

Elgázosító kísérleti berendezés irányítórendszere

Forgács Zs.¹, Kállay A. A.²

¹ Miskolci Egyetem, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet, zsofia.forgacs@uni-miskolc.hu

² Miskolci Egyetem, Energia- és Minőségügyi Intézet, andras.kallay@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Napjainkban az energia iránti növekvő kereslet nagymértékben a fosszilis tüzelőanyagok használatára támaszkodik, melyek jelentősen hozzájárulnak a CO₂ kibocsájtáshoz. Ennek csökkentésére egy megoldást nyújthat a Tiszta Szén Technológiák alkalmazása. A Miskolci Egyetemen korábban fejlesztett elgázosító rendszer egy egytöltetes rendszer volt, amely nem volt alkalmas folyamatos kísérletezésre. Jelen cikk a már folyamatos üzemű elgázosító kísérleti berendezés irányítórendszerének fejlesztését mutatja be, kitérve annak fő vezérlési feladataira, a technológiai adatok gyűjtését, mentését és megjelenítését megvalósító megoldásaira és egy saját tervezésű szabályozó áramkörre, amely az oxigénmentes közeg biztosításában játszik szerepet.

1 Bevezetés

Az iparosodás és népességnövekedés felgyorsította a fosszilis tüzelőanyagok fogyasztását, és ez a tendencia várhatóan folytatódni fog a következő évtizedekben is [1]. A fosszilis üzemanyagok jelenlegi ütemben való kitermelése a Föld kőolajkészleteinek gyors kimerülését okozza. A fosszilis tüzelőanyagokat használó energiatermelésből származó szennyezési problémák már visszafordíthatatlan környezeti károkat okoztak. A természeti erőforrások megőrzése és a környezet védelme érdekében ellenintézkedésekre van szükség, mely egyik megoldása a fenntartható és környezetbarát alternatív üzemanyagforrások feltárása.

Az elgázosítás egy ígéretes hőátalakítási technológia, amely a hagyományos égetéshez képest nagy energiakihozatalt tesz lehetővé [2]. Egy olyan oxigén-szegény környezetben megvalósított hőbontási folyamatot jelent, melynek eredményeképpen a kiindulóanyagot (szén, biomassza, kommunális hulladék, ezen belül RDF stb.) szintézisgázzá alakítjuk, a lehető legnagyobb fűtőérték elérésével, illetve a technológia által megkövetelt gázösszetétel elérésével [3-5]. Ennek vizsgálatára a kutatások nagy részében csak kis laborméretű rendszerben, mg vagy g nagyságrendű kísérleteket végeznek.

Az előzőekben használt elgázosító rendszerünk egytöltetes elgázosító rendszer volt, mely a méretnövelésben jelentős előrelépést biztosított, viszont folyamatos üzemű kísérletek végezésére nem volt alkalmas. Ugyanakkor, ha technológiát tovább akarjuk növelni ipari méretre, szükség van egy olyan kísérleti rendszer kialakítására, amely alkalmas az ipari környezethez hasonló körülmények között kísérletek végezni. Ebben a tudományos közleményben a Miskolci Egyetem területén megépült elgázosító kísérleti berendezés vezérlésének és adatgyűjtő rendszerének a fejlesztését kívánjuk bemutatni.

Az elgázosító berendezés többlépcsős kialakítású, az általánosan elterjedt egylépcsőssel szemben, mivel így a rendszerben jobban lehet irányítani a folyamatokat. Az elgázosítás is több lépcsőben megy végbe. Az első lépcsőben az anyag oxigén-szegény környezetben van hevítve (pirolízis), melynek során először a nedvesség távozik az anyagból, majd az illók (hosszabb láncú szénhidrogének). Ezt követi a gázosítás folyamata, melynek során gázosító közeget oxigént, levegőt, vízgőzt vagy ezek kombinációit vezetjük be a rendszerbe, amely

megkötött karbonnal reagál az elgázosítandó anyagban. Ha ezekben a lépcsőkben külön tudjuk szabályozni a hőmérsékletet és az anyag tömegáramát is, akkor jelentősen befolyásolni tudjuk a kilépő gáz összetételét, hogy a további felhasználásnak megfelelő összetételű szintézisgázt állítsunk elő [6, 7]. Ennek érdekében kétlépcsős elgázosítót terveztünk, amely irányításánál követelmény volt a tömegáram külön precíz szabályozhatósága. Ezt a rendszerben 4 motor oldja meg, melyek az anyagmozgató csigákat forgatják, egy előre beállított receptúra alapján. A rendszerből kilépő szintézisgáz egy hőcserélőn, majd egy Venturi mosón megy keresztül. A rendszerben folyamatosan nyomon kell tudnunk követni a termelt gáz és a mosóban kikondenzálódott kátrány, illetve víz mennyiségét. A kilépő szintézisgáz összetételét egy gázelemző méri, melynek adatait egyidőben szükséges a rendszerből származó összes többi (nyomás, hőmérséklet, tömegáram) adattal rögzíteni. Ezen paraméterek rögzítése és az elgázosító rendszer szabályozása hárul a jelen cikkben bemutatott irányító- és adatrögzítő rendszerre.

