

DIPLOMATERVEZÉSI FELADAT

Veress Gábor

Villamosmérnök hallgató részére

Keretrendszer energetikai felügyelethez

A villamosenergetikai rendszerekben egyre inkább elvárássá válik, hogy a felhasználóhoz közeli hálózatrészekben is távolról felügyelhető, és vezérelhető elemeket, például távolról is vezérelhető kismegszakítókat telepítsenek. A hatékonyság és a biztonság növelése egyaránt célja lehet az ilyen fejlesztéseknek.

Az ebben rejlő lehetőségek megvizsgálására érdemes olyan keretrendszert kidolgozni, melyben mérésre és beavatkozásra képes kis bonyolultságú végponti elemeket egy adatbázissal támogatott monitorozó komponenssel kötünk össze. Az adatgyűjtés eredményét egy felügyeleti logika dolgozhatja fel, és ennek döntéseit a végpontokat vezérlő információként használhatjuk fel. A teszteléshez és a hatások elemzéséhez a végponti elemek működésének és bemeneteinek szimulációjára is szükség van.

A rendszer stabilitásának növeléséhez célszerű a komponenseket konténer-környezetben futtatni, és a redundanciájukat, illetve skálázhatóságukat biztosítani.

A hallgató feladatai a következők:

- Tekintse át az egyszerű energetikai eszközök felügyeletét ellátó megoldásokat!
- Azonosítsa a szükséges komponenseket, és tervezze meg a keretrendszert!
- Valósítsa meg a monitorozás, az adattárolás, és a felügyeleti logika komponenseit és azok kommunikációját, figyelembe véve az alapvető biztonsági elvárásokat is!
- Készítsen skálázható, konténeralapú komponenseket, és hangolja össze az elemek működését Kubernetes segítségével!
- Alkalmazzon redundanciát a hálózatban is, és javasoljon megoldást a végponti elemek megbízható kezelésére!
- Dolgozzon ki a működés tesztelésére alkalmas szkenáriókat, melyek pillanatnyi állapotokat, vagy időzített változásokat szimulálnak, és ezek segítségével értékelje a rendszer működését hibamentes állapotban, és egyes egyszerű hibák esetében!

Tanszéki konzulens: Dr. Zsóka Zoltán docens

Külső konzulens:

Budapest, 2025. március 3.

Dr. Imre Sándor
egyetemi tanár
tanszékvezető

Konzulensi vélemények:

Tanszéki konzulens: ☐ Beadható, ☐ Nem beadható, dátum:

aláírás:

Külső konzulens: ☐ Beadható, ☐ Nem beadható, dátum:

aláírás:



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Keretrendszer energetikai felügyelethez

DIPLOMATERV

Készítette
Veress Gábor

Konzulens
dr. Zsóka Zoltán

2025. április 27.

Tartalomjegyzék

Kivonat	i
Abstract	ii
1. Bevezetés	1
2. Meglévő megoldásokkal összehasonlítása	2
2.1. Meglévő ipari megoldások	2
2.1.1. Schneider Power Monitoring Expert	2
2.1.1.1. Alapfunkciók	2
2.1.1.2. Előnyök	3
2.1.2. Siemens SIMATIC Energy Suite	3
2.1.2.1. Alapfunkciók	3
2.1.2.2. Előnyök	3
2.2. Saját megoldás	4
3. Keretrendszer	5
3.1. Rendszerarchitektúra áttekintése	5
3.2. Eszközök	6
3.2.1. Végpontok	6
3.2.1.1. ESP8266 és AC árammérő szenzorok	6
3.2.1.2. Mért eszközök	8
3.3. Kommunikáció	9
3.3.1. ESP8266 és Szerver között (Wi-Fi és REST API)	9
3.3.2. Modbus	10
3.3.3. Standardizált Kommunikáció	10
4. Komponensek megvalósítása	11
4.1. Végpontok	11
4.1.1. Autótöltő	11
4.1.1.1. Bevezetés	11
4.1.1.2. Megvalósítás	11
4.1.1.3. Mérési adatok elküldése	11
4.1.1.4. Main loop	12
4.1.1.5. Kommunikáció	12
4.1.1.6. Modbus kommunikáció vezérléshez	12
4.1.2. Megszakító	13
4.2. Kontroll szerver	13

4.3.	Adatbázis	13
4.3.1.	Prometheus adatgyűjtés kezelése	14
4.3.2.	Prometheus lekérdezések kezelése	14
4.4.	Grafana alapú megjelenítés	15
4.4.1.	A háromfázisú és a napelemes áram vizualizálása és riasztása a Grafanában	15
4.4.1.1.	A Dashboard	15
5.	Alkalmazás migrálása a Docker Compose-ból a Kubernetesbe	17
5.1.	Bevezetés	17
5.2.	A Docker Compose és Kubernetes áttekintése	17
5.3.	Rendszerarchitektúrája	18
5.4.	A Docker Compose beállítások konvertálása Kubernetes manifeszteké	19
5.4.1.	Névtér- és konfigurációkezelés	19
5.4.2.	Deployment-ek és Service-ek	19
5.4.3.	Perzisztens tárolók kezelése	19
5.4.4.	Szolgáltatások elérhetővé tétele és hálózati konfiguráció	20
5.4.5.	Telepítés és tesztelés	20
5.5.	Nagy elérhetőségű rendszer implementációja	20
5.5.1.	Replikák megvalósítása	21
	Irodalomjegyzék	23

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Veress Gábor*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózataán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2025. április 27.

Veress Gábor
hallgató

Kivonat

Jelen dokumentum egy diplomaterv sablon, amely formai keretet ad a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végző hallgatók által elkészítendő szakdolgozatnak és diplomatervnek. A sablon használata opcionális. Ez a sablon \LaTeX alapú, a *TeXLive* \TeX -implementációval és a PDF- \LaTeX fordítóval működőképes.

Abstract

This document is a \LaTeX -based skeleton for BSc/MSc theses of students at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The usage of this skeleton is optional. It has been tested with the *TeXLive* \TeX implementation, and it requires the PDF- \LaTeX compiler.

1. fejezet

Bevezetés

A bevezető tartalmazza a diplomaterv-kiírás elemzését, történelmi előzményeit, a feladat indokoltságát (a motiváció leírását), az eddigi megoldásokat, és ennek tükrében a hallgató megoldásának összefoglalását.

A bevezető szokás szerint a diplomaterv felépítésével záródik, azaz annak rövid leírásával, hogy melyik fejezet mivel foglalkozik.

