

AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

Praca dyplomowa inżynierska

*Stanowisko do kontroli ciśnienia
Pressure Control System Test Stand*

Autor:

Kierunek studiów:

Opiekun pracy:

Damian Sady

Automatyka i Robotyka

dr inż. Łukasz Więckowski

Kraków, 2017

Uprzedzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz.631 z późn. zm.): „ Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.) „Za naruszenie przepisów obowiązujących

w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej „sądem koleżeńskim”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Streszczenie pracy

W pracy dyplomowej przedstawiono wszystkie czynności, wraz z wnioskami oraz uwagami, związane ze zbudowaniem, zaprogramowaniem, oraz uruchomieniem stanowiska do kontroli ciśnienia. Krok po kroku opisane zostały wszystkie składowe układu regulacji. Stanowisko ma służyć do celów dydaktycznych, pozwalając na testy regulatora PID w sterowaniu rzeczywistym procesem, którym w tym przypadku jest stabilizacja ciśnienia w zbiorniku. Poznanie działania sterownika programowalnego PLC, rozwiązań dwóch różnych producentów TURCK oraz SIEMENS, a także zrozumienie obecnie najczęściej implementowanej w warunkach przemysłowych sieci Profinet. Autor oparł swoją pracę nie tylko na podstawach teoretycznych, ale również na własnych doświadczeniach i aktualnych trendach spotykanych w przemyśle, mając na uwadze ideę czwartej rewolucji przemysłowej.

Abstract

In this thesis was present every single steps, with all conclusions, about building, programming and commissioning of Pressure Control System Test Stand. Step by step the author shows all parts of the regulation system. The purpose of the building this stand was cleared didactic. It must allow to test a PID regulation algorithms on real process, in this example, air pressure stabilization in a tank. It also has an opportunity to know how the Programmable Logic Controller works, know the solutions of the two different producers like TURCK and SIEMENS, and allow to discover and understanding, the most implements today, Profinet network. The author based his works not only on theoretical knowledge, but also on the experiences and actual trends in industry, all with conception of the fourth industry revolution.

Wstęp	3
1. Implementacja sterowania, koncepcja PLC.	5
1.1 Sterownik PLC w ujęciu historycznym, działanie, języki programowania.	5
1.2 Opis użytych sterowników przy budowie stanowiska.	8
1.3 Sieci przemysłowe, Profinet.....	12
1.4 Algorytm PID, wersja pozycyjna i prędkościowa.....	13
2. Realizacja stanowiska kontroli ciśnienia, praca na obiekcie rzeczywistym.	17
2.1 Stworzenie aplikacji sterownika TURCK BL 20 PG EN V3 oraz systemu SCADA.....	17
2.2 Stworzenie aplikacji sterownika Siemens S71214 DC/DC/DC, oraz wizualizacji procesu.....	26
2.3 Uruchomienie sieci Profinet.....	34
3. Testy i walidacja	37
3.1 Test działania stanowiska regulacji ciśnienia.	37
3.2 Podsumowanie, wnioski, proponowane usprawnienia.....	42

Wstęp

Jedną z podstawowych wielkości fizycznych w świecie przemysłu jest ciśnienie. Niezależnie od branży, to od jego stabilności zależy jakość produktu wyjściowego, a niejednokrotnie bezpieczeństwo i życie ludzi. Można by przytaczać wiele przykładów gdzie właśnie brak stabilnego ciśnienia, lub jego niekontrolowany wzrost, spadek spowodował ogromne szkody finansowe oraz materialne. Jest więc rzeczą pożądaną potrzeba kontroli i regulacji ciśnienia danego czynnika. Żyjąc w czasach tzw. „Industry 4.0”, czwartej rewolucji przemysłowej, mamy dostęp do wielu rozwiązań umożliwiających nam to osiągnąć w łatwy i elastyczny sposób, np. poprzez dedykowane do danych aplikacji przetworniki ciśnienia, regulatory, oraz sterowniki PLC, PAC. Dodatkowo dzięki rozwojowi technologii dane procesowe poprzez webserver możemy podglądać i analizować online, będąc np. na drugim końcu świata.

Celem uruchomienia układu kontroli ciśnienia w zbiorniku jest możliwość prowadzenia testów algorytmów regulacji na obiekcie rzeczywistym. Procesem będzie tutaj utrzymywanie stałego, zadanego ciśnienia w zbiorniku. Obiektem jest zbiornik o pojemności 20 litrów. Sam układ regulacyjny jest typu SISO (Single Input, Single Output). Zmienną regulowaną jest ciśnienie powietrza w zbiorniku, zmienną sterującą stopień wysterowania zaworu proporcjonalnego Festo. Założono sterowanie ze sprzężeniem zwrotnym typu Feed-Back z wykorzystaniem regulatora typu PID. Układ w założeniu ma być zaprojektowany w oparciu o sterownik PLC firmy TURCK model BL 20 PG EN V3, oraz posiadać możliwość dostępu do zmiennych procesowych takich jak : Ciśnienie aktualne w zbiorniku, ciśnienie zadane, oraz parametrów regulatora PID poprzez wizualizację procesu w programie Codesys V3. Układ ma dawać także możliwość przełączania zaworu w tryb manualny i ręcznego zadawania pozycji otwarcia/zamknięcia.

Elementem wykonawczym jest zawór proporcjonalny firmy FESTO, sterowany napięciem w zakresie 0-10V DC. Sam układ ma również reagować na zmienne zakłócające tj. ręczny zawór spustowy.

Odczyt zmiennej regulowanej odbywa się poprzez przetwornik ciśnienia firmy Turck, dający odczyt w skali od 0-6bar. Sygnałem wyjściowym jest prąd w zakresie 4-20mA.

W trakcie prac zdecydowano się również na uruchomienie sieci Profinet w sterowniku BL 20 i połączenie ze sterownikiem nadrzędnym marki Siemens z serii S7 1200 w trybie Master-Slave, zbierającego dane z przebiegu procesu regulacji. Dołożono również panel operatorski, wpięty w sieć Profinet, dający dostęp do podglądu zmiennych procesowych, ich archiwizacji na urządzenie Pendrive, aktualnych nastaw zaworu oraz diagnostyki połączenia. Stanowisko daje więc możliwość nie tylko testów algorytmów regulacji, ale również pozwala poznać możliwości sieci Profinet, oraz użytych w projekcie sterowników dwóch różnych producentów, wymieniające się ze sobą danymi procesowymi za pomocą tylko jednego przewodu.

W pierwszym rozdziale dokładnie przedstawiono historię, budowę oraz działanie sterowników PLC użytych przy budowie stanowiska, które „de facto” stanowią centrum całego układu regulacji. Opisany został również standard Profinet, jego zasada działania wraz z trybami pracy. Sieć ta posłuży do połączenia dwóch sterowników PLC. Na końcu rozdziału przytoczono historię regulacji PID, od czasów regulatora J.Watta, po dzisiejsze zastosowania w sterownikach PLC. Opisano również dwa najczęściej stosowane algorytmy pozycyjny, oraz prędkościowy.

Drugi rozdział to opis pracy na obiekcie rzeczywistym. Znajduje się tu szczegółowy opis prac związanych z implementacją sterowania, pisaniem kodów programów, oraz tworzeniem wizualizacji procesu po stronie sterownika Siemens, oraz Turck. Znajdziemy tutaj również kluczowe fragmenty kodu zastosowanych programów, oraz dokumentację uruchomienia sieci Profinet.

Ostatni trzeci rozdział dotyczy prac związanych z testowaniem i walidacją układu regulacji. Odpowiedzi na skok jednostkowy, oraz zakłócenie. Przedstawiono również możliwe drogi rozwoju programu, oraz samego stanowiska.

1. Implementacja sterowania, koncepcja PLC.

1.1 Sterownik PLC w ujęciu historycznym, działanie, języki programowania.

W szeroko pojętym przemyśle daleko przed opracowaniem sterowników PLC, wszelkie układy sterujące procesami opierały się najpierw na budowie mechanicznej. Do dzisiejszego dnia w wielu zakładach, szczególnie na wysłużonych, nie usprawnianych instalacjach możemy doszukać się elementów automatyki opartych na krzywkach, sprężynach itp. Kolejnym krokiem rozwoju sterowania było opracowanie układów stycznikowo – przekaźnikowych, gdzie łączniki elektromagnetyczne służyły zarówno

do realizacji funkcji logicznych sterowania (przekaźnik) jak i do wysterowania samego obiektu (stycznik). Niewątpliwym minusem takiej instalacji jest jej złożoność, w celu stworzenia nawet prostych operacji logicznych trzeba stosować dużą ilość elementów, prosta przeróbka jest jednoznaczna z koniecznością rozpinania i rekonfiguracji połączeń, co przy dużej rozbudowie takiego układu jest problematyczne i kosztowne. Trudności sprawia także diagnostyka w przypadku awarii, szczególnie na instalacjach „wypracowanych”. Należy dodać do tego również dużą ilość energii pobieranej przez taki układ, czy choćby niemożność powielenia aplikacji, możemy stwierdzić że w dzisiejszych czasach i przy obecnych standardach produkcyjnych, szczegółowej kalkulacji kosztów, rozbudowane układy tego typu tracą sens, lub po prostu nie mają racji bytu. Układy stycznikowo-przekaźnikowe zachowały się jedynie na prostych instalacjach, nieskomplikowanych, gdzie przemawia niska cena części, oraz brak wysokich wymagań co do umiejętności obsługi.

Odpowiedzą na wszystkie problemy układów stycznikowo – przekaźnikowych miał być sterownik PLC, gdzie rozbudowane skomplikowane układy miały być zastąpione programowymi funkcjami logicznymi zamkniętymi w jednym urządzeniu. Jako pierwsi po rozwiązanie tego typu sięgnęli Amerykanie. W roku 1968 w firmie General Motors powstała koncepcja budowy pierwszego w pełni elektronicznego urządzenia wykorzystywanego do sterowania procesem dyskretnym. W roku 1969 powstaje pierwszy w pełni programowalny sterownik 084 Modicon opracowany przez R.Moleya. Spowodowało to drastyczne zwiększenie możliwości rozbudowy układu sterowania, jednocześnie eliminując potrzebę zmian połączeń przewodów oraz dokładania

kolejnych styczników czy przekaźników dla każdej nowej funkcji logicznej. Sterownik mógł obsługiwać maksymalnie 128 wejść oraz wyjść. Posiadał również pamięć 1kB. ¹

W roku 1983 powstaje pierwszy sterownik Siemens, model S5. Oprócz Siemens na rynku działają Modicon, Allen Bradley, Mitsubishi, OMRON, oraz General Electric. Pojawiają się również pierwsze sieci przemysłowe (użytkowany do dziś Profibus), pozwalające na budowanie rozproszonych układów sterowania, oraz komunikację pomiędzy sterownikami, bądź urządzeniami wykonawczymi. Wszystkie aspekty związane ze sterownikami PLC zostają ustandaryzowane dopiero w roku 1992, gdzie norma IEC 1131 pozwoliła uporządkować m.in. języki programowania, standardy komunikacji itp. ²

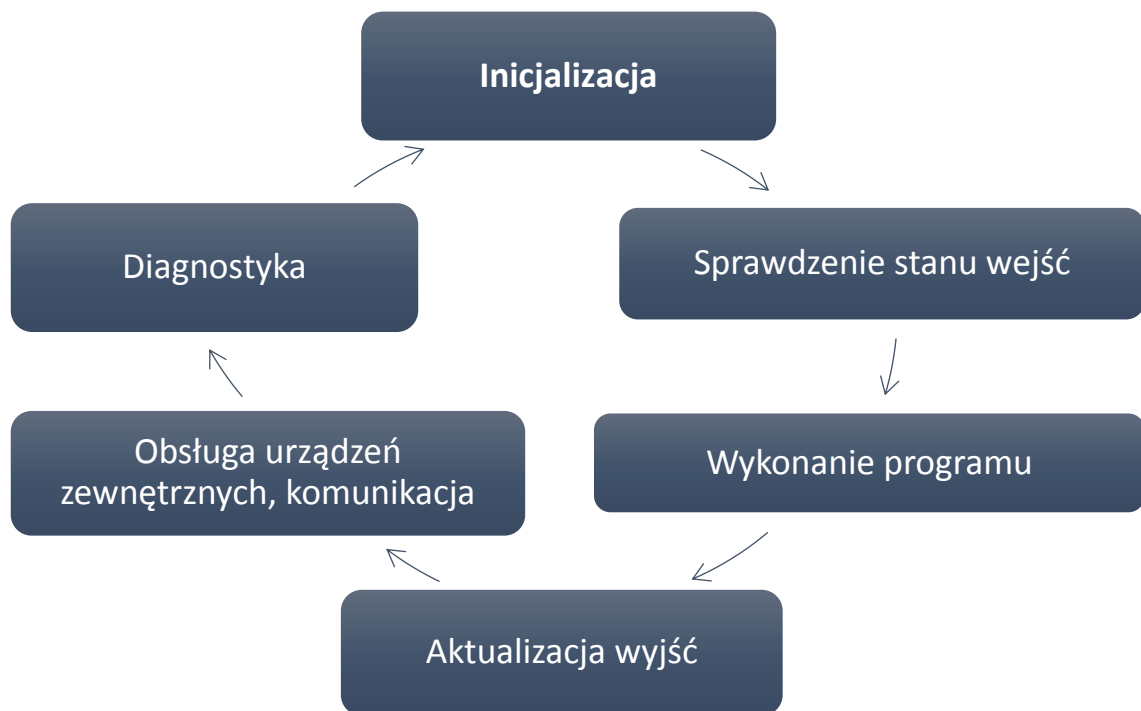
Porównując obecne, dostępne na rynku sterowniki, łatwo zauważyć ogromny skok technologiczny. Pojawiły się nowe protokoły komunikacyjne tj. Profinet, Ethernet TCP, AS-i interface., pojawili się nowi producenci sterowników, a zakres implementacji sterowania poprzez PLC powiększa się stale, obejmując praktycznie wszystkie obszary przemysłu i gospodarki. Parametry sięgające, jak w przypadku sterownika 1518-F 3PN/DP marki Siemens, 6MB pamięci programowej i 20 MB pamięci użytkownika, oraz czasu 1 ns na wykonanie instrukcji bitowej. ³ Możliwość realizacji układów bezpieczeństwa, dwutorowość wykonywania programu (jak w przypadku sterowników z serii Failsafe firmy Siemens). Podsumowując warto zwrócić uwagę na to że PLC pozwoliło nie tylko na zastąpienie starych rozbudowanych układów stycznikowo – przekaźnikowych, ale również na implementację skomplikowanych algorytmów sterowania, regulacji, komunikację itp. Zmienił się charakter postrzegania układów sterowania. Wszelkie pomysły, nowe, lepsze algorytmy mogą być z łatwością przekształcane z papieru, na rzeczywistość.

Każdy sterownik PLC działa według ściśle określonego cyklu. Poniższy rysunek pozwoli dokładnie poznać zasadę działania sterownika PLC (Rys. 1.1.1)

¹ <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/539-modicon-nano> dostęp 15.11.2016.

² R. Sałat, K. Korpysz, P. Obstawski „Wstęp do programowania sterowników PLC”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2012.

