

Politechnika Krakowska

im. Tadeusza Kościuszki

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Katedra Energetyki

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Robert Wiśniewski

***Wdrożenie układu zasilania wyspowego OFF-Grid
zasilanego z generatora elektrycznego napędzanego turbiną TRC
lub instalacji PV w obiektach sieciowych MPEC***

Promotor:

prof. dr hab. inż. Wiesław Zima

Drugi promotor:

dr hab. inż. Tomasz Węgiel, prof. PK

Opiekun pomocniczy:

mgr inż. Marek Mazurek

Praca zrealizowana w ramach programu Doktorat Wdrożeniowy,
umowa DWD/4/25/2020

Kraków, 2025

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	5
2. Cele, teza, zakres pracy	7
2.1 Cele	7
2.2 Teza	7
2.3 Zakres pracy	8
3. Przegląd literaturowy	9
4. Sieć ciepłownicza, a inteligentna sieć ciepłownicza.....	12
5. Zasilanie OFF-Grid i ON-Grid	16
6. Opis wybranej komory do zainstalowania układu zasilania	18
7. Systemy wytwarzania energii	22
7.1 Agregat prądotwórczy	22
7.2 Fotowoltaika.....	23
7.3. Turbiny wiatrowe	24
7.4. Turbiny wodne	25
7.5. Pompa w ruchu turbinowym	26
7.5.1 PaT - charakterystyka dla ruchu pompowego oraz turbinowego.....	27
7.5.2. Systemy wytwarzania energii PaT dla wdrażanego systemu OFF-Grid	35
8. Generacja energii elektrycznej.....	40
8.1. Alternator	40
8.2. Generator elektryczny z magnesami trwałymi.....	42
8.3. Badanie generatorów elektrycznych	49
9. Regulatory MPPT	54
9.1. MPPT w układzie zasilania OFF-Grid z generatorem elektrycznym	60
9.2. Dobór układu MPPT do obiektu zasilania	62
9.3. Battery Protect.....	64
10. Akumulatory	65

10.1 Etapy ładowania akumulatorów przez MPPT firmy Victron Energy	67
10.2 Dobór pojemności akumulatorów	68
10.3 Dobór pojemności akumulatorów dla wdrażanej instalacji OFF-Grid ...	69
11. Moc zainstalowana, a moc szczytowa	71
12. Dobór mocy źródła zasilania.....	72
12.1 Teoretyczna analiza generacji energii przez turbinę wodną i PV	74
13. Dotychczasowe przykłady modernizacji komór oraz wykorzystania turbin	76
13.1 Obiekt 1: zasilany w systemie ON – Grid, bez turbiny umiejscowiony w komorze.....	76
13.2 Obiekt 2: zasilany w systemie ON – Grid, z turbiną umiejscowiony na sieci ciepłowniczej po za komorą	83
13.3 Porównanie modernizacji Obiektu 1 oraz Obiekt 2	91
14. Autorski prototyp układu zasilania wyspowego OFF-Grid komór ciepłowniczych (Obiekt 3)	93
14.1. Opis technologiczny zmodernizowanej komory ciepłowniczej.....	105
14.2. Opis systemu elektrycznego testowanego obiektu.....	108
14.2.1. Opis instalacji elektrycznej	108
14.2.2. Charakterystyka elementów instalacji elektrycznej	109
14.2.3. Wielkości mierzone w komorze ciepłowniczej	110
14.2.4. Archiwizacja danych pomiarowych.....	111
14.3. Wyniki pomiarów oraz ich analiza	112
14.4 Porównanie obiektu o zasilaniu autonomicznym z innymi instalacjami	126
15. Instrukcja eksploatacji komory 1WKVII/1A	128
15.1. Wstęp	128
15.1.1. Cel opracowania instrukcji.....	128
15.1.2. Zakres stosowania	128

15.1.3 Podstawy prawne i normy	129
15.1.4 Zakres odpowiedzialności.....	129
15.1.5 Struktura dokumentu.....	129
15.2. Wymagania dla personelu	129
15.3. Charakterystyka obiektu	129
15.3.1. Elementy komory	130
15.3.2. Technologia komory	132
15.4 System SCADA	136
15.5. Wartości napięć.....	137
15.6. Procedury awaryjne.....	139
15.7. Przykład braku ładowania akumulatorów	141
15.8. Praca zaworów MV2 i MV3	143
15.9. Praca komory w sterowaniu ręcznym	144
15.10. Gdy dojdzie do zatrzymania turbiny	144
15.11. Dodatkowe uwagi eksploatacyjne.....	144
16. Opracowanie oprogramowania sterownika swobodnie programowalnego	145
17. Wymogi BHP oraz dostępne normy	150
18. Instalacja OFF-Grid o napięciu 24V DC i 400V AC w komorach ciepłowniczych.....	155
19.WNIOSKI	157
Spis literatury	160
Lista załączników.....	164
ZAŁĄCZNIKI	165

1. WPROWADZENIE

Rosnące wymagania dotyczące ciepłownictwa wymuszają wprowadzenie nowoczesnej technologii do ciepłownictwa sieciowego. Budowa inteligentnych sieci ciepłowniczych (ISC) wymaga zbierania, analizowania i wypracowywania decyzji w oparciu o setki danych transmitowanych z różnych punktów znajdujących się na sieci ciepłowniczej.

Aby umożliwić realizację koncepcji budowy ISC, sieci ciepłownicze muszą zostać wyposażone w elementy nowoczesnej technologii, pozwalające na monitoring parametrów pracy sieci oraz jej lokalne sterowanie. Obiektami na sieci ciepłowniczej umożliwiającymi umiejscowienie aparatury potrzebnej do tworzenia ISC są komory ciepłownicze oraz przepompownie.

Przepompownie są projektowane i budowane z zapewnionym dostępem do zasilania z sieci elektroenergetycznej. Charakter i specyfikacja pracy przepompowni wymaga stałej kontroli oraz możliwości zdalnego sterowania, dlatego były jednymi z pierwszych obiektów, które zostały zintegrowane z systemem SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition), służącym do nadzorowania i kontrolowania systemów oraz procesów.

Przepompowni na sieci ciepłowniczej jest niewiele, natomiast znacznie większą grupę obiektów stanowią komory ciepłownicze, które obecnie bardzo rzadko posiadają dostęp do sieci elektroenergetycznej.

W związku z brakiem możliwości doprowadzenia zasilania elektrycznego z sieci energetycznej (system ON-Grid) do różnych punktów sieci ciepłowniczej, powstała konieczność zasilania tych obiektów z alternatywnych źródeł energii, które umożliwiają lokalne wytworzenie energii elektrycznej, tworząc w ten sposób zasilanie typu wyspowego (system OFF-Grid).

Realizowane cztery doktoraty wdrożeniowe w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie związane są z tematyką budowy inteligentnych sieci ciepłowniczych, które w głównej mierze wiążą się z wdrożeniem turbin współpracujących z generatorem elektrycznym w obiektach sieciowych. Temat realizacji ISC w krakowskim systemie ciepłowniczym podzielono na cztery osobne powiązane ze sobą doktoraty:

- Wdrożenie turbin współpracujących z generatorami elektrycznymi w obiektach sieciowych,

- Wykonanie obliczeń hydraulicznych sieci ciepłowniczej dla turbin w układzie zasilania wyspowego,
- Wdrożenie układu zasilania wyspowego OFF-Grid zasilanego przez generator elektryczny napędzany turbiną bądź instalację fotowoltaiczną dla obiektów sieciowych, - Analiza modelu komunikacji cyfrowej pomiędzy obiektami sieciowymi zasilanymi w systemie OFF-Grid z systemem SCADA dla potrzeb monitoringu, diagnostyki i sterowania.

W celu realizacji doktoratu związanego z zagadnieniem wdrożenia układu zasilania wyspowego OFF-Grid dla inteligentnych sieci ciepłowniczych przeprowadzono badania nad wdrożeniem układu zasilania wyspowego OFF-Grid zasilanego z generatora elektrycznego napędzanego przez turbinę lub zasilanego przez instalację fotowoltaiczną w obiektach Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie.

2. CELE, TEZA, ZAKRES PRACY

2.1 CELE

Celem doktoratu jest:

1. Opracowanie i wdrożenie układów elektrycznych i automatyki, obejmujących integrację generatora elektrycznego napędzanego turbiną TRC (turbinyowy regulator ciśnienia) z instalacją obiektu, w celu stworzenia układu zasilania OFF-Grid. W pracy skrót TRC stosowany jest zamiennie z skrótem PaT (ang. Pump as Turbine).
2. Przeprowadzenie badań nad wpływem zmian parametrów pracy turbiny TRC na funkcjonowanie generatora elektrycznego.
3. Dobór urządzeń i elementów elektrycznych instalacji, które zapewnią stabilną i bezpieczną pracę układu zasilania typu OFF-Grid.
4. Opracowanie oprogramowania sterownika swobodnie programowalnego (PLC) w zakresie algorytmów regulacyjnych dla pracy sieci ciepłowniczej oraz układu zasilania urządzeń.

2.2 TEZA

Zastosowanie układów zasilania wyspowego OFF-Grid bazujących na generatorze elektrycznym napędzanym turbiną TRC w obiektach sieci ciepłowniczej, umożliwi nadzór i sterowanie pracą sieci oraz budowę Inteligentnej Sieci Ciepłowniczej.

2.3 ZAKRES PRACY

Obszar badawczy będzie obejmował dwie instalacje na sieci ciepłowniczej. Zostanie zastosowane zasilanie typu OFF-Grid oparte na turbinie PaT, w jednej dostarczające napięcie 24V DC, w drugiej instalacji napięcie będzie wynosić 400V AC.

Dla instalacji OFF-Grid zostaną opracowane układy elektryczne i automatyki. Gdzie układ elektryczny będzie integrował generator elektryczny z wdrażanym układem zasilania OFF-Grid. Zostaną również dobrane odpowiednie urządzenia i elementy elektryczne oraz stworzone oprogramowanie sterownika PLC. Dodatkowo zostanie przeanalizowany wpływ zmian parametrów pracy turbiny TRC na działanie generatora elektrycznego.

Charakter problemu będzie zarówno naukowy, jak i projektowy. Zakres pracy obejmie:

- opracowanie układów elektrycznych i automatyki łączących generator elektryczny z układem zasilania typu OFF-Grid,
- dobór urządzeń i elementów elektrycznych instalacji, zapewniających stabilną i bezpieczną pracę układu zasilania OFF-Grid,
- przeprowadzenie badań nad wpływem zmian parametrów pracy turbiny TRC na funkcjonowanie generatora elektrycznego,
- opracowanie oprogramowania sterownika swobodnie programowalnego (PLC) w zakresie algorytmów regulacyjnych dla pracy sieci ciepłowniczej oraz układu zasilania urządzeń,
- zebranie danych pomiarowych dla zoptymalizowanego układu sterowania,
- analizę uzyskanych wyników oraz ich wykorzystanie do optymalizacji systemu.

3. PRZEGLĄD LITERATUROWY

Ciepłownictwu sieciowemu od lat stawia się coraz to nowe cele i kierunki rozwoju [1]. Wynika to w dużym stopniu ze wzrastających wymagań odnośnie ochrony środowiska naturalnego. W 2014 r. wprowadzono pojęcie ciepłownictwa 4 generacji (4G) [2]. Charakteryzuje się ono niską temperaturą zasilania (poniżej 70°C) oraz cyfryzacją systemów i węzłów ciepłowniczych. Założeniem ciepłownictwa 4G było zwiększenie sprawności systemu ciepłowniczego oraz ograniczenie wykorzystania paliw kopalnych poprzez konsolidację sieci z niskotemperaturowymi źródłami energii, takimi jak źródła geotermalne, ciepło odpadowe czy też kolektory słoneczne. Projekty badawcze nad 5 generacją (5G) sieci ciepłowniczych prowadzono już w roku 2015 [3]. Generacja ta zakłada dodatkową funkcję chłodzenia oraz temperaturę zasilania poniżej 50°C. Ponadto, w sieci 5G nie będzie już centralnego źródła, tylko źródła rozproszone. Przykładową pracą, poświęconą sieciom 5G, jest praca [4], dedykowana sieci ciepłowniczej i chłodniczej 5G dla dzielnicy mieszkalnej. Przedstawiono projekt oraz analizę cieplno-ekonomiczną takiej nowatorskiej sieci.

Aspekty techniczne i ekonomiczne zastosowania adsorpcyjnych urządzeń chłodniczych do wytwarzania chłodu z wykorzystaniem gorącej wody z sieci ciepłowniczej są tematem pracy [5]. Badaniom poddano pracę adsorpcyjnych urządzeń klimatyzacyjnych współpracujących z drycoolerem.

Przyszłość ciepłownictwa sieciowego wymusza wprowadzenie nowych źródeł energii (takich jak źródła odnawialne), a także wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań integrujących i kontrolujących parametry przesyłanej energii cieplnej. Autorzy pracy [6] zauważają, że wraz z rozwojem odnawialnych źródeł energii i ich zastosowaniem w ciepłownictwie, systemy ciepłownicze będą coraz bardziej złożone. W swoim artykule przedstawiają wyniki analiz, przeprowadzonych między innymi za pomocą sztucznej sieci neuronowej, dotyczących optymalizacji pracy elektrowni skojarzonej ciepła i energii (ang. Combined Heat and Power - CHP). Elektrownia skojarzona ciepła i energii jest także tematem pracy [7], w której podkreślono, że dla efektywnej pracy takiego układu kogeneracyjnego niezbędna jest krótkoterminowa predykcja zapotrzebowania na ciepło w horyzoncie dnia następnego. Zaproponowano metodę godzinowego prognozowania obciążenia cieplnego. Przedstawiono wyniki takiego prognozowania poza sezonem w rzeczywistym systemie ciepłowniczym. Zagadnienia optymalizacyjne są także

poruszane w pracy [8]. Przedstawiono dwa modele matematyczne służące optymalizacji pracy sieci. Szczegółowej analizie poddano magazynowanie energii cieplnej w rurociągach. Magazynowaniu energii w układach ciepłowniczych dedykowana jest także praca [9], w której przedstawiono koncepcję i realizację regulacji droop dla sieci ciepłowniczej. Opracowano charakterystykę droop w odniesieniu do temperatury wody grzewczej, a udziałem mocy w zasobniku energii cieplnej dla sieci ciepłowniczej. Wykorzystano w tym celu analogię do droop control stosowanej w elektrycznej sieci prądu stałego.

Rozwój sieci ciepłowniczych wymaga także umiejętności symulowania strat ciepła i ciśnienia w sieci. W tym celu przedsiębiorstwa energetyczne używają oprogramowania symulacyjnego. Oprogramowanie to musi zawierać metody numeryczne, które zapewniają dokładne i stabilne wyniki, a jednocześnie są szybkie i wydajne [10].

Tematem bardzo aktualnym są w ostatnich latach inteligentne sieci ciepłownicze (ISC), w których udoskonalone są procesy zarządzania (poprzez monitorowanie i zbieranie danych) oraz sterowania ich pracą. W celu budowy, a przede wszystkim eksploatacji ISC, należy wyposażyć je w urządzenia i elementy automatyki do monitorowania oraz regulacji. Urządzenia te potrzebują jednak źródła zasilania, a umiejscowienie obiektów sieci ciepłowniczej (takich jak komory ciepłownicze) często związane jest z utrudnionym dostępem do sieci elektroenergetycznej. Wiąże się to z koniecznością stworzenia alternatywnego źródła zasilania, tak zwanego zasilania wyspowego (OFF-Grid) [11]. Zasilanie takie charakteryzuje się brakiem dostępu do sieci elektroenergetycznej i posiada własne lokalne źródło napięcia. Analiza literatury wskazuje, że do tej pory nie analizowano, a tym bardziej nie wykorzystywano zasilania typu wyspowego do zasilania w energię elektryczną urządzeń obiektów ciepłowniczych, takich jak komora ciepłownicza. Tym samym, brak doświadczeń związanych z doбором elementów elektrycznych stanowiących instalację zasilania OFF-Grid. Brak także zweryfikowanych algorytmów sterowania pracą instalacji wyspowej, stanowiącej alternatywne źródło zasilania.

Budowa tak zwanych inteligentnych sieci ciepłowniczych (ISC) wymaga przejścia sieci ciepłowniczych i elektroenergetycznych z tradycyjnie niezależnych do aktywnie sprzężonych. Sieć ciepłownicza ma być więc coraz mocniej skoordynowana z siecią elektroenergetyczną. Ma to być inteligentny system łączący

oddzielne dotychczas branże [2]. Autorzy [12] wskazują, że ISC odegrają ważną rolę we wdrożeniu zrównoważonych systemów energetycznych. Metodę oceny technicznej aktywnie sprzężonych sieci ciepłowniczych i elektroenergetycznych, zaproponowano w [13].

Procesy integracji i optymalizacji wielu sieci energetycznych (sieć elektryczna, sieć ciepłownicza, sieć gazowa) są również ważnymi kwestiami w branży budowlanej. Pomoże to zwiększyć elastyczność przyszłych ISC, które wykorzystują również energię odnawialną [14].

Potrzeba budowy ISC przyczyniła się do zbudowania pierwszej instalacji zasilania OFF-Grid komory ciepłowniczej w oparciu o Turbinowy Regulator Ciśnienia (TRC) [15]. Turbina ta zamontowana została na rurociągu należącym do Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie. W niniejszej pracy przeprowadzono badania mające na celu opracowanie i analizę funkcjonowania pierwszej komory ciepłowniczej zasilanej w trybie wyspowym (OFF-Grid) z zastosowaniem turbiny PaT napędzającej generator elektryczny. Badania obejmowały instalację w komorze ciepłowniczej, w której generator elektryczny zintegrowano z układem zasilania o napięciu wyjściowym 24V DC. Praca ta obejmuje zaprojektowanie systemu integrujący generator elektryczny z układem zasilania OFF-Grid, w tym schematy połączeń i algorytmy działania. Dobór urządzeń i elementów, zapewniających stabilność i bezpieczeństwo pracy układu zasilania. Badania wpływu parametrów turbiny na generator: Zbadano, jak zmiany parametrów pracy turbiny (np. przepływu) wpływają na wydajność i stabilność generatora elektrycznego. Stworzono algorytmy regulacyjne dla sterownika PLC, umożliwiające sterowanie siecią ciepłowniczą i systemem zasilania OFF-Grid. Przegląd literatury wskazuje, że zagadnienie to nie było dotychczas analizowane.

4. SIEĆ CIEPŁOWNICZA, A INTELIGENTNA SIEĆ CIEPŁOWNICZA

Sieć ciepłownicza to system infrastrukturalny, który służy do dostarczania ciepła (zwykle w postaci gorącej wody lub pary) do budynków i obiektów w danym regionie. Jest to kluczowy element systemu ogrzewania centralnego w miastach i większych aglomeracjach. Sieci ciepłownicze składają się z różnych komponentów, które umożliwiają efektywne i bezpieczne dostarczanie energii cieplnej, zarówno do systemów ogrzewania budynków, jak i do celów ciepłej wody użytkowej (CWU) oraz zastosowań technologicznych.

Kluczowymi elementami sieci ciepłowniczej są komory ciepłownicze (pełniące rolę punktów kontrolnych i rozdzielczych w systemie ciepłowniczym), przepompownie (zapewniające odpowiednie ciśnienie w sieci ciepłowniczej, umożliwiając dostarczanie ciepła na odpowiednią odległość), wymiennikownie ciepła (pełnią rolę punktów kontrolnych i rozdzielczych w systemie ciepłowniczym, gdzie ciepło jest przekazywane z sieci głównej do indywidualnych odbiorców).

Elementem składowym systemu ciepłowniczego jest sieć ciepłownicza wraz z współpracującymi z nią urządzeniami i instalacjami. System ciepłowniczy składa się z centralnego źródła energii cieplnej, węzłów cieplnych będącymi odbiorcami ciepła oraz rurociągu ciepłowniczego łączącego ze sobą źródło ciepła i odbiorców. Na sieci ciepłowniczej znajdują się obiekty budowlane takie jak przepompownie czy też komory ciepłownicze. Zadaniem sieci ciepłowniczej jest dystrybucja energii cieplnej. Spotykanymi medium transmisyjnym energię cieplną w sieci ciepłowniczej jest woda lub para wodna. Układ topologii rurociągu ciepłowniczego, w zależności od budowy, może przyjmować różne modele. Wyróżnia się pięć głównych typów topologii sieci: pierścieniową, kratownicową, pajęczą, promienistą oraz mieszaną. Najczęściej spotykanym modelem jest układ mieszany, ponieważ w największym stopniu zapewnia on bezpieczeństwo dostaw energii cieplnej do odbiorców.

Ciepłownictwo sieciowe w dużym stopniu opiera się na paliwach kopalnych, co powoduje emisję pyłów i gazów cieplarnianych, prowadząc do negatywnych zmian klimatycznych [16, 17]. Polityka klimatyczno-energetyczna Unii Europejskiej od wielu lat wdraża programy mające na celu uczynienie ciepłownictwa bardziej wydajnym i niskoemisyjnym. Rosnące wymagania zmuszają przedsiębiorstwa ciepłownicze do wprowadzania nowoczesnych technologii, które pozwolą stworzyć inteligentne sieci ciepłownicze (ISC) [18].

Nowoczesne systemy ciepłownicze mają zapewniać wyższą efektywność energetyczną, niezawodne dostawy ciepła oraz minimalizować wpływ na środowisko. Koncepcja inteligentnych sieci ciepłowniczych jest zbliżona do koncepcji inteligentnych sieci elektroenergetycznych. Główne cele to zarządzanie infrastrukturą sieciową, efektywne wykorzystanie energii, w tym z odnawialnych źródeł, oraz integracja różnych systemów energetycznych.

Kluczowe cechy inteligentnych sieci ciepłowniczych według Komisji Europejskiej (2011) [19]:

- elastyczność – możliwość dostosowania się do zmieniających się potrzeb konsumentów i wymagań rynku.
- dostępność – integracja odnawialnych źródeł energii oraz lokalnych, niskoemisyjnych generatorów ciepła.
- niezawodność – bezpieczeństwo pracy sieci i wysoka jakość dostarczanego ciepła.
- ekonomiczność – efektywność osiągnięta dzięki innowacjom, optymalizacji i odpowiedniemu zarządzaniu energią.

Inteligentne sieci ciepłownicze opierają się na optymalizacji w czasie rzeczywistym. Wykorzystują zaawansowane systemy telemetrii, techniki informatyczne, automatyzację procesów oraz inteligentne infrastrukturę pomiarową. Dane zebrane online z systemów energetycznych oraz budynków mieszkalnych, przemysłowych i użyteczności publicznej są przetwarzane i analizowane, co umożliwia:

- prognozowanie obciążenia cieplnego z uwzględnieniem warunków pogodowych,
- efektywną regulację dostaw ciepła,
- optymalizację planowania sieci i szybką diagnostykę usterek.

Dzięki takim rozwiązaniom możliwe jest zwiększenie efektywności energetycznej, zmniejszenie kosztów operacyjnych oraz poprawa bezpieczeństwa dostaw ciepła.

W Polsce coraz więcej przedsiębiorstw wdraża inteligentne technologie ciepłownicze. Popularne rozwiązania obejmują:

- monitorowanie i sterowanie pracą sieci za pomocą telemetrii,
- prognozowanie zapotrzebowania na ciepło z uwzględnieniem warunków pogodowych,
- automatyzację pracy węzłów cieplnych,
- wizualizację procesów za pomocą systemów nadzoru i sterowania,

- zastosowanie specjalistycznego oprogramowania do zarządzania produkcją i przesyłem ciepła.

Według raportów, systemy automatyki i telemetrii zostały wdrożone w 62% lokalnych przedsiębiorstw ciepłowniczych w Polsce [20]. Powszechność ich stosowania jest najwyższa w dużych miastach, takich jak Warszawa, Kraków, czy Wrocław. Mniejsze ośrodki, takie jak Siedlce, Łomża czy Przemyśl, również inwestują w rozwój inteligentnych technologii.

Wdrożenie inteligentnych sieci wynika z potrzeby dekarbonizacji gospodarki, ograniczenia strat energetycznych oraz efektywnego zarządzania coraz bardziej złożonymi systemami energetycznymi. Wzrost znaczenia energii odnawialnej i konieczność jej integracji z istniejącą infrastrukturą ciepłowniczą wymuszają stosowanie zaawansowanych technologii [21].

Inteligentne sieci ciepłownicze w efekcie końcowym mają doprowadzić do:

- redukcji emisji: integracja odnawialnych źródeł energii pozwala znacząco ograniczyć emisje CO₂,
- oszczędności: optymalne zarządzanie systemem prowadzi do zmniejszenia kosztów funkcjonowania sieci,
- bezpieczeństwa energetycznego: wykrywają nieprawidłowości w działaniu systemu ciepłowniczego.
- zrównoważony rozwój: inteligentne sieci wspierają cele związane z polityką klimatyczną i energetyczną UE.

Rozwój ciepłownictwa 4. i 5. generacji, które zakładają niskotemperaturowe sieci zintegrowane z odnawialnymi źródłami energii i magazynami ciepła, to przyszłość całej branży [22, 23]. Polska polityka energetyczna (PEP2040) wskazuje na konieczność dalszego rozwijania tego obszaru, co przyczyni się do modernizacji i unowocześnienia systemów ciepłowniczych.

Tradycyjna sieć ciepłownicza to system przesyłu energii cieplnej z centralnego źródła (np. elektrociepłowni) do odbiorców końcowych za pomocą rurociągów. Choć takie systemy działają skutecznie w wielu miastach, mają pewne ograniczenia:

- stałe parametry pracy: sieć działa według z góry ustalonych parametrów, bez dynamicznego dostosowania do zmieniających się warunków,
- brak monitoringu w czasie rzeczywistym: informacje o stanie sieci i ewentualnych usterkach są często wykrywane dopiero po ich wystąpieniu,

- ograniczona efektywność: ciepło jest przesyłane w sposób ciągły, niezależnie od aktualnego zapotrzebowania, co prowadzi do strat energetycznych,
- centralizacja: tradycyjne systemy bazują na jednym lub kilku centralnych źródłach energii, co ogranicza możliwość integracji rozproszonych źródeł odnawialnych,
- brak zaawansowanego zarządzania: system nie wykorzystuje nowoczesnych technologii, takich jak telemetria, automatyka czy prognozowanie.

Inteligentna sieć ciepłownicza (ang. Smart District Heating Network) to nowoczesne rozwiązanie wykorzystujące zaawansowane technologie informatyczne, automatyzację i analizę danych. Jej cechy wyróżniające:

- optymalizacja w czasie rzeczywistym: parametry pracy sieci są dynamicznie dostosowywane do bieżącego zapotrzebowania,
- monitorowanie i diagnostyka: systemy telemetrii i czujniki umieszczone na sieci pozwalają na bieżące śledzenie jej stanu, szybką diagnostykę i reakcję na awarie,
- integracja odnawialnych źródeł energii (OZE): Sieci inteligentne mogą współpracować z rozproszonymi źródłami ciepła, takimi jak instalacje solarne, geotermalne,
- zarządzanie energią: systemy zarządzania wspierają efektywne wykorzystanie energii i ograniczenie strat,
- interakcja z odbiorcami: możliwość uwzględnienia preferencji użytkowników, np. indywidualnej regulacji temperatury w budynkach,
- magazynowanie ciepła: możliwość integracji magazynów energii cieplnej, które stabilizują system i pozwalają efektywnie wykorzystywać nadwyżki energii.

Przekształcenie tradycyjnych sieci w inteligentne jest kluczowym elementem transformacji energetycznej, umożliwiającym osiągnięcie celów klimatycznych i poprawę jakości życia użytkowników.

Wykorzystanie lokalnych źródeł energii (OFF-Grid) niezależnych od sieci elektroenergetycznej może odegrać znaczącą rolę w transformacji systemów ciepłowniczych. Rozwiązania tego typu pozwolą nie tylko na zwiększenie elastyczności systemów, ale także efektywny monitoring i sterowanie działaniem sieci ciepłowniczej.

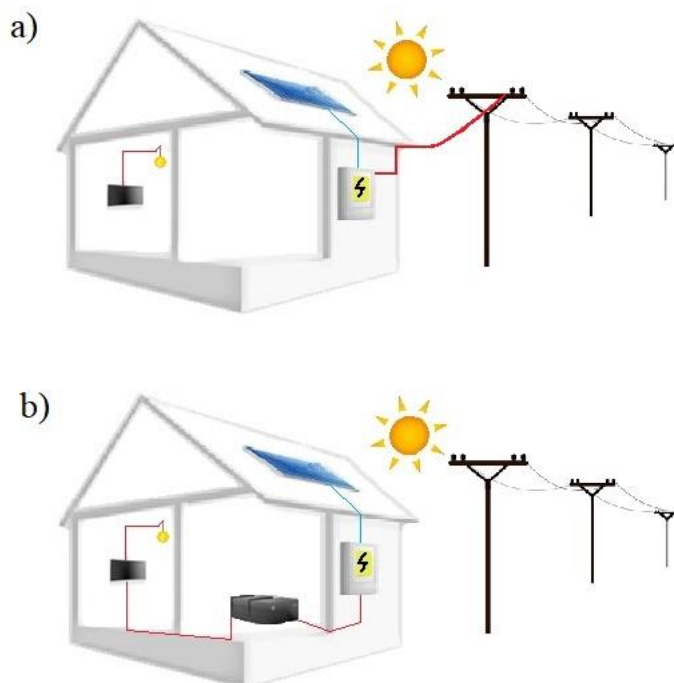
5. ZASILANIE OFF-GRID I ON-GRID

Zasilanie OFF-Grid i ON-Grid odnosi się do sposobu podłączenia instalacji elektrycznej do sieci elektroenergetycznej lub jej niezależności. Oba systemy są stosowane w różnych zastosowaniach, takich jak domy, gospodarstwa rolne, przedsiębiorstwa czy infrastruktura energetyczna.

Instalacja ON-Grid (rys. 5.1.a)), ma miejsce gdy instalacja obiektu jest podłączona do krajowej sieci elektroenergetycznej. Natomiast instalacja OFF-Grid to tzw. instalacja wyspowa, gdzie instalacja obiektu nie jest podłączona do sieci energetycznej.

System zasilania OFF-Grid (rys. 5.1.b)) pozwala na uniezależnienie się od zewnętrznych dostawców prądu, gdyż prąd potrzebny do zasilania urządzeń wytwarzany jest lokalnie. Przykładem lokalnego źródła energii elektrycznej jest instalacja fotowoltaiczna.

System zasilania ON-Grid opiera się na współpracy z krajową siecią elektroenergetyczną. Systemy tego typu mogą zarówno pobierać energię z sieci, jak i oddawać nadwyżki do sieci (np. z instalacji fotowoltaicznych).



Rys. 5.1. Rodzaje instalacji: a) ON-Grid, b) OFF-Grid [24]

Instalacja OFF-Grid składa się z trzech głównych elementów: źródła napięcia, akumulatorów oraz regulatora ładowania. W zależności od specyficznych potrzeb obiektu lub odbiorcy, system OFF-Grid może być rozbudowany o dodatkowe elementy.

Z kolei instalacje ON-Grid są powszechnie wykorzystywane w budynkach mieszkalnych, biurowych i przemysłowych. Natomiast systemy OFF-Grid są rzadziej spotykane i występują głównie w budownictwie jednorodzinnym.

Bycie podłączonym do sieci elektroenergetycznej (ON-Grid) przynosi liczne korzyści. Brak konieczności posiadania rezerwowych akumulatorów pozwala na redukcję kosztów, co ma szczególne znaczenie w przypadku dużych instalacji. Dodatkowo sieć elektroenergetyczna zapewnia stabilne i niezawodne źródło energii, ponieważ przerwy w dostawach prądu zdarzają się stosunkowo rzadko. Wadą tego rozwiązania jest jednak brak wpływu na wysokość opłat za pobraną energię elektryczną, które zależą od polityki cenowej dostawcy.

Systemy OFF-Grid, działające poza krajową siecią elektroenergetyczną, zapewniają pełną samowystarczalność energetyczną, co oznacza niezależność od zakładów energetycznych. To rozwiązanie jest atrakcyjne, ponieważ energia elektryczna jest w całości wytwarzana i konsumowana lokalnie. Jednakże wadą są wysokie koszty inwestycyjne, szczególnie w przypadku obiektów o dużym zapotrzebowaniu na energię. W systemach wyspowych źródło energii musi być zlokalizowane w pobliżu odbiorcy, co może ograniczać jego zastosowanie.

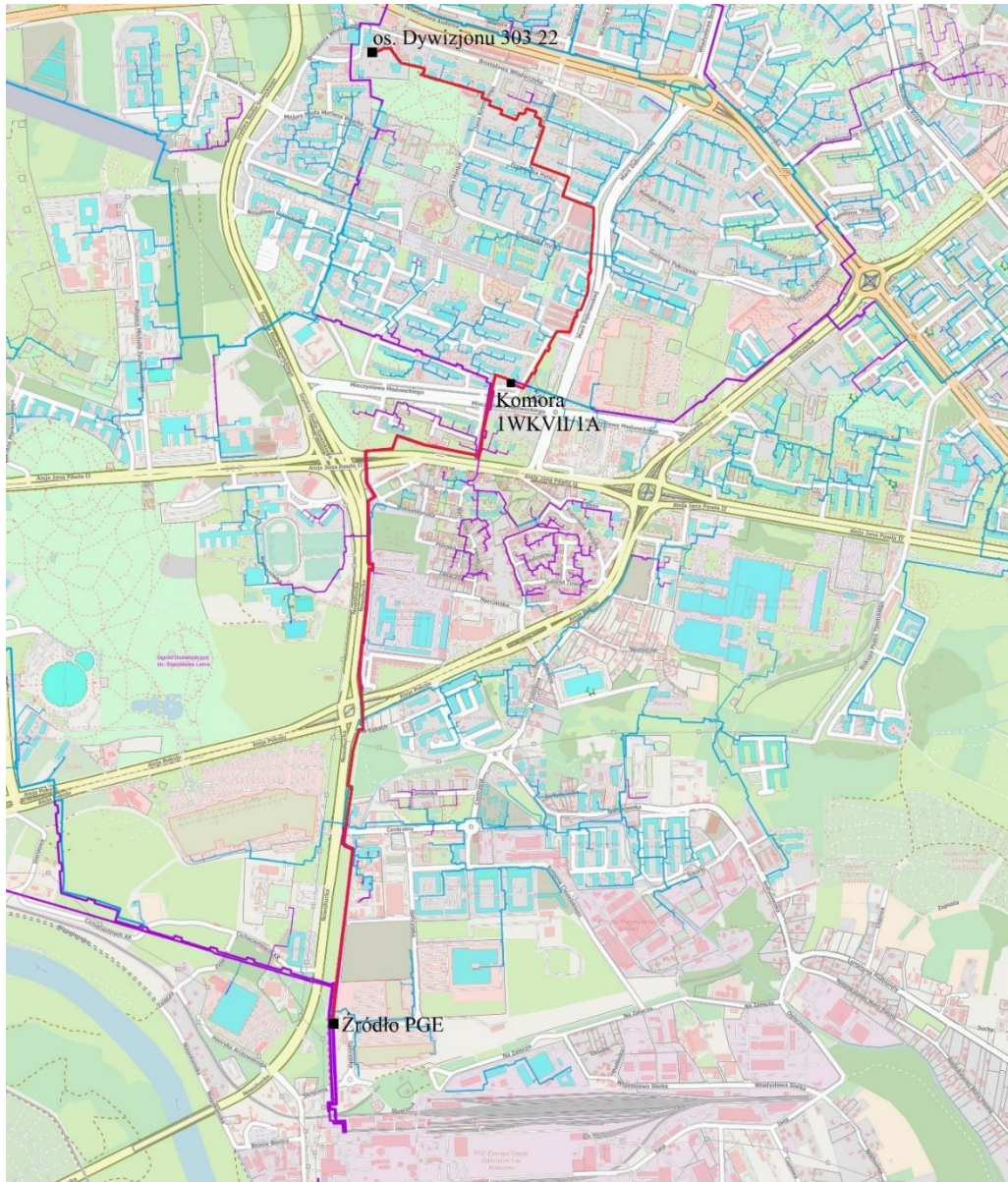
Wprowadzenie systemów zasilania OFF-Grid w komorach ciepłowniczych otwiera nowe możliwości w kierunku rozwoju inteligentnych sieci ciepłowniczych. Dzięki zastosowaniu niezależnych źródeł energii, możliwe jest monitorowanie i regulacja sieci ciepłowniczej w większej liczbie punktów, co znacząco poprawia precyzję zarządzania oraz efektywność pracy całego systemu ciepłowniczego.

Wybór typu zasilania jest jedną z najważniejszych decyzji projektowych, ponieważ wpływa na całą architekturę systemu zasilania.

6. OPIS WYBRANEJ KOMORY DO ZAINSTALOWANIA UKŁADU ZASILANIA

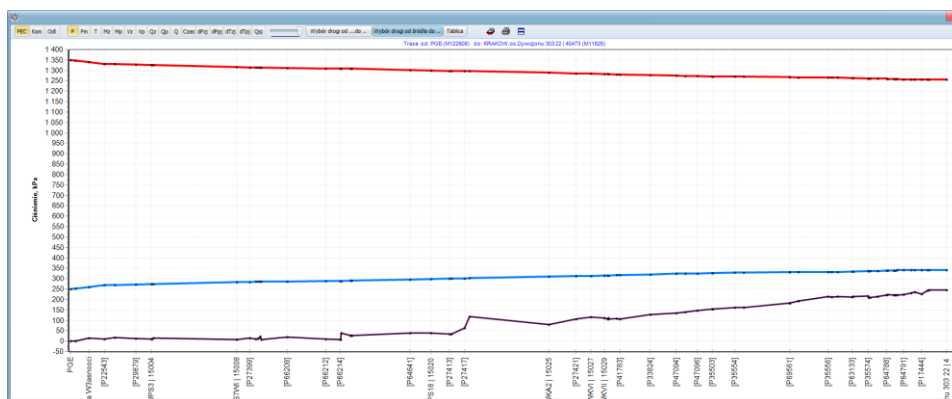
Miejsce do wdrożenia układu OFF-Grid zostało wybrane ze względu na jego kluczowe znaczenie w zarządzaniu przepływem i ciśnieniem w sieci ciepłowniczej. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii takich jak pompy w ruchu turbinowym, możliwe jest jednoczesne dławienie nadwyżki ciśnienia oraz wytwarzanie energii elektrycznej, co czyni system bardziej efektywnym i niezależnym.

Rysunek 6.1. przedstawia przebieg sieci ciepłowniczej oraz zlokalizowane na niej trzy punkty: źródło PGE, komorę 1WKVII/1A oraz węzeł na os. Dywizjonu 303 22, o których mowa na kolejnych wykresach piezometrycznych.



Rys. 6.1. Przebieg sieci ciepłowniczej przedstawiony na wykresach piezometrycznym ze zaznaczonymi trzema charakterystycznymi punktami: źródło PGE, komorę 1WKVII/1A oraz węzeł na os. Dywizjonu 303 22

Na wykresie piezometryczny (rys. 6.2.) przedstawiono rozkład ciśnienia w sieci ciepłowniczej od źródła PGE (ciśnienie w źródle – 13,5 / 2,5 bar przez komorę 1WKVII/1A gdy układ turbinowy nie pracuje do węzła zlokalizowanego na os. Dywizjonu 303 22.



oraz odzysk energii. Dzięki instalacji pompy w ruchu turbinowym możliwe jest skuteczne wykorzystanie nadmiaru energii hydraulicznej, która w tradycyjnych systemach byłaby tracona podczas dławienia.

Zamiast stosowania klasycznych zaworów dławiących, których zadaniem jest uzyskanie straty ciśnienia w rurociągu, PaT przekształci nadwyżkę ciśnienia w użyteczną energię mechaniczną, a następnie elektryczną. Pozwala to na precyzyjne zarządzanie przepływem czynnika grzewczego w sposób bardziej efektywny.

Redukcja nadwyżki ciśnienia w sposób kontrolowany przyczyni się do zmniejszenia strat eksploatacyjnych i poprawy niezawodności sieci w tym rejonie. Dodatkowo, stabilizacja parametrów ciśnienia ogranicza ryzyko awarii oraz wydłuża żywotność instalacji.

Wytworzona lokalnie w ten sposób energia eklektyczna pozwoli na zasilanie urządzeń sieciowych, zapewniając pełną autonomię systemu OFF-Grid dla kluczowych elementów zarządzania siecią. W szczególności system umożliwi zasilanie takich urządzeń jak zawory regulacyjne, system telemetry i monitoringu (sterownik), oświetlenie, wentylatory.

Zapewnieni to możliwość podglądu stanu sieci tego obszaru w systemie SCADA, co umożliwi kompleksowe monitorowanie i zarządzanie parametrami sieci ciepłowniczej, takimi jak aktualne wartości ciśnień i przepływów, stan urządzeń regulacyjnych (zaworów), oraz informacje o awariach w obrębie lokalnej infrastruktury.

7. SYSTEMY WYTWARZANIA ENERGII

Przy projektowaniu systemu zasilania można uwzględnić różnorodne technologie konwersji energii, takie jak agregaty prądotwórcze, fotowoltaika, turbiny wiatrowe czy turbiny wodne. Kluczowym czynnikiem w tym procesie jest niezawodność poszczególnych technologii. Każde z wymienionych źródeł energii charakteryzuje się specyficznymi cechami, które mają istotny wpływ na ich dostępność, wydajność oraz bezpieczeństwo dostaw energii, co jest szczególnie ważne w przypadku systemów OFF-Grid. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono szczegółową analizę tych technologii z uwzględnieniem ich niezawodności.