2. fejezet

Meglévő megoldásokkal összehasonlítása

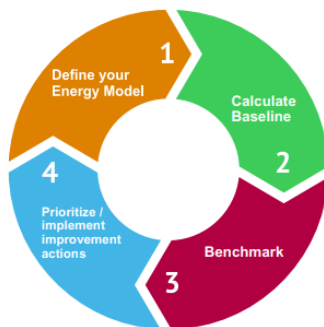
2.1. Meglévő ipari megoldások

2.1.1. Schneider Power Monitoring Expert

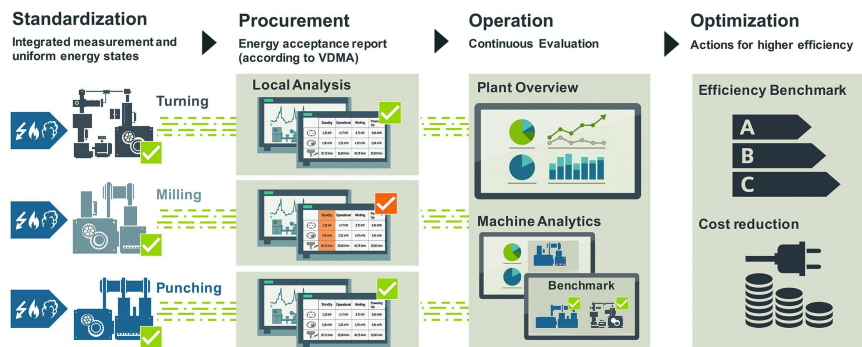
2.1.1.1. Alapfunkciók

- Segít csökkenteni a meddő teljesítmény termelést és az ebből keletkező büntetések.
- Saját számlát készít, a helyi mérések alapján, hogy összehasonlítási alap legyen a számlákhoz.
- Segít elszámolhatóságot biztosítani alszámlázáshoz.
- Berendezések teljesítményét és várható élettartamát ellenőrzi.
- Valós idejű adatfigyelés, riasztás és energiafolyamatok vezérlése a létesítményen belül.
- Azonosítsa a potenciális áramminőségi problémákat a hálózatában, és értesíti erről a személyzetet.

[3]



2.1. ábra. Schneider Electric PME model[3]



2.2. ábra. Siemens EMS model[12]

2.1.1.2. Előnyök

Az energiamérési rendszer használata átlagban 24%-kal csökkentette a fogyasztást, és 30%-al a költségeket.

Mivel folyamatos megfigyelés és beavatkozás lehetséges, a problémák korai szakaszában orvosolhatóak így ezeket 22%-al lehet csökkenteni. Ez a tudatosság csökkenti a hiba utáni visszaállítások idejét is. Ezenkívül segít a mögöttes problémák megtalálásában is.[3]

2.1.2. Siemens SIMATIC Energy Suite

2.1.2.1. Alapfunkciók

A Siemens SIMATIC Energy Management rendszere integrált tehát nem csak megfigyelésre alkalmas hanem vezérlésre is. A már létező TIA Portal keretrendszerükbe épül és így egy helyen elérhető a többi rendszerükkel. Ez szintén egy moduláris és skálázható rendszer. Megfelel az ISO 50001 szabványnak, és ez is alkalmazható terhelés figyelésre számlázásra és rendszerelemzésre, mint az előzőleg taglalt rendszer.[12]

2.1.2.2. Előnyök

- Terepi szintű integráció saját és más eszközökkel. Figyelve itt az egyedi eszközökre.
- Gyártás szintű felügyelet. Üzem szintű energia fogyasztást lehet vele figyelni.
- Nagyobb rendszerekben vállalati szintű energiaelemzés, ahol több helyszín között is lehet felügyelni.
- Ezentúl alkalmas beavatkozásra is. Amennyiben túl nagy a fogyasztás képes fogyasztókat leválasztani távolról is akár.

[12]

2.2. Saját megoldás

Egy mondatban: a saját eszközkészletem (ESP-8266 + Prometheus + Grafana + Python) sokkal olcsóbb és könnyebben módosítható, de a Schneider EcoStruxure Power Monitoring Expert (PME) és a Siemens SIMATIC Energy Suite olyan pontosságot, energiaminőség-elemzést, ISO-50001-megfelelőséget és 24/7-es gyártói támogatást biztosít, aminek megvalósítása nagy munkát és pénzt igényelne.

Jellemző	Nyílt forráskódú megoldás	Schneider PME	Siemens Energy Suite
Peremi eszközök	ESP8266 + CT	PowerLogic / ION & PowerTag mérők, megszakítók, átjárók	S7-1500 PLC + Sentron PAC, 7KM PAC, megszakítók
Adatátvitel	Wi-Fi és HTTPS REST	Modbus/TCP	PROFINET
Adatbázis	Prometheus	Beépített SQL Express	Integrált WinCC SQL archívum
Vizualizáció	Grafana	Webalapú HTML5 irányítópult	WinCC HMI képernyő
Analitika	Ami lekódolásra kerül	Harmonikus, villódzás, EN 50160 megfelelés	Automatikus terheléskikapcsolás ISO 50001
Licenc költségek	Nincs	Eszközcsomagok: 5-től korlátlanig; 50-es csomag tízezer eurós nagyságrend	Futtatási licenc eszközönként ezer eurós nagyságrend
Tipikus ár 50 mérőpontra	kb. 1 000 € (panelek + szenzorok + szerver)	kb. 10 ezer € (mérők + licenc + szerver)	kb. 10 ezer € (mérők, PLC, licencek, TIA Portal)
Támogatás	Közösségi támogatás; nincs hivatalos tanúsítvány	Gyártói 24/7, ISO 50001	Gyártói 24/7, TÜV EN 13849

2.1. táblázat. Rendszeráttekintés - összehasonlítás

3. fejezet

Keretrendszer

3.1. Rendszerarchitektúra áttekintése

Az áramérzékelők (áramváltó bilincsek) mérik az elektromos áramot és az adatokat egy ESP8266 gyűjti, ezek pedig a központi vezérlőhöz táplálják, amely vezérlőparancsokat küld visszafelé az elektromos járművek töltőinek a megengedett áram beállításához.

Az ESP8266-alapú érzékelőcsomópontok mindegyik elektromos töltőnél el vannak helyezve, hogy valós időben mérjék a töltőáramot. Ezek pedig Wi-Fi-n keresztül küldik el az adatokat egy Python Flask alkalmazást futtató vezérlőhöz, amely össze-síti a méréseket és kiadja a vezérlőparancsokat.

Maguk az töltők Modbus kommunikációval rendelkeznek, ezért a Modbus protokollon keresztül fogadják a távolról érkező utasításokat (esetünkben a megengedett áram beállítását). Mindegyik töltő saját címmel rendelkezik a soros hálózaton.

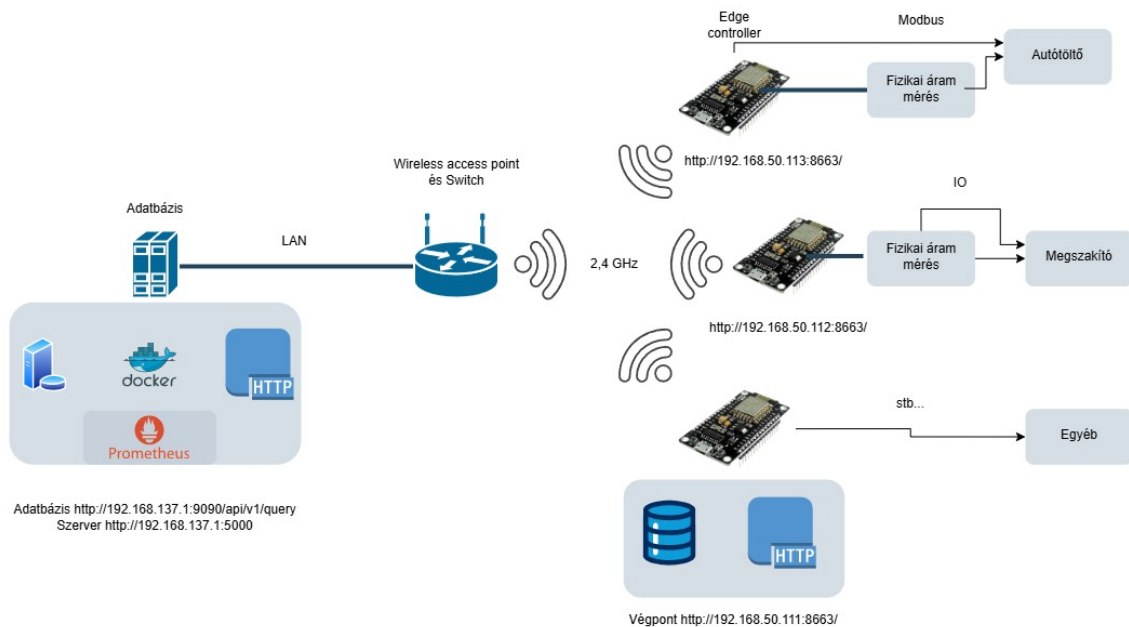
Az ESP8266 csomópontok csak az adatok két oldalú továbbadásáért felelősek, aktuális adatokat küldenek a szervernek, míg a Flask szerver döntéshozatalt hajt végre és parancsokat ad ki a töltőknek. Az érzékelés és a vezérlés szétválasztása leegyszerűsíti a végpont tervezését és a feldolgozást a szerver oldalon központosítja, ami növeli a robosztusságot.

