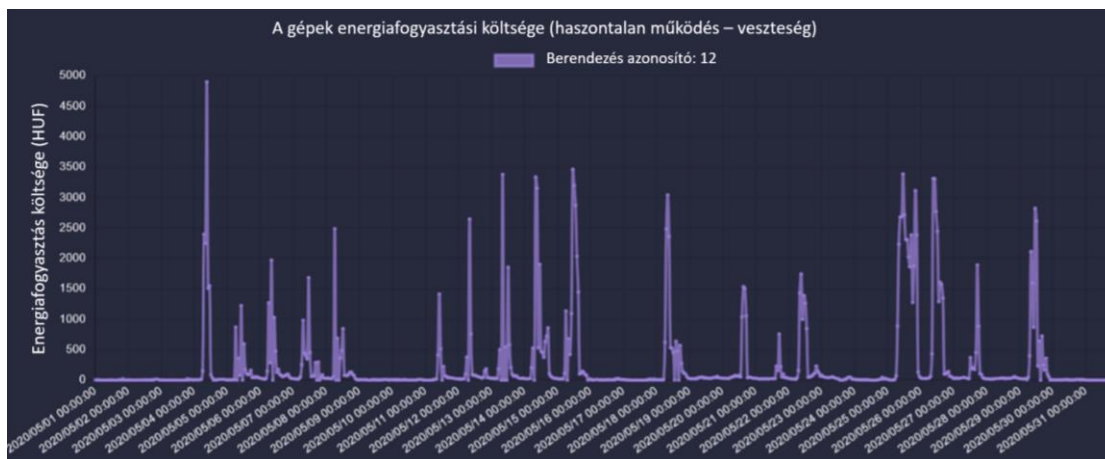


88. ábra: Energiafogyasztási költségek Forintban kimutatva adott hónapban napi bontásban (forrás: saját szerkesztés)

A 88. ábra a főmérő fogyasztása és a hozzá tartozó költségek láthatóak. A vízszintes tengely mutatja a hónap napjait, a függőleges tengely pedig a költségeket mutatja Forintban. A zöld vonal jelöli a villamos főmérőn mért összes energiafelhasználást.



89. ábra: Egy kiválasztott termelőgép működésének költségei adott hónapban órás bontásban (forrás: saját szerkesztés)



90. ábra: Egy adott berendezés energiafelhasználásának költsége (veszteséges működésnél) (forrás: saját szerkesztés)

A 89. ábra egy termelőgép és az őt támogató berendezés veszteséges működésének költségei láthatóak. Észrevehető, hogy ebben az időszakban viszonylag veszteségesen működött (90. ábra) az összes költséghez képest.

Gazdaságilag, pénzügyileg is megvizsgáltuk az adatokat, így még könnyebben értelmezhetőek a vállalat menedzsmentje, és akár a többi dolgozója számára is a nem hatékony működés következményei, költségei.

6.3. Energiatudatos munkavégzés az üzemekben

A veszteséges működés költségeit kiszámító célkitűzés megvalósítása mellett belekezdünk egy másik feladatba is, amit szintén egy webalkalmazással oldottunk meg. Ez az alkalmazás egy olyan kulcsfontosságú mutatószámot ellenőriz, felügyel és jelenít meg, amely elsősorban a gyártósor mellett dolgozókat képes tájékoztatni az aktuális teljesítményükről és jelez nekik, ha valami nem megfelelő, esetleg beavatkozás szükséges a részükről. Az általunk kiválasztott kulcsfontosságú mérték az egy m² bútorlap legyártásához szükséges kWh mennyisége, mivel ez az arányszám jellemzi legjobban a termelés hatékonyságát, illetve ehhez vannak mért adataink. Ehhez az arányszámhoz minden termelő gépnél meg kell határozni olyan küszöbértéket, amely alatt a teljesítmény veszteségesnek tekinthető és beavatkozás szükséges vagy elvárt.

Amikor megfogalmaztuk az energiatudatossággal kapcsolatos fő követelményeket, az volt az elsődleges cél, hogy a gyártósori dolgozók jobban figyeljenek oda a munkájukra úgy, hogy kevesebb veszteséges működést produkáljanak, fejlődjenek energiahatékonysági szempontból. A részrendszerrel gyakorlatilag energiatudatosabb munkavégzésre ösztönözzük a dolgozókat [131].

Ez azért is fontos, mert a vállalatnak meg kell felelnie az ISO 50001-es szabványnak. Az ISO 50001 egy nemzetközi energiagazdálkodási rendszerszabvány, amely bármilyen méretű szervezet számára eszközt biztosít az energiateljesítmény szisztematikus optimalizálásához és a hatékonyabb energiagazdálkodás előmozdításához. A szabványt először 2011-ben adták ki

és a legújabb kiadása 2018 augusztusában jelent meg. A szabvány célja, hogy a vállalatok számára lehetővé tegye az energiateljesítmény folyamatos fejlődését, és csökkentse az energiafelhasználás mértékét és költségeit [129][130].

Az alkalmazás lehetőséget biztosít arra, hogy közel valós időben látszódjanak az operátor gépeknél a kiválasztott hatékonysági mutatószám értékei (kWh/m²). A rendszer folyamatosan mutassa a mutatószám alakulását az operátor gépénél és még jelezzon is neki, ha nem teljesít megfelelően (például: le kellene kapcsolnia a gépet, mert nem termel rajta).

A részrendszerrel szemben támasztott *funkcionális* követelmények a következők voltak:

- A webes alkalmazás egy adatmegjelenítő felületet biztosít a gyárban dolgozók számára.
- A felhasználók köre (dolgozói csoportok, akiket energiatudatosabb működésre készítetünk) több részre oszlik:
 - A termelésben dolgozó operátor közel valós időben tudja látni a saját gépének teljesítményét, és kap visszaigazolást munkája hatékonyságáról;
 - A termelést menedzselő személyek is képesek nyomon követni a mutatószám alakulását bármelyik termelő gép kapcsán;
 - A gyár közösségi tereiben is el tudunk helyezni olyan kijelzőket (nagy tv vagy monitor), amely a látogatók számára mutatja, hogy milyen hatékonysággal dolgoznak például a legnagyobb igénybevétellel működő gépeknél.
- Ha huzamosabb ideig pazarlóan működik az adott termelő gép, akkor módosuljon a webalkalmazás kinézete és figyelmeztesse erre a felhasználóját, hogy a pazarló működést szüntesse be.

Technológiai oldalról is számos követelménynek kellett megfelelni:

- Szoftveresen „bolondbiztosnak” (poka-yoke) kellett elkészíteni az alkalmazást, hogy az operátorok ne tudjanak véletlenül vagy szándékosan beleavatkozni a működésébe, ne tudják esetleg sabotálni a monitorozást [132]. Az alkalmazás indulásakor egy bejelentkezési felület segítségével lehet azonosítani, hogy melyik termelő gép teljesítményét szeretnék nyomon követni.
- Mivel ez egy „önkiszolgáló” üzleti intelligencia (adatmegjelenítő) eszköz, ezért a másik fontos elvárás volt vele szemben, hogy különböző adatforrásokhoz közel valós időben tudjon csatlakozni és tőlük adatot lekérni. Ehhez az adatok két heterogén forrásból érkeznek:
 - 1) A cég vállalatirányítási rendszerének alapját képező adatbázisból.
 - 2) Az általunk és a cég kulcsfelhasználói által kialakított keretrendszer adatrétegéből, amely a gyár által használt erőforrások felhasználásait gyűjti és tárolja el az adatbázisban (villamosenergia, víz, termelt sűrített levegő, elszívott levegő, de itt most ezek közül a villamosenergia fogyasztásokra koncentrálnak).

- Az imént felsorolt adatbázisok elérését biztosítani kell a webes alkalmazás számára, olvasási jogosultsággal férünk ezekhez hozzá, hogy véletlenül se lehessen ebből adatvesztés vagy szándékos (adat)károkozásra lehetőség.
- Emellett mindig fókuszálnunk kell arra, hogy olyan rendszereket használjunk, amivel rendelkezik a vállalat, vagy pedig, ha nincs nekik valamilyen szoftver, akkor ingyenes megoldással helyettesítsük. Így teljesen megspóroljuk a beruházási költségeket.

6.3.1. Az alkalmazás megvalósítása

Az alkalmazás megvalósításának részleteibe nem megyünk bele, csak a működését szemléltetjük.

91. ábra: Bejelentkezési felület (forrás: saját szerkesztés)

Itt látható a bejelentkezési felület (91. ábra). Az alkalmazás futtatása egy szerveren történik, amelyhez belső hálózaton keresztül a vállalaton belül bármelyik gép hozzá tud férni. A későbbiekben azonban érdemes lehet ezt az alkalmazást is a felhőben futtatni, ugyanúgy, ahogy a 6.2. alfejezetben bemutatott villamosenergia fogyasztási költségeit reprezentáló alkalmazás esetében megtettük. Itt most egy azonosítás szükséges ahhoz, hogy melyik termelő gép hatékonyságáról szeretnénk közel valós idejű képet kapni.

