



SZAKDOLGOZAT

**OE-KVK
2023.**

Hallgató neve:
Törzskönyvi szám:

**Mórocz Máté
T010736/FI12904/K**



ÓBUDAI EGYETEM

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Automatizálási és Energiarendszerek Intézet**

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Mórocz Máté

Szakedolgozat száma: SZD2312111028525708

Törzskönyvi száma: T010736/FI12904/K

Neptun kódja:

Szak: Napelemes rendszerek létesítése (szakmérnök)

Specializáció:

A dolgozat címe: Digitális alállomás megvalósíthatósága

A dolgozat címe angolul: Feasibility of a digital substation

A feladat részletezése:

1. Múlt, jelen, jövő alállomásai
2. Mi is az a Teljesen Digitális Alállomás (TDA)?
3. Digitális alállomások biztonsága

Intézményi konzulens neve: Dr. Novothny Ferenc Miklós

Külső konzulens neve: Ambruzs Mátyás Péter

Munkahelye: MVM Xpert Zrt.

A kiadott téma elévülési határideje: 2025.12.15.

Beadási határidő: 2023.12.15.

A szakdolgozat NEM titkos.

Kiadva: Budapest, 2023.12.11.

PH

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Automatizálási és Energiarendszerek Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Mórocz Máté kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023. november. 30.

Hallgató aláírása

DIGITÁLIS ALÁLLOMÁS MEGVALÓSÍTHATÓSGA

1. TARTALOMJEGYZÉK

1. Tartalomjegyzék	1
2. Bevezetés	3
3. Alállomás felépítése	5
3.1 Hagyományos reléházaz alállomás	7
3.2 Vezérlőrendszerek irányítása	9
3.3 SCADA rendszerirányítás	11
3.3.1 SCADA architektúra	12
4. (Teljesen) Digitális alállomás (TDA)	14
4.1 Optikai szenzor	19
4.2 Merging Unit	20
4.3 Digitális alállomások műszaki terjedelme	22
4.4 Kiberbiztonság a digitális alállomásokon	23
4.5 Érvek a Digitális alállomások mellett	26
4.5.1 Telepítési költség	26
4.5.2 Biztonságosabb munkavégzés	27
4.5.3 Vezénylőszobák átalakítása mikroadatközpontokká	29
4.5.4 Könnyebb karbantartás	29
4.5.5 Valós idejű adatok	30
5. IEC 61850 szabvány	31
5.1.1 IEC 61850-7-1: Adatmodell és objektumok	32
5.1.2 IEC 61850-8-1: Alállomási automatizálás és vezérlés kommunikációja	33
5.1.3 IEC 61850-9-2, avagy Process bus	34
6. GOOSE táviratok	36
7. Példák a világból	42
7.1 Olaszország	42
7.2 Egyesült Királyság	43
7.3 Fehéroroszország	43
8. Összefoglaló	44

9. Summary.....	45
10. Irodalomjegyzék.....	46

2. BEVEZETÉS

A piaci környezet folyamatos változása, a technológia gyors fejlődése, valamint az Európai Unió és hazai szabályozási változások jelentős hatást gyakorolnak az energetikai szektorra. A hagyományos üzleti modellek fenntartása egyre nehezebbé válik, miközben új szereplők lépnek be a piacra és új típusú kihívások merülnek fel. Ilyen újfajta kihívásnak, a gyorsan, nagy mennyiségben és hatalmas termelési kapacitással bíró napelemes erőművek tekinthetők. Ezen erőművek méretüktől fogva különböző kihívásokat állítanak a villamosenergia-továbbító rendszerek felé, hiszen egy háztartási méretű kis erőmű (továbbiakban: HMKE) esetén az eddigi *consumer*, azaz fogyasztói szerep kibővült egy bővített *prosumer* fogyasztói és termelői szerepkörrel. Az eddigi több, mint 100 éves villamosenergia hálózatban ilyenre eddig nem volt példa, a rendszer kapacitása nem ilyen típusú igénybevételre lett tervezve. De a nagyobb méretű, pár év alatt felépülő napelemparkok is „hirtelen” igénybevételt jelentenek a hálózatra, hiszen megfelelő időjárás és napszak esetén nagymértékű villamos energiát kell szétosztani a fogyasztók között országon belül és akár az európai energiahálózat más tagjai között. Ezt csak megfelelő állapotú, magas üzembiztossággal bíró és jó koordinációs képességgel bíró villamosenergiaátviteli és -elosztó hálózattal lehet megoldani. A villamosenergiaátviteli és -elosztási rendszerek fontos alkotóelemei a hagyományos relés alállomások, amelyek hosszú ideig szolgálták az elektromos energia továbbításának és elosztásának központját. Azonban a technológiai fejlődés és az iparági igények változása révén a hagyományos rendszerek evolúciója elindult a digitális alállomások irányába. A digitális átalakulás mellett párhuzamosan megjelenő kommunikációs rendszerek forradalmi változása ismételten új kihívások elé állítja az energiaipart.

A digitalizáció által hozott előnyök és lehetőségek, valamint a rendszerek megnövekedett hatékonysága miatt a hagyományos relés alállomásoknak alkalmazkodniuk kell az új követelményekhez. Az intelligens elektronikai eszközök (továbbiakban: IED-ek) és a digitális relétechnológia bevezetése átalakítja a

hagyományos alállomások működését, miközben növeli a rendszerek rugalmasságát és irányíthatóságát.

Mivel számtalan feladattal kell egyidőben megküzdenie a villamosenergia rendszernek, így az iparágban egyre inkább hangsúlyossá válik az adatok megfelelő fogadásának, továbbításának és tárolásának biztonsága, továbbá a hatásfok növelése. A digitális alállomások tökéletesen megteremtik a lehetőséget a reléinformációk, kapcsolók és IED-ek adatainak összehangolt kezelésére, amely növeli a rendszer átláthatóságát. Ez a változás nem csupán technológiai fejlődést hoz magával, hanem átfogó rendszertranszformációt, amely jelentős hatással van az energiaipar hatékonyságára, megbízhatóságára, valamint fenntarthatóságára.

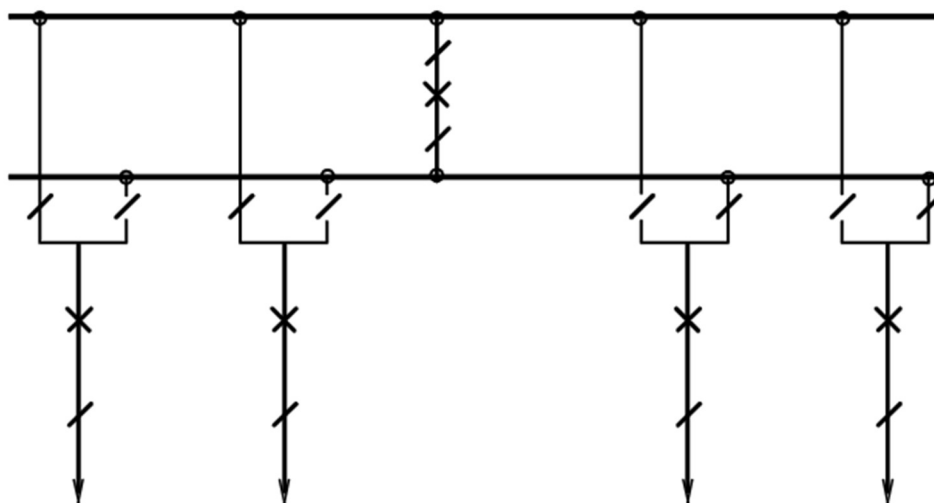
3. ALÁLLOMÁS FELÉPÍTÉSE

Az alállomás egy olyan a hálózatban kitüntetett szerepet betöltő csomópont, ahol több különböző feszültségszinttel rendelkező távvezeték egymástól elkülönítve gyűjtősínekre rögzítve található. Mivel különböző feszültségszinttel rendelkező vezetékekről beszélünk, így transzformátorok (transzformátor, feszültség- és áramváltó) és különböző kapcsolási feladatokat ellátó berendezések (szakaszoló, nagyfeszültségű csatoló kondenzátor, fojtótekercs, különböző védelmi eszközök) is helyet kapnak az alállomásban, hiszen ezek nélkül nem lehet lebonyolítani az energiaforgalmat. Fő feladata, hogy a tervezett igénybevételek mellett, minden pillanatban, terhelési állapottól függetlenül biztosítani tudja a hatásos és meddő teljesítmény forgalmat, megtartva a megfelelő szintű áram és feszültség értéket.

Nagyfeszültségű alállomásoknál, 100 kV-os névleges feszültség szint felett az alállomás többnyire szabadterén helyezkedik el. A gyűjtősínekre csatlakozó szabadvezetékek a magasban vannak elhelyezve, ezek távvezetési mezővel csatlakoznak, a berendezéseket pedig a földmagasságtól elemelve, lábakra építik, hogy alattuk a kezelőszemélyzet biztonságosan közlekedhessen. A távvezetési mező kötelező elemei például a gyűjtősínek szakaszolói és megszakítók, az áram- és feszültségváltók, a túlfeszültség levezetők és a földelőképes távvezetési szakaszolókapcsoló. A túlfeszültség levezetőre azért van szükség, hogy a légkörből érkező, illetve a kapcsolási feladatok során fellépő túlfeszültségeket elvezesse. Ennek köszönhetően károsan nem éri a villamos berendezések szigetelései nagy túlfeszültséglöket.

Az alállomásra érkező szabadvezeték első kapcsolóeleme a távvezetési szakaszoló kapcsoló, amellyel a hálózaton lévő áram útját lehet irányítani, illetve az adott szakasz árammentes állapotba való helyezése érhető el. Fontos, hogy a szakaszolón elhelyezkedő porcelánszigetelésű szakaszolókések megfelelő távolságban legyenek egymástól, hogy a kialakuló túlfeszültség előbb üssön át a föld irányába, mint a két késpofa között. A földelő érintkezővel is megvalósítható a nagyfeszültségű szakaszolás, mivel a földelőkések áramkörirtatója a távvezetéknek, amely földeli azt. Ezután a feszültségváltó által

szolgáltatott jel táplálja azt a műszert, amely a primer feszültséget méri, illetve azokat a berendezéseket is, amelyek érzékelik a feszültségek növekedését és csökkenését, a távvezetéken és gyűjtősinen működő védelmek feszültségtekercseit és a reléket. A megszakítók az üzemi áramokat képesek vezetni és kapcsolni is, azonban, ha a védelem megszólal, akkor a zárlati áramot képes megszakítani, úgy, hogy bontja az áramkört és az érintkezők közötti ívet automatikusan eloltja. Ennek a hajtásnak a működtető mechanizmusát a pólus alatti szekrényben helyezték el. A bekapcsolás egy rugóerő ellenében működik, amelyet egy oldható kilincsmű rögzít. A kikapcsolási jel hatására a rugó azonnal elvégzi behúzási feladatát. A rugót többnyire ma már motor húzza fel, de manuálisan továbbra is működtethető. A megszakítón lévő ki és be tekercsek a vezénylőtábláról könnyen működtethetők, de ezt táplálhatják az automatikák és védelmek is, amelyek a relétérben vannak beépítve.



1. ábra: Nagyfeszültségű két gyűjtősínes szabadtéri alállomás elvi sémája.

Forrás: Dr. Kiss Lajos: Villamos hálózatok és alállomások (<https://adoc.pub/dr-kiss-lajos-villamos-halozatok-es-alallomasok.html>) (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

A fenti ábrán a szerző feltüntette azokat az utakat, amelyeken az energiaellátás megvalósul, továbbá jelölte a szakaszoló nyitott állapotát. Az 1. sz. ábrán példaképpen két gyűjtősínnel rendelkező állomás látható, ahol a létfontosságú csomópontból a

gyűjtősínből 100%-os tartalék található. Ennek jelentősége az, hogyha a gyűjtősín meghibásodik, úgy át lehet kapcsolni a másik „tartalék” gyűjtősínre és a meghibásodott csomópontot teljes egészében ki lehet zárni az energiaforgalomból. A sínáthidaló stacioner üzemben zárva van, amely biztosítja, hogy a különböző leágazások terhelésszintjei egyenletesen legyenek elosztva a két gyűjtősín között. Ha szükséges az üzemvitel közben valamely leágazást másik gyűjtősínre áthelyezni, úgy a következő lépéseket kell megtenni. Először zárni kell a kérdéses leágazás paralelbe kapcsolt szakaszolóját, majd azt a szakaszolókapcsolót, amely eddig üzemszerűen a terhelést vitte, nyitni szükséges. Így a megszakító működésének művelete teljes egészében kihagyható és a szakaszoló kapcsolókkal sem szükséges megszakítani a terhelő áramot, bár erre nem is kell, hogy alkalmas legyen.^{1 2}

3.1 Hagyományos reléházás alállomás

A hagyományos reléházás alállomások hosszú időn keresztül dominálták az elektromos energiaelosztási rendszereket, és ezek az alapvető berendezések meghatározták az energiaipar működését. Ezek a rendszerek a mechanikus relékre és elektromechanikus vezérlőberendezésekre támaszkodtak, és egyszerű, de hatékony módon szolgálták ki az energiaelosztási és vezérlési szükségleteket. A következőkben részletesebben fogom kifejteni ezeknek az alállomásoknak az elemeit, valamint azok működési elveit.