2 Az irányítórendszer felépítése

A kísérleti technológia legfőbb irányítási feladatait egy programozható logikai vezérlő (Programmable Logic Controller - PLC) látja el. A PLC egy speciális célú ipari számítógép, amelyet különböző gépek, berendezések irányítására terveztek. Különböző mechanikai kialakításokban, mikro, kompakt és moduláris kivitelekben érhetők el [8]. A moduláris konfiguráció rekeszekre bontható, különálló modulokat tartalmaz, ami növeli egység flexibilitását [9].

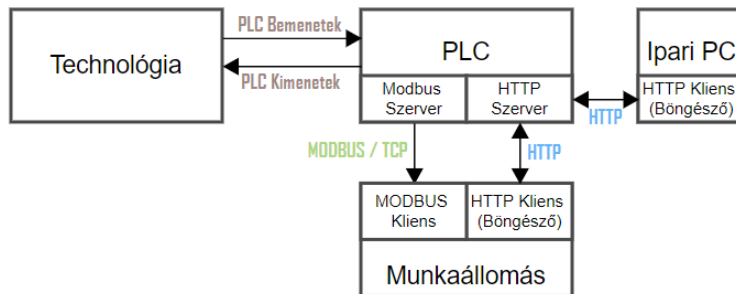
2.1 A PLC konfiguráció

A technológia irányítórendszerének központi eleme egy WAGO gyártmányú moduláris PLC. A vezérlő beépített webszerverrel rendelkezik, amely a weben keresztüli konfigurációt (például hálózati és felhő beállításokat, szoftvertelepítéseket) és a HTML5 szabvány szerinti webvizualizációk futtatását teszi lehetővé. A webes megjelenítés előnye, hogy a vizualizációt bármilyen eszközön elérhetjük, amely böngésző futtatására alkalmas, nem szükséges a költséges ipari HMI panelek beszerzése. A vezérlő több kommunikációs technológiát is támogat, két konfigurálható Ethernet és egy soros porttal rendelkezik, melyekkel különböző Modbus protokollok (TCP/UDP/RTU) és az RS-232/485 soros szabványok szerinti adatkommunikáció megvalósítására alkalmas.

Az automatizált működés feltétele a rendszer állapotát jellemző mennyiségek folyamatos mérése, melyek alapján elvégezhetők a szükséges beavatkozások. A technológia ennek megfelelően számos érzékelő- és beavatkozóegységet tartalmaz, melyek jeleinek fogadását és vezérlőjeleinek kiadását a PLC rendszert felépítő kommunikációs és be- és kimeneti (Input/Output - I/O) modulok végzik. A digitális I/O modulok a PLC rendszereknél megszokott 24 V feszültséggel működnek, az analóg I/O modulok pedig az iparban elterjedt különböző szabványos jelekkel (pl. 0-10 V, 4-20 mA).

Digitális bemeneti modul fogadja a szelepek állapotának visszajelzéseit, az anyagmozgató motorok hőmérséklettől függő tiltójeleit, továbbá a gázátfolyás- és fogyasztásmérő impulzusait. A digitális kimeneti modulok az anyagmozgató motorok, szelepek, kemencék és szivattyúk vezérlése miatt szükségesek. Analóg bemeneti modulokhoz csatlakoznak a hőelemek, a szintérzékelő és a nyomástávadók. Az anyagmozgató motorokat vezérlő frekvenciaváltók és egy léptetőmotor vezérlőjeleit analóg kimeneti modulok szolgáltatják. A konfiguráció része egy RS-232/485 kommunikációs modul is, amely hét RS-485 interfészen kommunikáló hőmérséklet szabályozót csatol az irányítórendszerhez.

A technológia monitorozása és a folyamatba való beavatkozás egy webvizualizáción keresztül lehetséges, a PLC-vel közös hálózatra kapcsolódó, böngészőt futtatni képes eszközökről. Ennek helyi megoldásaként került telepítésre a technológia kapcsolószekrényébe egy 7 inch IPS kijelzővel ellátott ipari számítógép. Az irányítórendszer főbb komponenseit és a közöttük megvalósított adatátviteli technológiákat foglalja össze az 1. ábra.