A gépneveket és a hozzájuk tartozó jelszavakat csak az arra jogosult személyek ismerik. Fontosnak tartottuk, hogy ne egy új jogosultsági rendszert alakítsunk ki, amit újra csak meg kell jegyezni, fel kell „írni” egy jelszavakat tartalmazó fájlba. Emiatt itt olyan neveket és jelszavakat kell használni, amelyek a két érintett adatbázisból (fogyasztások és termelések) lekérdezhetőek, tehát a vállalati kulcsszereplők ismerik, ellenben a gépnél dolgozó operátorok nem ismerik őket.

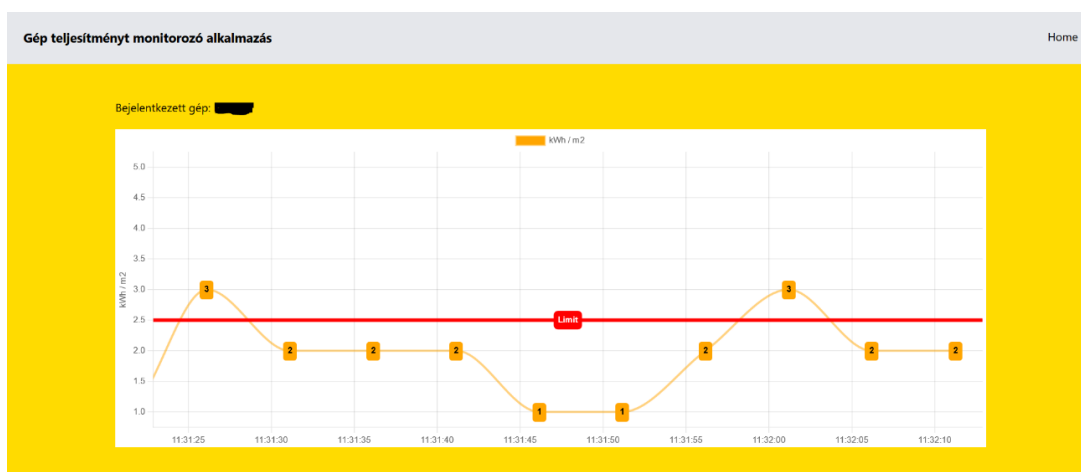
A kezdőoldal kinézete abszolút egyszerű és letisztult, mivel itt nem a minél szebb felhasználói felület volt a lényeg, hiszen egy operátornak majd a lényegét kell látnia, nem szabad, hogy elterelje a figyelmüket bármiféle design elem. A szürkeség sem véletlen, hiszen ez egy közömbös szín, viszont a későbbiekben a színeket többletjelentéssel ruházzuk fel, így azok fontosak lesznek a használat során.

Közel valós időben működik az alkalmazás, ami azt jelenti, hogy a bejelentkezés után egy termelő géphez 10 percenként érkezik valós teljesítmény mutatószám, itt azonban most a szemléltetés kedvéért felgyorsítottuk ezt a folyamatot és néhány másodpercenként generálunk példaadatot, hogy látható legyen az alkalmazás működés közben. Elindítottunk egy példafuttatást, példaadatokkal, amelyek képesek szemléltetni hatékony és veszteséges működést is. A 92. ábrán a hatékony működés látható:



92. ábra: Hatékony (értékhatar feletti az érték) működés (forrás: saját szerkesztés)

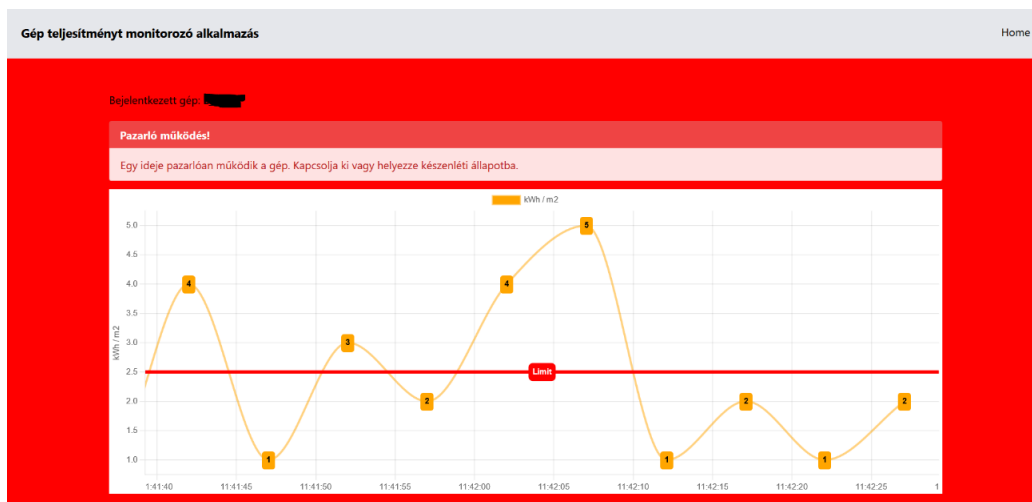
A termelő gép nevét eltakartuk. A hatékonysági arányszámokra 1-5 közötti véletlenszerű (random) értékeket generálunk 5 másodpercenként. A limitet a példában 2.5-re állítottuk be. Látható, hogy a hatékonysági arányszám volt a limit alatt is, de ha a legutóbbi mért értékek megfelelőek, az kWh/m² arányszám elfogadható, akkor nincsen különösebb dolga a gépet üzemeltető operátornak. A 93. ábrán már egy pazarlóbb működést látunk (átállítottuk a véletlen szám generálást 1-3 közé):



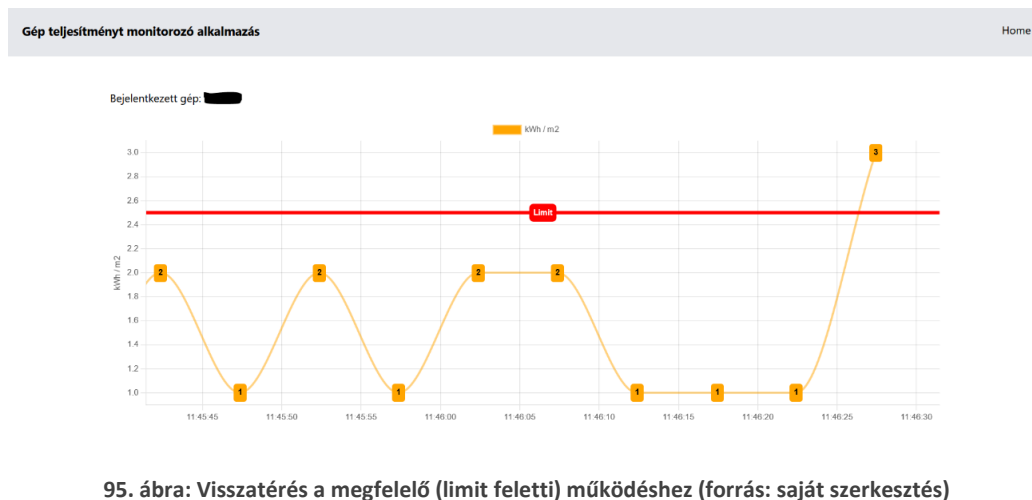
93. ábra: Legutóbbi arányszám pazarló (limit alatti) működést mutat (forrás: saját szerkesztés)

Az operátor itt már az alkalmazás háttérképéből láthatja, hogy pazarlóan működteti a termelő gépét, szükséges lehet a beavatkozás.

A 94. ábra pedig azt mutatja, hogy a legutóbbi mért értékek a limit alatt voltak, így mindenképpen be kell avatkozni a működésbe. A beavatkozás lehet a gép készenléti állapotba helyezése vagy leállítása, esetleg a termelés megkezdése, ha lehetséges. Itt a piros háttérszín mellett egy üzenetet is kap az operátor, ami figyelmezteti a pazarló működésre. Definiáltunk egy küszöbértéket (konkrétan a hármat), ami azt jelenti, hogy 3 darab limit alatti mért értékekből adódó mutatószámot „elfogad még”, tehát csak sárga lesz a háttérszín, de ha utána is limit alatti érték érkezik, akkor már pirosra vált és megjelenik a figyelmeztető üzenet is.



94. ábra: Huzamosabb ideig történő pazarló működés jelzése (forrás: saját szerkesztés)



95. ábra: Visszatérés a megfelelő (limit feletti) működéshez (forrás: saját szerkesztés)

Ha a gép pazarló működése visszatér az elfogadható, limit feletti szintre, akkor automatikusan visszaállunk az alapállapotra és már nem kap figyelmeztetést az operátor (95. ábra).

Ahogy a fejezet elején írtuk, a vállalattal közös célunk az volt, hogy megpróbáljuk energiatudatosabb munkavégzésre bírni az operátorokat is, így elérve a hatékony, kevesebb energia veszteséggel járó működést. Ezen felül a további felhasználói csoportok (menedzserek) is profitálnak a fejlesztésből. Nem utolsó sorban pedig a cég egy korábbi elvárásnak is meg tud így már felelni az ISO 50001-es auditálás során [130].