³ <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/cn/Catalog/Product/6ES7151-8FB01-0AB0>, dostęp 18.11.2016.



Rys 1.1.1 : Cykl działania sterownika PLC, opracowanie własne.

Inicjalizacja – Obsługa modułów czasowych (timerów), test magistrali, układów we/wy, oraz ustawienie kontroli czasu cyklu.

Sprawdzenie stanów wejść – sprawdzenie aktualnych stanów logicznych na wejściach, przekazanie ich do obrazu odwzorowania wejść (Proces Image).

Wykonanie programu – następuje wykonanie programu „instrukcja po instrukcji”.

Aktualizacja wyjść – wpisanie na wyjścia sterownika stanów wyjść z proces image, po wykonaniu programu użytkownika

Obsługa urządzeń zewnętrznych – komunikacja ze wszystkimi urządzeniami wpiętymi do sieci.

Diagnostyka – Wykonanie funkcji auto diagnostycznych realizowanych przez sterownik PLC. ⁴

⁴ J. Kwaśniewski „Język tekstu strukturalnego w sterownikach Simatic S7 1200 i S7 1500”, Wydawnictwo BTC 2014.

Standard IEC 61131-3 określa nam szczegółowo języki programowania używane przy projektowaniu układów sterowania przy użyciu PLC. Sam proces ujednociania sięga zaś normy IEC 1131-3 wydanej w roku 1993. Wcześniej każdy producent rozwijał swój własny język programowani. Norma określa nam następujące warianty :

- LAD (Ladder Diagram) : język graficzny, najprostszy język programowania PLC, bardzo zbliżony do schematu elektrycznego. Nie wymaga znacznej wiedzy ze strony programisty oraz użytkownika systemu.
- FBD (Function Block Diagram) : język opierający się na schematach blokowych, pomocny przy projektowaniu układów logicznych
- STL (Statement List) : składnia podobna do assemblera, język tekstowy.
- SCL (Structured Control Language) : zbliżony do Pascala. Język wysokiego rzędu. ⁵

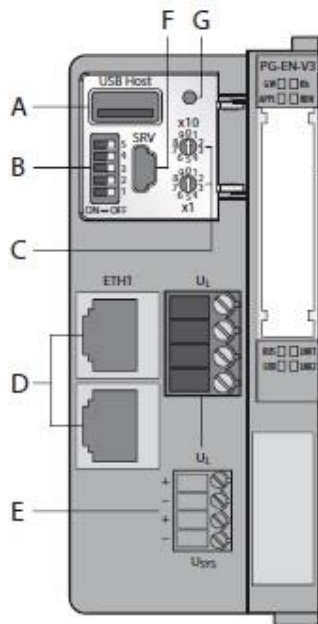
W projektowaniu stanowiska będziemy korzystać z języków FBD oraz SCL-a, gdzie w programie Codesys jest opisany skrótem ST.

1.2 Opis użytych sterowników przy budowie stanowiska.

TURCK BL 20 PG EN V3

⁵ Karl Heinz John, Michael Tiegelkamp „IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Sterownik Turck BL 20, rys 1.2.1, stanowi nową generację programowalnych urządzeń typu Gateway. Może być używany zarówno jako autonomiczny, bądź lokalny



sterownik PLC, będący częścią rozbudowanego systemu automatyki, oraz komunikując się z różnego rodzaju sterownikami i urządzeniami. Sam sterownik obsługuje standardy Profinet, EtherNet IP, oraz Modbus TCP, może pracować jako Slave z urządzeniami nadrzędnymi, bądź systemami PC. Programowanie odbywa się poprzez interfejs Ethernet, lub mini USB, przy wykorzystaniu środowiska programistycznego Codesys V3 w wersji min. 3.5.6. W pełni kompatybilnego ze standardem IEC 61131-3, co oznacza możliwość wykorzystania

praktycznie wszystkich, zgodnych ze standardem, możliwych języków programowania PLC (IL, FBD, ST, SFC, LAD). Dwa porty Ethernet pełniące funkcję Switcha pozwalają na budowanie topologii liniowej sieci. Adresowanie odbywa się poprzez przełącznik obrotowy zainstalowany na obudowie sterownika. Dając możliwości ustawienia portów w tryb Static IP – ustawiając statyczny adres IP sterownika, PGM – czyli czytanie danych sieci z EEPROM, bądź DHCP –dynamiczne nadawanie adresu IP z sieci.

Rysunek 1.2.1 : Widok sterownika BL 20, źródło DTR TURCK

A – Port USB.

B – Zestaw Dip-switch do ustawienia trybu adresowania.

C – Przełącznik obrotowy do ustawienia adresu IP.

D – Dwa porty Ethernet.

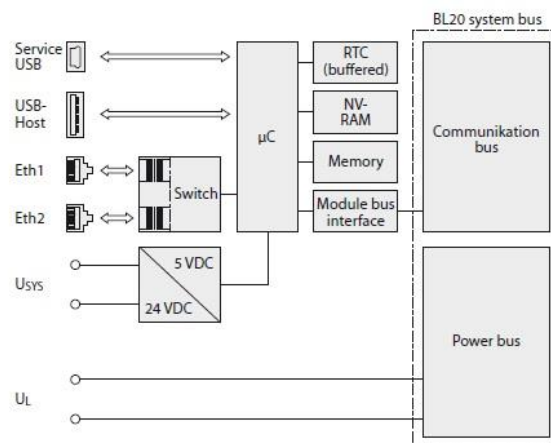
E – Napięcie zasilania.

F – Złącze serwisowe.

G – Przycisk SET.

Status pracy sterownika możemy z łatwością odczytać za pomocą ośmiu diod zamontowanych na panelu czołowym sterownika. Za pomocą diody oznaczonej napisem GW możemy odczytać status firmware, dioda IOs – stan, ewentualne błędy wejść/wyjść, APPL – stan działania aplikacji PLC może być dowolnie programowana przez użytkownika systemu, RUN – status wykonywanej aplikacji, BUS – status sieci, ERR – błąd, wymagana diagnostyka modułu, oraz Link 1 i Link 2 statusy połączeń na portach Ethernet.

Rysunek 1.2.2 przedstawia schemat blokowy sterownika. Sercem sterownika jest 32 bitowy procesor ARM, pozwalający na wykonywanie 1000 komend AWL w czasie mniejszym niż 1ms. Poza tym posiada w pełni funkcjonalny zegar czasu rzeczywistego, dostępny z poziomu programistycznego, który dzięki wbudowanemu superkondensatorowi jest w stanie podtrzymać swój stan do 168 godzin. Sterownik posiada 1024kBajt pamięci programowej. Bardzo dużą funkcjonalność zgodną z duchem czwartej rewolucji przemysłowej stanowi web server, z którego poziomu po aktywowaniu możemy korzystać z funkcji serwisowych sterownika, podglądać zmienne, oraz np. zarządzać siecią Profinet, nadając nazwę sterownikowi.



Rysunek 1.2.2: Schemat blokowy sterownika TURCK, źródło DTR TURCK BL 20

Sterownik może wymieniać 1024Bajty danych wejścia i wyjścia przy pomocy sieci Profinet. Sama sieć Profinet jest zgodna ze standardem RT (Real Time).⁶

SIEMENS S7-1214C DC/DC/DC

⁶ Dokumentacja sterownika TURCK BL 20, www.turck.de dostęp 16.11.2016

Seria sterowników S7 1200, rys 1.2.3, powstała jako następca produkowanej i wysłużonej serii S7 200. Sterownik PLC z tej serii jest typu modułowego, gdzie poszczególne moduły komunikacyjne czy rozszerzeń montowane są na zwykłej szynie DIN, bez konieczności używania rack-ów, seria S5, S7-400, czy choćby złączek znanych z serii S7 300. 1200 doskonale nadaje się do zastosowań w aplikacjach niezbyt rozbudowanych, nie wymagających ogromnych zasobów obliczeniowych. Modułowość sterownika pozwala również na dostosowanie go do wymagań konkretnych aplikacji. Może on być rozbudowany o moduły komunikacyjne (maksymalnie 3), oraz 8 modułów rozszerzeń IO, dodatkowo jest również możliwość instalacji płytki sygnałowej na samym sterowniku, bądź baterii przedłużającej pracę zegara RTC.⁷

Sterownik S7 1214C charakteryzuje się 75kb pamięcią roboczą, sama pamięć ładowania wynosi aż 4Mb. Obsługą czasu rzeczywistego dzięki zegarowi RTC podtrzymywanego superkondensatorem, gdzie po odłączeniu napięcia od CPU jest w stanie podtrzymać pracę zegara przez 10 dni, a przy zastosowaniu modułu baterii nawet do 1 roku. Sterownik posiada 14 lokalnych, fizycznie zintegrowanych, wejść cyfrowych, 2 analogowe oraz 10 wyjść cyfrowych tranzystorowych. Oprócz tego moduły szybkich liczników 3 kwadraturowe, 3 jednofazowe, oraz 4 wyjścia impulsowe. Wyposażony został również w port komunikacyjny typu Ethernet, w pełni obsługujący Profinet w wersji RT. Czas wykonywania 1000 instrukcji podawany przez producenta to 0.04ms. Sterownik może pracować w sieci Profinet zarówno jako Master jak i Slave. Do podstawowej diagnostyki działania sterownika służą 3 zintegrowane diody, opisane jako RUN/STOP – czyli informująca nas o tym czy sterownik wykonuje aktualnie aplikację zapisaną w jego pamięci, kolor żółty tryb stop, zielony zaś tryb RUN. ERROR – informacja o zaistniałym błędzie sterownika, może to być także przekroczenie maksymalnej wartości na wejściu analogowym, oraz MAINT – informuje o konieczności ingerencji ze strony użytkownika/programisty.⁸ W celu dokładnej diagnozy konieczne jest podglądnięcie tzw. Bufora diagnostycznego zintegrowanego ze środowiskiem TIA Portal.

⁷ J. Kwaśniewski „Język tekstu strukturalnego w sterownikach Simatic S7 1200 i S7 1500”, Wydawnictwo BTC 2014.

⁸ S7-1200 Easy Book, <https://support.industry.siemens.com>, dostęp 18.11.2016.



Rysunek 1.2.3: S7 1214 dc/dc/dc, źródło opracowanie własne

1.3 Sieci przemysłowe, Profinet.

Profinet IO, jako sieć przemysłowa, powstał na podwalinach sieci Profibus oraz Industrial Ethernet stanowiąc ich rozwinięcie. Używana jest do łączenia rozproszonych aplikacji automatyki. Pozwala nie tylko na komunikację między urządzeniami, ale również na łączenie sieci przemysłowych z sieciami biurowymi, czerpiąc wszystkie korzyści ze szkieletu sieci opartego na Ethernetie. Dzięki technice przesyłu i przełączania wszystkie stacje mają możliwość dostępu do sieci w dowolnym momencie, komunikując się w technologii full-duplex, przy prędkości 100Mbit/s.⁹

Podstawowa transmisja danych odbywa się w oparciu o protokół TCP/IP. Pakiety są tworzone na podstawie standardów połączeniowego z potwierdzeniem TCP

⁹ Profinet podręcznik, wydanie 1, Siemens, <https://support.industry.siemens.com>, dostęp 20.11.2016.

i bezpołączeniowego UDP. Jest to jednak niewystarczająca funkcjonalność w aplikacjach gdzie determinizm czasowy jest niezwykle ważny. Dlatego wszelka komunikacja między urządzeniami systemów sterowania jest prowadzona w oparciu o pakiety trybu SRT, jest to czas rzeczywisty synchroniczny. Dzięki temu maksymalne opóźnienia na sieci nie sięgają więcej niż 10ms, dodatkowo pakiet zostaje oznaczony wskaźnikiem priorytetu wartości 6, pomijając enkapsulację warstw. Najdokładniejszym i najbardziej restrykcyjnym pod względem wymagań czasu rzeczywistego oraz niezawodności działania jest tryb izochroniczny czasu rzeczywistego (IRT). Wymiana danych rozpoczynana jest za każdym razem od synchronizacji, a transmisja odbywa się w warstwie sprzętowej. Pakiet taki przesyłany jest z najwyższym priorytetem. ¹⁰

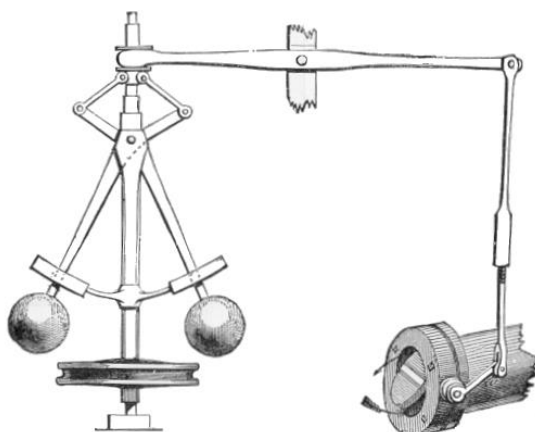
Połączenie urządzeń może być zrealizowane za pomocą przewodu, ekranowanej skrętki minimum 5 kategorii, gdzie maksymalna długość przewodu to 100m, lub światłowodu jednomodowego, wielomodowego, oraz bezprzewodowo.

Profinet bez wątpienia przewyższa sieć Profibus, nie tylko w kwestii prędkości transmisji danych, ale również niezawodności i możliwości zaawansowania sieci. Sieć Profinet jest też dużo bardziej odporna na zakłócenia elektromagnetyczne, co w warunkach przemysłowych ma istotne znaczenie.

1.4 Algorytm PID, wersja pozycyjna i prędkościowa.

Historia powstania układów automatycznej regulacji sięga roku 1788, gdy James Watt po raz pierwszy użył regulatora typu proporcjonalnego ze sprzężeniem zwrotnym do sterowania przepływem pary w maszynie parowej, rys.1.4.1. Był to mechaniczny regulator odśrodkowy, pozwalający na stabilizację prędkości obrotowej maszyny parowej w zależności od obciążenia.

¹⁰ <http://automatykab2b.pl>, dostęp 12.11.2016.