Mechanikus Relék

A mechanikus relék voltak a hagyományos reléházás alállomások központi elemei. Ezek a relék különböző védelmi és vezérlési funkciókat láttak el, reagálva a hálózaton bekövetkező változásokra. Például feszültség-, áram- vagy frekvenciaváltozásokat

¹ Dr. Kiss Lajos: Villamos hálózatok és alállomások (<https://adoc.pub/dr-kiss-lajos-villamos-halozatok-es-alallomasok.html>) (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

² <https://www.villanylap.hu/hirek/3836-ermvektl-a-villamos-mozdonyokig-a-mav-alallomasainak-mkoedese> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

érzékeltek, és a mechanikus szerkezetük révén kapcsolták vagy szigetelték az áramkört a védelem érdekében.

Kapcsolók

A kapcsolók szolgálták az áramkörök fizikai vezérlését és szigetelését. Ezek mechanikus kezelőszervek segítségével lettek aktiválva, és manuálisan irányították az áramköri elemeket. Az operátoroknak fizikailag be kellett avatkozniuk a rendszer működtetésébe, és ezek a kapcsolók biztosították az áramkörök kézi vezérlését.

Mérőberendezések

Az elektromechanikus mérőberendezések voltak felelősek az energiafogyasztás pontos méréséért. Ezek a mérőórák a fogyasztott energiamennyiséget mechanikus forgó tárcsákkal vagy mutatókkal jelezték. A mérőberendezések manuálisan voltak leolvashatók, és az energiafogyasztás monitorozása a rendszerüzemeltetők feladata volt.

Védőrelé panelek

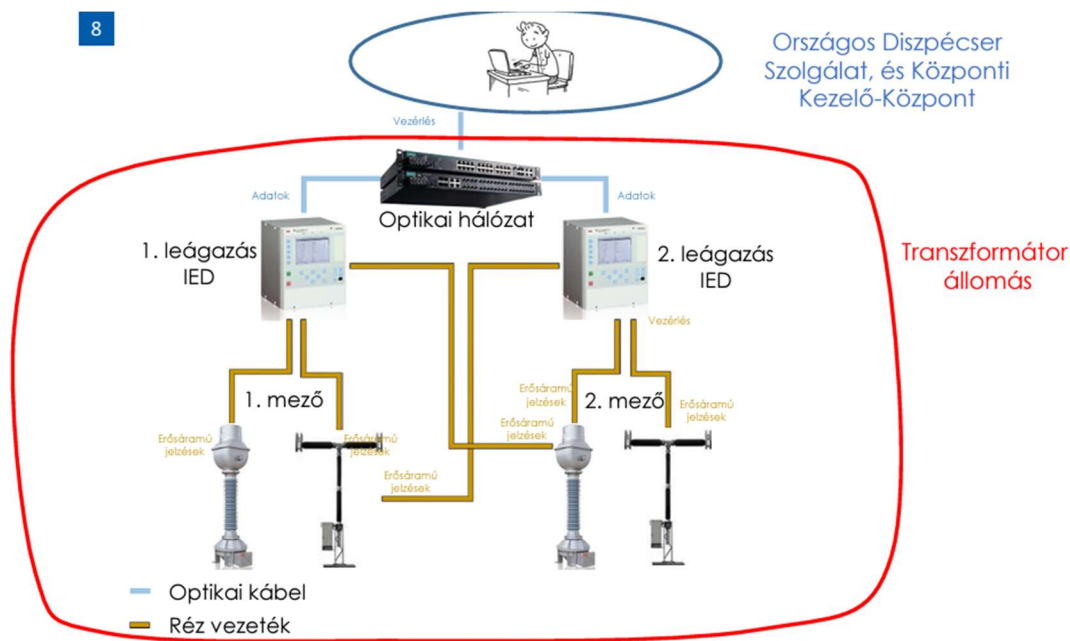
A védőrelé panelek tartalmazták az alállomás védőberendezéseit és vezérlőelemeit. Ezek a panelek foglalták magukba a különböző típusú relét és kapcsolókat, amelyek a rendszer biztonságos működését és védelmét szolgálták. A védőrelék érzékelték az áramkörök állapotát és reagáltak a hibás vagy kritikus helyzetekre. A hagyományos reléházas alállomások rendkívül megbízhatóan működtek, és hosszú ideig kielégítették az energiaipar igényeit. Azonban az elmúlt évtizedek technológiai fejlődése radikális változásokat hozott az ágazatban.

A modern digitális alállomások, amelyek a számítógépes technológiákra és az IEC 61850 szabványra támaszkodnak, az energiahatékonyság, megbízhatóság és távvezérlés terén nyújtanak előnyöket. Ezek az új fejlesztések az intelligens energiacelosztás és a korszerű vezérlés irányába mozdítják el a villamosenergia-ipart. A hagyományos és a digitális alállomások közötti átmenet pedig az energiaipar folyamatos fejlődésének és optimalizálásának egyik kritikus aspektusa.

3.2 Vezérlőrendszerek irányítása

A vezénylőtábla szekunderezés olyan rendszertervezési megközelítés, amely a vezénylőtábla vagy vezérlőrendszerek szekunder oldali áramkörön keresztül történő működtetését jelenti. Ez a megközelítés lehetővé teszi a vezérlőrendszerek főenergiarendszerrel való közvetlen fizikai kapcsolatának minimalizálását és egy másodlagos hálózaton keresztül történő irányítását. A szekunder oldali áramkör szekunderezésnek több előnye is van. Elsősorban növeli a biztonságot és a karbantartási hatékonyságot. A vezénylőtábla vagy vezérlőrendszer által végzett feladatok és vezérlési funkciók végrehajtása a szekunder oldalon keresztül történik, ami minimalizálja a személyzet fizikai hozzáférését a magasfeszültségű vezérlőberendezésekhez. Ezáltal a karbantartók biztonságosabban végezhetik munkájukat, és a rendszer kezelőinek nincs közvetlen kapcsolatuk a főenergiarendszerrel. Ezenkívül a vezénylőtábla szekunderezés lehetőséget biztosít a rendszer bővítésére és karbantartásra anélkül, hogy az egész rendszert le kellene kapcsolni. A különálló szekunder áramkörök révén az egyes alállomások vagy rendszereket önállóan lehet leállítani vagy módosítani, miközben a többi része tovább működik. Ez növeli a rugalmasságot és a hatékonyságot a rendszerüzemeltetés során.³

³ <https://www.uni-miskolc.hu/~elkborzo/13-vezenyllo-szekunderezes.pdf> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)



2. ábra: Hagyományos alállomási szerkezet felépítése

Forrás: Szedlák Róbert: A Teljes Digitális Alállomás megvalósíthatóságának vizsgálata a MAVIR ZRt. Alállomásain,

<https://magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/MESZ/2021/ea/2.1%20Szedlak.pdf> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Az alállomásokban található vezérlőrendszerek és kontroll-lehetőségek felelősek a villamosenergia-hálózatok hatékony és biztonságos működéséért. Ezek hatékonyságát a digitális megoldások nagyban megnövelték, és soha nem látott üzembiztonságot állítottak elő ezáltal. Ezek a rendszerek integrálják a különböző alárendelt eszközöket, mint például kapcsolók, transzformátorok, védőberendezések, és biztosítják a teljes rendszer koordinációját. Ezek az integrált automatikus rendszerek, mint a SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) és RTU-k (*Remote Terminal Units*), amelyek megfigyelik és vezérlik a távoli eszközöket.

3.3 SCADA rendszerirányítás

A villamosenergia iparban a SCADA rendszerek különösen fontos szerepet játszanak az energiafelügyeletben és az infrastruktúra hatékony irányításában, hiszen ezek a rendszerek átfogó megoldásokat nyújtanak az alállomások és hálózatok folyamatos monitorozásában, valamint azok távoli vezérlésében. A rendszer jelentősen hozzájárul a villamosenergia rendszer energiahatékonyaságában és annak rendelkezésre állásában. Az elsődleges szerepe a SCADA rendszereknek a valós idejű adatgyűjtés és monitorozás. Az alállomások és hálózatok különböző pontjain elhelyezett érzékelők és mérőberendezések által mért adatokat folyamatosan összegyűjtik, beleértve a feszültség- és frekvenciaértékeket, az áramfogyasztást, a kapcsolóállapotokat, valamint az egyéb mérési adatokat. Ezen adatok gyors és hatékony feldolgozása lehetővé teszi a SCADA rendszerek számára az energiaszolgáltatások és hálózatok dinamikus állapotának pontos és valós idejű áttekintését. Ezenkívül a SCADA rendszerek riasztásokat és értesítéseket is generálnak, amelyek azonnali figyelmet igénylő rendszereseményekre vagy rendellenességekre hívják fel a figyelmet. A SCADA rendszerek továbbá lehetővé teszik a távoli vezérlést, amely elengedhetetlen az alállomások és a hálózatok hatékony üzemeltetéséhez. Az automatizált vezérlési funkciók segítik az energiatermelés és -elosztás optimalizálását, a kapcsolók állapotainak változtatását és a rendszer reagálását a változó terhelési és környezeti feltételekre tekintettel. A SCADA rendszerek összekapcsolódnak az alállomásokban található RTU-k (*Remote Terminal Units*) és egyéb eszközökkel, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a folyamatokhoz és érzékelőkhöz. Az RTU-k lokális adatgyűjtést és vezérlést végeznek, minimalizálva ezzel a hálózati terhelést és lehetővé téve a gyors reakciót a kritikus helyzetekre. A SCADA rendszerek által biztosított átfogó adatgyűjtés, monitorozás és távoli vezérlés révén az energiaiparban hatékonyan kezelhetők az alállomások és a hálózatok, növelve a rendszerbiztonságot, a rugalmasságot és az energiatermelési hatékonyságot.

3.3.1 SCADA architektúra

0. szint

Ezen a szinten találhatóak a terepen kívül lévő eszközök, érzékelők, stb., amelyek a vizsgált folyamatokkal kapcsolatban, folyamatos adatokkal szolgálnak. Ezen kívül a terepi folyamatok vezérlésére szolgáló aktuátorok is ezen a szinten helyezkednek el.

1. szint

Ezt a szintet szokás vezérlési szintnek is nevezni, mivel olyan helyi vezérlők konfigurációját tartalmazza, mint az RTU-k és PLC-k, amelyek az előbbi terepi szint berendezéseihez csatlakoznak. Fogadják a 0.-ás szint érzékelői által szolgáltatott jelet és vezérlő jeleket szolgáltatnak a működtető eszközöknek.

2. szint

Itt történik az üzemfelügyelet, amely olyan helyi rendszereket tartalmaz, amelyek összegyűjtik és rendezik a vezérlési szintről érkező adatokat és parancsjeleket küldenek ezeknek a vezérlőknek a feladatok végrehajtásához.

3. szint

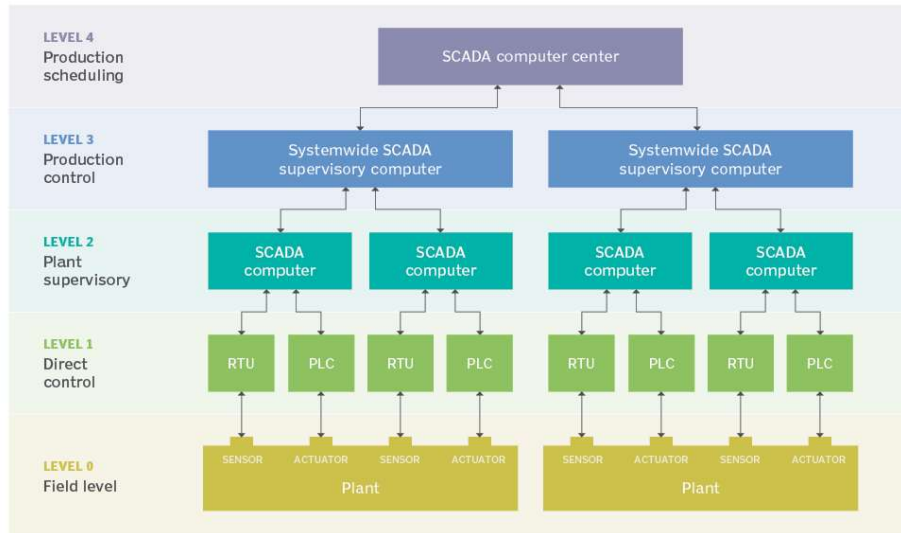
Termelésirányítási szint, olyan komplex rendszerszintű felügyeleti rendszer elemeket foglal magába, amely folyamatos on-line jelentéseket gyárt a következő magasabb ütemezési szintre, illetve más alállomásra, régióra vonatkozó riasztásokat adhat ki.