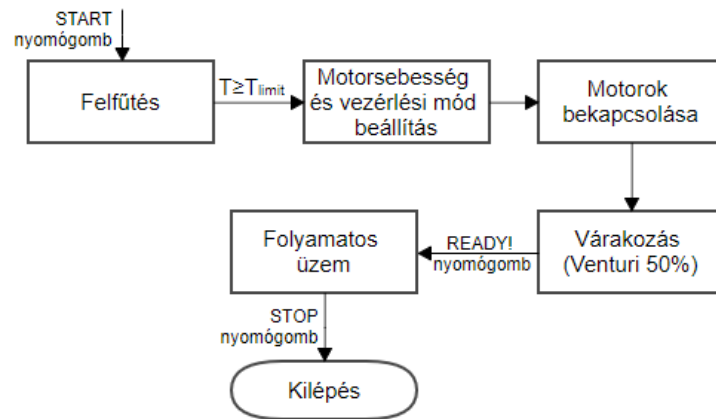
1. ábra Főbb komponensek és adatátviteli megoldások az irányítórendszerben

Az 1. ábrán látható munkaállomásnak a webvizualizáció futtatásán túl az adatgyűjtésben van szerepe, mely működését a 2.4. fejezetben részletezzük.

2.2 A vezérlőszoftver komponensei

A PLC-n futó vezérlőszoftver számos programszervezési egységből épül fel, programokból, funkcióblokkokból és függvényekből. A PLC-ben futó programok taszkhoz vannak hozzárendelve, melyek a programok futását indítják ciklikus vagy megszakításos módon [9]. A következőkben a legfontosabb szoftverelemek és funkciók kerülnek bemutatásra a teljesség igénye nélkül.

A fejlesztett programok jellemzően külön taszkokon kerülnek meghívásra és ciklikusan hajtódnak végre. A legnagyobb prioritású taszkon a főprogram fut, amely az érzékelők olvasásáért, a beavatkozók vezérlőjeleinek írásáért, a manuális és automatizált működés végrehajtásáért felel. Az automatizált működés állapotgép vezérlési minta szerint valósul meg. Az első lépésben a kemencék kerülnek bekapcsolásra. A megfelelő hőmérséklet elérése után a gőzfejlesztő és anyagmozgató motorok sebességének és vezérlési módjának beállítása, továbbá a gőzfejlesztő bekapcsolása történik. A harmadik lépésben kapcsolnak be az anyagmozgató motorok is. A negyedik állapotban felhasználói beavatkozásra vár a rendszer, amíg ez nem történik meg, a Venturi szivattyú félssebességgel működik. Felhasználói beavatkozás után a Venturi szivattyú a figyelt nyomásérték alapján szabályozottan működik, a technológia folyamatos üzembe lép. Az automata mód a felhasználó által bármikor leállítható. Az állapotgép működését a 2. ábra foglalja össze.



2. ábra Az automata mód folyamata

A fogyasztás- és gázátfolyásmérő jeleinek feldolgozása külön programban és taszkokon történik. A PLC projekt további programokat is tartalmaz, melyek a Modbus TCP szerver, a Modbus RTU kliens, a vizualizáció dinamizált funkciói és az adatarchiválás működéséért felelnek.

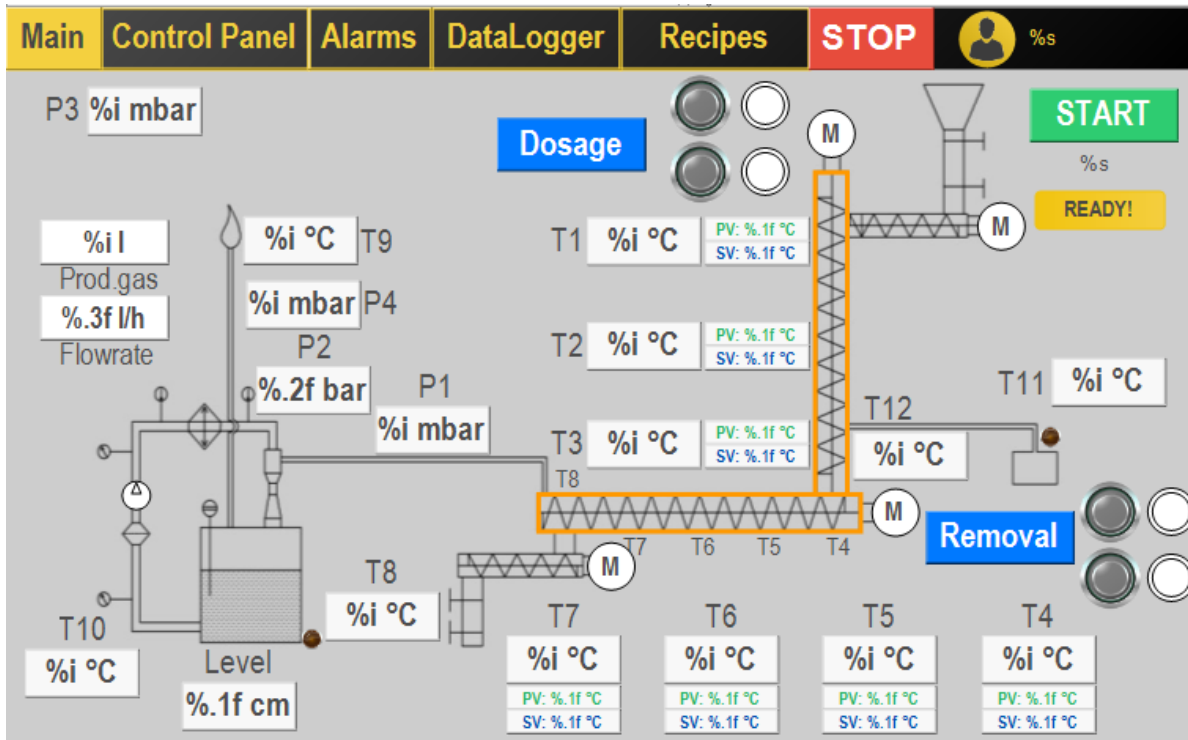
A funkcióblokkok használatával jól strukturált, moduláris programokat hozhatunk létre, de a fejlesztő számára ezek előnye akkor észlelhető igazán, amikor egy algoritmus számos eszköz működtetésére felhasználható, mint esetünkben a négy anyagmozgató motor, a négy szelep vagy a hat hőmérsékletszabályozó kezelésére. A PLC projektben lévő saját fejlesztésű funkcióblokkok felelnek a Modbus RTU kliens írási és olvasási feladatainak ütemezéséért, a szelepek és anyagmozgató motorok különböző módú vezérléséért, a receptúrakezelésért és az automatizált működés ütemezéséért.