A Flask szerver egy Prometheus idősoros adatbázissal dolgozik (ami külön konténer alapú szolgáltatásként fut), ez naplózza az összes mérést a megfigyeléshez és elemzéshez. Az összes kiszolgálóoldali összetevő (a Flask alkalmazás, a Modbus interfész és a Prometheus) a Docker használatával van konténerben tárolva a felhőalapú környezetben történő egyszerű telepítés érdekében. Az architektúra a következőket tartalmazza:

- ESP8266 érzékelő csomópontok: Wi-Fi csatlakozású mikrokontrollerek minden végponon (legyen az töltő, megszakító, stb...), amelyek a csatlakoztatott érzékelőkön keresztül mérik a váltakozó áramot.
- Wi-Fi hálózat: Ami biztosítja, hogy a végpontok tudjanak kommunikálni a központi szerverrel. Mindegyik csomópont csatlakozik a helyi Wi-Fi-hez és HTTPS-kéréseken keresztül adatokat küld a szerver REST API-jának.
- Flask alapú központi szerver: Helyi szerveren vagy cloud környezetben is fut-hat. Mérési adatokat fogad az ESP8266 csomópontoktól, feldolgozza és tárolja

azokat és ahogy már említettem Modbus segítségével vezérlőjeleket küld az EV-töltőknek.

- Modbus kommunikációs kapcsolat: Összekapcsolja a végpontokat a töltőkkel. Ez esetünkben Modbus/TCP over Ethernet. A végpontok Modbus masterként működnek, és minden elektromos töltő egy Modbus slave eszköz.
- Prometheus adatbázis: Idősoros adatbázis, amely összegyűjti és tárolja a mért értékeket (pl. áramok, töltőállapotok, megszakító állapotok) a Flask szerverről való idejű megfigyeléshez és későbbi elemzéshez.
- Docker containerek: A Flask szerver és a Prometheus Docker-tárolókban fut, így megvalósul a mikroszolgáltatás alapú összeállítás, ami akár helyi szerveren, akár modern felhő natív rendszeren jól fut. A Docker biztosítja, hogy az összes szükséges függőséget (Python-könyvtárak stb.) így megkönnyítve az üzemeltetés dolgát, és lehetővé teszi a rendszer megbízható méretezését vagy replikálását.



3.1. ábra. Rendszerarchitektúra

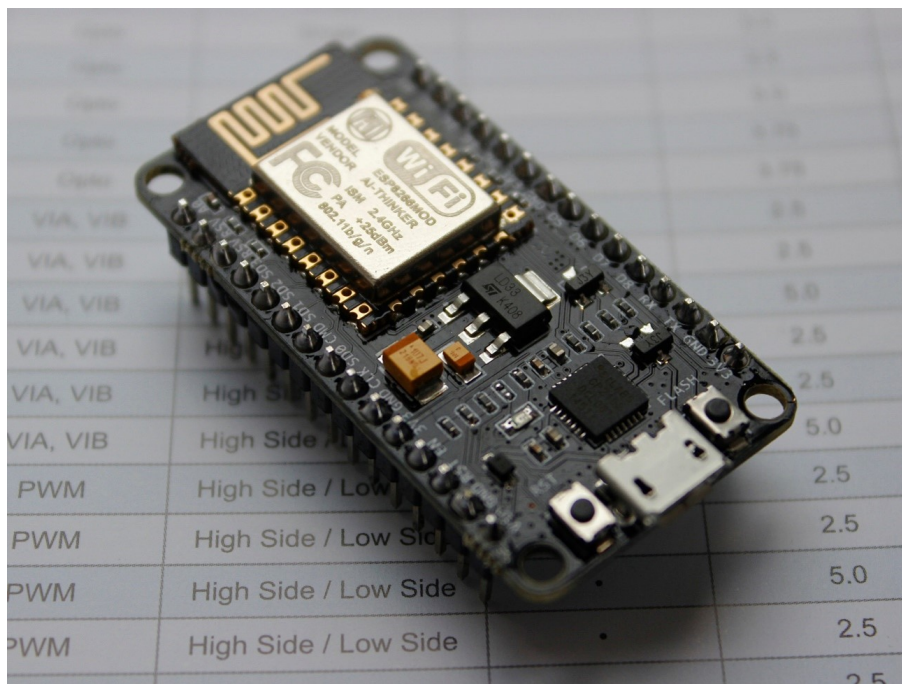
3.2. Eszközök

3.2.1. Végpontok

3.2.1.1. ESP8266 és AC árammérő szenzorok

A pontos árammérés minden elektromos töltőnél kritikus a rendszer számára. Az ESP8266-ot (NodeMCU) nem invazív váltakozóáram-érzékelőkkel párosítva használjuk a megfelelő áramkörök által felvett áramerősség mérésére. Egy megfelelő érzékelő az YHDC SCT-013 sorozatú bilincses áramtranszformátor, például az SCT-013-030

modell, ami 30 A AC feszültségre van méretezve. Az SCT-013 egy osztott magú áramváltó így könnyű a csatlakozása, ez a tápkábelnek feszültség alatt álló vezetőke köré kerül, és nincs szükség közvetlen elektromos érintkezésre a vezetővel. Ez az érzékelő a kábelben átfolyó árammal arányos kis váltakozó feszültséget ad ki. Különösen az SCT-013-030 körülbelül 0-1 V AC (effektív) kimenetet produkál 0-30 A mérésekor. [5]



3.2. ábra. NodeMCU (ESP8266) [10]

Ez a feszültségtartomány kompatibilis az ESP8266 analóg-digitális átalakítójával az analóg bemeneten, amely a legtöbb ESP8266 kártyán 0-1 V-ot tud olvasni (a NodeMCU kártyák tartalmazznak beépített feszültségosztót, amely lehetővé teszi a 3,3 V-os bemenetet). Így az SCT-013-030 0-1 V-os kimenete közvetlenül az analóg bemenetre rakható. Az SCT-013 érzékelők, amelyek feszültségkimenettel rendelkeznek, már rendelkeznek belső ellenállással, így nincs szükség további terhelésre. [9]

Mindkét esetben szükséges egy csatoló áramkör az érzékelőhöz: A CT AC kimenete 0 V ha nincsen semmi behatás, de az ESP8266 ADC nem tudja leolvasni a negatív feszültséget. Ezért el kell tolnunk az értékeket ehhez kell két ellenállás, amelyek feszültségosztót alkotnak a 3,3 V-os tápegységgel, hogy az érzékelő kimenetét a skála közepére rakjuk. Lényegében az érzékelő két vezetőke csatlakozik: az egyik az ADC bemenethez, a másik pedig a középponthoz körülbelül 1,65 V a 3,3 V-os táp miatt. [9]

Mindegyik ESP8266 tápellátást kap lehetőleg 5 V-os USB-adapterrel az EV-töltő kiegészítő tápellátásával és az analóg bemeneten keresztül olvassa le a CT-érzékelőjét. A mikrokontroller a megírt kódot futtatja, csatlakozik a Wi-Fi-hez, és folyamatosan méri az áramerősséget. Ezt úgy küldi a szervernek, hogy már könnyű legyen prometheusnak tovább küldeni.