6.4. A fejezet összefoglalása

Ebben a fejezetben kutatásunk legújabb irányvonalai, a felhő szolgáltatások ipari használata és az energiatudatos munkavégzésre való ösztönzési lehetőségek kerültek a középpontba. A felhőszolgáltatások használatával kapcsolatban kettő célkitűzést is elértünk. Az egyik eredményünk az erőforrásmenedzsmenttel kapcsolatos, mivel találtunk megoldást arra, hogy a kiberfizikai rendszernek egy részét, az adatbázist és az adatelemző szolgáltatást áthelyezzük a felhőbe, és a továbbiakban is ott működtessük. A célunk eléréséhez megvizsgáltunk több felhőszolgáltatást, és a Microsoft Azure-t találtuk a legalkalmasabbnak a feladatok megvalósítására., mivel a vállalat minden tekintetben támogatja a Microsoft termékeit és szolgáltatásait. A másik fő ok, amiért az Azure-t választottuk, hogy tökéletesen tud együttműködni a vállalat épületfelügyeleti és folyamatmenedzselési rendszer szoftverével, a Vision X10-zel. A vállalat egyéb adatgyűjtő és tároló (pl. ERP) rendszerét tekintve az a döntés született, hogy adatvédelmi okokból inkább a lokális szervereket részesítik előnyben. Így figyelembe véve a vállalat minden igényét (adatainak érzékenységet is) és a meglévő kiberfizikai rendszer lehetőségeit, egy hibrid megoldást javasoltunk.

Miután sikerült megvalósítani a felhőbeli adattárolást és adatelemző rendszert, újabb célkitűzéseket fogalmaztunk meg. Az egyik célunk az volt, hogy készítsünk egy webes alkalmazást, amivel pénzügyi oldalról is meg tudjuk vizsgálni az üzemekben keletkező energiafogyasztási veszteségeket. Veszteség alatt itt azt értjük, hogy a termelő gépek és az elszívók működésben voltak, de éppen nem zajlott megmunkálási, termelési folyamat. Az elkészült alkalmazást sikerült szintén az Azure felhőjébe publikálni, telepíteni, így bárholnan elérhető a megfelelő jogosultságok ellenében. Az alkalmazás képes az EON áramszolgáltató által kapott negyedórás energiaárakat összerendelni az összegyűjtött 10 perces villamosenergia fogyasztásokkal, majd utána azokat a napi EUR-HUF árfolyamok mentén átváltani. Így megkapjuk, hogy egy-egy gép vagy berendezés konkrétan mekkora összeget pazarolt el adott hónapban, napon vagy akár egy műszakban. Az alkalmazásnak köszönhetően számunkra és a vállalat menedzsmentje, alkalmazottai számára is még könnyebben értelmezhetőek a nem hatékony működés költségei.

A költség kiszámító alkalmazás mellett egy másik webes alkalmazás fejlesztésén is dolgoztunk, ami szintén kapcsolatba hozható a tudatosabb munkavégzéssel. Itt most nem az anyagi vonzat került fókuszba, hanem a termelő gépek hatékonyságának (közel) valós idejű nyomon követése. Ez úgy tud megvalósulni, hogy az alkalmazás olyan KPI-t (kWh/m²- egy kWh energiafelhasználással hány m² bútorlap gyártható le) vizsgál és jelenít meg az üzemekben, a gépek mellett a dolgozók számára, amely tájékoztatja őket a gyártósor aktuális teljesítményéről. Szükség esetén jelez is a rendszer, ha beavatkozás szükséges tartósabb veszteséges működés után. Az alkalmazásnak köszönhetően az üzemi dolgozók jobban oda tudnak figyelni a munkájukra, és ezáltal energiatudatosabbakká is válhatnak.

7. Összefoglalás

Kutatómunkámat 2018 óta végzem egy multinacionális bútoringipari vállalatnál, amely igyekszik minél inkább megfelelni az Ipar 4.0 kritériumainak. Emiatt is tartottam fontosnak, hogy a disszertációm elején áttekintsem a 4. ipari forradalomig vezető utat, az úgynevezett Ipar 4.0 sajátosságait és főbb technológiáit. Részletesebben kitértem az Internet of Things, Big Data és Cloud Computing témakörére és alkalmazási lehetőségeire ipari szinten és területeken. Röviden felvázoltam a legújabb ipari trendet, az Ipar 5.0-t, és ismertettem a közte és az Ipar 4.0 közötti főbb különbségeket. Bemutattam azokat az ipari rendszereket, amelyeket a kutatásom során használtunk az adatok gyűjtésére, feldolgozására, megjelenítésére és elemzésére. Ezek a rendszerek a következők: (1) kiberfizikai rendszer, ami a digitális rendszerek új generációja. Technológiája nagyon szorosan kapcsolódik a szenzorhálózatokhoz és a robotikához, amik a számítási intelligencia szerint működnek. (2) SCADA rendszer: épületfelügyeleti vagy folyamatmenedzselő rendszer, ami lehetővé teszi az ipari folyamatok felügyeletét helyben vagy távolról. (3) Vállalatirányítási rendszer, amely egyetlen rendszerbe integrálja a vállalat működtetéséhez szükséges összes termelési és pénzügyi folyamatot. (4) Üzleti intelligencia szoftverek, amelyek az adatok megjelenítése, elemzése és az üzleti információk kezelése által segítenek megalapozott üzleti döntések meghozatalában. Ezen rendszereknek és technológiáknak köszönhetően egy termelő vállalat sokkal mélyebben és részleteiben nyomon tudja követni és felügyelete alatt tudja tartani a termelés minden fázisát.

Tanulmányoztam a kutatási témámhoz kapcsolódó tudományos- és szakirodalmat, és számos olyan munkát találtam, ahol szintén termelő vállalatnál építettek ki kiberfizikai rendszert, aminek a segítségével valósították meg az adatgyűjtést. Találkoztam több SCADA rendszert alkalmazó tanulmánnyal is, de mindegyik más-más ipari szektorhoz kapcsolódott. Szakirodalmi kutatásom során olyan átfogó tanulmányt nem találtam, ami egy faipari vagy bútoringipari vállalatnál alkalmazza a kiberfizikai, vagy SCADA rendszereket. Kutattam abban a témában is, ami az energia vagy más erőforrások fogyasztásával kapcsolatos, de ebben a témakörben sem találtam olyan tanulmányt, ami a faiparban zajló termeléssel kapcsolatba hozható villamosenergia és egyéb erőforrás felhasználását vizsgálja egyidejűleg.

A vállalatnál, ahol a kutatómunkám zajlott, már korábban kiépítésre került egy kiberfizikai rendszer, ami megalapozta azt, hogy az Ipar 4.0 kritériumainak minél inkább megfeleljen a vállalat a működését tekintve. A kiberfizikai rendszer segítségével nyomon követhető volt a vállalat termelő gépeinek villamosenergia fogyasztása és a legyártott termékek darabszáma. A rendszerben az energiafogyasztási és a termelési adatok összevethetőek, ezáltal a vállalatnál dolgozó szakemberek nyomon tudják követni a termelő gépek hatékony működését. Ez segíti őket a hatékonyabb stratégiai döntések meghozatalában.

Miután azonosítottam azt a tudományterületi részt, amelyet kutatómunkámmal meg kívántam szüntetni, következhetett a céljaim megvalósítása. A kutatásom első célkitűzései között szerepelt a meglévő kiberfizikai rendszernek a kibővítése, fejlesztése hardveresen és

szoftveresen is. Erre azért volt szükség, mert már nem csak a termelő gépek és egyéb berendezések villamosenergia fogyasztását szerettem volna mérni, hanem minden más termelést támogató berendezésnek (elszívóknak és kompresszoroknak) is az egyéb, termeléshez kapcsolódó adatait. Azért is tartottam fontosnak az elszívók és kompresszorok vizsgálatát, mert ez a kettő berendezéstípus a vállalat legnagyobb villamosenergia fogyasztói közé tartozik (a termelő gépek mellett). Hardveresen ez úgy valósult meg, hogy az elszívókhoz és a kompresszorokhoz is fel lettek szerelve különböző típusú szenzorok, amelyeknek egy része a gépek villamosenergia fogyasztását mérte, további szenzorok pedig a légköbméter elszívási és kibocsátási mennyiségeket mérték. A gépek paramétereinek vizsgálatával a célom az volt, hogy az összegyűjtött adatokból a gépek hatékony és megfelelő működésére fókuszálva különböző elemzéseket készítek. A szoftveres fejlesztés legnagyobb kihívása az adatbázis szerkezetének átalakítása volt. Kezdetben az adatbázis úgy lett kialakítva, hogy csak a villamosenergia fogyasztási adatokat tárolja historikusan. Mivel szerettem volna a meglévő adatbázisban eltárolni az elszívók, kompresszorok paramétereikhez tartozó adatokat, valamint a vízfogyasztási adatokat is, ezért volt szükség a meglévő struktúra átalakítására. Az adatbázis fejlesztése közben törekedtem arra, hogy átláthatóak legyenek a különböző berendezésekből érkező adatok táblái és a mérési eredmények is. A jelenleg meglévő adatbázist a jövőben is lehet alkalmazni, akár más projektnél vagy más vállalatnál is, és szükség szerint tovább is lehet bővíteni újabb berendezésekkel, szenzor paraméterekkel.