Rysunek 1.4.1: Schemat poglądowy regulatora J. Watta, źródło http://www.eagleridgetech.com/images/Centrifugal_governor.png

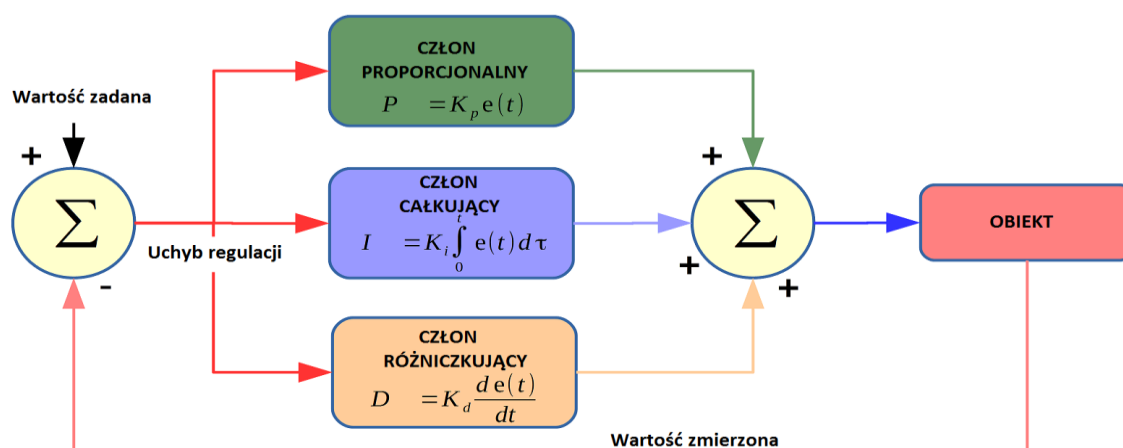
Do dziś zasada działania regulacji jest taka sama, czyli pomiar wartości zadanej, odjęcie od wartości oczekiwanej, przez to otrzymanie tzw. uchybu regulacji, następnie takie oddziaływanie aby zmniejszyć uchyb i powtarzać cykl aż do otrzymania wartości oczekiwanych. W technice automatycznej regulacji stosowano głównie regulatory proporcjonalne. Pierwszy regulator wykorzystujący człony proporcjonalny, całkujący i różniczkujący powstał w roku 1922, dzięki obserwacjom Nicolasa Minorskiego. Podczas podróży statkiem obserwował on sternika sterującego okrętem. Sterowanie to nie opierało się tylko na minimalizowaniu uchybu, ale także na braniu pod uwagę uchybów poprzednich oraz tempa w jakim następowały zmiany. Regulator został zaimplementowany na statku „New Mexico”. Wojsko nie zdecydowało się jednak na trwałe zastosowanie regulatora, mimo bardzo niewielkiego i niespotykanego wcześniej tzw. zejścia z kursu. Burzliwy rozwój regulacji PID nastąpił w okresie drugiej wojny światowej. Między innymi prace Zeiglera-Nicholsa nad doбором nastaw regulatorów dla amerykańskich łodzi podwodnych, wprowadzenie pojęć transmitancji. Same regulatory pneumatyczne tego typu używane były już na coraz to większą skalę w rozwiązaniach wojskowych. Dalszy rozwój i implementacja w rozwiązaniach cywilnych blokowane były jednak przez tajemnicę wojskową i dopiero po II wojnie światowej na szeroką skalę rozpoczęto prace nad implementacją i rozwojem regulacji PID.

W roku 1957 został wyprodukowany pierwszy w pełni elektroniczny, zbudowany dzięki technologii tranzystorowej regulator PID, do zastosowań stricte przemysłowych. Powstawało wiele prac naukowych dotyczących teorii regulacji, m.in. duże piętno

odcisnęły prace Karla Aastroma. Rok 1962 to pierwsze zastosowanie bezpośredniego sterowania cyfrowego bazującego na komputerze, a wynalezienie w 1969 roku mikroprocesora spowodowało rozwój regulatorów opartych na komputerach przemysłowych i dedykowanych układach scalonych.

Lata dziewięćdziesiąte XX wieku przyniosły ogromne zmiany w pojęciu układów regulacji, dzięki implementacji i rozpowszechnieniu rozwiązań informatycznych w aplikacjach automatyki przemysłowej. Obecnie dzięki rozwojowi technologii możemy korzystać z regulatorów już zaimplementowanych w sterownikach PLC, lub PAC. Dovolnie je dostosowywać do wymagań aplikacji, korzystać z gotowych algorytmów autotuningu, pisać swoje funkcje. Dane dotyczące regulacji można łatwo przesyłać również za pośrednictwem sieci.¹¹

Rysunek 1.4.2 prezentuje schemat działania równoległego regulatora proporcjonalno, całkującego różniczkującego.



Rysunek 1.4.2 : Diagram blokowy regulatora PID, źródło opracowanie własne.

Ogólną postać regulatora PID typu ciągłego możemy zapisać w postaci wzoru :

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right] \quad \text{wzór 1.4.1}$$

Pierwszym krokiem w działaniu regulatora jest obliczenie uchybu regulacji, czyli różnicy wartości pożądaney - zadanej i wartości zmierzonej z procesu. Zastosowanie w układzie regulacji jedynie członu proporcjonalnego powodowałoby że przy osiągnięciu wartości zadanej, gdy uchyb regulacji jest bliski wartości zero, regulator zakończyłby

¹¹ J. Brzózka „Regulatory i układy automatyki”, Wydawnictwo MIKOM 2004.

swoje działanie. Dodanie do układu regulacji członu całkującego I spowoduje że regulator będzie cały czas zmieniał wartość na wyjściu, do momentu zrównania się wartością zadaną. Dodatkowo szybkość zmian określana jest przez parametr T_i , czyli czas zdwojenia. Trzecim członem regulatora jest człon różniczkujący D, który powoduje przyspieszenie czasu narastania przy stanach przejściowych.

Po zastosowaniu odpowiednich schematów aproksymacji otrzymujemy dyskretną wersję regulatora PID, którego transmitancja wyraża się wzorem : ¹²

$$G(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad \text{wzór 1.4.2}$$

Algorytm pozycyjny

Do wad algorytmu należy konieczność stosowania filtra anti-windup, czyli zabezpieczenie przed nieograniczonym wzrostem całki. Samo zjawisko jest związane z charakterem urządzenia wykonawczego które nie może być bardziej otwarte niż całkowicie. Po osiągnięciu wartości maksymalnej przez urządzenie wykonawcze, błąd jest nadal całkowany, przez co wyrażenie całkowane wzrasta do dużych wartości. Dla wyznaczenia sterowania w danym kroku, niezbędna jest wiedza na temat błędu we wszystkich poprzedzających krokach. Algorytm pozycyjny można przedstawić wzorem:

$$u_n = \bar{u} + K \left[e_n + \frac{\Delta t}{T_i} \sum_{k=1}^n e_k + \frac{T_d}{\Delta t} (e_n - e_{n-1}) \right] \quad \text{wzór 1.4.3}$$

Algorytm prędkościowy

W tym przypadku nie ma potrzeby stosowania filtra anti-windup, a samo sterowanie może być bezpośrednio aplikowane do urządzenia wykonawczego. Jest łatwiejszy do implementacji. Dzięki zastosowaniu algorytmu otrzymujemy zmianę wartości wyjściowej przy każdej próbie. Równanie regulatora przedstawia się wzorem: ¹³

$$m_k = m_{k-1} + k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e_k - k_p \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} \right) e_{k-1} + k_p \frac{T_d}{T} e_{k-2} \quad \text{wzór 1.4.4}$$

Gdzie :

¹² W. Byrski „Obserwacja i sterowanie w systemach dynamicznych”, Wydawnictwo AGH, Kraków 2007.

¹³ J. Kwaśniewski „Język tekstu strukturalnego w sterownikach Simatic S7 1200 i S7 1500”, Wydawnictwo BTC 2014.

$$K_1 = k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T}\right) \quad K_2 = -k_p \left(1 + 2 \frac{T_d}{T}\right) \quad K_3 = k_p \frac{T_d}{T} \quad \text{wzór 1.4.5}$$

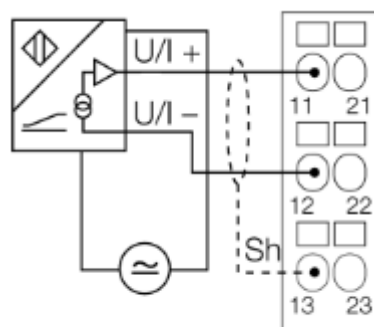
2. Realizacja stanowiska kontroli ciśnienia, praca na obiekcie rzeczywistym.

2.1 Stworzenie aplikacji sterownika TURCK BL 20 PG EN V3 oraz systemu SCADA.

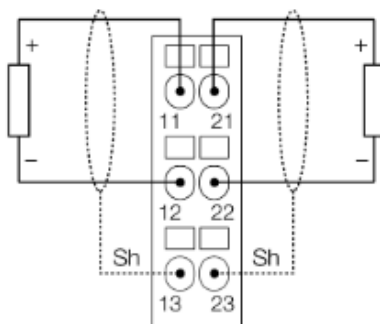
Hardware

Układ regulacji odpowiedzialny za bezpośrednie sterowanie procesem składa się ze sterownika PLC TURCK BL 20 PG EN V3, modułu wejść analogowych BL20-1AI pracującym w zakresie 0/4-20mA z jednym wejściem prądowym o 16 bitowej rozdzielczości, oraz modułu wyjść BL20-2AO pracującym w zakresie -10/0V-10V DC z dwoma wejściami analogowymi o rozdzielczości 16 bitów. Rysunek 2.1.1 przedstawia

sposób podłączenia przetwornika ciśnienia TURCK do wejścia analogowego, zaś rysunek 2.1.2 konfigurację połączenia zaworu regulacyjnego FESTO do wyjścia.



Rysunek 2.1.1: Sposób podłączenia przetwornika do modułu BL20-1AI, źródło DTR Turck.



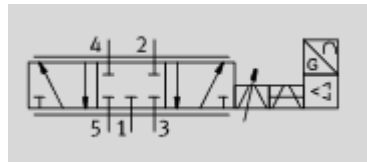
Rysunek 2.1.2: Sposób podłączenia elementu wykonawczego do modułu BL20-2AO, źródło DTR Turck. Sam sterownik, przetwornik ciśnienia TURCK oraz zawór regulacyjny zasilane są napięciem 24VDC otrzymywanym z zasilacza 2.5A MDR-60-24 zabezpieczonym wyłącznikiem instalacyjnym B6. Odczyt ciśnienia rzeczywistego otrzymywany jest dzięki piezorezystywnemu przetwornikowi ciśnienia TURCK PT006R-11-LI3-H1131 dający odczyt w zakresie 0-6bar, oraz sygnał na wyjściu w postaci prądowej w zakresie 4-20mA. ¹⁴ Poniższy rysunek 2.1.3 przedstawia widok rzeczywisty przetwornika odpowiedzialnego za pomiar ciśnienia, zainstalowanego na zbiorniku.

¹⁴ www.turck.pl, dostęp 21.11.2016.



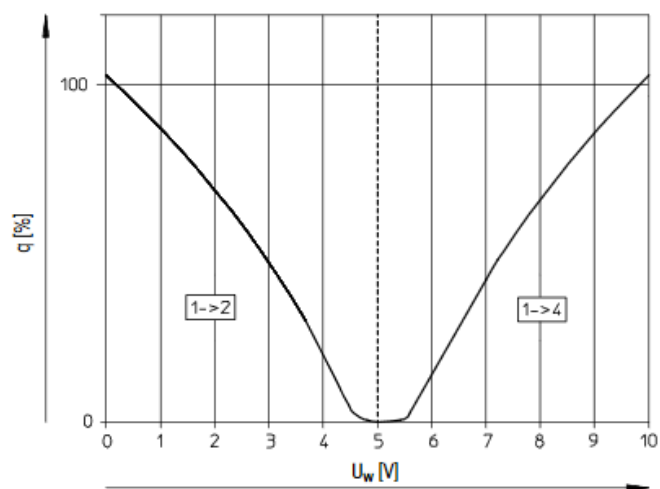
Rysunek 2.1.3: Przetwornik ciśnienia TURCK zainstalowany na obiekcie, źródło opracowanie własne.

Elementem sterującym przepływem sprężonego powietrza jest zawór proporcjonalny FESTO typu 5/3 NC, MPYE-5-1/8-LF-010-B. Schemat zaworu przedstawia rysunek 2.1.4 . Gdzie 1 – podłączenie zasilania sprężonym powietrzem, 2 – podłączenie elementu sterowanego, w tym przypadku zamontowany został tłumik, 3 i 5 – tłumiki, 4 – przewód podłączony do zbiornika ciśnieniowego.



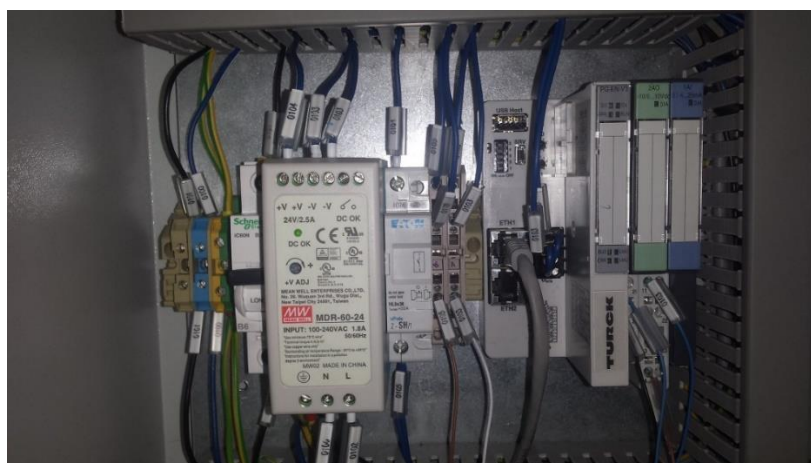
Rysunek 2.1.4 : Schemat zaworu proporcjonalnego, źródło FESTO

Sterowanie zaworem odbywa się poprzez sygnał napięciowy z zakresu 0-10V DC. Rysunek 2.1.5 przedstawia zależność procentową przepływu sprężonego powietrza od wartości podawanego napięciowego sygnału analogowego.



Rysunek 2.1.5 :Charakterystyka zaworu, zależność przepływu od napięcia sterowania, źródło FESTO
 Z charakterystyki można odczytać że zawór jest w pełni zamknięty przy napięciu ok 5 V, od 0 do 5 V zawór przełączony jest w tryb „odpuszczania” sprężonego powietrza. Od 5 do 10 V zawór dopuszcza ciśnienie do zbiornika sprężonego powietrza.¹⁵

Rysunek 2.1.6 przedstawia widok kompletnej szafy sterowniczej stanowiska regulacji ciśnienia z widocznym sterownikiem PLC, modułami wejść/wyjść analogowych, oraz zasilaczem.



Rysunek 2.1.6 : Szafa sterownicza stanowiska kontroli ciśnienia, źródło opracowanie własne.