7.1 AGREGAT PRĄDOTWÓRCZY

Agregaty prądotwórcze to jedno z najczęściej używanych źródeł energii w sytuacjach awaryjnych lub w miejscach, gdzie inne źródła energii są niewystarczające. Są to urządzenia spalinowe, które przetwarzają paliwo (np. olej napędowy, gaz) na energię elektryczną.

Zaletą agregatów prądotwórczych jest wysoka niezawodność, pozwalającą zapewnić energię w dowolnym momencie, nawet w przypadku długotrwałych awarii innych źródeł zasilania. Działają w każdych warunkach pogodowych i w każdych porach dnia, nie wymagają Słońca ani wiatru.

Wadą zaś agregatów prądotwórczych są wysokie koszty paliwa oraz hałas. Używanie agregatów wiąże się z regularnymi kosztami paliwa oraz koniecznością jego przechowywania. Praca agregatów spalinowych wiąże się również z emisją CO² i innych zanieczyszczeń, wpływających na środowisko. Kolejną wadą agregatów jest potrzeba ich regularnych konserwacji i przeglądów technicznych, aby zapewnić ich niezawodność.

Agregaty prądotwórcze w kontekście zasilania OFF-Grid dla komór ciepłowniczych są nie najlepszym rozwiązaniem, szczególnie ze względu na emisję spalin i ich wymagań konserwacyjnych.

7.2 FOTOWOLTAIKA

Fotowoltaika to technologia, która przekształca światło słoneczne na energię elektryczną za pomocą paneli fotowoltaicznych.

Zaletą jest ich ekologiczność i niskie koszty eksploatacji. Produkcja energii ze Słońca jest czysta, a koszty operacyjne i konserwacyjne są niskie. Panele fotowoltaiczne mają długą żywotność (zwykle 25-30 lat) i wymagają minimalnej konserwacji. Po zainstalowaniu systemu koszty wytwarzania energii są bardzo niskie.

Wadą fotowoltaiki jako systemu wytwarzania energii jest zależność od warunków atmosferycznych. Produkcja energii zależy od dostępności światła słonecznego, co oznacza, że systemy fotowoltaiczne są mało wydajne w nocy i w pochmurne dni oraz zwłaszcza w okresie zimowym.

Aby zapewnić ciągłość dostaw energii w okresach, gdy nie ma Słońca, konieczne jest zastosowanie magazynów energii (akumulatorów) do zapewnienia ciągłości dostaw energii w nocy i w okresach pochmurnych dni. Nie mniej jednak akumulatory mają swoje wady, takie jak wysokie koszty zakupu, ograniczoną żywotność i potrzebę konserwacji.

Systemy fotowoltaiczne w kontekście zasilania OFF-Grid komór ciepłowniczych, mimo że są stosunkowo niezawodne w warunkach dobrego nasłonecznienia, mogą nie zapewnić ciągłości dostaw energii w mniej sprzyjających warunkach. W efekcie panele fotowoltaiczne nie cechują się wysoką niezawodnością, co jest dla nas istotnym wymaganiem. Dodatkowo ich zastosowanie wiąże się z dużymi kosztami związanymi z magazynowaniem energii. Kolejnym problemem jest konieczność montażu paneli nad poziomem komory ciepłowniczej, co może powodować trudności montażowe oraz wymagać znacznej przestrzeni. Ponadto, maszt z panelami może przyciągać uwagę osób trzecich, co stwarza ryzyko aktów wandalizmu i uszkodzenia instalacji.

7.3. TURBINY WIATROWE

Turbiny wiatrowe mogą być źródłem energii w systemach OFF-Grid, wykorzystującym energię kinetyczną wiatru do generowania energii elektrycznej.

Zaletą jest fakt że turbiny wiatrowe są odnawialnym źródłem energii. Energia wiatru jest niewyczerpalna i przyjazna dla środowiska, co czyni turbiny wiatrowe zrównoważonym rozwiązaniem dla systemów OFF-Grid. Niskie koszty eksploatacji, ponieważ turbiny nie wymagają dużych nakładów na paliwo. Długa żywotność, wysokiej jakości turbiny wiatrowe mogą działać przez 20-25 lat.

W trakcie pracy turbiny nie generują emisji gazów cieplarnianych ani innych szkodliwych substancji.

Wadą turbin wiatrowych tak jak dla fotowoltaiki jest ich zależność od warunków atmosferycznych. Wydajność turbin wiatrowych jest silnie uzależniona od dostępności wiatru. W rejonach o niskich prędkościach wiatru mogą być nieefektywne, co wymaga odpowiedniego doboru lokalizacji. Inwestycja w turbinę wiatrową, w tym jej instalację i fundamenty, jest stosunkowo kosztowna, co może być barierą. Turbiny mogą powodować hałas i stanowić zagrożenie dla ptaków, co bywa krytykowane w kontekście ochrony przyrody. Dodatkowym kosztem turbin wiatrowych jest ich konieczna regularna konserwacja. Instalacja turbiny wiatrowej wymaga odpowiedniej przestrzeni, wolnej od przeszkód takich jak budynki czy drzewa, które mogą zakłócać przepływ wiatru. W systemach OFF-Grid konieczne jest magazynowanie nadwyżki energii w akumulatorach, co wiąże się z dodatkowymi kosztami i ograniczoną żywotnością magazynów energii.

Turbiny wiatrowe w kontekście zasilania OFF-Grid komór ciepłowniczych napotykają podobne ograniczenia, które mogą wpływać na ich efektywność i opłacalność. Główne wady obejmują brak gwarancji ciągłości dostarczania energii, kosztowne magazyny energii, instalacja turbin wymaga przestrzeni wolnej od przeszkód, takich jak budynki czy drzewa, duże koszty inwestycyjne, koszty konserwacji i serwisu, a także odpowiednich warunków terenowych, co może być trudne do zapewnienia w lokalizacjach komór ciepłowniczych.

Te czynniki sprawiają, że zastosowanie turbin wiatrowych w systemach OFF-Grid dla komór ciepłowniczych jest mało opłacalne i skomplikowane.

7.4. TURBINY WODNE

Turbiny wodne są jednym z najbardziej wydajnych źródeł energii odnawialnej. W kontekście systemów OFF-Grid mogą stanowić stabilne i niezawodne źródło zasilania, szczególnie w lokalizacjach z dostępem do odpowiednich zasobów wodnych, takich jak rzeki, potoki czy zbiorniki wodne.

Ich zaletą jest wysoka wydajność energetyczna, osiągają jedne z najwyższych współczynników sprawności wśród technologii konwersji energii, często przekraczające 90%. W przeciwieństwie do fotowoltaiki czy turbin wiatrowych, turbiny wodne dostarczają stałą moc, pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego przepływu wody - stabilność i niezawodność. Po odpowiedniej instalacji turbiny wodne mogą działać przez bardzo długi okres przy minimalnej konserwacji, co przekłada się na niższe koszty eksploatacyjne. Turbiny wodne nie emitują gazów cieplarnianych ani innych szkodliwych substancji, co czyni je przyjaznym dla środowiska rozwiązaniem.

Wadą zastosowania turbin wodnych jest wymóg dostępu do odpowiednich zasobów wodnych, dostarczających stały i wystarczający przepływ. Brak takich warunków znacząco ogranicza ich zastosowanie. Budowa turbin wodnych, może wpłynąć na ekosystemy wodne. Koszt instalacji turbin wodnych oraz przygotowania odpowiedniej infrastruktury jest stosunkowo wysoki. W przypadku spadku poziomu wody wydajność turbin może ulec znacznemu obniżeniu, co wpływa na stabilność dostaw energii. Choć koszty eksploatacji są niskie, konserwacja w trudno dostępnych lokalizacjach może być utrudniona i kosztowna.

Turbiny wodne są świetnym rozwiązaniem dla systemów OFF-Grid w miejscach z odpowiednimi zasobami wodnymi. Oferują wysoką wydajność i niezawodność przy minimalnym wpływie na środowisko, pod warunkiem odpowiedniego zaprojektowania. Jednak ich zastosowanie jest ograniczone przez wymogi hydrologiczne, a wysoki koszt początkowy sprawia, że są bardziej opłacalne w projektach długoterminowych. Warto rozważyć turbiny wodne w systemach, w których stabilność dostaw energii jest priorytetem, a dostęp do innych źródeł energii jest ograniczony.

7.5. POMPA W RUCHU TURBINOWYM

Pompa w ruchu turbinowym to urządzenie, które w odpowiednich warunkach może działać jako turbina wodna, generując energię elektryczną z przepływu wody. Jest to rozwiązanie szczególnie atrakcyjne w kontekście instalacji OFF-Grid, gdzie efektywność i dostępność lokalnych zasobów wodnych odgrywają kluczową rolę.

Zaletą pomp w ruchu turbinowym jest fakt, że są one znacznie tańsze niż specjalistyczne turbiny wodne, co czyni je bardziej przystępnymi. Są łatwo dostępne na rynku w różnych rozmiarach i konfiguracjach. Urządzenia te mają prostą budowę, co przekłada się na łatwiejszą konserwację. PaT może być wykorzystywana w systemach, gdzie występują różnice wysokości (spady wodne) i stały przepływ wody, np. w sieciach wodociągowych, zbiornikach wodnych lub naturalnych ciekach wodnych. Możliwość pracy w systemach o niskim i średnim przepływie. Choć efektywność pomp w ruchu turbinowym jest mniejsza niż turbin wodnych zaprojektowanych specjalnie do produkcji energii, nadal jest wystarczająca do zasilania instalacji OFF-Grid.

Wadą pomp w ruchu turbinowym jest niższa sprawność niż klasycznych turbin wodnych, co oznacza, że w niektórych zastosowaniach mogą być mniej efektywne w przekształcaniu energii przepływu wody na energię elektryczną. Ograniczenia w zakresie przepływu i wysokości spadku. PaT działa optymalnie w określonym zakresie parametrów przepływu i spadku wody, co może ograniczać ich zastosowanie w zmiennych warunkach hydrologicznych. Nie nadają się do pracy w warunkach bardzo niskich przepływów lub dużych spadów, gdzie wymagane są zaawansowane turbiny.

Pompy w ruchu turbinowym są wrażliwe na jakość wody. Woda z dużą ilością zanieczyszczeń, takich jak piasek czy muł, może prowadzić do szybszego zużycia urządzenia i w efekcie do zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. PaT działa z ustaloną charakterystyką (brak możliwości regulacji mocy), co może być problematyczne w systemach wymagających precyzyjnego dostosowania mocy wyjściowej.

Pompy w ruchu turbinowym są ekonomicznym i stosunkowo prostym rozwiązaniem do wykorzystania w instalacjach OFF-Grid, szczególnie w miejscach z dostępem do stabilnych przepływów wodnych. Ich główną zaletą jest niski koszt i łatwość instalacji, co czyni je atrakcyjnym wyborem w wielu przypadkach. Jednak

ograniczenia sprawności, możliwości regulacji oraz wrażliwość na zmienne warunki hydrologiczne mogą stanowić istotne przeszkody w niektórych zastosowaniach. Decyzja o zastosowaniu PaT powinna być oparta na dokładnej analizie lokalnych warunków i wymagań energetycznych.

7.5.1 PAT - CHARAKTERYSTYKA DLA RUCHU POMPOWEGO ORAZ TURBINOWEGO

Pompy to maszyny robocze, które przekazują energię mechaniczną, pobraną z zewnętrznego źródła, do cieczy lub jej mieszaniny z ciałami stałymi, umożliwiając jej przepływ. W układach lub instalacjach pompowych pompy pełnią funkcję podnoszenia cieczy z niższego poziomu na wyższy albo tłoczenia jej z obszaru o niższym ciśnieniu do obszaru o wyższym ciśnieniu.

Zasada działania pompy wirowej: ciecz wpływa przez króciec ssawny (dopływowy/wlotowy) pod niskim ciśnieniem. Następnie ciecz przepływa przez element obrotowy (wirnik) napędzany poprzez wał silnikiem elektrycznym (zasilany z zewnętrznego źródła), który przekazuje cieczy energię mechaniczną, powodując wzrost ciśnienia i prędkości. W końcowej fazie ciecz wypływa pod podwyższonym ciśnieniem przez króciec tłoczny (odpływowy/wylotowy).

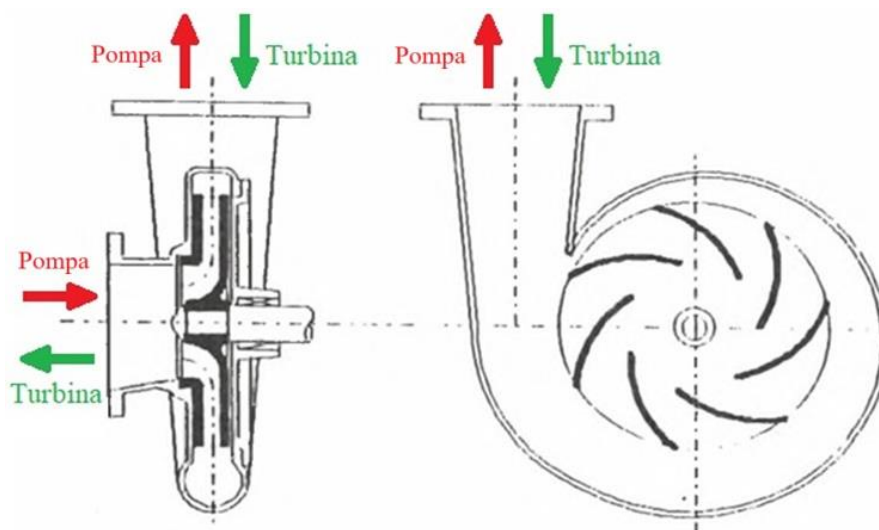
Pompa pracująca w ruchu turbinowym to urządzenie hydrauliczne zaprojektowane pierwotnie jako pompa, ale wykorzystywane jako turbina do odzyskiwania energii z przepływającej cieczy. W turbinowym trybie pracy pompa odwraca swój sposób działania, zamieniając energię hydrauliczną cieczy na energię mechaniczną (wał).

Zasada działania pompy w ruchu turbinowym: ciecz wpływa przez króciec, który w trybie pompowym był odpływem (tłocznym). Ciecz wpływa pod wysokim ciśnieniem i z dużą energią hydrauliczną. Energia hydrauliczna to rodzaj energii mechanicznej zgromadzonej w wodzie, wynikający z jej ruchu. Następnie czynnik przepływa przez wirnik, który w trybie pompowym przekazuje energię cieczy, a w ruchu turbinowym odbiera energię z cieczy. Energia hydrauliczna cieczy jest przekształcana na energię mechaniczną, wprawiając wirnik w ruch obrotowy. W fazie końcowej ciecz wypływa przez króciec, który w trybie pompowym był wlotowym (ssawnym). Ciecz wypływa z obniżonym ciśnieniem i mniejszą energią. Powstała w ten sposób energia mechaniczna wirnika przekazywana jest przez

wał napędowy do generatora lub innego urządzenia, umożliwiając dalsze jej wykorzystanie, np. do produkcji energii elektrycznej.

W pompach ciecz wpływa do króćca ssawnego pod niskim ciśnieniem (z niską energią), następnie przepływa przez wirnik, gdzie pobiera energię mechaniczną, i opuszcza pompę przez króciec tłoczny pod wyższym ciśnieniem (rys. 7.1.).

Z kolei maszyny hydrauliczne, które zamieniają energię cieczy na pracę użytkową, to silniki hydrauliczne. W przypadku maszyn wirowych rolę takich silników pełnią turbiny hydrauliczne (wodne) lub pompy wirowe działające w trybie turbinowym. W silnikach hydraulicznych ciecz wpływa przez króciec dopływowy pod wysokim ciśnieniem, oddaje energię hydrauliczną w wirniku (zamienianą na energię mechaniczną), a następnie opuszcza urządzenie przez króciec odpływowy pod niższym ciśnieniem (rys. 7.1.).



Rys. 7.1. Schemat konstrukcyjny pompy wirowej jedno-stopniowej - ilustrujący przepływ cieczy w zależności od trybu pracy urządzenia (pompa, turbina) [25]

Praca turbinowa to proces odwrotny do pracy pompowej pod względem energetycznym. W przypadku pomp wirowych działających w trybie turbinowym wirnik obraca się w przeciwnym kierunku niż w trybie pompowym. Przepływy w takich maszynach hydraulicznych (zarówno w pompach, jak i w turbinach) można opisać równaniem Eulera (7.1) [25] dla maszyn wirowych, które odnosi się do przepływu osiowo-symetrycznego nieściśliwej, nielepkiej cieczy przez wirnik z nieskończoną liczbą łopatek.

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} = \frac{\nabla p}{\rho} + \mathbf{f} \quad (7.1)$$

gdzie:

$\mathbf{v}$ – prędkość płynu $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$,

t – czas (s),

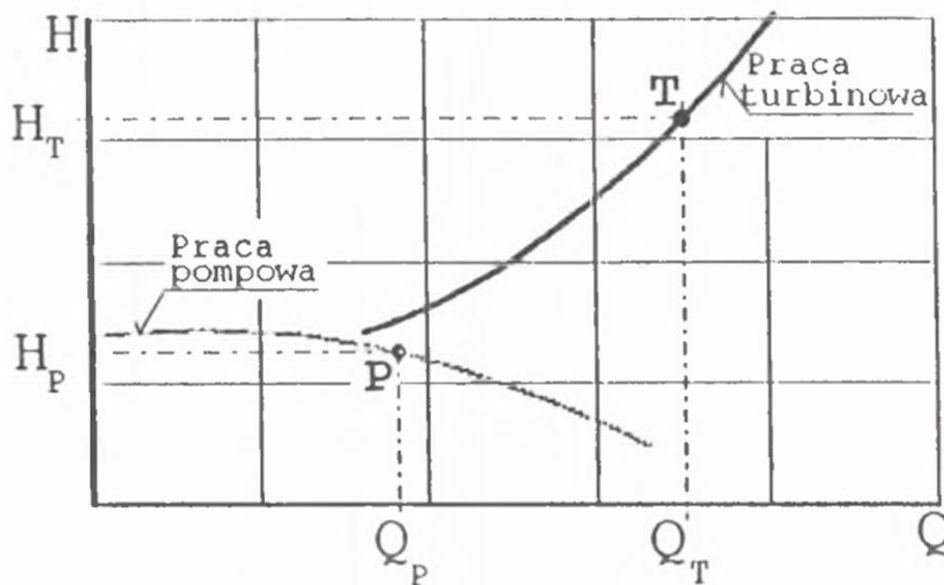
p – ciśnienie (Pa),

ρ – gęstość płynu $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

$\mathbf{f}$ – siła zewnętrzna działająca na jednostkę masy $\left(\frac{\text{N}}{\text{kg}}\right)$.

Jednak w rzeczywistych maszynach hydraulicznych, gdzie występują lepkość cieczy i wirnik o skończonej liczbie łopatek, parametry pracy różnią się od teoretycznych. W trybie pompowym rzeczywista efektywność maszyny jest niższa ze względu na straty energii wynikające z oporów hydraulicznych i nieidealnego przekazywania energii w wirniku. Z kolei w trybie turbinowym konieczne jest dostarczenie dodatkowej energii, aby pokryć te same straty.

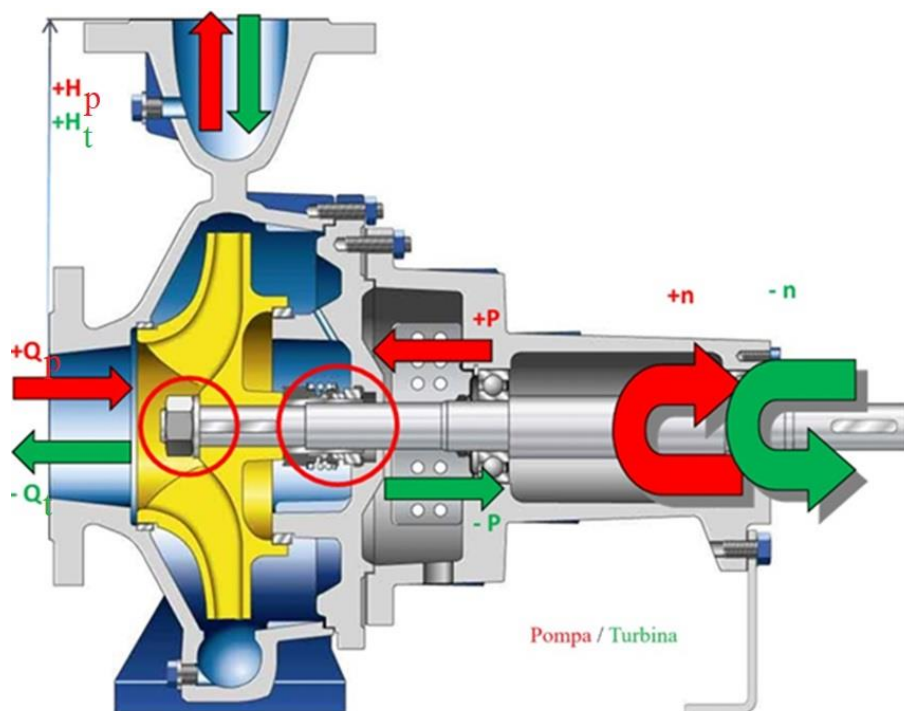
Jeśli pompa pracująca w trybie pompowym osiąga nominalne parametry w punkcie „P” (przedstawionym na rysunku 7.2.), ta sama maszyna pracująca jako turbina wymaga wyższego dostarczonego poziomu energii z cieczy, co odpowiada parametrom punktu „T” na tym samym wykresie [25].



Rys. 7.2. Charakterystyki pompy w ruchu pompowym i turbinowym [25]

Standardowa pompa odśrodkowa może być używana jako turbina, pracując w odwrotnym kierunku bez konieczności modyfikacji jej konstrukcji, takich jak obudowa czy geometria wirnika. Przy przekształceniu pompy w turbinę kluczowe znaczenie mają następujące parametry: strumień objętości (Q_p), różnica ciśnień tzw. spad (H_p) oraz prędkość obrotowa (n). Te wielkości fizyczne należy dokładnie uwzględnić podczas doboru pompy do pracy w trybie turbinowym.

Główna różnica między trybem turbiny a trybem pompy polega na zmianie kierunku obrotu wirnika (przedstawione na rysunku 7.3.), co jest oznaczane jako zmiana znaku.



Rys. 7.3. Charakterystyki pompy w ruchu pompowym i turbinowym [26]

Wzór (7.2) przedstawia zapotrzebowanie na moc (P_{pe}) potrzebną do zasilania pompy w układzie hydraulicznym, gdzie energia przepływu i wysokość podnoszenia są kluczowymi parametrami.

Wzór (7.3) opisujący moc (P_{urb}) generowaną przez turbinę wodną, biorąc pod uwagę przepływ wody, wysokość spadku oraz sprawność turbiny. Jest to podstawowe równanie wykorzystywane w analizie energetycznej turbin wodnych.

$$P_{pe} = \frac{Q_p \cdot H_p}{const. \cdot \eta_{pe}} \quad (7.2)$$

$$P_{urb} = \frac{Q_p \cdot H_t \cdot \eta_{rub}}{const.} \quad (7.3)$$

W powyższych wzorach:

- P_{pe} - moc dostarczana do pompy (W),
- P_{urb} - moc wyjściowa generowana przez turbinę wodną (W),
- Q_p - przepływ objętościowy cieczy przez pompę $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ lub $\left(\frac{l}{s}\right)$,
- H_p - wysokość podnoszenia cieczy w przypadku pompy (m),

- H_t - wysokość spadku wody w przypadku turbiny (m),
- $const.$ - stała wynikająca z przeliczenia jednostek, najczęściej wynosząca 9.81 (przy uwzględnieniu przyspieszenia grawitacyjnego w układzie SI),
- $\eta_{P_{pe}}$ - sprawność pompy ($0 < \eta \leq 1$), która określa, jaka część energii jest efektywnie wykorzystywana na podnoszenie cieczy, a nie tracona np. na ciepło czy tarcie,
- $\eta_{T_{rub}}$ - sprawność turbiny ($0 < \eta \leq 1$), czyli efektywność przekształcania energii potencjalnej i kinetycznej wody w energię mechaniczną.

Oba wzory dla mocy w trybie pracy pompy (7.2) i turbiny (7.3) ilustrują, jak przepływ, wysokość i efektywność wpływają na pracę tych urządzeń w ich odpowiednich trybach.

Moc pompy zależy od przepływu (Q_p) i wysokości podnoszenia (H_p), podzielonych przez współczynnik efektywności ($\eta_{P_{pe}}$) oraz stałą ($const.$). Im wyższa efektywność pompy ($\eta_{P_{pe}}$), tym mniejsza wymagana moc przy danym przepływie i wysokości podnoszenia.

W przypadku pompy ($\eta_{P_{pe}}$), większa efektywność oznacza mniejsze zużycie mocy. Moc turbiny również zależy od przepływu (Q_t) i wysokości spadku (H_t), pomnożonych przez współczynnik efektywności turbiny ($\eta_{T_{rub}}$), a następnie podzielonych przez stałą ($const.$). Im wyższa efektywność turbiny ($\eta_{T_{rub}}$), tym większa moc wyjściowa przy danym przepływie i wysokości spadku. W przypadku turbiny ($\eta_{T_{rub}}$), większa efektywność oznacza większą moc generowaną przez urządzenie.

W trybie turbiny, w najlepszym punkcie sprawności, zarówno natężenie przepływu, jak i wysokość podnoszenia (ciśnienie) są większe w porównaniu do tych samych parametrów w trybie pompy przy tej samej prędkości obrotowej.

Ogólnie, sprawność turbiny jest porównywalna ze sprawnością pompy. Możliwe jest również przeliczenie wartości wysokości podnoszenia, natężenia przepływu i mocy wyjściowej w zależności od prędkości obrotowej, zgodnie z zasadami podobieństwa, ponieważ trójkąty prędkości w trybie pompy i turbiny są zbliżone.

W większości przypadków pompy pracujące w trybie odwróconym mogą osiągnąć równie wysoką wydajność jak podczas pracy w swoim standardowym trybie.

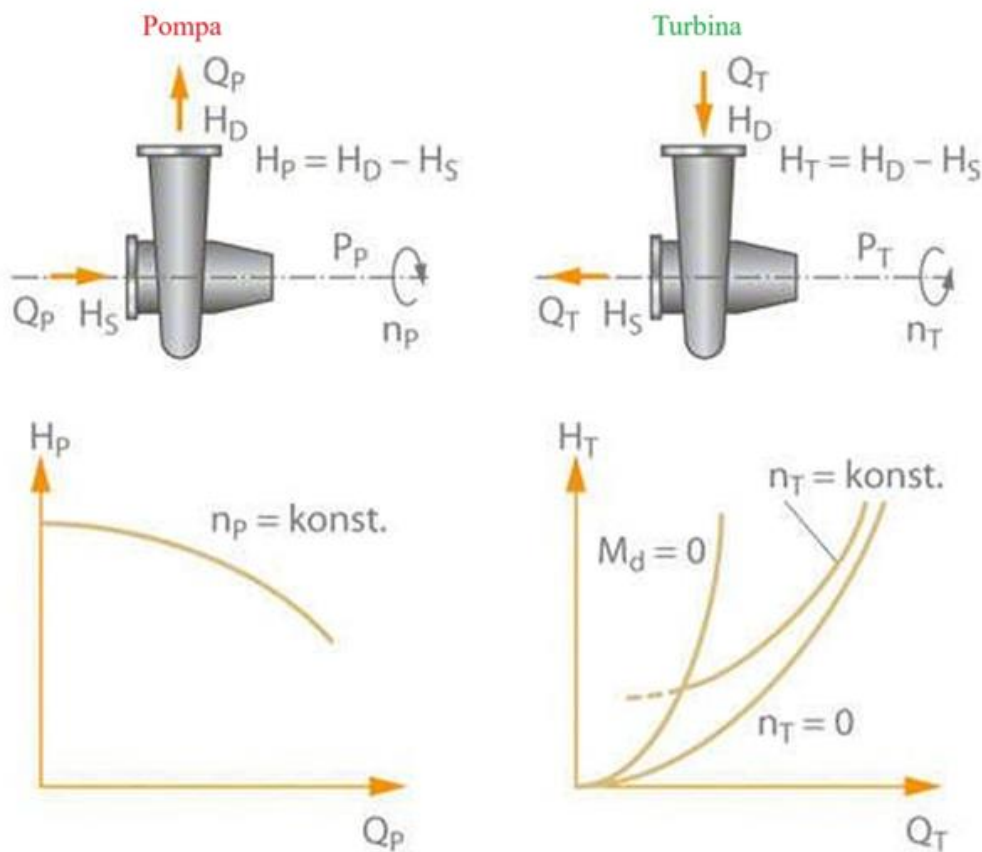
Porównując tryb turbiny z trybem pompy, można wskazać następujące różnice:

- kierunek obrotu wirnika – w trybie turbiny wirnik obraca się w przeciwnym kierunku w porównaniu z trybem pompy. W trybie pompy wirnik obraca się w określonym

kierunku, aby przekształcić energię mechaniczną na energię hydrauliczną. W trybie turbiny kierunek obrotu wirnika jest odwrotny, ponieważ maszyna konwertuje energię hydrauliczną na energię mechaniczną,

- parametry pracy - w trybie turbiny, w najlepszym punkcie sprawności, zarówno strumień masy, jak i wysokość podnoszenia (ciśnienie generowane przez wirnik) są wyższe niż w trybie pompy, przy tej samej prędkości obrotowej. W trybie pompy te wartości są zoptymalizowane do tłoczenia cieczy, a nie do odzyskiwania energii,
- transfer energii - w trybie pompy energia mechaniczna jest dostarczana do przepływającego czynnika przez wał połączony z wirnikiem, co zwiększa jego ciśnienie i przepływ. W trybie turbiny energia jest odbierana z przepływającego czynnika i przekazywana na zewnątrz za pomocą wału, skąd może być wykorzystywana jako energia mechaniczna lub elektryczna,
- cel działania, zastosowanie - w trybie pompy celem jest zwiększenie energii płynu (ciśnienia, wysokości podnoszenia lub przepływu). Służy do tłoczenia cieczy w układach, np. do podnoszenia wody na wyższy poziom. W trybie turbiny głównym zadaniem jest odzyskanie energii z przepływającego czynnika i przekształcenie jej w energię użyteczną (generacja energii elektrycznej).
- podobieństwo trójkątów prędkości, charakterystyki hydrauliczne - mimo różnic w działaniu, układ trójkątów prędkości w wirniku pozostaje podobny w obu trybach, co pozwala na wykorzystanie zasad podobieństwa do przeliczenia parametrów pracy. Tryb pompy wymaga precyzyjnego dostosowania do parametrów pracy systemu, aby osiągnąć stabilny przepływ. W trybie turbiny przepływ cieczy naturalnie napędza wirnik, a głównym celem jest maksymalizacja odzyskiwanej energii.
- wydajność - wydajność w trybie turbiny jest zbliżona do tej w trybie pompy, pod warunkiem, że maszyna działa w zakresie optymalnym dla obu zastosowań. W obu trybach sprawność jest porównywalna, jednak w trybie turbiny występuje większa strata energii związana z wyższym natężeniem przepływu i ciśnieniem.

Różnice wynikają z kierunku przepływu energii, charakterystyki pracy oraz celów, jakie maszyna ma spełniać w każdym z trybów. Kluczową różnicą jest rola urządzenia: w trybie pompy energia jest dostarczana do cieczy, a w trybie turbiny energia jest z cieczy odzyskiwana.



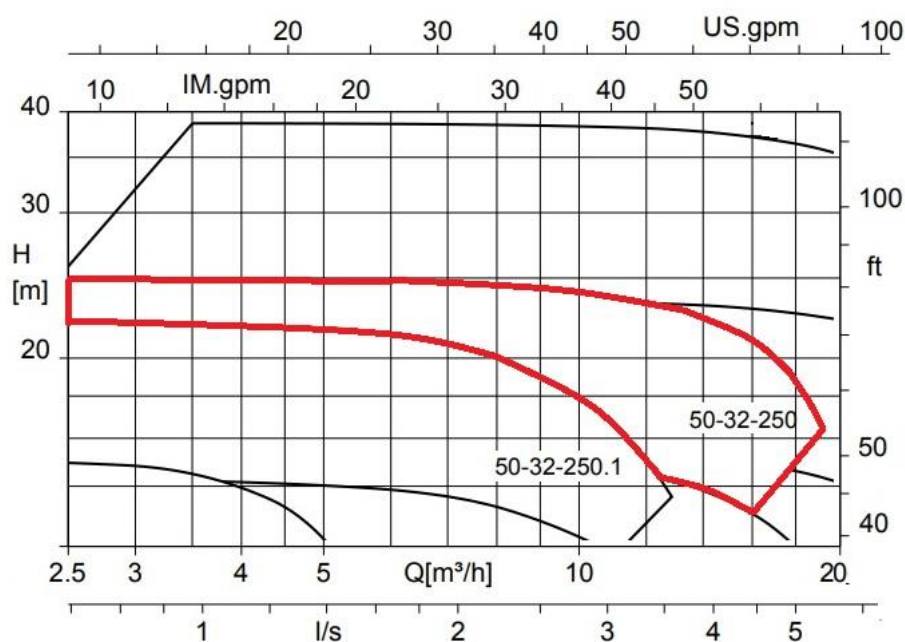
Rys. 7.4. Tryb turbiny: różnica między trybem pompy a trybem turbiny [27, 28]

W przypadku zastosowania pompy w ruchu turbinowym w układzie zasilania OFF-Grid w komorach ciepłowniczych energia mechaniczna generowana przez PaT jest przekazywana wałem napędowym do generatora. Generator przekształca tę energię mechaniczną w energię elektryczną, która może służyć jako lokalne źródło zasilania dla wdrażanego układu zasilania wyspowego. Lokalnie wytworzona energia elektryczna może zostać wykorzystywana do zasilania urządzeń znajdujących się w komorze ciepłowniczej.

7.5.2. SYSTEMY WYTWARZANIA ENERGII PAT DLA WDRAŻANEGO SYSTEMU OFF-GRID

Dla projektowanego systemu OFF-Grid zasilania komór ciepłowniczych w pierwszej kolejności wybrano obiekt przeznaczony do montażu zasilania OFF-Grid. Następnie dla wybranego obiektu przeznaczonego do montażu zasilania OFF-Grid dobrano urządzenie charakteryzujące się szczegółowymi charakterystykami pracy w dwóch trybach: pompy (rys. 7.5.) oraz turbiny (rys. 7.6.) w ruchu turbinowym.

Etanorm, $n = 1450 \text{ min}^{-1}$

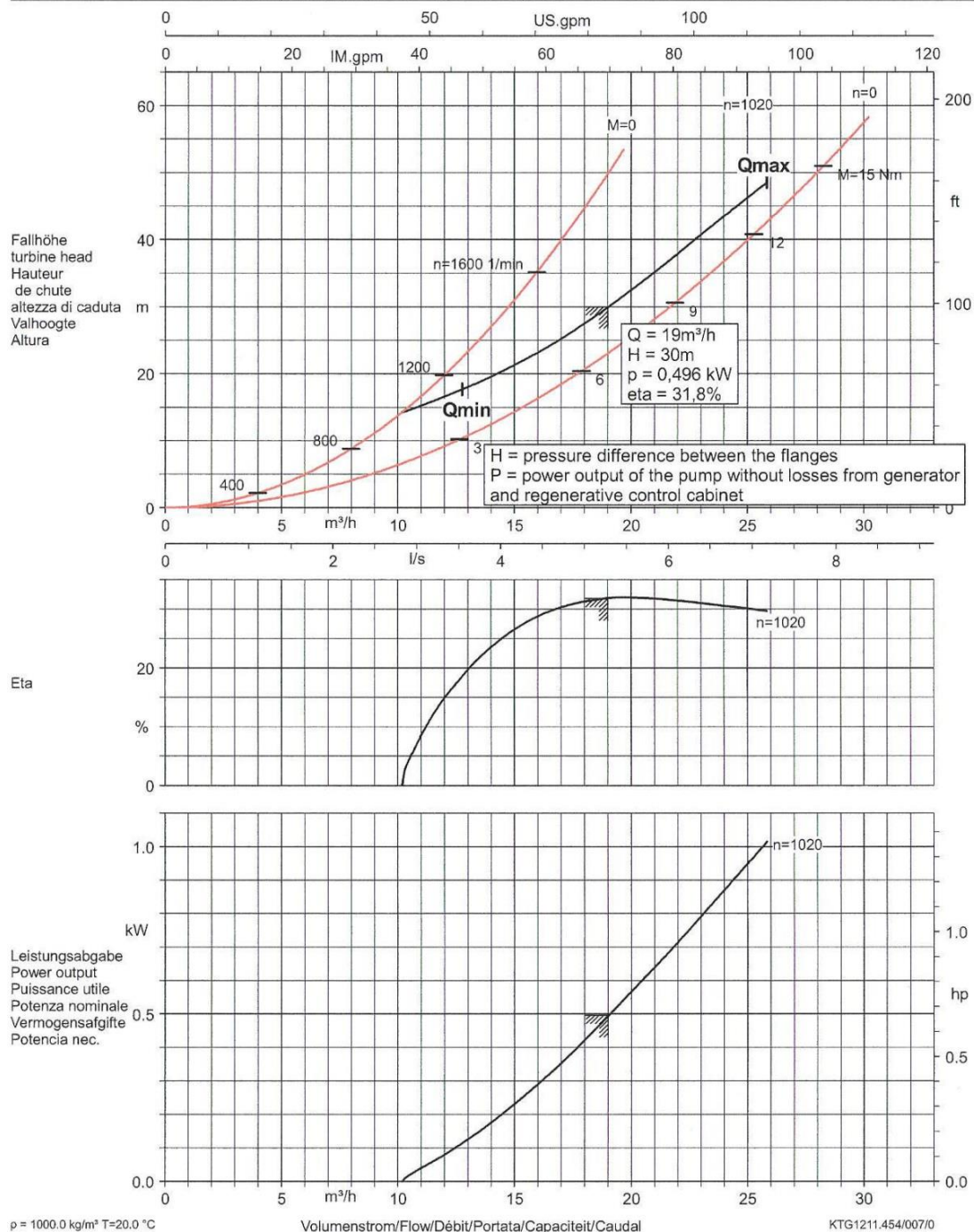


Rys. 7.5. Charakterystyka PaT Etanorm 50-32-250 w ruchu pompowym [29]

Charakterystyka PaT Etanorm w ruchu turbinowym widocznym na rysunku 7.6. została dobrana na podstawie wytycznych technologicznych Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie (projekt technologiczny komory – załącznik nr 10):

- Parametry ciśnieniowe dla komory:
 - W sezonie grzewczym: 1,20/0,30 MPa
 - W sezonie letnim: 0,90/0,30 MPa
- Parametry przepływu dla komory:
 - W sezonie grzewczym: max 253 T/h
 - W sezonie letnim: min 20 T/h.

Baureihe-Größe Type-Size Modèle	Tipo Serie Tipo	Nennrehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominale foerental Revolutions nom.	Lauftrad-Ø Impeller diameter Diamètre de roue	Ø Girante Ø Waaler Ø Rodete	 KSB Aktiengesellschaft Postfach 200743 06008 Halle (Saale) Turmstraße 92 06110 Halle (Saale)
Etanorm 32-250 Turbine		1020 1/min		260 mm		
Projekt Project Projet	Progetto Projekt Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offertenr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positiennr. Pos.-Nr.	
PaT		nn		19m³/h @ 30m		



Rys. 7.6. Charakterystyka PaT Etanorm 32-250 w ruchu turbinowym przy prędkości obrotowej 1020 rpm [29]

Charakterystyki te przedstawiają zależności między przepływem (Q), wysokością podnoszenia (H_p)/spadku (H_t), sprawnością (η) oraz mocą (P) urządzenia.

W trybie pompy charakterystyki te pokazują, jak efektywnie urządzenie może dostarczać energię hydrauliczną, co jest kluczowe dla utrzymania przepływu cieczy w sieci. Warto jednak zaznaczyć, że w tym przypadku tryb pracy urządzenia jako pompy PaT nie będzie wykorzystywany. Wykresy trybu pompy został zaprezentowany jedynie w celach poglądowych, aby umożliwić lepsze zrozumienie możliwości urządzenia oraz jego charakterystyk. Z kolei w trybie turbiny przedstawiają zdolność urządzenia do generowania energii elektrycznej, co w naszym przypadku umożliwi zasilanie urządzeń monitorujących i sterujących w systemie OFF-Grid.

Tryb turbinowy, jak wynika z charakterystyk, pozwala na wykorzystanie przepływu cieczy do generowania energii elektrycznej. Dzięki temu możliwe jest zasilanie urządzeń monitorujących i sterujących w komorach ciepłowniczych oraz redukcja zależności od głównej sieci energetycznej poprzez zastosowanie lokalnych źródeł zasilania (OFF-Grid).

Sprawność turbiny ($\eta_{T_{rub}}$) w określonym zakresie wydajności Q i wysokości spadku H pozwala określić, ile energii elektrycznej można wygenerować w rzeczywistych warunkach instalacji.

Analizując dane (np. maksymalne $H=30\text{m}$), można oszacować moc generowaną dla lokalnych punktów zasilania w systemie OFF-Grid.

