

Mérési útmutató a  
„Internet of Things (IoT)”  
című méréshez

2022. április 14.



A mérést kidolgozta:

Gazdag András  
Holczer Tamás  
Kócsó Balázs  
Papp Dorottya

BME, CrySyS Adat- és Rendszerbiztonság Laboratórium

# Tartalomjegyzék

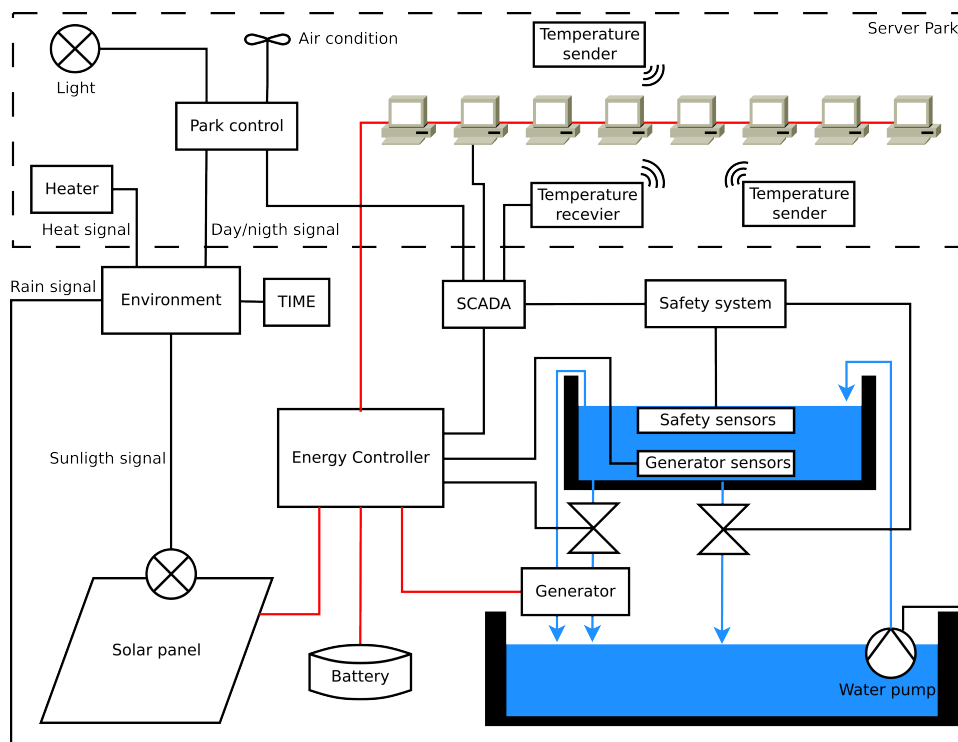
<b>1. Bevezetés</b>	<b>3</b>
<b>2. Mérési eszközök</b>	<b>3</b>
2.1. Környezet . . . . .	4
2.2. Vízerőmű . . . . .	5
2.3. Energiaellátás . . . . .	6
2.3.1. Energiaforrások . . . . .	6
2.3.2. Működési módok . . . . .	7
2.3.3. Kommunikáció . . . . .	7
2.4. Szerver park . . . . .	8
2.5. SCADA . . . . .	9
<b>3. További információk</b>	<b>10</b>
3.1. LOGO fejlesztő környezet . . . . .	10
3.2. STEP7 segédosztály leírása . . . . .	11
3.3. Gecko fejlesztő környezet . . . . .	11
<b>4. Feladatok</b>	<b>11</b>
4.1. Jelszó brute force támadás a SCADA ellen . . . . .	12
4.2. Adminisztrátori jogosultságok a SCADA rendszerben . . . . .	12
4.3. SCADA rendszerbe érkező adatok hamisítása . . . . .	12
4.4. Sérülékenység keresése az Energy Control rendszerben . . . . .	13
4.5. A vízerőmű biztonsági rendszerének kiiktatása . . . . .	13
4.6. Kommunikáció STEP7 protokollon keresztül . . . . .	13
4.7. Üzenetbeszúrásos támadás a szerverpark hőmérséklet-szabályzója ellen . . . . .	14
<b>A. Függelék</b>	<b>15</b>
A.1. Címek és portok . . . . .	15
<b>B. Jegyzőkönyv</b>	<b>15</b>