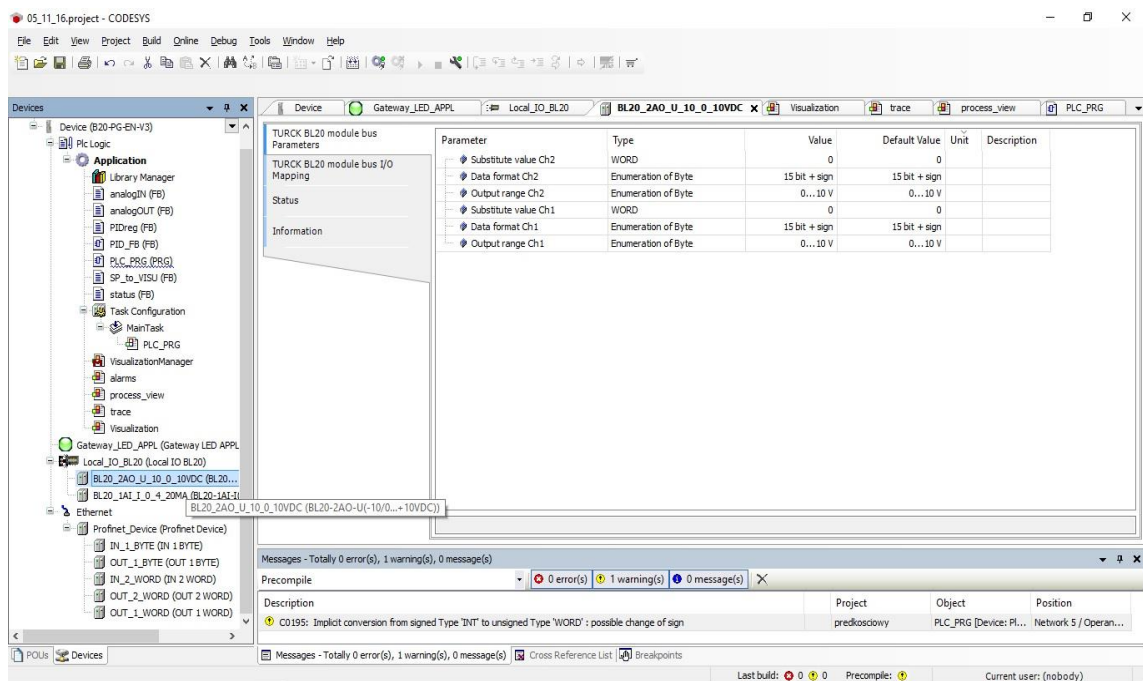
Software

Prace nad aplikacją sterownika PLC rozpoczęto od instalacji środowiska programistycznego, firmy Smart Software Solutions, Codesys V3.5 z dodatkiem service pack 9. Zainstalowano również niezbędne pliki pozwalające korzystać ze sterownika

¹⁵ www.festo.com, dostęp 15.11.2016.

BL20 firmy TURCK. Adres sterownika został ustawiony za pomocą przełączników typu dip-switch, oraz przełącznika obrotowego w tryb Static-IP, ustalając adres sterownika

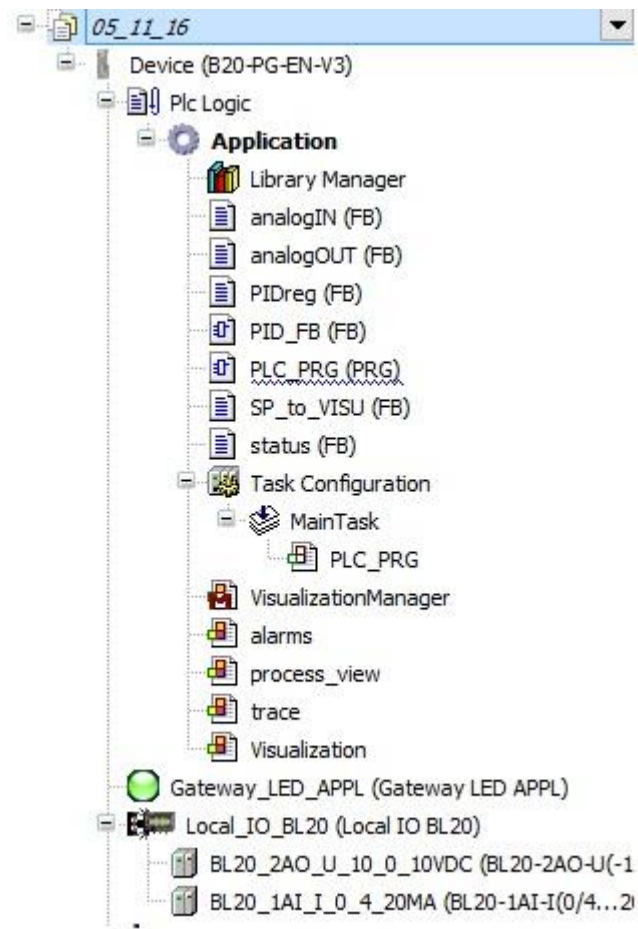
na 192.168.1.29 , maska podsieci pozostała ta sama czyli 255.255.255.0. Do nawiązania połączenia konieczne było również nadanie „sztywnego” adresu IP, z puli adresu sterownika, karcie sieciowej komputera w zakładce IPv4. Po poprawnym sparametryzowaniu adresów w oknie Device w zakładce Scan network wyszukano zainstalowany sterownik. Następuje automatyczne wyszukanie modułów wpiętych w sterownik, w tym przypadku modułów analogowych, oraz przypisanie im adresów (rys 2.1.7).



Rysunek 2.1.7 : Okno programu z widocznymi modułami analogowymi. W tym przypadku moduł wyjść napięciowych, źródło opracowanie własne.

Następnym krokiem była parametryzacja modułów analogowych. Ustawienie formatu danych, w tym przypadku 15 bit + sign, oraz zakresu napięciowego w którym będzie prowadzone sterowanie. Taka konfiguracja oznacza że przy maksymalnym napięciu 10V na wyjściu o adresie %QW1 musimy podać wartość 32767. Sposób ustawień modułu wejść prądowych jest podobny z tym wyjątkiem że zakres pomiaru został przestawiony z domyślnego 0-20mA, na 4-20mA. Dostęp do pomiaru z poziomu programu otrzymujemy poprzez wejście o adresie %IW0.

Koncepcja programu opiera się na podzieleniu kluczowych elementów na poszczególne bloki funkcyjne realizujące odrębne zadanie i wywoływane w pętli głównej programu. Rysunek 2.1.8 przedstawia schemat bloków programowych.



Rysunek 2.1.8: Schemat bloków programowych, źródło opracowanie własne.

Odczyt z wejścia analogowego

Odczyt z wejścia analogowego został zrealizowany w bloku funkcyjnym „**analogIN**”. Wartość odczytana z wejścia mnożona jest przez maksymalną zmierzoną wartość, w tym przypadku 6 (maksymalny zakres przetwornika), następnie otrzymana liczba dzielona jest przez liczbę określającą rozdzielczość wejścia analogowego, czyli 32767. Kod źródłowy obrazuje rysunek 2.1.9.


```

analogIN x
1  FUNCTION_BLOCK analogIN //Blok funkcyjny odczytujący wartości analogowe
2  VAR_INPUT
3      AI1:WORD;           //wartość wejściowa z wejścia analogowego
4  END_VAR
5  VAR_OUTPUT
6      FV:REAL;           //wartość po konwersji
7  END_VAR
8  VAR
9      AI11:REAL;
10     MAX_IN: REAL;      //max zakresu pomiarowego
11     ERROR:BOOL;       //alarm wejścia nisko/wysoko
12 END_VAR
13
14
15 AI11:=WORD_TO_REAL(AI1); //konwersja typ word to real
16 MAX_IN:= 6.0;           //maksymalna wartość zmierzona
17 FV:=AI11*MAX_IN/32767; //32767 ; //OUT in [bar]
18 %QW51:=AI1;            //
19
20 //generating error when overflow*****
21 IF FV>=32767.0
22     THEN ERROR:=TRUE ;
23 END_IF
24 IF FV<=0.0
25     THEN ERROR:=TRUE ;
26 END_IF
27
28
29
30

```

Rysunek 2.1.9 : Blok funkcyjny analogIN, źródło opracowanie własne.

Sterowanie wyjściem analogowym

Sterowanie wyjściem analogowym odbywa się poprzez blok funkcyjny „analogOUT”.

Kod źródłowy obrazuje rysunek 2.1.10

```

analogIN analogOUT x
1  FUNCTION_BLOCK analogOUT //Blok funkcyjny wysyłający wartości analogowe na wyjście*****
2  VAR_INPUT
3      OUT:REAL;
4  END_VAR
5  VAR_OUTPUT
6      OUT_A:INT;
7      ERROR : BOOL ;
8  END_VAR
9  VAR
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566