Przykład obliczeń mocy generowanej przez dobraną turbinę PaT w rzeczywistych warunkach instalacji. W tym celu wykorzystamy wzór (7.4)

$$P_{T_{urb}} = \frac{Q_t \cdot H \cdot \eta_{T_{rub}}}{const.} \quad (7.4)$$

Zakładając:

- $Q_t = 19 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 19 \div 3600 = 0,00528 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$,
- $H = 30 \text{ m}$,
- $const. = 367$
- $\eta_{T_{rub}} = 31,8 \% = 0,318$ (pochodzi z charakterystyki pracy urządzenia pracującego jako turbina, podanej w dokumentacji technicznej rys. 7.6.).

Gdzie $const. = 367$ pochodzi z przeliczenia jednostek oraz uwzględnia gęstość wody i wartość przyspieszenia ziemskiego, wykorzystując wzór dla podstawowego równania dla mocy hydraulicznej wzór (7.5) teoretyczna moc przepływu i wzoru (7.6) po uwzględnieniu w nim sprawności η .

$$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T \quad (7.5)$$

$$P_{Turb} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T \cdot \eta \quad (7.6)$$

gdzie:

ρ - gęstość wody (przyjęte $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$),

g - przyspieszenie ziemskie ($9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$),

Q – strumień objętości ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$),

H_T - wysokość spadku (m).

Aby uzyskać moc w kilowatach kW, dzielimy wynik przez 1000 (ponieważ $1\text{kW}=1000\text{W}$) wzór (7.7).

$$P_{Turb} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T \cdot \eta}{1000} \text{ kW} \quad (7.7)$$

Obliczenie mocy przepływu wg. wzoru (7.7) uwzględniając przepływ w m^3/h , a nie w m^3/s :

$$P_{Turb} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{Q}{3600} \cdot H \cdot \eta}{1000} \text{ kW}$$

$$P_{Turb} = \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{367} \text{ kW}$$

Wracając do wzoru (7.3) obliczenia mocy generowanej przez turbinę i podstawiając zmienne, otrzymujemy:

$$P_{Turb} = \frac{0,00528 \cdot 30 \cdot 0,318}{367} \text{ kW}$$

$$P_{Turb} = \frac{0,0505}{367} \approx 0,496 \text{ kW}$$

Dla przyjętych wyżej danych turbinę można wykorzystać do generowania około 0,496 kW w określonych warunkach $Q = 19 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ i $H = 30 \text{ m}$.

Tego typu analiza pozwala oszacować potencjał energetyczny urządzenia w systemie OFF-Grid dla lokalnych punktów zasilania.

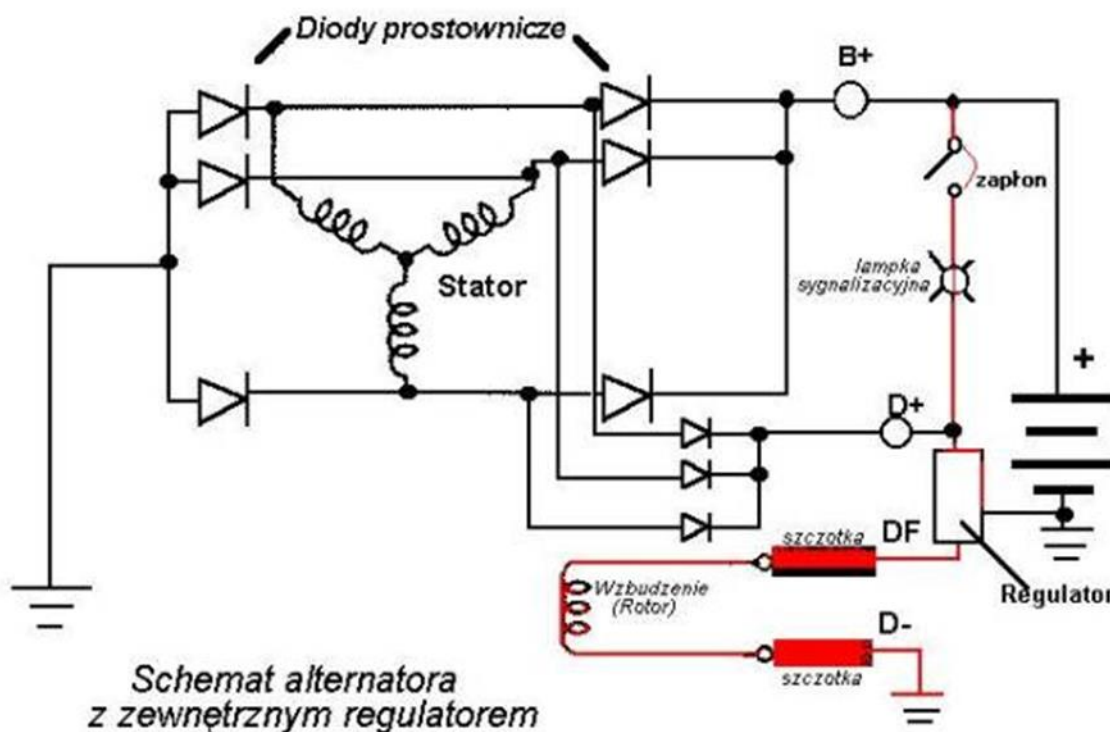
Dzięki analizie charakterystyk można precyzyjnie dobrać urządzenie, które zapewni niezależność energetyczną oraz efektywność działania w wybranym obiekcie, takim jak komora ciepłownicza.

8. GENERACJA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W projektowanym systemie OFF-Grid kluczowym elementem wytwarzającym energię jest generator elektryczny, który przekształci nadmiar energii hydraulicznej z różnicy ciśnień w energię elektryczną. Generator ten stanowić ma podstawowe źródło zasilania dla urządzeń sieciowych, takich jak zawory regulacyjne, systemy telemetrii oraz monitoring w systemie SCADA.

8.1. ALTERNATOR

Podczas fazy projektowania analizowano różne rozwiązania techniczne, w tym wykorzystanie alternatora jako potencjalnego generatora elektrycznego. Alternatory, powszechnie stosowane w układach motoryzacyjnych, charakteryzują się efektywnością energetyczną w przekształcaniu energii mechanicznej w elektryczną, компактowymi wymiarami, co czyni je odpowiednimi do zastosowań w ograniczonej przestrzeni, prostotą budowy i łatwością integracji z układami hydraulicznymi za pomocą turbin wodnych, na rysunku 8.1. przedstawiono schemat budowy alternatora z zewnętrznym wzbudzeniem (szczotki).



Rys. 8.1. Schemat alternatora z zewnętrznym regulatorem [30]

Słabym punktem alternatora samochodowego w zastosowaniach OFF-Grid w komorze ciepłowniczej są względy eksploatacyjne, w szczególności konieczność okresowej wymiany szczotek. Szczotki są kluczowym elementem w układzie prądnicy, który umożliwia przepływ prądu między obrotowym wirnikiem a nieruchomym obwodem elektrycznym (pierścieniami ślizgowymi).

Problemy związane ze szczotkami alternatora:

- zużycie mechaniczne - szczotki zużywają się w trakcie pracy wskutek tarcia z pierścieniami ślizgowymi, co prowadzi do konieczności ich wymiany. W warunkach przemysłowych, takich jak komory ciepłownicze, intensywna praca i warunki środowiskowe mogą dodatkowo przyspieszać ich zużycie.
- przerwy w pracy systemu - wymiana szczotek wymaga zatrzymania alternatora, co może prowadzić do przerw w dostarczaniu energii. W układach OFF-Grid, gdzie niezawodność jest kluczowa, może to być istotnym problemem.
- wpływ na trwałość pierścieni ślizgowych - uszkodzenie lub nadmierne zużycie szczotek może powodować nierównomierne ścieranie pierścieni ślizgowych, co prowadzi do kosztowniejszych napraw i konserwacji.
- warunki środowiskowe - komorach ciepłowniczych mogą występować wysokie temperatury, wilgoć lub zanieczyszczenia, które negatywnie wpływają na trwałość szczotek oraz jakość styku elektrycznego.
- konserwacja i dostępność części - regularna wymiana szczotek wymaga dostępu do serwisu i części zamiennych. W przypadku mniej dostępnych lokalizacji, takich jak komory ciepłownicze, może to stanowić problem logistyczny.

Choć alternator samochodowy jest teoretycznie opłacalnym rozwiązaniem w układach OFF-Grid, wymiana szczotek stanowi jego istotny słaby punkt w zastosowaniach wymagających niezawodności i minimalnej konserwacji, takich jak komora ciepłownicza.

8.2. GENERATOR ELEKTRYCZNY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

Drugim analizowanym urządzeniem, pełniącym funkcję generatora elektrycznego, były maszyny elektryczne z magnesami trwałymi.

Prądnice synchroniczne z magnesami trwałymi wyróżniają się najlepszymi właściwościami elektromechanicznymi spośród wszystkich urządzeń przekształcających energię mechaniczną w elektryczną [31, 32]:

- cechują się najwyższą sprawnością,
- są zdolne do generowania energii elektrycznej w pełnym zakresie prędkości obrotowej,
- charakteryzują się największą gęstością mocy,
- nie posiadają wirujących styków mechanicznych.

Postęp w inżynierii materiałowej, w szczególności rozwój magnesów trwałych na bazie pierwiastków ziem rzadkich (NdFeB i SmCo), a także ich masowa produkcja, znacząco przyczyniły się do rozwoju maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi [32]. Prądnice tego typu doskonale sprawdzają się w pracy samodzielnej, szczególnie w układach obciążonych rezystancyjnie, takich jak urządzenia grzewcze, gdzie dopuszczalne są znaczne wahania napięcia. Z tego powodu prądnice wzbudzone magnesami trwałymi są szeroko stosowane w małych i średnich elektrowniach wodnych oraz wiatrowych, gdzie ich efektywność i niezawodność zostały potwierdzone.

Jednakże, istotnym ograniczeniem tych prądnic jest ich podatność na znaczne zmiany napięcia, co ogranicza ich zastosowanie w energetyce zawodowej. W takich przypadkach wymagana jest stabilna praca przy zmieniających się obciążeniach, zarówno czynnych, jak i biernych. Problem ten często rozwiązuje się poprzez podłączenie prądnicy do sieci za pośrednictwem falownika AC/DC/AC. Choć takie podejście pozwala na stabilizację parametrów pracy, jest ono ograniczone do prądnic o mniejszych mocach. Ponadto, konieczność energoelektronicznego przetwarzania energii wiąże się z dodatkowymi stratami oraz odchyleniami kształtu napięcia wyjściowego w porównaniu do napięcia generowanego przez klasyczne maszyny synchroniczne. Kaskadowe przekształcanie energii w tego typu układach dodatkowo obniża całkowitą sprawność systemu.

Możliwa jest stabilizacja napięcia wyjściowego prądnic synchronicznych wzbudzanych magnesami trwałymi poprzez modyfikacje konstrukcyjne maszyny.

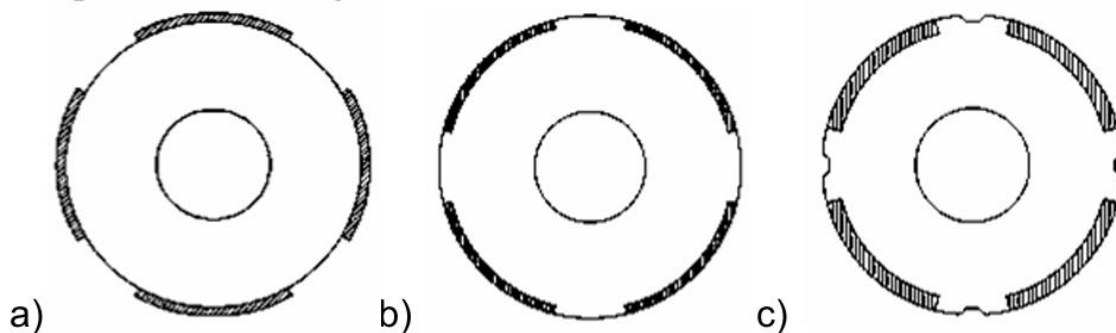
Obwody magnetyczne prądnic cylindrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi, charakteryzujące się największą zmiennością napięcia wyjściowego, można podzielić ze względu na konstrukcję na dwa główne typy:

- SPM (ang. Surface Permanent Magnet) – prądnice, w których magnesy trwałe umieszczone są na powierzchni wirnika,
- IPM (ang. Interior Permanent Magnet) – prądnice z magnesami trwałymi umieszczonymi wewnątrz jarzma wirnika.

W każdej maszynie elektrycznej wirnik może być zlokalizowany wewnętrznie lub zewnętrznie. Stojan (twornik) w tych maszynach jest konstrukcyjnie identyczny do stojanów stosowanych w maszynach indukcyjnych oraz maszynach synchronicznych z elektromagnetycznym wzbudzeniem.

Analiza konstrukcji wirników

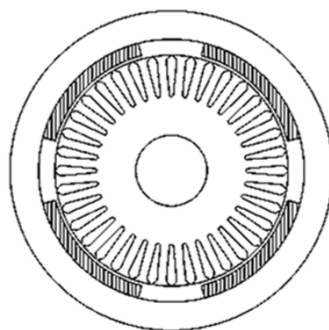
Na rysunku 8.2. zaprezentowano przykłady wewnętrznych wirników maszyn synchronicznych typu SPM. Z kolei na rysunku 8.3. przedstawiono schemat obwodu magnetycznego maszyny z zewnętrznym wirnikiem, i w których magnesy trwałe są zamontowane na jego powierzchni.



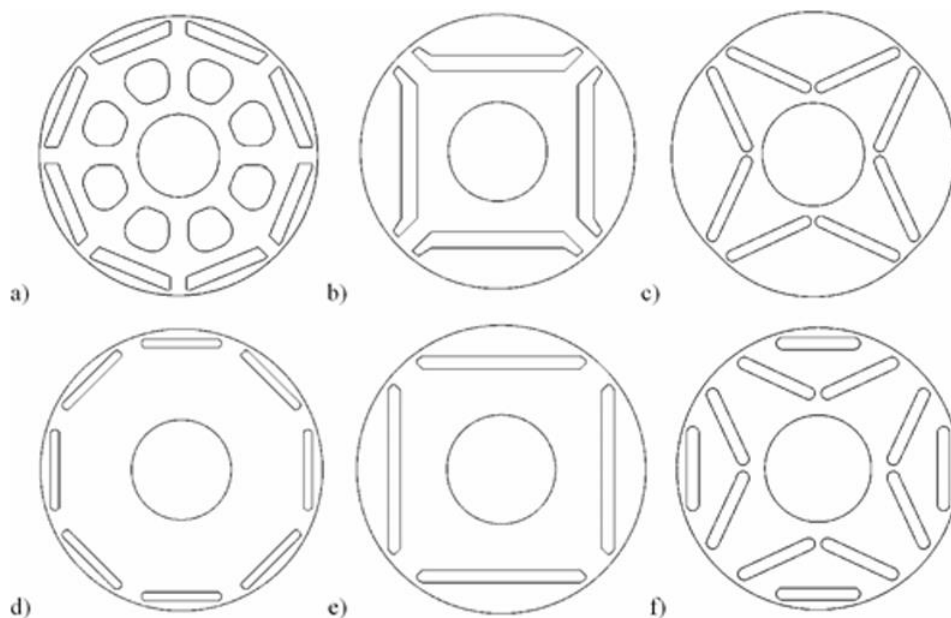
Rys.8.2. Wirniki wewnętrzne prądnicy SPM ($2p=4$) z magnesami przyklejonymi na powierzchni wirnika (a) oraz z magnesami trwałymi umieszczonymi w wyciętych „korytkach” (b, c) [31, 32]

Prądnice z magnesami trwałymi umieszczonymi na powierzchni wirnika (SPM) cechują się zbliżonymi właściwościami magnetycznymi w osiach „d” (oś wzbudzenia) i „q” (oś ortogonalna do osi „d”). Wynika to z faktu, że względna przenikalność magnetyczna magnesów trwałych jest jedynie o około 5% wyższa niż przewodność względna powietrza. Geometryczny kąt między osiami „d” i „q” określony jest wzorem $\pi/2p$, gdzie p oznacza liczbę par biegunów.

Ze względu na tę charakterystykę, prądnice SPM charakteryzują się stosunkowo dużą zmiennością napięcia wyjściowego w zależności od prądu obciążenia i współczynnika mocy $\cos \phi$, która może wynosić od 30% do 40% [32]. Taka zmienność uniemożliwia ich zastosowanie do bezpośredniego zasilania urządzeń wrażliwych na wahania napięcia. Ponadto, brak możliwości regulacji napięcia sprawia, że prądnice te nie nadają się do synchronizacji z siecią elektroenergetyczną.



Rys.8.3. Obwód magnetyczny prądnicy cylindrycznej z wirnikiem zewnętrznym i magnesami trwałymi umieszczonymi na powierzchni wirnika ($2p=4$) [31, 32]



Rys.8.4. Przykład konstrukcji wirników prądnic IPM [31, 32]

Rysunek 8.4. przedstawia różne konstrukcje wirników prądnic IPM. W maszynach tych magnesy trwałe są umieszczone wewnątrz jarzma wirnika, co pozwala na poprawę parametrów magnetycznych. Tego typu konstrukcja

umożliwia lepsze sterowanie charakterystyką napięcia wyjściowego, co zwiększa potencjał ich zastosowania w bardziej wymagających aplikacjach.

Bieg jałowy prądnicy

Bieg jałowy prądnicy to stan, w którym w uzwojeniach twornika nie płynie prąd, co oznacza brak spadków napięcia na rezystancjach i reaktancjach wewnętrznych maszyny. Napięcie biegu jałowego, mierzone na zaciskach prądnicy, odpowiada sumie sił elektromotorycznych (SEM) indukowanych w poszczególnych zewzwojach uzwojenia twornika. To napięcie składa się z harmonicznej podstawowej oraz szeregu harmonicznym nieparzystych.

Wartość skuteczną napięcia fazowego E_{f0} indukowanego w uzwojeniu wyraża równanie:

$$E_{f0} = \sqrt{\sum_{v=1}^{\infty} E_v^2} \quad (8.1)$$

przy czym wartość skuteczna napięcia E_v harmonicznej v

$$E_v = 4.44 \cdot z_t \cdot \xi_v \cdot f_v \cdot \phi_v \quad (8.2)$$

W prądnicach 3-fazowych napięcie międzyfazowe

$$E_{line} = \sqrt{3} \cdot E_{phase} \quad (8.3)$$

gdzie:

z_t – liczba zwojów szeregowych w jednej fazie,

ξ_v – współczynnik uzwojenia dla v -tej harmonicznej,

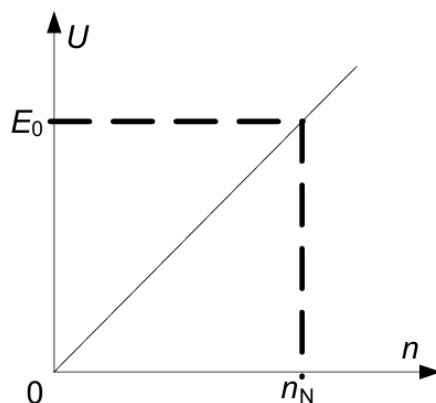
f_v – częstotliwość generowanego napięcia v -tej harmonicznej,

ϕ_v – strumień wzbudzenia v -tej harmonicznej.

Harmoniczne $v = 3n$ występują tylko w napięciu fazowym (8.2), w prądnicach 3-fazowych w napięciu międzyprzewodowym (8.3) harmoniczne $v = 3n$ są równe zero, n jest liczbą naturalną.

Dla prądnic synchronicznych o wzbudzeniu elektromagnetycznym, charakterystyka biegu jałowego, przy stałej prędkości obrotowej, jest funkcją prądu wzbudzenia i ma kształt krzywej magnesowania. W przypadku prądnic z magnesami

trwałymi, siła magnetomotoryczna (SMM) wzbudzenia ma wartość stałą, to przy stałej prędkości obrotowej, uzyskuje się jedną wartość napięcia. Prądnica może pracować ze zmienną prędkością obrotową, co pozwala lepiej wykorzystać moc turbiny wiatrowej bądź wodnej [32]. Napięcie biegu jałowego prądnicy jest wprost proporcjonalne do prędkości wirowania wirnika, jak to pokazano na rysunku 8.5.

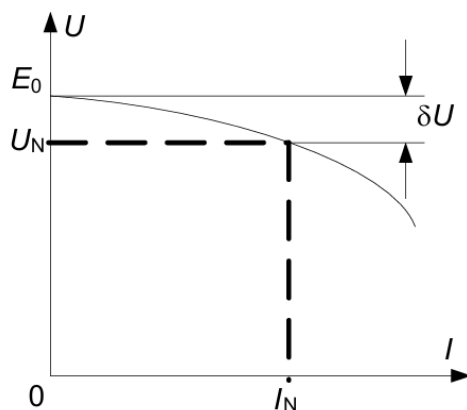


Rys. 8.5. Charakterystyka biegu jałowego prądnicy z magnesami trwałymi [31, 32]

Charakterystyki obciążeniowe prądnic

Charakterystyki obciążeniowe prądnic wzbudzanych magnesami trwałymi są silnie uzależnione od konstrukcji wirnika, w szczególności od rozmieszczenia magnesów trwałych, które wpływa na wartości reaktancji X_d i X_q . Dodatkowo, istotny wpływ mają prędkość obrotowa n oraz parametry obciążenia, takie jak prąd obciążenia I i współczynnik mocy $\cos\phi$.

Na rysunku 8.6. zilustrowano charakterystykę napięcia wyjściowego w zależności od prądu obciążenia dla prądnicy z magnesami trwałymi, w której reaktancje w osiach „d” i „q” są zbliżone ($X_d \approx X_q$).

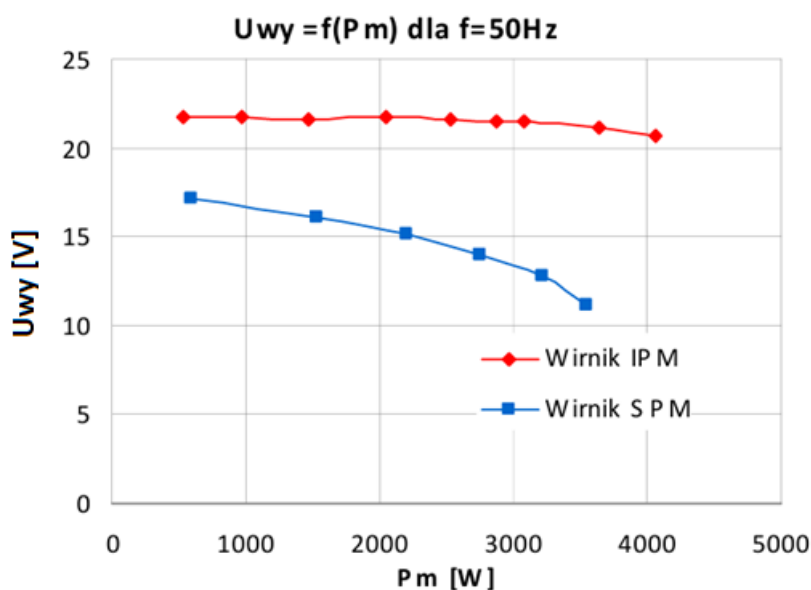


Rys. 8.6. Charakterystyka zewnętrzna prądnicy przy $n = \text{constans}$,
 $\cos\phi = \text{constans}$ [31, 32]

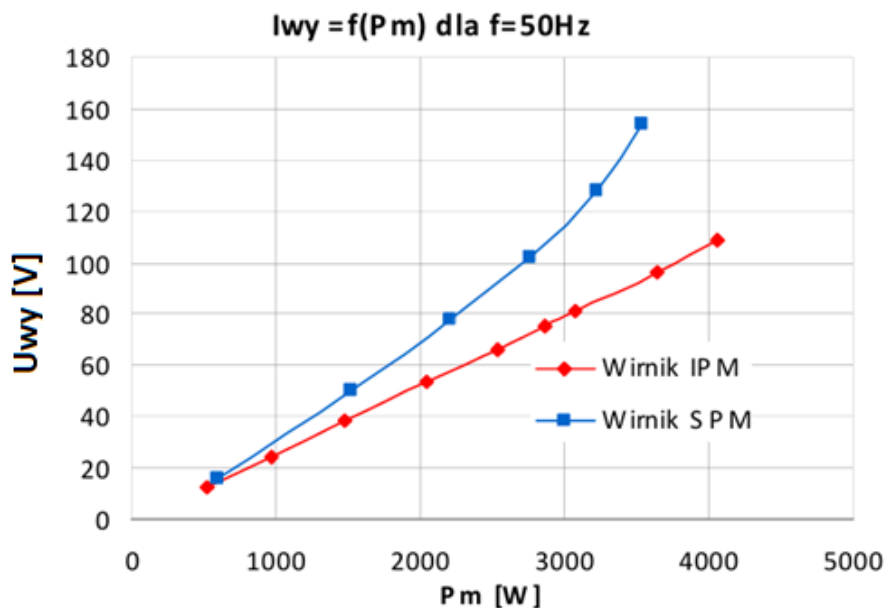
Na rysunkach 8.7. i 8.8. przedstawiono charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji mocy na wale dla dwóch typów wirników: IPM (Interior Permanent Magnet) oraz SPM (Surface Permanent Magnet).

Wirnik IPM charakteryzuje się większą stabilnością napięcia wyjściowego i niższym wzrostem prądu w funkcji mocy, co przekłada się na wyższą sprawność w systemach o zmiennym obciążeniu. Spadek napięcia wyjściowego i nieliniowy wzrost prądu wskazują na ograniczenia konstrukcji SPM, które mogą prowadzić do większych strat energetycznych oraz wyższego nagrzewania przy wysokim obciążeniu.

Wirnik IPM jest bardziej odpowiedni do zastosowań wymagających wysokiej efektywności energetycznej i stabilnych parametrów wyjściowych, takich jak systemy OFF-Grid czy komory ciepłownicze. Wirnik SPM może być wykorzystany w aplikacjach o niższych wymaganiach energetycznych lub w sytuacjach, gdzie istotna jest prostota konstrukcji.



Rys. 8.7. Charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji mocy na wale dla prędkości $n=1500$ rpm [33]



Rys. 8.8. Charakterystyki prądu wyjściowego w funkcji mocy na wale
dla $n=1500$ rpm [33]

Prądnice z wirnikiem wyposażonym w magnesy trwałe mocowane na powierzchni cylindrycznego jarzma wirnika (SPM – ang. Surface Permanent Magnet) charakteryzują się zmiennością napięcia w zakresie 8–20%. Z kolei prądnice z magnesami umieszczonymi wewnątrz wirnika (IPM – ang. Interior Permanent Magnet) osiągają znacznie mniejszą zmienność napięcia, wynoszącą zaledwie kilka procent.

W Polsce prądnice z magnesami trwałymi zazwyczaj bazują na konstrukcjach stojanów wykorzystywanych w silnikach asynchronicznych. Jest to rozwiązanie podyktowane głównie względami ekonomicznymi i łatwą dostępnością komponentów potrzebnych do budowy prądnic. Wirniki tych prądnic są projektowane indywidualnie: dla maszyn typu SPM wykonuje się je w postaci litej, natomiast dla maszyn typu IPM produkuje się je z pakietów blach elektromagnetycznych.

8.3. BADANIE GENERATORÓW ELEKTRYCZNYCH

Badanie generatora elektrycznego obejmuje pomiary, które mają na celu ocenę jego wydajności, charakterystyk pracy oraz parametrów istotnych dla zastosowań w systemach zasilania, na przykład takich jak OFF-Grid.

Parametry badane w generatorach:

- Moc wyjściowa (P) - moc generowana przez urządzenie w różnych warunkach pracy. Badana w funkcji: Prędkości obrotowej (n) – charakterystyka $P(n)$, Napięcia wyjściowego (U_{DC}) – charakterystyka.
- Prędkość obrotowa (n) - określa, jak zmienia się moc przy różnych prędkościach wału napędowego.
- Napięcie wyjściowe (U_{DC}) - mierzone napięcie prądu stałego, jakie generator dostarcza do układu elektrycznego.
- Sprawność - stosunek mocy wyjściowej do mocy mechanicznej dostarczonej na wał generatora.
- Charakterystyki obciążeniowe - zachowanie generatora pod różnymi obciążeniami elektrycznymi, np. rezystancyjnymi lub pojemnościowymi.

Stanowisko badawcze zostało zaprojektowane w celu analizy pracy generatorów elektrycznych w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Jego głównym zadaniem jest umożliwienie szczegółowych pomiarów parametrów pracy generatora oraz ocena wpływu czynników zewnętrznych, takich jak parametry sieci ciepłowniczej napędzającej turbinę, która z kolei stanowi źródło napędu dla generatora. Badane generatory były podłączane do źródła energii mechanicznej turbiny wodnej typu PaT. Elementami wyposażenia stanowiska badawczego były mierniki mocy (mierniki prądu, napięcia), tachometr do pomiaru prędkości obrotowej, przetworniki ciśnień, manometry, licznik energii cieplnej.

Procedura badawcza polegała na stopniowym zwiększaniu prędkości obrotowej turbiny i rejestrowaniu mocy P w funkcji n dla różnych wartości parametrów sieci, takich jak różnica ciśnień przed i za turbiną. Analogicznie, dla charakterystyk $P(U_{DC})$, mierzono moc w zależności od napięcia wyjściowego przy różnych warunkach pracy sieci. Pomiary dokonywano w stabilnych warunkach, aby odzwierciedlić wpływ parametrów roboczych na wydajność generatora. Wyniki posłużyły do analizy wpływu prędkości obrotowej oraz napięcia na moc wyjściową urządzenia.

Wizualizacja wyników w postaci wykresów wspiera proces analizy. Dzięki graficznemu przedstawieniu zależności, takie jak moc w funkcji prędkości obrotowej czy napięcia wyjściowego, możliwe jest łatwe zauważenie zależności pomiędzy zmiennymi oraz identyfikację charakterystycznych punktów pracy, takich jak wartości maksymalne, minimalne czy obszary stabilnej pracy. Wyniki pomiarów są przedstawiane w formie wykresów, takich jak:

- Moc w funkcji prędkości obrotowej ($P(n)$).
- Moc w funkcji napięcia wyjściowego ($P(U_{DC})$).

Wyniki pomiarów na wykresach mają na celu pokazanie, jak moc wyjściowa generatora (P) zmienia się w zależności od prędkości obrotowej turbiny ($P(n)$) oraz napięcia wyjściowego ($P(U_{DC})$) przy różnych wartościach parametrów sieci (np. różnicy ciśnień przed i za turbiną). Dzięki tym wykresom można zinterpretować wpływ parametrów sieci: zależność między zmianami parametrów sieci (np. różnicą ciśnień) a maksymalną osiągalną mocą generatora.

- Optymalne warunki pracy: Prędkości obrotowe i napięcia, przy których moc jest maksymalna, co jest kluczowe dla wydajnej pracy urządzenia.
- Zakres działania generatora: Charakterystyki określają, w jakim zakresie prędkości i napięć generator pracuje efektywnie w zależności od warunków sieciowych.

Interpretacja wyników pozwala na optymalizację pracy turbiny i generatora w różnych warunkach działania. Stabilność napięcia: Stabilne napięcie wyjściowe oznacza lepszą kompatybilność z odbiornikami, co jest kluczowe w systemach OFF-Grid.

Badanie generatora to kluczowy proces umożliwiający ocenę jego wydajności i optymalizację pracy w systemach takich jak zasilanie OFF-Grid. Wyniki testów, takie jak wykresy $P(n)$ i $P(U_{DC})$, pozwalają dobrać odpowiednie komponenty i warunki pracy, zwiększając efektywność systemu i minimalizując straty.

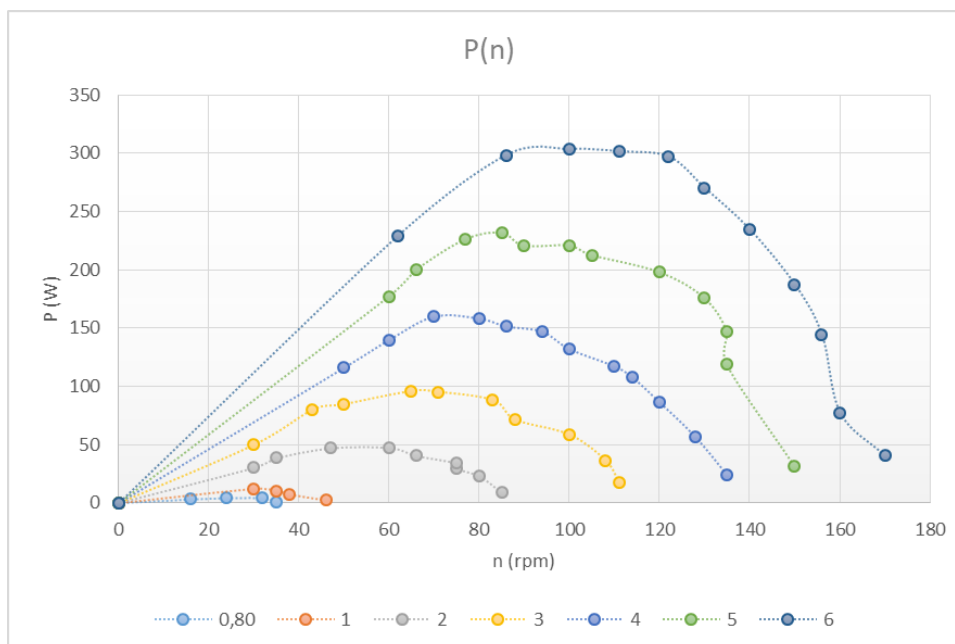
Badane były dwa generatory o tej samej mocy, napięciu i liczby par biegunów, ale o różnej prędkości obrotowej i częstotliwości. Poniżej znajdują się charakterystyki mocy zespołu turbina - generator w funkcji napięcia wyjściowego dla różnych dyspozycji sieci ciepłowniczej generatora GV 90L-10 (rys. 8.9.) i generatora GV 80 1-10 (rys. 8.11.), oraz charakterystyki mocy zespołu turbina - generator w funkcji napięcia wyjściowego dla różnych dyspozycji sieci generatora GV 90L-10 (rys. 8.10.) i generatora GV 80 1-10 (rys. 8.12.).

Każda krzywa (oznaczona np. jako 1, 2, 3, ...) na wykresach reprezentuje inne warunki pracy generatora, przykładowo krzywa opisana cyfrą jeden oznacza, że różnica dyspozycji sieci ciepłowniczej na której zamontowana jest turbina (napędzająca generator) wynosi 1 bar. Dyspozycja sieci to różnica ciśnień przed i za turbiną – odpowiada za energię dostarczaną do turbiny i wpływa na jej prędkość obrotową oraz wydajność.

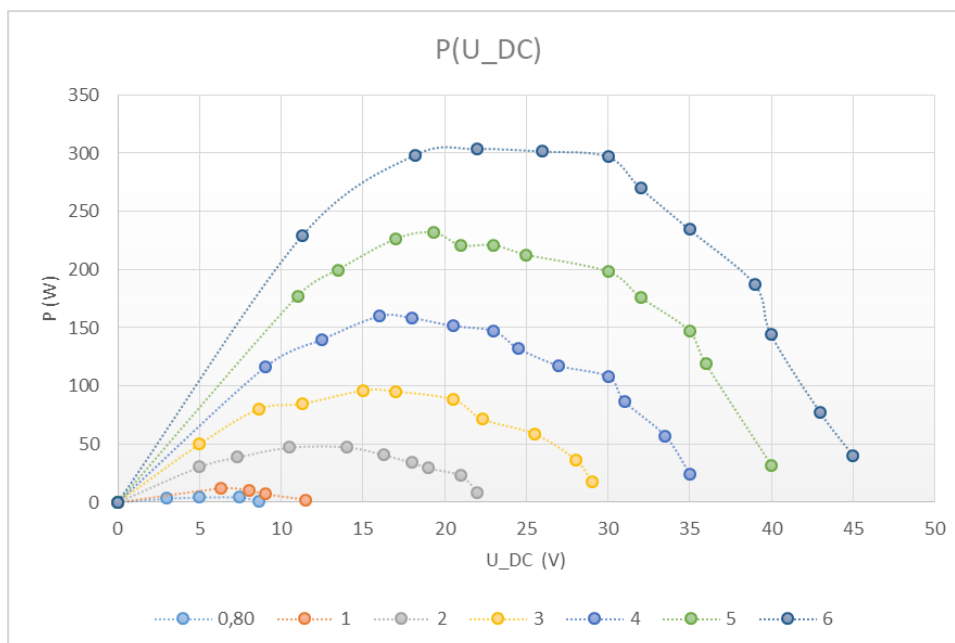
- Generator 1: GV 9OL-10:

$P=0,5\text{kW}$, $U=24\text{V}$, $I=12\text{A}$, $f=116\text{Hz}$, $n=1400\text{rpm}$, $n_{\text{max}}=1750\text{rpm}$,
 liczba par biegunów = 5,

- turbiny ETB 040-025-200 GGS AV11200074.

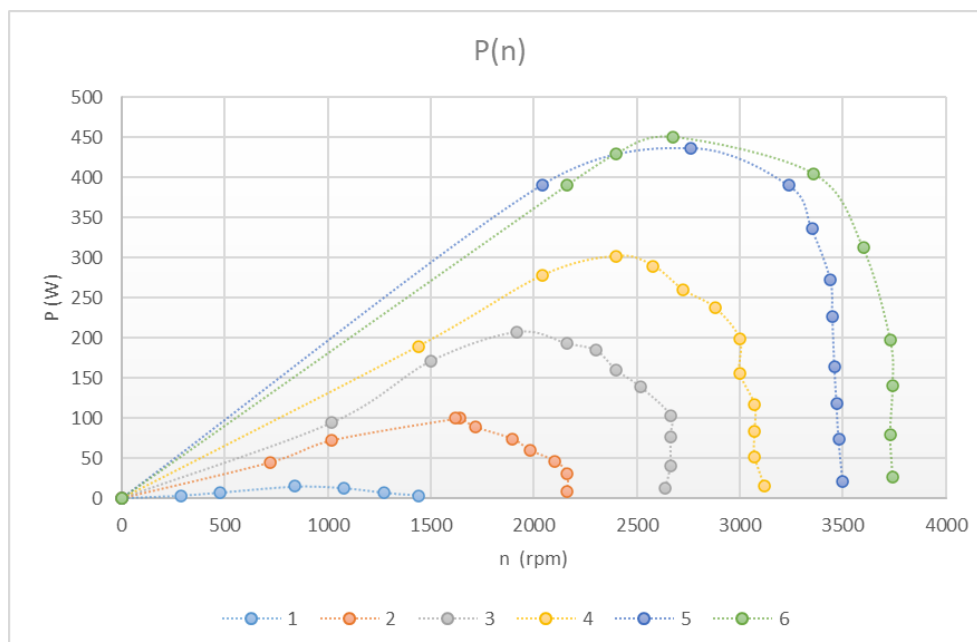


Rys. 8.9. Charakterystyki mocy zespołu turbina - generator GV 9OL-10 w funkcji prędkości obrotowej dla różnych różnic ciśnień przed i za turbiną

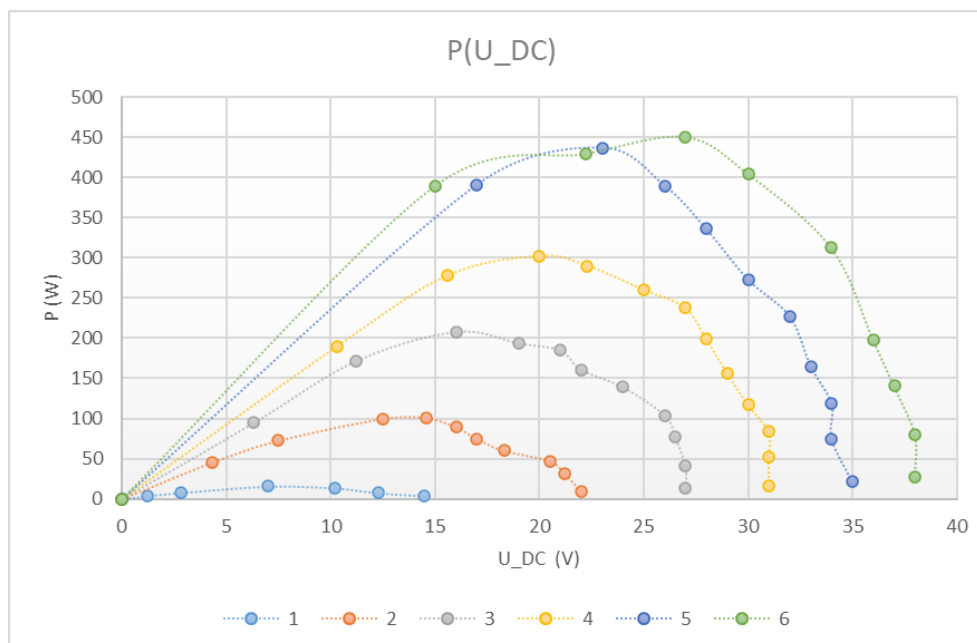


Rys. 8.10. Charakterystyki mocy zespołu turbina - generator GV 90L-10 w funkcji napięcia wyjściowego dla różnych różnicy ciśnień przed i za turbiną

- Generator 2: GV 80 1-10:
 $P=0,5\text{kW}$, $U=24\text{V}$, $I=12\text{A}$, $f=233\text{Hz}$, $n=2800\text{rpm}$, $n_{\max}=3500\text{rpm}$,
liczba par biegunów = 5,
 - turbiny Movetic V F006/05 B1D13C008D5KW.