A vezérlőszoftver programokon belül deklarált függvényeket, azaz metódusokat tartalmaz, amelyek különböző adatkonverziókat hajtanak végre és a vizualizáció dinamizálási feladatait támogatják.

2.3 Rendszerfelügyelet

A technológiától származó jelzésekhez és mérési adatokhoz számos feldolgozási feladat tartozik, amelyeket a felügyeleti rendszerben valósítunk meg. Ilyen feladatok az eseményüzenetek kezelése, a származtatott adatok előállítás, az adatok archiválása vagy a kezelői jogosultságok beállítása [10]. A kísérleti technológia felügyeleti rendszerében a felsorolt funkciók mindegyike megvalósításra került.

A fejlesztett webvizualizáción lehetőség van a technológia monitorozására, a folyamatba való beavatkozásra, különböző receptúrák létrehozására és alkalmazására a betölteni kívánt anyag tulajdonságai szerint, a releváns mérési adatok mentésére és megjelenítésére, továbbá előre meghatározott események (például határérték-átlépések) hatására üzeneteket és jelzéseket küld a felhasználó számára. A 3. ábrán a fejlesztett vizualizáció főképernyője látható szerkesztői nézetben.



3. ábra A webvizualizáció főképernyője

2.4 Adatgyűjtés a kísérleti rendszerben

Az irányítórendszerben különböző adatgyűjtési módszerek biztosítják a mérési adatok, jelzések és események archiválását. Ezek az eljárások eltérő ütemezéssel és használati móddal, különböző célhelyekre mentik a releváns adatokat.

2.4.1 Trend nézet

Az analóg mérési adatok időbeli alakulásnak egyszerű nyomon követésére a webvizualizáció felületéről elérhető, párbeszédablakokban megjelenő grafikonos nézet használható. A trend nézet a különböző hőmérséklet-, szint- vagy nyomásmennyiségek kiválasztása után jelenik meg és lehetőséget biztosít eltérő időintervallumok megjelenítésére és a mérési adatok közötti keresésre.

A trend nézetet és adatmentést működtető program külön taszkon fut és a mérési adatokat a PLC fájlrendszerében dedikált helyre menti. A megoldás előnye, hogy a PLC futása közben folyamatosan archiválja az adatokat, azonban azok csak FTP kapcsolódást követően elérhetők. Követelmény volt, hogy egy grafikonos nézetben csak egy mennyiség legyen látható, ez pedig olyan grafikai beállításokat követel meg, amely lassítja, akadozóvá teszi a megjelenítést.

2.4.2 Data Logger és Data Plotter alkalmazás

A szint-, hőmérséklet- és nyomásadatok CSV fájlba történő mentésére a WAGO Data Logger funkcióblokkot és a weben történő grafikonos ábrázolásukhoz a PLC-re telepített Data Plotter alkalmazást együttesen használjuk. A funkcióblokk a PLC futása közben az eszköz SD kártyájára menti a mérési adatokat, a Data Plotter alkalmazás

pedig az így létrehozott fájlok megnyitását, a kiválasztott csatornák adatainak grafikonos megjelenítését teszi lehetővé.