## 1. Bevezetés

Az IOT mérésnek kettős célja van. Egyrészt a hallgatók megismertetése különböző ipari megoldásokkal, és ezen megoldások koncepcionális sérülékenységeivel. Másrészt a félév folyamán különböző méréseken kipróbált technikák gyakoroltatása. Ennek érdekében a rendszer szándékosan sérülékenyre és hibásra van tervezve, de minden sérülékenység olyan, ami gyakorlati életben (habár nem ennyire halmazottan) is előfordulhat.

## 2. Mérési eszközök

A mérési összeállítás egy komplex energia termelő és fogyasztó rendszer egyszerűsített megvalósítása. A vízerőmű és a naperőmű termeli az energiát, amit a szerver park üzemeltetésére fordít a rendszer. A különböző folyamatok működési és biztonsági paramétereit a különböző szabályozási körök felügyelik. A mérési feladatok elvégzéséhez szükséges a mérési környezet megismerése, amelynek sematikus rajza az 1. ábrán látható.



1. ábra. Mérési elrendezés

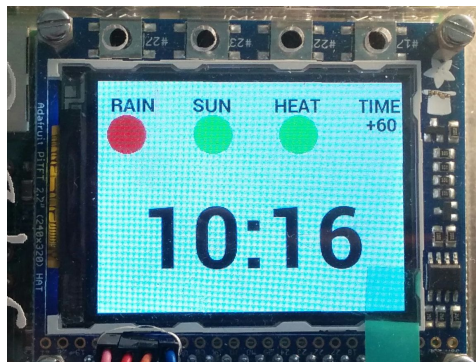
**Megjegyzés:** Az egyes részek ebben a fejezetben egymás után kerülnek bemutatásra, az olvasás közben ajánlott erre az ábrára visszatekinteni az adott egységek leírásánál is.

## 2.1. Környezet

A környezet feladata a valódi környezetünk, azaz a napsütés, az eső és az idő múlásának modellezése. Ezen kívül a szerverteremben lévő géppark hőtermelését is a környezet szimulálja. Fontos, hogy egy olyan modellt készítsünk a környezetünkről, amellyel az energia termelő és fogyasztó rendszer működése jól szemléltethető. Ezért az idő múlása 1200-szorosra van gyorsítva, ami azt jelenti, hogy a környezetben 20 perc telik el 1 másodperc alatt. Ennek megfelelően

- a nap a 6 órakor kel fel és 22 órakor nyugszik le,
- az eső 12 és 0 óra között esik,
- a szerverteremben lévő gépek folyamatosan mennek, de a terhelésük 10 óra és 22 óra között magasabb, ezért ekkor kapcsol be szerverteremben lévő fűtőttest

A környezet vezérlőegysége a 2. ábrán található, amelynek kijelzőjén jól látható a környezet aktuális ideje és hogy az egyes környezeti elemek milyen állapotban vannak.

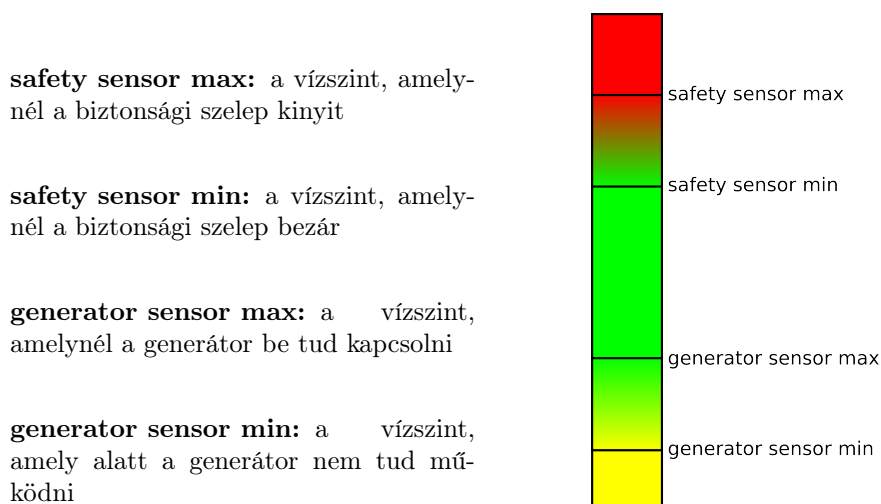


2. ábra. A környezet vezérlőegysége (az eső nem esik, a nap süt, a szerverterem hőtermelése aktív)