Az új szenzorok felhelyezése, hálózatba kapcsolása és az adatbázis szerkezetének átalakítása után megkezdődhetett az adatoknak a gyűjtése és elemzése. A gyűjtött (és folyamatosan érkező) adatok alapján először a vállalat vízfelhasználását kezdtem el mélységeiben vizsgálni. A vállalathoz beérkező vizet több fő csoportba soroltam. Az első csoport az úgynevezett szociális víz, amin belül elkülönítettem a szennyvizet és az úgynevezett háztartási vízfogyasztást. A másik csoport a termelés közben felhasznált víz, amit párasítás formájában használnak fel, ez része a szociális víznek. A harmadik csoportba tartozik a tűzoltói víz, aminek felhasználására tűzoltói gyakorlatok alatt kerül sor. A vízfogyasztással kapcsolatban már voltak adatok a rendszerben, de a fejlesztés előtt csak napi 1 darab vízfogyasztási adat került be az adatbázisba, ez a problémák megtalálására és a konkrét hibára vagy esemény azonosítására kevésbé volt alkalmas. A kutatási időszak alatt tovább tudtam fejleszteni úgy a szenzoros adatmérő rendszert, mind hardver, mint szoftver szinten, hogy napi 144 darab adat (24*6) áramlik be az adatbázisba a különböző vízfogyasztásokról. Tehát a korábbi napi adatokhoz képest 10 percekre lebontva lehet nyomon követni a vízfogyasztási adatokat. A gyűjtött adatokból készült elemzések által részletes kimutatásokat lehet készíteni, amelyekből megállapíthatóak az esetleges problémák, például csőtörés, egyéb vízszivárgás a vállalat területén.

A kutatásomban a legfőbb hangsúlyt az üzemekben működő kompresszorok és elszívók kapták. A kompresszorok a sűrített levegő generálásával és kibocsátásával támogatják a termelő gépek működését a termelés bizonyos szakaszaiban. A kompresszorokkal

kapcsolatban több célt tűztem ki, amiket sikeresen teljesítettem. Az egyik cél a rendszer bővítése volt hardveresen és szoftveresen is, ami azt jelentette, hogy a kompresszorokhoz ki lettek helyezve szenzorok, amelyek mérik az egyes kompresszorok kibocsátott sűrített levegő mennyiségét is a villamosenergia fogyasztásuk mellett. A SCADA rendszer segítségével eltárolt adatok alapján az üzleti intelligencia rendszerben is nyomon követtem a fogyasztási értékeket, ezért itt is módosításokat végeztem, hogy megjelenjenek a kompresszorokhoz tartozó termelési adatok mellett a hatékonysági (hasznos/haszontalan) mértékek is. A másik cél az volt, hogy létrehozzak egy új KPI-t, amely a kompresszorok által termelt léghőmennyiségét veti össze a villamosenergia fogyasztásukkal. Így számomra kiderül, hogy egy m^3 levegőmennyiség generálásához mennyi kWh villamosenergiát használ fel egy adott kompresszor. Ez a mutatószám azért fontos, mert ezáltal meg lehet határozni akár minden egyes kompresszorra nézve olyan ideális teljesítmény értékeket, amiket a normális, hatékony és hibamentes működés közben tartania kell.

A kompresszorokkal párhuzamosan vizsgáltam az elszívó berendezéseket. Az elszívókkal kapcsolatban az volt a fő célom, hogy az általuk fogyasztott villamosenergiát rá tudjam terhelni az általuk támogatott termelő gépekre. Ahhoz, hogy teljesüljön ez a cél, szintén szenzorok telepítésére volt szükség. Az elszívók zsaluhoz (szelepeihez) lettek felszerelve az új szenzorok, amelyek mérték a zsalu állapotát (nyitva vagy zárva). A kiberfizikai rendszerben is fejlesztéseket végeztem, hogy összegyűjtsem az újonnan mért értékeket. Ezután a SCADA rendszerben összekapcsoltam az elszívókat a támogatott termelő gépekkel különböző kalkulációk segítségével, és ezáltal vált lehetővé az, hogy az elszívók energiafogyasztása rá legyen terhelve az adott termelő gépekre. Ezzel meg tudom állapítani azt, hogy egy adott elszívó működése mennyire volt hatékony a termelés közben, mivel, ha a termelő gép haszontalanul működött, akkor az őt támogató elszívó működése is haszontalan volt.

A COVID-19 okozta változások hatására elindult a kutatásnak egy újabb iránya, ami a felhőszolgáltatások ipari alkalmazására terjedt ki a kiberfizikai rendszerek területén. Az otthoni munkavégzés megkönnyítése érdekében a SCADA rendszerhez tartó adattárolókat és az adatelemző szoftvert áthelyeztem a felhőbe. Ehhez a MS Azure publikus felhőszolgáltatást vettem igénybe, mivel a vállalat előszeretettel használja a Microsoft termékeit, illetve ami ennél is fontosabb szempont volt, az az, hogy a VISION X10 folyamatmenedzselő rendszer is kompatibilis szoftver az Azure felhőszolgáltatással. A SCADA rendszer elemei mellett gondolni kellett a vállalatirányítási rendszerre is, mivel a legyártott és megmunkált munkadarabokból származó adatok itt tárolódnak, és az elemzések szempontjából elengedhetetlen az ERP rendszer használata. Az ERP rendszer áthelyezését a felhőbe nem tartottam reális célkitűzésnek, mivel a termelési adatokon túl, a pénzügyi adatok is itt tárolódnak, emiatt a vállalat szakemberei nem engedélyezik, hogy ezek az adatok kikerüljenek a tényleges, fizikai felügyeletük alól. Így összességében egy hibrid módon (felhőben és lokálisan) működő kiberfizikai rendszert alkottam meg.

Már a kutatás elején célom volt gazdasági oldalról is megvizsgálni az erőforrásfelhasználásból származó költségeket, főleg a haszontalan működésből adódó veszteségeket. A pénzügyi adatok érzékeny adatnak számítanak, így egy példa adatsort használtam egy korábbi évből és azt vettem össze az energiafelhasználási és termelési adatokkal. Veszteség alatt itt azt értem, hogy a termelő gépek és az elszívók működésben voltak, de éppen nem zajlott megmunkálási, termelési folyamat. Az elkészült alkalmazást sikerült szintén az Azure felhőjébe telepíteni, így bárholnan elérhető a megfelelő jogosultságok ellenében. Az alkalmazás úgy lett elkészítve, hogy képes az EON áramszolgáltató által kapott negyedórás energiaárakat összerendelni az összegyűjtött 10 perces villamosenergia fogyasztásokkal, majd utána azokat a napi EUR-HUF árfolyamok mentén átváltani. Így megkapom, hogy egy-egy gép vagy berendezés konkrétan mekkora összeget pazarolt el adott hónapban, napon vagy akár egy műszakban. Az alkalmazásnak köszönhetően könnyebben értelmezhetőek a nem hatékony működés költségei.

A másik célkitűzésem megvalósítása szintén egy alkalmazásfejlesztéssel járt. A webes alkalmazás specifikációinak meghatározása közben nem az anyagi vonzat került fókuszba, hanem a termelő gépek hatékonyságának közel valós idejű nyomon követése. Ezzel az alkalmazással az volt az elsődleges célom, hogy a gyártósori dolgozók jobban figyeljenek oda a munkájukra úgy, hogy kevesebb veszteséges működést produkáljanak, fejlődjenek energiahatékonysági szempontból. A részrendszerrel gyakorlatilag energiatudatosabb munkavégzésre lehet ösztönözni az üzemben dolgozó alkalmazottakat. Emellett szem előtt tartottam azt is, hogy az alkalmazásnak mindenképpen meg kell felelnie az ISO 50001-es ipari szabványnak, ami a valós idejű eredmény- és teljesítménykövetést határozza meg. Az alkalmazást úgy valósítottam meg, hogy egy olyan KPI-t (kWh/m^2 egy kWh energiafelhasználással hány m^2 bútorlap gyártható le) kell vizsgálnia és megjelenítenie az üzemekben, a gépek mellett a dolgozók számára, amely tájékoztatja őket a gyártósor aktuális teljesítményéről. Szükség esetén jelez is a rendszer, ha beavatkozás szükséges tartósabb veszteséges működés után. A fejlesztésnek köszönhetően az üzemi dolgozók jobban oda tudnak figyelni a munkájukra, és ezáltal energiatudatosabb munkavállalókká is válhatnak.

8. Kutatási és tudományos eredményeim

Az „1.2. A kutatásom során kitűzött célok és elvárt eredmények” alfejezetben azonosítottam azt a tudományos területet és annak részterületét, amelyre a kutatásomban koncentráltam. Azonosítottam azokat réseket, amelyeket a munkámmal, kutatási eredményeimmel megszüntettem.

A bútóripari termelésben felhasznált gyártási erőforrások felügyeletét és optimális felhasználását vizsgáltam a kutatómunkám során.