3.3. ábra. SCT-013 áramváltó [7]

3.2.1.2. Mért eszközök

Különböző eszközök mérését hajtók végre egy hálózatban, amiknél, más paraméterek mérésére van szükségünk.

Ilyen eszközök a megszakítók, itt érzékelnünk kell:

- **Megszakítók:**
 - Pillanatnyi áramerősség
 - Állapotjelzés
 - Hibajel
 - Túlterhelés figyelmeztetések
- **Autótöltők:**
 - Pillanatnyi áram
 - Állapot (csatlakoztatva, tölt, hiba, stb...)
- **Szekrények:**
 - Hőmérés
 - Gázelemzés (füst érzékelés)

A mérések egy mikrokontrollerbe vannak beprogramozva, sok esetben, hogy a megfelelő és helyileg feldolgozható jelet kapjunk valamilyen hardverre van szükség, ez átalakítja az eredeti jelet. Ilyen például az áram méréséhez használt áramváltó és sönt ellenállás, jellemzően a nagyobb áramokat 5 A-re transzformáljuk egy áramváltóval.

Esetünkben maga az ESP8266 chip az analóg bemenetén 0 és 1 volt közötti jelszintet vár, viszont a nodeMCU környezet már végez az áramkörön feszültség áttalakítást így a bemeneti skála változik 0 és 3,3 voltra.

Ha áramméréseket áramváltóval akarjuk megvalósítani akkor az áramváltó 5 A-es maximum kimenetét kell a kontroller 3,3 V-os maximum bemenetére alakítani. Ezt egy sönt ellenállással tudjuk megvalósítani.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3.3 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 660 \text{ m}\Omega \quad (3.1)$$

1. egyenlet: Áramméréshez használt sönt ellenállás értéke

$$P = U \times I = 3.3 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 16.5 \text{ W} \quad (3.2)$$

2. egyenlet: A sönt ellenállás

A számítások után látszik, hogy olyan ellenállásra van szükség, ami $R = 660 \text{ m}\Omega$ ellenállással rendelkezik és legalább 16,5 W teljesítményt el tud dissipálni folyamatos terhelés mellett is.

3.3. Kommunikáció

3.3.1. ESP8266 és Szerver között (Wi-Fi és REST API)

A kommunikációhoz az ESP8266 végpontok Wi-Fi-t használnak a mérések továbbítására a vezérlő Flask szerverre. Indításkor minden ESP8266 csatlakozik a konfigurált Wi-Fi hozzáférési ponthoz.

```
(pl. WiFi.begin(ssid, jelszó))
```

Itt az ESP8266 beépített WiFi könyvtárat használtam. [14] A csatlakozást követően a csomópont képes HTTP vagy esetünkben HTTPS kéréseket küldeni a szerver IP-címére. Egy egyszerű RESTful API-t implementáltam a Flask szerveren az adatok fogadásához. Minden fizikai végpont Prometheus adatbázis jellegű kommunikációhoz is használt végponton hirdeti a mért adatait.

```
app.run(host="0.0.0.0", port=6000, ssl_context=('cert.pem', 'key.pem'))
```

```
http://<szerver_ip>:6000/metrics
```

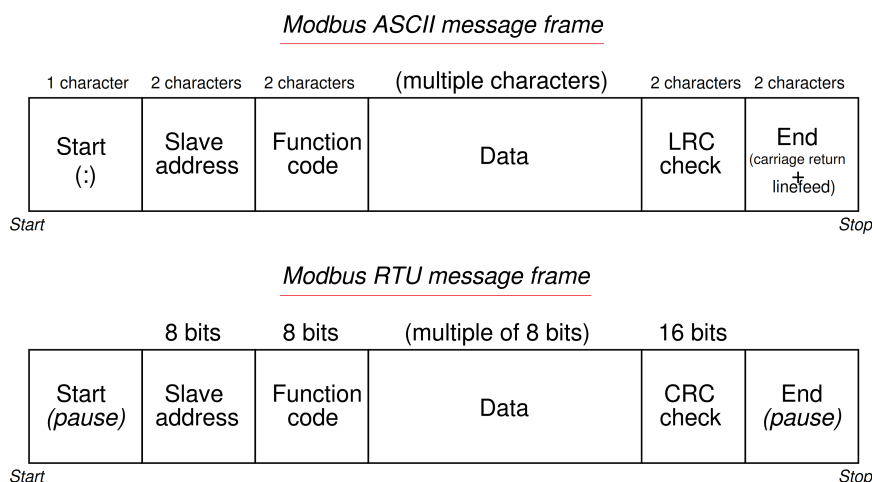
A JSON adatstruktúra a következő:

```
def metrics():
    return jsonify({
        "simulator_id": simulator_id,
        "current": current_value,
        "state": "plugged in" if charger_on else "plugged out",
        "max_current": max_current
    })
```


A Wi-Fi kommunikáció itt nem követeli meg, hogy az ESP8266 ismerje a szerver címét, mert csak GET parancsokat használtam. Itt a kiszolgáló fix IP-címmel rendelkezhet a LAN-ban. Elég viszont, ha a szerver ismeri a végpontok IP címeit, amit viszont könnyű megadni és frissíteni. Kezdetben titkosítatlan HTTP-t használtam, viszont ezt később frissítettem a valódi telepítési környezethez hasonló HTTPS-el. Szerencsére az ESP8266 képes kezelni a TLS-t.

3.3.2. Modbus

A vezérlő oldalon a szerver a Modbus protokollt használja az EV-töltőkkel való kommunikációhoz. A Modbus egy széles körben elterjedt protokoll az ipari rendszerekben elektronikus eszközök csatlakoztatására. Eredtileg PLC-k közötti Kommunikáció kialakítására használták. A mi beállításunkban a szerver Modbus masterként van konfigurálva, és minden EV töltő Modbus slave eszköz (Modbus/TCP). A Modbuson keresztül a szerver képes regisztereket olvasni a töltőkről, és regisztereket írni. Ezzel áttudtam írni a töltőben a maximális áramértéket amit engedélyezett. [13]



3.4. ábra. Modbus adatstruktúra [6]

A képen Modbus RTU soros kommunikáció összeállítása látszik. Ebben a rendszerben Modbus TCP rendszert használunk. Ez igazából csak annyit csinál, hogy TCP keretekbe foglalja a már előbb felsorolt kommunikációt.