4. szint

Ezen a szinten a „termelés” ütemezési szint található, ahol egyben láthatók és közben konfigurálhatók az éppen végrehajtásban lévő folyamatok.⁴

⁴ <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Layers of the SCADA system architecture



3. ábra: A SCADA architektúra szintjei.

Forrás: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Emellett a vezérlőrendszerek, például a PLC-k (*Programmable Logic Controllers*), összekapcsolják az eszközöket egy egységes keretrendszerbe, lehetővé téve a rendszer egységes irányítását és optimalizálását. Ezek a rendszerek automatikusan vezérlik és optimalizálják a rendszer paramétereit, például a feszültség- és frekvencia szinteket, biztosítva ezzel a rendszer stabilitását.⁵

⁵ <https://scada-international.com/what-is-scada/> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

4. (TELJESEN) DIGITÁLIS ALÁLLOMÁS (TDA)

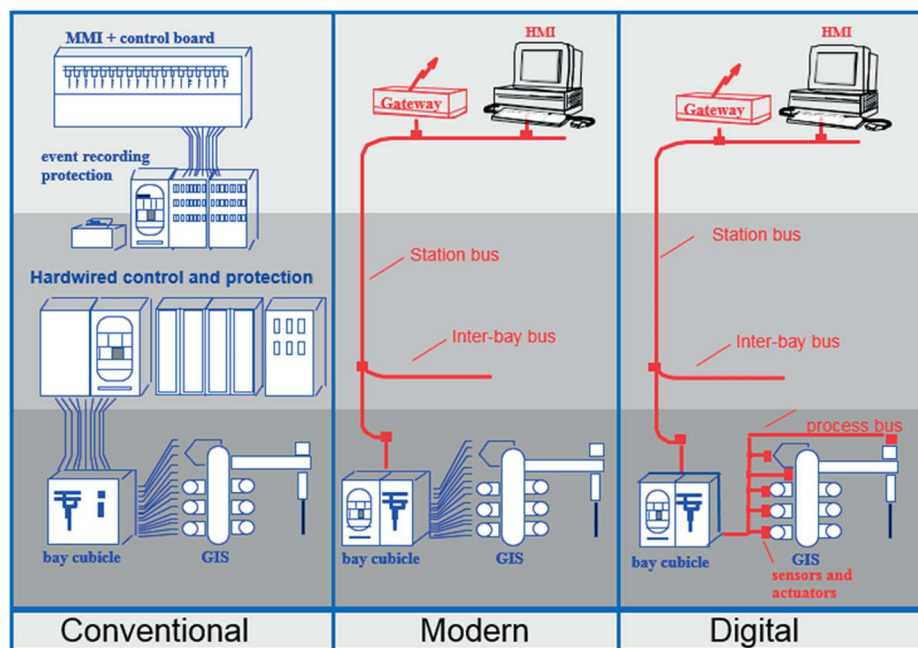
A teljes villamosenergiaátvitel szakági területre igaz, hogy a folytonos üzembiztos üzemvitel fenttartása a legfontosabb. Éppen ezért a régi, jól megszokott, bevált módszerek nagyságrendekkel lassabban változnak, ezen a területen, nem úgy, mint a távközlési iparágban. Azonban itt is szem előtt kell tartani, hogy a rendszerelemeknek energiahatékony, korszerű és egyszerű működésre van szükségük.

Az utóbbi időben a teljes villamosenergia-rendszer, legyen az bármelyik szakága, olyan mértékű változáson megy keresztül, amelyre a rendszer kialakulása óta nem volt példa. Gyors léptékű növekedés tapasztalható a megújuló energiaforrást felhasználó erőművek terén, amelyek erőforrástól függően, kiegyensúlyozatlan energiatermelést képesek szolgáltatni jellegükből adódóan. Az energiatermelés az eddig megszokott centralizált erőművi rendszertől eltérően, decentralizálttá vált, az energiatermelés számtalan termelőhely között oszlik el, hiszen szinte bárki, különösen a napelemes erőműveknek köszönhetően, termelővé válhat. Ezáltal az eddigi energiáramlási útvonalakat, ahol az áram csak egy irányú áramlásban volt megtalálható, felváltotta az egyszerre, egy időben több irányú áramok áramlása. Így került a hagyományos fogyasztó „egyik pillanatról a másikra” a hagyományos *consumer* szerepéből a *prosumer* szerepébe.

Az új tendenciák nem csupán az energiaátviteli rendszerben generálnak változásokat, hanem kihívásokat is vetnek fel annak működtetési módjában, amely miatt elengedhetlenné válik a kereslet és kínálat intelligensebb kezelése. Az új fejlesztések magasabb szintű, kommunikációs és felügyeleti vezérlési rendszereket tesznek szükségessé a villamosenergia termelése, átvitele, elosztása, tárolása és fogyasztása szempontjából, a teljes energetikai értéklánc mentén. Emellett olyan intelligens háttér technológia megléte is szükséges a villamosenergia-rendszerből, amely „okosabb” és komolyabb mértékben támaszkodik a digitális technológiák használatára.⁶

⁶ <https://www.villanylap.hu/hirek/4209-alallomasok-digitalisan> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Mára a digitális alállomások egyre elterjedtebb fogalomként vannak jelen a szakmai köztudatban, mégis az energiaiparban a használatuk meglehetősen ritka. A rendszer használatának dinamikusabb elterjedését olyan tényezők gátolják, mint az elavult rendszerelemek, szabályozások és a hazai konzervatív megközelítés, illetve korlátozott tudásmennyiség. Ezen tényezők lassan, de megfordulni látszanak és egyre nagyobb potenciált látnak a digitális alállomások által nyújtott szabályozási előnyökben, hiszen az állomáson elhelyezett érzékelők, azonnal valós idejű adatokat közvetít, amely megfelelően támogatja mind a távfelügyelet, mind a vezérlés munkáját. Ezek teljesülése, csak optimális digitális kommunikációs csatornákon történhet, amelyek együttesen járulnak hozzá a korszerű és jövedelmező áramellátó rendszerek üzemeltetéséhez.⁷



4. ábra: Múlt, jelen, jövő alállomás szerkezeti felépítése

Forrás: www.new.abb.com/substations/hu/digitalisallomasokatekintese (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

A régi típusú alállomási topológiákban a mezőgépek és a fejgépek a teljes rendszer kapcsolatát megteremtve, rézvezetéseken történik, amelyet eleinte az alállomás területén

⁷ <https://www.belden.com/Blogs/Industrial-Automation/2023/06/06/Explore-the-5-Main-Advantages-of-Digital-Substations> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

tartózkodó személyzet közvetlenül irányított, ahol a különböző áramút-kijelölő kapcsolások kerültek végrehajtásra. Ezt a IEC 61850-ös szabvány bevezetésével felváltotta az új alállomási kommunikációs hálózat, vagyis a *station bus* rendszer. Ennek köszönhetően lehetőség nyílt arra, hogy az alállomások kapcsolásai ne csak közvetlen, hanem közvetett módon, távolról történjenek és kerüljenek végrehajtásra, amely egy időben akár egyszerre, több alállomási kapcsolást is képessé vált elvégezni a kioktatott, szakképzett üzemirányító személyzet. Az irányítástechnikát lebonyolító eszközök és a védelmi berendezések között a kommunikáció Ethernet technológiájú lett, azonban még mindig a különböző terepi eszközök és a mezőgépek között a kommunikációs jelátvitel (mind a mai napig) rézvezetékeken történik.

Ezekre a berendezésekre épülnek rá a digitális alállomások, ahol a kommunikációs adatforgalom a *process bus*-on keresztül jön létre, amelyre az IEC 61850-9-2-es szabvány ad lehetőséget. Ennek köszönhetően az intelligens elektronikus eszközök, vagyis az IED-k, illetve a mérőváltók között, a hagyományos összeköttetésű pont-pont jellegű rézkábeles kommunikációt, a szabványosított, még biztonságosabb, optikai kommunikációs buszrendszerrel fel lehet váltani. Az új alállomás hálózati topológiának köszönhetően, gyorsabban és könnyebben lehetőség nyílik a valós idejű feszültség és árammérési jelek továbbítására, a *process bus*nak köszönhetően. Ezeket a jeleket nem a hagyományos mérőváltókkal méri a rendszer, hanem optikai mérőegységgel gyűjti a kívánt adatokat. Ezen szenzorok nagyon könnyen telepíthetőek és a nagyfeszültségű és nagyáramú jeleken pontos méréseket képes végezni. Az új optikai mérőszensorok a meglévő berendezésekkel könnyen együttműködnek, ezen felül ezek a mérők akár a megszakítóba is integrálhatóak, így akár egy teljes alállomási készüléksort ki lehet váltani. Ezáltal az alapozási munkákon költséget és időt spórolhat meg a felhasználó. A könnyen integrálhatóságnak köszönhetően hibrid kapcsolóberendezések jönnek létre, amelyek fő célja, hogy a készülékházba minél több megszakítási és szakaszolási lehetőség legyen beépítve. Például a középfeszültségű hálózaton (továbbiakban: KÖF) a kapcsolóberendezéseken, úgynevezett GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) táviratokkal történik a horizontális kommunikáció és az IEC 61850-9-2 szabvány

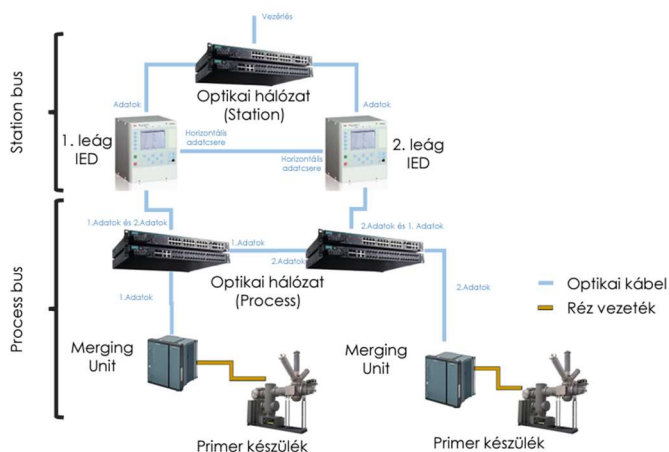
alapján mintavételezett analóg jelek is szintén csökkentik a réz huzalozási mennyiséget, illetve lerövidítik az üzembekérülési és tesztelési időket. Másik példa, a GIS kapcsolóberendezések és a nagyteljesítményű transzformátorok üzemállapotának folyamatos felügyeletét és valós idejű diagnosztikáját, szimulálását teszi lehetővé, amelyből könnyen lehet következtetni a különböző berendezések proaktív életciklusának kezelésére. A transzformátorok élettartamáról és pillanatnyi működési paramétereiről nagyon jó és megbízható információk nyerhetők a transzformátor olaj analizátorokon keresztül, amelyek az olajban lévő, különböző szennyeződések mennyiségéről és milyenségéről nyújt adatokat egy referencia állapothoz képest. Ezáltal könnyen lehet következtetni az előforduló problémákra.

Az adatgyűjtő és végrehajtó feladatok miatt két különálló hálózatot kell ezesetben kialakítani. Az egyik a valós idejű mérésekből származó, mért értékek továbbítására szolgál. A másik hálózati kör a berendezések közötti kommunikációs hálózat, amely a védelem működtetését irányítja. Ezen jelek hatására történik meg a védelmi berendezések megszólalása esetén, a valós kioldások végrehajtása.⁸

A villamosenergia-hálózat üzemeltetéséről beérkező adatokat szoftverek dolgozzák fel, amelyek a mai alállomásokban is megtalálhatóak. Viszont ezekből az új, nagyobb mennyiségű adatokból és készülékdiagnosztikákból, sokkal jobb és pontosabb működési modellek készíthetők, mindamellett, hogy jó közelítésű becsléseket lehet tenni a közeljövő üzemvitelével kapcsolatban. Ezeket a feldolgozott információkat az üzemirányító központok is fel tudják használni például a tehereloszlás meghatározására és saját üzemeltetésükre vonatkozóan. A napelemes erőművek elterjedése miatt még fontosabb az ilyen becslések és adatok megléte és felhasználása, hiszen olyan irányból is érkezhets villamosenergia a hálózatba, ahonnan az elmúlt időszakban csak fogyasztói energiavételezés történt. Az ilyen villamosenergia-rendszerbe „pluszba” betáplált

⁸ <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2017/december/4745-alallomasok-digitalizalasa> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

energiák miatt különösen fontos a megfelelő mérés technológia megléte, hogy az energiaszabályozás továbbra is megfelelően fennálljon. A rendszer olyan becsléseket is képes lehet elvégezni, a meteorológiai szolgálattal való összeköttetésnek köszönhetően, mint az adott régió időjárásának megfelelő energia betáplálási és vételezési görbék megalkotása. Hiszen egy téli napon, az adott régióba egy hidegfront betörése, arra enged következtetni, hogy megnövekszik a villamosenergia fogyasztás mértéke, így nagyobb energiára lesz szükség. De nem csak fogyasztási, hanem termelési oldalon is nagy segítséget nyújthat egy ilyen rendszer megléte, hiszen főleg a nyári időszakban egy tiszta napos időben a napelemből előállított energiák közel teljes teljesítménnyel képesek üzemelni. Azonban a fotovoltai rendszerek alig, vagy nem szabályozhatóak, így a hirtelen megtermelt nagy mennyiségű energiának, a rendszerüzemeltető szakembereknek megfelelő helyet kell biztosítaniuk a hálózatban, amelyre az utóbbi pár évben az energiaexport teremtett megfelelő lehetőséget. Ezekkel a lehetőségekkel a napelemből előállított energiák esetén könnyebben lehet konfigurálni a hálózatokat és el lehet kerülni az egyenetlen terhelési eloszlásokat. Azonban meg kell említeni azt, hogy ez Magyarországon jelenleg még nem aktív módszer, ez csak a digitális alállomások által kínált lehetőségek egyike.