Ahhoz, hogy az energia termelő és fogyasztó rendszert szélsőséges esetek mellett is tudjuk tesztelni szükség van a környezet befolyásolására. A környezet vezérlőegységén vannak gombok, amellyel az egyes környezeti elemek állapotát manuálisan lehet beállítani, illetve lehet gyorsítani az idő múlását.

## 2.2. Vízerőmű

A napelem mellett a vízerőmű felel a fogyasztó rendszer áramellátásáért. A vízerőmű modellje egy duzzasztógátat szimbolizál, amelybe a környezettől érkezik az eső. A duzzasztógáttól egy szelep segítségével tudjuk a vizet a generátorhoz eljuttatni és áramot termelni. Ahhoz hogy a vízerőmű zavartalanul működhessen a duzzasztógáton mindig elegendő mennyiségű víznek kell lennie, illetve a gátat biztonsági leeresztő szelepekkel kell védeni a túlfolyó víztől. Ezen feltételek teljesítéséhez a 3. ábrán látható mérési pontokat helyeztünk el.



3. ábra. A duzzasztógáton elhelyezett mérési pontok

**Megjegyzés:** A két-két szenzorra azért van szükség, hogy a kisebb transziens állapotok ne befolyásolják a szelepek működését (például: folyamatos nyitás-zárás).

A generátorhoz tartozó szelepet az energiaellátó vezérli, amelynek a leírása a 2.3. fejezetben található. A biztonsági szelep vezérlését a 4. ábrán látható PLC végzi.



4. ábra. A vízerőmű biztonsági szelepét vezérlő PLC

A PLC a biztonsági szenzorok (safety sensor) értékei alapján tudja állítani a biztonsági szelepet a következők szerint:

- Ha a vízszint elérte a **safety sensor max** értéket, akkor a biztonsági szelepet kinyitja.
- Ha a vízszint a **safety sensor min** érték alá csökken, akkor a biztonsági szelepet bezárja.

A biztonsági szelep működtetéséhez tartozik egy engedélyező jel, amellyel a való életbeli karbantartást lehet modellezni. Az engedélyezést a SCADA rendszer vezérlői felületéről lehet ki- és bekapcsolni. A piros háttérvilágítás a PLC azon belső állapotát jelenti, amely esetében a biztonsági szelepnek nyitva kellene lennie (a valódi nyitás az engedélyező jeltől függ).

Rendszeres időközönként (valós időben 5 másodpercenként) a PLC adatokat szolgáltat a biztonsági rendszer állapotáról a SCADA rendszernek.

## 2.3. Energiaellátás

Az energia ellátó modul felelős a szerverpark energiával történő ellátásáért. A modul egy intelligens kapcsolót valósít meg, mely három forrásból (napelem, vízerőmű, szünetmentes tápegység) képes energiát biztosítani és többféle működési móddal rendelkezik.

### 2.3.1. Energiaforrások

A vízerőművet az energia ellátó csak abban az esetben működteti, ha elegendő víz halmozódott fel a tárolóban. Ennek eldöntésére a modul két szenzor adatait használja fel. A **generator sensor min** nevű szenzor a minimális vízszintet jelzi, a **generator sensor max** pedig a maximumot. Amennyiben a vízszint a maximum felett van, az energia ellátó modul azonnal képes

bekapcsolni a vízerőművet. Amennyiben a vízszint a minimum és a maximum között áll, a modul csak akkor kapcsolja be a vízerőművet, ha előtte a maximum értéket már elérte és éppen fogyasztja a vizet a duzzasztóból. A minimum érték elérésekor a vízerőművet a modul kikapcsolja és addig nem kapcsolja vissza, amíg vízszint újra el nem éri a maximumot. Bekapcsoláskor a modul megnyitja a vízerőmű működését szabályozó szelepet. A szelepen keresztül folyó víz eléri a generátort, ami forgásával energiát termel. Mivel a forgás frekvenciája befolyásolja a termelt áram mennyiségét, a modul folyamatosan méri ezt a frekvenciát. A termelt áram mennyisége csak akkor számít elegendőnek, ha a forgási frekvencia meghaladja a modulban tárolt küszöbértéket.