A disszertációm és az elvégzett kutatómunkám során új tudományos eredménynek tekintem a következőket:

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

Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F2]

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

Magyar nyelvű tudományos szócikkek: [Sz2]

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

Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F2]

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

Magyar nyelvű tudományos szócikkek: [Sz2]

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

Kapcsolódó publikációk:

Idegen nyelvű folyóiratcikk: [F1]

Idegen nyelvű konferenciacikkek (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények):

[K2]

Magyar nyelvű tudományos szakcikkek: [Sz1]

Az alábbiakban bővebben kifejtem a legfontosabb kutatási eredményeimet, amelyek a téziseimhez kapcsolódnak:

1. Új mérőszenzorokkal a gyártási erőforrások felhasználását mérem és gyűjtöm az adatokat. Így egy bútoripari vállalat gyártási erőforrásainak felügyeletére szabott adatbázisszerkezetet hoztam létre.
2. Vízfogyasztás: az üzemekben lévő vízfelhasználások (pára, szociális víz, tűzoltói vízfogyasztás, szennyvíz) mérése folyamatos. Az adatok nyomon követése során a korábbi rendszerhez képest (napi 1 adat) vízfelhasználási fajtánként most már napi 144 adatot gyűjtök, így sokkal pontosabban meg tudom határozni az anomáliák (szenzoros hiba, csőtörés, tűzeset) idejét, helyét, és jobban következtetni tudok a kiváltó eseményekre is.
3. Kompresszor hatékonyság: a kiberfizikai rendszer bővítésével meg tudom már állapítani, hogy mikor működik hasznosan és mikor haszontalanul egy-egy kompresszor. De nem csak a konkrét veszteségeket tudom így azonosítani, hanem egy kulcsfontosságú teljesítmény mutatószám értékkel tudom jellemezni egy-egy kompresszor ideális működését.
4. Az elszívók a termelés szempontjából közvetett fogyasztásait közvetlenné alakítottam a módszertanom segítségével. A módszertan a kiberfizikai rendszer bővítésével járt: fizikai oldalon új szenzortípusok, új hálózati kommunikáció kiépítésével, míg szoftveres oldalon a SCADA rendszerben végzett kalkulációk elvégzésével terhelődik rá az elszívók által fogyasztott villamosenergia a termeléshez közvetlenül kapcsolódó termelő gépekre részarányosan. Az eredményeket az üzleti intelligencia rendszerben jelenítettem meg.

További kutatási és fejlesztési eredményeim:

1. Felmértem, hogy a kiberfizikai rendszer mely részei telepíthetők a felhőbe, milyen előnyökkel, hátrányokkal és veszélyekkel járhat mindez. Javaslatot tettem a rendszer elemeinek elfoglalt helyére és ezek alapján készítem el a további gyártási erőforrások felhasználását vizsgáló kutatásaimat.
2. Adatelemzés szempontjából a haszontalan gyártási működés gazdasági oldalával is foglalkoztam és kimutattam pénzügyileg, hogy adott gépek mennyi veszteséget termeltek a vállalat számára. Így jobban azonosítható, hogy adott felesleges költségért melyik gépek kezelői felelősek.

3. Energiahatékonysági fejlesztés során egy közel valós időben működő alkalmazással segítem nyomon követni az adott termelő gépeken végzett munka hatékonyságát. Hosszabb haszontalan működés után a gép mellett dolgozó személyt (operátort) beavatkozásra készítem, így energiatudatosabbá válnak a dolgozók és a vállalat kevesebb veszteséggel működik tovább.

9. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája

9.1. Idegen nyelvű folyóiratcikkek

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

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

9.2. Idegen nyelvű konferenciák (absztraktok, előadások és konferenciaközlemények)

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

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

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

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

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

9.3. Magyar nyelvű tudományos szakcikkek

[Sz1] Koncz Adrienn, Gludovátz Attila: Termelő vállalatnál telepített IoT-alapú energiafelügyeleti rendszer kiterjesztése, In: Molnár, Dániel; Molnár, Dóra (szerk.) *XXIV.*

Tavaszi Szél Konferencia 2021 Tanulmánykötet II., Budapest, Magyarország: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) (2021) 755 p. pp. 52-66., 15 p.

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

9.4. Tézisekhez nem kapcsolódó további publikációk

[K6] Koncz Adrienn, Gludovátz Attila, Analysis of Resource Consumption Using Cloud Services in Industrial Environment, In: Raffai, Mária; Kosztyán, Zsolt Tibor (szerk.) OGIK'2021 Országos Gazdaságinformatikai Konferencia, Veszprém, Magyarország: Platina Nyomda és Kiadó Kft. (2021) 64 p. pp. 26-27., 2 p.

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

10. Irodalomjegyzék

- [1] Dóra Horváth, Roland Zs. Szabó, Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?, Technological Forecasting and Social Change, Volume 146, 2019, Pages 119-132, ISSN 0040-1625
- [2] Deloitte (2014): Industry 4.0 study, Deloitte Basel, Online, Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [3] The 4th Industrial Revolution, Industry 4.0, Unfolding at Hannover Messe 2014 <https://www.automation.com/en-us/articles/2014-1/the-4th-industrial-revolution-industry-40-unfoldin> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [4] Krishnan, U. (2021). The Industry 4.0 and its associated technologies. Journal of Emerging Technologies, 1(1), 1-10.
- [5] Cevikcan, E. – Ustundag, A. (2018): Industry 4.0: managing the digital transformation. Springer series in advanced manufacturing, Springer, 2018.
- [6] 10 Trends That Will Dominate Manufacturing in 2023 <https://global.hitachi-solutions.com/blog/top-manufacturing-trends/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [7] Mesumbe Bianca Epede, Daoping Wang, Competitiveness and upgrading in global value chains: A multiple-country analysis of the wooden furniture industry, Forest Policy and Economics, Volume 140, 2022, 102737, ISSN 1389-9341
- [8] Industry 4.0 The new reality of the industrial world <https://www.picchimachines.com/blog/industry-4-0> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [9] Industry 4.0 <https://www.twi-global.com/what-we-do/research-and-technology/technologies/industry-4-0> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [10] Klaus Schwab, The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, 91–93 route de la Capite, CH-1223 Cologny/Geneva, Switzerland, www.weforum.org, ISBN-13: 978-1-944835-01-9
- [11] Klaus Schwab The Fourth Industrial Revolution, <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [12] J. Smit, S. Kreuzer, C. Moeller, M. Carlberg (2016). Policy Department A: Economic And Scientific Policy, Industry 4.0. ISBN 978-92-823-8815-0
- [13] Industry 4.0 & the Future of Manufacturing <https://global.hitachi-solutions.com/blog/industry-4-0-technologies-outcomes-and-the-future-of-manufacturing/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)

- [14] IKEA Is A World-Wide Wonder
<https://www.forbes.com/sites/walterloeb/2012/12/05/ikea-is-a-world-wide-wonder/?sh=2637455527b9> (Utolsó megtekintés: 2023.04.20.)
- [15] Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., Popp, J. (2018): The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain - The Case of Hungary. *Sustainability* 2018, 10(10), 3491; 25. p.
- [16] What is IoT? <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [17] What is the internet of things (IoT)?
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [18] DEnkena, B. – Morke, T. (2017): *Cyber-Physical and Gentelligent Systems in Manufacturing and Life Cycle. Genetics and Intelligence - Keys to Industry 4.0.* Academic Press.
- [19] Hugh Boyes, Bil Hallaq, Joe Cunningham, Tim Watson, The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, *Computers in Industry*, Volume 101, 2018, Pages 1-12, ISSN 0166-3615
- [20] Sana Benhamaid, Abdelmadjid Bouabdallah, Hicham Lakhlef, Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 198, 2022, 103257, ISSN 1084-8045
- [21] 9 Prominent Benefits of IoT for Business <https://light-it.net/blog/9-prominent-benefits-of-iot-for-business/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [22] Internet of Things – IoT Advantages and Disadvantages – 2021
<https://robu.in/internet-of-things-iot-advantages-and-disadvantages-2021/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [23] What is Big Data? Introduction, Types, Characteristics, Examples
<https://www.guru99.com/what-is-big-data.html> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [24] What is Big Data? <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [25] Selvaraj, Poornima & Marudappa, Pushpalatha. (2016). A journey from big data towards prescriptive analytics. 11. 11465-11474.
- [26] Jony, Rabiul & Rony, Rakibul Islam & Rahman, Musfiqur & Rahat, Abiduzzaman. (2016). Big Data Characteristics, Value Chain and Challenges.
- [27] Angelo Corallo, Anna Maria Crespino, Mariangela Lazoi, Marianna Lezzi, Model-based Big Data Analytics-as-a-Service framework in smart manufacturing: A case study, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 76, 2022, 102331, ISSN 0736-5845
- [28] Hurwitz J.S., Kirsch D. *Cloud Computing for Dummies 2nd Edition*, John Wiley and Sons (2020). ISBN 978-1-119-54675-7

- [29] The Cloud Imperative <https://www.technologyreview.com/2011/10/03/190237/the-cloud-imperative/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [30] Sururah A. Bello, Lukumon O. Oyedele, Olugbenga O. Akinade, Muhammad Bilal, Juan Manuel Davila Delgado, Lukman A. Akanbi, Anuoluwapo O. Ajayi, Hakeem A. Owolabi, Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges, Automation in Construction, Volume 122, 2021, 103441, ISSN 0926-5805
- [31] Top Four Most Common Cloud Computing Models <https://www.ismiletechnologies.com/cloud/common-cloud-computing-models/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [32] What is cloud computing? <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing/#layout-container-uid33272> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [33] An Introduction to Cloud Service Models – PaaS, SaaS, IaaS, FaaS and More... <https://geekflare.com/cloud-service-models/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [34] SaaS Based Applications <https://www.oasissofttech.com/saas-based-applications.php> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [35] Types of cloud computing <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/public-cloud-vs-private-cloud-and-hybrid-cloud> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [36] What are Four Types of Cloud Computing Services <https://www.exitcertified.com/blog/4-cloud-computing-services> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [37] The Key Differences Between On-Premise, SaaS, PaaS, IaaS <https://forum.huawei.com/enterprise/en/data/attachment/forum/202110/09/191539/fsj8tjcr4s8bshg5.png> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [38] What are the Types of Cloud Computing? <https://www.leadingedgetech.co.uk/it-services/it-consultancy-services/cloud-computing/what-are-the-types-of-cloud-computing/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [39] Benefits of a Hybrid Cloud Solution <https://2wtech.com/benefits-of-a-hybrid-cloud-solution/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [40] Global cloud services market Q1 2021 <https://www.canalys.com/newsroom/global-cloud-market-Q121> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [41] How Much Can a Data Breach Cost Your Business? <https://www.embroker.com/blog/cost-of-a-data-breach/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [42] 12 Benefits of Cloud Computing <https://www.salesforce.com/in/products/platform/best-practices/benefits-of-cloud-computing/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)