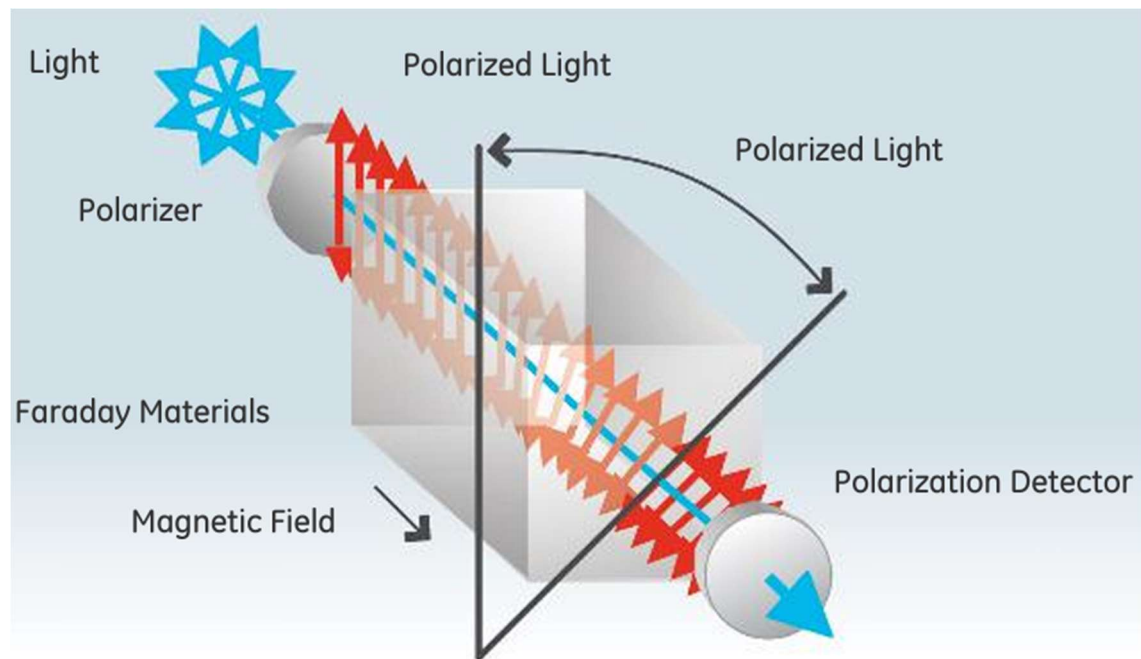


6. ábra: Teljesen Digitális Alállomás szerkezeti felépítése

Forrás: Szedlák Róbert: A Teljes Digitális Alállomás megvalósíthatóságának vizsgálata a MAVIR ZRt. Alállomásain,
<https://magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/MESZ/2021/ea/2.1%20Szedlak.pdf> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

4.1 Optikai szenzor

Az optikai szenzoros mérések világa, már az 1800-as évek közepétől ismert mérési lehetőség volt a tudomány területén, ugyanis Faraday már 1845-ben fölfedezte, hogy a mágneses tér a fényt képes „eltorzítani”. Az alállomáson végzett optikai méréseknél kihasználhatjuk azt a fizikai tulajdonságot, hogy a vezetőn átfolyó áram mágneses mezőt indukál. Ez a tér befolyásolja az aktív vezetőt körülvevő optikai szálon áthaladó polarizált fényben fáziseltolódást hoz létre. Ennek köszönhetően rendkívül nagy pontossággal és közvetlen lehetséges a nagy áramok és feszültségek mérése tág méréshatárok mellett.^{9 10}



5. ábra: Faraday-effektus

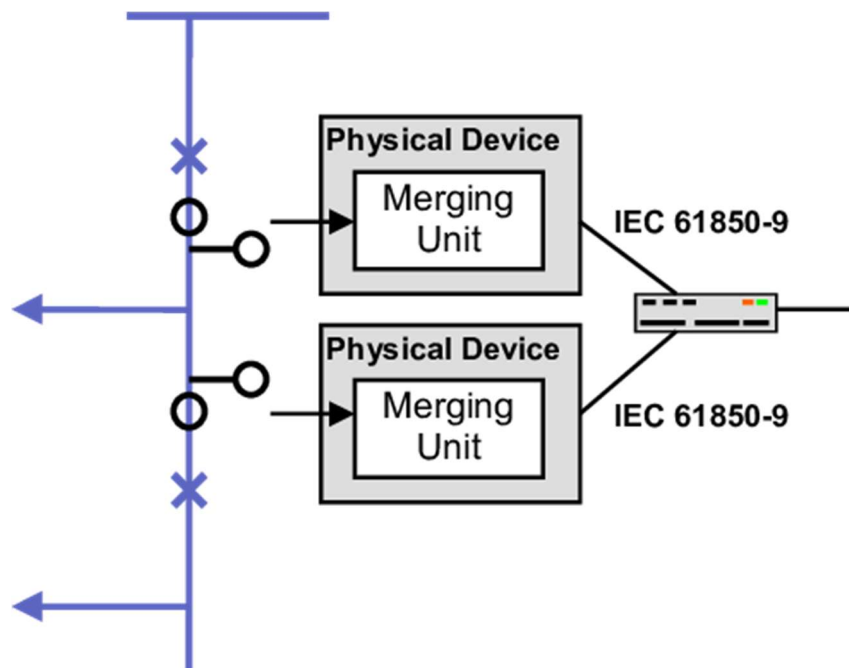
Forrás: https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/grid-ga-l3-cosi_ct-0907-2016_07-en.pdf
(letöltés dátuma: 2023.12.11.)

⁹ https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/grid-ga-l3-cosi_ct-0907-2016_07-en.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

¹⁰ https://www.villanylap.hu/hirek/3836-ermvektl-a-villamos-mozdonyokig--a-mav-alallomasainak-mkoedese?fbclid=IwAR0F1yxtwxddNj4jDVMARKxdJlvghn3kLzO7U_GRhaJ8XVqGYi_wCmOjUiA
(letöltés dátuma: 2023.12.13.)²

4.2 Merging Unit

A *Merging Unit* (röviden: MU) a process buss kulcseleme, mely egy olyan intelligens elektronikus berendezés az alállomáson belül, amely főleg a villamosenergia ipari elosztásában, a villamosenergia rendszer analóg mérőberendezéseiből (pl. áram- és feszültségtranszformátorok, vagy bináris információk) származó többcsatornás jeleket szinkronizált digitális formátumba alakítja át. A nagy pontosságú átalakított jel a vizsgált jel mintavételezett értékeiből (SV) és a GOOSE üzenetekből tevődnek össze, amelyek az IEC 61850 és az IEC 61869 szabványoknak eleget téve továbbítódnak, továbbá eleget téve a különböző eszközök standardizált és egységes kommunikációjának. A digitális adatok ezt követően kerülnek továbbításra az IEC 61850 szabvány szerinti intelligens elektronikai eszközök (IED) számára. Ezen keresztül a *Merging Unit* segít az analóg jelek átalakításában és digitális formátumba rendezésében, amelyeket ezt követően továbbítanak az energiarendszerben lévő intelligens alállomásoknak. Fontos, hogy a *Merging Unit* által szolgáltatott digitális jeleknek szinkronizálnak kell lenniük, hogy a különböző intelligens elektronikai eszközök, egyidejűleg megfelelő adatokat kapjanak. Ugyancsak fontos a különböző MU-kból kapott mintavételezett értékek szinkronizáltsága, hogy a védelmi gépegység minden jelzésre megfelelően tudjon reagálni, időtől függetlenül. Az MU-nak lehet külső idősinkronizálási lehetősége is, például IRIG-B, GPS vagy precíziós idősinkronizációs protokollja, úgy, mint a IEEE 1588/IEEE C37.238, amelyek segítségével minden egyes továbbított adatcsomag megkapja az időbélyeget. Ezeket az adatcsomagokat szabványos Ethernet kommunikációs kapcsolaton keresztül küldi a vezérlő IED-khez.



17. ábra: Merging Unit architektúra

Forrás: https://www.researchgate.net/figure/Individual-merging-unit-for-each-measuring-point_fig3_4078231

(letöltés dátuma: 2023.12.13.)

Az *Merging Unit* architektúrájában az első szint tartalmazza az analóg szűrőáramköröket, amelyek először feldolgozzák az analóg jeleket, hogy meghatározzák a bejövő jelek levágási frekvenciáját. A második szint tartalmazza az A/D-t az analóg jelek digitális formájú átalakításához. A harmadik szintben, a digitális jelfeldolgozó kapott helyet, amely a zaj eltávolítását és a jelek digitális szűrését végzi. A jel, miután áthaladt ezeken a feldolgozási blokkokon, bizonyos mértékű késést szenved el a fázishoz képest. Ez a késleltetés a szinkronizálási impulzussal kompenzálható. Ha a szinkronizáló impulzust nem használják, akkor a bejövő jel fázisában mindig lesz késés. A vizsgálni kívánt vizsgáló érzékelő egység és az MU közötti interfészt az optikai szálcsatlakozás biztosítja. Az MU optikai szálon keresztül is csatlakozik a folyamatbuszhoz. A redundancia a rendszer megbízhatósága érdekében biztosított.¹¹

¹¹ <https://www.linkedin.com/pulse/digital-substation-process-bus-part-2-5-merging-unit-mohamed-younis/> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

4.3 Digitális alállomások műszaki terjedelme

Egy digitális alállomás megvalósítása, az összes, eddig az alállomásra beépített releváns berendezés elemit és annak aspektusait érinti, hiszen szinte minden kommunikáció optikai szálon működik. A teljes primer oldali nagyfeszültségű (NAF) kapcsolóberendezést át kell építeni, legyen az gázszigetelésű (GIS), légszigetelésű (AIS), vagy vegyes hibrid szigetelésű (PASS) technológiájú berendezés. A feszültség- és áramváltókat (FV és ÁV), illetve a kapacitív megoldással működő feszültségváltókat (CVT) is érinti. Itt meg kell említeni, hogy a nem hagyományos mérőváltók (NCIT) teljes egésze a primer eszközökbe van integrálva, amely nagyban csökkenti a helyigényt, mindamelllett, hogy egyszerűbb tervezési metódust és szerelést tesz lehetővé. Költséghatékonyság szempontjából a meglévő CVT-ket *Stand Alone Merging Unit*-okhoz (röviden: SAMU), lehetne hozzacsatlakoztatni, így az analóg módon mért jeleket, már digitális módon a *ProcessBus*-ra lehet csatolni. Ezen kívül érinti még a KÖF kapcsolóberendezéseket, a teljesítménytranszformátorokat, az alállomáson belüli teljes kommunikációs rendszer újratervezését, illetve a távoli elérést biztosító hálózatvezérlési központok közti kommunikációt. Így a teljes alállomás vezérlése, védelme és felügyelete teljesen alállomási szinten automatizált rendszerré válik. Érinti még az eddigi tervezési sémákat, a megszokott kivitelezési tapasztalatokat, a tesztelési és üzembehelyezési metódusokat, illetve azt is, hogy a folyamatot követően az egész alállomás lényegesen kisebb területet foglal el, mint az eddigi megvalósult hagyományos alállomások.¹²

¹² www.new.abb.com/substations/hu (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