A szünetmentes tápegység valós időben 10 másodperc alatt merül le és 20 másodperc alatt töltődik fel. A környezet jelenlegi beállításai mellett ez a szerverpark egy éjszakán keresztüli energia ellátásra már nem elég.

### 2.3.2. Működési módok

Amennyiben semmilyen karbantartási munkát nem végeznek a különböző forrásokon, a modul működési módja automatikus. Ekkor mindhárom forrás használható. A ténylegesen használt forrást a források közötti preferenciasorrend határozza meg:

- Amennyiben áramot termel a napelem, a modul a napelem által termelt áramot továbbítja
- Amennyiben a napelem nem termel áramot, a modul megpróbál a vízerőműtől áramot biztosítani
- Amennyiben egyik kondíció sem áll fenn, átkapcsol a szünetmentes tápegységre

Karbantartási munkálatok esetén bizonyos forrásokat kizárólagosan vagy egyáltalán nem használhat az energia ellátó. A vízerőmű és a napelem karbantartása során lehetőség van letiltani, és a munkálatok befejezése után engedélyezni az adott forrás használatát. Amennyiben több forrást is érintenek a karbantartási munkálatok, lehetőség van az energia ellátót egyetlen forrásról is működtetni a működési mód beállításával: működés tisztán napelemről, vízerőműről, vagy a szünetmentes tápegységről.

### 2.3.3. Kommunikáció

A források használatát és a működési módok beállítását a SCADA rendszeren (2.5. fejezet) keresztül lehet megtenni. A rendszer webes felületén történő beállítások JSON dokumentumokként jutnak el az energia ellátó modulhoz. JSON dokumentumon keresztül a következő adatokat lehet megadni az energia ellátónak:

- működési mód
- vízerőmű vagy napelem engedélyezettsége
- vízerőmű generátorának frekvenciájához küszöbérték

A megkapott JSON dokumentumokat naplózza az energia ellátó, ám a feldolgozásuk sikerességéről nem küld visszajelzést. Egy példa JSON dokumentum (legalább egy kulcs-érték pár megadása szükséges!):

```
{
  "energy_source": "hydro",
  "hydro_system_enabled": true,
  "solar_system_enabled": false,
  "hydro_frequency_threshold": 0.8
}
```

A példa JSON dokumentumon keresztül úgy állítottuk be az energia ellátót, hogy csak a vízerőműről működhessen. Engedélyeztük a vízerőmű használatot, letiltottuk a napelem használatát és a forgási frekvencia küszöbértékét 0.8 Hz-re<sup>1</sup> állítottuk.

Rendszeres időközönként (valós időben 5 másodpercenként) az energia ellátó adatokat szolgáltat a energiaellátás, a napelem, a vízerőmű állapotáról a SCADA rendszernek.

## 2.4. Szerver park

A szerver park valósítja meg az erőmű energiafelhasználását. A szerver parknak nem csak áramot kell szolgáltatni, hanem biztosítani kell a megfelelő hőmérsékletet és a világítást is a folyamatos üzemhez.

A szerverparkban egy webszerver üzemel, amely a folyamatos működésről rendszeres időközönként (valós időben 5 másodpercenként) állapotjelentést küld a SCADA rendszernek. A sok szerver által gerjesztett meleget a szerver parkban egy fűtőtesttel modelleztük. Azért hogy a szerver parkban a hőmérséklet ne tudjon egy bizonyos szint fölé menni, klimatizáló berendezéssel van ellátva. A szerverteremben lévő hőmérsékletet mérése több rádiós szenzorral történik. A rádiós szenzorok a kábellel összekötött szenzornak továbbítják az információt, amely azokat továbbküldi a SCADA rendszernek. A SCADA az utolsó mért hőmérsékletek használatával egy átlagot számol, és ez alapján dönti el, hogy túl meleg van e a szerverparkban. Ezen kívül a szerverteremben szükség van éjszaka világításra is, amit nappal energiatakarékossági okokból le kell kapcsolni.