Ez a megoldás szintén biztosítja a mérési adatok folyamatos mentését a PLC futása közben, ráadásul trend fájlok helyett egy hagyományos táblázatkezelővel megnyitható CSV fájlokban. Hátránya szintén az adatok elérésének körülményessége, illetve, hogy az SD kártya meghibásodása vagy a tárhely betelése esetén nem működőképes, így az adathordozó karbantartásáról folyamatosan gondoskodni kell.

2.4.3 Saját fejlesztésű adatgyűjtő alkalmazás

Az adatgyűjtő rendszer tervezésekor felmerült az igény egy olyan eljárás fejlesztésére, amely hagyományos táblázatkezelővel megnyitható fájlokba menti a folytonos és diszkrét adatokat és nem igényel járulékos adathordozót a vezérlőben. Ezt a feladatot egy Python nyelven fejlesztett asztali alkalmazással oldottuk meg, amely az irányítórendszerrel Modbus TCP-n keresztül fogadja az adatokat az 1. ábrán jelölt módon.

Az alkalmazás első feladata tehát a Modbus kliens vezérlése és a fogadott adatok megfelelő formába konvertálása. Az adatok elsőként egy MySQL adatbázisba kerülnek rögzítésre, így az ehhez tartozó adatbáziskezelő és az adatbázissal való kapcsolattartásért felelős funkciókat is implementáltuk. Az alkalmazás egy további feladata az adatok CSV fájlba történő mentése. Folyamatos üzem esetén naponta generál egy új fájlt, de a felhasználóknak lehetősége van az adott kísérlet végén is létrehozni azt, továbbá, a kísérlet közben nyomon követni a mérési adatokat. Az adatgyűjtő alkalmazás vezérlésére egy egyszerűsített kezelőfelület áll rendelkezésre, amely az aktuális kísérlet közben mért adatok, a PLC-ben futó webvizualizáció és a mentett CSV fájlok mappájának megnyitását teszi lehetővé, továbbá felugró ablakokban visszajelzést ad a Modbus szerverrel és MySQL adatbázissal létesített kapcsolat állapotáról.

Az alkalmazás működéséhez a PLC oldalán a Modbus szervert vezérlő progamegységeket kellett megvalósítani. Az alkalmazás előnye, hogy könnyen feldolgozható formátumban tárolja az adatokat és működése nem függ a vezérlőben lévő adathordozótól, azonban az archiválás egy további munkaállomást igényel és csak a PLC-vel való megfelelő csatlakozás és az alkalmazás elindítása után kezdi el az adatmentést.

3 Az oxigénmentes közeg biztosítása az elgázosítóban

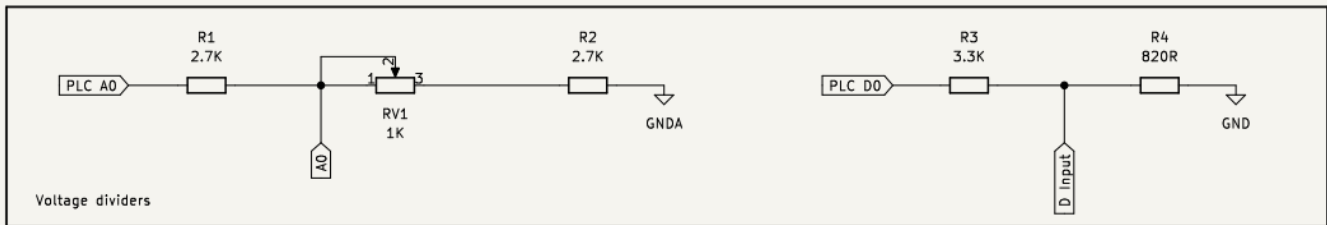
A kétlépcsős elgázosítási folyamat első lépése a pirolízis, ami az anyag oxigénszegény környezetben való hevítését jelenti, a második lépésben pedig a gőz és a kötött karbon reakciója valósul meg. Annak biztosítása érdekében, hogy ne kerüljön oxigén a rendszerbe, a Venturi mosó szívó hatásával szabályozzuk a vákuum mértékét. A következőkben az oxigénmentes közeg biztosításához fejlesztett irányítórendszer kerül bemutatásra.

A Venturi mosó szórófejében egy DC motorral biztosítjuk a mosófolyadék áramoltatását. Az áramlási sebesség határozza meg a gerjesztett vákuum mértékét. Ennek szabályzókörebe tartozik még egy nyomástávadó és egy mikrokontroller-alapú motorvezérlő áramkör.