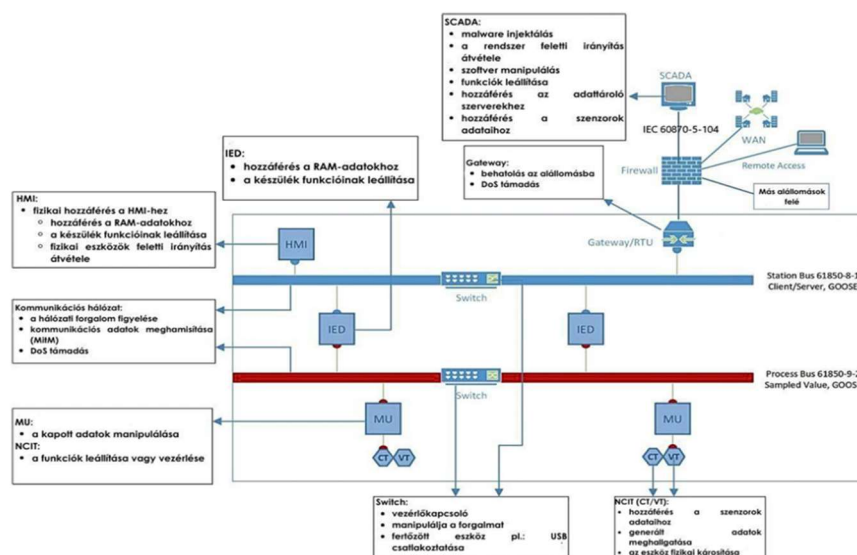
4.4 Kiberbiztonság a digitális alállomásokon

A kiberbiztonság kihívásai kiemelten fontosak a digitális alállomások tervezése és üzemeltetése során. Ezek az alállomások számos digitális és számítógépes technológiát alkalmaznak, amelyek a hálózatokon keresztül kommunikálnak és adatokat cserélnek. A digitális alállomásokat a kiberkörnyezetnek kitett kommunikációs csatornákon keresztül kezelik. Ennek eredményeként alapvető fontosságú a kommunikáció biztonságának megőrzése. A protokollok és a hálózati rendszereknek korszerűnek és ellenállóknak kell lenniük a különböző kiberfenyegetésekkel szemben. Az IEC 61850 szabvány, például, a digitális kommunikációs protokollt meghatározza, amely biztonsági rétegeket is tartalmaz a kibertámadások elhárítása érdekében. Az alállomásokat hatékony tűzfalakkal és *intrusion detection/prevention* rendszerekkel kell védeni. A tűzfalak, szabályok alapján szűrik a hálózati forgalmat, míg az *intrusion detection/prevention* rendszerek a hálózaton lévő káros tevékenységeket észlelik és megakadályozzák. Ezek a megoldások kulcsfontosságúak a jogosulatlan hozzáférés, a rosszindulatú szoftverek és a kiberkártévők elleni védekezésben. Az alállomások hozzáférési rendszereinek megfelelő hitelesítési és hozzáférés-ellenőrzési mechanizmusokkal kell rendelkezniük. A kétfaktoros hitelesítés, az erős jelszavak és a rendszerszintű hozzáférés-ellenőrzés biztosítják, hogy csak az autorizált személyzet férhessen hozzá a kritikus rendszerelemekhez. Éppen ezért különösen fontos az adatok kriptográfiával történő titkosítása és az elektronikus aláírások alkalmazása elengedhetetlen az adatintegritás megőrzése érdekében. A digitális alállomásokban további biztonsági rétegek bevezetése, mint például a hash-algoritmusok, csökkentik a kockázatokat adataink manipulációjával és azok épségének megőrzése érdekében.

A rendszeren belüli szoftverek és rendszerkomponensek rendszeres frissítése elengedhetetlen a kiberbiztonság fenntartásához. A biztonsági rések gyorsan kijavításra kerülnek az új frissítések és javítások révén. Azonban fontos figyelemmel kísérni a frissítések hatásait és biztosítani, hogy azok ne vezessenek be újabb biztonsági problémákat. Fontos, hogy az alállomásokat üzemeltető személyzetnek megfelelő

kiberbiztonsági képzésben kell részesülnie. A kiberbiztonsági tudatosság növelése, az incidensekre adott gyors reakció és a helyes eljárások alkalmazása mind hozzájárul a rendszerbiztonság javításához. Rendszeres biztonsági auditok és folyamatos rendszerfigyelés ugyancsak szükséges a digitális alállomásoknál. A biztonsági rendszer átfogó értékelése, a naplófájlok elemzése és a rendszeres biztonsági tesztek segítenek az esetleges gyenge pontok azonosításában és kezelésében.

A digitális alállomások kiberbiztonsági kérdéseinek hatékony kezelése alapvető fontosságú a rendszer biztonságos működésének és a kritikus infrastruktúra védelmének érdekében. A fent említett biztonsági intézkedések alkalmazása segít minimalizálni a kiberbiztonsági kockázatokat és hozzájárul egy ellenállóbb, megbízhatóbb energiaszolgáltatási rendszer kialakításához.¹³



8. ábra: Példa a rendszer elemeinek támadásaira

Forrás:

https://www.mec.hu/files/files/ssd2/2_kiss_adrienn_mee_vgy_teljesen_digitalis_alallomas_kiberbiztonsaga.pdf

(letöltés dátuma: 2023.12.13.)

¹³ Kiss Adrienn: TELJESEN DIGITÁLIS ALÁLLOMÁS (TDA) KIBERBIZTONSÁGA, Forrás: https://www.mec.hu/files/files/ssd2/2_kiss_adrienn_mee_vgy_teljesen_digitalis_alallomas_kiberbiztonsaga.pdf?fbclid=IwAR0Axc36YT92DqD_ONh97nZ8yvnvqhI1PILJbda4vQm42URM9f66Mqtcts (letöltés dátuma: 2023.12.14.)

Támadás	Hatás	Ellentevékenység
DoS támadás	Késleltetett irányítás, működési hiba	Az IED berendezések beállításainak biztonsági mentése, rate limit beállítása, virtuális LAN hálózat
Malware bejuttatása	Váratlan, akaratlan készülék működés, kioldás, vagy ezek meghíúsulása	Felhasználó általi engedélykérések és felügyelet, vírusirtó program használata, tiltott Pendrive használat
Üzenetsomag küldés késleltetés	Késnek az utasító vezérparancsok	Lezárt portok, védelmek hardeningje
GPS hamisítás	Szinkronizálatlanság	VLAN megléte, GPS érékek biztonsági mentése
MMS-GOOSE-SV üzenetek hamisítása	Váratlan, akaratlan készülék működés, kioldás, vagy ezek meghíúsulása	Hitelesített üzenetek
Port szkennelés; hálózatfigyelés; lehallgatás	Konfigurált objektumadatok eltulajdonítása	Titkosítás
Interneten keresztüli behatolás a vállalati hálózatba	Az alállomás helyi hálózatába való behatolás és információtorzítási lehetőség	Megfelelő konfiguráció használata hálózati operációs rendszerből és biztonsági berendezésekből.
HMI –re (ember-gép felület vagy kezelői felület) –gyakorolt hatás	Sikeres HMI támadás esetén szinte korlátlan lehetőség biztosított	Tűzfal helyes működése, szigorú hálózathozzáférési szabályok.

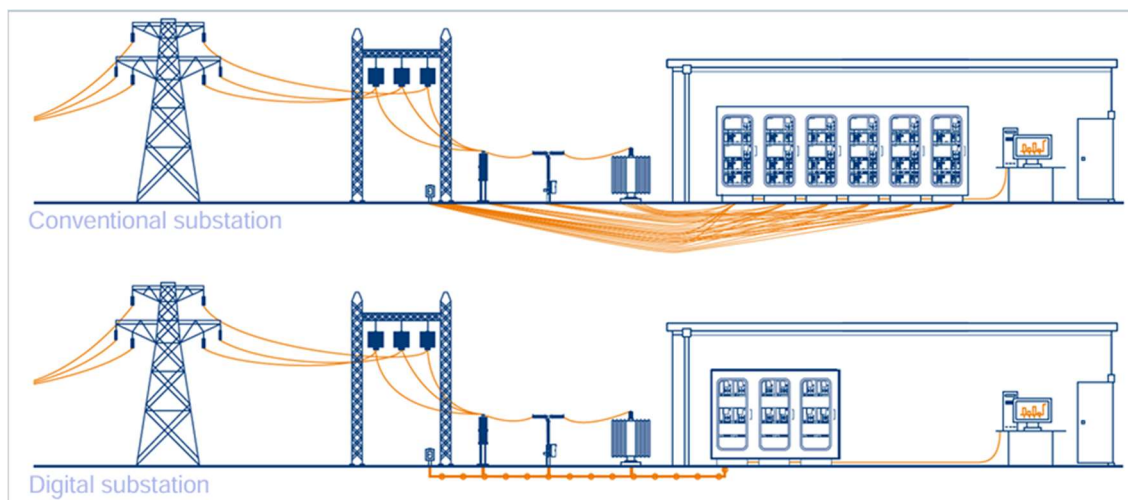
1. táblázat: Kiberbiztonsági problémákra problémajavaslat (saját szerkesztésű)¹⁴

4.5 Érvék a Digitális alállomások mellett

4.5.1 Telepítési költség

A hagyományosnak mondható alállomások telepítése tervezési oldalról hatalmas tervezési kapacitást igényel, már csak a kábelek nyomvonalának meghatározása szempontjából is, emellett hatalmas földmunkával és rengeteg kábelfektetési munkával jár. Emiatt érdemes átgondolni, hogy hogyan lehetne, ezen költségeket optimalizálni és észszerűen csökkenteni.

Egy alállomáson a végpontok között (vezérlőterem és elosztórendszer között), akár több kilométer távolság is lehetséges. Ennek következtében könnyű belátni, hogy a kábelnyomvonal hossza is sok kilométer nagysággal bír, főként azt figyelembe véve, hogy pont-pont kommunikációs összeköttetés valósul meg a berendezések (például: megszakítók, áramváltók, feszültségtranszformátorok és védelmi relék) között. Az alállomások fokozatos fejlesztését főleg a világban végbemenő digitális fejlődési lehetőségek motiválják, amelyeket elsősorban az IEC 61850-ös szabványprotokoll egyre népszerűbb terjedése könnyít meg. Ez a modernizáció nemcsak az állomásbuszok igénybevételét jelenti, hanem ezzel párhuzamosan a folyamatbuszok integrálását is. Ezen eszközök a létfontosságú adatokat azonnal a vezérlőterembe irányítják, ahol az IED-k, vagyis intelligens elektronikus eszközök azt feldolgozzák. Az adatátvitel különlegessége, hogy az adatátviteli csatorna egy optikai szál alapú Ethernet hálózat, amely egyszerre az energiaátviteli rendszert és az elosztórendszert is digitálisan üzemelteti. Ez a lehetőség nagyban megkönnyíti az alállomási infrastruktúra tervezését és kivitelezését, hiszen hatalmas mértékben csökkenti az összeköttetés meglétéhez szükséges rézkábelek mennyiségét, amely egy átlagos alállomás méreteit alapul véve, nagyjából 30 km hosszúságú vezérlő rézkábel mennyiséget jelent az új optikai szállal szemben, amely nagyjából csak 1,5 km hosszúságú lenne egy egyenértékű feladat esetén.



2. ábra Hagyományos és "digitális" kábelezés az alállomáson

Forrás: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/jjts-2017/presentaciones-peru/%28thiago-lopez%29-subestaciones-digitales---bus-de-proceso.pdf?sfvrsn=2> (letöltés dátuma: 2023.12.13.)

A jelkábelek számának csökkenésén kívül a teljes létesítmény helyigényének csökkenését is el lehet érni a digitális alállomásokkal, hiszen egy berendezés is képes lehet ellátni mindazon funkciókat, amelyeket az előző generációs eszközök végeztek. Ilyen lehetőség például a légszigetelésű kapcsolóberendezésre épülő alállomás (AIS), ahol a teljes árammérő transzformátor egy kompakt optikai áramszenzorra váltható ki, amelynek köszönhetően a Life Tank típusú megszakítóban akár földelési és szakaszolási funkciókat is ki lehet alakítani. Ilyen esetben a AIS kialakítású alállomás, a hagyományos kialakításhoz képest, a térbeli kompaktságának köszönhetően, akár 40%-kal kisebb helyre letelepíthető.¹⁵

4.5.2 Biztonságosabb munkavégzés

Jelentősen meg tudják növelni a biztonsági tényezőket a digitális alállomások használata, hiszen a hagyományos alállomási szerkezethez képes, csökkenteni lehet az elektromos hálózathoz adódó áramütéses balesetek számát. Az ilyen alállomásokon, ahol

¹⁵

https://library.e.abb.com/public/60353dfb50bd4d3d8e0fceb8f1d4c29/ABB%20Digital%20Substation_9_AKK107045A8458_180112.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

hagyományos réz vezetékekkel történik a kapcsolótelepekről a jelek továbbítása, egészen a központi vezérlőterembe, ott sokkal magasabb biztonsági kockázatot jelent a szerelő személyzet számára, mint egy digitális állomáson.