---

<sup>1</sup>A lapátok forgása szinte sose éri el a 0.7 Hz-et, így ezzel a beállítással gyakorlatilag megtiltottuk az energia továbbítást.



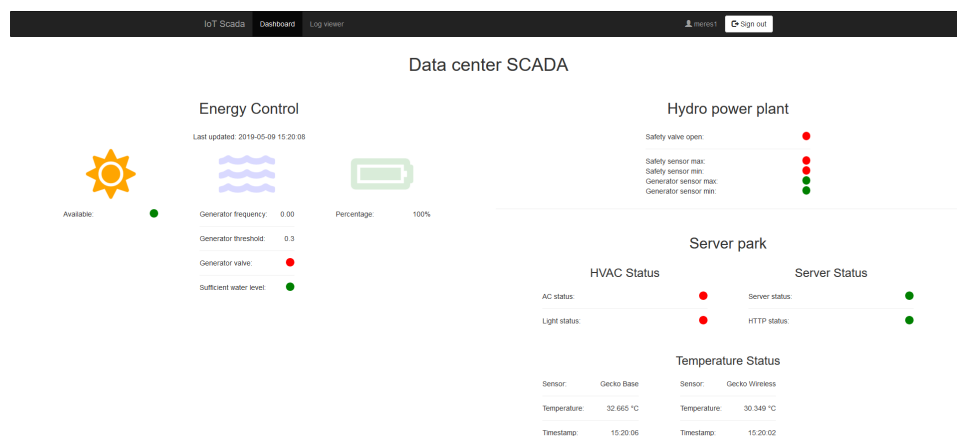
A klimatizáló berendezést és a világítást is egy PLC vezérli, akárcsak a vízerőmű esetén (4. ábra). A klimatizálás be- és kikapcsolását a SCADA-tól érkező vezérlés alapján történik, míg a világítás a környezettől érkező **Day signal** inverzeként működik. A PLC piros háttérvilágítása a klimatizálás működését jelzi.

Rendszeres időközönként (valós időben 5 másodpercenként) a PLC adatokat szolgáltat a szerverterem állapotáról a SCADA rendszernek.

## 2.5. SCADA

A SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) általánosan egy felügyeleti ellenőrző és adatgyűjtő rendszer.

A bejelentkezés után válik elérhetővé a megfigyelő és vezérlő panel, valamint a naplózott adatok keresését lehetővé tevő oldal. A megfigyelő panelen látható az előző fejezetekben említett alrendszerek állapotát leíró adatok, amely az 5. ábrán látható.



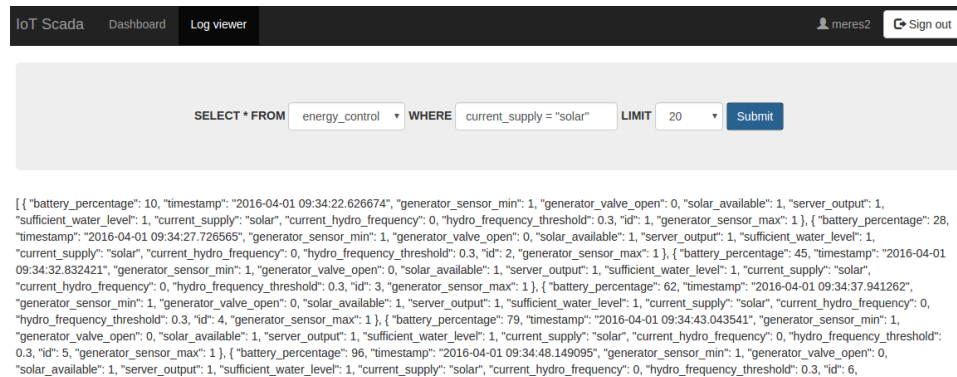
5. ábra. A SCADA megfigyelő és vezérlő panelje