- [43] Nisreen Luqman Abdulnabi, Renas Rajab Asaad, Challenges and Benefits of Cloud Computing: Comparison Study, December 2022, Academic Journal of Nawroz University 11(4):345-350
- [44] 8 Reasons you should consider DBaaS on Azure <https://www.linkedin.com/pulse/7-reasons-you-should-consider-dbaas-azure-patrik-bihammar> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [45] Felhő, vagy nem felhő? Ez itt a kérdés! <https://blog.comforth.hu/felh%C5%91-vagy-nem-felh%C5%91-ez-itt-a-k%C3%A9rd%C3%A9s> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [46] What to Pick in SaaS: EULA, SLA or ToS <https://www.termsfeed.com/blog/what-pick-saas-eula-sla-tos/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [47] Advantages and Disadvantages of Cloud Computing <https://www.javatpoint.com/advantages-and-disadvantages-of-cloud-computing> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [48] 10 Advantages and Disadvantages of Cloud Storage <https://www.geeksforgeeks.org/10-advantages-and-disadvantages-of-cloud-storage/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [49] What the Fifth Industrial Revolution is and why it matters <https://europeansting.com/2019/05/16/what-the-fifth-industrial-revolution-is-and-why-it-matters/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [50] Az Ipar 5.0 paradoxona – ember nélkül nincs automatizáció <https://digitrendi.hu/az-ipar-5-0-paradoxona-ember-nelkul-nincs-automatizacio/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [51] Ipar 5.0 - középpontban az emberi tényező <https://jovogyara.hu/ipar-5-0-kozeppontban-az-emberi-tenyezo.html> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [52] Stephanie M. Noble, Martin Mende, Dhruv Grewal, A. Parasuraman, The Fifth Industrial Revolution: How Harmonious Human–Machine Collaboration is Triggering a Retail and Service [R]evolution, Journal of Retailing, Volume 98, Issue 2, 2022, Pages 199-208, ISSN 0022-4359
- [53] Dr. habil Oláh Judit - Prof. Dr. Popp József - Erdei Edina: Az Ipar 5.0 megjelenése: ember és robot együttműködése. Logisztikai trendek és legjobb gyakorlatok, V. évfolyam 1. szám 2019. július.
- [54] Industry 5.0 Brings Humans Back Into the Loop <https://www.mouser.com/applications/industry-5-brings-humans-back/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [55] COVID-19: An inflection point for Industry 4.0 <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [56] Cyber-Physical Systems <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)

- [57] CPS (Cyber Physical System) <https://matics.live/glossary/cyber-physical-system/>
(Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [58] What is a SCADA System and How Does It Work?
<https://www.onlogic.com/company/io-hub/what-is-a-scada-system-and-how-does-it-work/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [59] Cristian-Dragoş Dumitru, Adrian Gligor, SCADA Based Software for Renewable Energy Management System, Procedia Economics and Finance, Volume 3, 2012, Pages 262-267, ISSN 2212-5671
- [60] What is SCADA? <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>
(Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [61] Bob Berry, Do You Know These Key SCADA Concepts? SCADA Tutorial: A Quick, Easy, Comprehensive Guide, Version 2.0, Released August 8, 2011., DPS Telecom
- [62] Traian Turc, Adrian Gligor, Cristian-Dragos Dumitru, Web-based Wireless Sensor System for SCADA Environment, Procedia Engineering, Volume 181, 2017, Pages 546-551, ISSN 1877-7058
- [63] Eberhard Abele, Niklas Panten, Benjamin Menz, Data Collection for Energy Monitoring Purposes and Energy Control of Production Machines, Procedia CIRP, Volume 29, 2015, Pages 299-304, ISSN 2212-8271
- [64] Claudiu Damian, Radu Adrian Tirnovan, Alexandru Hotea, Sorin Sava, The Direct Dependence of SCADA Systems on Communications Infrastructure and Electric Power Supply, Procedia Technology, Volume 19, 2015, Pages 681-688, ISSN 2212-0173
- [65] VISION X10 videó prezentációk
<https://www.provicon.net/InfoPages/ VISION Video.html#> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [66] Energrade Áttekintés – Dashboard
<http://www.provicon.net/Provicon/Gallery/A12.png> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [67] Energrade Nuleáris atomerőmű – 3D View
<http://www.provicon.net/Provicon/Gallery/A10.png> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [68] O Alaskari, R. Pinedo-Cuenca, M.M. Ahmad, Framework for Selection of ERP System: Case Study., Procedia Manufacturing, Volume 38, 2019, Pages 69-75, ISSN 2351-9789
- [69] Enterprise Resource Planning (ERP): Meaning, Components, and Examples
<https://www.investopedia.com/terms/e/erp.asp> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [70] What is ERP? <https://dynamics.microsoft.com/en-us/erp/what-is-erp/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [71] What is ERP? <https://www.oracle.com/erp/what-is-erp/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)

- [72] Steffen Landscheidt, Mirka Kans, Evaluating factory of the future principles for the wood products industry: Three case studies, *Procedia Manufacturing*, Volume 38, 2019, Pages 1394-1401, ISSN 2351-9789
- [73] QlikView vs. Qlik Sense – Comparison Guide
<https://www.qlik.com/us/products/qlikview-vs-qliksense> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [74] What is business intelligence? Transforming data into business insights
<https://www.cio.com/article/272364/business-intelligence-definition-and-solutions.html> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [75] A. Dacal-Nieto, J. J. Areal, V. A.-Ramos, M. Lluch, Integrating a data analytics system in automotive manufacturing: background, methodology and learned lessons, *Procedia Computer Science*, Volume 200, 2022, Pages 718-726, ISSN 1877-0509
- [76] Guided analytics with QlikView
<https://www.informatec.com/en/technologies/qlik/qlikview#stripe-id-3786> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [77] What is QlikView? <https://www.educba.com/what-is-qlikview/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [78] Qlik Sense or QlikView? Or both? <https://www.informatec.com/en/qlikview-vs-qlik-sense> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [79] Kallam, S., Madda, R.B., Chen, C.-Y., Patan, R. & Cheelu, D., Low energy aware communication process in IoT using the green computing approach. *IET Network*, 7, pp. 258-264, 2018.
- [80] Hashmi, S.A., Ali, C.F. & Zafar, S., Internet of things and cloud computing-based energy management system for demand side management in smart grid. *International Journal of Energy Research*, 45, pp. 1007– 1022, 2021.
- [81] Li, W. & Kara, S., Methodology for monitoring manufacturing environment by using wireless sensor networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). *Procedia CIRP*, 61, pp. 323-328, 2017.
- [82] Avancini, D.B., Rodrigues, J.J.P.C., Rabêlo, R.A.L., Das, A.K., Kozlov, S. & Solic, P., A new IoT-based smart energy meter for smart grids. *International Journal of Energy Research*, 45, pp. 189– 202, 2021.
- [83] Deepak Kumar Jain, S. Neelakandan, T. Veeramani, Surbhi Bhatia, Fida Hussain Memon, Design of fuzzy logic based energy management and traffic predictive model for cyber physical systems, *Computers and Electrical Engineering*, Volume 102, 2022, 108135, ISSN 0045-7906
- [84] Stefan Fischer, Claus Klammer, Antonio Manuel Gutiérrez Fernández, Rick Rabiser, Rudolf Ramler, Testing of highly configurable cyber–physical systems — Results from a two-phase multiple case study, *Journal of Systems and Software*, Volume 199, 2023, 111624, ISSN 0164-1212