A rendszert kezelő, illetve karbantartó személyzet munkabiztonsága nagyban javul, hiszen szinte teljesen elhanyagolhatóak a jól megszokott CVT-ken (kapacitív feszültségváltókon) elhelyezett, meglazult jelkábel bekötések, amelyek a készülék működése vagy éppen karbantartása során áramütéssel veszélyeztetné a munkafolyamat közben, a szerelő személyzetet. A biztonságot a KÖF (középfeszültségű) hálózati cellába beépített ultragyors működésű földelőkapcsolók beépítése is emeli.

Ezekben az új típusú alállomásokban a hagyományos áram- és feszültségtranszformátorokat alacsony teljesítményű műszertranszformátorokra, vagyis LPIT-ekre cserélik, amelyeknek legfőbb előnye a pontosság, megbízhatóság és a magasfokú biztonsági tényező. Ezen transzformátorok nem rendelkeznek hagyományos áram és feszültség kimenetekkel, szemben a hagyományos rendszerelemekkel, hanem a mért áram és feszültség értékeket mindig egy teljesen diszkrét digitális mérőre továbbítják. Ennek köszönhetően jelentős előnye a rendszernek, hogy teljes egészében megszűnnek a nagyfeszültségű berendezések, illetve a védelmi- és vezérlőrendszerek közötti elektromos kapcsolatok, illetve a be- és kimeneti csatlakozási portok minimálisra csökkenthetők. A lehetséges kockázatok csökkentésével a digitális alállomások hozzájárulhatnak a veszélyes munkakörnyezetekkel kapcsolatos munkaerőköltségek csökkentéséhez.¹⁶

16

https://library.e.abb.com/public/60353dfb50bd4d3d8e0fcefb8f1d4c29/ABB%20Digital%20Substation_9AKK107045A8458_180112.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

4.5.3 Vezénylőszobák átalakítása mikroadatközpontokká

Az informatika világa mára már elengedhetetlen, hogy a villamosenergia termelésétől kezdve egészen az átviteli hálózaton keresztül az energiaszolgáltatásig részese legyen a teljes nyomonkövetési és irányítási folyamatoknak. Ennek köszönhetően a digitális alállomási vezérlőtermek mikroadatközpontokká alakulnak át, amelyek különálló szerveregységekkel, tárhelyekkel, külön privát hálózattal, különálló tápellátással, hűtési rendszerrel és egyéb más infrastruktúrával rendelkeznek. A rendszer kialakításánál külön követelmény, hogy mindenből egyidejűleg legalább két eszköz legyen beépítve, hiszen ügyelni kell a folyamatos üzembiztonságú üzemre. Az átalakulás segíteni tud a relatív gyorsan változó energiahálózaton történő napelemes erőművek telepítéséből adódó termelési kapacitás növekedésének optimális elosztásában, hiszen ezen központokat gyorsabban, kisebb költségből lehet kiépíteni és üzemeltetni. Azáltal, hogy az élvonalbeli számítástechnikát a valós világhoz és az adatforrásokhoz közelebb viszi, ez lehetővé teszi a vezérlőszobák számára, hogy támogassák a gyorsabb telepítést és a még gyorsabb és stabilabb működést.¹⁷

4.5.4 Könnyebb karbantartás

Mivel az alállomási vezérlőtermekben megtalálható berendezések (védelmi berendezések, vezérlőpanelek) élettartama, az amortizációs és elavulási tényezőket is beleszámolva, átlagosan 10-15 év között van, ezen idő leteltét követően a rendszert korszerűsíteni szükséges, amely alkalmat teremt részlegesen vagy akár teljesen, a berendezések cseréjére és a teljeskörű távfelügyelet és távkezelés lehetőségének kiépítésére. Ennek köszönhetően az üzemvitelen kívüli kimaradási idők jelentősen csökkennek, továbbá a karbantartó személyzet létszámának csökkenésével is, hiszen csökken a balesetek kockázata és száma is. Emellett kevesebb eszköz csatlakozik a

¹⁷

https://library.e.abb.com/public/60353dfb50bd4d3d8e0fcef8f1d4c29/ABB%20Digital%20Substation_9AKK107045A8458_180112.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

hálózathoz, valamint a karbantartási dokumentáció digitális formában és könnyen hozzáférhetővé válik. A digitális alállomások egyszerű és nyitott architektúrája a jövőbeni bővítést is könnyebbé, gyorsabbá és költséghatékonyabbá teszi. Nagy előnye, hogy az alállomásra telepített eszközökről képes aktív, valós idejű monitoringot szolgáltatni és diagnosztikai adatokat továbbítani, így az új berendezést kezelő rendszerek nagyobb termelékenységgel képesek feladatukat ellátni, mint elődjeik. Ezáltal a szerviztevékenységek hatékonysága is növekszik, a szervizidő csökken.¹⁸

4.5.5 Valós idejű adatok

Az IEC 61850-ös szabvány szerinti alállomás struktúrájának köszönhetően, sokkal több adatot és átfogóbb képet kaphatunk az éppen végbemenő folyamatokról, amely megkönnyíti a rendszerirányítók döntésképeségét és egyben lehetőséget ad a gép automatikus beavatkozásának, illetve a jövőben a mesterséges intelligencia alkalmazásának. Ezt a rugalmasságot a szabványosításhoz választott közös adatmodell nyelve biztosítja, amely az SCL-en alapul. Ennek a valós idejű adattovábbításnak, felhasználásnak és vizualizációnak köszönhetően, sokkal hatékonyabb lehetőséget biztosít a hálózat stabilitásának szabályozására, így azonnal reagálni tudnak a nem várt hálózati állapotokra.¹⁹ A digitális alállomások által létrejövő előnyök teljes egészét csak akkor lehet kiaknázni, ha a létesítmény tervezésénél és kivitelezése közben észszerűen és feladat-specifikusan van kiválasztva. Hiszen az így megvalósított létesítmény és az azt magába foglaló berendezések, sokkal jobb kihasználtsági hatásfokkal üzemelnek és az automatizálást, illetve állomásvezérlést végző szakemberek közötti szinergia is javul, így jelentősen javulhat a termelékenység.²⁰

18

https://library.e.abb.com/public/60353dfb50bd4d3d8e0fceb8f1d4c29/ABB%20Digital%20Substation_9_AKK107045A8458_180112.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

¹⁹ <https://www.belden.com/Blogs/Industrial-Automation/2023/06/06/Explore-the-5-Main-Advantages-of-Digital-Substations> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

²⁰ www.new.abb.com/substations/hu (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

5. IEC 61850 SZABVÁNY

Az 1990-es évek elején az Egyesült Államokbeli Electric Power Research Institute (röviden: EPRI) megkezdte a *Utility Communications Architecture* (továbbiakban: UCA) kidolgozását. A cél az volt, hogy iparági konszenzus alakuljon ki az alállomások integrált vezérlésével, védelmével és adatgyűjtésével kapcsolatban, hogy lehetővé tegye a különböző gyártók alállomási eszközeinek együttműködését. Az UCA2 előállítására kidolgozott munka megmutatta, hogy lehetséges a valódi interoperabilitás. Az UCA2-t az IEC TC57 vitte tovább²¹, ezáltal az IEC 61850 egy olyan nemzetközi szabványsorozat, amelyet az *International Electrotechnical Commission* (röviden: IEC) hozott létre a villamosenergia-ipari automatizációs rendszerekhez. A szabvány az intelligens alállomások és hálózatok tervezéséhez, üzemeltetéséhez és karbantartásához nyújt iránymutatást. Az IEC 61850 kifejezetten az villamosenergia ipari kommunikációs rendszerekre helyezi a hangsúlyt és fő feladata a különböző ipari gyártók által gyártott berendezések interoperabilitásának biztosítása. A szabványsorozat olyan pontokat határoz meg, mint az adatmodell, a kommunikációs protokollok, és a konfigurációs eljárások, amelyek lehetővé teszik az intelligens alállomások és berendezések közötti szabványos és hatékony kommunikációt. A szabvány számos lehetőséget kínál, például a csökkentett integrációs nehézségek feladatainak megoldására, megnövelt rendszer rugalmasságra, valamint egységes és nyitott kommunikációt biztosít a különböző eszközök és rendszerek számára.

Az IEC 61850 számos részből és alszabványból áll, amelyek különböző aspektusokat fednek le. A következőkben a teljesség igénye nélkül kerülnek bemutatásra az IEC 61850-7-1 és az IEC 61850-8-1 szabvány főbb részletei, mivel ezek létfontosságú részegységeit képezik a szabványsorozatnak:

²¹ <https://electrical-engineering-portal.com/digital-substation#osi-model> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

5.1.1 IEC 61850-7-1: Adatmodell és objektumok

A szabványnak ezen része foglalkozik az IEC 61850 adatmodelljével, amelyeket az intelligens alállomásokban használnak. Az adatmodell egységes keretrendszert biztosít az eszközök közötti adatinformáció áramlásához és az objektumok a rendszer különböző részeinek, például védelmi berendezések, mérőeszközök, kapcsolók, stb. reprezentációit jelölik.

Adatmodell:

Az adatmodell az intelligens elektronikai eszközök által használt információkat és az azok között lévő kapcsolatokat határozza meg. Az adatok strukturált formában találhatók meg az adatmodellben és ezek az információk például a mérőállapotok, védelmi berendezések állapota, vagy egyéb rendszerparaméterek lehetnek.

Objektumok:

Az objektumok az adatmodellek konkrét megvalósításai az IED-kben. Például egy objektum lehet egy konkrét mérőberendezés, kapcsoló vagy védőberendezés. Minden objektumoknak van egy egyedi azonosítója (*Common Data Class*) és egyedi attribútumai (*Common Data Attribute*).

IED (Intelligent Electronic Device):

Az IED az intelligens alállomásokban használt eszköz, amely rendelkezik feldolgozási kapacitással, kommunikációs képességekkel és számos be- és kimenettel. Az IEC 61850-7-1 részletesen meghatározza az IED-kre vonatkozó információkat és azok attribútumait.

Common Data Classes:

Az adatmodellek hierarchikus szerkezetet alkotnak, és az egyes szinteken elhelyezkedő adatokat különböző "*Common Data Classes*" csoportokba sorolják. Ezek segítik az információk szervezését és könnyű kezelhetőségét.

Logical Nodes:

A szabvány definiál olyan logikai egységeket (*Logical Nodes*), amelyek egy vagy több *Common Data Class*-t tartalmaznak. Ezek az egységek specifikus funkciókat látnak el, mint például védelmi eszköz vagy mérőállomás.

Az IEC 61850-7-1 szabvány tehát az intelligens alállomások és hálózatok adatmodelljének és objektumstruktúrájának standardizált keretrendszerét biztosítja. Ez elősegíti az eszközök közötti egységes és hatékony kommunikációt, valamint hozzájárul a rendszerek skálázhatóságához az energiaszektorban.

5.1.2 IEC 61850-8-1: Alállomási automatizálás és vezérlés kommunikációja

Ez a szabvány az alállomási szinten történő kommunikációra összpontosít, különösen nagy hangsúlyt fektetve az alállomási automatizálásra és azok vezérlésére. Részletesen meghatározza az adatüzenet közlés és vezérlés módját az alállomási eszközök között, lehetővé téve az intelligens alállomások szorosabb integrációját és hatékonyabb működését.

Vezérlési funkciók:

Az IEC 61850-8-1 részletesen leírja az alállomásokban lévő intelligens elektronikai eszközök közötti vezérlési funkciókat. Ez magában foglalja a logikai vezérlést, a szelektív kapcsolási műveleteket, a vészleállításokat és egyéb vezérlési tevékenységeket.

Vezérlő-IED és automatika-IED kommunikáció:

Az IEC 61850-8-1 részletesen meghatározza, hogyan kell kialakítani a kommunikációt a vezérlő-IED (*Control IED*) és az automatika-IED (*Automatika Intelligent Electronic Device*) között. Ez a kommunikáció lehetővé teszi az intelligens eszközök közötti összehangolt működést a vezérlés és az automatizálás szempontjából.

Operációs számlálók és időbélyegek:

A szabvány részletezi az operációs számlálók és időbélyegek használatát az alállomásokban. Ezek az információk segítenek az események időbeli koordinációjában és a rendszer eseményeinek pontos rögzítésében.

Vezérlő-IED vezérlőkapcsolata:

Az IEC 61850-8-1 definiálja a vezérlő-IED és a vezérlőkapcsolat (*Control Connection*) működését és konfigurációját. Ez a kapcsolat lehetővé teszi az intelligens elektronikai eszközök közötti közvetlen vezérlést.

Kapcsolási folyamatok és vezérlési műveletek:

A szabvány részletesen leírja a kapcsolási folyamatokat és a vezérlési műveleteket, beleértve azok konfigurációját, vezérlését és monitorozását is.

Az IEC 61850-8-1 szabvány célja tehát a vezérlés és az automatizálás hatékony és standardizált kommunikációjának elősegítése az intelligens alállomásokban. Ezáltal hozzájárul a rendszerek egységesítéséhez és az alállomások magasabb szintű automatizálásához az elektromos energia-iparban.