Az egyes alrendszerek vezérlését csak adminisztrátori jogkörrel rendelkező felhasználók végezhetik el, amelyek lehetnek:

- milyen áramforrást használjon a rendszer,
- milyen frekvencia fölött megfelelő a vízerőmű hatékonysága
- ki- és be lehet kapcsolni a víz- és naperőművet
- milyen hőmérsékletet kell tartani a szerver parkban

- ki- és be lehet kapcsolni a vízerőmű biztonsági leeresztő rendszerét

A naplófájlok lekérését SQL feltételekkel lehet megadni, amely megkönnyíti a visszamenőleges keresést a SCADA rendszerében. A 6. ábrán látható hogyan tudjuk lekérni az elérhető **energy\_control** státuszjelentéseket abban az időben, amikor a naperőmű volt aktív.



6. ábra. A SCADA megfigyelő és vezérlő panelje

## 3. További információk

### 3.1. LOGO fejlesztő környezet

A mérés folyamán a Siemens 8-as szériájú LOGO eszközeit használjuk. Ezek egyszerűbb automatizálási célokra létrehozott alap PLC-k (Programmable Logic Controller), amit elterjedten használnak ház automatizálásban és az oktatásban is. A Siemens Logo eszközöket a LOGO!SoftComfort környezetben lehet programozni. Ez egy grafikus felület, ahol funkcióblokkokból vagy létra logikákból lehet összerakni a működtető logikát. Az elkészült program tesztelhető virtuálisan, illetve valós eszközre feltöltve is. Az elkészült program végleges feltöltését szintén a fejlesztő környezet végzi el.

Új programot többek között a következő módon lehet létrehozni:

1. Új networked project létrehozása
2. Új eszköz hozzáadása, és IP beállítása
3. Program létrehozása funkcióblokkok összekötése vagy létralogika segítségével (kezdőknek az előbbi javasolt, mivel sokkal intuitívabb)
4. A program tesztelése a fejlesztőkörnyezeten belül, opcionális, de erősen javasolt

5. A program tesztelése valós eszközön (ehhez Online módba kell váltani), opcionális
6. A végleges program feltöltése az eszközre (figyelni kell, hogy a feltöltés jó eszközre menjen fel, és a végén a PLC "Run" módba kerüljön)

### 3.2. STEP7 segédosztály leírása

A STEP7 segédosztály a Snap7 projekt segítségével valósít meg egy Python-os API-t, amin keresztül tetszőleges Step7 protokollt értelmezni tudó Siemens eszköz menedzselhető. Az osztály az alábbi alap interfészt nyújtja:

```
class STEP7(object):  
    def __init__(self, ip)  
    def read(self, offset, len)  
    def write(self, offset, data)  
    def __del__(self)
```

A függvények segítségével a bemeneti, kimeneti, és belső memóriaterületek írhatók és olvashatók.

### 3.3. Gecko fejlesztő környezet

A Silicon Labs Wonder Gecko mikrokontrollerre a Simplicity Studio nevű fejlesztőkörnyezetben lehet alkalmazást fejleszteni. Ez egy olyan Eclipse alapú IDE, ami támogatja a fejlesztést, fordítást és telepítést is.

A fejlesztés főbb lépései a következők:

1. Geckok felderítése és szükség szerint verzió detektálása
2. Projekt elkészítése üres projektből, vagy egy már létező projektből (a mérésen ez utóbbi a javasolt)
3. A projekt fordítása
4. Az elkészült bináris feltöltése a kiválasztott Geckora (figyelni kell, hogy a megfelelő eszközre menjen fel a kód)

## 4. Feladatok

A mérés során a bemutatott rendszerben kell különféle biztonsági problémákat felfedezni és kihasználni. A feladatok úgy lettek elkészítve, hogy egy rendszeren párhuzamosan elvégezhetőek. A 4.1. feladat elvégzése mindenkinek elsőnek kötelező, a többi feladat forgó rendszerben a mérésvezető utasításai alapján fog történni.