Rys. 8.11. Charakterystyki mocy zespołu turbina - generator GV 80 1-10 w funkcji prędkości obrotowej dla różnych różnicy ciśnień przed i za turbiną



Rys. 8.12. Charakterystyki mocy zespołu turbina - generator GV 80 1-10 w funkcji napięcia wyjściowego dla różnych różnic ciśnień przed i za turbiną

Na wykresach można zaobserwować jak moc rośnie wraz z prędkością obrotową, osiągając wartość maksymalną, po czym spada. Optymalny zakres prędkości obrotowej różni się w zależności od konfiguracji i modelu generatora (np. 80-120 rpm dla generatora GV 9OL-10, 1500-2500 rpm dla generatora GV 80 1-10). Optymalne napięcia: około 10–30 V DC.

Aby zapewnić wysoką wydajność w systemie OFF-Grid, należy utrzymywać zespół turbina - generator w zakresie prędkości i napięcia, w którym osiąga on maksymalną moc.

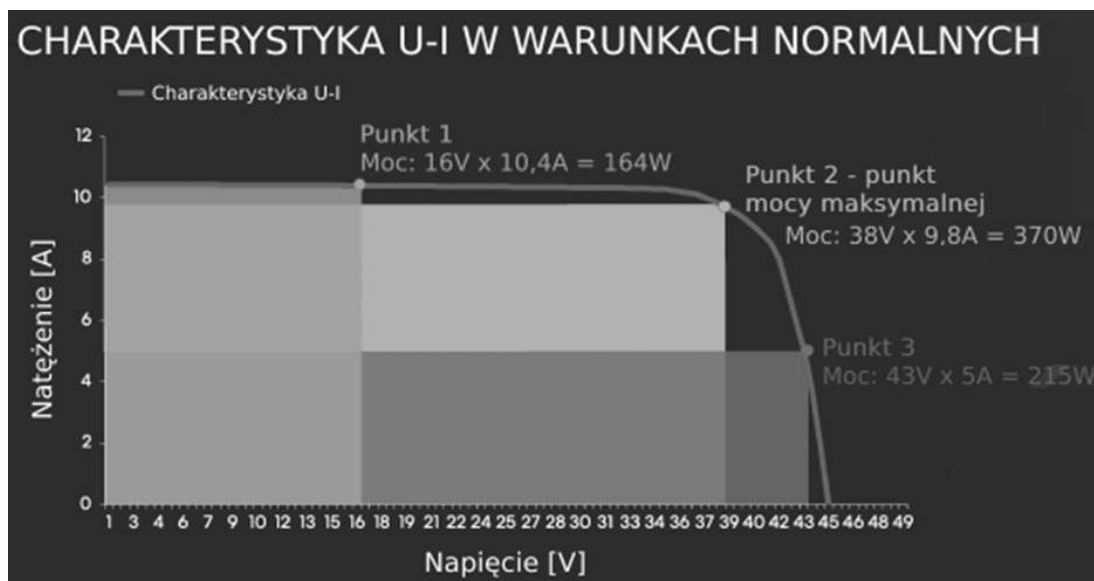
9. REGULATORY MPPT

Regulatory typu MPPT (ang. Maximum Power Point Tracking), to zaawansowane urządzenia elektroniczne stosowane w systemach opartych na odnawialnych źródłach energii, takich jak instalacje fotowoltaiczne. Ich głównym zadaniem jest maksymalizacja wydajności energetycznej przez śledzenie punktu mocy maksymalnej (MPP, ang. Maximum Power Point) modułu fotowoltaicznego i dynamiczne dostosowywanie parametrów obciążenia, co czyni je idealnym rozwiązaniem w instalacjach OFF-Grid.

Technologia MPPT opiera się na zasadzie ciągłego monitorowania parametrów prądu i napięcia generowanego przez moduł fotowoltaiczny. Punkt mocy maksymalnej (MPP) to optymalne miejsce na charakterystyce prądowo-napięciowej modułu, w którym moc generowana przez panel osiąga wartość maksymalną. Regulator MPPT działa poprzez dynamiczne dostosowanie napięcia obciążenia w celu utrzymania pracy instalacji w tym punkcie [34].

Podstawowym parametrem, którym steruje MPPT, jest napięcie. Ponieważ moc jest iloczynem napięcia i natężenia prądu, MPPT poszukuje punktu, w którym moc osiąga wartość maksymalną. W miarę wzrostu napięcia początkowo moc rośnie, jednak po przekroczeniu pewnej wartości zaczyna spadać, zgodnie z charakterystyką prądowo-napięciową modułu fotowoltaicznego.

Na wykresie (rys. 9.1.) charakterystyki można zobaczyć trzy przykładowe punkty wraz z odpowiadającymi im prostokątami, z których ten o największej powierzchni odpowiada MPP. Dzięki MPPT urządzenie jest w stanie stale dostosowywać napięcie, aby instalacja pracowała w tym optymalnym punkcie, zapewniając maksymalną wydajność.



Rys. 9.1. Charakterystyka napięciowo-prądowa modułu fotowoltaicznego [34]

Charakterystyka napięciowo-prądowa modułu fotowoltaicznego

Charakterystyka napięciowo-prądowa modułu fotowoltaicznego (rys. 9.1.) jest graficznym przedstawieniem zależności między napięciem a prądem generowanym przez panel [34]. Na tej charakterystyce wyróżnia się trzy kluczowe punkty:

- punkt o niskim napięciu (Punkt 1) - w tym miejscu napięcie jest zbyt niskie, aby wygenerować znaczącą moc. Prostokąt mocy w tym punkcie ma małą powierzchnię, co oznacza niską efektywność energetyczną.
- punkt mocy maksymalnej (Punkt 2) - to optymalne miejsce na wykresie, w którym panel generuje maksymalną moc. Prostokąt mocy w tym punkcie ma największą powierzchnię, co oznacza najwyższą wydajność energetyczną. Wartość napięcia i prądu w tym punkcie jest idealnie dopasowana do uzyskania maksymalnej mocy.
- punkt o wysokim napięciu (Punkt 3) - w tym punkcie napięcie jest zbyt wysokie, co skutkuje niską mocą wyjściową. Prostokąt mocy w tym punkcie ma ponownie małą powierzchnię.

Działanie układu MPPT

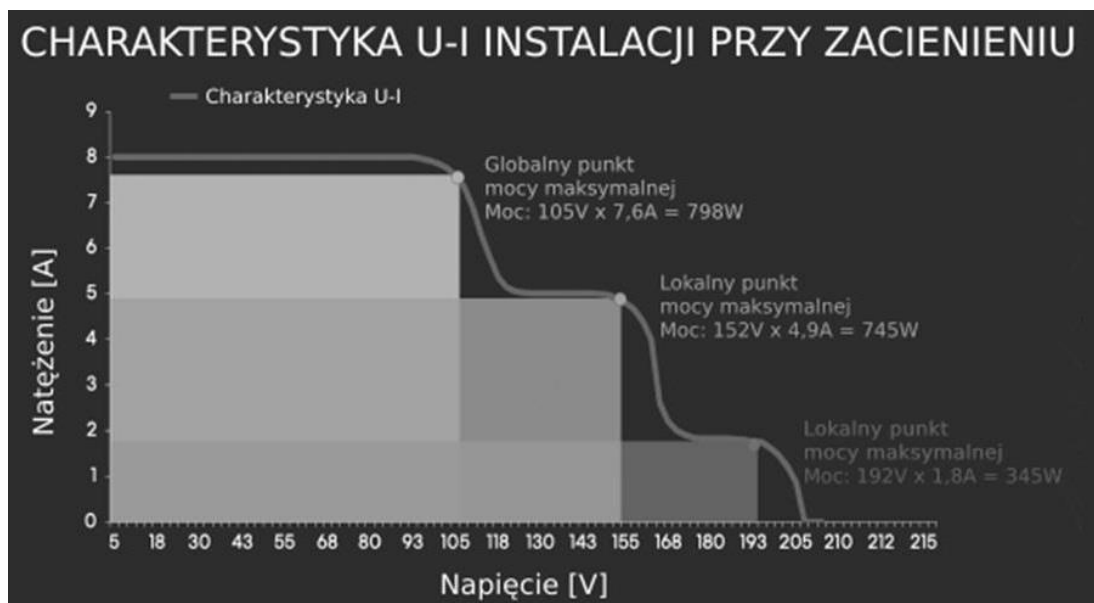
Działanie układu MPPT opiera się na monitorowaniu napięcia i prądu oraz dostosowywaniu parametrów obciążenia w czasie rzeczywistym. MPPT działa w oparciu o różne metody:

- metoda perturbacji i obserwacji - MPPT wprowadza niewielkie zmiany w napięciu obciążenia i mierzy uzyskaną moc. Jeżeli zmiana napięcia prowadzi do wzrostu mocy, układ kontynuuje wprowadzanie zmian w tym samym kierunku. W punkcie mocy maksymalnej napięcie i moc oscylują wokół wartości optymalnych.
- metoda przewodności przyrostowej - MPPT analizuje przyrosty napięcia i prądu, przewidując wpływ zmian napięcia na moc. Ta metoda eliminuje oscylacje i pozwala precyzyjnie określić MPP.
- metoda temperaturowa - wykorzystuje zależność między temperaturą ogniwa a napięciem. Zakłada, że temperatura jest głównym czynnikiem wpływającym na MPP. Działa dobrze w idealnych warunkach (bez zacienienia), ale jest mało efektywna w złożonych środowiskach.

Wpływ warunków zewnętrznych na charakterystykę

Charakterystyka napięciowo-prądowa nie jest stała. Jej kształt zależy od zmieniających się warunków, takich jak:

- natężenie promieniowania słonecznego - wpływa na ilość energii generowanej przez moduł. Wyższe promieniowanie przesuwają krzywą w kierunku wyższych wartości prądu,
- temperatura ogniw - wyższa temperatura obniża napięcie modułów, co zmienia położenie punktu mocy maksymalnej,
- zacienienie instalacji (rys. 9.2.) - może powodować tworzenie się lokalnych punktów maksymalnej mocy, co komplikuje proces ich identyfikacji,
- awarie modułów - uszkodzone ogniwa mogą zaburzyć charakterystykę i zmniejszyć sprawność całego systemu.



Rys. 9.2. Charakterystyka napięciowo prądowa częściowo zacienionej instalacji [34]

Charakterystykę napięciowo-prądową instalacji fotowoltaicznej w warunkach zacienienia przedstawiono na rysunku 9.2. Zacienienie powoduje, że w systemie pojawiają się:

- lokalne punkty mocy maksymalnej (LMPP) – odpowiadające ograniczonej mocy generowanej przez niektóre grupy modułów w warunkach nierównomiernego nasłonecznienia.
- globalny punkt mocy maksymalnej (GMPP) – reprezentujący najwyższą możliwą moc, którą system może wygenerować w danych warunkach.

Pojawienie się kilku punktów mocy wynika z różnic w napięciach i prądach generowanych przez różne sekcje instalacji, które pracują w odmiennych warunkach oświetleniowych. Dioda bocznikująca (bypass diode) w modułach umożliwia wyłączenie zacienionych części instalacji z aktywnej pracy, co jednak zmienia kształt charakterystyki.

Jeżeli układ MPPT zatrzyma się w punkcie LMPP, zamiast odnaleźć GMPP, instalacja będzie pracować poniżej swojej maksymalnej wydajności. Utrzymywanie pracy w lokalnym punkcie (LMPP) prowadzi do strat mocy i zmniejszenia efektywności systemu.

Przykładowo przy częściowym zacienieniu GMPP może znajdować się w innym zakresie napięcia, a układ MPPT bez zaawansowanego algorytmu może błędnie interpretować LMPP jako optymalny punkt pracy.

Producenci regulatorów ładowania (w tym falowników) wprowadzili do swoich urządzeń zaawansowane algorytmy MPPT, które umożliwiają skuteczne wyszukiwanie GMPP nawet w przypadku obecności kilku lokalnych punktów mocy. Potrafią również rozróżnić LMPP od GMPP, zmieniając warunki pracy tak, aby znaleźć globalny punkt mocy maksymalnej. Dynamicznie dostosowują parametry w czasie rzeczywistym, co pozwala na szybkie reagowanie na zmiany warunków zacienienia.

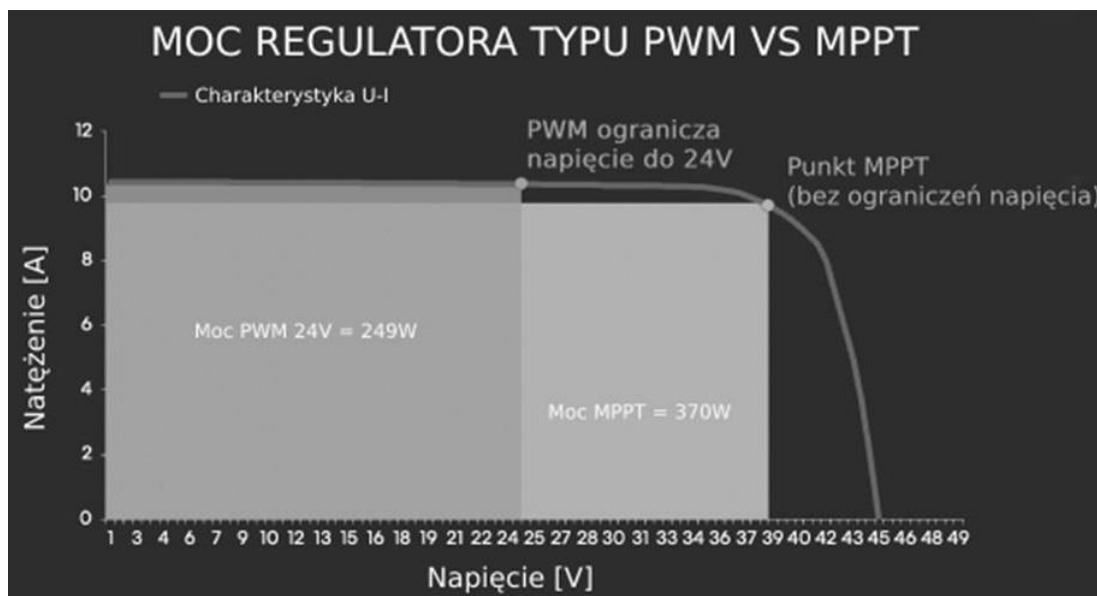
Szczegóły techniczne tych algorytmów są często chronione jako tajemnica przemysłowa, wiadomo jednak, że ich działanie opiera się na metodzie skanowania pełnego zakresu napięć w celu identyfikacji GMPP na charakterystyce P - V . Wykorzystują analizę zmian w nasłonecznieniu oraz aktualnych parametrów elektrycznych.

Regulatory ładowania PWM i MPPT

Regulatory ładowania są kluczowym elementem instalacji fotowoltaicznych typu OFF-Grid, odpowiedzialnym za zarządzanie przepływem energii między panelami słonecznymi a akumulatorami. Wybór między regulatorami PWM (ang. Pulse Width Modulation) i MPPT zależy od potrzeb użytkownika oraz specyfiki instalacji.

Regulatory PWM nie posiadają technologii śledzenia punktu maksymalnej mocy (MPPT), w tym przypadku energia z paneli jest przekazywana do akumulatorów bez optymalizacji mocy. Są prostsze w konstrukcji i tańsze o 50–100% w porównaniu z regulatorami MPPT. Posiadają mniejszą wydajność, gdyż nie wykorzystują pełnego potencjału modułów fotowoltaicznych, co prowadzi do strat mocy, szczególnie w trudnych warunkach (zacienienie, niska temperatura).

Regulatory MPPT wyposażone są w zaawansowaną technologię śledzenia punktu maksymalnej mocy, umożliwiając dopasowanie napięcia modułów do optymalnego napięcia ładowania akumulatorów, co maksymalizuje wydajność systemu. Posiadają lepszą wydajność w trudnych warunkach, jak niskie temperatury, zmiennym nasłonecznieniu i częściowym zacienieniu.



Rys. 9.3. Wykres ukazujący moc obciążenia instalacji fotowoltaicznej regulatorem PWM oraz regulatorem ładowania MPPT [34]

Na rysunku 9.3. przedstawiono wykres obrazujący moc obciążenia instalacji PV regulatorem PWM oraz regulatorem ładowania MPPT.

Dla regulatora PWM krzywa obciążenia jest przesunięta w stronę napięcia akumulatora [34]. Instalacja pracuje w obszarze charakterystyki, który jest poniżej punktu MPP, a generowana moc jest niższa od mocy uzyskanej przez regulator MPPT, co przekłada się na mniej efektywne wykorzystanie energii.

Dla regulatora MPPT krzywa obciążenia wskazuje punkt MPP, co odpowiada najwyższej możliwej mocy dla danych warunków. Instalacja pracuje na szczycie swojej charakterystyki, niezależnie od napięcia akumulatora. Uzyskiwana moc jest wyraźnie wyższa niż przy regulatorze PWM, szczególnie w warunkach zmiennego nasłonecznienia i temperatury.

Regulator PWM jest prostym rozwiązaniem, które powoduje straty wynikające z niedopasowania parametrów modułu PV do napięcia akumulatora. Z kolei regulator MPPT wykorzystuje zaawansowane algorytmy, które pozwalają na maksymalizację energii dostarczanej do akumulatorów lub odbiorników. Wykres V-A pokazuje, że regulator MPPT pozwala modułowi pracować w optymalnym punkcie charakterystyki, co jest szczególnie istotne w systemach, gdzie maksymalna efektywność ma kluczowe znaczenie.

9.1. MPPT W UKŁADZIE ZASILANIA OFF-GRID Z GENERATOREM ELEKTRYCZNYM

Wybór układu MPPT w systemach zasilania OFF-Grid, w których zamiast klasycznej instalacji fotowoltaicznej zastosowano generator elektryczny sprzęgnięty z turbiną PaT, wynika z potrzeby maksymalizacji efektywności energetycznej i adaptacji systemu do zmiennych warunków pracy. Takie innowacyjne podejście znajduje zastosowanie w systemie o specyficznych wymaganiach technicznych.

Powodami wyboru MPPT w systemie z generatorem elektrycznym jest maksymalizacja efektywności pracy systemu. Generatory elektryczne nie zawsze pracują w stałych warunkach. Obciążenie generatora, wahania napięcia oraz różnice w obrotach mogą prowadzić do zmian w dostępnej mocy wyjściowej. Regulator MPPT pozwala na dostosowanie się do tych zmian, optymalizując sposób przekazywania energii do akumulatorów lub odbiorników.

MPPT monitoruje w czasie rzeczywistym parametry wyjściowe generatora, takie jak napięcie i prąd, i dynamicznie dostosowuje punkt pracy układu, aby zawsze uzyskiwać maksymalną moc dostarczaną do obciążenia.

W układach, gdzie generator współpracuje z magazynem energii (akumulatory), zastosowanie MPPT umożliwia skuteczniejsze ładowanie akumulatorów, dostosowując napięcie wejściowe z generatora do napięcia wymaganego przez akumulatory. Dzięki temu system minimalizuje straty energii i poprawia efektywność magazynowania.

W przypadku generatora elektrycznego napięcie wyjściowe może nie być idealnie dopasowane do wymagań ładowania akumulatorów lub zasilania odbiorników. MPPT pełni funkcję konwertera napięcia, zapewniając jego optymalne dopasowanie i redukując straty transformacyjne.

Współdziałanie MPPT z generatorem elektrycznym polega na analizie parametrów wyjściowych generatora. MPPT monitoruje napięcie i prąd generowane przez generator w czasie rzeczywistym. Na tej podstawie określa aktualny punkt pracy układu, aby wyznaczyć optymalny punkt maksymalnej mocy.

W przypadku, gdy napięcie wyjściowe generatora jest wyższe lub niższe od napięcia wymaganego przez odbiorniki lub akumulatory, MPPT przeprowadza konwersję napięcia. Dzięki temu energia jest dostarczana z maksymalną sprawnością. Generator elektryczny, zwłaszcza przy zmiennym obciążeniu, może generować wahania napięcia. MPPT adaptuje się do tych zmian, utrzymując stabilne parametry ładowania akumulatorów lub zasilania odbiorników.

MPPT optymalizuje proces ładowania akumulatorów, regulując prąd i napięcie ładowania w zależności od ich stanu naładowania. Pozwala to na efektywne wykorzystanie dostępnej energii z generatora i wydłużenie żywotności akumulatorów.

Do korzyści z zastosowania MPPT w systemie zasilania OFF-Grid z generatorem elektrycznym zalicza się wyższa sprawność energetyczna, gdyż wykorzystujemy maksymalnie generowaną moc przez generator w różnych warunkach pracy. Redukcja strat energii jest możliwa dzięki optymalnemu dopasowaniu napięcia i prądu do odbiorników lub akumulatorów. Dużym plusem zastosowania MPPT jest zwiększenie żywotności akumulatorów, poprzez precyzyjne sterowanie procesem ładowania.

Komory ciepłownicze wymagają niezawodnego systemu dostarczającego energii elektrycznej do zasilania siłowników zaworów, oświetlenia, wentylatorów, a przede wszystkim systemów monitorowania i sterowania. MPPT zapewnia im stabilne zasilanie, nawet w przypadku zmiennych parametrów pracy generatora. Zastosowanie regulatora typu MPPT w komorze ciepłowniczej stanowi innowacyjne podejście do optymalizacji wykorzystania energii.

9.2. DOBÓR UKŁADU MPPT DO OBIEKTU ZASILANIA

W ramach realizacji wdrożonego systemu zasilania OFF-Grid zdecydowano się na zastosowanie urządzeń firmy Victron Energy, co wynikało z ich wysokiej efektywności, niezawodności oraz wszechstronności w pracy w warunkach wymagających. Urządzenia te, w szczególności regulatory ładowania MPPT, pozwoliły na optymalne zarządzanie energią generowaną w systemie, zwiększając jego wydajność i stabilność działania.

Decyzja o wyborze technologii Victron Energy została podjęta na podstawie analizy następujących czynników:

- zaawansowane algorytmy MPPT - regulatory Victron wykorzystują nowoczesne technologie śledzenia punktu maksymalnej mocy, co pozwala na efektywne zarządzanie energią zarówno w warunkach stabilnych, jak i zmiennych (np. fluktuacje napięcia lub zmiany obciążenia),
- odporność na trudne warunki - urządzenia firmy Victron charakteryzują się wysoką odpornością na warunki środowiskowe, co jest kluczowe w systemach OFF-Grid pracujących w środowisku o zmiennej temperaturze i wilgotności,
- kompatybilność z hybrydowymi źródłami energii: Produkty Victron doskonale współpracują z generatorami elektrycznymi, które stanowią alternatywne źródło zasilania w omawianym systemie, zapewniając elastyczność i ciągłość pracy.

Dobór układu MPPT firmy Victron Energy do obiektu zasilania

Victron Energy oferuje szeroką gamę regulatorów MPPT, które można dostosować do różnorodnych aplikacji – zarówno w instalacjach OFF-Grid, jak i hybrydowych. Aby dobrać odpowiedni model, należy wziąć pod uwagę specyfikę obiektu zasilania oraz parametry techniczne układu.

Parametry układu zasilania:

- moc źródła zasilania (generatora lub PV) - określa maksymalną moc generowaną przez źródło zasilania, która zostanie obsłużona przez MPPT,
- napięcie instalacji - nominalne napięcie akumulatorów lub odbiorników w systemie (12 V, 24 V, 48 V). Regulator MPPT musi być kompatybilny z napięciem instalacji,
- napięcie i prąd wyjściowy źródła zasilania - określa maksymalne napięcie wejściowe ($V_{\max}$) oraz prąd dostarczany do MPPT,
- zapotrzebowanie energetyczne obiektu - dzienne zużycie energii w Wh lub kWh pozwala dobrać odpowiednią moc źródła zasilania i pojemność akumulatorów,

- warunki pracy - zmienność źródła zasilania (np. generator elektryczny, częściowe zacienienie w przypadku PV).

Proces doboru regulatora MPPT

- Krok 1: Określenie parametrów źródła zasilania

Generator elektryczny: sprawdzenie maksymalnego napięcia wyjściowego (U_{oc}) i mocy wyjściowej.

- Krok 2: Dopasowanie do napięcia systemowego

Regulator MPPT musi być zgodny z napięciem nominalnym systemu (np. 12 V, 24 V, 48 V).

- Krok 3: Sprawdzenie kompatybilności prądowej

Upewnienie się, że maksymalny prąd generowany przez źródło (lub zestaw PV) nie przekracza maksymalnego prądu wejściowego MPPT.

- Krok 4: Uwzględnienie warunków pracy

Jeśli system działa w trudnych warunkach (np. wahania napięcia generatora), należy wybierać model z wyższym zakresem napięcia wejściowego (U_{oc}).

Przykład doboru MPPT do komory ciepłowniczej z generatorem elektrycznym

Założenia:

- Generator: 500 W, 24 V DC (nominalnie), $U_{oc} = 70$ V.
- Akumulatory: 24 V.
- Zapotrzebowanie obiektu:
wg. danych z systemu SCADA: 27 W
- Środowisko pracy: zamknięta przestrzeń, wysoka temperatura, wilgotność powietrza.

Dobór:

- Odpowiedni regulator: Victron SmartSolar MPPT 100/50.
 - Max. napięcie wejściowe: 100V (bezpieczne dla $U_{oc}=70$ V generatora).
 - Max. prąd wyjściowy: 50A (wystarczające dla mocy generatora i obciążenia).
- Kompatybilny z napięciem instalacji 24 V.

9.3. BATTERY PROTECT

Użycie urządzenia Battery Protect w połączeniu z kontrolerem ładowania MPPT w systemach OFF-Grid jest podyktowane kilkoma kluczowymi względami technicznymi i funkcjonalnymi. Główne powody takiego rozwiązania to ochrona akumulatorów, optymalizacja pracy systemu oraz zwiększenie niezawodności całej instalacji.

Kontroler MPPT jest odpowiedzialny za optymalne ładowanie akumulatorów, dostosowując prąd i napięcie z paneli fotowoltaicznych do warunków pracy. Jednak sam w sobie nie chroni akumulatorów przed nadmiernym rozładowaniem przez odbiorniki energii.

Battery Protect odłącza odbiorniki od akumulatorów, gdy napięcie spadnie poniżej ustawionego progu, zapobiegając głębokiemu rozładowaniu, które mogłoby uszkodzić akumulatory (szczególnie AGM, żelowe lub litowe).

Jeśli napięcie akumulatora w instalacji spadnie poniżej ustawionego progu odłączenia w Battery Protect, urządzenie automatycznie odłączy odbiorniki. MPPT koncentruje się na efektywnej konwersji energii z paneli PV, ale nie kontroluje przepływu energii między akumulatorami a odbiornikami. Battery Protect uzupełnia tę funkcję.

Battery Protect posiada dedykowane wyjście sygnałowe (ang. alarm output), które może być skonfigurowane do informowania o stanach krytycznych, takich jak niskie napięcie akumulatorów, które osiąga wartość bliską progu odłączenia. Wyjście to można podłączyć do sterownika PLC, systemu SCADA.

Battery Protect jest stosowany w połączeniu z MPPT, ponieważ rozszerza funkcjonalność systemu o ochronę akumulatorów, zarządzanie odbiornikami i zabezpieczenie przed przeciążeniami. MPPT koncentruje się na efektywnym ładowaniu akumulatorów, ale to Battery Protect zapewnia ich trwałość i ochronę, co w systemach OFF-Grid jest kluczowe dla długoterminowej niezawodności i wydajności całej instalacji.

10. AKUMULATORY

Akumulatory odgrywają fundamentalną rolę w przechowywaniu energii elektrycznej, umożliwiając zasilanie różnorodnych urządzeń, pojazdów oraz systemów autonomicznych. Ich rozwój technologiczny na przestrzeni lat zaowocował powstaniem wielu typów akumulatorów, różniących się konstrukcją, właściwościami oraz zastosowaniami. W niniejszym opracowaniu omówiono główne rodzaje akumulatorów, ich zastosowania oraz analizę wykorzystania akumulatorów AGM w zasilaniu OFF-Grid komór ciepłowniczych.

Rodzaje akumulatorów i ich właściwości

- Akumulatory kwasowo-ołowiowe (tradycyjne) - to jeden z najstarszych i najczęściej stosowanych rodzajów akumulatorów. Energia elektryczna jest magazynowana dzięki płytom ołowiowym zanurzonym w elektrolicie z kwasu siarkowego.

Zalety: niski koszt produkcji, możliwość dostarczenia dużej mocy przez krótki czas, prosta konstrukcja.

Wady: krótka żywotność, wrażliwość na głębokie rozładowania i wysokie temperatury.

Zastosowania: pojazdy mechaniczne, systemy awaryjnego zasilania.

- Akumulatory żelowe - w tych akumulatorach elektrolit w formie ciekłej jest połączony z żelom krzemionkowym, co zapewnia stabilność struktury i zwiększoną odporność na wstrząsy.

Zalety: większa wytrzymałość na wibracje, możliwość pracy w różnych pozycjach (szczelność), lepsza odporność na głębokie cykle rozładowania.

Wady: wyższy koszt w porównaniu do akumulatorów kwasowo-ołowiowych., wolniejsze ładowanie w niskich temperaturach.

Zastosowania: systemy fotowoltaiczne, jachty i pojazdy rekreacyjne, urządzenia medyczne.

- Akumulatory AGM (Absorbent Glass Mat) - w akumulatorach AGM elektrolit jest wchłaniany przez maty z włókna szklanego, które pokrywają płyty wewnątrz urządzenia. Dzięki temu są szczelne i bardziej efektywne w dostarczaniu prądu.

Zalety: bezobsługowość i szczelność, wysoka wydajność przy dużych obciążeniach, odporność na wstrząsy i wibracje.

Wady: wyższy koszt zakupu, ograniczona tolerancja na głębokie rozładowania.

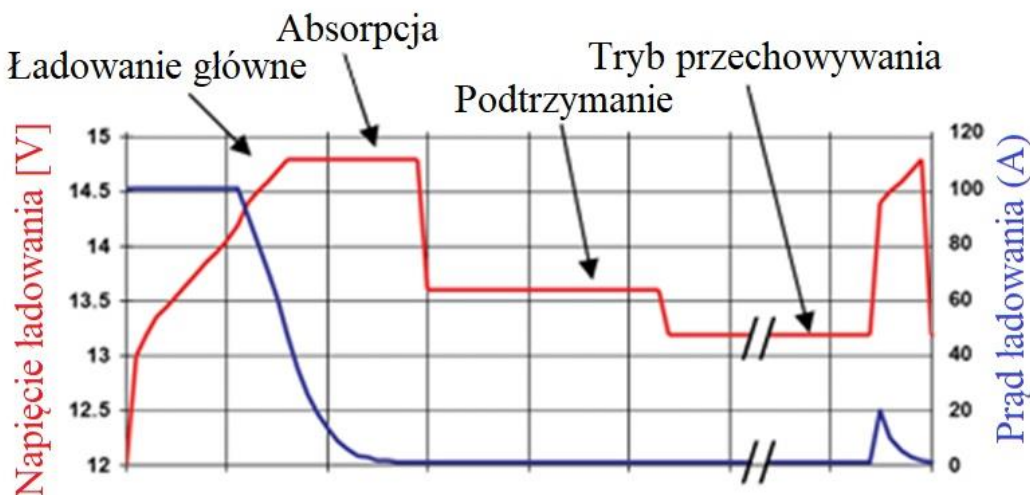
Zastosowania: systemy OFF-Grid, pojazdy elektryczne i hybrydowe, zasilanie awaryjne w serwerowniach.

Akumulatory AGM są zaawansowanym technologicznie rozwiązaniem, które sprawdza się w systemach zasilania OFF-Grid, takich jak komory ciepłownicze. Ich zalety, takie jak bezobsługowość, wysoka wydajność cykliczna i odporność na wstrząsy, czynią je praktycznym wyborem w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Aby jednak osiągnąć maksymalną efektywność i trwałość, należy zapewnić odpowiednie warunki pracy, takie jak kontrola temperatury, zastosowanie regulatorów ładowania i systemów zarządzania energią.

W przypadku wdrażanego układu zasilania wyspowego zastosowano akumulatory AGM marki Victron Energy, które są zaawansowanymi technologicznie urządzeniami do magazynowania energii, zaprojektowanymi z myślą o wymagających systemach OFF-Grid. Cechują się wysoką wydajnością, trwałością i bezpieczeństwem, co czyni je idealnym rozwiązaniem w systemach wymagających niezawodnego zasilania w warunkach ograniczonego dostępu do infrastruktury elektrycznej, takich jak komory ciepłownicze.

10.1 ETAPY ŁADOWANIA AKUMULATORÓW PRZEZ MPPT FIRMY VICTRON ENERGY

Regulatory ładowania MPPT od Victron Energy przechodzą przez różne etapy ładowania akumulatorów, aby zapewnić efektywne i bezpieczne magazynowanie energii (rys. 10.1.). Proces ten jest dostosowany do rodzaju akumulatora (kwasowo-ołowiowy, AGM, żelowy, litowy) i polega na optymalizacji ładowania w celu zwiększenia trwałości baterii.



Rys. 10.1 Etapy ładowania [35]

Etapy ładowania [35]:

- Ładowanie główne (ang. Bulk) - w tym etapie regulator dostarcza maksymalny możliwy prąd do akumulatorów, wykorzystując maksymalną dostępną moc z paneli fotowoltaicznych.

Celem jest szybkie zwiększenie napięcia akumulatora do poziomu zadanego dla kolejnego etapu. W tej fazie akumulator magazynuje większość energii (do 80-90% swojej pojemności).

- Absorpcja(ang. Absorption) - po osiągnięciu określonego napięcia (napięcie absorpcji) regulator zmniejsza prąd ładowania, utrzymując stałe napięcie.

Celem jest pełne naładowanie akumulatora i wyrównanie ładunku między celami. Ten etap trwa określony czas, który zależy od konfiguracji systemu i rodzaju akumulatora.

- Podtrzymanie (ang. Float) – po pełnym naładowaniu akumulatora napięcie jest obniżane do poziomu podtrzymania. Regulator dostarcza tylko tyle energii, ile jest potrzebne do zrównoważenia strat samoistnych akumulatora.

Celem jest utrzymanie akumulatora w pełnym stanie naładowania bez ryzyka przeładowania.

- Tryb przechowywania (ang. Storage) - jeśli akumulator pozostaje w pełni naładowany przez dłuższy czas bez większego poboru energii, regulator obniża napięcie do poziomu przechowywania. Celem jest minimalizacja korozji płyt akumulatora i utrzymanie długiej żywotności. Jest to szczególnie istotne w systemach, gdzie zużycie energii jest sporadyczne.

10.2 DOBÓR POJEMNOŚCI AKUMULATORÓW

Akumulatory muszą przechowywać energię wystarczającą na pokrycie zapotrzebowania nawet kilka dni bez dostatecznej produkcji energii (np. pochmurne dni, awarii źródła prądu). Do obliczenia wymaganej pojemności magazynu energii można zastosować wzór:

$$C_{akumulatorow} = \frac{E_{total} \cdot D}{V_{nom} \cdot DoD} \quad (10.1)$$

gdzie:

$C_{akumulatorow}$ – wymagana pojemność akumulatorów (Ah),

E_{total} – dzienne zapotrzebowanie energetyczne (Wh),

D – liczba dni autonomii (np. 2 dni),

V_{nom} – napięcie instalacji (np. 24 V),

DoD – dopuszczalna głębokość rozładowania akumulatorów (dla akumulatorów AGM zwykle 50 – 80 %)

Przy szacowaniu pojemności akumulatorów należy uwzględnić rezerwę na przyszłe zwiększenie zapotrzebowania obiektu na energię lub zmienne warunki generowania napięcia przez urządzenia wytwórcze. W ramach marginesu bezpieczeństwa warto dodać około 20 – 30 % do wyliczonej pojemności akumulatorów.

Poprawnie przeprowadzone obliczenia pozwalają zoptymalizować koszt inwestycji, uniknąć niedoszacowania mocy i pojemności oraz zapewnić stabilność pracy systemu.

10.3 DOBÓR POJEMNOŚCI AKUMULATORÓW DLA WDRAŻANEJ INSTALACJI OFF-GRID

W ramach realizacji zasilania OFF-Grid dla obiektu komory ciepłowniczej dokonano doboru odpowiedniej pojemności akumulatorów, co stanowiło kluczowy etap projektowania systemu. Celem tego kroku było zapewnienie niezawodnego i ciągłego zasilania urządzeń w obiekcie, z uwzględnieniem specyficznych wymagań energetycznych oraz warunków pracy instalacji.

Dzienne zapotrzebowanie na energię E_{total} obliczone na podstawie rzeczywistej pobieranej mocy, uzyskanej z danych systemu wizualizacji SCADA, i wynosi 27 W.

$$E_{total} = 27 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 648 \text{ Wh}$$

- liczba dni autonomii D :

Przyjęta określona liczba dni, przez które system ma zapewniać zasilanie bez ładowania akumulatorów.

$$D = 2 \text{ dni}$$

- głębokość rozładowania DoD :

Dla wybranego typu akumulatorów uwzględniono maksymalną dopuszczalną głębokość rozładowania, wyrażoną w procentach (zwykle 50–80%).

$$DoD = 0,8$$

- napięcie systemu (V_{nom}):

Projektowane napięcie nominalne instalacji zasilania w celu wyboru kompatybilnych akumulatorów.

$$V_{nom} = 24 \text{ V}$$

$$C_{akumulatorow} = \frac{E_{total} \cdot D}{V_{nom} \cdot DoD} \quad (10.2)$$

$$C_{akumulatorow} = \frac{648 \cdot 2}{24 \cdot 0,8} = 67,5 \text{ Ah}$$

Dobór pojemności akumulatorów w systemie OFF-Grid dla komory ciepłowniczej pozwolił na spełnienie założeń projektowych, zapewniając:

- niezawodne zasilanie urządzeń przez przyjętą liczbę dni autonomii,
- ochronę akumulatorów przed nadmiernym rozładowaniem dzięki dostosowaniu wartości *DoD*,

Dzięki odpowiednio dobranym akumulatorom system zasilania OFF-Grid charakteryzuje się wysoką efektywnością oraz trwałością w wymagających warunkach pracy.

11. MOC ZAINSTALOWANA, A MOC SZCZYTOWA

Moc zainstalowana stanowi sumę mocy znamionowej wszystkich urządzeń zainstalowanych na obiekcie:

$$P_{inst} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (11.1)$$

gdzie:

P_{inst} - moc zainstalowania,

P_i – moc znamionowa i-tego urządzenia,

n – liczba urządzeń zainstalowanych na obiekcie.

Moc szczytowa odnosi się do maksymalnej chwilowej wartości mocy, jaką obiekt może potrzebować w danym momencie.

W kontekście zapotrzebowania urządzeń, moc zainstalowana będzie określać ogólną moc, jaką system może pobrać w trybie normalnym, natomiast moc szczytowa opisuje krótkotrwałe skoki zapotrzebowania na energię, które mogą wystąpić w wyniku różnych czynników.

12. DOBÓR MOCY ŹRÓDŁA ZASILANIA

Projektowanie systemu OFF-Grid wymaga precyzyjnego doboru mocy zasilania, tak aby zapewnić stabilność pracy układu, pokrycie zapotrzebowania na energię.

Dla systemu OFF-Grid z pompą w ruchu turbinowym i generatorem elektrycznym należy dobrać odpowiednie źródło zasilania. Generator elektryczny napędzany turbiną w systemie OFF-Grid, to niezależne od zewnętrznego zasilania źródło energii elektrycznej. Jego moc dobierana jest na podstawie maksymalnego zapotrzebowania.

Generator elektryczny przekształca energię mechaniczną turbiny w energię elektryczną. Dlatego należy obliczyć zarówno moc turbiny, jak i moc generatora. Moc generatora musi pokrywać maksymalne chwilowe zapotrzebowanie na energię z uwzględnieniem sprawności generatora:

$$P_g = \frac{P_{max}}{\eta_g} \quad (12.1)$$

gdzie:

P_g – moc generatora (W),

P_{max} – maksymalne chwilowe zapotrzebowanie na moc (W),

η – sprawność generatorów elektrycznych (zakres 0,85-0,98)

Turbina dostarcza energię mechaniczną do generatora. Moc turbiny zależy od parametrów przepływu wody:

$$P_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \quad (12.2)$$

gdzie:

P_t – moc turbiny (W),

ρ – gęstość wody $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

g – przyspieszenie grawitacyjne $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$,

Q – przepływ $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$,

H – różnica wysokości (m),

η_t – sprawność turbiny (zakres 0,7- 0,9)

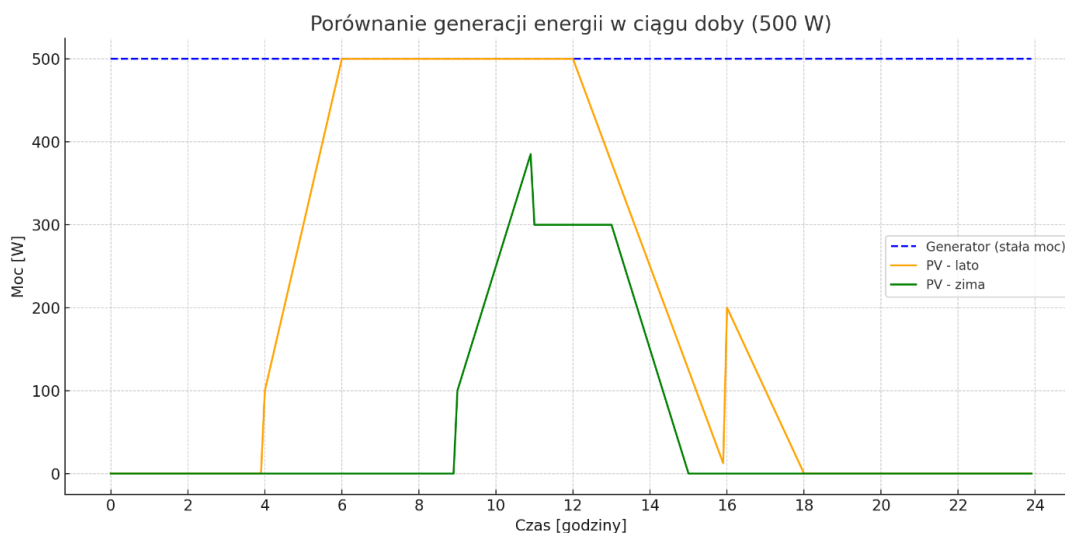
Podczas obliczenia mocy źródła zasilania dla układu OFF-Grid należy uwzględnić również rezerwy mocy. Zaleca się dodanie rezerwy mocy wynoszącej 20%–30%, aby uwzględnić nieprzewidziane wzrosty zapotrzebowania.