5.1.3 IEC 61850-9-2, avagy Process bus

Az IEC 61850-9-2-es szabványrészlet az analóg mintavételezett jelek széleskörű továbbításáról Ethernet hálózaton keresztül digitális formában szól. A szabvány bizonyos értékekre nem alkalmaz pontos előírást, így ezek szabadon konfigurálhatóak a célfeladatnak megfelelően (erre külön leírást készített az IEC). Ilyen érték a jelek mintavételezésének gyakorisága. Például a fogyasztásmérések mintavételi gyakoriságának a szabvány 80 db mintavételi értéket szab meg minden egyes periódusban, míg a különböző energiaminőségi mutatókra 256 db mintavételt ír elő, periódusonként. Viszont nem minden érték szabadon konfigurálható, ez a termékadatlapon is jól látható, hiszen, ha az (3F I+I0, érték, minőség, 3F U+U0 érték, minőség) értékek is szabadon beállíthatók lennének, akkor inkompatibilitás is felléphet a rendszer tesztelése során. Másik fontos érték az időszinkron meghatározása, hiszen az

eddiggi hagyományos szinkronizálási időalap teljes villamosenergia rendszerben milliszekundum pontosságú volt. Ez az érték viszont a digitális mérések alatt nagy bizonytalanságot jelentett. Ennek köszönhetően akár egy különbözeti védelem is hibás kioldási parancsot adhatna ki, mivel akkora különbözetet érzékelne a berendezés ugyan abban a mért értékben. Emiatt bevezetésre került, az 1 pps (*optical puls per second*) alapú időszinkronizálás, amely mikroszekundumos pontosságot jelent a mért értékek időbélyegzésénél.²²

²² <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2017/december/4745-alallomasok-digitalizalasa> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

6. GOOSE TÁVIRATOK

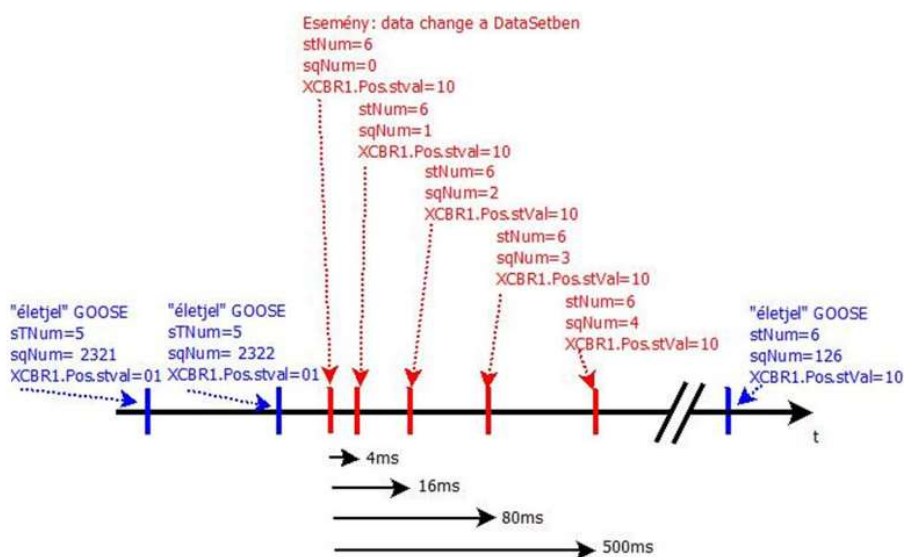
A GOOSE üzenet (*Generic Object Oriented Substation Event*) egy olyan, az alállomás állapotát lényegesen befolyásoló időkritikus adatok kommunikálására alkalmas üzenetformátum, amelynek címzettje egy, vagy akár több berendezés is lehet. Az információtovábbítás egy Ethernet alapú rendszeren keresztül történik, amely gyors feldolgozást tesz lehetővé, ezáltal az IED-k között megvalósítható a gyors információáramlás. Ilyen eszköz lehet például az alállomásban lévő megszakítók állapotjelzés változását jelző állásjelző, vagy éppen a reteszfeltételek, TRIP jelzés.

Egy berendezés üzembehelyezésének vagy éppen karbantartásának egyik legfontosabb vizsgálati feladata, az, hogy le legyen ellenőrizve az alállomáson az IED-k közötti tökéletesen működő hibamentes GOOSE távirat üzenetek, az összekötő buszhálózaton. A feladat összetett, mivel több tényezőtől is függ. Először is meg kell vizsgálni, hogy a teljes alállomáson megfelelő minőségű a kommunikáció. Ezután lehet áttérni az IED-k vizsgálatára és a kapcsolóberendezések ellenőrzésére. Ha az ellenőrzés során mindegyik tényező megfelelő értéket adott vissza, akkor megállapítható, hogy a résztvevők közötti kábelezés is megfelelő minőségű. A GOOSE üzenetsomagban lévő információ tartalom szinte bármi lehet, a küldő adatmodellétől függően, amelyek úgynevezett *DataSet*-be vannak rendezve. A rendszer különlegessége, hogy az üzenetküldési mechanizmus teljesen kapcsolatmentes. Ez azt feltételezi, hogy a kiadott üzenetsomag nem fog eljutni az egy vagy több fogadóhoz (*multicast* üzenet).

A *multicast* üzenetküldés azt jelenti, hogy az üzenet egy olyan adatcsomag, amelyet egyetlen feladó küld el, azonban több címzett (vagy csoport) fogadja. A *multicast* üzenetek a kommunikációs hálózatokban hatékonyan terjeszthetők, mivel a rendszer nem küldi külön-külön az üzenetet minden címzettnek, hanem csak azoknak, akik a *multicast* csoport tagjai. Egy *multicast* csoportba tartozó eszközök, vagy címzettek, speciális *multicast* címeket használnak, amelyek egy adott tartományban vannak kijelölve. A *multicast* csoport tagjai egy csoporton belüli egyedi címet rendelnek a hálózati interfészükhöz és amikor egy *multicast* üzenetet küldenek, csak azok a címzettek

fogadják el, akik ezt a *multicast* címet használják. Viszont ennek a rendszernek hátránya is van, mégpedig az, hogy a LAN hálózat teljes egészén, szűrés nélkül terjed az üzenet, vagyis ahhoz az eszközhöz is eljut az üzenet, amelynek nincs feladata azzal. Másik hátránya, hogy szinte „lavinaeffektus” idézhető elő a kommunikációs hálózaton, ha egy berendezés státusz értéke megváltozik. Ez olyan következményeket von maga után, mint a felesleges teher a kommunikációs hálózaton, *switchek* használatánál késedelmes üzenettovábbítás, eldobott, nem dekódolt üzenetsomagok, vagy éppen a kommunikációs sávszélesség lecsökkenése.

A kapcsolatmentes üzenetküldés miatt az első üzenet elküldése után a rendszer az üzenet küldését újból megismétli, majd ennek gyakoriságát exponenciális növekvő szünetekkel megismétli, egészen addig míg el nem éri újból a nyugalmi állapotot. Alapból egy „életjel” információ fut a csatornákon. Ez jelenti azt, hogy a készülék nyugalmi helyzetben van, vagyis üzenetként inkrementálva ez azt jelenti, hogy $StNum=n$, $SeqNum=m$. Ha változás történik a *DataSet*-ben, akkor az üzenet megváltozik és $StNum=n+1$, $SeqNum=0$ -ra vált.



10. ábra: GOOSE üzenetküldés mechanizmusa

Forrás: <https://docplayer.hu/31653045-Goose-uzenetkuldes-korszeru-alallomasokban-cloadas-rozsagabor.html>

(letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Külön követelmény a GOOSE üzenettel kapcsolatban, hogy a definiált átviteli idő 4 milliszekundum legyen. Ezt az IEC 61850-5 szabvány alapján, az 1A TRIP jelzés kategóriába való besorolás mondja ki. Az átviteli idő ebben az esetben azt jelenti, hogy a GOOSE üzenet formázási és küldési ideje az adónál, az üzenet átviteli kommunikációs hálózattól eredendő késési idő, illetve a GOOSE üzenet dekódolásának ideje a fogadónál összegezve. A kommunikációs hálózattal szemben külön követelmény, hogy megfelelően, hatékonyan történhessen a GOOSE üzenetek továbbítása, hogy redundáns Ethernet LAN hálózat legyen kialakítva. Olyan hálózatot kell kialakítani, amely „öngyógyító” gyűrűs topológiájú, amely például egy RSTP hiba esetén pár milliszekundumos helyreállítási idő után újra üzemképes, vagy éppen az „akadásmentes” *seamless* hálózati topológia használata, mint a HSR (*High Availability Seamless Redundancy*) vagy a PRP (*Paralell Redundancy Protocol*).

A GOOSE üzenetek előnyének mondható, hogy a régebbi, hagyományos megoldásokhoz képest, nagyságrendekkel nagyobb teljesítménnyel bírjon, hiszen sokkal több információ nyerhető ki az üzenetsomagokból, annak ellenére, hogy lényegesen csökkenteni lehet vele a kábelezési költségeket. Mindemellett sokkal flexibilisebbé válik a rendszer, hiszen könnyen létre lehet hozni, vagy akár megváltoztatni különböző logikai funkciók beállítását, annak ellenére, hogy új kapcsolat létrehozása fizikai átkábelezést, módosítást nem igényel. A GOOSE üzenetek segítenek optimalizálni az intelligens alállomásokban történő kommunikációt, különösen olyan rendszerek esetén, ahol az események rendkívül gyors észlelése és megosztása elengedhetetlen a megbízható és biztonságos működéshez. Ez köszönhető annak is, hogy a résztvevők között folyamatos az információáramlás.

A fentiekkel szemben, hátránya a rendszernek a hagyományos rézkábeles megoldási technológiához képest, hogy bonyolultabb hálózati topológiát követel, amelynek szervizeléséhez, módosításához, magasan szakképzett szakember szükséges. Másik negatívuma, hogy az eddig alacsony költségű informatikai hálózat helyett, egy komolyabb minőségű, nagyobb beruházást igénylő rendszer megléte szükséges.

A GOOSE üzenetek ellenőrzése igen nehéz feladat a magas fokú titkosítási eljárásoknak köszönhetően. Az ellenőrzéshez viszont a teljes konkrét üzenet tartalmát látni szükséges, úgy, mint az üzenet küldési idejét és annak forrását, állapotjelzését stb., amelyek nehezen hozzáférhető adatok. Az ellenőrző eszköznek ezeket az üzenetkódrészleteket képesnek kell lennie külön csoportosítani és azokat külön névvel, akár színkóddal ellátni, hogy azt az ellenőrző személynek könnyebb legyen kiolvasni és megérteni. Így könnyebben elkerülhetőek a kódértelmezési problémák is. Ezek ellenőrzésére vagy egy beépített célszoftver képes, vagy pedig egy külsőleg csatlakoztatott céleszköz. Bármelyik megvalósítás esetében, használat közben egyből látni lehet az összes *DataSet* távirat referenciakódját. A színkódjelölés alapján, ha fehér színű akkor abban a vizsgált pillanatban került kiküldésre a GOOSE üzenet a *DataSet*-re vonatkozóan. Ha zöld akkor a vizsgálati időpont kezdete előtt került kiküldésre, ha szürke akkor nem került kiküldésre viszont, ha vörös akkor hibát talált az ellenőrző rendszer a GOOSE üzenet szekvenciában.^{23 24}

Az IEC 61850 szabványra való áttérés a védelmi, automatizálási és vezérlési (PAC) rendszerekben óriási változást jelent a másodlagos mérési és vezérlőáramkörök megvalósításának elveiben, valamint a PAC tervezési, üzembe helyezési és karbantartási megközelítéseiben. A hagyományos PAC másodlagos áramköröket helyi hálózat (LAN) váltja fel, amely nem csak a távvezérlési, mérési és állapotjelek továbbítását biztosítja, hanem áram- és feszültségmintavételezett értékek, valamint PAC jelek és parancsok továbbítását is. A PAC kommunikációs hálózat új struktúrájában mindösszesen csak egyetlen fizikai kommunikációs kapcsolat van, amely több tucat és több száz különböző jelet továbbít az IEC 61850 kommunikációs szabvány által kialakított architektúrán keresztül (mintavételezett értékek, GOOSE, vezérlők, jelentések stb.). Ezen eddig soha nem használt protokollok és megoldások, új megközelítések bevezetését teszik

²³ https://meter.hu/iec_61850_goose (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

²⁴ <https://docplayer.hu/31653045-Goose-uzenetkuldes-korszeru-alallomasokban-eloadas-rozsa-gabor.html> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

szükségessé a PAC kommunikációs csatornák biztonságának és megbízhatóságának biztosítása, valamint a tervezési, üzembe helyezési és karbantartási eljárások támogatása érdekében, figyelembe véve a helyi kommunikációs korlátokat és sajátosságokat.