#### 4.1. Jelszó brute force támadás a SCADA ellen

Szerezze meg a `meres<merocsoport>` felhasználónévhez tartozó jelszót, amellyel képes bejutni a SCADA felhasználói felületére!

1. Keresse meg a fejlesztés során publikusan hagyott teszt információkat!
2. Írjon olyan Python programot, ami offline módon megkeresi a `meres<merocsoport>` felhasználónévhez tartozó jelszót! (Segítség: a jelszavak rövidek (max. 3 karakter) és csak kisbetűt tartalmazhatnak. A jelszavak BCrypt-tel készültek, és a gyorsabb haladás érdekében az iterációk száma az ajánltnál kisebbre lett csökkentve. Ajánlott Python modulok: `bcrypt`, `itertools`.)
3. A megszerzett jelszóval lépjen be a SCADA rendszer vezérlő felületére!

**Megjegyzés:** A feladat megoldása során ne terhelje le a rendszert, hanem a mérőgépen brute force-olja a saját felhasználójához tartozó jelszót.

#### 4.2. Adminisztrátori jogosultságok a SCADA rendszerben

Az előző feladatban csak egy limitált jogosultságú felhasználó fiókját sikerült feltörni. Próbáljon meg magasabb jogokat elérni. Ehhez keressen sérülékenyek tűnő formokat a SCADA rendszerben! A biztonsági hibákat kihasználva szerezzen adminisztrátori jogosultságokat a SCADA rendszerben! (Vigyázzon, hogy csak saját felhasználója szerezzen adminisztrátori jogosultságokat és más meglévő adatot ne módosítson vagy töröljön.)

#### 4.3. SCADA rendszerbe érkező adatok hamisítása

Küldjön inkonzisztens jeleket a vízerőmű vízszintjéről a SCADA rendszerbe!

1. Keresse meg és nézze meg az automatikusan generált API dokumentációt a SCADA rendszerhez.
2. Az API dokumentáció alapján készítsen olyan üzeneteket, amely valószínűleg lehetetlen adatokat tartalmaz a vízszintjelző szenzorok állapota-ról! (Az eredményt a SCADA vezérlő felületén ellenőrizze, ahol van lehetőség historikus adatok megnézésére is.)

**Megjegyzés:** A szenzorok értéke folyamatosan felülíródik a valós adatokkal, tehát csak időleges eredményt lehet ezzel a megoldással elérni. A megoldás ellenőrzése a log-vieweren keresztül valószínűleg csak meg megbízhatóan.

#### 4.4. Sérülékenység keresése az Energy Control rendszerben

Keressen sérülékenységet az Energy Control rendszerben!

1. A mellékelt forráskód alapján keressen buffer overflow sérülékenységet az Energy Control rendszer hálózati kommunikációs moduljában!
2. Készítsen egy segédprogramot, amely képes kihasználni és működés-képtelenné tenni az Energy Control modult.
3. Figyelje meg, hogy a SCADA rendszerben valóban eltűnnek az Energy Control rendszertől érkező status üzenetek.

A forráskód innen tölthető le: [https://www.crysys.hu/downloads/vihimb01/ec\\_code.zip](https://www.crysys.hu/downloads/vihimb01/ec_code.zip)

**Megjegyzés:** Azért, hogy ne kelljen minden próbálkozás után az Energy Control rendszert újraindítani, ezért 10s után az automatikus újraindul, de ez az idő elegendő, hogy a SCADA rendszer vezérlőfelületén lehessen látni a hibát.

#### 4.5. A vízerőmű biztonsági rendszerének kiiktatása

Egy új program segítségével iktassa ki a vízerőmű biztonsági rendszerét!

1. Készítsen egy új LOGO programot a fejlesztői környezetben, amely csak a LOGO háttérvilágítását villogtatja periodikusan, de a biztonsági szelep vezérlését már nem végzi el. A program ezen kívül tetszőleges nem destruktív feladatot is megvalósíthat.
2. Töltse fel a programot a Hydro LOGO-ra és ellenőrizze a működést.
3. A sikeres támadás után töltsen vissza az eredeti biztonsági programot a PLC-re, vagy kérje meg erre a mérésvezetőt.