```

Implementacja regulatora prędkościowego PID

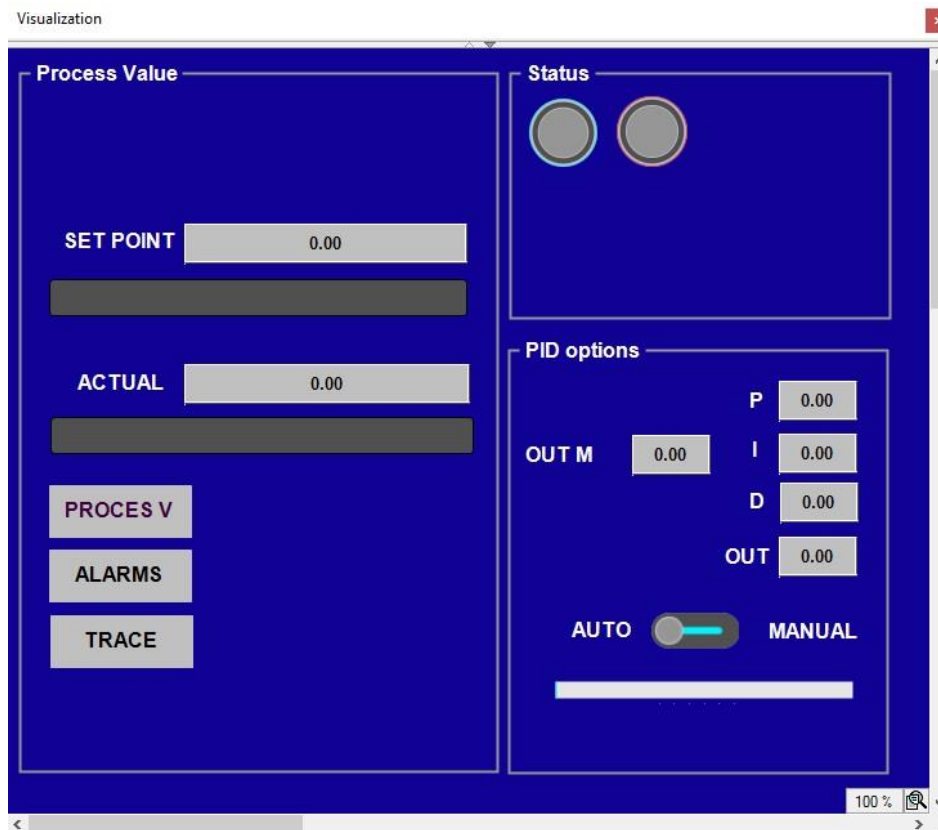
```
1  FUNCTION_BLOCK PIDreg
2  VAR_INPUT
3      PV:REAL; //pomiar
4      SP:REAL; //wartość zadana
5      KC:REAL; //człon proporcjonalny
6      Ti:REAL; //człon całkujący
7      Td:REAL; //człon różniczkujący
8      T:REAL;
9  END_VAR
10 VAR_OUTPUT
11     out_PID:REAL; //
12 END_VAR
13 VAR
14     e:REAL; //uchyb regulacji
15     Kp1:REAL;
16     Kp2:REAL;
17     Kp3:REAL;
18     out1:REAL;
19     e1:REAL;
20     e2:REAL;
21 END_VAR
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

Rysunek 2.1.11 : Implementacja algorytmu prędkościowego PID, źródło opracowanie własne.

SCADA

Głównym założeniem przy tworzeniu systemu wizualizacji procesu była możliwość dostępu do danych procesowych, ustawień regulatora z poziomu interfejsu, przełączania regulatora w tryb manualny, oraz obserwacji zmiennych procesowych. Wizualizacja procesu została stworzona w programie Codesys, korzystając z gotowych bloków

dostarczonych przez producenta oprogramowania. Wygląd głównego okna przedstawia rysunek 2.1.12

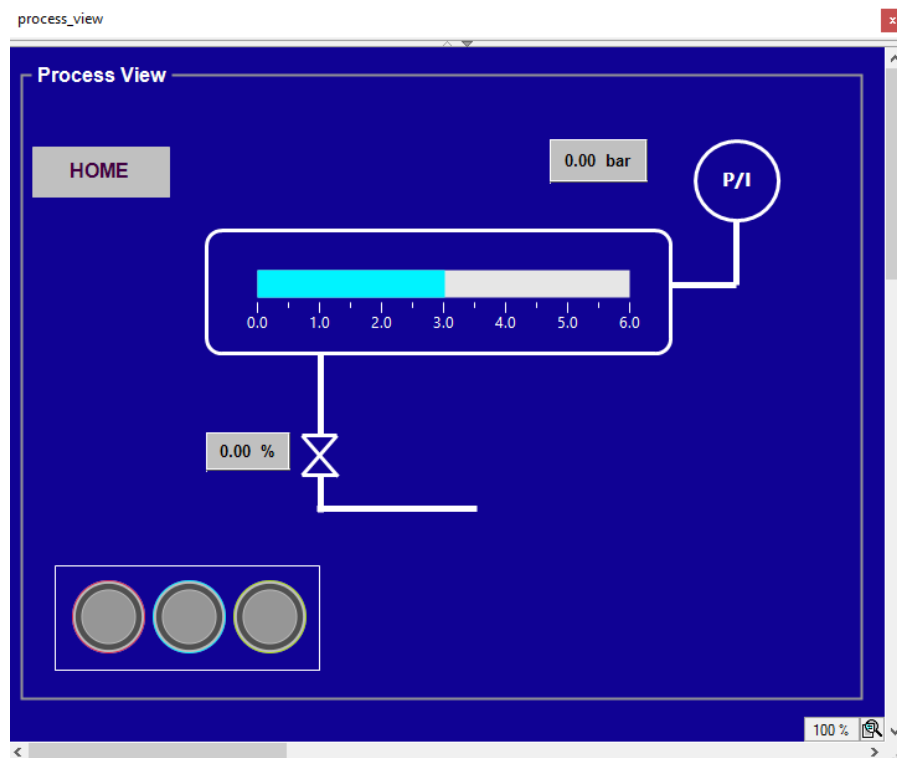


Rysunek 2.1.12 : Okno główne stworzonego systemu SCADA, źródło opracowanie własne.

Okno „Visualization” jest oknem głównym stworzonego systemu SCADA, podzielone zostało na trzy grupy. Pierwsza „Process Value” pozwala na zmianę wartości zadanej ciśnienia w zbiorniku (w bar) poprzez kliknięcie na okno „SET POINT”, oraz podgląd wartości aktualnej ciśnienia w oknie „ACTUAL”. Obie wartości zostały dodatkowo zwizualizowane bargrafem. W oknie „Status” widoczne dwie kontrolki określają stan regulacji. Niebieska oznacza regulację w trakcie, brak błędów, czerwona zaś błąd lub awarię. Okno „PID options” pozwala na dostęp do ustawień regulatora PID, oraz przełączenia działania regulatora w tryb MANUAL za pomocą przełącznika. Po przełączeniu w tryb Manual znikają ustawienia członów regulatora PID, a aktywuje się okno OUT M, gdzie możemy wpisać interesującą nas wartość.

W oknie „Process Value” widzimy również przycisk nawigacyjny przenoszący użytkownika do okna szczegółowego widoku procesu rys 2.1.13. Widoczny jest tutaj schemat układu regulacji, kontrolki statusowe, oraz ciśnienie rzeczywiste w zbiorniku

reprezentowane bargrafem, a także wartością podaną w jednostce bar. Można odczytać również stopień otwarcia zaworu regulacyjnego podany w procentach.



Rysunek 2.1.13 : Okno widoku procesu, źródło opracowanie własne.

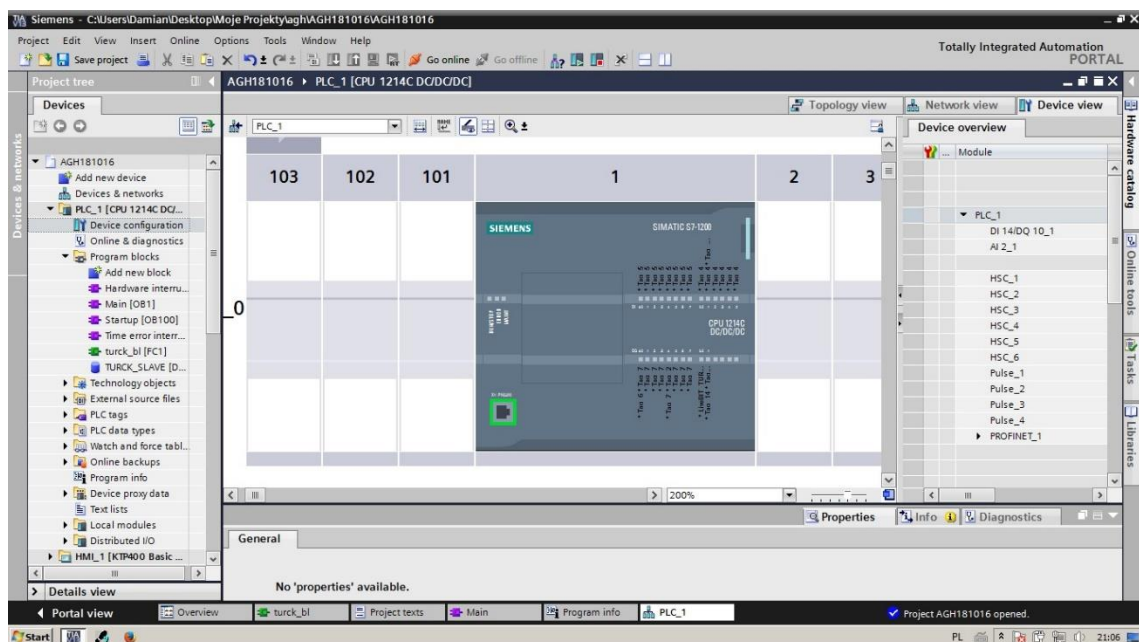
2.2 Stworzenie aplikacji sterownika Siemens S71214 DC/DC/DC, oraz wizualizacji procesu.

Hardware

Funkcję sterownika zbierającego dane z procesu w budowanym układzie regulacji pełni sterownik PLC marki Siemens, model 1214DC/DC/DC, rys 2.2.1, z wersją firmware 3.1. Zdecydowano się na wykorzystanie tego sterownika ze względu na jego parametry, stosunkowo dużą moc obliczeniową, oraz łatwość w implementacji programu sterowania poprzez środowisko TIA Portal, zgodnie ze standardem IEC 61131-3. Ponadto sterownik posiada wbudowany port Profinet., umożliwiającą budowę sieci oraz komunikację ze sterownikiem nadzorującym proces Turck BL 20 w trybie MASTER/SLAVE. Wybrany sterownik został dodany do projektu poprzez „Add new device” w menu głównym programu. Wszelkiej konfiguracji sterownika, ustalenie adresu IP, aktywację bitów zegarowych, oraz systemowych dokonano w menu „Device View” (rys. 2.2.2)



Rysunek 2.2.1 : Sterownik S7 1214 wraz z modulem CSM 1277 użyty do budowy stanowiska, źródło opracowanie własne.



Rysunek 2.2.2: Widok sterownika w menu Device View, źródło opracowanie własne.

Software

Program sterowania został napisany w środowisku TIA Portal v13 BASIC. Jest to przyjazne dla użytkownika narzędzie do projektowania logiki sterownika PLC. Zgodnie z zasadą Totally Integrated Automation (TIA) w jednym programie mieści się zarówno logika sterownika jak i HMI.

Koncepcja programu polega na stworzeniu bloku funkcyjnego odpowiedzialnego za komunikację ze sterownikiem TURCK. Blok będzie wywoływany w OB1, pętli głównej programu. Dostęp do zmiennych procesowych ma umożliwiać optymalizowany blok danych. W bloku tego typu to sterownik decyduje o alokacji zmiennych w pamięci, dostęp do danych odbywa się tylko poprzez symboliczne nazwy elementów bloku. Jest to przydatne szczególnie w rozbudowanych programach ponieważ skraca czas potrzebny na wykonanie programu. Struktura wywołań poszczególnych bloków przedstawiona jest na rysunku 2.2.3.

Call structure	Address	Details	Local data (in path)	Local data (for blocks)
1 Main	OB1		0	0
2 turck_bl	FC1	Main NW1	12	12
3 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW7 (Blok przełączający)	12	0
4 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW4 (stanowisko w manual mode)	12	0
5 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW5 (SLAVE_OK)	12	0
6 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW10 (valve %)	12	0
7 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW3 (alarm SETPOINTnotACTUAL VALUE)	12	0
8 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW1 (Przesyłanie LiveBIT)	12	0
9 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW8 (Ciśnienie zadane w zbiorniku)	12	0
10 TURCK_SLAVE	DB2	turck_bl NW2 (Sygnał actual=setpoint)	12	0
11 Hardware interrupt	OB40		0	0
12 Time error interrupt	OB80		0	0
13 Startup	OB100		0	0
14				

Rysunek 2.2.3 : Struktura programu, źródło opracowanie własne.

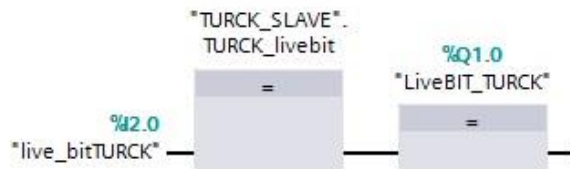
W bloku cyklicznym OB1 zostaje bezwarunkowo wywołana funkcja FC1 o nazwie „turck_bl”. Kod zawarty w funkcji został przedstawiony na poniższych rysunkach. Program został napisanych w języku bloków funkcyjnych (FBD). Pierwszy network, rys 2.2.4, to przesłanie bitu, przez programistę nazwanego LiveBIT ze sterownika TURCK do sterownika Siemens i wysterowanie nim wyjścia cyfrowego. Informuje on o działaniu sterownika TURCK, nawiązaniu połączenia, oraz o wykonywaniu programu na sterowniku. W kolejnym networku zawarto informację, również przesłaną ze sterownika TURCK, informującą o osiągnięciu przez układ regulacji ciśnienia zadanego. Network 3, rys 2.2.5, to informacja o nie osiągnięciu ciśnienia zadanego, związana jest również z błędem, np. zbyt niskie ciśnienia zasilające układ. Kolejna linijka kodu, network 4, jest to sygnał również odczytany ze sterownika TURCK, mówiący o przełączeniu stanowiska w tryb MANUAL.

▼ **Block title:** Wymiana sygnałów z TURCK_BL 20

Comment

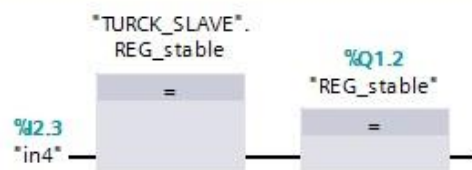
▼ **Network 1:** Przesyłanie LiveBIT

Bit przesyłany ze sterownika TURCK do sterownika SIEMENS, podłączony do wyjścia w sterowniku SIEMENS

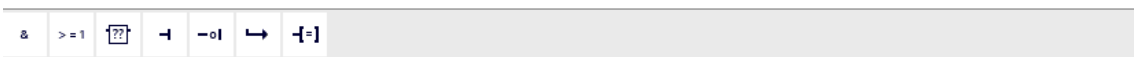


▼ **Network 2:** Sygnał actual=setpoint

Sygnał ze sterownika TURCK, informujący że wartość aktualna = wartość zadana

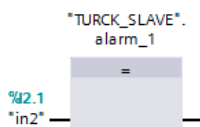