Az IEC 61850-ös szabvány okozta paradigmaváltás azonban új megoldandó feladatokat hozott az iparágba. Ilyen például az IEC 61850-ös kommunikáció állandó és megfelelő stabilitásának vizsgálata. Az IED-k közötti kommunikációs minőség állandó figyelése és az ezek által generált üzenetek ellenőrzése, feszültség, áram jelalakok és események elemzése a protokoll szerint. A feladatok megoldásának egyik módja egy kommunikációs megfigyelő és diagnosztikai rendszer tervezése, amely képes IEC 61850 üzenetelemzésre, figyelembe véve az IED-ek konfigurációját és azok kommunikációs sémáját. Ez utóbbi adatok forrása az ilyen rendszerek esetében az IEC 61850 rendszerkonfigurációs nyelvi (röviden: SCL) fájlok, nevezetesen a *System Configuration Description* (továbbiakban: SCD) fájl. Az SCD-fájl tartalmazza a PAC-jelek leírását, azt, hogy ezek a jelek hogyan oszlanak el az üzenetek között, mely kommunikációs jellemzőket használják bizonyos üzenetekhez, mely IED-k az adók és melyek a fogadók. Az ilyen felügyeleti és diagnosztikai rendszerek működési eredményeinek értelmezésének lehetősége és az értelmezés minősége attól függ, hogy a tervezési szakaszban használnak-e szemantikai adatmodellt. Az IEC 61850 kommunikációs felügyeleti és diagnosztikai rendszer olyan funkciókat képes megvalósítani, mint a IEC 61850-es szabványprotokoll alapján történő kommunikáció megjelenítése az SCD fájloknak köszönhetően, amelyek automatikus vizsgálatot tesznek lehetővé. Ilyen vizsgálat még az IEC 61850 szerinti kommunikáció folyamatos elemzése az adatok és a minőségi változások azonosításával, az időszinkronizálási állapot változásai az üzenetkonfiguráció változásaival, a csomagvesztésekkel, stb. Ezen kívül hálózati terhelésbecslésre is alkalmas, amely ezután képes beavatkozni a hálózatba. Képes még

deklarálatlan (SCD fájlban nem leírt) üzenetek és ismeretlen (az SCD fájlban nem leírt) gazdagépek azonosítására is.²⁵

²⁵ IEC 61850 communications monitoring and diagnostics system implementation experience A. ANOSHIN, A. GOLOVIN ; TEKVEL (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

7. PÉLDÁK A VILÁGBÓL

7.1 Olaszország

Az ABB Ability technológiát felhasználva Olaszországban már két teljesen digitális alállomást adtak át (Tolve és Vaglio), amelyek különösen jó példaként szolgálnak a magyar alállomás fejlesztési lehetőségek számára, hiszen a két alállomást kifejezetten a megújuló energia hálózatra való betáplálása miatt építették. Az alállomás környékét sok megawattnyi beépített szélenergia veszi körül, amelyből a környező tartomány villamos energia igényének több, mint felét fedezik. Az alállomásban csak ABB által fejlesztett intelligens védelmi berendezések, digitális kapcsolóberendezések, különböző szenzorokkal szerelt transzformátorok és teljesen automatizált vezérlőrendszer kaptak helyet a beépítés során. Ezen kívül 20 évre szóló szervizszerződés is járt a rendszerhez, amely 0-24 órás távfelügyelet szolgálattal egészült ki.²⁶



1. kép: Fotó a megvalósult olasz projektről

Forrás: <https://www.mnnsz.hu/az-abb-uzemeli-be-az-elso-digitalis-alallomasokat-olaszorszagban/>
(letöltés dátuma: 2023.12.11.)

²⁶ <https://www.mnnsz.hu/az-abb-uzemeli-be-az-elso-digitalis-alallomasokat-olaszorszagban/> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

7.2 Egyesült Királyság

FITNESS névre hallgató digitális alállomás részeket adtak át az Egyesült Királyságban, Skóciában, ahol az ABB más egyéb vállalattal (GE, a Synaptic, az Omicron és a Manchesteri Egyetem partnerei.) dolgozta ki a megfelelő megoldásokat Pilot projektként. Különösen nagy hangsúlyt helyeztek a megfelelő kommunikációs csatornák kialakítására és a kiberbiztonság meglétére. Wishaw alállomáson a meglévő 275 kV-os alállomás két darab mezőjét építették újjá integrált digitális vezérlő és védelmi rendszerekkel. A projekt ugyancsak a megújuló energia megfelelő hálózatba táplálása miatt létesült, mivel a környéken szélerőmű parkok létesítését tervezik.²⁷

7.3 Fehéroroszország

A világban jelenleg is legnagyobbak számító digitális alállomása létesült Fehéroroszországban, ugyancsak az ABB vállalat színei alatt. A projekt különlegessége a MicroSCADA rendszer, amely segít a többféle gyártó termékeit megfelelően összehangolni, mint felügyeleti szabályozó és adatgyűjtő rendszer. A már ismertetett *ProcessBus*-on keresztül Ethernet kábelen keresztül kommunikál a rendszer. Azonban az ottani energiahálózat digitalizáltsága még nem áll megfelelő szinten, ezáltal a száloptikás árammérőket, szakaszolós megszakítókat, illetve egyéb más nagyfeszültségű berendezéseket, csak optikai kábelek használatára felkészítve építették be, megadva ezzel a későbbi fejlesztések lehetőségét.²⁸

²⁷ <https://e-a.hu/az-abb-is-resztvesz-az-egyesult-kiralysag-elso-digitalis-alallomasanak-kivitelezeseben> (letöltés ideje: 2023.12.11.)

²⁸ <https://markamonitor.hu/abb-technologiaival-jon-letre-a-vilag-legnagyobb-digitalis-alallomasa/> (letöltés ideje: 2023.12.11.)

8. ÖSSZEFOGLALÓ

A digitális alállomások fejlesztése és alkalmazása az energiaiparban forradalmi változásokat hoz a hálózatok kezelése, az energia elosztása terén. A tradicionális reléházas alállomásokhoz képest a digitális alállomások korszerűbb technológiát és intelligens rendszereket alkalmaznak, amelyek javítják a hatékonyságot, a megbízhatóságot, valamint lehetővé teszik a távoli vezérlést és felügyeletet. A digitális alállomások előnyei között kiemelkedik az IEC 61850 szabvány alkalmazása, amely egységesített és hatékony digitális kommunikációt tesz lehetővé az alállomás berendezései között. Ez hozzájárul a gyorsabb adatcseréhez, az interoperabilitáshoz és az általános rendszerhatékonysághoz. A digitális alállomások intelligensebb működést biztosítanak, lehetővé téve az automatizációt, a távvezérlést és a fejlett felügyeletet. A kiberbiztonság a digitális alállomások területén kiemelkedő fontossággal bír. A megfelelő kiberbiztonsági intézkedések, mint például tűzfalak, *intrusion detection* rendszerek és erős hitelesítési mechanizmusok, elengedhetetlenek a kritikus infrastruktúra védelméhez. Az adatok pontosabb gyűjtése és elemzése révén a rendszerek hatékonyabbá válnak, minimalizálva az energiaveszteségeket és elősegítve a megújuló energiaforrások hatékonyabb integrációját. A modern technológiák, például a szoftveralapú védelem, a mesterséges intelligencia és az automatizáció elősegítik az üzemeltetési költségek csökkentését, miközben optimalizálják a rendszerek teljesítményét. Fontos kiemelni, hogy a digitális alállomások bevezetése nem csak technológiai, hanem kulturális és személyzetfejlesztési változásokat is igényel. Az üzemeltetőknek és karbantartóknak megfelelő képzésben kell részesülniük, hogy hatékonyan és kellő szakértelemmel tudják kezelni az új technológiák nyújtotta lehetőségeket és általuk állított kihívásokat.

Végző soron a digitális alállomások hozzájárulnak a globális energiaipar fejlődéséhez és az intelligens hálózatok kialakításához. Az új technológiák, a digitalizáció és az intelligens rendszerek alkalmazása révén a világ energiainfrastruktúrája hatékonyabbá, megbízhatóbbá és fenntarthatóbbá válik, amely létfontosságú a jövőbeli energiaigények kielégítéséhez és a klímaváltozás kihívásainak kezeléséhez.

9. SUMMARY

The development and implementation of digital substations bring revolutionary changes to the management and distribution of energy in the energy industry. In comparison to traditional relay-based substations, digital substations employ advanced technology and intelligent systems, improving efficiency, reliability, and enabling remote control and monitoring. Among the advantages of digital substations, the application of the IEC 61850 standard stands out, facilitating standardized and efficient digital communication among the substation equipment. This contributes to faster data exchange, interoperability, and overall system efficiency. Digital substations enable smarter operations, allowing for automation, remote control, and advanced monitoring. Cybersecurity plays a crucial role in the realm of digital substations. Adequate cybersecurity measures, such as firewalls, intrusion detection systems, and robust authentication mechanisms, are essential for safeguarding critical infrastructure. The more precise collection and analysis of data make systems more efficient, minimizing energy losses, and promoting the effective integration of renewable energy sources. Modern technologies, including software-based protection, artificial intelligence, and automation, facilitate the reduction of operational costs while optimizing system performance. It is important to emphasize that the introduction of digital substations requires not only technological but also cultural and personnel development changes. Operators and maintainers need proper training to effectively manage the opportunities and challenges presented by new technologies.

Ultimately, digital substations contribute to the development of the global energy industry and the establishment of intelligent networks. Through the application of new technologies, digitization, and intelligent systems, the world's energy infrastructure becomes more efficient, reliable, and sustainable. This is vital for meeting future energy demands and addressing the challenges of climate change.

10. IRODALOMJEGYZÉK

Dr. Kiss Lajos: Villamos hálózatok és alállomások (<https://adoc.pub/dr-kiss-lajos-villamos-halozatok-es-alallomasok.html>) (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.villanylap.hu/hirek/3836-ermvektl-a-villamos-mozdonyokig--a-mav-alallomasainak-mkoedese> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.uni-miskolc.hu/~elkborzo/13-vezenylo-szekunderezes.pdf> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://scada-international.com/what-is-scada/> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.villanylap.hu/hirek/4209-alallomasok-digitalisan> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.belden.com/Blogs/Industrial-Automation/2023/06/06/Explore-the-5-Main-Advantages-of-Digital-Substations> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/grid-ga-l3-cosi_ct-0907-2016_07-en.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

https://www.villanylap.hu/hirek/3836-ermvektl-a-villamos-mozdonyokig--a-mav-alallomasainak-mkoedese?fbclid=IwAR0F1yxtwxddNj4jDVMARKxdJIvghn3kLzO7U_GRhaJ8XVqGYi_wCmOjUiA
(letöltés dátuma: 2023.12.13.)²

<https://www.linkedin.com/pulse/digital-substation-process-bus-part-2-5-merging-unit-mohamed-younis/>
(letöltés dátuma: 2023.12.11.)

Kiss Adrienn: TELJESEN DIGITÁLIS ALÁLLOMÁS (TDA) KIBERBIZTONSÁGA, Forrás: https://www.mee.hu/files/files/ssd2/2_kiss_adrienn_mee_vgy_teljesen_digitalis_alallomas_kiberbiztonsaga.pdf?fbclid=IwAR0Axc36YT92DqD_ONh97nZ8yvvnvqhI1PILJbda4vQm42URM9f66Mqtcts
(letöltés dátuma: 2023.12.14.)

https://library.e.abb.com/public/60353dfb50bd4d3d8e0fceb8f1d4c29/ABB%20Digital%20Substation_9_AKK107045A8458_180112.pdf (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.belden.com/Blogs/Industrial-Automation/2023/06/06/Explore-the-5-Main-Advantages-of-Digital-Substations> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

www.new.abb.com/substations/hu (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://electrical-engineering-portal.com/digital-substation#osi-model> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.villanylap.hu/lapszamok/2017/december/4745-alallomasok-digitalizalasa> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

https://meter.hu/iec_61850_goose (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://docplayer.hu/31653045-Goose-uzenetkuldes-korszeru-alallomasokban-eloadas-rozsa-gabor.html> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

IEC 61850 communications monitoring and diagnostics system implementation experience A. ANOSHIN, A. GOLOVIN ; TEKVEL (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://www.mnnsz.hu/az-abb-uzemeli-be-az-első-digitalis-alallomasokat-olaszországban/> (letöltés dátuma: 2023.12.11.)

<https://e-a.hu/az-abb-is-resztvesz-az-egyesult-kiralysag-első-digitalis-alallomasanak-kivitelezeseben> (letöltés ideje: 2023.12.11.)

<https://markamonitor.hu/abb-technologia-val-jon-letre-a-vilag-legnagyobb-digitalis-alallomasa/> (letöltés ideje: 2023.12.11.)