12.1 TEORETYCZNA ANALIZA GENERACJI ENERGII PRZEZ TURBINĘ WODNĄ I PV

Porównanie profili teoretycznej generacji energii w ciągu doby dla generatora elektrycznego o stałej mocy oraz paneli fotowoltaicznych w warunkach letnich i zimowych pozwala na ocenę efektywności obu źródeł energii w zależności od warunków atmosferycznych i pory roku.

Celem analizy jest porównanie generacji energii elektrycznej przez dwa różne źródła zasilania:

- generator elektryczny o stałej mocy – pracujący w sposób ciągły z mocą 500 W, niezależnie od pory dnia czy warunków atmosferycznych.
- panele fotowoltaiczne (PV) – charakteryzujące się zmienną generacją energii zależną od intensywności nasłonecznienia, różną w lecie i zimie o mocy znamionowej 500 W.



Rys. 12.1. Wykres generacji mocy w ciągu doby przez generator oraz instalację PV (w lecie i zimie)

Wykres (rys. 12.1.) przedstawia profil mocy (w watach) w funkcji czasu (w godzinach) dla teoretycznej generacji mocy przez urządzenia w ciągu doby:

- generator o stałej mocy - moc generowana przez całą dobę wynosi stałe 500 W, co odpowiada pełnej wydajności urządzenia.
- panele fotowoltaiczne (PV):
 - Lato - generacja rozpoczyna się wcześnie rano (około 4:00), osiąga szczytową moc 500 W w południe (12:00), a następnie maleje do zera około 18:00.
 - Zima - generacja jest ograniczona do krótszego dnia (około 9:00–15:00) z maksymalną mocą około 300 W.

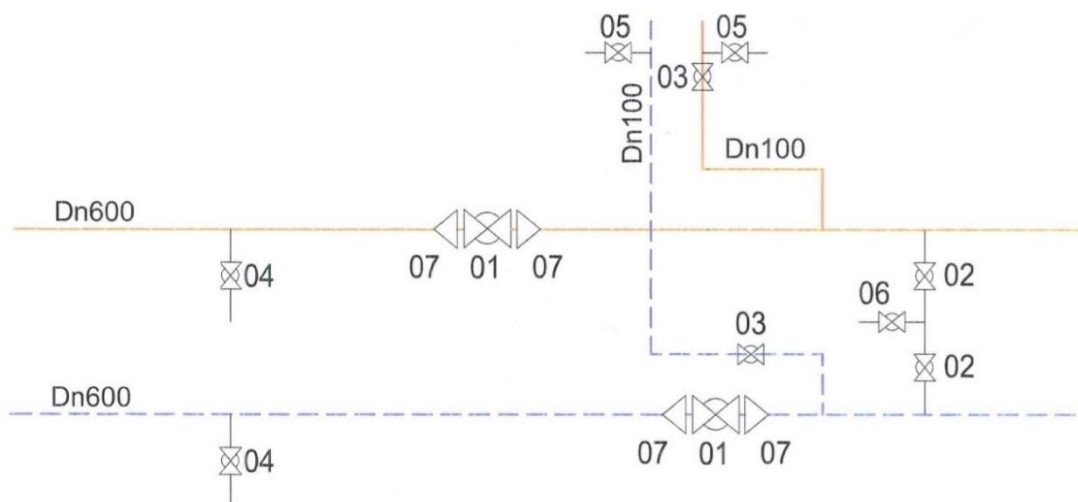
Generator elektryczny generuje moc 500 W bez przerw, co skutkuje prostą, poziomą linią na wykresie, odzwierciedlającą stabilną i niezależną od warunków atmosferycznych pracę, co daje około 12 kWh w ciągu doby. Panele fotowoltaiczne zaś generują energię elektryczną podczas lata około 4–5 kWh na dobę, przy czym szczyt występuje w południe, kiedy nasłonecznienie jest największe. Podczas zimy generacja energii przez PV wynosi szacunkowo 1–2 kWh na dobę. Krótszy dzień i niższe nasłonecznienie skutkują znacznym spadkiem mocy w porównaniu do lata.

Generator elektryczny jest niezawodnym źródłem zasilania, idealnym w zastosowaniach wymagających stabilnej mocy przez całą dobę. Panele fotowoltaiczne wykazują sezonową zmienność i uzależnienie od pory dnia, co czyni je mniej przewidywalnym źródłem energii w porównaniu do generatora. W warunkach letnich PV mogą generować energię porównywalną z generatorem przez część doby, lecz ich wydajność drastycznie spada zimą.

13. DOTYCHCZASOWE PRZYKŁADY MODERNIZACJI KOMÓR ORAZ WYKORZYSTANIA TURBIN

13.1 OBIEKT 1: ZASILANY W SYSTEMIE ON – GRID, BEZ TURBINY UMIEJSCOWIONY W KOMORZE

Rysunek 13.1. oraz tabela 13.1. przedstawia stan techniczny obiektu 1 - komory przed modernizacją, w układzie zasilania ON-Grid, gdzie brak jest turbiny oraz innych elementów optymalizujących przepływ energii cieplnej i elektrycznej.

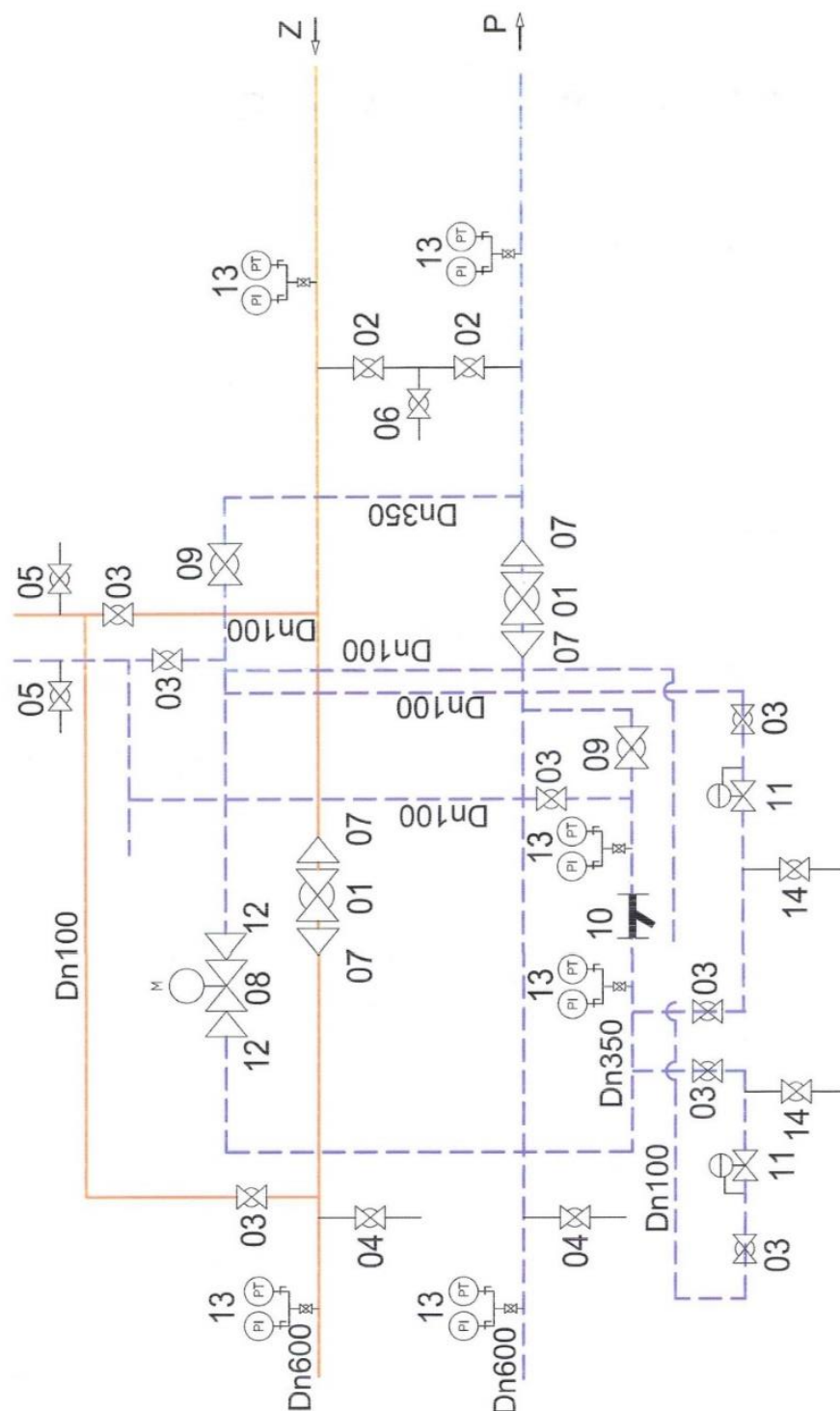


Rys. 13.1. Schemat technologiczny komory - obiekt 1 przed modernizacją [36]

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
07	Zwężka symetryczna Dn800/600	4
06	Odpowietrzenie z zaworem kulowym Dn32 z końcówkami do wspawania	1
05	Spust z zaworem kulowym Dn40 z końcówkami do wspawania	2
04	Spust z zaworem kulowym Dn80 z końcówkami do wspawania	2
03	Zawór kulowy Dn100 z końcówkami do wspawania z przekładnią ślimakową	2
02	Zawór kulowy Dn200 z końcówkami do wspawania	2
01	Przepustnica Dn800 z końcówkami do wspawania	2

Tabela 13.1. Wyszczególnienie elementów komory - obiekt 1
przed modernizacją [36]

Modernizacja komory widoczna na rysunku 13.2. obejmowała wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań technologicznych, w tym inteligentnych przetworników ciśnienia, regulatorów ciśnienia oraz zaworów regulacyjnych z napędami elektrycznymi (pełne zestawienie elementów – tabela 13.2.).



Rys. 13.2. Schemat technologiczny komory - obiekt 1 po modernizacji [36]

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
14	Zawór kulowy Dn25 z końcówkami do spawania	2
13	Inteligentny przetwornik ciśnienia typu APC 2000 z zaworem odcinającym, zabudowany na przyłączy wraz z manometrem technicznym tarczowym średnica obudowy 160mm, zakres pracy (0-2,5)MPa, Tn 150 ⁰ C, wraz z kurkiem manometrycznym o przyłączy gwintowanym M20x1,5	4 1
12	Zwężka symetryczna Dn350/300	2
11	Regulator ciśnienia bezpośredniego działania ZSN3 Dn100 Pn25, kvs=125 z rurką impulsową ø6x1 i zaworem dławiącym ZWD1	2
10	Filtr kołnierzowy Dn350 fig. 821 ZETKAMA	1
09	Zawór kulowy Dn350 z końcówkami do spawania z przekładnią ślimakową VEXWE	2
08	Zawór regulacyjny HCVB1 Dn300, PN25 kołnierzowy z napędem elektrycznym 3XIRSc, zakres siły: 80-40kN, czas przesterowania: 5min, silnik 2,2kW, 3x400VAC	1
07	Zwężka symetryczna Dn800/600	4
06	Odpowietrzenie z zaworem kulowym Dn32 z końcówkami o spawania	1
05	Spust z zaworem kulowym Dn40 z końcówkami do spawania	2
04	Spust z zaworem kulowym Dn80 z końcówkami do spawania	2
03	Zawór kulowy Dn100 z końcówkami do spawania z przekładnią ślimakową	8
02	Przepustnica Dn800 z końcówkami do spawania	2
01	Przepustnica Dn800 z końcówkami do spawania	2

Tabela 13.2. Wyszczególnienie elementów komory - obiekt 1 po modernizacji [36]

Przed modernizacją Obiekt działał w systemie, bez zaawansowanego sterowania i monitorowania. Nie posiadał własnego zasilania ani elementów regulacyjnych, a jego funkcjonalność była ograniczona.

Po modernizacji: Obiekt został podłączony do systemu zasilania ON-Grid, co umożliwiło automatyzację procesów oraz monitorowanie i kontrolę parametrów sieci ciepłowniczej.

W tabeli 13.3 znajdują się kluczowe elementy przed i po modernizacją Obiektu 1.

Element	Przed modernizacją	Po modernizacji
Rodzaj systemu	Tradycyjny, bez zaawansowanej automatyki	ON-Grid, podłączony do sieci
Źródło energii	Brak (niezasilany)	Sieć elektroenergetyczna
Zawory regulacyjne	Brak	Nowoczesne zawory regulacyjne z napędami elektrycznymi
Inteligentne przetworniki ciśnienia	Brak	4 sztuki (APC 2000)
Regulatory ciśnienia	Brak	2 sztuki (ZSN3 Dn100)
Filtry	Brak	1 sztuka (Filtr kołnierzowy Dn350)
Zawory kulowe	2 sztuki Dn100	8 sztuk Dn100, 2 sztuki Dn350
System SCADA	Brak	Tak, pełna wizualizacja monitoringu
Zasilanie elektryczne	Brak	ON-Grid (sieć)

Tabela 13.3. Wyszczególnienie elementów przed i po modernizacją

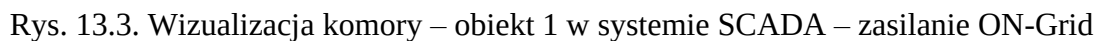
Przed modernizacją obiekt funkcjonował w sposób manualny, bez możliwości precyzyjnej kontroli i monitorowania parametrów ciepłowniczych. Brakowało zaawansowanych elementów sterujących i automatyzacji procesów.

Po modernizacji Wprowadzono system SCADA umożliwiający zdalny nadzór i sterowanie układem. Zastosowano inteligentne przetworniki ciśnienia i regulatory

ciśnienia do optymalizacji pracy instalacji. Dodano nowoczesne zawory regulacyjne z napędami elektrycznymi, co poprawiło precyzję sterowania.

Modernizacja Obiektu 1 pozwoliła na pełną automatyzację i zdalne sterowanie instalacją. Dzięki podłączeniu do sieci elektroenergetycznej (ON-Grid) oraz integracji z systemem SCADA poprawiono efektywność zarządzania siecią ciepłowniczą i zoptymalizowano procesy regulacyjne.

Rysunek 13.3. prezentuje interfejs systemu SCADA po wdrożeniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych w układzie zasilania ON-Grid.



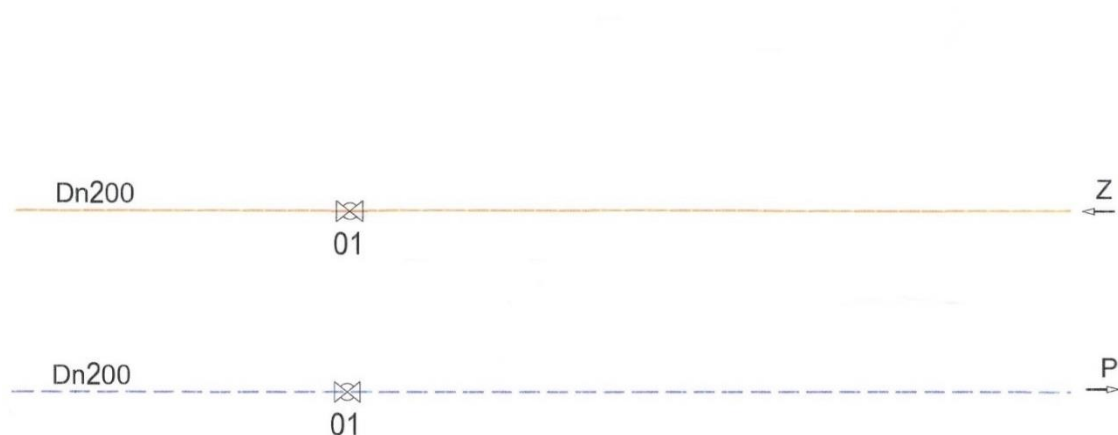
Po modernizacji Obiekt 1 został wyposażony w nowoczesny system SCADA, który umożliwia zdalne monitorowanie i sterowanie parametrami sieci ciepłowniczej w czasie rzeczywistym. System SCADA pozwala na bieżące śledzenie parametrów pracy, takich jak ciśnienie, przepływ czynnika grzewczego czy też stanów zaworów. Zastosowane zawory z napędami elektrycznymi są sterowane przez SCADA (+PLC), co poprawia efektywność pracy instalacji. SCADA rejestruje dane pomiarowe, co umożliwia analizę działania systemu ciepłowniczego.

Wdrożenie systemu SCADA w Obiekcie 1 znacząco poprawiło nadzór nad siecią ciepłowniczą. Dzięki automatyzacji i monitorowaniu w czasie rzeczywistym zwiększono bezpieczeństwo oraz efektywność pracy instalacji ciepłowniczej.

13.2 OBIEKT 2: ZASILANY W SYSTEMIE ON – GRID, Z TURBINĄ UMIEJSCOWIONY NA SIECI CIEPŁOWNICZEJ PO ZA KOMORĄ

Wprowadzenie turbiny TRC do systemu ON-Grid umożliwiło wytwarzanie energii elektrycznej, umożliwiając przesył nadwyżek energii elektrycznej do sieci elektroenergetycznej.

Na rysunku 13.4. przedstawiono fragment sieci ciepłowniczej przed modernizacją, a w tabeli 13.4 są przedstawione jej elementy.

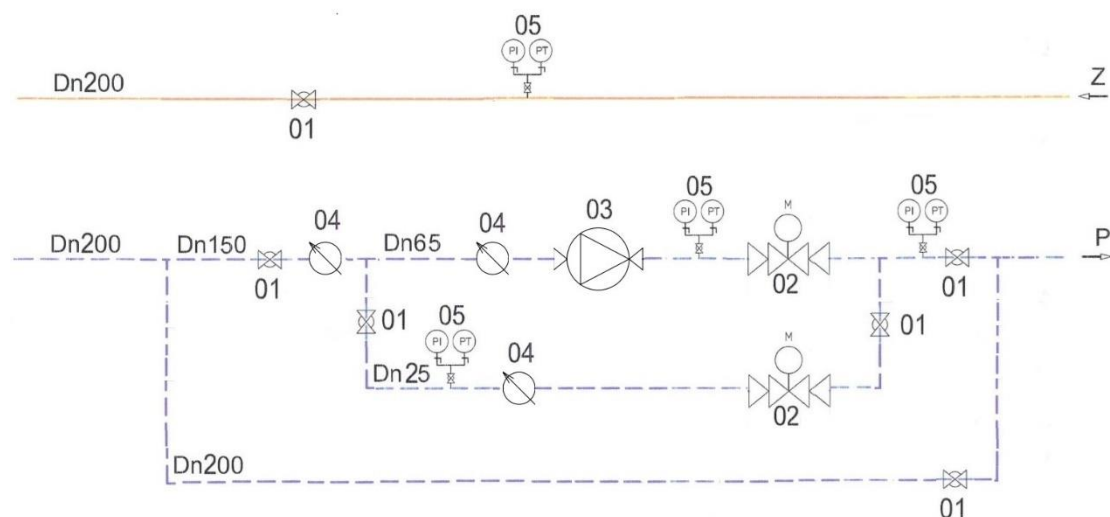


Rys. 13.4. Schemat technologiczny fragmentu sieci ciepłowniczej – obiekt 2 przed instalacją turbiny TRC [36]

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
01	Zawór kulowy	2

Tabela 13.4. Wyszczególnienie elementów sieci ciepłowniczej – obiekt 2 przed instalacją turbiny TRC [36]

Modernizacja obejmowała montaż turbiny oraz elementów sterujących i kontrolnych, co obrazuje Rysunek 13.5. Tabela 13.5. przedstawia wyszczególnione elementy sieci po instalacji turbiny TRC czyli pompy w ruchu turbinowym.



Rys. 13.5. Schemat technologiczny fragmentu sieci – obiekt 2
po instalacji turbiny TRC [36]

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
05	Inteligentny przetwornik ciśnienia	4
04	Ultradźwiękowy licznik ciepła z przelicznikiem	3
03	Turbina	1
02	Kłapa motylkowa z siłownikiem regulacyjnym	2
01	Zawór kulowy	6

Tabela 13.5. Wyszczególnienie elementów sieci – obiekt 2
po instalacji turbiny TRC [36]

Przed modernizacją obiekt nie posiadał turbiny ani elementów sterujących do zarządzania przepływem ciepła.

Po modernizacji: Obiekt został podłączony do systemu ON-Grid i wyposażony w turbinę TRC, co umożliwiło produkcję energii elektrycznej oraz przesył nadwyżek do sieci elektroenergetycznej.

W tabeli 13.6 znajdują się kluczowe elementy przed i po modernizacją Obiektu.

Element	Przed modernizacją	Po modernizacji
Rodzaj systemu	ON-Grid (jednokierunkowy)	ON-Grid (dwukierunkowy)
Źródło energii	Brak	Turbina TRC + generator GV132S-8
Generowanie energii elektrycznej	Nie	Tak, dzięki turbinie TRC
Zawory kulowe	2 sztuki	6 sztuk
Turbina	Brak	1 sztuka (TRC)
Inteligentne przetworniki ciśnienia	Brak	4 sztuki
Ultradźwiękowy licznik ciepła	Brak	3 sztuki
Kłapy motylkowe z siłownikami	Brak	2 sztuki
System SCADA	Brak	Tak, pełna wizualizacja monitoringu
Generator	Brak	GV132S-8 (400V, 4 kVA)
Moc generatora	Brak	4 kVA

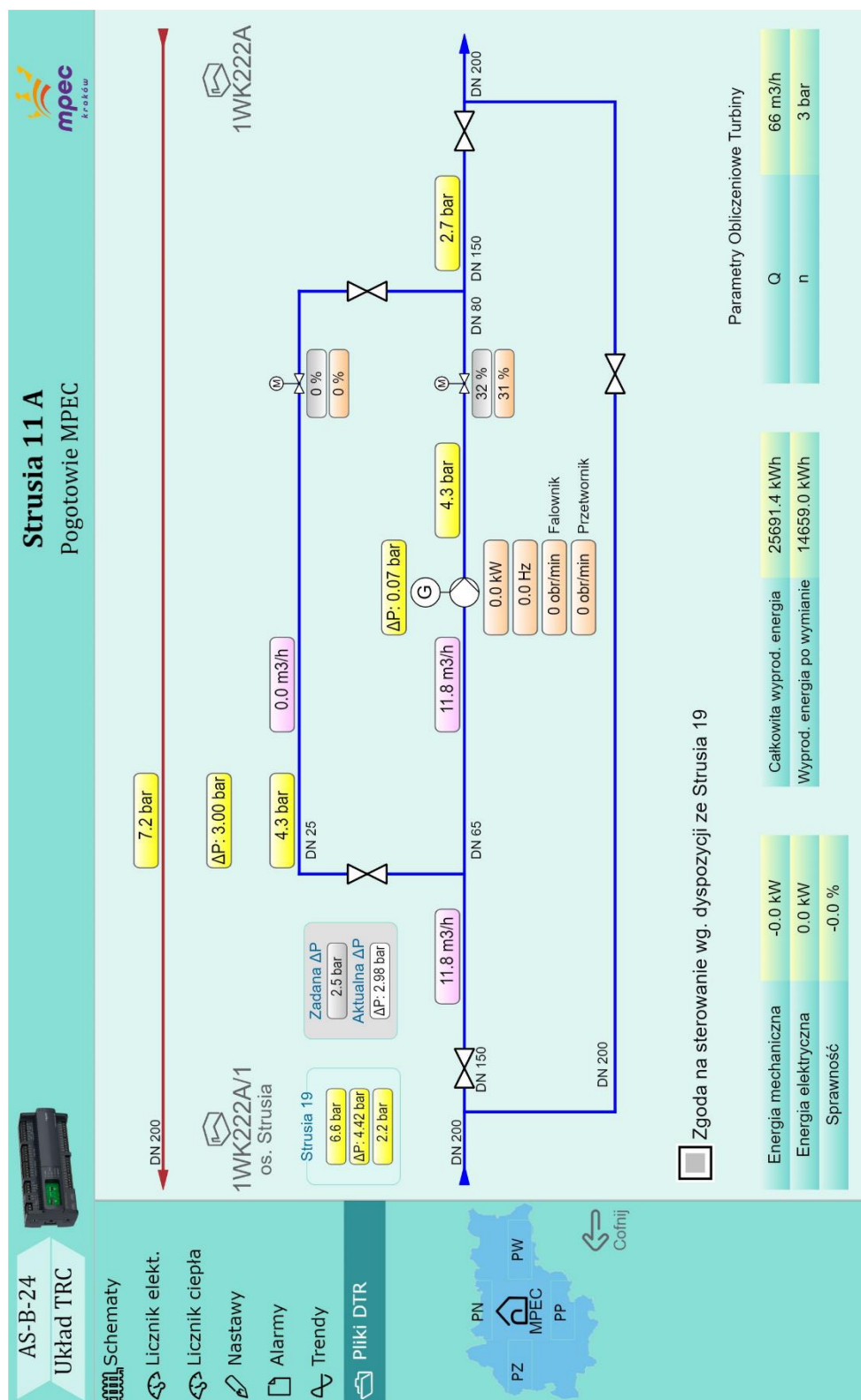
Tabela 13.6. Wyszczególnienie elementów przed i po modernizacji

Przed modernizacją obiekt działał jako zwykły fragment sieci ciepłowniczej, bez możliwości generowania energii elektrycznej i sterowania siecią.

Po modernizacji obiekt został przekształcony w system ON-Grid z turbiną TRC, co pozwala na produkcję i przesył energii elektrycznej do sieci.

Modernizacja Obiektu 2 przekształciła go w system odzysku energii. Dzięki zastosowaniu turbiny TRC i generatora GV132S-8 możliwe stało się wytwarzanie energii elektrycznej, a pełna integracja z systemem SCADA zapewniła optymalne zarządzanie i monitorowanie parametrów sieci ciepłowniczej.

Rysunek 13.6. prezentuje widok systemu SCADA zintegrowanego z układem TRC, wskazując na bieżący stan parametrów pracy turbiny oraz przepływów.



Rys. 13.6. Wizualizacja obiektu 2 wraz z układem TRC w systemie SCADA

Po modernizacji Obiekt 2 został zintegrowany z systemem SCADA który umożliwia zdalne monitorowanie i sterowanie pracą turbiny TRC oraz sieci ciepłowniczej. Dzięki temu możliwe jest bieżące zarządzanie parametrami technicznymi.

Wdrożenie systemu SCADA w Obiekcie 2 znacząco poprawiło efektywność i bezpieczeństwo pracy turbiny TRC oraz całej sieci ciepłowniczej. Dzięki automatyzacji i monitorowaniu w czasie rzeczywistym możliwe jest sterowanie siecią ciepłą i podgląd generowanej energii elektrycznej przez układ generator - turbina, co w efekcie przekłada się na wyższą niezawodność systemu.

Na obiekcie 2 została zastosowana pompa należąca do rodziny MVB (rys. 13.7.), przeznaczonej do pracy w ruchu turbinowym. Parametry techniczne pompy umieszczono w tabeli 13.7., a parametry techniczne generatora w tabeli 13.8.



Rys. 13.7. Pompa odśrodkowa jednostopniowa MV

Rodzina pomp MV do której należy zamontowana pompa na obiekcie 2 podzielona jest na dwie wielkości synchroniczne prędkości silnika:

- MVA: 2900 rpm,
- MVB: 1450 rpm.

W instalacji wykorzystano pompę MVB w ruchu turbinowym.

Na obiekcie 2 zastosowana jest pompa monoblokowa przystosowana do pracy ruchu turbinowego typu MVB.65-250/A. MVB należy do pomp odśrodkowych, jednostopniowych monoblokowych. Pompa MVB służy do pompowania czynnika czystego o niskiej lepkości, o temperaturze standardowo 105°C lub 140°C.

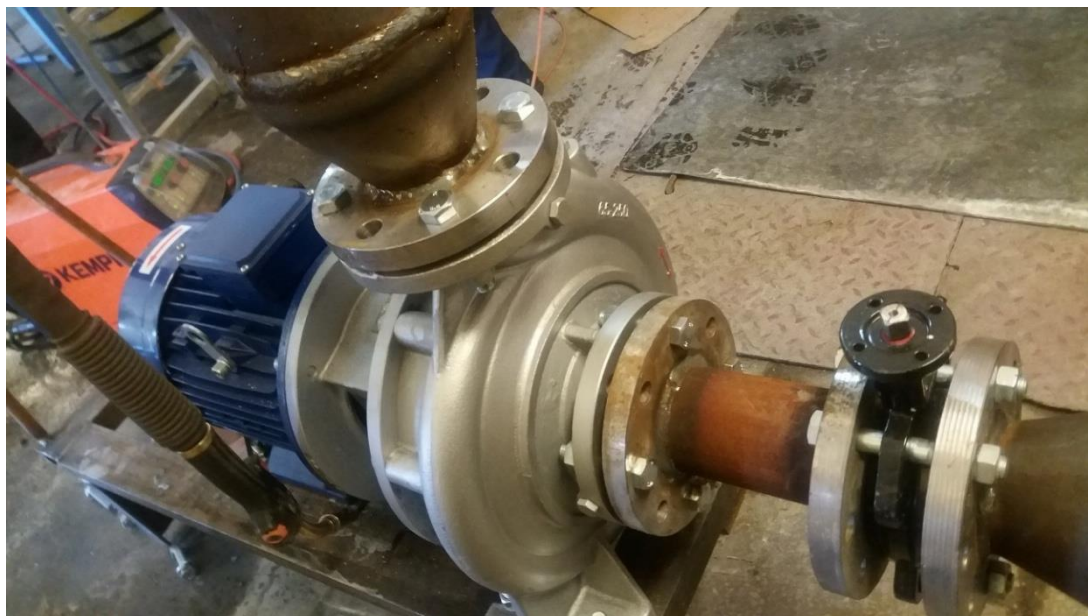
Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
1	Nazwa producenta	-	Hydro - Vacuum
2	Typ pompy	-	MVB
3	Oznaczenie pompy	-	MVB 65-250/A
4	Nr Fabryczny	-	284846
5	Znamionowa prędkość obrotowa	Rpm	1500

Tabela 13.7. Parametry znamionowe pompy MVB 65-250/A
zainstalowanej w obiekcie 2 [36]

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
1	Nazwa producenta	-	GenerVolt
2	Typ generatora	-	GV132S-8
3	Nr Fabryczny/data produkcji	-	20170501
4	Rodzaj prądu	-	Trójfazowy
5	Moc znamionowa	kVA	4
6	Rodzaj pracy	-	S1
7	Napięcie znamionowe (międzyfazowe)	V	400
8	Układ połączeń	-	Y (gwiazda)
9	Prąd znamionowy	A	5,8
10	Prędkość obrotowa znamionowa	Rpm	1500
11	Częstotliwość	Hz	100
12	Sprawność	%	98*
13	Współczynnik mocy	-	1
14	Moment znamionowy	Nm	26
15	Masa	Kg	40
16	Stopień ochrony	-	IP53
17	Kierunek wirowania	-	Dowolny
18	Klasa izolacji	-	H
19	Temperatura otoczenia	°C	40
20	Maksymalna temperatura wirnika	°C	80

Tabela 13.8. Parametry znamionowe generatora GV132S-8
zainstalowanego w obiekcie 2 [36]

Rysunki 13.8. i 13.9. przedstawiają fragment sieci ciepłowniczej na której zmontowano zespół urządzeń turbina – generator z elektryczną instalacją w systemie ON-Grid.



Rys. 13.8. Widok zespołu turbina – generator na rurociągu ciepłowniczym w instalacji w systemie ON – Grid - obiekt 2



Rys. 13.9 .Widok fragmentu instalacji ciepłowniczej w systemie zasilania ON – Grid - obiekt 2

Zaś na rysunku 13.10. widać szafy sterownicze dla układu turbina – generator dla instalacji w systemie ON–Grid, znajduje się w nich między innymi falownik zarządzający wytwarzaną energią przez generator współpracujący z siecią energetyczną w systemie ON-Grid. Drugim ważnym urządzeniem w szafach jest sterownik PLC regulujący pracę sieci ciepłowniczej.



Rys. 13.10. Widok szaf sterowniczych dla układu turbina – generator dla instalacji w systemie ON – Grid - obiekt 2

13.3 PORÓWNANIE MODERNIZACJI OBIEKTU 1 ORAZ OBIEKT 2

W podrozdziałach powyżej przedstawiono dwie instalacje zasilane w systemie ON-Grid, jednej z turbiną (nad poziomem ziemi), a drugiej bez turbiny (komora podziemna). Poniżej przedstawiono kluczowe różnice i zmiany w obu przypadkach:

Obiekt 1: Komora podziemna (bez turbiny)

Stan przed modernizacją:

- Instalacja składała się głównie z zaworów kulowych, przepustnic, spustów i odpowietrzeń,
- Brak zaawansowanych urządzeń pomiarowych i kontrolnych,
- Funkcjonalność ograniczona, brak możliwości zarządzania czynnikiem grzewczym w systemie bez zasilania.

Stan po modernizacji:

- Rozszerzenie funkcjonalności zarządzania czynnikiem grzewczym dzięki doprowadzeniu zasilania do komory w systemie ON-Grid,
- Dodano inteligentne przetworniki ciśnienia, regulatory ciśnienia i zawory regulacyjne z napędami elektrycznymi,
- Wprowadzono system SCADA umożliwiający monitorowanie i kontrolę parametrów w czasie rzeczywistym,
- Poprawa efektywności dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii i automatyzacji.

Obiekt 2: Turbina TRC (nad poziomem ziemi)

Stan przed modernizacją:

- Sieć ciepłownicza wyposażona w podstawowe elementy, takie jak zawory kulowe,
- Brak generacji energii elektrycznej i jej przesyłu do sieci.

Stan po modernizacji:

- Zainstalowano turbinę TRC, która jest napędzana różnicą ciśnień w sieci, a jej generator elektryczny wytwarza energię elektryczną.
- Dodano inteligentne przetworniki ciśnienia, ultradźwiękowe liczniki ciepła i kłapy motylkowe z siłownikami regulacyjnymi.

- Układ turbiny został dodany do systemu SCADA, co umożliwiło monitorowanie jej pracy oraz sterowanie i nadzorowanie pracy sieci ciepłowniczej.

Porównanie

1. Cel modernizacji:

- W przypadku komory skupiono się na automatyzacji, regulacji i monitoringu sieci ciepłowniczej.
- Dla turbiny kluczowym elementem była możliwość produkcji i przesyłu energii elektrycznej, a dodatkowo możliwość regulacji i monitorowania sieci ciepłowniczej.

2. Efektywność:

- Modernizacja komory poprawiła sterowalność i bezpieczeństwo eksploatacji.
- Turbina zwiększyła efektywność systemu poprzez wykorzystanie nadwyżek ciśnienia w systemie ciepłowniczym.

3. Technologia i automatyzacja:

- Oba systemy wyposażono w inteligentne przetworniki i system SCADA, jednak różnią się skalą zastosowania (produkcja energii w przypadku turbiny).

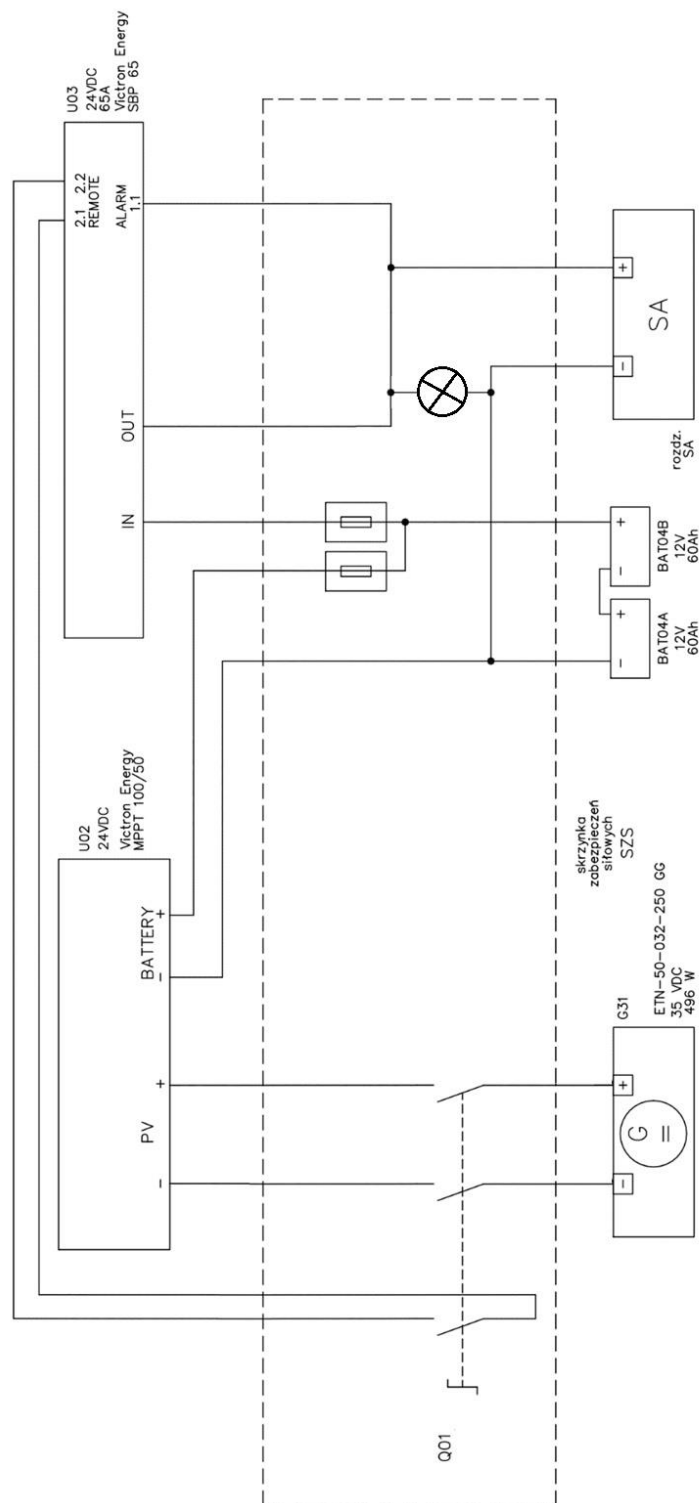
4. Lokalizacja:

- W przypadku komory podziemnej integracja z systemem energetycznym była utrudniona, gdyż brakowało doprowadzonego zasilania ON-Grid.
- Turbina umieszczona w obiekcie ciepłowniczym znajdującym się nad ziemią mogła być łatwiej integrowana z systemem energetycznym w celu wyprowadzenia nadwyżki wyprodukowanej energii, gdyż sieć ON-Grid była już doprowadzona do obiektu.

Podsumowując, obie modernizacje znacząco poprawiły efektywność, bezpieczeństwo i automatyzację zarządzania siecią ciepłowniczą, z różnymi priorytetami zależnymi od lokalizacji i funkcjonalności urządzeń.

14. AUTORSKI PROTOTYP UKŁADU ZASILANIA WYSPOWEGO OFF-GRID KOMÓR CIEPŁOWNICZYCH (OBIEKT 3)

W ramach układu zasilania wyspowego OFF-Grid komór ciepłowniczych zostały opracowane założenia do projektu technologicznego oraz schemat elektryczny komory (rys. 14.1.). Mówiąc o obiekcie 3, będzie mowa o komorze 1WKVII/1A.



Rys. 14.1. Koncepcja zasilania OFF-Grid

Instalacja przedstawiona na rysunku 14.1. dotyczy systemu off-grid, który działa niezależnie od sieci elektroenergetycznej. Taki system jest stosowany do zasilania urządzeń w miejscach, gdzie dostęp do sieci jest ograniczony lub niemożliwy. Na podstawie schematu można zauważyć następujące elementy i ich funkcje:

1. Elementy kluczowe systemu:

a) Generator prądotwórczy (G31)

- Dostarcza energię elektryczną do układu zasilania OFF-Grid
- Generator jest połączony z systemem ochronnym i regulacji napięcia.

b) Regulator MPPT (U02)

- Regulator MPPT zarządza energią pozyskiwaną z generatora elektrycznego napędzanego przez turbinę i przekazuje ją do akumulatorów (BAT04A i BAT04B).
- Maksymalizuje efektywność ładowania akumulatorów poprzez dopasowanie parametrów pracy.

c) Akumulatory (BAT04A i BAT04B)

- Dwa akumulatory połączone szeregowo, każdy o napięciu 12 V i pojemności 65 Ah.
- Służą jako magazyn energii, umożliwiając zasilanie odbiorników w przypadku braku generowania napięcia przez generator.

d) Moduł Battery Protection (U03)

- Moduł odpowiedzialny za ochronę akumulatorów przed przeciążeniami, nadmiernym rozładowaniem lub przeładowaniem.
- Monitoruje warunki pracy akumulatorów i ostrzega o awariach (np. za pomocą sygnalizacji alarmowej).

e) Rozdzielnica SA

- Odpowiada za sterowanie i monitoring sieci ciepłowniczej oraz układu zasilania OFF-Grid.