Rysunek 2.2.4: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.



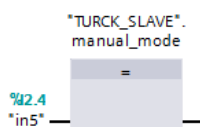
▼ **Network 3:** alarm SET POINT notACTUAL VALUE

Sygnał ze sterownika TURCK, wartość aktualna nie jest równa wartości zadanej



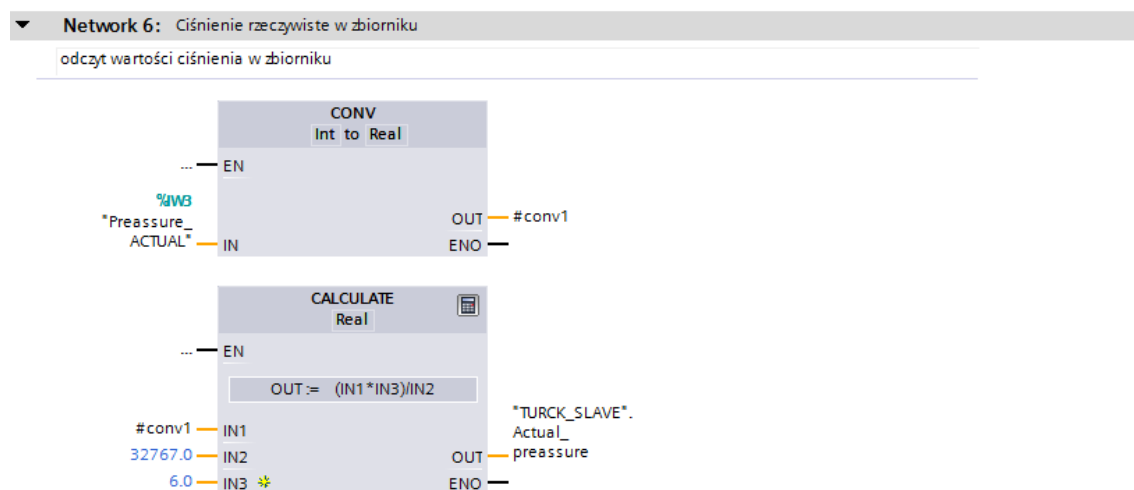
▼ **Network 4:** stanowisko w manual mode

sygnał ze sterownika TURCK, stanowisko w trybie sterowania ręcznego zaworem proporcjonalnym

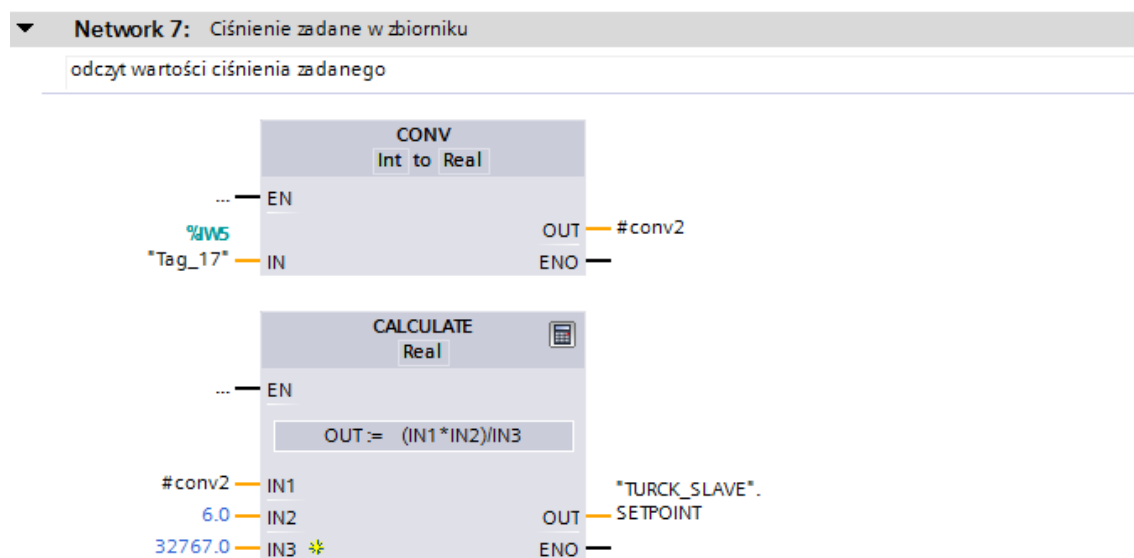


Rysunek 2.2.5 : Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.

W linijce 6, rys. 2.2.6 zawarto odczyt aktualnego ciśnienia rzeczywistego w zbiorniku, poprzez bloki przeliczające wartość Integer na Real, oraz blok Calculate, który dokonuje skalowania na wartość w jednostce bar. Network 7, rys.2.2.7, zawiera odczyt ciśnienia zadanego, nastawionego przez operator układu regulacji.

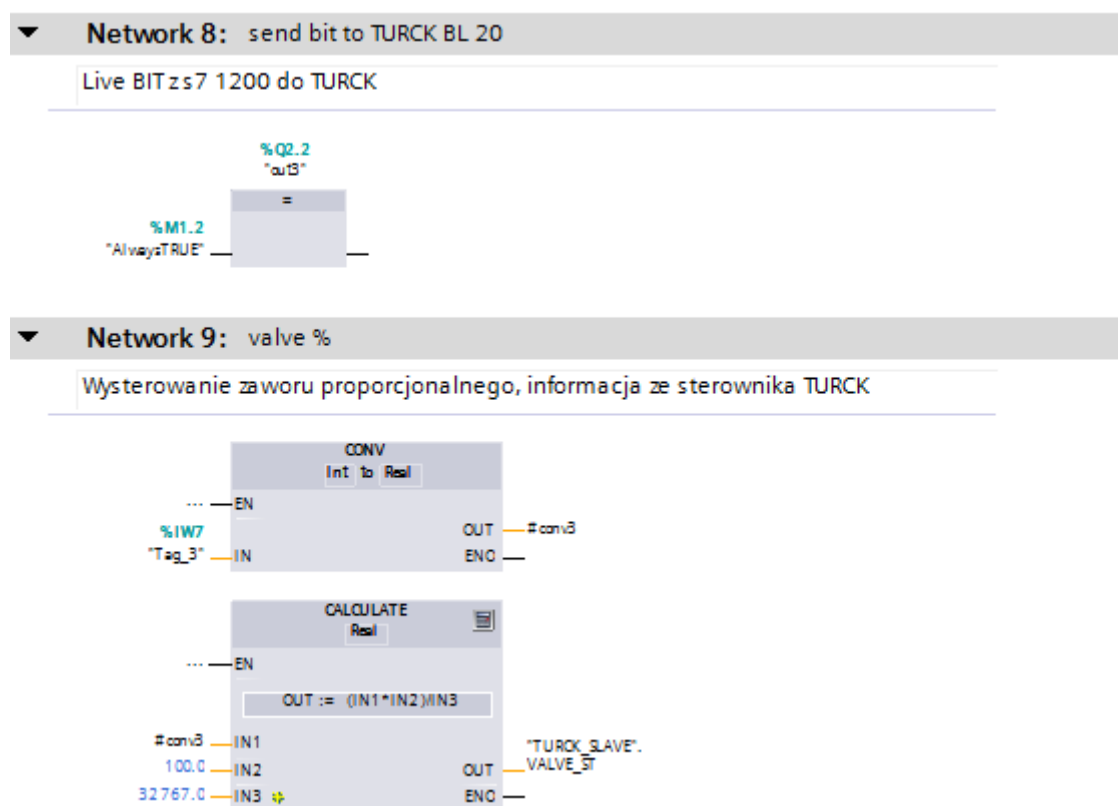


Rysunek 2.2.6: Network 6, kod programu s7 1200, źródło opracowanie własne.



Rysunek 2.2.7 : Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.

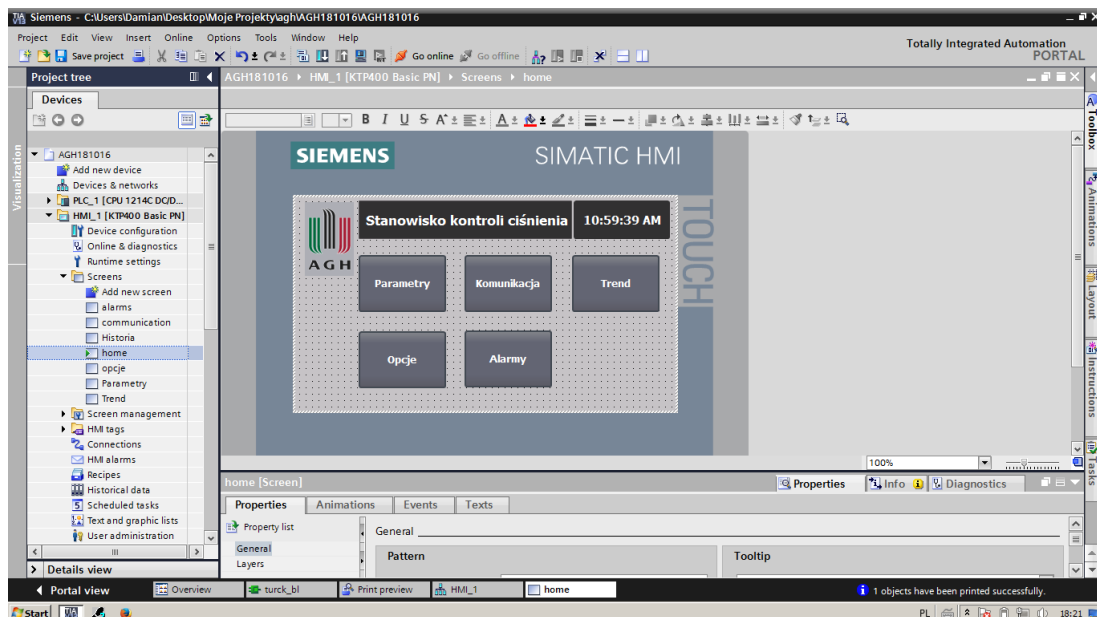
Network 8, rys 2.2.8 to przesłanie bitu do sterownika TURCK BL20 ze sterownika S7 1200. Linijka numer 9 odpowiada za odczyt stopnia wystawienia zaworu proporcjonalnego (w %).



Rysunek 2.2.8: Kod programu s7 1200, źródło opracowanie własne.

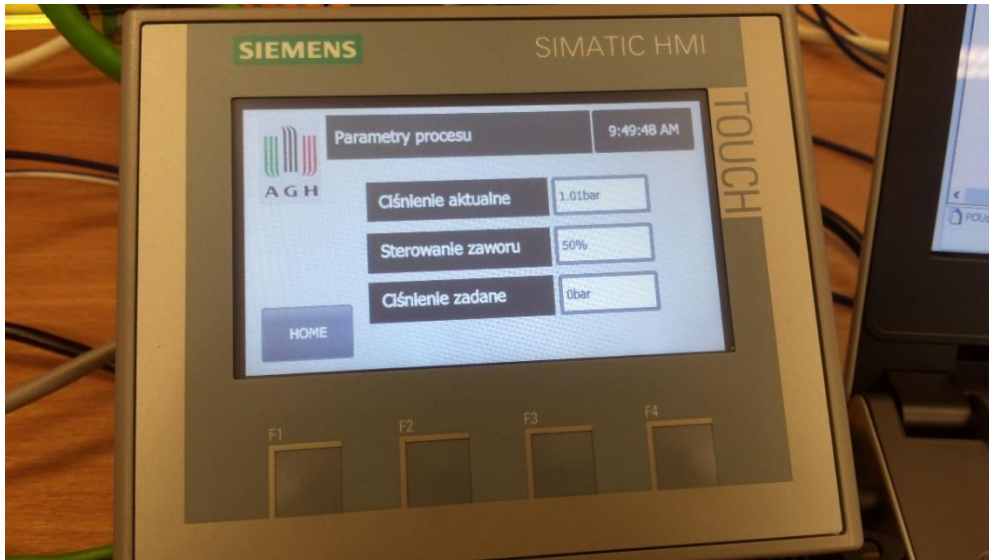
SCADA

Do zbudowania systemu HMI układu sterowania wykorzystano panel KTP 400 Basic firmy Siemens. Panel skomunikowano ze sterownikiem dzięki standardowi Profinet. Całość została zaprojektowana w środowisku TIA Portal, którego elastyczność oraz funkcjonalność upraszcza zadanie automatyka – programisty w projektowaniu panelu operatorskiego. Rysunek 2.2.9 przedstawiają projekt panelu w środowisku TIA. Praktycznie identyczne odwzorowanie z obiektem rzeczywistym pozwala na bezproblemowe i stosunkowo łatwe zaprojektowanie wizualizacji procesu.



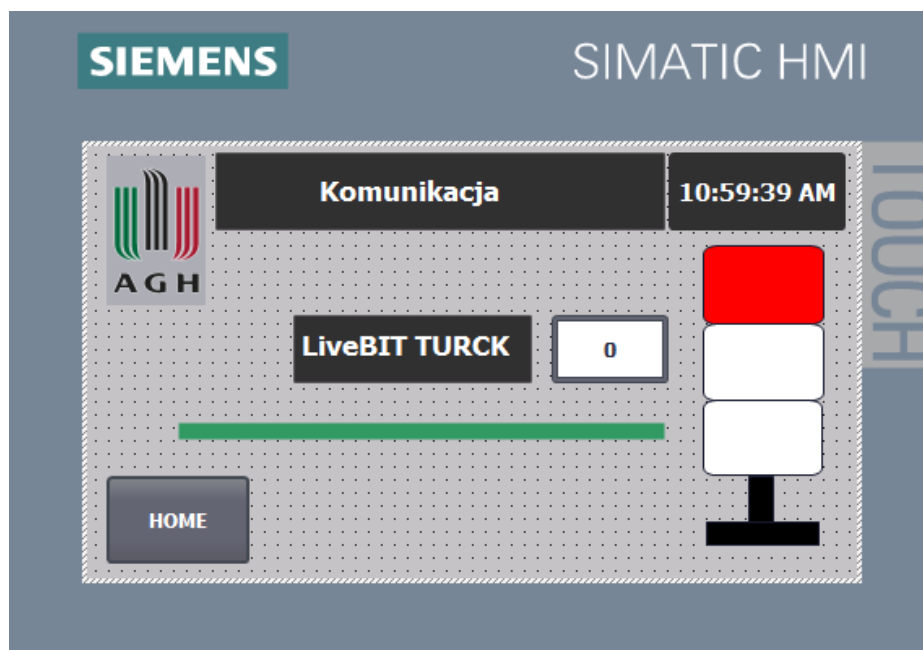
Rysunek 2.2.9 : Widok panelu w TIA Portal, źródło opracowanie własne.

Koncepcja budowy HMI. Interfejs wizualizacji procesu został podzielony na 4 odrębne segmenty. Do których dostęp uzyskuje się na ekranie głównym. Trzy z nich są bezpośrednio związane z obserwacją procesu lub komunikacją. Dodatkowo zbudowano system alarmowania, możliwości archiwizowania alarmów, bądź ostrzeżeń. Okno opcje pozwala zaś na dostęp do opcji systemowych, między innymi zamknięcie trybu runtime, oraz przejście do panelu sterowania. Pierwszym i najważniejszym jest okno **Parametry** – rys 2.2.10. Pozwala na dostęp do podgląd zmiennych procesowych tj. ciśnienie aktualne, ciśnienie zadane oraz trybysterowania zaworu proporcjonalnego. W przypadku zmiany przez operatora systemu trybu regulacji na ręczny. Okno to zostaje podświetlone.



Rysunek 2.2.10 : Widok rzeczywisty, okno Parametry procesu, źródło opracowanie własne.

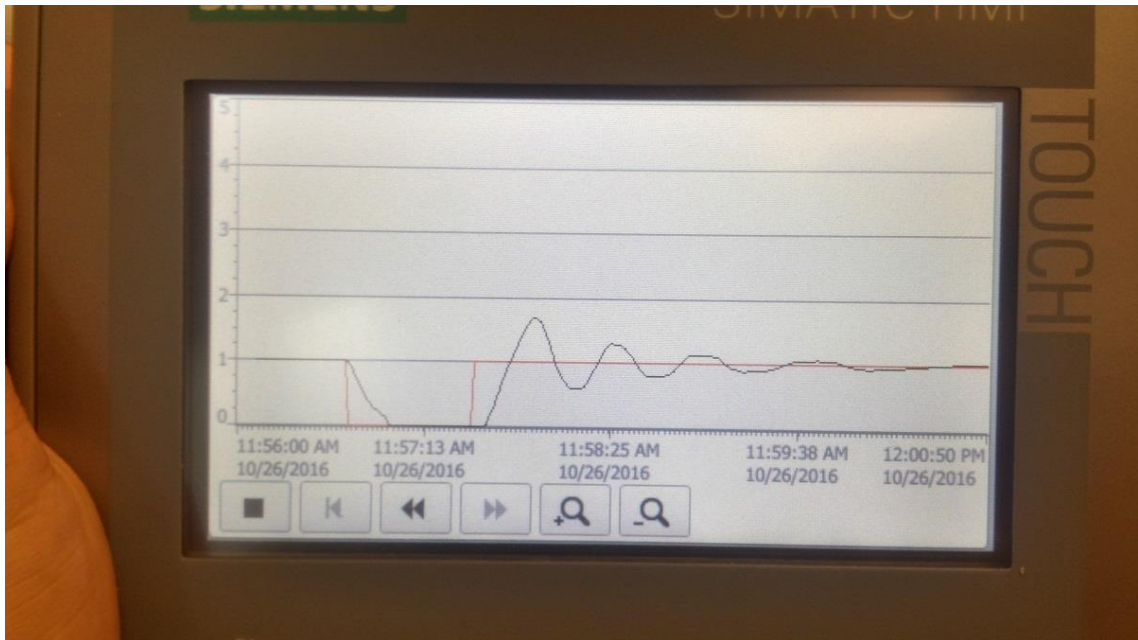
Komunikacja – Pozwala na wizualizację stanu komunikacji pomiędzy sterownikiem TURCK oraz SIEMENS, sygnału statusowe procesu (takie jak alarm, regulacja w trakcie, oraz układ działa bez zakłóceń) zostały przeniesione na wirtualny sygnalizator świetlny. Widać także „Live BIT” przesyłany ze sterownika TURCK, rys.2.2.11.



Rysunek 2.2.11 : Okno komunikacja, źródło opracowanie własne.

TREND – okno trend pozwala nie tylko na obserwację wartości zmiennych procesowych, rysowanych w postaci przebiegów, ale także na archiwizację tych zmiennych. Daje to możliwość dokładnej analizy danych procesowych, w czasie

rzeczywistym lub w kluczowych momentach w przeszłości. Rysunek 2.2.12 przedstawia przykładową odpowiedź rozpatrywanego obiektu regulacji w oknie Trend.

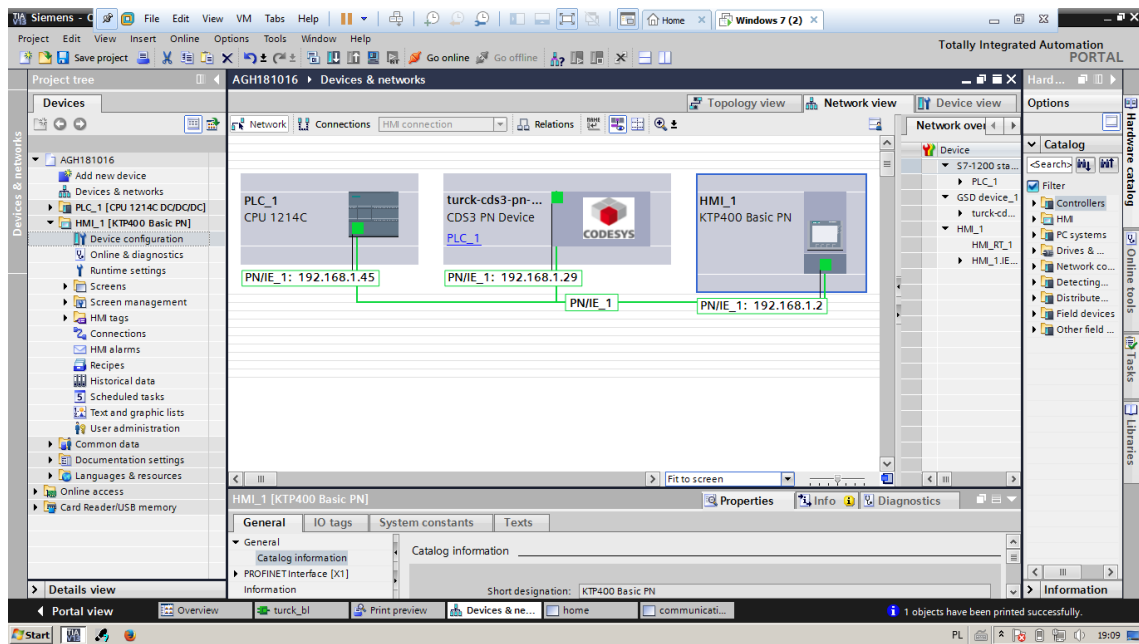


Rysunek 2.2.12 : Okno Trend , widok rzeczywisty, źródło opracowanie własne.

Dodatkową funkcjonalnością jest możliwość archiwizacji zmiennych procesowych w postaci pliku txt na dysku przenośnym. Dane zapisane w tej postaci mogą w łatwy sposób zostać przekonwertowane do pliku CSV.

2.3 Uruchomienie sieci Profinet.

Pierwszym krokiem przy budowie sieci Profinet jest dobór odpowiednich, niepowtarzalnych adresów IP (IP address), oraz zdefiniowaniu jednej wspólnej maski podsieci (subnet mask). W tym przypadku adresy poszczególnych urządzeń to : Sterownik Siemens : 192.168.1.45, sterownik TURCK BL20 : 192.168.1.29, Panel operatorski KTP 400: 192.168.1.2. Maska podsieci 255.255.255.0. Jak wspomniano komunikacja odbywa się w oparciu o protokół TCP/IP. Jednak najważniejsza w protokole jest unikalna nazwa urządzenia w sieci, nadawana w oknie „Assign device name” w TIA Portal. Rysunek 2.2.13 przedstawia widok sieci Profinet (Network View), która została zaznaczona kolorem zielonym i oznaczona symbolem PN/IE_1, z widocznymi adresami IP oraz nadanymi nazwami poszczególnych urządzeń. Do połączeń fizycznych użyto przewodu Profinet FC TP standard Cable GP 2x2 Cat.5 ze złączkami RJ45 Siemens.



Rysunek 2.2.13: Widok sieci Profinet w środowisku TIA Portal, źródło opracowanie własne.

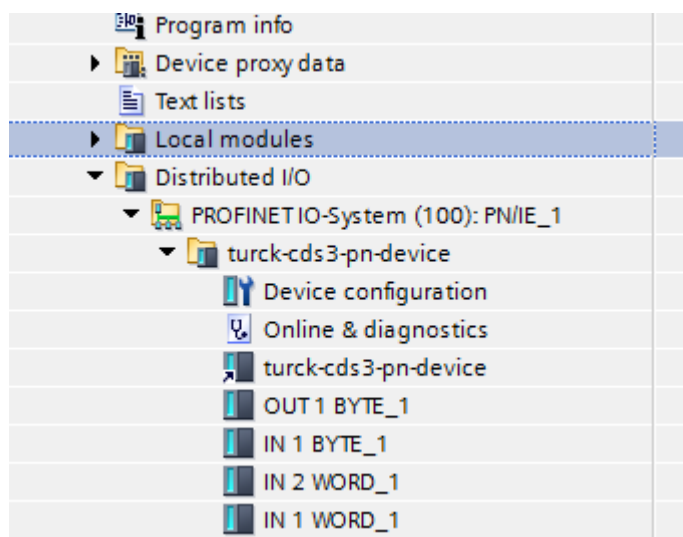
Jako switcha użyto modułu niezarządzanego marki Siemens, model CSM 1277, rys.2.2.14. Moduł pozwala na podłączenie czterech przewodów sieci Profinet. Nie spełnia jednak funkcji pełnego Profinetu, tak jak np. moduł Scalance X200, o czym należy pamiętać przy projektowaniu rozbudowanych aplikacji z priorytetami urządzeń, lub podziałem na VLANy, moduł jednak w zupełności wystarcza na potrzeby rozpatrywanej aplikacji.¹⁶



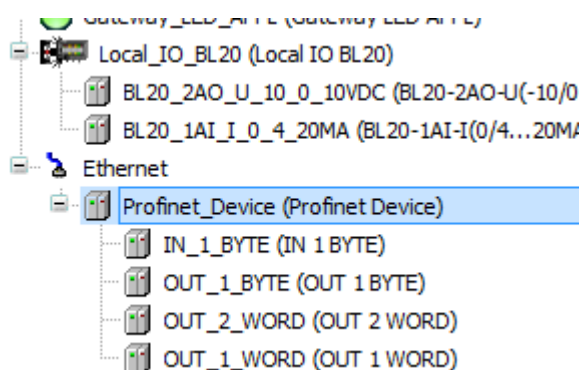
Rysunek 2.2.14 : Moduł CSM 1277

¹⁶ Siemens Industry Support CSM1277 Simatic NET

Sieć profinet pozwala na maksymalny przesył 1024 bajtów danych (512 dane wejściowe i 512 dane wyjściowe). W projekcie zdefiniowano wymianę danych w dwóch bajtach (2 BYTE) – sygnały statusowe, liveBIT ze sterownika s7 1200 do sterownika TURCK BL20, a także ze sterownika TURCK do S7 1200, oraz 3 słowach (3 WORD) – wartość zadana, aktualna i stopień wysterowania zaworu regulacyjnego. Dane muszą zostać skonfigurowane przeciwnie tzn. dane wejściowe z Codesys są danymi wyjściowymi w TIA.. Rysunki 2.2.15 oraz 2.2.16, przedstawiają już skonfigurowane pakiety danych sieci Profinet w dwóch sterownikach.



Rysunek 2.2.15 : Zdefiniowane dane wejścia i wyjścia w TIA Portal, źródło opracowanie własne.



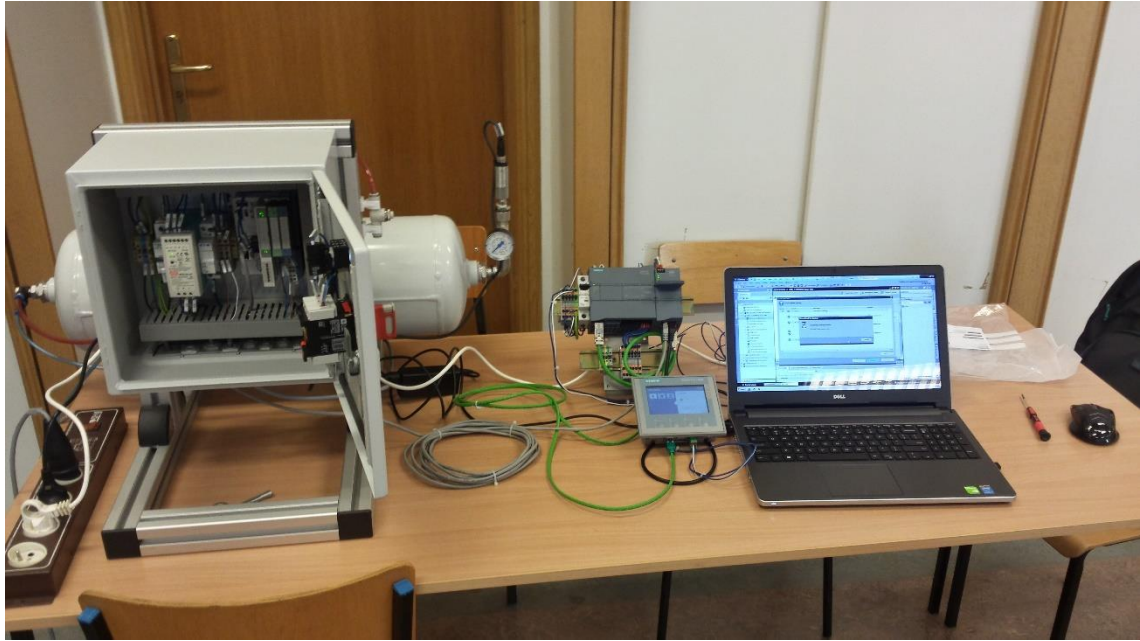
Rysunek 2.2.16 : Konfiguracja modułów wejść i wyjść w Codesys, źródło opracowanie własne.

3. Testy i walidacja

3.1 Test działania stanowiska regulacji ciśnienia.