- [85] Alpár T.: „Gyártásszervezés támogatása a faiparban”, IOT4U konferencia előadás, Budapest, 2016. december 6.
- [86] Gludovátz A., „Termelési folyamatok felügyelete, irányítása és elemzése Ipar 4.0 megközelítésben”, Doktori (PhD) értekezés, Soproni Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Sopron, 2018.
- [87] Dimitris Mourtzis, John Angelopoulos, Nikos Panopoulos, Design and development of an IoT enabled platform for remote monitoring and predictive maintenance of industrial equipment, *Procedia Manufacturing*, Volume 54, 2021, Pages 166-171, ISSN 2351-9789
- [88] R. Joppen, A. Kühn, D. Hupach, R. Dumitrescu, Collecting data in the assessment of investments within production, *Procedia CIRP*, Volume 79, 2019, Pages 466-471, ISSN 2212-8271
- [89] J. Temido, J. Sousa, R. Malheiro, SCADA and Smart Metering Systems in Water Companies. A Perspective based on the Value Creation Analysis, *Procedia Engineering*, Volume 70, 2014, Pages 1629-1638, ISSN 1877-7058
- [90] John Rinaldi, *Modbus, The Everyman's Guide To Modbus*, 2015., ISBN-13: 978-1517764685
- [91] What is MODBUS? <https://www.rtautomation.com/technologies/Modbus/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)
- [92] D. Cooper NIST, S. Santesson Microsoft, S. Farrell Trinity College Dublin, S. Boeyen Entrust, R. Housley Vigil Security, W. Polk NIST, May 2008, Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5280.txt> (Utolsó megtekintés 2023.04.20.)
- [93] Liu, Zechao & Liang, Tao & Wang, Wenshan & Sun, Ruochen & Li, Sizhao. (2023). Design and Implementation of a Lightweight Security-Enhanced Scheme for Modbus TCP Protocol. *Security and Communication Networks*. 2023. 1-12. 10.1155/2023/5486566.
- [94] Alsabbagh, Wael & Amogbonjaye, Samuel & Urrego, Diego & Langendoerfer, Peter. (2023). A Stealthy False Command Injection Attack on Modbus based SCADA Systems. 10.1109/CCNC51644.2023.10059804.
- [95] MODBUS/TCP Security, Protocol Specification https://modbus.org/docs/MB-TCP-Security-v21_2018-07-24.pdf (Utolsó megtekintés 2023.04.20.)
- [96] OPC UA integration https://www.softwareag.com/en_corporate/resources/iot/article/opc-ua.html
- [97] Tu, Nguyen & Huynh Quyet, Thang. (2013). Design and development of the air conditioning system by using OPC UA specifications and Modbus protocol. *Proceedings of the 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2013*. 1727-1732. 10.1109/ICIEA.2013.6566647.

- [98] An Introduction to MODBUS TCP/IP
<https://www.rtautomation.com/technologies/modbus-tcpip/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [99] Krámlí György, Szenzorika, tanfolyami jegyzet, Festo, 2016.
<https://docplayer.hu/7036968-Szenzorika-tanfolyami-jegyzet.html>
- [100] PM3255 power meter - 2 digital I - 2 digital O - RS485
<https://www.se.com/ww/en/product/METSEPM3255/pm3255-power-meter-2-digital-i-2-digital-o-rs485/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [101] Sűrített levegő <http://www.schwetz.hu/meas.htm> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [102] Testo távadók - sűrített levegő mérők <https://www.testo.com/hu-HU/termekek/suritett-levego-merok> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [103] Mágneses induktív átfolyásérzékelő <https://www.ifm.com/hu/hu/product/SM7001> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [104] Ultrasonikus átfolyásszenzor <https://www.ifm.com/hu/hu/product/SU9000> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [105] Carlos Ordonez, Sofian Maabout, David Sergio Matusevich, Wellington Cabrera, Extending ER models to capture database transformations to build data sets for data mining, Data & Knowledge Engineering, Volume 89, 2014, Pages 38-54, ISSN 0169-023X
- [106] Jean-Marc Hick, Jean-Luc Hainaut, Database application evolution: A transformational approach, Data & Knowledge Engineering, Volume 59, Issue 3, 2006, Pages 534-558, ISSN 0169-023X
- [107] UNESCO UN World Water Development Report 2022
<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en/groundwater-and-industry> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [108] Md. Faruque Hossain, Chapter Six - Water, Editor(s): Md. Faruque Hossain, Sustainable Design and Build, Butterworth-Heinemann, 2019, Pages 301-418, ISBN 9780128167229
- [109] Lean & Water Toolkit: Chapter 2 Water Use and Water Waste at Industrial Facilities
<https://www.epa.gov/sustainability/lean-water-toolkit-chapter-2#industrial> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [110] The Hidden Water in Everyday Products
<https://www.watercalculator.org/footprint/the-hidden-water-in-everyday-products/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.04.20.)
- [111] Yi Man, Yulin Han, Yifan Wang, Jigeng Li, Ling Chen, Yu Qian, Mengna Hong: "Woods to goods: Water consumption analysis for papermaking industry in China", Journal of Cleaner Production, Volume 195, 10 September 2018, pp. 1377-1388.
- [112] Zakaria, Adel. (2015). Industrial ventilation. 10.13140/RG.2.1.3410.2241.
- [113] Sűrített levegő tudásbázis <https://airmonitor.hu/suritett-levego-tudasbazis/> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)

- [114] CNG töltőállomások méretezése <http://www.cngport.hu/tudastar/cng-toltoallomasok-meretezese.html> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)
- [115] X. Li, Y. Jiang, J. Zhu, Li Wang, M. Zhang, X. Xu, Z. Fang, Y. Zhuo, X. Zhao, Z. Li, Yi Cao, Air curtain dust-collecting technology: Investigation of industrial application in tobacco factory of the air curtain dust-collecting system, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 149, 2021, Pages 676-683, ISSN 0957-5820
- [116] Sean Kapp, Jun-Ki Choi, Kelly Kissock, Toward energy-efficient industrial thermal systems for regional manufacturing facilities, *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 1377-1387, ISSN 2352-4847
- [117] Oscar Oliveira, Dorabela Gamboa, Pedro Fernandes, An Information System for the Furniture Industry to Optimize the Cutting Process and the Waste Generated, *Procedia Computer Science*, Volume 100, 2016, Pages 711-716, ISSN 1877-0509
- [118] A. Al-Kababji, A. Alsalemi, Y. Himeur, R. Fernandez, F. Bensaali, A. Amira, N. Fetais, Interactive visual study for residential energy consumption data, *Journal of Cleaner Production*, Volume 366, 2022, 132841, ISSN 0959-6526
- [119] Eberhard Abele, Niklas Panten, Benjamin Menz, Data Collection for Energy Monitoring Purposes and Energy Control of Production Machines, *Procedia CIRP*, Volume 29, 2015, Pages 299-304, ISSN 2212-8271
- [120] Simon Johnsson, Elias Andersson, Patrik Thollander, Magnus Karlsson, Energy savings and greenhouse gas mitigation potential in the Swedish wood industry, *Energy*, Volume 187, 2019, 115919, ISSN 0360-5442
- [121] Waheb A. Jabbar, Thanasrii Subramaniam, Andre Emelio Ong, Mohd Iqmal Shu'lb, Wenyan Wu, Mario A. de Oliveira, LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring, *Internet of Things*, Volume 19, 2022, 100540, ISSN 2542-6605
- [122] Vasco Delgado-Gomes and José A. Oliveira-Lima and João F. Martins, Energy consumption awareness in manufacturing and production systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, volume 30, number 1, 84-95 p., 2017, doi:10.1080/0951192X.2016.1185154
- [123] Ipari szoftverek a felhőben <https://blog.comforth.hu/edge-computing-google-cloud-poc> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)
- [124] Traian Turc, SCADA Systems Management Based on WEB Services, *Procedia Economics and Finance*, Volume 32, 2015, Pages 464-470, ISSN 2212-5671
- [125] A. Mukherjee, A. Kumar Panja, N. Dey, Chapter two - Real-life application of sensors and systems, Editor(s): Amartya Mukherjee, Ayan Kumar Panja, Nilanjan Dey, *A Beginner's Guide to Data Agglomeration and Intelligent Sensing*, Academic Press, 2020, Pages 29-66, ISBN 9780128203415
- [126] Esettanulmány: terepi adatgyűjtés Azure-ban <https://blog.comforth.hu/iiot-terepi-adatgyujtes-azure-edge-computing> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)

- [127] Vijay Prakash, Claudio Savaglio, Lalit Garg, Seema Bawa, Giandomenico Spezzano, Cloud- and Edge-based ERP systems for Industrial Internet of Things and Smart Factory, *Procedia Computer Science*, Volume 200, 2022, Pages 537-545, ISSN 1877-0509
- [128] Birju Tank, Vaibhav Gandhi, A Comparative Study on Cloud Computing, Edge Computing and Fog Computing, January 2023, DOI: 10.3233/ATDE221329
- [129] D.Gordic, M. Babic, D. Jelic, D. Koncalovic, and V. Vukašinovic, Integrating Energy and Environmental Management in Wood Furniture Industry, Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 596958, 18 pages
- [130] ISO 50001 Energy management <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html> (Utolsó megtekintés 2023.04.20.)
- [131] Employee awareness of energy efficiency <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-efficiency-industry/energy-management-industry/employee-awareness-energy-efficiency/20411> (Utolsó megtekintés dátuma: 2023.02.09.)
- [132] Falah Abu, Hamed Gholami, Muhamad Zamari Mat Saman, Norhayati Zakuan, Dalia Streimikiene, The implementation of lean manufacturing in the furniture industry: A review and analysis on the motives, barriers, challenges, and the applications, *Journal of Cleaner Production*, Volume 234, 2019, Pages 660-680, ISSN 0959-6526