2. Funkcjonalność systemu:

- System off-grid działa w oparciu o priorytetowe wykorzystanie energii z generatora elektrycznego. Gdy jego wydajność jest niewystarczająca, energia pochodzi z akumulatorów.

- Moduł MPPT reguluje przepływ energii, a Battery Protection dba o bezpieczeństwo akumulatorów, wydłużając ich żywotność.

3. Schemat pracy systemu:

3.1 Energia wejściowa:

- Pochodzi z generatora prądotwórczego.
- Generator zasila regulator MPPT, który dystrybuuje energię do akumulatorów oraz odbiorników.

3.2 Akumulatory:

- Magazynują nadwyżkę wytworzonej energii.
- W razie potrzeby zasilają odbiorniki.

3.3 Odbiorniki:

- Pobierają energię ze źródła poprzez rozdzielnicę SA, w której są zabezpieczone za pomocą bezpieczników.

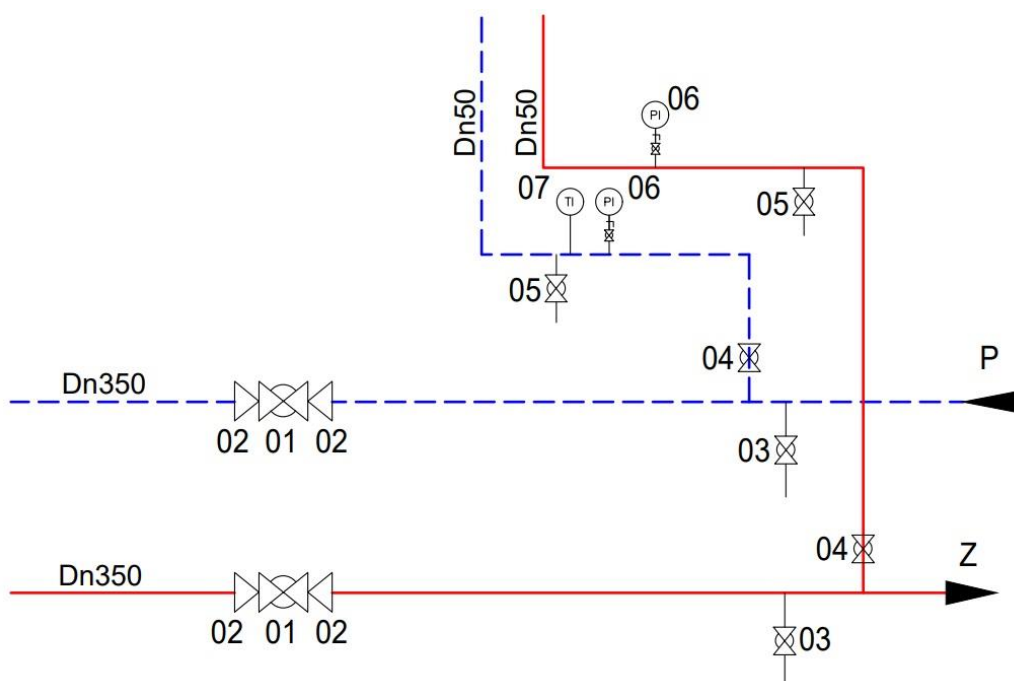
4. Bezpieczeństwo i ochrona:

- Bezpieczniki: Chronią urządzenia przed przeciążeniami.
- Moduł Battery Protection (U03): Zapewnia ochronę akumulatorów i sygnalizuje stany alarmowe.

Schemat przedstawia kompleksową instalację energetyczną off-grid, zoptymalizowaną pod kątem efektywności energetycznej i bezpieczeństwa. System jest niezależny od sieci elektroenergetycznej, co czyni go idealnym rozwiązaniem dla miejsc oddalonych od infrastruktury lub wymagających niezależnego źródła zasilania.

Ze względu na to, że obiekt na którym była montowana instalacja zasilania OFF-Grid jest obiektem normalnie eksploatowanym w przedsiębiorstwie instalacja została przeliczona ze względu na dobór przewodów i zabezpieczeń przez projektanta posiadającego uprawnienia projektowe (w załączniku nr 9 znajduje się cały projekt elektryczny i AKP).

Rysunek 14.2. przedstawia schemat technologiczny komory przed modernizacją, a tabela 14.1. elementy znajdujące się w tamtym momencie na sieci. Układ obejmuje podstawowe elementy umożliwiające funkcjonowanie w trybie tradycyjnym.

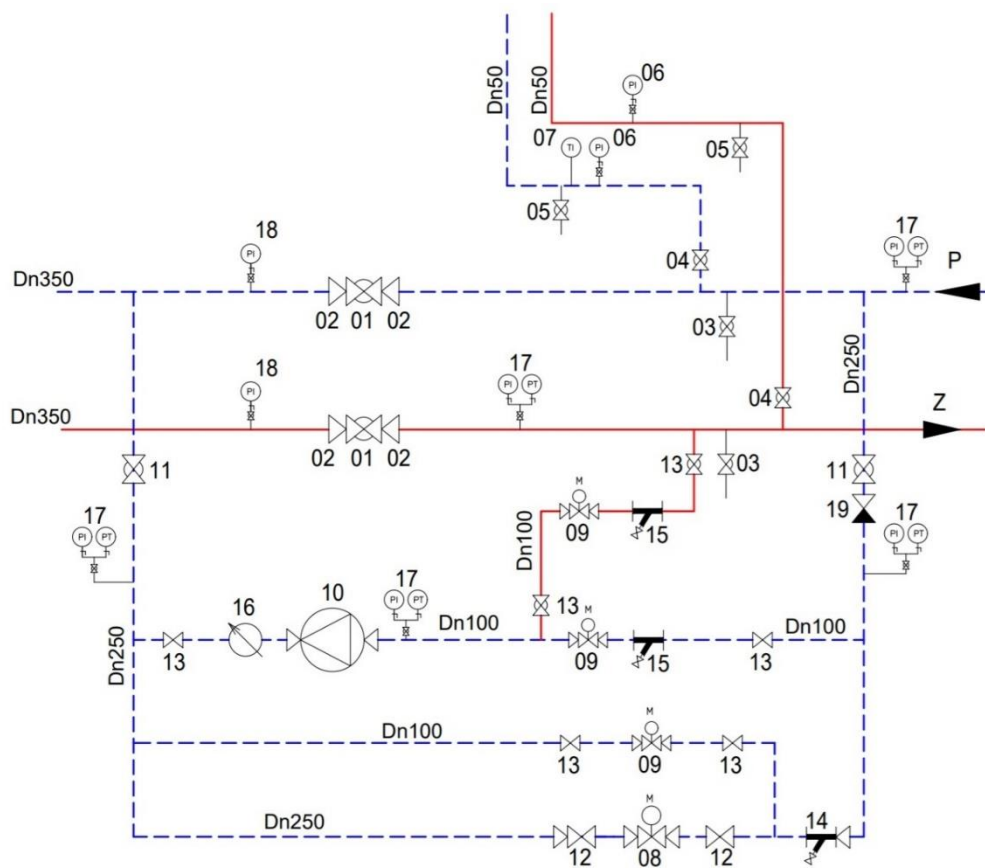


Rys. 14.2. Schemat technologiczny komory OFF-Grid – stan przed modernizacją

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
07	Termometr	1
06	Manometr z zaworem Dn15	2
05	Spust z zaworem kulowym Dn20 z końcówkami do wspawania	2
04	Zawór kulowy Dn50 z końcówkami do wspawania	2
03	Spust z zaworem kulowym Dn80 z końcówkami do wspawania	2
02	Zwężka symetryczna Dn350/300	4
01	Przepustnica Dn300 z końcówkami do wspawania	2

Tabela 14.1. Wyszczególnienie elementów komory OFF-Grid przed modernizacją

Po modernizacji układ został dostosowany do pracy w trybie OFF-Grid. Rysunek 14.3. obrazuje nowoczesne rozwiązania, w tym integrację turbiny oraz komponentów sterujących, a tabela 14.2. elementy znajdujące się w tamtym momencie na sieci.



Rys.

14.3. Schemat technologiczny komory OFF-Grid – stan po modernizacji

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
19	Zawór zwrotny między kołnierzowy Dn250 Pn25 ZETKAMA	1
18	Manometr z zaworem Dn15	2
17	Inteligentny przetwornik ciśnienie typu APC 2000 z zaworem odcinającym, zabudowany na przyłączy wraz z manometrem technicznym tarczowym średnica obudowy 160mm zakres pracy (0-2,5)MPa, Tn 150 ⁰ C, wraz z kurkiem manometrycznym o przyłączy gwintowanym M20x1,5	3
16	Ultradźwiękowy licznik ciepła z przelicznikiem CG55+US AXONIC Dn65 Qn25 ITRON POLSKA	1

15	Filtr kołnierzowy Dn100 fig. 821 ZETKAMA +zawór kulowy VEXVE Dn40 z końcówkami do spawania	2
14	Filtr kołnierzowy Dn200 fig. 821 ZETKAMA +zawór kulowy VEXVE Dn40 z końcówkami do spawania	1
13	Zawór kulowy Dn100 z końcówkami do spawania z przekładnią ślimakową VEXVE	6
12	Zawór kulowy Dn200 z końcówkami do spawania z przekładnią ślimakową VEXVE	2
11	Zawór kulowy Dn250 z końcówkami do spawania z przekładnią ślimakową VEXVE	2
10	Turbina ETN 050-032-250 GG KSB, Dn50, PN16	1
09	Zawór regulacyjny grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H640S BELIMO, Dn40, PN16 kvs 25 + siłownik elektryczny (SV24A-SR-TPC BELIMO wg AKPiA)	1
08	Zawór regulacyjny grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H6125S BELIMO, Dn125, PN16 kvs 220 + siłownik elektryczny (RV24A-SR BELIMO wg AKPiA)	3
07	Termometr	1
06	Manometr z zaworem Dn15	2
05	Spust z zaworem kulowym Dn20 z końcówkami do spawania	2
04	Zawór kulowy Dn50 z końcówkami do spawania	2
03	Spust z zaworem kulowym Dn80 z końcówkami do spawania	2
02	Zwężka symetryczna Dn350/300	4
01	Przepustnica Dn300 z końcówkami do spawania	2

Tabela 14.2. Wyszczególnienie elementów komory OFF-Grid po modernizacji

Porównując stan obiektu komory ciepłowniczej z zasilaniem OFF-Grid przed modernizacją i po niej pod względem rodzaju systemu zasilania:

- Przed modernizacją: Obiekt nie był monitorowany (gdyż nie posiadał zasilania elektrycznego), a w tym miejscu sieci ciepłowniczej brakowało systemu nadzoru i kontroli.

- Po modernizacji: Obiekt został przekształcony w autonomiczny system OFF-Grid, wykorzystujący turbinę wraz z generatorem do produkcji energii elektrycznej i działający niezależnie od sieci elektroenergetycznej.

W tabeli 14.3 znajdują się kluczowe elementy przed i po modernizacji obiektu z wdrażaną instalacją OFF-Grid.

Element	Przed modernizacją	Po modernizacji
Rodzaj systemu	Brak zasilania	OFF-Grid, autonomiczny
Źródło energii	Brak zasilania	Turbina ETN 050-032-250 GG + generator GV100L-8
Zawory regulacyjne	Podstawowe zawory kulowe	Zaawansowane zawory regulacyjne BELIMO
Inteligentne przetworniki ciśnienia	Brak	3 sztuki (APC 2000)
Ultradźwiękowy licznik ciepła	Brak	1 sztuka (CF55+US AXONIC)
Zawory kulowe	2 sztuki Dn50	6 sztuk Dn100, 2 sztuki Dn200, 2 sztuki Dn250
Turbina	Brak	ETN 050-032-250 GG
System SCADA	Brak	Tak, pełna wizualizacja monitoringu
Generator	Brak	GV100L-8 (28V + prostownik)
Napięcie nominalne	Brak	28V (z prostownikiem 3-fazowym)

Tabela 14.3. Wyszczególnienie elementów komory OFF-Grid po modernizacji

Systemy sterowania i automatyzacji

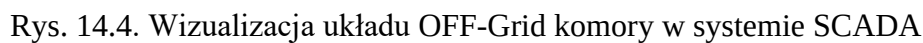
- Przed modernizacją:
 - Brak zaawansowanych systemów monitorowania i kontroli.
 - Brak zarządzania przepływem czynnika grzewczego w sieci ciepłowniczej.
- Po modernizacji:
 - System SCADA zapewnia pełną kontrolę i monitoring pracy układu zasilania komory ciepłowniczej w czasie rzeczywistym.
 - Wprowadzenie inteligentnych przetworników ciśnienia do zarządzania pracą turbiny i systemu grzewczego.
 - Zastosowanie zaworów regulacyjnych z siłownikami elektrycznymi dla precyzyjnego sterowania przepływem.

Kluczowe różnice

- Przed modernizacją obiekt działał bez możliwości monitorowania i sterowania pracą sieci ciepłowniczej.
- Po modernizacji został przekształcony w niezależny system, który samodzielnie produkuje energię dzięki turbinie i zarządza przepływem medium za pomocą zaawansowanych układów regulacyjnych. A nowoczesne technologie (SCADA, inteligentne przetworniki ciśnienia, zawory BELIMO) poprawiły efektywność i kontrolę nad procesami ciepłowniczymi.

Modernizacja obiektu przekształciła go w autonomiczny system OFF-Grid, eliminując zależność od zewnętrznej sieci elektroenergetycznej. Dzięki wprowadzeniu turbiny i generatora możliwe stało się samodzielne wytwarzanie energii, a integracja z systemem SCADA zapewniła lepszą kontrolę i optymalizację działania.

Rysunek 14.4. przedstawia wizualizację systemu SCADA po modernizacji, uwzględniającą integrację układu zasilania wyspowego z turbiny.

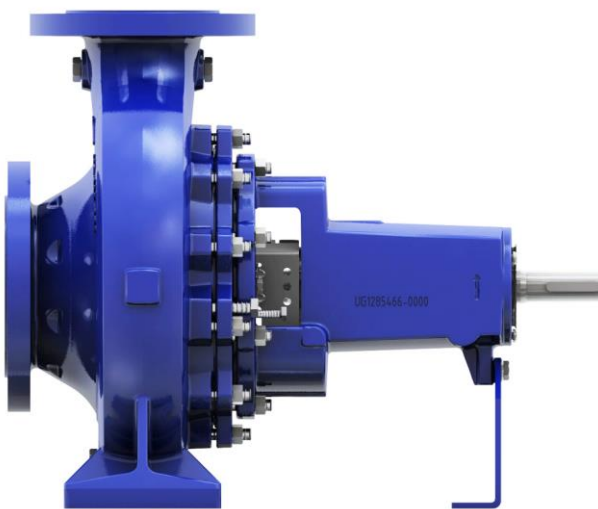


SCADA (wraz ze sterownikiem PLC znajdującym się na komorze) umożliwia zdalne monitorowanie parametrów pracy komory ciepłowniczej. System oferuje interfejs graficzny, który przedstawia schemat technologiczny komory oraz wizualizację pracy układu OFF-Grid. Pozwala na kontrolę parametrów takich jak przepływ, ciśnienie czy stany zaworów. System ten posiada możliwość rejestracji danych, umożliwiając w razie potrzeby ich późniejszą analizę.

System SCADA w obiekcie o wdrażanym zasilaniu wyspowym, stanowi kluczowy element umożliwiający efektywne zarządzanie zmodernizowanym układem OFF-Grid, łącząc nowoczesne technologie pomiarowe, sterujące i wizualizacyjne.

Układ wytwórczy energii elektryczną potrzebną do zasilania obiektu oparto na turbinie Etanorm (PaT) oraz generatorze GenerVolt.

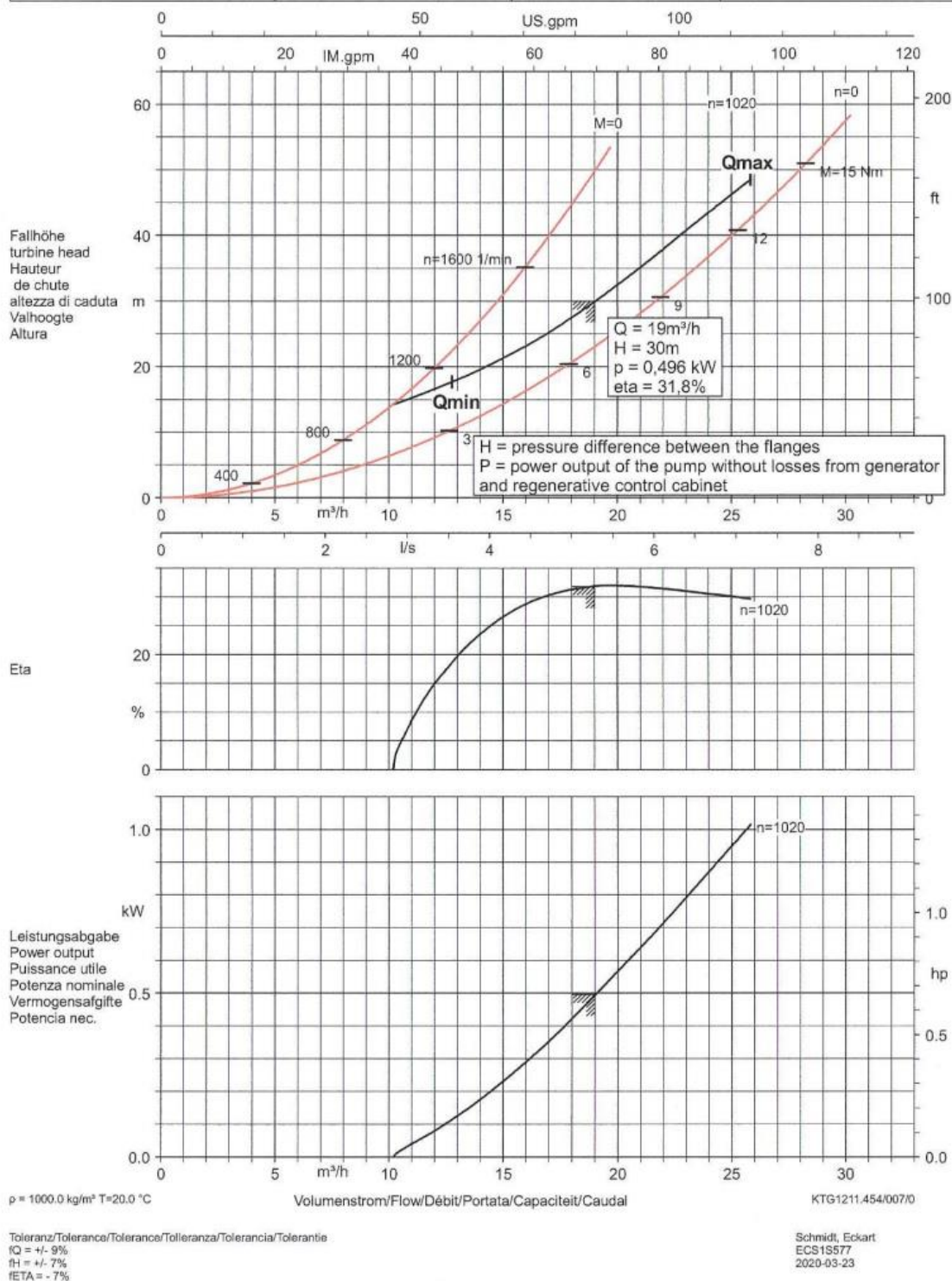
Na obiekcie tym zastosowano pompę wirową Etanorm (przedstawioną na rysunku 14.5.), zoptymalizowaną do pracy w ruchu turbinowym. Charakterystykę jej pracy przedstawiono w ruchu turbinowym na rysunku 14.6. zaś znamionowe parametry pracy generatora umieszczono w tabeli 14.4.



Rys. 14.5. Pompa wirowa Etanorm

Zastosowano pompę wirową Etanorm, zoptymalizowaną do pracy w ruchu turbinowym.

Baureihe-Größe Type-Size Modèle	Tipo Serie Tipo	Nennrehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominaal foerental Revoluciones nom.	Lauftrad-Ø Impeller diameter Diamètre de roue	Ø Girante Ø Waaler Ø Rodete	 KSB KSB Aktiengesellschaft Postfach 200743 06008 Halle (Saale) Turnstraße 92 06110 Halle (Saale)
Etanorm 32-250 Turbine		1020 1/min		260 mm		
Projekt Project Projet	Progetto Project Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offerternr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.Nr. Positiönr. Pos.-Nr.	
PaT		nn		19m³/h @ 30m		



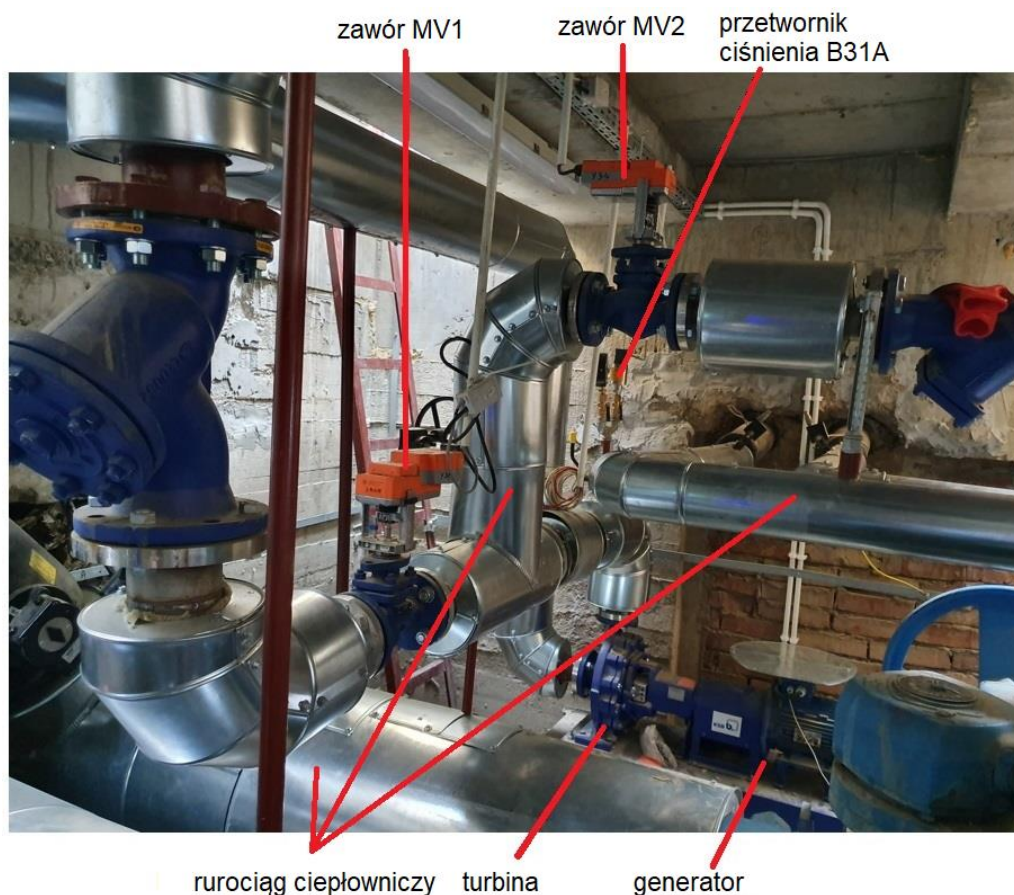
Rys. 14.6. Charakterystyka Etanorm 32-250 w ruchu turbinowym, $n = 1020$ rpm
(komora zasilanie OFF-Grid)

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
1	Nazwa producenta	-	GenerVolt
2	Typ generatora	-	GV100L-8
3	Nr Fabryczny/data produkcji	-	20200515
4	Rodzaj prądu	-	Trójfazowy
5	Moc znamionowa	kVA	2
6	Rodzaj pracy	-	S1
7	Napięcie znamionowe (międzyfazowe)	V	28 (+ prostownik 3-fazowy)
8	Układ połączeń	-	Y (gwiazda)
9	Prąd znamionowy	A	41,9
10	Prędkość obrotowa znamionowa	Rpm	1020
11	Częstotliwość	Hz	68
12	Sprawność	%	93
13	Współczynnik mocy	-	1
14	Moment znamionowy	Nm	21
15	Masa	Kg	20
16	Stopień ochrony	-	IP55
17	Kierunek wirowania	-	Dowolny
18	Klasa izolacji	-	H
19	Temperatura otoczenia	°C	40
20	Maksymalna temperatura wirnika	°C	80

Tabela 14.4. Parametry znamionowe generatora

14.1. OPIS TECHNOLOGICZNY ZMODERNIZOWANEJ KOMORY CIEPŁOWNICZEJ

Instalacja zasilania wyspowego, znajdująca się w komorze ciepłowniczej na sieci ciepłowniczej Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie (rys. 14.7.), jest instalacją badawczą, na której przeprowadzane są badania i analizy pracy instalacji OFF-Grid. W załączniku nr 11 zostały umieszczone fotografie obrazujące stan komory przed i po modernizacji.



Rys. 14.7. Fragment instalacji w komorze ciepłowniczej (rurociąg ciepłowniczy, turbina, generator, zawór MV1, zawór MV4, przetwornik ciśnienia B31A)

Komora ciepłownicza (rys. 14.8) została zmodernizowana na potrzeby instalacji badawczej zasilania OFF-Grid'owego i wyposażona została w turbinę TRC, zamontowaną na rurociągu (parametry turbiny: typ Etanorm 32-250, 19 m³/h, 30 m, 1020 rpm). Turbina ta napędza generator (parametry generatora: typ GV 100L8, 2 kVA, 28 V, 41,9 A, 1020 rpm, 68Hz).

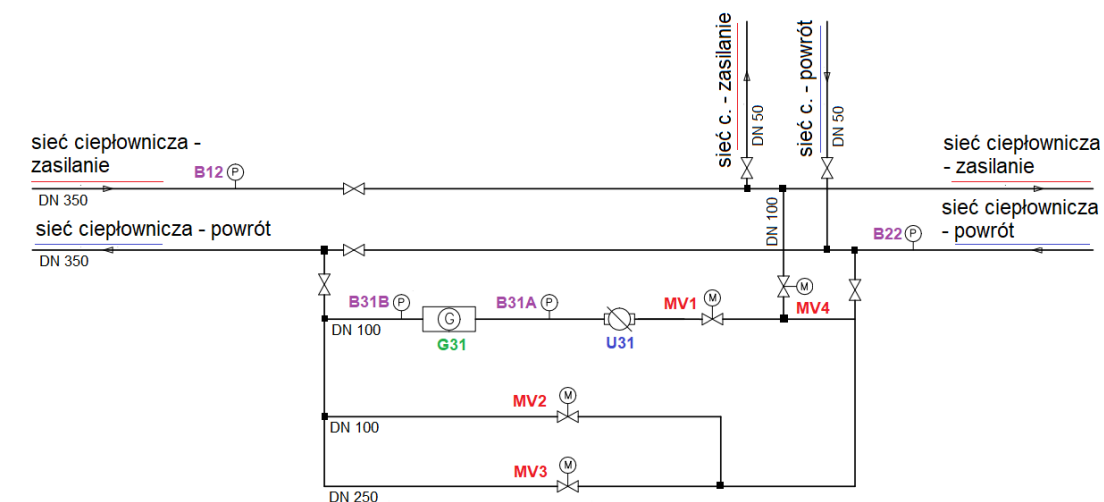
Sieć ciepłownicza znajdująca się w komorze ciepłowniczej została rozbudowana o obejście głównego rurociągu powrotnego (Dn 350), o średnicy Dn 250, rozgałęziające się na trzy odejścia:

- Dn 100 na którym znajdują się turbina wraz z generatorem i zaworem MV1,
- Dn 100 na którym umieszczony jest zawór MV2,
- Dn 250 który wyposażony jest zawór MV3.

Dla zabezpieczenia układu zasilania OFF-Grid’owego przed zbyt niskim przepływem czynnika grzewczego, napędzającego turbinę, dodano na rurociągu ”spinkę” o średnicy Dn 100 (rurociąg łączący zasilanie i powrót sieci ciepłowniczej). Łączy ona główny rurociąg zasilający (Dn 350) z rurociągiem (Dn 100) na którym znajduje się turbina. Wpięcie ”spinki” w rurociąg o średnicy Dn 100 zrealizowane jest przed turbiną, tak aby czynnik grzewczy w rurociągu napędzał turbinę. Otwarcie przepływu czynnika przez by-pass ma być realizowane w przypadku braku pracy turbiny, z powodu małego przepływu na obejściu, przy jednoczesnym zagrożeniu rozładowania akumulatorów.

Rurociąg w komorze ciepłowniczej zaopatrzony został w cztery przetworniki ciśnienia (B12, B22, B31A, B31B), przepływomierz (U31) oraz cztery zawory regulacyjne z napędami elektrycznymi (MV1, MV2, MV3, MV4). Elementy te są zasilane w sposób OFF-Grid’owy. Przetwornik ciśnienia B12 mierzy ciśnienie na głównym rurociągu zasilającym Dn 350, przetwornik B22 służy do pomiaru ciśnienie na głównym rurociągu powrotnym Dn 350 sieci ciepłowniczej, natomiast przetworniki B31A i B 31B mierzą ciśnienie przed i za turbiną. Przepływomierz U31 służy do pomiaru ilości przepływającego czynnika grzewczego przez turbinę. Zawory MV1, MV2, MV3 mają za zadanie pilnowania ciśnienia na rurociągu powrotnym (B22). Zawory MV2 i MV3 utrzymują zadaną dyspozycję oraz nie dopuszczają do przekroczenia ciśnienia powrotu B22. Zawór MV1 ustala odpowiedni punkt pracy turbiny. Czynnik przepływający przez zawór MV1 napędza znajdującą się za nim turbinę. Zawór MV4 otwierany jest wyłącznie w celu awaryjnego naładowania akumulatorów.

Sieć ciepłownicza w komorze została wyposażona w zawory kulowe, które umożliwiają ręczne zamknięcie odcinka sieci ciepłowniczej w przypadku awarii czy też prac konserwacyjnych sieci ciepłowniczej. Zawory kulowe nie biorą udziału w realizacji sterowania komorą w sposób autonomiczny.



Rys. 14.8. Schemat technologiczny komory ciepłowniczej:

G31 - generator wraz z turbiną, MV1, MV2, MV3, MV4 - zawory,
 U31 - przepływomierz, B12, B22, B31A, B31B - przetworniki ciśnienia.

Turbinę zamontowano na obejściu rurociągu powrotnego z powodu niższej temperatury czynnika. Zakładany przepływ wody przez komorę to 97,22 kg/s w okresie zimowym oraz 5,56 kg/s w czasie lata. Główny rurociąg powrotny Dn 350 jest zamknięty i cały czynnik grzewczy przepływa przez zawory MV1, MV2 oraz MV3 czyli obejście stworzone podczas modernizacji komory.

14.2. OPIS SYSTEMU ELEKTRYCZNEGO TESTOWANEGO OBIEKTU

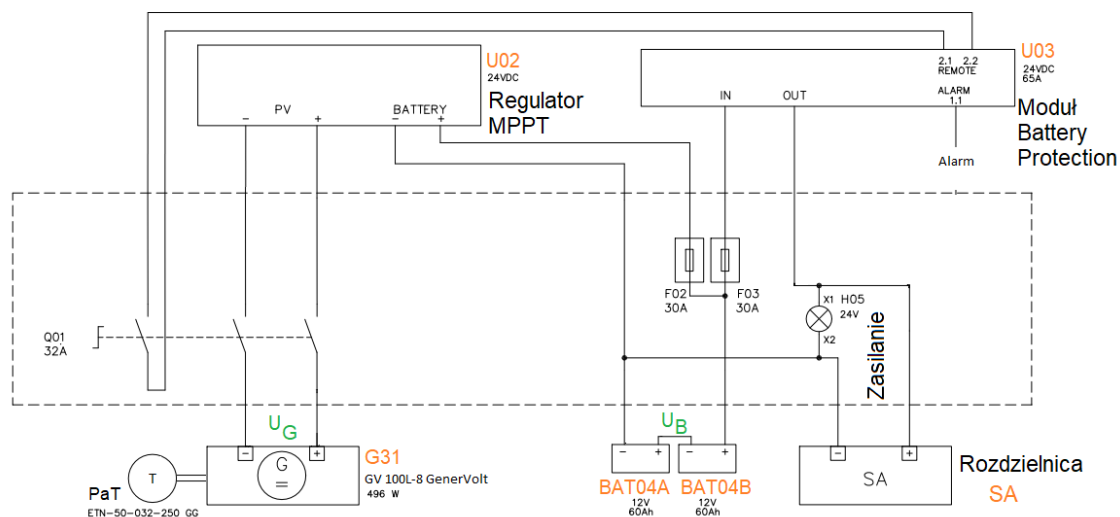
System elektryczny testowanego obiektu został zaprojektowany w oparciu o koncepcję autonomicznego zasilania w trybie OFF-Grid, co zapewnia niezależność energetyczną w zakresie zasilania urządzeń sterujących, oświetleniowych oraz kontrolno-pomiarowych.

14.2.1. OPIS INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ

W skład elektrycznej instalacji badawczej (rys. 14.9.) wchodzi instalacja generatora energii elektrycznej, instalacja zasilania napędów zaworów, pompy odwadniającej, szafek z aparaturą kontrolno – pomiarową i sterowniczą oraz instalacja oświetleniowa. Na instalacji zasilania OFF-Grid'owego realizowane są pomiary ciśnienia, strumienia objętości czynnika grzewczego przepływającego przez turbinę, żądane stopnie otwarcia zaworów wraz z ich rzeczywistymi pozycjami, napięcie wychodzące z generatora po przejściu przez mostek prostowniczy oraz napięcie zasilające urządzenia przez instalacje OFF-Grid'ową. Dla wielkości mierzonych są stworzone dzienniki trendów dla potrzeb archiwizacji danych.

Badawcza instalacja elektryczna zasilania OFF-Grid (rys.14.9.) zbudowana jest w oparciu o generator prądu zmiennego o napięciu w zakresie 24-28 V napędzany turbiną wodną zamontowaną na rurociągu powrotnym sieci ciepłowniczej. Zasilanie z generatora prądu poprzez układ Alternating Current/ Direct Current (AC/DC) wprowadzone jest do regulatora. Przy budowie instalacji wykorzystano solarny regulator ładowania MPPT, który przeznaczony jest do OFF-Grid'owych instalacji fotowoltaicznych, gdzie źródłem napięcia dla regulatora są panele fotowoltaiczne.

Do regulatora ładowania włączone są dwa szeregowo połączone akumulatory o napięciu 12 V i pojemności po 65 Ah. Układ instalacji jest wyposażony w moduł zabezpieczeń akumulatorów, który zapewnia ciągłość zasilania 24 V DC oraz kontrolę ładowania akumulatorów. Urządzenia zamontowane w komorze, tj. napędy elektryczne zaworów, pompa odwadniająca, oświetlenie komory oraz układ sterowania posiadają łącznie maksymalną moc odbiorczą 440 W przy napięciu zasilania 24 V DC.



Rys. 14.9. Schemat instalacji elektrycznej połączenia generatora z regulatorem : G31- turbina wraz z generatorem, U02 - regulator MPPT, U03 - moduł zabezpieczeń akumulatorów, BAT04A, BAT04B - akumulatory, SA - rozdzielnica, Q01 - wyłącznik, F02, F03 - bezpieczniki, H05 – lampka.

14.2.2. CHARAKTERYSTYKA ELEMENTÓW INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ

Układ zasilania wyspowego zbudowany jest z części wytwórczo-magazynującej oraz odbiorczej. Część wytwórczo-magazynującą stanowią generator synchroniczny z magnesami trwałymi, regulator ładowania, moduł zabezpieczenia akumulatorów oraz akumulatory. Do części odbiorczej należą napędy zaworów, pompa odwadniająca, instalacja oświetleniowa oraz szafki elektryczne.

Na instalacji OFF-Grid zainstalowano regulator ładowania z funkcją MPPT, która monitoruje napięcie i natężenie prądu generowane przez generator, wchodzące do regulatora. Regulator MPPT, w przeciwieństwie do tradycyjnych regulatorów Pulse Width Modulation (PWM), może wykorzystać moc maksymalną generowaną przez generator. Dzięki temu ma miejsce lepsze wykorzystanie energii, która jest wykorzystana do ładowania akumulatorów i zasilania odbiorników.

Wykorzystany regulator ładowania w instalacji posiada maksymalne napięcie otwartego obwodu wytwórczego 100 V, prąd znamionowy ładowania wynosi 50 A, napięcie akumulatora wynosi 24 V, a nominalna moc przy tym napięciu to 1400 W. Zakres temperatury roboczej wynosi od minus 30 do plus 60 °C. Ze względów bezpieczeństwa w budowie instalacji wyspowej zastosowano bezpieczne parametry napięcia stałego DC. Napięcie bezpieczne, to napięcie które nie stanowi zagrożenia

dla życia lub zdrowia człowieka. Komora to pomieszczenie które można zaliczyć do środowiska mokrego dla którego wartość napięcia bezpiecznego, dla napięcia stałego (DC) wynosi 30 V.

Zainstalowany moduł zabezpieczenia akumulatorów ma za zadanie zabezpieczyć przed ich całkowitym rozładowaniem, co mogłoby się wiązać z uszkodzeniem akumulatorów. Moduł ten zabezpiecza także akumulatory przed obniżeniem ich mocy poniżej poziomu umożliwiającego rozruch silnika. Funkcja ochronnika akumulatorów realizowana jest poprzez odłączanie akumulatorów od mniej ważnych odbiorników. Moduł zabezpieczeń automatycznie wykrywa napięcie instalacji. Posiada on również ochronę przed przepięciami aby zapobiec uszkodzeniu odbiorników oraz funkcję alarmu o zbyt niskim napięciu w akumulatorze.

Do pierwszej instalacji OFF-Grid'owej, zamontowanej w komorze ciepłowniczej, jako magazynu energii elektrycznej użyto dwóch żelowych akumulatorów połączonych szeregowo o napięciu 12 V i pojemności po 65 Ah.

W niniejszej pracy przedstawiono analizowane parametry pracy instalacji OFF-Grid'owej podczas rzeczywistej pracy komory.

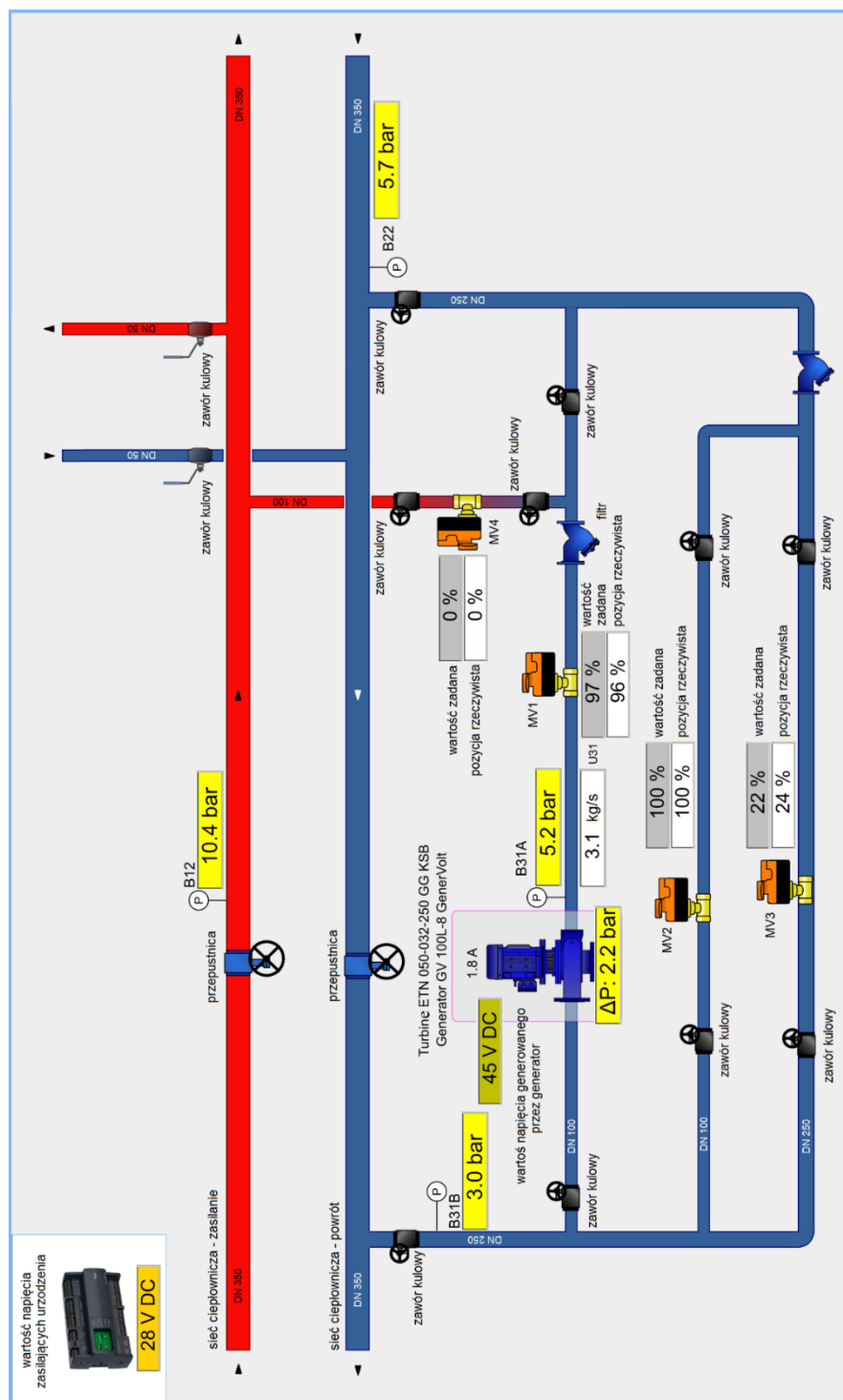
14.2.3. WIELKOŚCI MIERZONE W KOMORZE CIEPŁOWNICZEJ

W komorze ciepłowniczej na instalacji zasilania OFF-Grid'owego realizowane są pomiary wielkości mierzonych.