A DC motor szabályozásáért felelős rendszer tervezésekor különböző megoldásváltozatokat vizsgáltunk meg. A motorvezérlés megvalósítható a PLC konfiguráció PWM modullal vagy DC motorvezérlő modullal való bővítésével, ám ez a többi vizsgált megoldáshoz képest sokkal drágább és mivel a modulok a PLC rendszereknél megszokott 24 V feszültséggel működnek, további szintillesztő áramkörök fejlesztését igényelné. A szabályozás megvalósítható egy mikrovezérlő-alapú fejlesztőkártya segítségével is, mely esetben a motorvezérlő, szintillesztő áramkörök fejlesztése szintén elengedhetetlen. A megoldás előnye annak a PLC modulokhoz viszonyított

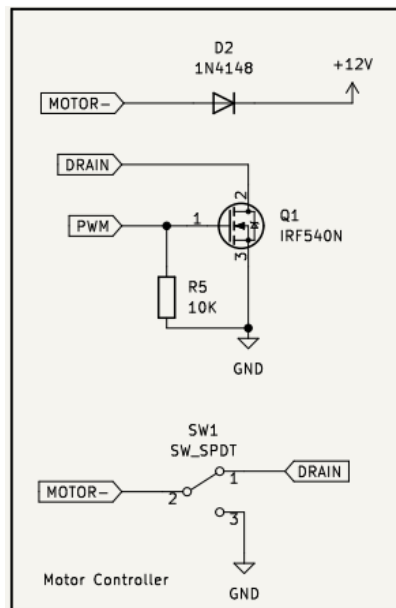
alacsonyabb költségében jelentkezik. A fejlesztés kezdetén egy Arduino Nano fejlesztőkártyát használtunk egy L298N motorvezérlő modullal. A későbbiekben a motorvezérlő modult egy saját tervezésű MOSFET-alapú áramkörrel helyettesítettük. A tesztelések során olyan problémák merültek fel, melyek megoldására újabb jelek becsatolása vált szükségessé a PLC rendszerből és egy saját fejlesztésű áramkör alkalmazása mellett döntöttünk.

A Venturi mosóban lévő motor konstans sebességgel működik egészen addig, amíg az automata mód folyamatos üzeme el nem indul (lásd 2. ábra). Ezt az információt a PLC-ből a hajtásvezérlő modul felé egy digitális kimeneti (DO) csatorna jelével juttatjuk el. A nyomástávadó által mért értéket szintén be kell csatolnunk a szabályozó áramkörbe, amelyet a PLC egyik analóg kimeneti (AO) csatornája szolgáltat. A digitális kimenet 0/24 V feszültségelet szolgáltat, az analóg kimenet pedig 0-10 V közötti feszültséget, a mikrovezérlőbe ezt 5 V feszültségre kell korlátoznunk. Ezt egyszerű feszültségosztó áramkörökkel valósítottuk meg a 4. ábra szerint.



4. ábra Feszültségosztó áramkörök

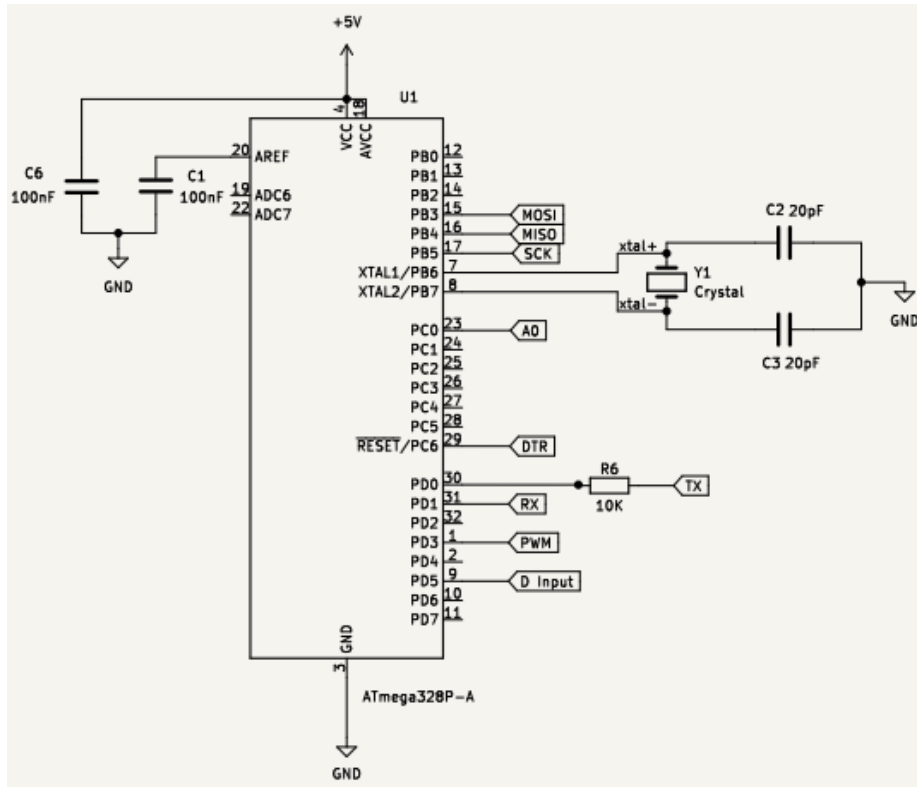
A tesztelések során felmerült az igény a szabályozás be- és kikapcsolhatóságára. Bekapcsolt állapotban a motor szabályozása a PLC által szolgáltatott jelek alapján történik egy IRF540N MOSFET áramkörön keresztül, kikapcsolt állapotban pedig a motort konstans 12 V feszültséggel (100% kitöltési tényezővel) vezéreljük. Ennek megoldása látható az 5. ábrán.