11. Ábrajegyzék

1. ábra: A gyártásban meghatározó Ipar 4.0 technológiák	8
2. ábra: Példa egy IoT rendszerre	9
3. ábra: Áttekintés az IoT előnyeiről.....	12
4. ábra: Áttekintés az IoT hátrányairól	13
5. ábra: A Big Data növekedési üteme 2008-2020-ig. Az adatok zettabyte-ban vannak megadva. 1 zettabyte 1 milliárd terabyte-nak felel meg.....	14
6. ábra: A Big Data 3V tulajdonsága: Volume, Velocity, Variety	15
7. ábra: A vállalatnál mért adatok száma naponta.....	17
8. ábra: Felhőalapú szolgáltatások típusai	18
9. ábra: Szoftvertípusok mint szolgáltatások	19
10. ábra: Platformok, mint szolgáltatások	20
11. ábra: Infrastruktúrák, mint szolgáltatások	20
12. ábra: Áttekintés a legfontosabb „as a Service” szolgáltatásokról.....	21
13. ábra: Hibrid felhő.....	22
14. ábra: Az IT helyben (bal oldali jéghegy) vagy a felhőben (jobb oldali jéghegy)	24
15. ábra: Ipari forradalmak.....	27
16. ábra: Az Ipar 4.0 és Ipar 5.0 közötti főbb különbségek	28
17. ábra: A vállalatok legfontosabb stratégiai céljai az Ipar 4.0 technológiák bevezetésével kapcsolatban (a válaszok %-os arányban kifejezve) szerint.....	29
18. ábra: Ipar 4.0 technológiák felhasználási esetei	30
19. ábra: Kiberfizikai rendszer alkalmazási területei.....	32
20. ábra: SCADA rendszer architektúrája	34
21. ábra: SCADA rendszer képernyőkép az elszívó berendezések rendszeréről.....	36
22. ábra: VISION X10 Dashboard példa.....	38
23. ábra: VISION X10 3D modell megjelenítés példa	38
24. ábra: Egy gyalugép energiafogyasztásait és termelési mennyiségeit mutatja 1 napon belül órára lebontva (2021. június 11-én).....	41
25. ábra: Egy gyalugép energiafogyasztásait és termelési mennyiségeit mutatja 1 napon belül 10 percekre lebontva (2021. június 11-én)	41
26. ábra: Példa kimutatás a QlikView alkalmazással.....	42
27. ábra: Példa kimutatás a Qlik Sense alkalmazással	43
28. ábra: Kiberfizikai rendszer felépítése 2017-ben.....	46
29. ábra: A 2017-2018-as gazdasági év (2017 szeptemberétől 2018 márciusáig) mért fogyasztási és termelési adatai a keretrendszerben (kék vonal: gyártott darabszámok, zöld oszloprész: hasznos villamosenergia fogyasztás, piros oszloprész: haszontalan villamosenergia fogyasztás; hasznos: történt termelés, haszontalan: nem történt termelés).....	47
30. ábra: Adott berendezés napi szintű energiafelhasználása és a trendvonala 2017. szeptemberétől 2018. márciusáig	47
31. ábra: Termelési hatékonyság egy adott terméknel és gépnél: 1 kWh villamosenergia felhasználásából mennyi munkadarab készült el.....	48

32. ábra: Villamosenergia fogyasztás a 2020-as évben.....	49
33. ábra: A kibővített kiberfizikai rendszer felépítése.....	50
34. ábra: Modbus protokoll adatátviteli struktúrája.....	52
35. ábra: Modbus TCP/IP kommunikáció a szenzorok és a SCADA rendszer között.....	54
36. ábra: Teljesítmény mérő szenzor, ami alkalmas a villamosenergia fogyasztás mérésére ipari környezetben.....	55
37. ábra: Sűrített levegő mennyiség mérő szenzorok.....	55
38. ábra: Áramlásmérő szenzorok a vízfogyasztás monitorozásához. Jobb oldalon a mágneses-induktív, bal oldalon az ultrahangos átfolyásmérő.....	56
39. ábra: A berendezéseknél mért adatok áramlása a SCADA rendszerbe.....	57
40. ábra: Az energiafelhasználás adatbázis struktúrája.....	58
41. ábra: Az alaptáblák néhány minta adatsorral és az összes mért adatot tartalmazó nézet.....	59
42. ábra: Jelenleg használt adatbázis struktúra.....	60
43. ábra: <i>v1_berendezes_tpusok</i> adattábla minta adatsorai.....	60
44. ábra: <i>v1_berendezes</i> adattábla minta adatsorai.....	61
45. ábra: Adatgyűjtési probléma a 2019 előtti adatszerkezetben.....	62
46. ábra: <i>v1_mert_adatok</i> adattábla minta adatsorai.....	62
47. ábra: Adatbázis struktúra 2021-től a további elemzésekhez.....	63
48. ábra: Vízfelhasználás esetei a bútoriparban.....	66
49. ábra: Vízpára kibocsátás mennyisége 2018. szeptemberétől decemberig.....	67
50. ábra: Vízpára kibocsátás mérő szenzor probléma 2018. decembertől 2019. februárig.....	68
51. ábra: Vízpára kibocsátás az első COVID-19 időszakban (2020. március 1-től június 30-ig).....	69
52. ábra: Vízpára kibocsátás 2021.01.01-től 04.30-ig.....	69
53. ábra: Vízpára kibocsátás 2021. nyarán (2021.05.01-től 09.30-ig).....	69
54. ábra: Szociális vízfogyasztás a 2019-es évben (2019.01.01 – 2019.12.31.).....	71
55. ábra: Szociális vízfogyasztás a 2020-as évben (2020.01.01 – 2020.12.31.).....	71
56. ábra: Szennyvíz mennyiségi alakulása 2022.07.01. – 2022.11.11-ig.....	72
57. ábra: 2018. szeptember hónap szennyvíz elfolyás mennyisége (2018.09.01 – 2018.09.30.)..	72
58. ábra: 2018. szeptember 22. és 23. szennyvíz elfolyása 10 perces bontásban.....	73
59. ábra: Szociális vízfogyasztás mennyisége 2018. szeptember hónapban (2018.09.01 – 2018.09.30.).....	73
60. ábra: Tűzoltói vízfogyasztás 2018. májusától októberig (2018.05.17 – 2018.10.18.).....	74
61. ábra: 2019, 2020 és 2021-es év vízfogyasztásának költségei (ÁFA nélkül).....	75
62. ábra: Mért paraméterek egy termelő gépnél és kompresszornál.....	77
63. ábra: Kompresszorház felépítése.....	78
64. ábra: Kompresszor energiafogyasztása és generált sűrített levegő mennyisége 2020. február hónapban (2020.01.31 – 2020.02.29.).....	79
65. ábra: Nem hatékonyan működő kompresszor fogyasztása műszakokra lebontva.....	79
66. ábra: Nem hatékonyan működő kompresszor fogyasztása 10 perces időszakokra bontva.....	80
67. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált légköbméter mennyisége 2020. szeptember hónapban.....	81
68. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. szeptember hónapban.....	81

69. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált léghőmennyiség 2020. szeptember 7-12-ig.....	81
70. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. szeptember 7-12-ig	82
71. ábra: Egy kompresszor energiafogyasztása és generált léghőmennyiség 2020. február 10-14-ig.....	82
72. ábra: Egy kompresszor fajlagos energiafelhasználása 2020. február 10-14-ig	82
73. ábra: Elszívó berendezés és zsákuinak működése	85
74. ábra: Összefoglaló ábra a példa kalkuláció	88
75. ábra: A termelő gépek és az elszívók hasznos és haszontalan energiafogyasztása	89
76. ábra: A 75. ábrához kapcsolódó mérési értékek	89
77. ábra: A termelő gépek és az elszívók hasznos és haszontalan energiafogyasztása 2022. októberében	90
78. ábra: A 77. ábrához kapcsolódó mérési értékek	90
79. ábra: Az L_UVSOR2 gép fajlagos energiafelhasználása (kWh / m ²) 2022. októberében.....	91
80. ábra: Az elszívók összefogyasztása 2022. október hónapban.....	91
81. ábra: Elszívó fogyasztások aránya gépekre vetítve	92
82. ábra: L_ELSZIVO1-hez kapcsolódó termelő gépek	93
83. ábra: K_ELSZIVO1-hez kapcsolódó termelő gépek.....	93
84. ábra: Vision X10 által támogatott adatbázisok	97
85. ábra: SCADA rendszer architektúrája	98
86. ábra: Termelési adatok áramlása az ERP rendszerbe.....	99
87. ábra: A gépekhez és az őket támogató berendezésekhez tartozó veszteséges, haszontalan működés (piros oszlopok) kWh-ban kifejezve	100
88. ábra: Energiafogyasztási költségek Forintban kimutatva adott hónapban napi bontásban .	103
89. ábra: Egy kiválasztott termelőgép működésének költségei adott hónapban órás bontásban	103
90. ábra: Egy adott berendezés energiafelhasználásának költsége (veszteséges működésnél) .	104
91. ábra: Bejelentkezési felület	106
92. ábra: Hatékony (értékhár feletti az érték) működés	107
93. ábra: Legutóbbi arányszám pazarló (limit alatti) működést mutat.....	107
94. ábra: Huzamosabb ideig történő pazarló működés jelzése	108
95. ábra: Visszatérés a megfelelő (limit feletti) működéshez	108

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőimnek, Dr. Gludovátz Attilának és Prof. Dr. Alpár Tibornak a folyamatos segítséget, támogatást és biztatást, amelyet a doktori tanulmányaim és a kutatásaim során nyújtottak nekem.

Disszertációm elkészítése során az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-II kódszámú és az ÚNKP-21-3-II Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatását is sikeresen felhasználtam.

„Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-II kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

„Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-II kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”