#### 4.6. Kommunikáció STEP7 protokollon keresztül

Invertálja a szerverparkban lévő világítás működését a LOGO-k által használt STEP7 protokollon keresztül!

1. A STEP7 kommunikációhoz készített osztály segítségével készítsen egy olyan programot, amely képes egy adott ofszettel egy adott bitet módosítani a szerver park LOGO memóriájában.

**IP:** 10.105.55.6 (Server LOGO)

**ofszet:** 1104

**bitmaszk:** 0b00000010

2. Ellenőrizze a kód helyességét, hogy a szerverpark világítása valóban invertálódott-e (nappal bekapcsolva - éjjel kikapcsolva).
3. A sikeres támadás után állítsa vissza az eredeti működést a PLC-n, vagy kérje meg erre a mérésvezetőt.

A kommunikáció osztály innen tölthető le: <https://www.crysys.hu/downloads/vihimb01/step7.py>

#### **4.7. Üzenetbeszúrásos támadás a szerverpark hőmérséklet-szabályzója ellen**

A rádiós hőmérőegység nevében készítsen hamisított hőmérséklet üzeneteket, hogy a szerverpark klimatizációját befolyásolni tudja. Érje el, hogy a ventilátor mindenképp bekapcsoljon, majd kikapcsoljon.

1. A Gecko fejlesztőkörnyezetében keresse meg a legális szenzorokon futó kód projektjét
2. Értse meg a projekt `main.c` fájlját, és lokalizálja a azon helyeket, ahol be lehet avatkozni az elküldendő hőmérséklet értékébe
3. A kód átírásával és támadó Geckora való feltöltésével érje el, hogy a szenzor szélsőségesen nagy értéket küldjön el (pl. 100 C fokot). Ügyeljen arra, hogy a szenzor milliC fokban küldi el a mért értékeket
4. Figyelje meg a SCADA rendszeren, és a szerverparkon, hogy ez milyen következményekkel jártlogikai és fizikai hatásokkal járt
5. Küldjön egy szélsőségesen alacsony hőmérsékletet (pl. 1 C fok), és nézze meg a hatását
6. Állítsa vissza nagyságrendileg az eredeti működést egy reális hőmérséklet elküldésével (pl az igazi hőmérő utolsó mérését küldje be a támadó nevében)

## A. Függelék

### A.1. Címek és portok

Eszköz	MAC cím	IP cím	protokoll	port
Környezet	B8:27:EB:19:89:4B	10.105.55.1	-	-
SCADA	B8:27:EB:96:02:34	10.105.55.2	HTTP	8000
Energiaellátó	B8:27:EB:B6:77:59	10.105.55.3	TCP	8080
Webserver	B8:27:EB:E3:89:A4	10.105.55.4	HTTP	80
LOGOhydro	E0:DC:A0:05:77:94	10.105.55.5	STEP7	102
LOGOspark	E0:DC:A0:05:77:BC	10.105.55.6	STEP7	102
GeckoBaseStation	D0:CF:5E:00:1B:D8	10.105.55.7	-	-
GeckoWirelessSensor	D0:CF:5E:00:1B:DA	10.105.55.8	-	-
GeckoAttacker	D0:CF:5E:00:21:A5	10.105.55.255	-	-
FejlesztőX	-	vcenter.crysys.hu	HTTPS	-

1. táblázat. Az egyes eszközök elérhetőségei és szolgáltatásai

A fejlesztő gépeket kivéve az összes eszköz a következő hálózati beállításokat használja:

Network: 10.105.48.0  
Netmask: 255.255.240.0  
Default gateway: 10.105.48.1

## B. Jegyzőkönyv

A jegyzőkönyvet a mérés után egy héten belül el kell küldeni a mérésvezetőnek pdf formátumban. A jegyzőkönyvnek az alábbiakat kell tartalmaznia:

- Hallgató(k) neve és Neptun kódja
- Mérés neve
- Mérés időpontja
- Feladatok megoldása

A megoldások leírásánál törekedni kell a tömör, de érthető válaszra. A leírásból a megoldásnak reprodukálhatónak kell lennie (hosszabb kód mellékelhető a pdf-hez, nem feltétlenül kell beírni!)