5. ábra Motorvezérlő áramkör

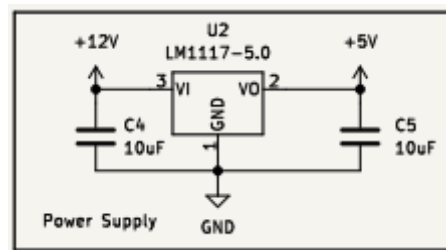
A szabályozás logikáját egy ATmega328P mikrovezérlőjével valósítjuk meg. A fejlesztés kezdeti szakaszában megvizsgáltuk a PID szabályozás alkalmazhatóságát, azonban a mért adatok alacsony felbontása miatt ez nem

bizonyult jó megoldásnak. Végül a szabályozás a mért adatok alapján egyszerű tömbindexelő műveletek (keresőtábla) segítségével került megvalósításra. A mikrovezérlő áramkört a 6. ábra tartalmazza.



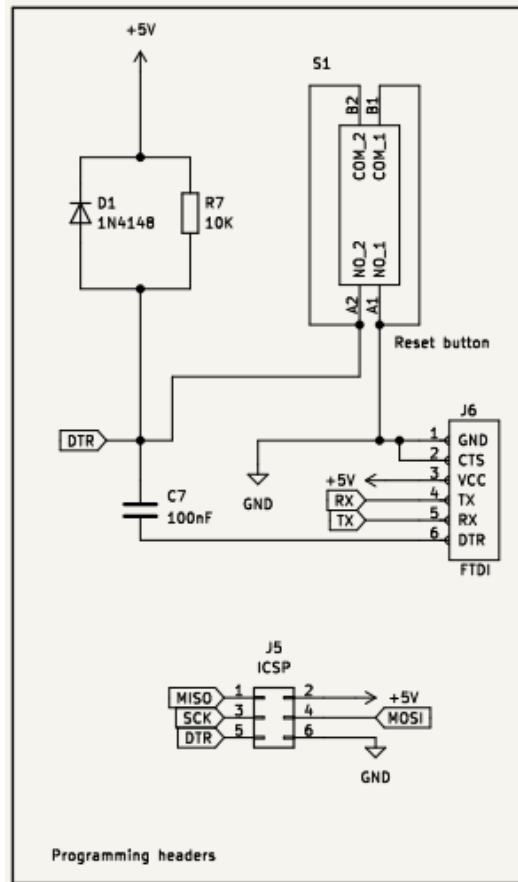
6. ábra Mikrovezérlő áramkör

A fenti funkciók működéséhez különböző mértékű, 5 V és 12 V tápfeszültségre van szükség, mely előállításához egy LM1117-5.0 feszültségszabályozó került felhasználásra a 7. ábra szerint.