3.3.3. Standardizált Kommunikáció

4. fejezet

Komponensek megvalósítása

4.1. Végpontok

4.1.1. Autótöltő

4.1.1.1. Bevezetés

A rendszer egy ESP8266 mikrokontroller köré épül, amely két elsődleges funkciót lát el:

- **Árammérés:** Folyamatosan méri az autótöltők által felvett elektromos áramot. Összegyűjti és a Prometheus, egy népszerű nyílt forráskódú felügyeleti rendszerrel kompatibilis formátumban jelenti ezeket a mérési adatokat, hogy a rendszerben egységes adatstruktúrákat használjunk.
- **Vezérlő interfész:** Emellett olyan mechanizmust biztosít, ami Modbus parancsokon keresztül vezérli az autótöltőket.

4.1.1.2. Megvalósítás

Itt az ESP8266 firmware főbb részeit elemzem.

WiFi és HTTP-kiszolgáló beállítása Kezdsnek az ESP8266 csatlakozik WiFi-re és ezzel a helyi hálózatra a megadott SSID és jelszóval. A csatlakozást követően az eszköz az ESP8266WebServer könyvtár segítségével inicializál egy HTTPS-kiszolgálót. Ez a szerver egy kijelölt porton (pl. 8663) figyel, és a /metrics végpontot teszi közzé, ahol közli az adatokat a központ vezérlővel.

4.1.1.3. Mérési adatok elküldése

A `sendMetricsToEndpoint()` függvény formázza a méréseket Prometheus-szerű szöveges formába. A metrikák a következőket tartalmazzák:

- **esp8266__current0:** A mért áramértéket mutatja.
- **esp8266__connection:** Az ESP8266 kapcsolati állapotát jelzi, pl.: csatlakozva vagy nem.

Ez a funkció a Prometheus-kompatibilis mért érték és címkézési formátummal küldi el a mérést. Amikor például a vezérlő szerver lekéri a /metrics végpontot, a HTTPS-kiszolgáló 200 OK státusszal küldi vissza ezeket a formázott metrikákat, amennyiben minden rendben ment.

4.1.1.4. Main loop

A loop() funkcióban az ESP8266 folyamatosan kezeli a bejövő HTTPS kéréseket és 30 másodpercenként az eszköz meghívja a queryPrometheus() függvényt, hogy frissítse az összesített metrikát. Ez az időszakos lekérdezési mechanizmus biztosítja, hogy a helyi mérések folyamatosan frissek legyenek és döntéshozatal alapjául lehessen venni őket.

4.1.1.5. Kommunikáció

A rendszer itt is a biztonságos adatátvitel érdekében minden hálózati kommunikációhoz HTTPS protokollt használ. A legfontosabb adatáramlások a következők:

- **Mérések közzététele:** Az ESP8266 összegyűjti az aktuális méréseket, és azokat a /metrics végponton olyan formátumban teszi elérhetővé, ami már alkalmas Prometheus alapú adattárolásra.
- **Visszacsatolási hurok:** Az ESP8266 vezérlési értékeket kap a szervertől, amiket aztán modbuson ad tovább az eszközöknek.

4.1.1.6. Modbus kommunikáció vezérléshez

Ez a funkció az autó töltő áramhatárának beállítására szolgál. Az itt használt Modbus RTU használatával az ESP8266 lesz a master, ami „Write Single Register” parancsot ad az autó töltőnek (Modbus slave). Az autós töltő áramkorlátja egy előre meghatározott regiszterben található.

Hardver

- **RS485:** Az ESP8266 natívan nem támogatja az RS485 kommunikációt, viszont tudunk használni egy RS485 adó-vevőt (pl. MAX485). Ez az ESP8266 UART jeleit RS485-re alakítja, ami az ipari kommunikációban elterjedt szabvány, ezért jellemzően a töltőkben és egyéb épületinformatikai eszközökben is megtalálható.
- **ModbusMaster könyvtár:** Itt az open source ModbusMaster könyvtárat [16] használtam a továbbítás egyszerűsítésére.
- **Átviteli vezérlés:** Az előbb említett adó-vevőnek szüksége van egy úgynevezett DE/RE (Driver Enable/Receiver Enable) vezérlőpinre. Amit viszont egyszerű megvalósítani az ESP8266-on egy digitális pin segítségével amire itt a D2 lett használva. Ezzel tudunk később adó és vevő módok között kapcsolni. Küldéshez a pin HIGH (adási mód), ezután a vételhez, pedig (vételi mód) állapotba kerül, ekkor LOW.

4.1.2. Megszakító

4.2. Kontroll szerver

4.3. Adatbázis

A rendszer által generált adatok tárolásához egy Prometheus adatbázist használok. A Prometheus egy nyílt forráskódú idősoros adatbázis, ami inkább felhő környezetben ismert, de ugyanolyan hasznos az IoT-telemetry számára. Minden adatot időbélyegzett értéksorozatként kezel. Ezeket lehet tárolni és lekérdezni. [4] [11]

Esetemben minden metrika tárhelyként szolgál. Ez lehetővé teszi, hogy megőrizzem a töltési áramok történetét és ez alapján irányítsam a rendszert.



4.1. ábra. Prometheus [8]

A Flask szerver-ből könnyű továbbítani az adatokat. A megközelítés amit én használtam hogy egy HTTPS /metrics végpont elérhetővé tettem. Amin prometheus által olvasható formában hirdetem az adatokat. Például a Flask alkalmazás tudja továbbítani a mért számokat:

```
current_gauge = prometheus_client.Gauge('ev_charger_current', 'Current draw of EV charger', ['charger'])
```

Ha olvasás érkezik, a szerver frissíti a számokat (egyébként ezt periodikusan is megteszi)

```
current_gauge.labels(charger=id).set(value)
```

A Prometheus-nak előre megkell adni az ip-címeket a konfigurációs filejában (a scrape konfigurációján keresztül), hogy időszakonként megnézze a Flask szerver /metrics URL-jét. Ez azért előnyösebb mert utólag ezeket már nem lehet állítani a prometheusban indítás után. A szerver, pedig egy stabil IP címen van. A sok fizikai végpontról, pedig a szerver gyűjt ahol elértem, hogy üzem közben is lehessen új végpontokat hozzáadni vagy módosítani.

Amikor a Prometheus olvas, a Flask az összes aktuális értéket szöveges Prometheus metrika formátumban adja ki. A Prometheus ezután ezeket az értékeket a metrikánévvel és címkékkel indexelve tárolja. Ez a lehívás alapú felügyelet jól illeszkedik a Prometheus működéséhez. A Prometheus adatai megjeleníthetők a Grafana által is és összetett lekérdezések írhatók például a teljes áram kiszámítására, amihez szükségem is volt nekem rendszer irányításához.

4.3.1. Prometheus adatgyűjtés kezelése

A mikrokontroller több metrikát is mér, amit belső változókba elment. Jelenleg teszt célokból ezek, csak kézzel megadott számok.

```
{
  "# HELP": "esp8266_current Current sensor reading.",
  "# TYPE": "esp8266_current gauge",
  "esp8266_current0": 1.20,
  "esp8266_current1": 2.50
}
```

Ez a formátum megengedi, hogy ezt a /metrics endpointon a prometheus folyamatosan lekérdezze a mikrokontrollerektől.