Pomiary ciśnienia realizowane są za pomocą przetworników ciśnienia, gdzie elementem pomiarowym jest piezorezystancyjny czujnik krzemowy, oddzielony od płynu membraną separującą i dobraną cieczą manometryczną. Zakres pomiarowy przetwornika ciśnienia wynosi od 0 do 2,5 MPa o sygnale wyjściowy 4 – 20 mA. Błąd podstawowy przetworników wynosi $\pm 0,1$ %. Pomiar strumienia objętości czynnika przepływającego przez turbinę realizowany jest za pomocą ultradźwiękowego przetwornika przepływu Axonic o zakresie pomiarowym od 0,1 m³/h do 55 m³/h i dokładności klasy 2 wg PN-EN 1434. Tolerancja pozycjonowania zaworów zamontowanych w komorze wynosi ± 5 %. Pomiary napięć przeprowadzono za pomocą przetworników napięcia MB-1U-1, dla którego maksymalny błąd pomiarowy wynosi 0,5 % oraz błąd przetwarzania $\pm 0,5$ %.

14.2.4. ARCHIWIZACJA DANYCH POMIAROWYCH

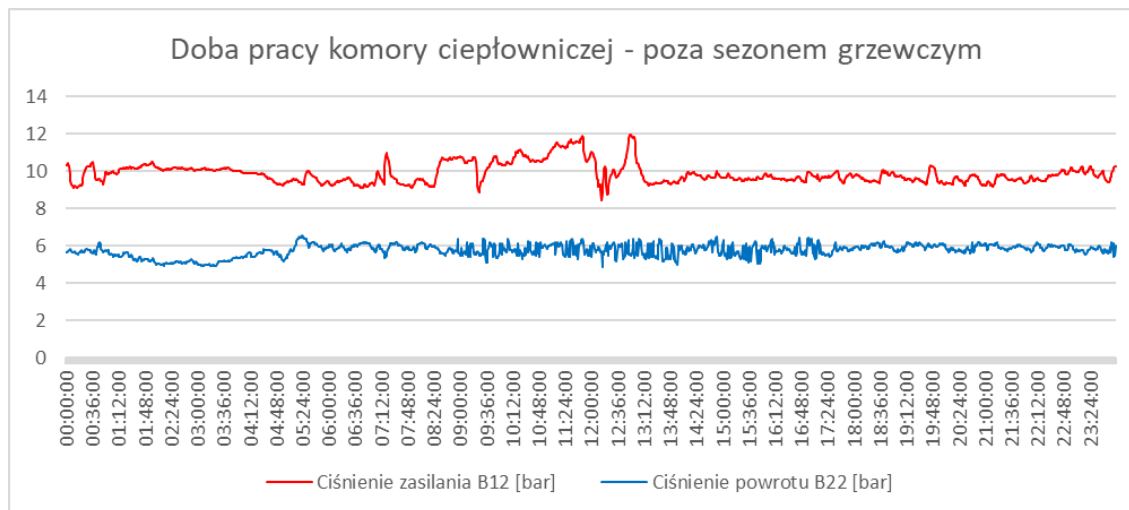
Wszystkie mierzone wielkości archiwizowane są na bieżąco w systemie Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). W systemie tym stworzono również schemat synoptyczny (rys. 14.10.) komory ciepłowniczej na którym widać prace komory w trybie on-line.



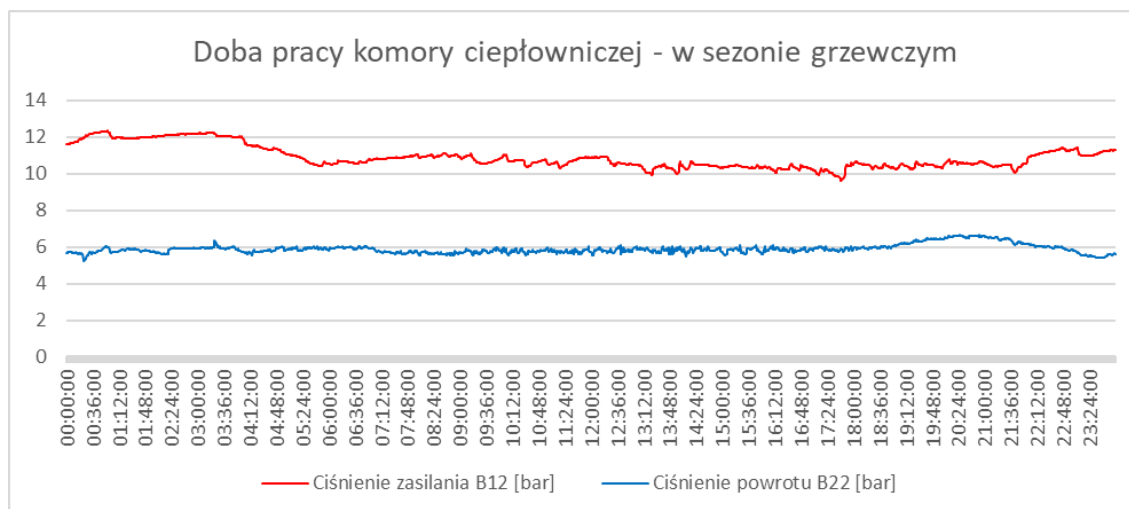
Rys. 14.10. Schemat synoptyczny komory ciepłowniczej w systemie SCADA

14.3. WYNIKI POMIARÓW ORAZ ICH ANALIZA

Pracę systemu OFF-Grid’owego zasilania w sezonie grzewczym przedstawiono na rys. 14.12., 14.14., 14.16. oraz 14.18., natomiast poza sezonem grzewczym na rys. 14.11., 14.13., 14.15. i 14.17. Rysunki od 14.11. do 14.17. przedstawiają dobową serię pomiarową w odstępach minutowych, a rys. 14.18. reprezentuje dobową serię pomiarową w odstępach 5 minutowych. Na rys. 14.11. i 14.12. pokazano wartości ciśnienia na zasilaniu i na powrocie głównego rurociągu sieci ciepłowniczej. Ciśnienie na zasilaniu poza sezonem grzewczym (rys. 14.11.) oscyluje wokół wartości 9,5 bar, a w sezonie grzewczym (rys. 14.12.) zawiera się między 10 bar i 12 bar. Można zaobserwować stabilniejszą pracę sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym zarówno rurociągu zasilającego jak i powrotnego.

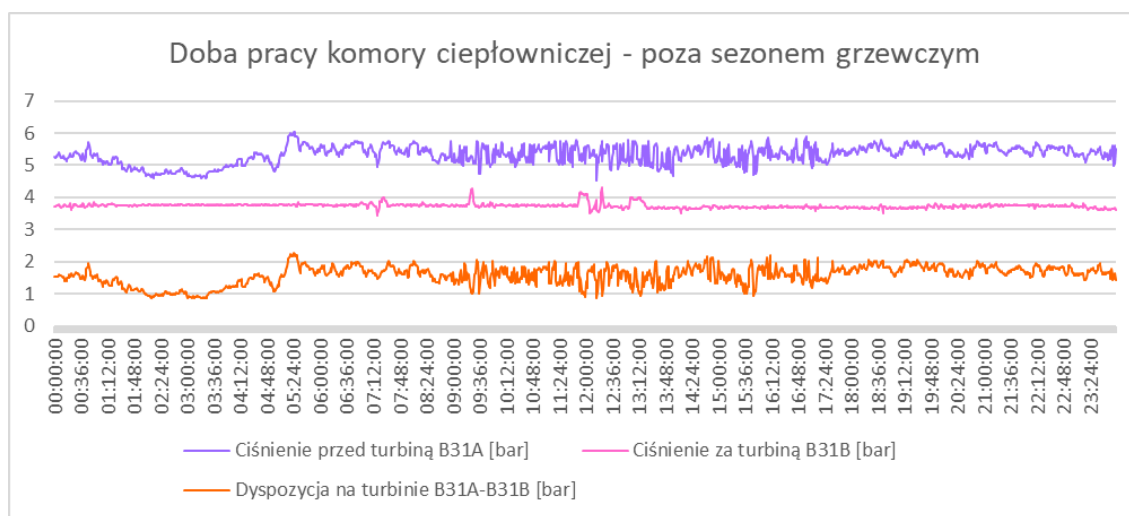


Rys. 14.11. Wartości ciśnień na zasilaniu i powrocie głównego rurociągu sieci ciepłowniczej w komorze – poza sezonem grzewczym

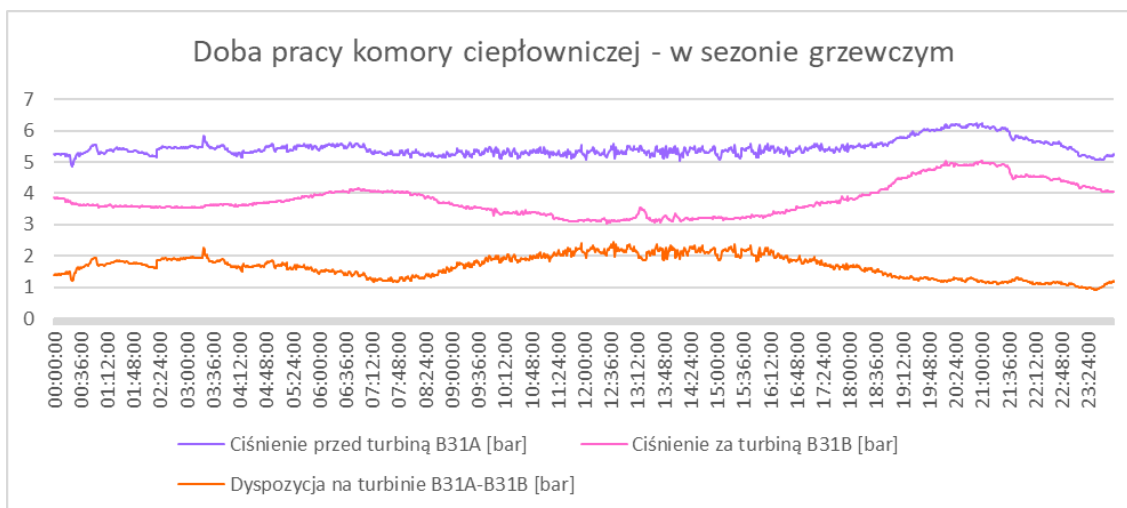


Rys. 14.12. Wartości ciśnień na zasilaniu i powrocie głównego rurociągu sieci ciepłowniczej w komorze – w sezonie grzewczym

Wartości przedstawione na rys. 14.13. i 14.14. przedstawiają, odpowiednio, ciśnienia przed i za turbiną TRC na rurociągu powrotnym poza sezonem grzewczym i w sezonie grzewczym. Ciśnienie przed turbiną w sezonie i poza sezonem grzewczym wynosi około 5,5 bar. W okresie poza sezonem grzewczym widać częstsze i większe wahania ciśnienia na rurociągu w porównaniu do pracy sieci w sezonie. Poza sezonem grzewczym sieć ciepłownicza dostarcza czynnik grzewczy głównie do zasilania instalacji ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), nie ciągły charakter pracy instalacji c.w.u. może powodować wahania ciśnienia sieci ciepłowniczej po za sezonem grzewczym. Ciśnienie za turbiną poza sezonem grzewczym jest stabilniejsze i waha się w okolicach 3,8 bar (rys. 14.13.). W sezonie grzewczym ciśnienie za turbiną także prezentuje się stabilnie (rys. 14.14.). Widoczne są jednak łagodne zmiany z ok. 3 bar do ok. 5 bar w ciągu 5 godzin pracy. Dyspozycja czyli różnica pomiędzy ciśnieniem przed i za turbiną (B31A – B31B) zarówno w sezonie jak i poza sezonem grzewczym waha się pomiędzy 0,9 bar, a 2,2 bar.

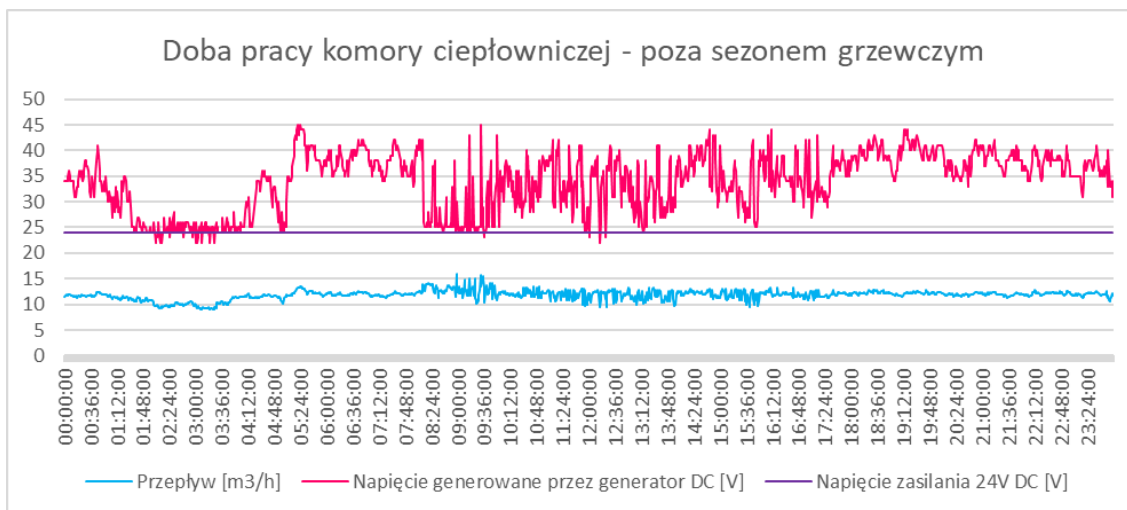


Rys. 14.13. Przebiegi ciśnienia mierzone przed i za turbiną oraz ich dyspozycja w komorze ciepłowniczej – poza sezonem grzewczym

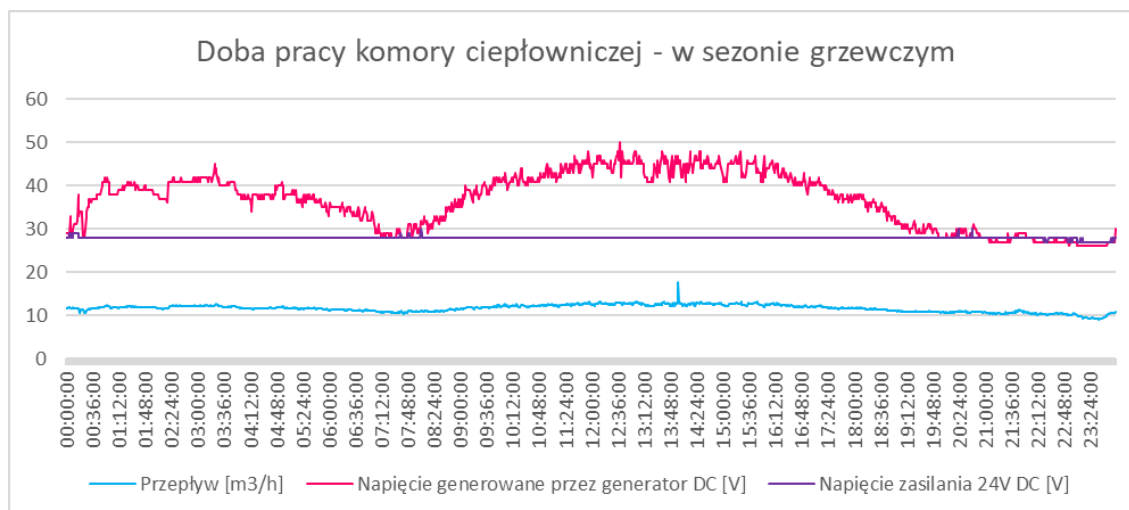


Rys. 14.14. Przebiegi ciśnienia mierzone przed i za turbiną oraz ich dyspozycja w komorze ciepłowniczej – w sezonie grzewczym

Rysunki 14.15. i 14.16. przedstawiają, odpowiednio, poza sezonem grzewczym i w sezonie grzewczym, przebiegi strumienia objętości czynnika grzewczego przepływającego przez turbinę, przebiegi napięcia z generatora po przejściu przez mostek prostowniczy oraz napięcia na akumulatorze.



Rys. 14.15. Przepływ czynnika grzewczego przez turbinę w komorze ciepłowniczej, napięcie wygenerowane przez generator oraz wychodzące z akumulatorów – poza sezonem grzewczym



Rys. 14.16. Przepływ czynnika grzewczego przez turbinę w komorze ciepłowniczej, napięcie wygenerowane przez generator oraz wychodzące z akumulatorów – w sezonie grzewczym

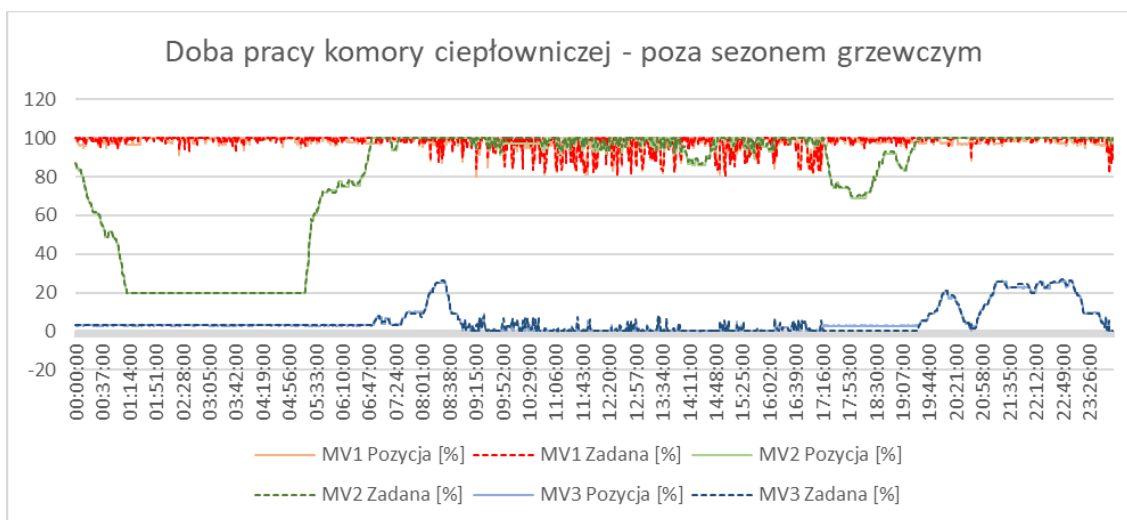
Napięcie na wyjściu akumulatora zasilają odbiorniki wchodzące w skład wyposażenia komory ciepłowniczej i będące częścią systemu zasilania OFF-Grid. Z analizy rysunków wynika, że napięcie na akumulatorze poza sezonem grzewczym wynosi 24 V DC (rys. 14.15.), natomiast w sezonie grzewczym 28 V DC (rys. 14.16.).

Prawidłowy zakres wartości napięcia zasilającego urządzenia wynosi 24 V – 28 V, a za ich wartość odpowiada regulator MPPT. Napięcie na wyjściu generatora poza sezonem grzewczym mocno zmienia swoją wartość i waha się w granicach od 23 V do 40 V DC z pojedynczymi pomiarami w granicach od 40 V do 45 V DC.

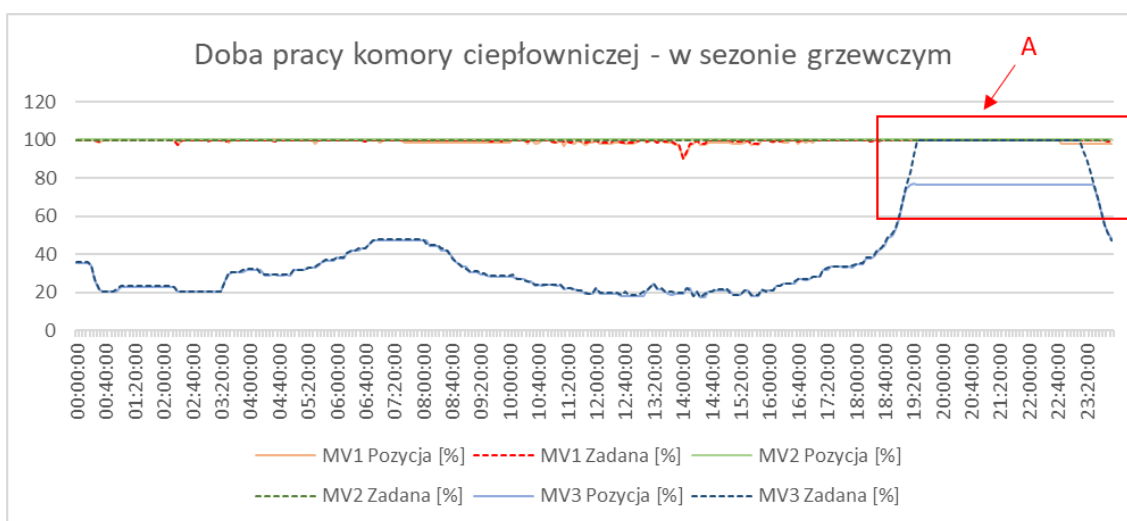
W sezonie grzewczym natomiast napięcie z generatora charakteryzuje się nieco stabilniejszymi wartościami, ale w wyższym zakresie wartości - wynoszą one od ok. 30 V do ok. 48 V DC. Powodem wahań napięcia z generatora są wahania przepływu i ciśnienia sieci ciepłowniczej. Już niewielka zmiana parametrów sieci, przekłada się na wartość generowanego napięcia. Analizując przepływ czynnika grzewczego przez turbinę zauważyć można jego duży wpływ na wartości napięcia na wyjściu z generatora. Przepływ w zakresie 9 m³/h powoduje generowanie napięcia z generatora w granicach 25 V DC. Wzrost przepływu do ok. 12 m³/h przekłada się na napięcie w granicach 48 V DC.

Na kolejnych dwóch rysunkach (rys. 14.17. i 14.18.) przedstawiono pracę zaworów w rzeczywistych warunkach pracy komory. Bardzo przydatne jest skorzystanie z możliwości siłowników, jakim jest sygnał zwrotny reprezentujący

rzeczywiste położenie zaworu. Dzięki porównaniu wartości zadanej z wartością z pozycjonera można wykryć awaryjny stan na sieci. Stan taki widoczny jest w końcowej części rys. 14.18 opisany jako element A, gdy np. pod zawór dostanie się ciało obce niewyłapane przez filtr i zablokuje pracę siłownika. Poza sezonem grzewczym (rys. 14.17) zawór MV3 przeważnie występuje w pozycji zamkniętej z niewielkimi regulacjami w ciągu doby. W sezonie grzewczym natomiast bierze on większy udział w regulacji pracy sieci. Zawory MV1 i MV2, zarówno w sezonie grzewczym jak i poza sezonem, przeważnie są w pozycji otwartej.

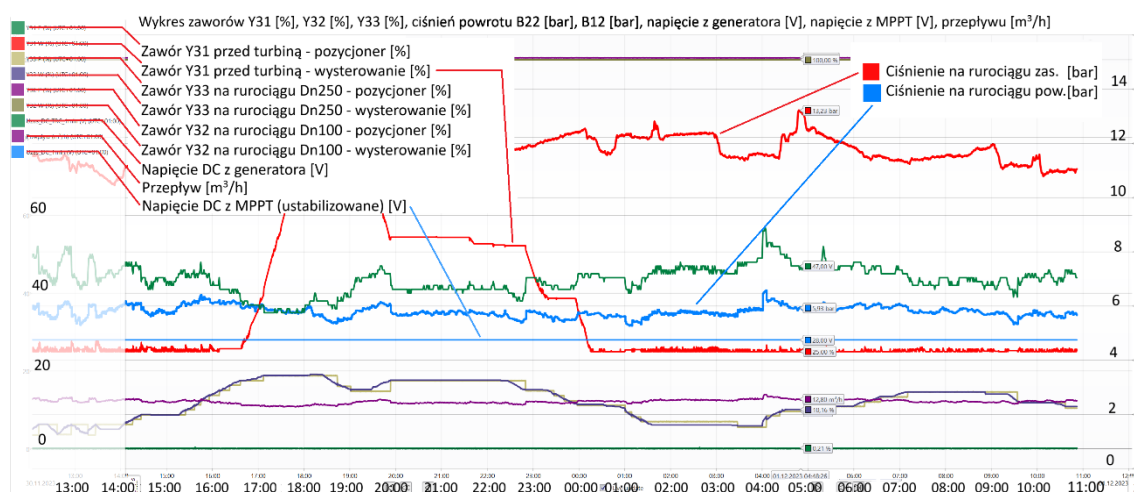


Rys. 14.17. Sygnał zadany oraz pozycjoner zaworów w komorze ciepłowniczej – poza sezonem grzewczym



Rys. 14.18. Sygnał zadany oraz pozycjoner zaworów w komorze ciepłowniczej – w sezonie grzewczym

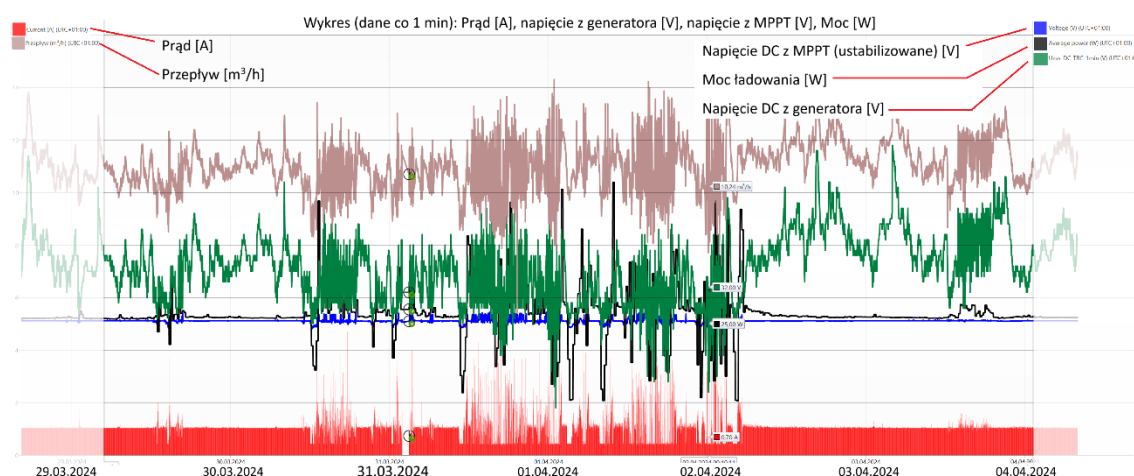
Na rysunku 14.19. przedstawiono zależności pomiędzy parametrami pracy zaworów, ciśnieniem w rurociągach oraz napięciem systemu zasilania OFF-Grid.



Rys. 14.19. Stabilność napięcia z MPPT w systemie OFF-Grid mimo dynamicznych zmian pracy zaworów i parametrów hydraulicznych (ciśnienie, przepływ)

Linie ciśnienia na rurociągach oraz pozycji zaworów wskazują na dynamiczne zmiany w sieci, jednakże napięcie DC z MPPT pozostaje stabilne, co świadczy o skuteczności regulatora MPPT w utrzymywaniu stabilnego napięcia mimo zmian parametrów hydraulicznych. Przepływ i ciśnienie w systemie są stabilizowane przez pracę zaworów, co pozwala na ciągłość zasilania odbiorników.

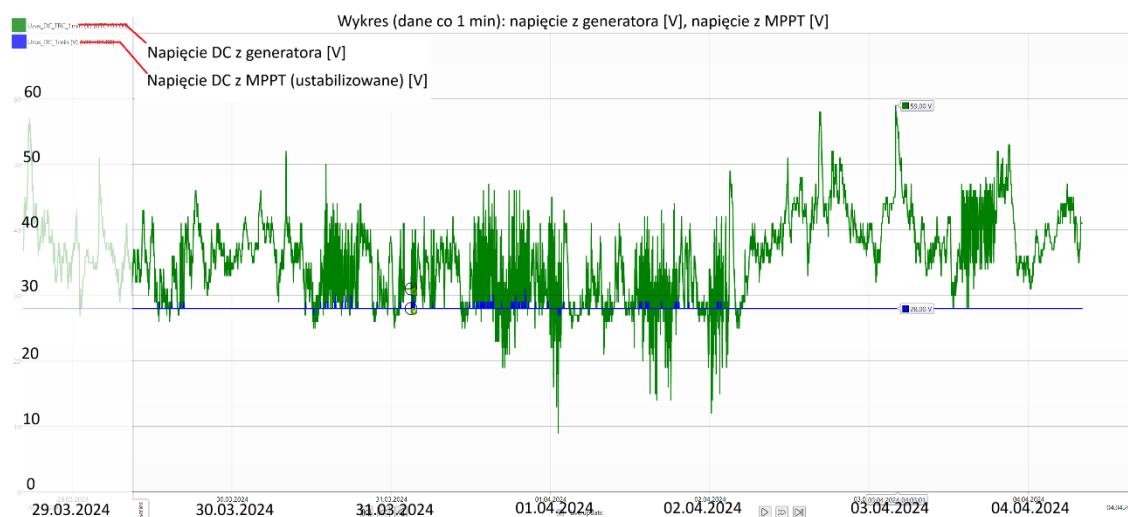
Wykres na rysunku 14.20. przedstawia długoterminową dynamikę prądu, napięcia oraz przepływu w systemie OFF-Grid.



Rys. 14.20. Zmienność napięcia generowanego przez generator i stabilność napięcia wyjściowego zapewniana przez MPPT

Widoczny jest wpływ wahań przepływu czynnika przez turbinę PaT na zmienność prądu ładowania oraz generowanego napięcia. Nagłe spadki napięcia i mocy mogą wynikać z chwilowych przeciążeń lub przerw w zasilaniu generatora.

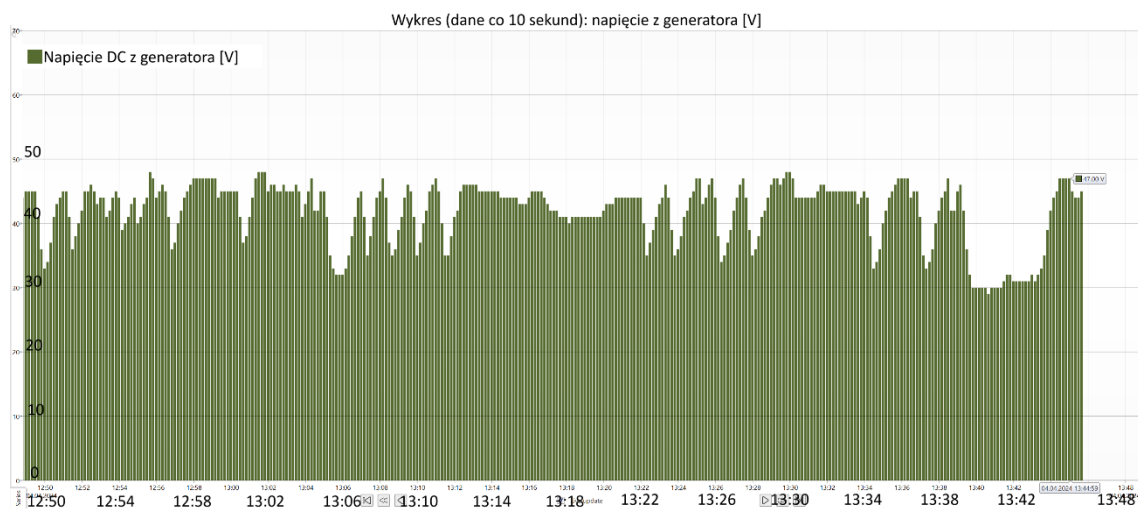
Zaprezentowano dane na rysunku 14.21. wskazujące na różnice między napięciem generowanym a napięciem stabilizowanym przez MPPT.



Rys. 14.21. Analiza zależności między prądem ładowania, mocą i przepływem energii w systemie OFF-Grid na przestrzeni czasu

Generator wykazuje duże fluktuacje napięcia, co jest typowe dla zmiennej pracy generatorów w warunkach OFF-Grid. Stabilizator MPPT skutecznie niweluje te fluktuacje, zapewniając stałe napięcie dla odbiorników, co potwierdza jego kluczową rolę w systemach OFF-Grid.

Wykres na rysunku 14.22. przedstawia niestabilność napięcia bezpośrednio na wyjściu generatora przed stabilizacją przez MPPT.

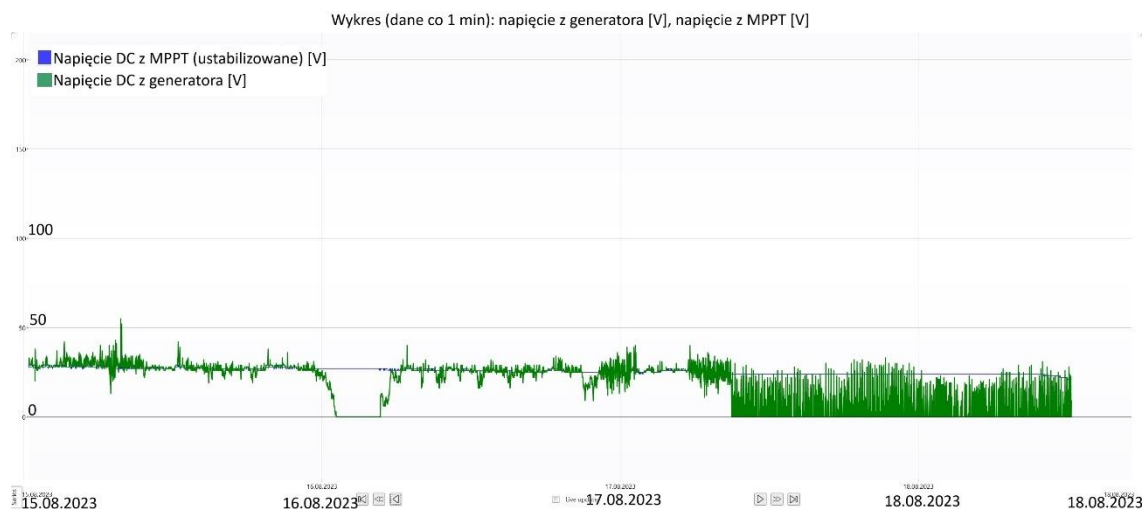


Rys. 14.22. Niestabilność napięcia generowanego przez generator w krótkich interwałach czasowych (pomiar co 10 sekund)

Zmienność napięcia w krótkich interwałach czasowych (co 10 sekund) wskazuje na trudności generatora w utrzymaniu stałej wartości. Takie fluktuacje mogą wynikać z dynamicznego obciążenia lub zmiennych warunków pracy generatora, np. zmian obrotów.

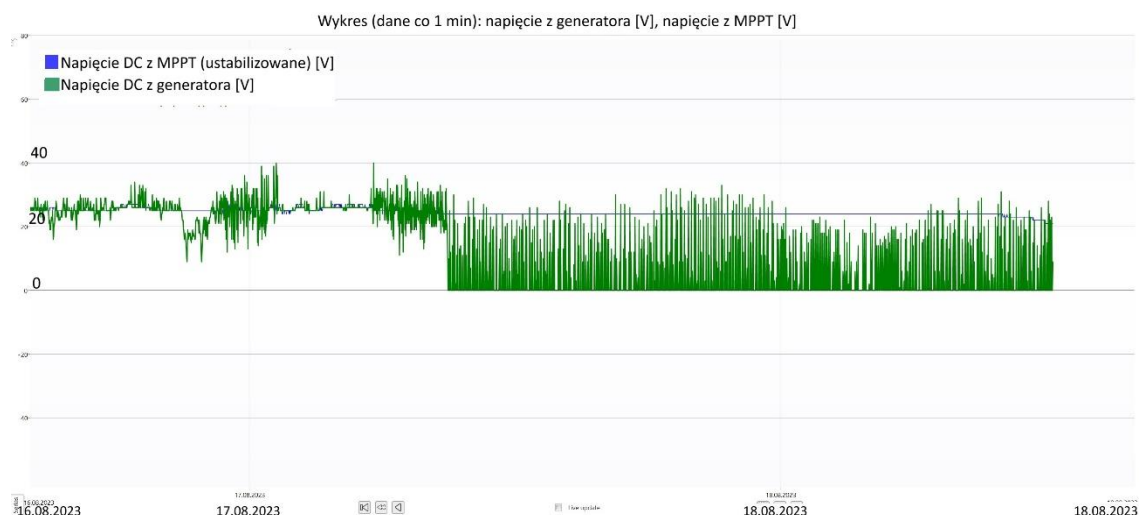
Rysunki 14.23., 14.24. i 14.25. przedstawiają wykresy napięć generowanych przez generator oraz akumulatory.

Na rysunku 14.23. widoczne są napięcia pochodzące z generatora (zielona linia) oraz napięcie stabilizowane przez MPPT (niebieska linia). Widoczny jest moment, w którym generator przestaje dostarczać energię, co jest prawdopodobnie związane z zanikiem napędu turbiny PaT, dlatego postulujemy montaż tachometru pracującego w protokole komunikacyjnym ModBus RTU. W tym okresie stabilizowane napięcie MPPT zaczyna spadać, wskazując na brak produkcji energii. Akumulatory zaczynają się rozładowywać, co w efekcie prowadzi do ich całkowitego rozładowania.



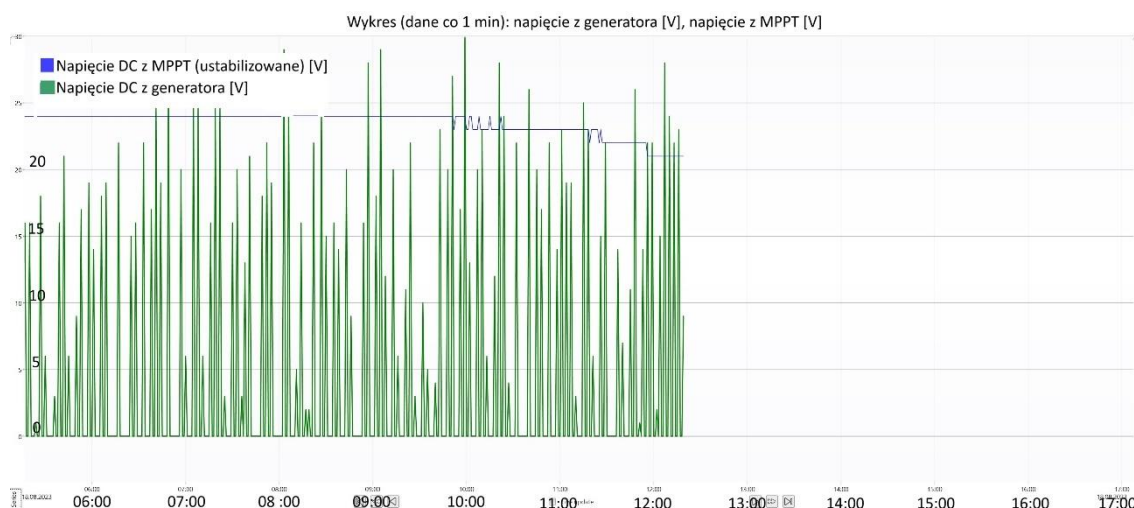
Rys. 14.23. Zmiany napięcia DC pochodzącego z generatora oraz stabilizowanego napięcia. Widoczny moment zaniku energii z generatora

Wykres na rysunku 14.24. również ukazuje brak dostarczanej energii z generatora. Fluktuacje napięcia w końcowej fazie mogą wynikać z prób stabilizacji napięcia przez system lub przejścia w tryb awaryjny. Napięcie akumulatorów stopniowo się obniża, co jest konsekwencją ich rozładowywania, gdy system nie ma dostępu do źródeł zasilania.



Rys. 14.24. Zmiany napięcia DC pochodzącego z generatora oraz stabilizowanego napięcia. Przedstawiono wpływ fluktuacji napięcia z generatora na napięcie wyjściowe

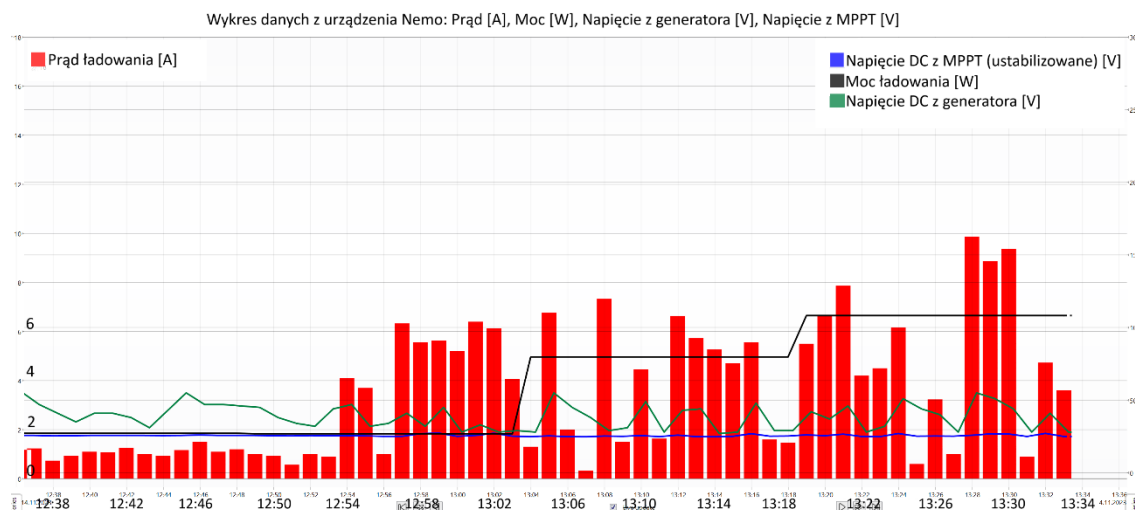
Rysunek 14.25. skoncentrowany na krótszym przedziale czasowym, wyraźnie pokazuje dynamiczne wahania napięcia generatora tuż przed jego całkowitym zanikiem. Stabilizowane napięcie MPPT również wykazuje niestabilności, zanim przechodzi w stan spadkowy, co odzwierciedla wyczerpywanie się energii zgromadzonej w akumulatorach.