Uruchomienie układu regulacji ciśnienia, rys 3.1.1, zostało podzielone na poszczególne etapy. Pierwszym etapem był test działania aplikacji na sterowniku BL20, wraz z aplikacją SCADA. Skontrolowano poprawność akwizycji danych na wizualizacji, możliwość sterowania zaworem proporcjonalnym w trybie manualnym. Kolejnym krokiem był test działania aplikacji sterownika Siemens, oraz wizualizacji procesu na panelu KTP400, pod kątem możliwości dydaktycznych tj. możliwość rysowania trendu, oraz archiwizowania danych. Sprawdzono działanie sieci Profinet i poprawność wymiany danych między sterownikami, poprzez podgląd wartości procesowych w trybie online, oraz na stworzonych aplikacjach SCADA. Sygnalizacji stanów alarmowych.

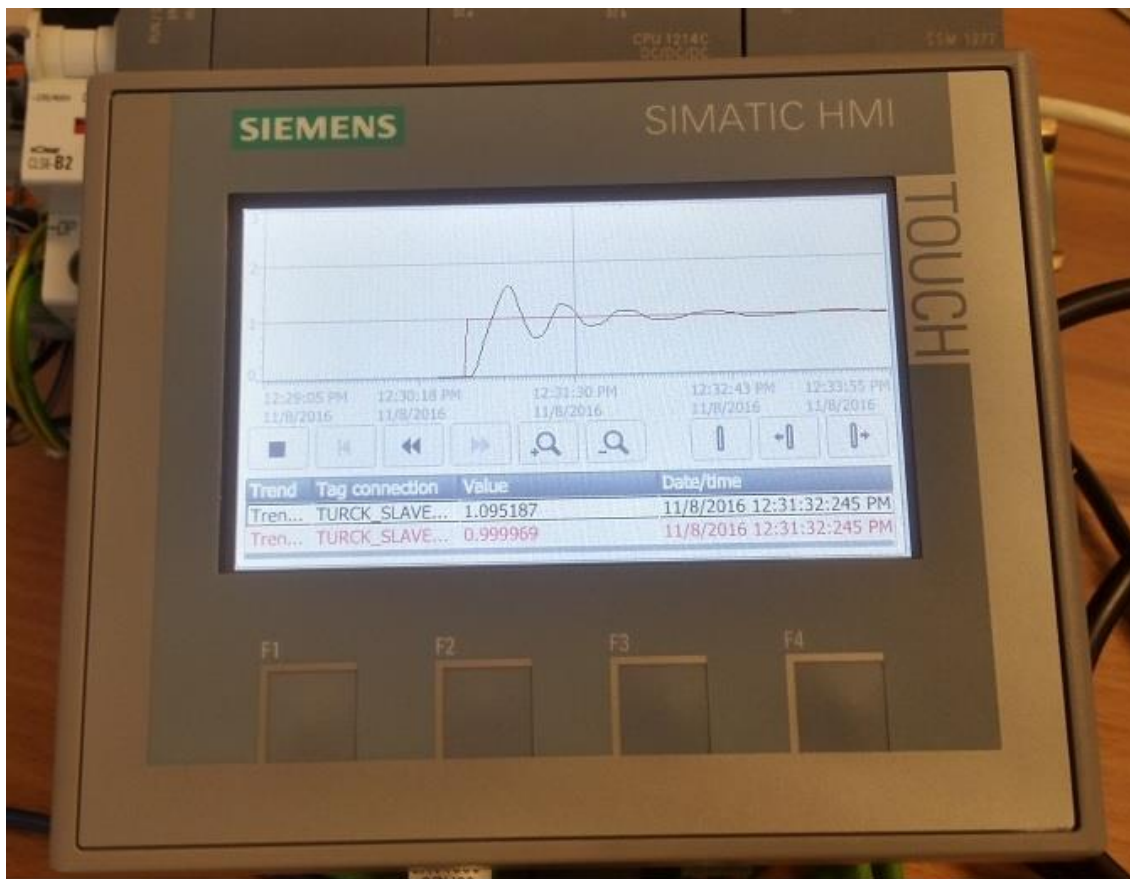
Ostatnim etapem było sprawdzenie odpowiedzi układu regulacji na skok jednostkowy, w tym przypadku stabilizację ciśnienia na poziomie 1 bar, przy przykładowych ustawieniach regulatora PID, oraz odpowiedź na zakłócenie, generowane poprzez zawór spustowy. W każdym przypadku dokonano archiwizacji danych procesowych na urządzeniu pendrive. Przeprowadzono również testy związane z bezpieczeństwem użytkownika tj. zachowanie się układu regulacji po zaniku napięcia zasilania, utracie komunikacji, uszkodzeniu przetwornika ciśnienia.



Rysunek 3.1.1 : Widok stanowiska do kontroli ciśnienia, źródło opracowanie własne.

Zarówno test aplikacji sterownika PLC firmy Turck jak i Siemens nie wykazały żadnych anomalii w działaniu. Stworzone aplikacje zachowują się przewidywalnie oraz zgodnie

z koncepcją programisty, także w sytuacjach awaryjnych. Sieć Profinet działa prawidłowo, oba sterowniki nie zgłaszają problemów z połączeniem, oraz odczytem sygnału z sieci. Po odłączeniu napięcia zasilania zawór proporcjonalny jest maksymalnie otwarty, co powoduje opróżnienie zbiornika ze sprężonego powietrza. Prawidłowo działa również odczyt i archiwizacja danych procesowych na panelu KTP 400. Poniższy rysunek 3.1.2 przedstawia widok okna trend dla wartości zadanej oraz aktualnej, odpowiedzi układu na skok jednostkowy, stabilizacji ciśnienia na wartości 1 bar.



Rysunek 3.1.2 : Odpowiedź układu regulacji, źródło opracowanie własne.

Z przebiegu można wywnioskować że dany obiekt regulacji jest obiektem inercyjnym oraz oscylacyjnym. Dzięki zastosowaniu tablicy zmiennych (Tag Table z TIA Portal) można z łatwością odczytać interesujące nas zmienne procesowe, odczytać po jakim czasie nastąpiła stabilizacja, oraz ile trwał czas opóźnienia. Z danych tych można obliczyć optymalne ustawienia regulatora PID, obserwować zmiany zachowania układu po zastosowaniu wyliczonych ustawień.

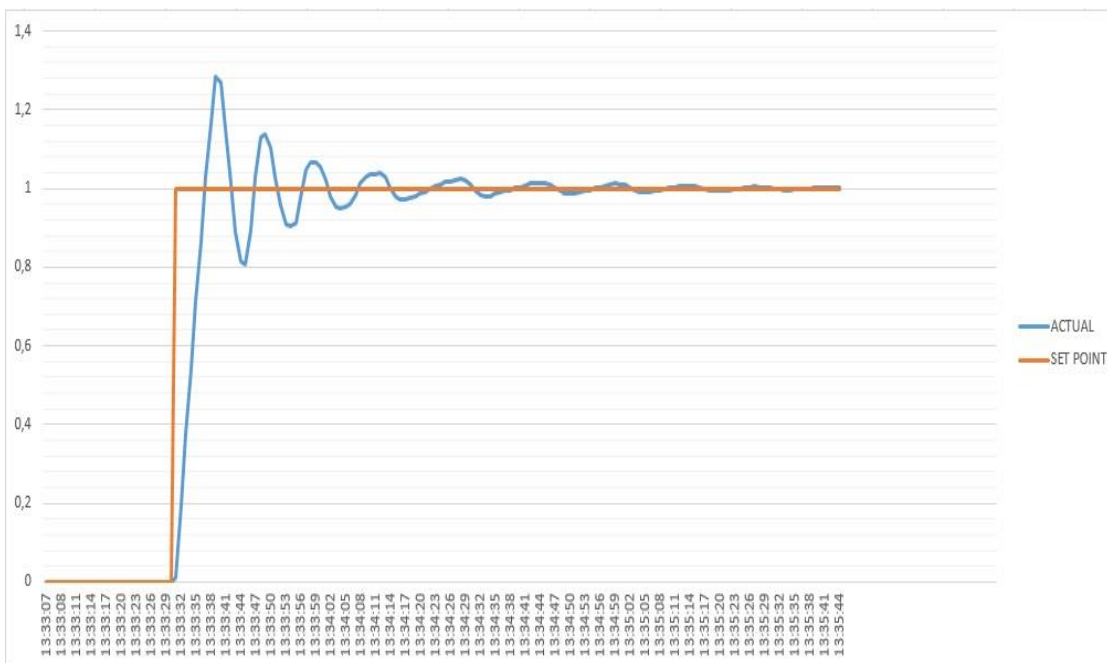
Poniższe przebiegi, rys 3.1.4, 3.1.5 i 3.1.6 stworzone zostały w programie Excel na podstawie danych procesowych zarchiwizowanych na urządzeniu pendrive, przykładowe dane w formacie txt rys 3.1.3. Jak widać po przetworzeniu danych uzyskano dokładny opis przebiegu na osi czasu. Pokazuje to jak łatwo można otrzymać urządzenie archiwizujące oraz idealnie wizualizujące proces bazując na podstawowym panelu firmy Siemens. Są to dane otrzymane przy ustawieniach regulatora człon proporcjonalny 21, człon całkujący 1,1 , człon różniczkujący 0,1.

21_110_010.bt — Notatnik

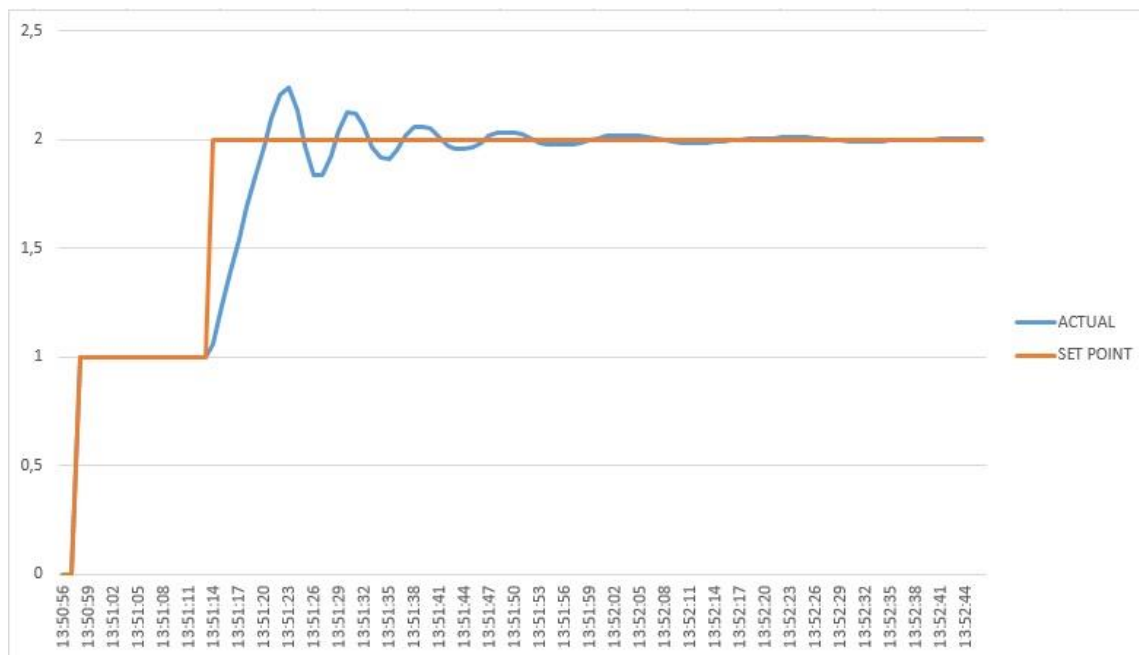
Plik Edycja Format Widok Pomoc

"VarName"	"TimeString"	"VarValue"	"Validity"	"Time_ms"		
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.083328	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.118050	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.430557	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.442131	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.488426	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:07"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564672.488426	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:08"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564680.497688	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:08"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564680.497688	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:09"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564692.071762	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:09"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564692.083328	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:10"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564703.657410	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:10"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564703.657410	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:11"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564715.231483	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:11"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564715.231483	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:12"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564726.817131	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:12"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564726.817131	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:13"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564738.275459	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:13"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564738.275459	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:14"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564749.849541	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:14"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564749.849541	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:15"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564761.423607	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:15"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564761.435181	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:16"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564772.997688	
"TURCK_SLAVE_Actual_preassure"	"2016-12-12 13:33:16"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564773.009262	
"TURCK_SLAVE_Setpoint_Pressure"	"2016-12-12 13:33:17"	"0.000000"	"0.000000"	1	42716564784.583328	

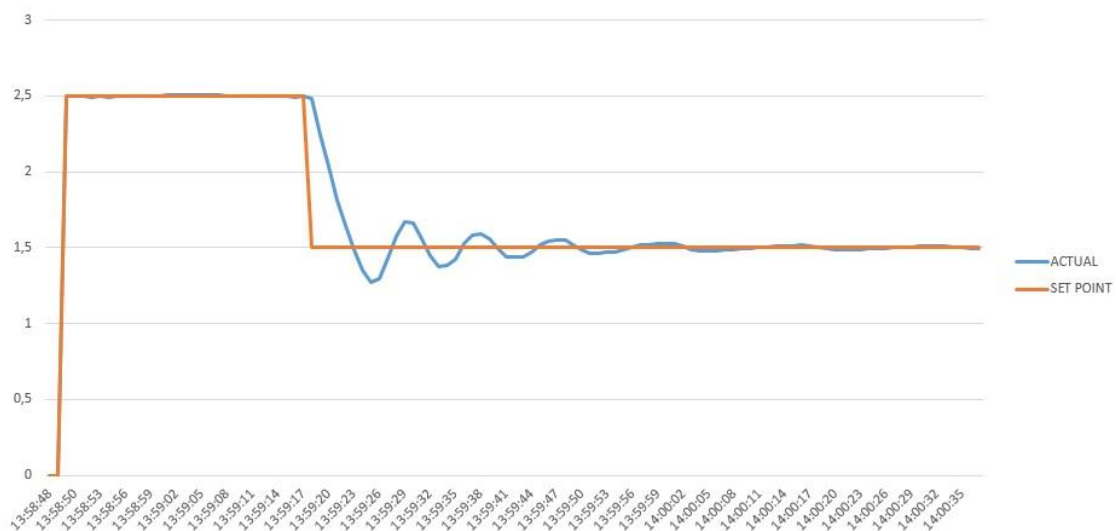
Rysunek 3.1.3 : Dane zapisane na pendrive, źródło opracowanie własne.



Rysunek 3.1.4 : Wykres Excel, stabilizacja na poziomie 1 bar, źródło opracowanie własne.



Rysunek 3.1.5: Stabilizacja ciśnienia na poziomie 2 bar, źródło opracowanie własne.



Rysunek 3.1.6: Stabilizacja ciśnienia z 2.5 bar na 1.5 bar, źródło opracowanie własne.

Otrzymane w ten sposób przebiegi mogą nie tylko służyć w celu wyznaczenia optymalnych nastaw, kontroli aktualnych, ale również jako załączniki do przeprowadzonych na stanowisku ćwiczeń laboratoryjnych. Układ regulacji nawet przy użyciu przykładowych parametrów regulacji PID działa prawidłowo. Stabilizacja ciśnienia następuje po około 2 minutach.

3.2 Podsumowanie, wnioski, proponowane usprawnienia