A formátumot a következő függvény hozza létre és küldi:

```
sendMetricsToEndpoint()
...
server.send(200, "text/plain", metrics);
```

4.3.2. Prometheus lekérdezések kezelése

```
queryPrometheus()
```

Ez a függvény egy HTTP GET kérést küld a Prometheus szervernek, amely a esp8266_total_current metrikát kérdezi le és a prometheusValue változóba írja be.

```
/api/v1/query?query=esp8266_total_current
```

A fentebbi endpointon.

A lekérdezés sikerességét a httpCode ellenőrzésével teszem amennyiben ez 200-at ad vissza az értéket eltárolom és kiírom a soros kommunikáción ellenőrzés céljából.

```
if (httpCode == HTTP_CODE_OK) {
  String payload = http.getString();
  Serial.println("Response from Prometheus:");
  Serial.println(payload); \texttt{Adat JSON-be nyomtatása}

  DynamicJsonDocument doc(1024);
  DeserializationError error = deserializeJson(doc, payload);

  if (error) {
    Serial.print(F("JSON deserialization failed: "));
    Serial.println(error.c_str());
    return;
  }
}
```

Mivel a lekérdezés egy JSON formátumú változót ad vissza és ennek feldolgozása nehézkes ezért ezt rögtön szám formátumba alakítom későbbi feldolgozás céljából.

```
const char* status = doc["status"];
if (String(status) == "success") {

  const char* valueStr = doc["data"]["result"][0]["value"][1];

  prometheusValue = String(valueStr).toFloat();

  Serial.print("Extracted Prometheus Value: ");
  Serial.println(prometheusValue);
}
```

A fenti rész kinyeri az adatot JSON formátumból és szám formátumba írja.

Természetesen az egész queryPrometheus loop-ban ismétlődve fut, hogy a kontroller folyamatosan frissítse az értékeket. Jelenleg a gyakoriságot 30 másodperc-re állítottam, hogy ne terhelje a próbák során feleslegesen a hálózatot, de gyorsabb válaszidő érdekében ez növelhető.

4.4. Grafana alapú megjelenítés

A szerver automatikusan beavatkozik szükséges esetben, viszont emellett továbbra is szükséges a működtető személyzetnek látnia, a rendszer működését. Ezt folyamatosan ellenőrizni és amennyiben nem megfelelő működés lép fel. Akár nem működik az automatizmus akár rosszul működik, szükséges beavatkozni manuálisan.

4.4.1. A háromfázisú és a napelemes áram vizualizálása és riasztása a Grafanában

Ebben a fejezetben bemutatom, hogy a nyers árammérések az egyes EV-töltők és egyéb terhelések hogyan oszlanak meg három fázison, valamint a napelemek bemeneti áramai hogyan jelennek meg Grafanában, és hogyan történik a túláram vagy más veszélyes állapotok automatikus vagy manuális kezelése. Minden eszköz a Prometheus metrikákat exportálja a következőképpen:

```
ev_charger_current_phase_a_amplitude{charger="ev1"} 12.3
ev_charger_current_phase_b_amplitude{charger="ev1"} 11.8
ev_charger_current_phase_c_amplitude{charger="ev1"} 12.1

equipment_current_phase_a_amplitude{device="pump1"} 5.4
...

solar_input_current_amplitude 8.7
```

4.4.1.1. A Dashboard

1. sor EV töltők áramai amik a \$charger változóval vannak jelölve, ez felsorolja az összes ide tartozó címke értékét (pl. „ev1”, „ev2”, ...). Ezután az idősoros panel: ábrázolja az összegzett értéket három fázison.

```
ev_charger_current{charger="$charger"}
```

Itt ugyanazon a tengelyen láthatóak a három fázis összegzett értékei, különböző színnel és elnevezéssel. Az úgynevezett "mérőpanelen" a pillanatnyi fázisáramokat három kis mérő formájában lehet látni igazából továbbra is a fenti lekérdezéseket használva, pillanatnyi csak üzemmódban. A küszöb értékeket állítottam be a könnyeb vizualizáció érdekében a töltő névleges áramának, 80 %-ánál (sárga) és 100 %-ánál (piros) vannak beállítva.

2. sor Segédberendezések áramai A \$device változóban keressük ezeket a metrikákat.

A panel hasonlóan az előző ponthoz jeleníti meg az adatokat, amely a pillanatnyi és max értéket mutatja.

```
max_over_time(equipment_current_phase_a_amplitude{device="\$device"}[1m])
```

A maximumot minden fázisra az elmúlt percben mutatja, az idetartozó megfelelő szinkuszöbökkel. Mellette raktam egymás mellé csoportosító oszlopdiagramot a gyors összehasonlításokra.

5. fejezet

Alkalmazás migrálása a Docker Compose-ból a Kubernetesbe

5.1. Bevezetés

A konténerizáció nagy előnyt nyújt, mivel szabványosított, elszigetelt környezetet kínál a szoftverek futtatásához. A Docker Compose elterjedt a helyi, több konténert tartalmazó alkalmazásokhoz, egyszerűsítve az összekapcsolt szolgáltatások definiálását és futtatását. Mivel azonban sokszor skálázódásra van szükség, és olyan funkciókra, mint a nagy rendelkezésre állás, az automatikus skálázás és a kifinomult orkesztráció, a Kubernetes vált a konténer orkesztráció szabványává.

Ebben a fejezetben megmutatom, hogy az eredetileg a Docker Compose segítségével definiált rendszeremet, hogyan migráltam Kubernetes környezetbe. A rendszeremben a már meglévő szolgáltatások jelennek meg, mint a Prometheus a felügyelethez, a Grafana a vizualizációhoz, több szimulátorszolgáltatás és egy vezérlőszerver. Itt bemutatom a Docker Compose konfigurációk Kubernetes manifeszttekbe való átforgatásának kihívásait.

5.2. A Docker Compose és Kubernetes áttekintése

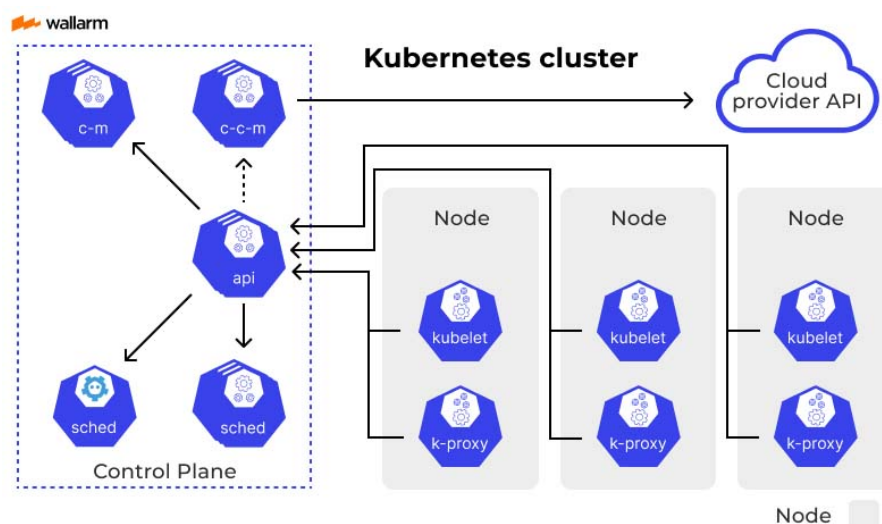
Docker Compose Ezzel több konténert tartalmazó Docker alkalmazásokat lehet definiálni és futtatni. Konfigurációja egy YML fájlban tárolt, ahol a szolgáltatásokat, hálózati kapcsolatokat, köteteket és függőségeket lehet megadni. A Docker Compose leegyszerűsíti a konténerek egyetlen hoszton történő orkesztrációját, így segíti a fejlesztést és tesztelést.