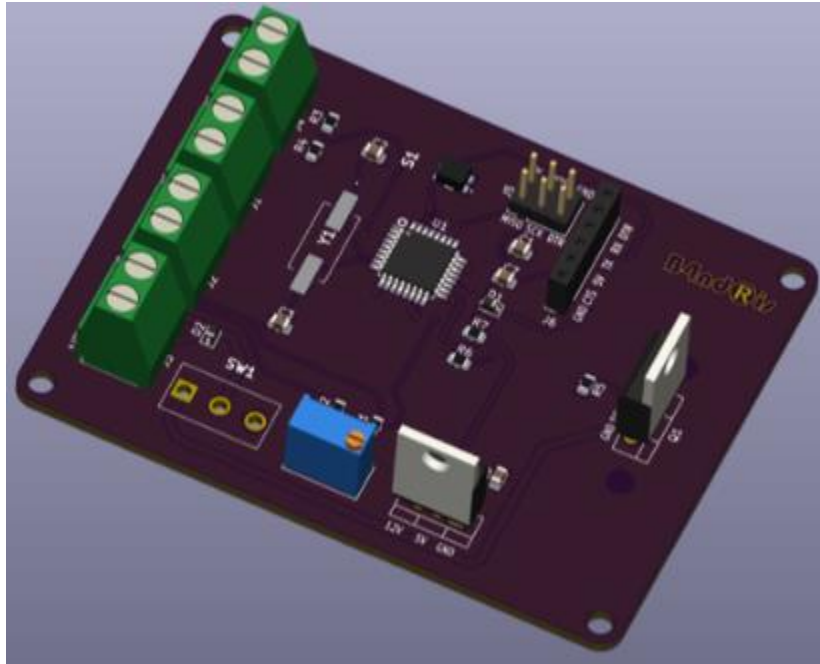
7. ábra Áramkör a tápellátáshoz

A szabályozó áramkör funkciói továbbá a programozhatóság biztosítása ICSP portokon és USB-n keresztül a 8. ábra szerint.



8. ábra Programozó áramkör

Az elkészült nyomtatott áramkör 3D modellje a 9. ábrán látható.



9. ábra A szabályozó áramkör megvalósítása

4 Összefoglalás

Az elgázosító berendezés folyamatos üzeméhez számos irányítástechnikai feladat megvalósítása volt szükséges. A PLC-alapú vezérlésen túl, a kísérleti eredmények feldolgozásához és elemzéséhez alapvető feladat a szenzoroktól és működtető egységektől származó releváns mérési adatok rögzítése. Ezt különböző adatgyűjtő megoldásokkal valósítjuk meg az irányítórendszerben, melyek más-más előnyökkel és működési feltételekkel bírnak.

Az irányítórendszer egy további fontos feladata a Venturi mosóban lévő motor szabályozása az oxigénmentes közeg biztosítása érdekében. Ezt egy saját fejlesztésű szabályozó áramkörrel valósítottuk meg. Ennek megfelelő működése a termelt gáz nitrogéntartalmával támasztható alá, ugyanis, ha a termelt gáz nitrogént tartalmaz, az levegő jelenlétére utal a reaktor belsejében. A folyamat tehát akkor ment végbe sikeresen, ha a végtermék gázelemzővel mért gázelege nem tartalmaz nitrogént.

Az irányító- és adatgyűjtőrendszer az eddig végzett tesztelesek során megfelelően működött, az esetleges hibák kijavításra kerültek. Ahogy a kísérleti technológia, úgy az irányítórendszer is folyamatos fejlesztés alatt áll, a közeljövőben megoldandó feladat például a gázelemző berendezés mérési adatainak továbbítása a PLC számára soros interfészen keresztül.

5 Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási,

Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.”

6 Irodalomjegyzék

- [1] EIA. International energy outlook 2017. U.S. Energy Information Administration 2017; 1-151. [Online]. Available: www.eia.gov/ieo
- [2] S. Chalermcharoenrata, K. Laohalidanonda and S. Kerdsuwana, Optimization of Combustion Behavior and Producer Gas Quality from Reclaimed Landfill Through Highly Densify RDF-Gasification, Energy Procedia 79, pp. 321 – 326, 2015.
- [3] S. Aluri, A. Syed, D. W. Flick, J. D. Muzzy, C. Sievers and P. K. Agrawai, Pyrolysis and Gasification Studies of Model Refuse Derived Fuel (RDF) Using Thermogravimetric Analysis, Fuel Processing Technology 179, pp. 154–166, 2018.
- [4] W. Li, Q. Li, R. Chen, Y. Wu and Y. Zhang, Investigation of Hydrogen Production Using Wood Pellets Gasification with Steam at High Temperature over 800 °C to 1435 °C. International Journal of Hydrogen Energy 39, pp. 5580–5588, 2014.
- [5] Y. Tang, J. Dong, G. Li, Y. Zheng, Y. Chi, A. Nzihou, E. Weiss-Hortala and C. Ye, Environmental and Exergetic Life Cycle Assessment of Incineration- and Gasification-Based Waste to Energy Systems in China, Energy 205, 2020.
- [6] X. Lu and T. Wang, Investigation of Low Rank Coal Gasification in a Two-Stage Downdraft Entrained-Flow Gasifier. International Journal of Clean Coal and Energy 3, pp. 1–12, 2014.
- [7] M. I. B. Setyawan, H. Dafiqurrohman, M. H. Akbar and A. Surjosatyo, Characterizing a Two-Stage Downdraft Biomass Gasifier Using a Representative Particle Model, Renewable Energy 173, pp. 750–767, 2021.
- [8] Ajtonyi I., PLC és SCADA-HMI rendszerek I., Aut-Info Kft., p. 290, Miskolc, 2007.
- [9] Pletl Sz. and Kincses Z., PLC és SCADA rendszerek, Egyetemi tananyag, p. 124, 2014.
- [10] Ajtonyi I. and Gyuricza I., Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek, Műszaki Könyvkiadó, p. 500, Budapest, 2002.