Celem pracy dyplomowej było zbudowanie stanowiska regulacyjnego kontroli ciśnienia, do badań związanych z układami automatycznej regulacji. Prezentowana praca dyplomowa przedstawia szereg czynności związanych z budową owego stanowiska. Poszczególne rozdziały stanowią wstęp teoretyczny, omówienie ogólnej problematyki układów regulacji, oraz samych sterowników PLC. Z kolei rozdział drugi, oraz trzeci to czysto praktyczne omówienie zagadnień związanych z pracą na obiekcie rzeczywistym, implementacją aplikacji sterowników, oraz obserwacjami odpowiedzi układu regulacji. Przy tworzeniu pracy autor opierał się również na własnych doświadczeniach, rozwiązaniach spotkanych w przemyśle. Mając na uwadze, szczególnie przy tworzeniu aplikacji, względy czysto praktyczne, funkcjonalne z punktu widzenia operatora systemu.

Efektom pracy jest zbudowane stanowisko dydaktyczne, dające możliwość nie tylko poznania działania regulacji PID na obiekcie rzeczywistym, ale także naukę programowania sterowników PLC. Dodatkowym atutem jest możliwość poznania sieci przemysłowej Profinet, najczęściej używanej obecnie w przemyśle. Można śmiało stwierdzić iż cel pracy został osiągnięty, a zbudowane stanowisko może być wykorzystane w prowadzonych zajęciach dydaktycznych.

Najtrudniejszym w stworzonej pracy, było wykorzystywanie dwóch odmiennych środowisk programowania sterowników PLC, dwóch różnych producentów. Mimo standaryzowanych języków programowania trudno szukać jakiegokolwiek podobieństwa pomiędzy TIA Portal firmy Siemens, a programem CODESYS używanym

do programowania sterownika TURCK. Każdy z tych programów ma swoje mocne jak i słabe strony, jednak cały czas ma się wrażenie że dla osoby mającej doświadczenie w programowaniu PLC, prostszy i bardziej intuicyjny jest produkt firmy Siemens. W CODESYS zaś łatwiej odnaleźć się osobom które mają więcej doświadczenia w programowaniu np. mikrokontrolerów lub systemów typu embedded.

Samo stanowisko jest też świetną bazą do dalszego rozwoju. Pokazany w pracy przykład konfiguracji regulatora PID jest tylko elementem poglądowym. Wartości mogą być swobodnie dobierane przez studenta, będącego operatorem układu regulacji,

na podstawie przeprowadzonych eksperymentów. Istnieje możliwość obliczeń jakości regulacji, wskaźników kosztów itp. Dostęp do kodu źródłowego aplikacji daje również możliwość rozwoju samego algorytmu regulacji, bądź zastosowania zupełnie innego, lepszego.

Bibliografia

Strony internetowe :

- 1) <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/539-modicon-nano>, dostęp 15.11.2016.
- 2) <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/cn/Catalog/Product/6ES7-151-8FB01-0AB0>, dostęp 18.11.2016.
- 3) Dokumentacja sterownika TURCK BL 20, www.turck.de, dostęp 16.11.2016.
- 4) S7 1200 Easy Book, <https://support.industry.siemens.com>, dostęp 18.11.2016.
- 5) Profinet, podręcznik, wydanie 1, <https://support.industry.siemens.com>, dostęp 20.11.2016.
- 6) <http://automatyka2b.pl>, dostęp 12.11.2016
- 7) www.turck.pl, dostęp 21.11.2016
- 8) www.festo.com, dostęp 15.11.2016.
- 9) CSM1277 Simatic NET, <https://support.industry.siemens.com>, dostęp 18.11.2016.

Literatura :

- 1) J. Brzózka „Regulatory i układy automatyki”, Wydawnictwo MIKOM 2004.
- 2) J. Kwaśniewski „Język tekstu strukturalnego w sterownikach Simatic S7 1200 i S7 1500”, Wydawnictwo BTC 2014.
- 3) Karl Heinz John, Michael Tiegelkamp „IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- 4) R. Sałat, K. Korpysz, P. Obstawski „Wstęp do programowania sterowników PLC”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2012.
- 5) W. Byrski „Obserwacja i sterowanie w systemach dynamicznych”, Wydawnictwo AGH, Kraków 2007.

Rysunki :

- 1) Rys 1.1.1: Cykl działania sterownika PLC, opracowanie własne
- 2) Rys 1.2.1: Widok sterownika BL 20, źródło DTR TURCK.
- 3) Rys 1.2.2: Schemat blokowy sterownika TURCK, źródło DTR TURCK
- 4) Rys 1.2.3: S7 1214 DC/DC/DC, źródło opracowanie własne.

- 5) Rys 1.4.1: Schemat poglądowy regulatora Jamesa Watta, źródło <http://www.eagleridgetech.com/images>
- 6) Rys 1.4.2: Diagram blokowy regulatora PID, źródło opracowanie własne.
- 7) Rys 2.1.1: Sposób podłączenia przetwornika do modułu BL20-1AI, źródło DTR TURCK.
- 8) Rys 2.1.2: Sposób podłączenia elementu wykonawczego do modułu BL20-2AO, źródło DTR TURCK.
- 9) Rys 2.1.3: Przetwornik ciśnienia TURCK, zainstalowany na obiekcie, źródło opracowanie własne.
- 10) Rys 2.1.4: Schemat zaworu proporcjonalnego FESTO, źródło FESTO.
- 11) Rys 2.1.5: Charakterystyka zaworu, zależność przepływu od napięcia sterowania, źródło FESTO.
- 12) Rys 2.1.6: Szafa sterownicza stanowiska kontroli ciśnienia, źródło opracowanie własne.
- 13) Rys 2.1.7: Okno programu z widocznymi modułami analogowymi. W tym przypadku moduł wyjść napięciowych. Źródło opracowanie własne.
- 14) Rys 2.1.8: Schemat bloków programowych, źródło opracowanie własne.
- 15) Rys 2.1.9: Blok funkcyjny AnalogIN, źródło opracowanie własne.
- 16) Rys 2.1.10: Blok funkcyjny AnalogOUT, źródło opracowanie własne.
- 17) Rys 2.1.11: Implementacja algorytmu prędkościowego PID, źródło opracowanie własne.
- 18) Rys 2.1.12: Okno główne stworzonego systemu SCADA, źródło opracowanie własne.
- 19) Rys 2.1.13: Okno widoku procesu, źródło opracowanie własne.
- 20) Rys 2.2.1: Sterownik S7 1214 wraz z modułem CSM 1277 użyty do budowy stanowiska, źródło opracowanie własne.
- 21) Rys 2.2.2: Widok sterownika w menu Device View, źródło opracowanie własne.
- 22) Rys 2.2.3: Struktura programu, źródło opracowanie własne.
- 23) Rys 2.2.4: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.
- 24) Rys 2.2.5: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.
- 25) Rys 2.2.6: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.
- 26) Rys 2.2.7: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.
- 27) Rys 2.2.8: Kod programu S7 1200, źródło opracowanie własne.
- 28) Rys 2.2.9: Widok panelu w TIA Portal, źródło opracowanie własne.

- 29) Rys 2.2.10: Widok rzeczywisty, okno parametry procesu źródło opracowanie własne.
- 30) Rys 2.2.11: Okno komunikacja, źródło opracowanie własne.
- 31) Rys 2.2.12: Okno Trend, widok rzeczywisty źródło opracowanie własne.
- 32) Rys 2.2.13: Widok sieci Profinet w środowisku TIA Portal, źródło opracowanie własne.
- 33) Rys 2.2.14: Moduł CSM 1277, źródło Siemens Industry Support
- 34) Rys 2.2.15 : Zdefiniowane dane wejścia i wyjścia w TIA Portal, źródło opracowanie własne.
- 35) Rys 2.2.16: Konfiguracja modułów wejść i wyjść w Codesys, źródło opracowanie własne.
- 36) Rys 3.1.1: Widok stanowiska do kontroli ciśnienia, źródło opracowanie własne.
- 37) Rys 3.1.2: Odpowiedź układu regulacji, źródło opracowanie własne.
- 38) Rys 3.1.3: Dane zapisane na pendrive, źródło opracowanie własne.
- 39) Rys 3.1.4: Wykres Excel, stabilizacja na poziomie 1bar, źródło opracowanie własne.
- 40) Rys 3.1.5: Stabilizacja ciśnienia na poziomie 2 bar, źródło opracowanie własne.
- 41) Rys 3.1.6: Stabilizacja ciśnienia z 2,5 bar na 1,5 bar, źródło opracowanie własne