Kubernetes A Kubernetes viszont egy robusztus, open source platform a konténerek telepítésének, skálázásának és üzemeltetésének automatizálására hostokon. A Kubernetes új absztrakciókat vezet be:

- **Pod:** Ez a legkisebb telepíthető egység, amely egy vagy több konténert foglal magukba.
- **Deployment:** Állapot nélküli alkalmazások kezelésére szolgáló objektumok, amelyek olyan funkciókat kínálnak, mint a gördülő frissítések és a visszaállítás.

- **Service:** Végpontokat biztosítanak a podok eléréséhez, segítve a felfedezést és a terheléelosztást.
- **ConfigMap és Secret:** Mechanizmus a konfiguráció és az imagek szétválasztására.
- **PersistentVolumeClaim (PVC):** Absztrakció adattárolásra.

A migráció során ezeket képeztem le docker-ból k8-ba.



5.1. ábra. Kubernetes architektúra [1]

5.3. Rendszerarchitektúrája

A rendszer a már megismert következő részeket tartalmazza:

- **Prometheus:** Egyéni prometheus.yml fájljal konfigurált idősoros adatbázis. Ennek szerencsétlensége, hogy az újra konfiguráció csak újra indítással lehetséges.
- **Grafana:** Vizualizációs eszköz, ami közvetlen a Prometheushoz kapcsolódik megjelenítéséhez.
- **ESP8266 szimulátorok:** Itt épen három példány szimulálja a különböző szimulátorazonosítókkal rendelkező eszközöket.
- **Breaker Simulators:** Más jellegű, de hasonló célú szimulátor.
- **Vezérlőszerver:** Lebonyolítja az eszközök közötti interakciókat, vezérlést és adatok továbbítását.
- **System Simulator:** A rendszer általános viselkedését emuláló központi szolgáltatás.

A Docker Compose alkalmazásban ezek az összetevők hálózaton és socketeken keresztül kapcsolódtak össze, és meghatározott végpontokon jelenítettek meg. [2]

5.4. A Docker Compose beállítások konvertálása Kubernetes manifeszteké

A Docker Compose-ról a Kubernetesre való áttérés magában foglalja az alkalmazás architektúrájának újragondolását a podok, deployment-ek, szolgáltatások és más Kubernetes objektumok szerint. [15]

5.4.1. Névtér- és konfigurációkezelés

Itt létrehoztam egy névtér (pl. monitoring) ez izolációt biztosít az alkalmazás számára. A ConfigMap a Prometheus konfiguráció tárolására szolgál (a prometheus.yml tartalma), lehetővé téve a konfiguráció frissítését a konténerek image-einek újbóli legenerálása nélkül.

```
apiVersion: v1
kind: Namespace
metadata:
  name: monitoring
---
apiVersion: v1
kind: ConfigMap
metadata:
  name: prometheus-config
  namespace: monitoring
data:
  prometheus.yml: |-
    global:
      scrape_interval: 15s
    scrape_configs:
      - job_name: 'prometheus'
        static_configs:
          - targets: ['localhost:9090']
```

5.4.2. Deployment-ek és Service-ek

Minden szolgáltatás Docker Compose-ban egy Deployment és egy Service formájában jelenik meg a Kubernetesben. A Deployment kezeli az alkalmazásban a podokat, a Service ezeket a podokat teszi elérhetővé.

Például a Prometheus szolgáltatás egyetlen replikával rendelkezik. Konfigurációja a ConfigMap-ról van mountolva, a perzisztens adatai pedig egy PersistentVolumeClaim (PVC) segítségével tárolom. Hasonlóképpen, más szolgáltatások, például az ESP8266 szimulátorok és a vezérlő szerver deployment-ekké alakulnak át, amelyek környezeti változókat és portkonfigurációkat adnak meg.

5.4.3. Perzisztens tárolók kezelése

A Docker Compose-ban gyakran definiálnak volume-okat az adattárolására. A Kubernetesben ezt a PersistentVolumeClaims biztosítja. A készített rendszeremben a Prometheus, mind a Grafana perzisztens tárolót igényelt az adatok megőrzéséhez, amiket a PVC-k létrehozásával és konténerekhez kötésével értem el.

```
apiVersion: v1
kind: PersistentVolumeClaim
metadata:
  name: grafana-data
  namespace: monitoring
spec:
```

```
accessModes:
  - ReadWriteOnce
resources:
  requests:
    storage: 1Gi
```

5.4.4. Szolgáltatások elérhetővé tétele és hálózati konfiguráció

A Docker Compose-ban a portok hozzárendelését a konfigurációban végezzük. A Kubernetesben a portok meghatározást a Service-ek kezelik, ezek lehetnek NodePort típusúak a külső hozzáféréshez vagy ClusterIP típusúak a belső kommunikációhoz. A migráció során a konténerek portjait le kellett képezni a hosztokra, hogy a külső interfész ugyanaz maradjon az eredeti Docker Compose-hoz képest.

Például a Docker Compose-ban az 5000-es porton található vezérlő szervert egy olyan Kubernetes Service replikálja, amely egy adott NodePort-ot rendel hozzá, például 30050-et.

5.4.5. Telepítés és tesztelés

A Kubernetes manifeszt a kubectl apply -f paranccsal kerül alkalmazásra. Ez telepíti az összes komponenst a névtérben. A telepítés után a szabványos Kubernetes-parancsok (pl. kubectl get pods, kubectl logs, kubectl describe) a podok állapotának ellenőrzésére szolgálnak. Így iteratíván lehet tesztelni az új rendszert és később szolgáltatás kimaradás nélkül frissíteni.

Telepítéséhez a következő parancsot használjuk:

```
kubectl apply -f monitoring.yaml
```

És hogy megvizsgáljuk a telepített podokat:

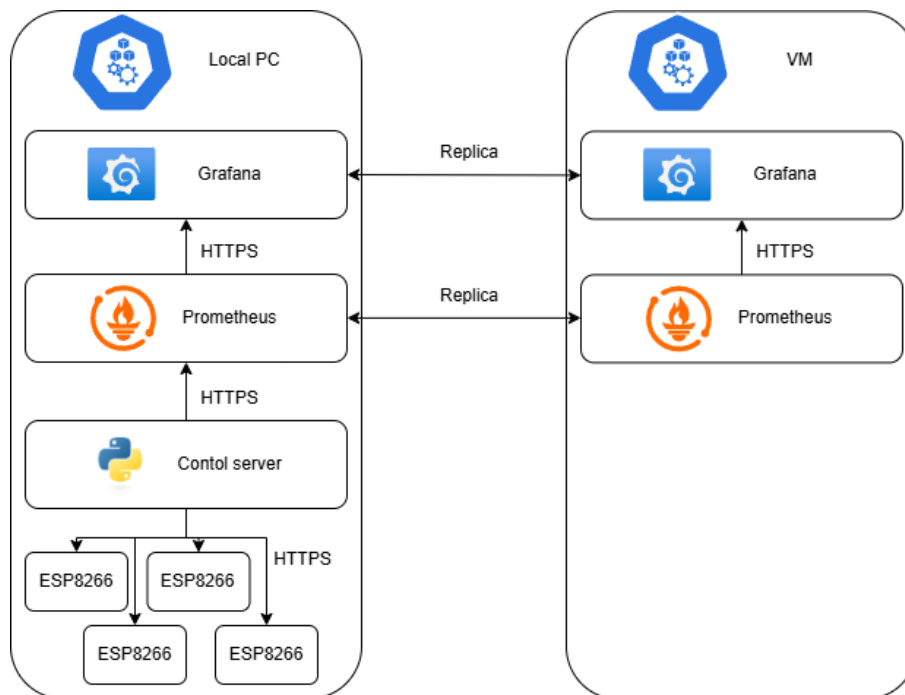
```
kubectl get pods -n monitoring
```

5.5. Nagy elérhetőségű rendszer implementációja

Az aktív elsődleges és meleg készenléti minta csökkenti a komplexitást és emellett megbízható felügyeletet biztosít:

- A Prometheus folyamatos adatreprodukciója mindent megőriz a második helyszínen.
- A replikán keresztül biztosított a Grafana-B azonnali használhatósága.
- Az átállást csak a DNS/szolgáltatás frissítési sebessége korlátozza.
- Ez a topológia megfelel a megbízhatósági céloknak a monitorozási környezetbe.

A Prometheus-A minden célpontot lekérdez, és elvégzi az összes értékelést. A Prometheus-B távoli írást kap A-tól (A hálózat felesleges terhelésének elkerülése érdekében nem scrapel közvetlen). A Grafana-B csatlakozik a Prometheus-B-hez, és a dashboardokat inen frissíti (ez közvetlenül nem érhető el). Egyetlen DNS név mutat az A ingressre. A Kubernetes és egy külső állapotellenőrzés frissíti a DNS-t a B oldalra, amikor az A leáll.



5.2. ábra. Hibrid kubernetes topológia

5.5.1. Replikák megvalósítása

A VM-n a prometheus konfigurációja a következő képen történik.

```

apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: prometheus-b
  namespace: monitoring
spec:
  replicas: 1
  selector: { matchLabels: { app: prometheus-b } }
  template:
    metadata: { labels: { app: prometheus-b } }
    spec:
      nodeSelector: { site: "b" }
      containers:
        - name: prometheus
          image: prom/prometheus:v2.49
          args:
            - --config.file=/etc/prometheus/prometheus.yml
            - --web.enable-lifecycle
          volumeMounts:
            - name: data
              mountPath: /prometheus
          readinessProbe: { httpGet: { path: /-/ready, port: 9090 } }
      volumes:
        - name: data
          persistentVolumeClaim:
            claimName: prometheus-b-data
---
kind: PersistentVolumeClaim
metadata:
  name: prometheus-b-data
  namespace: monitoring
spec:
  accessModes: [ReadWriteOnce]
  storageClassName: cloud-ssd
  resources: { requests: { storage: 50Gi } }

```

Az eredeti A prometheus-ból pedig a B-be folyamatosan írunk.

```
remote_write:
- url: http://prometheus-b.monitoring.svc.cluster.local:9090/api/v1/write
queue_config:
  capacity: 10000
  max_shards: 5
  max_samples_per_send: 1000
  batch_send_deadline: 5s
```

A grafana megvalósítása során igazából csak egy ugyanolyan deployment-et hozunk létre. Ez egy másolat a másikról amire ha kell áttudunk bármikor térni.

```
spec:
  replicas: 1
  template:
    metadata: { labels: { app: grafana-b } }
    spec:
      nodeSelector: { site: "b" }
      containers:
        - name: grafana
          image: grafana/grafana:11.0.0
          env:
            - name: GF_DATABASE_URL      # same secret as primary
              valueFrom: { secretKeyRef: { name: grafana-db, key: db_url } }
            - name: GF_SECURITY_SECRET_KEY
              valueFrom: { secretKeyRef: { name: grafana-db, key: secret } }
          readinessProbe:
            httpGet: { path: /api/health, port: 3000 }
```

Irodalomjegyzék

- [1] Mukhadin Beschokov: How to work with a kubernetes cluster? guide by wallarm, 2025. URL <https://www.wallarm.com/what/what-is-a-kubernetes-cluster-and-how-does-it-work>. Megnyitva: 2025-04-05.
- [2] Docker Inc.: Deploy on kubernetes with docker desktop, 2025. URL <https://docs.docker.com/desktop/features/kubernetes/>. Megnyitva: 2025-04-05.
- [3] Ecostruxure™ power monitoring expert. <https://www.se.com/hu/hu/product-range/65404-ecostruxure-power-monitoring-expert/#overview>, 2025. Megnyitva: 2025-03-17.
- [4] electrofunsmart: Iot szerver prometheus és grafana monitorozással egy esp8266 esetén, 2025. URL <https://www.hackster.io/electrofunsmart/iot-server-with-prometheus-and-grafana-monitoring-a-esp8266-9e0661>. Megnyitva: 2025-03-25.
- [5] Simply Explained: Home energy monitor esp32 ct sensor emonlib, 2025. URL <https://simplyexplained.com/blog/Home-Energy-Monitor-ESP32-CT-Sensor-Emonlib/>. Megnyitva: 2025-03-22.
- [6] Instrumentation Tools: Background of modbus ascii and rtu data frames, 2025. URL <https://instrumentationtools.com/background-of-modbus-ascii-and-rtu-data-frames/>. Megnyitva: 2025-03-25.
- [7] Mikroelektronik: Yhdc sct013 100a 1v felfüggesztés típusú osztott magos áramérzékelő, 2025. URL <https://mikroelektronik.hu/elektronikus-osszetevek/126660-yhdc-sct013-100a-1v-felfuggesztes-tipusa-osztott-magos-aramerzekelo.html>. Megnyitva: 2025-03-22.
- [8] Creator name or YouTube channel name if known: Title of video, 2025. URL https://www.youtube.com/watch?v=pcGg-U5d_n8. Megnyitva: 2025-03-25.
- [9] OpenEnergyMonitor: Interface with arduino, 2025. URL <https://docs.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino.html>. Megnyitva: 2025-03-22.

- [10] Darshil Patel: Getting started with nodemcu (esp8266) on arduino ide, 2020. URL <https://projecthub.arduino.cc/PatelDarshil/getting-started-with-nodemcu-esp8266-on-arduino-ide-b193c3>. Megnyitva: 2024-11-08.
- [11] Prometheus: Prometheus - dimensionális adatok: kulcs-érték párokon alapuló modell, 2025. URL <https://prometheus.io/>. Megnyitva: 2025-03-25.
- [12] Simatic energy management software. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/energymanagement.html>, 2025. Megnyitva: 2025-03-17.
- [13] Erich Styger: Controlling an ev charger with modbus rtu, 2022. URL <https://mcuoneclipse.com/2022/12/31/controlling-an-ev-charger-with-modbus-rtu/>. Megnyitva: 2025-03-24.
- [14] TechTutorialsX: Esp8266 posting json data to a flask server on the cloud, 2017. URL <https://techtutorialsx.com/2017/01/08/esp8266-posting-json-data-to-a-flask-server-on-the-cloud/>. Megnyitva: 2025-03-24.
- [15] The Kubernetes Authors: Kubernetes documentation, 2025. URL <https://kubernetes.io/>. Megnyitva: 2025-04-05.
- [16] Doc Walker: Modbusmaster: Arduino library for modbus communication, 2016. URL <https://github.com/4-20ma/ModbusMaster>. Megnyitva: 2025-04-07.