Rys. 14.25. Krótkoterminowe zmiany napięcia DC z generatora i napięcia stabilizowanego przez MPPT. Widoczny brak zasilania z generatora oraz spadek napięcia akumulatorów prowadzący do ich rozładowania

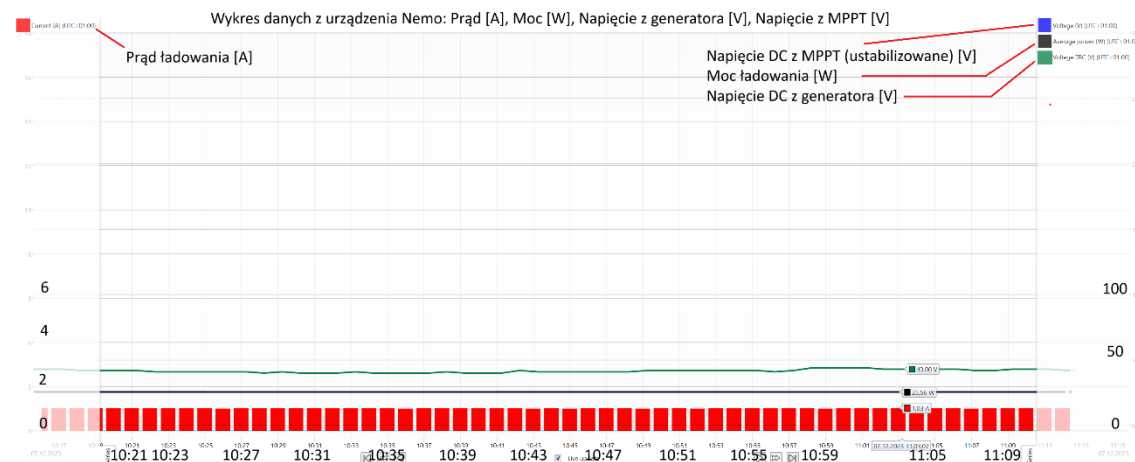
Zanikanie napięcia z generatora jest bezpośrednim skutkiem braku energii do napędu turbiny. W sytuacji braku produkcji energii system przechodzi na zasilanie z akumulatorów. Spadek ich napięcia wskazuje na rozładowywanie się do momentu osiągnięcia minimalnego poziomu naładowania, po czym system przestaje działać. Akumulatory pracowały w trybie podtrzymywania zasilania przez około 32 godziny.

Na rysunkach 14.26. i 14.27. widoczne są wykresy prądu ładowania, mocy ładowania oraz napięć. Rysunek 14.26. pokazuje wzrost prądu ładowania w momencie zwiększonego zapotrzebowania na energię, np. podczas ładowania akumulatorów. Przebieg mocy ładowania jest proporcjonalny do prądu ładowania, co jest zgodne z równaniem $P=U \cdot I$. Stabilizowane napięcie z MPPT (niebieska linia) oraz napięcie generatora (zielona linia) pozostają względnie stabilne podczas zwiększenia prądu ładowania.



Rys. 14.26. Wzrost prądu ładowania oraz mocy ładowania w momencie rozpoczęcia ładowania akumulatorów. Przedstawiono napięcie DC z generatora oraz stabilizowane napięcie MPPT podczas pracy systemu OFF-Grid

Rysunek 14.27. przedstawia bardziej stabilny okres, gdzie prąd ładowania jest na niskim poziomie, a akumulatory są w pełni naładowane. Układ działa w stanie równowagi, a generator pracuje w trybie zminimalizowanego obciążenia.



Rys. 14.27. Spokojna praca systemu OFF-Grid z minimalnym prądem ładowania. Akumulatory są w pełni naładowane, a generator pracuje z niskim obciążeniem

Wzrost prądu ładowania na rysunku 14.26. odpowiada na zapotrzebowanie energetyczne systemu, podczas gdy stabilne warunki (rysunek 14.27.) wskazują na równowagę pracy w trybie OFF-Grid. MPPT skutecznie zarządza procesem ładowania, dostosowując parametry pracy do aktualnych wymagań systemu.

Na rysunku 14.28. przedstawiono dane z systemu SCADA w momencie aktywacji modułu Battery Protect, który sygnalizuje krytycznie niski poziom napięcia akumulatorów. Moduł Battery Protect odpowiada za ochronę akumulatorów przed głębokim rozładowaniem, które mogłoby doprowadzić do ich trwałego uszkodzenia. Zarejestrowane zdarzenie stanowi istotną informację diagnostyczną, umożliwiającą analizę przyczyn wyczerpania akumulatorów (np. niewystarczające ładowanie, zbyt duże obciążenie lub brak zasilania z generatora).

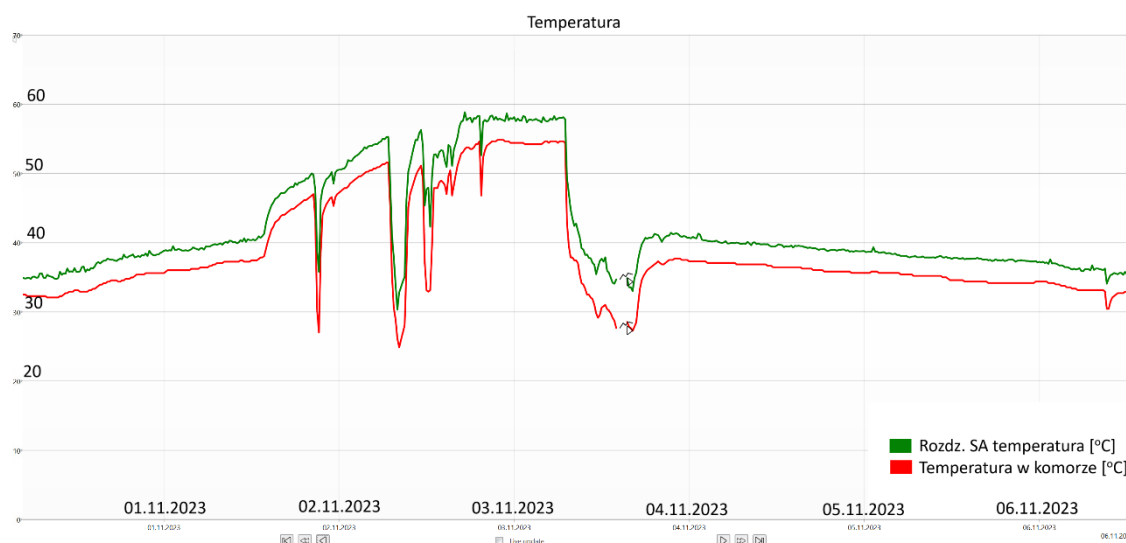
The screenshot displays the Schneider Electric EcoStruxure Building Operation software interface. The top bar shows the user 'wisniewski' and the connection status 'Connected to: Central'. The main window is divided into several panes. On the left, there's a 'System line' pane showing a tree structure with 'Central' selected. The central pane shows the 'Properties' of the selected object, with tabs for 'List View', 'Quick filter', and 'Description'. The 'Description' tab is active, showing a list of servers. On the right, there's an 'Alarms' pane showing a list of active alarms. A red arrow points from the text 'Informacja z BatteryProtect: Alarm Ubat_MIN (niski stan napięcia akumulatorów)' to the 'Alarms' pane, specifically to the first alarm entry.

Informacja z BatteryProtect: Alarm Ubat_MIN (niski stan napięcia akumulatorów)

State	Count	Priority	Triggered time	Source name	Source	Alarm text	System alarm ID	Timestamp	Acknowledged by	Category
✓	1	100	31.07.2023 08:31:15	Komora 7WKG-ZTPO	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego System Server Communication to Komora 7WKG-ZTPO	System alarm: Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego <-> Komora 7WKG-ZTPO	Communication failed	31.07.2023 08:31:15	czadzb	System alarm
✓	3	100	22.02.2021 09:55:55	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network	System alarm: Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network	Network offline	21.08.2023 10:49:27		System alarm
✓	18	100	10.02.2021 12:45:36	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_DC IFIC	System alarm: Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_DC IFIC	Device offline	21.08.2023 10:49:29		System alarm
✓	4	100	10.02.2021 12:49:42	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_ZAV DC	System alarm: Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_ZAV DC	Device offline	21.08.2023 10:49:29		System alarm
✓	12	100	25.02.2021 21:20:02	BatteryProtect5 Ubat_MIN Alarm	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Alarmy BatteryProtect5 Ubat_MIN Alarm	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Alarmy BatteryProtect5 Ubat_MIN Alarm	Device offline	21.08.2023 10:49:30		System alarm
✓	21	100	22.02.2021 09:55:44	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_ZAV DC	Komora 1WKV11 TA II Pukli Lotniczego Master Network MAX-MB-1U-1 Ugen_ZAV DC	Device offline	21.08.2023 10:49:30		System alarm

Rys. 14.28. Sygnalizacja niskiego napięcia akumulatorów przez moduł Battery Protect w systemie SCADA

Rysunek 14.29. ilustruje wpływ awarii sieci ciepłowniczej na wzrost temperatury w komorze oraz szafie sterowniczej systemu.



Rys. 14.29. Wzrost temperatury w szafie sterowniczej i komorze w wyniku awarii sieci ciepłowniczej

Na przedstawionym wykresie zaobserwować można gwałtowny wzrost temperatury zarówno w szafie sterowniczej, jak i w komorze ciepłowniczej. Zjawisko to jest bezpośrednio związane z awarią sieci ciepłowniczej, która spowodowała niekontrolowane wydostanie się czynnika grzewczego o wysokich parametrach (temperatura i ciśnienie) z rurociągu grzewczego. Dane zarejestrowane przez system monitorowania wskazują na dynamiczny przebieg tego procesu, co jest typowe dla sytuacji awaryjnych związanych z nagłym uwolnieniem energii cieplnej.

Przekroczenie nominalnych parametrów termicznych w szafie sterowniczej może prowadzić do zakłóceń w pracy urządzeń kontrolnych, co dodatkowo podkreśla wagę szybkiej identyfikacji i usunięcia przyczyny awarii. Analiza tego wykresu pozwala na identyfikację kluczowych momentów zdarzenia oraz ocenę jego wpływu na systemy znajdujące się w zasięgu oddziaływania czynnika grzewczego.

14.4 PORÓWNANIE OBIEKTU O ZASILANIU AUTONOMICZNYM Z INNYMI INSTALACJAMI

1. Porównanie instalacji elektrycznych Obiektu 1 (ON-Grid) i Obiektu 3 (OFF-Grid)

Rodzaj systemu zasilania

- Obiekt 1 (ON-Grid): Podłączony do sieci elektroenergetycznej (ON-Grid).
- Obiekt 3 (OFF-Grid): System autonomiczny (OFF-Grid), działający niezależnie od sieci elektroenergetycznej i wykorzystujący lokalne źródło energii z turbiny.

W tabeli 14.5. umieszczono dane o instalacjach elektrycznych obiektu 1 i 3 - porównanie komór ciepłowniczych o zasilaniu ON-Grid i OFF-grid.

Element	Obiekt 1 (ON-Grid)	Obiekt 3 (OFF-Grid)
Rodzaj systemu	Sieciowy (ON-Grid)	Wyspowy (OFF-Grid)
Źródło energii	Sieć elektroenergetyczna	Turbina ETN 050-032-250 GG + generator GV100L-8
Napięcie nominalne	400V	28V (z prostownikiem 3-fazowym)

Tabela 14.5. Dane instalacji elektrycznych obiektu 1 i 3

Obiekt 1 (ON-Grid) korzysta z energii z sieci elektroenergetycznej, nie wymaga lokalnego źródła energii ani zarządzania produkcją energii elektrycznej. Instalacja zasilana bezpośrednio z sieci.

Obiekt 3 (OFF-Grid) posiada własny generator i wymaga precyzyjnego zarządzania energią, aby zapewnić ciągłość działania systemu. System autonomiczny, wymagający własnego źródła energii (turbiny i generatora) oraz zaawansowanych systemów regulacji napięcia.

Oba obiekty wykorzystują SCADA do monitoringu i kontroli, ale różnią się w zakresie dostępu do energii – Obiekt 1 działa dzięki zewnętrznemu zasilaniu, a Obiekt 3 pracuje samodzielnie w trybie OFF-Grid.

2. Porównanie instalacji elektrycznych Obiektu 2 (ON-Grid) i Obiektu 3 (OFF-Grid)

Rodzaj systemu elektrycznego

- Obiekt 2 (ON-Grid): Instalacja elektryczna podłączona do sieci elektroenergetycznej, co pozwala na przesył nadwyżek energii do systemu elektroenergetycznego. Zastosowano generator GV132S-8 o napięciu 400V i mocy 4 kVA.
- Obiekt 3 (OFF-Grid): Instalacja całkowicie autonomiczna, działająca w trybie wyspowym (niepodłączona do sieci). Generator GV100L-8 zasilą system lokalnie przy napięciu 28V, z dodatkowym prostownikiem trójfazowym.

W tabeli 14.6. umieszczono dane o instalacjach elektrycznych obiektu 2 i 3 - porównanie instalacji z układami turbina - generator o zasilaniu ON-Grid i OFF-grid.

Element	Obiekt 2 (ON-Grid)	Obiekt 3 (OFF-Grid)
Rodzaj systemu	Sieciowy (ON-Grid)	Wyspowy (OFF-Grid)
Źródło energii	Turbina TRC + generator GV132S-8	Turbina ETN 050-032-250 GG + generator GV100L-8
Napięcie nominalne	400V	28V (z prostownikiem 3-fazowym)

Tabela 14.6. Dane instalacji elektrycznych obiektu 2 i 3

Obiekt 2 (ON-Grid) korzysta z falownika do synchronizacji energii z siecią i umożliwia przesył nadwyżek energii. Pracuje na standardowym napięciu sieciowym (400V). Jego instalacja elektryczna jest bardziej rozbudowana pod kątem integracji z siecią, co wymaga synchronizacji napięcia i odpowiednich zabezpieczeń.

Obiekt 3 (OFF-Grid) wykorzystuje lokalny system sterowania i zabezpieczeń, ponieważ nie ma dostępu do sieci zewnętrznej. operuje na niższym napięciu (28V), co wymaga prostownika 3-fazowego do stabilizacji. Działa jako autonomiczny system zasilania, który nie wymaga synchronizacji z siecią, ale musi posiadać bardziej zaawansowane systemy sterowania i regulacji napięcia, aby zapewnić stabilność operacyjną.

Oba obiekty stosują systemy automatyzacji i kontroli w oparciu o SCADA, ale ich funkcjonalność różni się w zależności od trybu pracy (sieciowego

lub wyspowego). Ważnym aspektem porównywanych obiektów jest ich lokalizacja. Obiekt 2, zasilany napięciem 400 V, znajduje się w obiekcie ciepłowniczym będącym na powierzchni, natomiast Obiekt 3, zasilany napięciem 24–28 V, jest zlokalizowany pod ziemią.

15. INSTRUKCJA EKSPLOATACJI KOMORY 1WKVII/1A

Eksploracja komory ciepłowniczej wymaga przestrzegania określonych procedur i zasad, które mają na celu zapewnienie bezpieczeństwa, efektywności pracy oraz utrzymanie instalacji w należytym stanie technicznym. W poniższym dokumencie przedstawiono szczegółowe wytyczne dotyczące obsługi, monitorowania, konserwacji oraz reagowania na sytuacje awaryjne w komorze ciepłowniczej.

15.1. WSTĘP

Instrukcja eksploatacji komory ciepłowniczej została opracowana w celu zapewnienia optymalnego funkcjonowania instalacji zasilanej w systemie OFF-Grid. Dokument zawiera opis podstawowych zasad użytkowania urządzeń, procedury konserwacyjne, a także wytyczne dotyczące bezpieczeństwa pracy.

Celem niniejszego dokumentu jest ułatwienie obsługi komory, minimalizacja ryzyka awarii oraz zapewnienie ciągłości dostaw ciepła do odbiorców oraz energii do zasilania urządzeń komry.

15.1.1. CEL OPRACOWANIA INSTRUKCJI

Niniejsza instrukcja została opracowana w celu zapewnienia bezpiecznej i efektywnej eksploatacji komory ciepłowniczej 1WKVII/1A. Celem dokumentu jest także ograniczenie ryzyka awarii, optymalizacja pracy urządzeń oraz ułatwienie realizacji codziennych czynności eksploatacyjnych i procedur awaryjnych.

15.1.2. ZAKRES STOSOWANIA

Instrukcja dotyczy procedur operacyjnych, konserwacyjnych oraz postępowania w sytuacjach awaryjnych dla komory 1WKVII/1A, zlokalizowanej na osiedlu 2 Pułku Lotniczego w Krakowie. Zawiera informacje na temat obsługi urządzeń technicznych, systemów sterowania oraz zasilania rezerwowego.

15.1.3 PODSTAWY PRAWNE I NORMY

Opracowanie instrukcji uwzględnia wymagania wynikające z przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) oraz norm technicznych obowiązujących w branży energetyki ciepłowniczej. Dokument opiera się na standardach technologicznych, zaleceniach producentów urządzeń oraz dokumentacji projektowej.

15.1.4 ZAKRES ODPOWIEDZIALNOŚCI

Za wdrożenie i przestrzeganie niniejszej instrukcji odpowiedzialni są pracownicy zatrudnieni na stanowiskach dozoru technicznego oraz eksploatacji. Instrukcja jest również przeznaczona dla zespołów serwisowych odpowiedzialnych za konserwację i usuwanie awarii.

15.1.5 STRUKTURA DOKUMENTU

Instrukcja składa się z następujących sekcji:

- Wymagania dla personelu,
- Charakterystyka obiektu,
- Procedury eksploatacyjne i awaryjne,
- Wartości napięć i parametry techniczne,
- Wytyczne dla pracy ręcznej i automatycznej.

15.2. WYMAGANIA DLA PERSONELU

Pracownicy obsługujący komorę ciepłowniczą powinni posiadać ważne orzeczenie lekarskie wydane przez lekarza medycyny pracy, odpowiednie do charakteru wykonywanych obowiązków.

15.3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Komora 1WKVII/1A zlokalizowana jest na osiedlu 2 Pułku Lotniczego w Krakowie. Szczegóły lokalizacyjne i podstawowe dane przedstawiono w Tabeli 15.1. oraz na schemacie sytuacyjnym (rys. 15.1.)



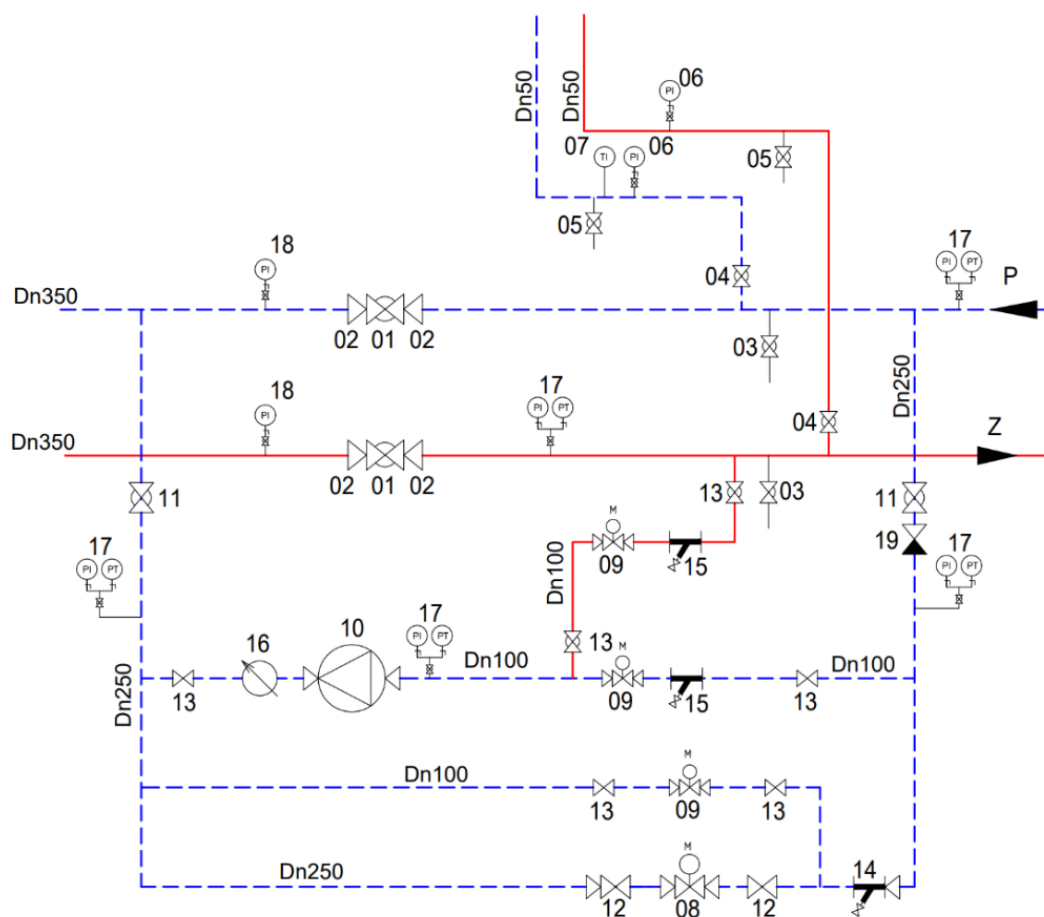
Rys. 15.1. Plan sytuacyjny komory – os. 2 Pułku Lotniczego

Nazwa	1WKVII/1A
Rodzaj	Budowlana
Funkcja	Rozdzielcza
Własność	Własny
Zakład eksploatacyjny	Wschód

Tabela 15.1. Dane ogólne obiektu

15.3.1. ELEMENTY KOMORY

Schemat technologiczny komory wraz z wykazem elementów przedstawiono na Rys. 15.2 natomiast jej elementy zestawiono w Tabeli 15.2.



Rys. 15.2. Schemat technologiczny komory 1WKVII/1A

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość
01	Przepustnica Dn 300	2
02	Zwężka symetryczna Dn 350/300	4
03	Spust z zaworem kulowym Dn 80	2
04	Zawór kulowy Dn 50	2
05	Spust z zaworem kulowym Dn 20	2
06	Manometr z zaworem Dn 15	2
07	Termometr	1
08	Zawór regulacyjny grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H6125S BELIMO, Dn 125, PN16 kvs 200 + siłownik elektryczny (RV24A-SR BELIMO)	1

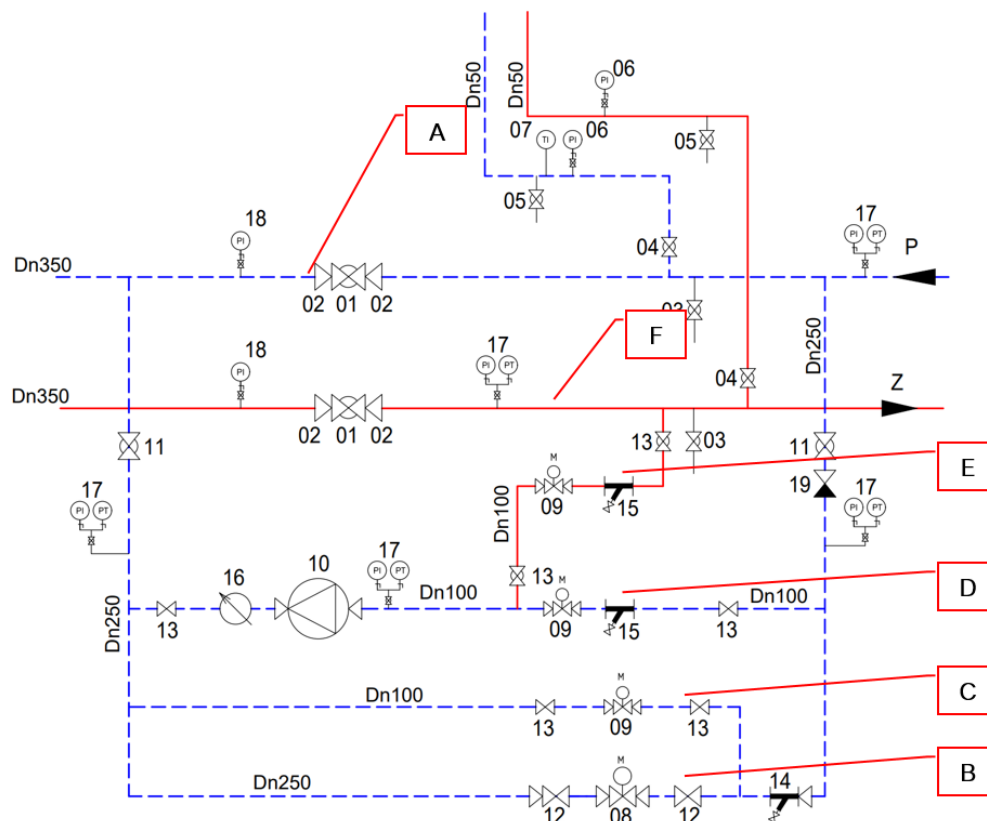
09	Zawór regulacyjny grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H640S BELIMO, Dn 40, PN16 kvs 25 + siłownik elektryczny (SV24A-SR-TPC BELIMO)	3
10	Turbina ETN 050-032-250 GG KSB, Dn 50, PN 16 + generator	1
11	Zawór kulowy Dn 250 z przekładnią ślimakową VEXVE	2
12	Zawór kulowy Dn 200 z przekładnią ślimakową VEXVE	2
13	Zawór kulowy Dn 100 z przekładnią ślimakową VEXVE	6
14	Filtr kołnierzowy Dn 200 fig. 821 ZETKAMA + zawór kulowy VEXVE Dn 40	1
15	Filtr kołnierzowy Dn 100 fig. 821 ZETKAMA + zawór kulowy VEXVE Dn 40	2
16	Ultradźwiękowy licznik ciepła z przelicznikiem CF55+US AXONIC Dn 65 Qn 25 ITRON POLSKA	1
17	Przetwornik ciśnienia typu APC 2000, zakres pracy 0 – 2,5 MPa, Tn 150°C, wraz z kurkiem manometrycznym o przyłączy gwintowanym M20x1,5	3
18	Manometr z zaworem Dn 15	2
19	Zawór zwrotny między kołnierzowy Dn 250 Pn 25 ZETKAMA	1

Tabela 15.2. Elementy komory według rysunku 15.2.

15.3.2. TECHNOLOGIA KOMORY

Komora 1WKVII/1A została zaprojektowana z uwzględnieniem warunków pracy zimowej i letniej (rys. 15.3.). Elementy kluczowe komory podano poniżej:

- Sieciowy rurociąg powrotny z obejściem zasuwy sekcyjnej Dn250, wyposażony w zawory kulowe i filtry siatkowe.
- Dodatkowy obieg z turbiną ETN 050-032-250 GG KSB (Dn50, PN16) do generowania energii elektrycznej.
- Układ bypass dla przepływów letnich.



Rys. 15.3. Schemat technologiczny komory 1WKVII/1A; sieciowy rurociąg powrotny (A), zawór regulacyjny na okres zimowy (B), zawór regulacyjny na okres letni (C), zawór regulacyjny zarządzający przepływem przez turbinę (D), zawór regulacyjny zarządzający "spinką" (E), sieciowy rurociąg zasilający (F)

Na sieciowym rurociągu powrotnym znajduje się obejście zasuwy sekcyjnej rurociągiem Dn250. Na obejściu Dn250 zamontowano zawory kulowe Dn250, a pomiędzy zaworami: filtr sitkowy Dn250 + zawór kulowy Dn40 umożliwiający czyszczenie bez demontażu filtra, 2 sztuki zaworów kulowych Dn200, 1 zawór regulacyjny na okres zimowy (350 t/h) – typ H6125S BELIMO, Dn125, PN16 kvs220 + siłownik elektryczny RV24A-SR BELIMO.

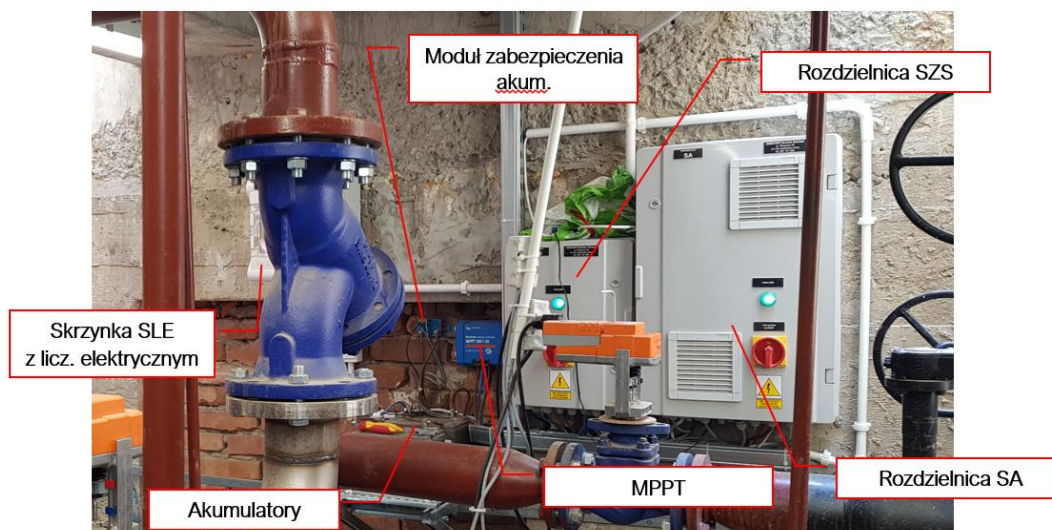
Dla okresu letniego (20 t/h) zaprojektowano obejście głównego zaworu regulacyjnego rurociągiem Dn100, na którym zamontowano: 2 sztuki zaworów kulowych Dn100, 1 zawór regulacyjny na okres letni (20 t/h) – typ H640S BELIMO, Dn40, PN 6 kvs 25 + siłownik elektryczny SV24A-SR-TPC BELIMO.

Dla wytworzenia energii elektrycznej potrzebnej do napędu siłowników zaworów regulacyjnych przewidziano zastosowanie dodatkowego obiegu Dn100 składającego się z: 2 sztuki zaworów kulowych Dn100, filtra siatkowego Dn100 +

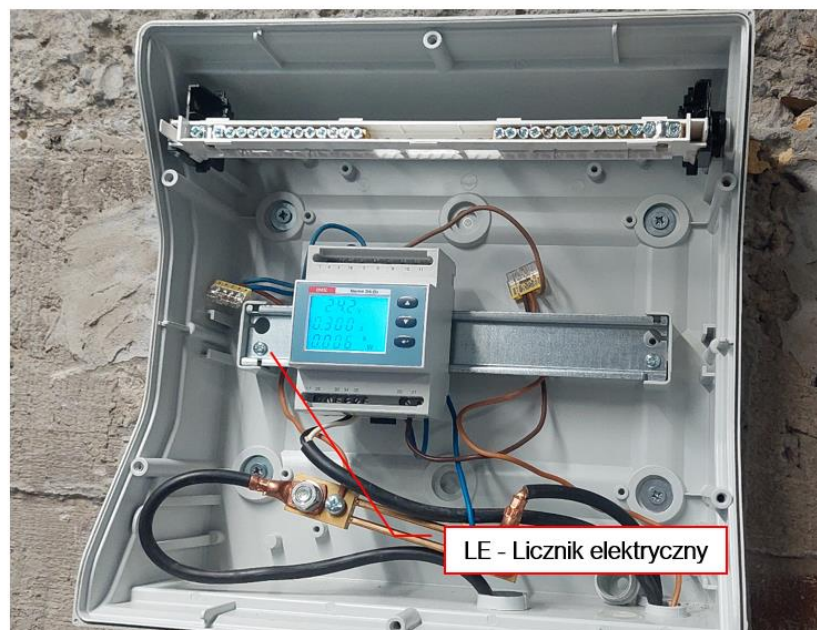
zawór kulowy Dn40 umożliwiający czyszczenie bez demontażu filtra, 1 zaworu regulacyjnego – typ H640S BELIMO, Dn 40, PN 16 kvs 25 + siłownik elektryczny SV24A-SR-TPC BELIMO, turbiny ETN 050-0320250 GG KSB, Dn50, PN16, ultradźwiękowego licznik ciepła z przelicznikiem CF55 + US AXONIC Dn65 Qn25 ITRON.

Dla okresu letniego, w przypadku zbyt niskiego przepływu wody sieciowej w przewodzie powrotnym, znajduje się spięcie Dn 100 z zaworem regulacyjnym – rurociągu zasilającego turbinę z rurociągiem zasilającym Dn350. Na spięciu Dn100 zamontowano również dwa zawory kulowe Dn100, w przypadku potrzeby zamknięcia spięcia.

Rysunki 15.4., 15.5., 15.6. ilustrują komponenty układu elektrycznego zainstalowanego w komorze ciepłowniczej o zasilaniu OFF-Grid.



Rys. 15.4. Komora 1WKVII/1A – ściana południowa; moduł zabezpieczenia akumulatorów, MPPT, akumulatory, skrzynka SLE z licznikiem elektrycznym, rozdzielnica SZS, rozdzielnica SA



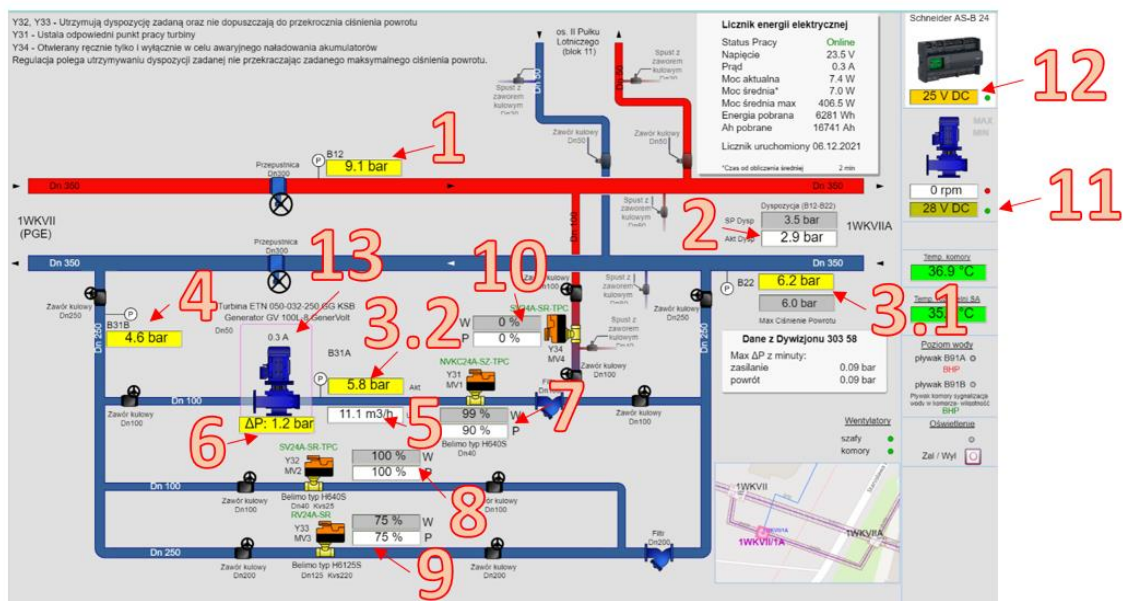
Rys. 15.5. Skrzynka SLE z licznikiem elektrycznym; LE – miernik parametrów sieci prądu stałego – IME Nemo D4-DC



Rys. 15.6. Elementy układu zasilania OFF-Grid; moduł zabezpieczenia akumulatorów – Victron Energy SBP 65, MPPT – Victron Energy MPPT 100/50, akumulatory – Victron Energy BAT04 12V 60Ah

15.4 SYSTEM SCADA

Komora 1WKVII/1A jest zintegrowana z systemem SCADA (rys. 15.7.), umożliwiającym zdalny monitoring i sterowanie.



Rys. 15.7. Schemat technologiczny komory 1WKVII/1A – SCADA;

- 1 – ciśnienie na rurociągu zasilającym B12, 2 – dyspozycja ciśnienia pomiędzy rurociągiem zasilającym, a powrotnym B12-B22 (min dyspozycja 3,5 bar),
- 3.1 – ciśnienie na rurociągu powrotnym B22, będący przed turbiną (max ciśnienie 6 bar), 3.2 – ciśnienie na rurociągu powrotnym B31A, będący przed turbiną,
- 4 – ciśnienie na rurociągu powrotnym B31B, będący za turbiną,
- 5 – przepływ przez turbinę, 6 – dyspozycja ciśnienia na turbinie B31A-B31B,
- 7 – zawór MV1 (Y31), 8 – zawór MV2 (Y32), 9 – zawór MV3 (Y33),
- 10 – zawór MV4 (Y34), 11 – napięcie generowane przez generator,
- 12 – napięcie zasilające urządzenia, 13 – prąd z generatora

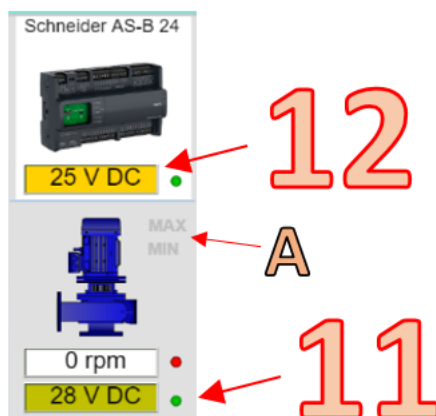
System SCADA umożliwia zdalny monitoring, sterowanie oraz zbieranie i analizowanie danych z urządzeń. System SCADA zapewnia pełną kontrolę nad procesami, umożliwiając wykrywanie awarii i zapewniając możliwość sterowania pracą sieci ciepłowniczej. Dzięki integracji obiektu z systemem wizualizacji, można monitorować parametry pracy komory z dowolnego miejsca.

15.5. WARTOŚCI NAPIĘĆ

Napięcie zasilające urządzenia (rys. 15.8. - element 12) powinno wynosić w granicach 21-29 V. Napięcie ładowania akumulatorów (rys. 15.8. - element 11) powinno wynosić min około 28 V. Napięcie zasilające urządzenia jest napięciem o stałej wartości w granicach 29 – 27 V. Napięcie, to może stopniowo się zmniejszać w przypadku braku ładowania akumulatorów przez turbinę. Urządzenia na komorze potrzebują minimalnego napięcia do zasilania około 21 V.

Napięcie ładowania akumulatorów jest napięciem zmiennym i zależy od przepływu czynnika grzewczego przez turbinę. Wartość napięcia około $27\text{ V} > U_{gen} > 2\text{ V}$ świadczy, że turbina się kręci ale nie generuje wystarczającego napięcia do ładowania akumulatorów. Wartość napięcia około $28\text{ V} < U_{gen}$ (rys. 15.8. - element 11) $< 34\text{ V}$ jest idealnym napięciem ładującym turbinę.

Ze względu na charakterystykę pracy generatora i turbiny mogą występować chwilowe większe wartości napięć.



Rys.15.8. Wartości napięć – fragment wizualizacji komory w systemie SCADA

Zakres prawidłowego napięcia ładowania akumulatorów widnieje przy orientacyjnych parametrach:

- dyspozycji ciśnienia na turbinie B31A-B31B w zakresie 1 – 1,3 bar,
- przepływie przez turbinę w zakresie 10-15 m³/h.

Podczas ręcznego sterowania i kontrolowania napięcie ładowania akumulatorów należy zwrócić uwagę czy pojawił się prąd z generatora min 0,3 A oraz napięcie ładowania akumulatora min 28 V przy jednoczesnym pilnowaniu wartości ciśnienia na rurociągu powrotnym B22.

Podczas pracy komory mogą się zdarzać chwilowe spadki napięcia ładowania akumulatorów, w takich przypadkach potrzebne napięcie do zasilania urządzeń pobierane jest z akumulatora. Należy zwrócić uwagę czy napięcie zasilania urządzeń nie zmniejsza swojej wartości (co mogło by obrazować przypadek nie doładowywania akumulatorów przez dłuższy czas, przedstawiony: Przykład braku ładowania akumulatorów przez turbinę - rozładowywanie akumulatorów - w efekcie końcowym brak zasilania urządzeń). Zakumulowana energia w akumulatorze wystarcza na podtrzymanie zasilania urządzenia na około 1,5 dnia (zależy to od stanu akumulatorów i poziomu ich naładowania).

Na telemetrii komory widoczne są znaczniki MAX i MIN (rys. 15.8 - element A). Znaczniki te są aktywowane po przekroczeniu wartości granicznej dolnej i górnej napięcia ładowania akumulatorów.

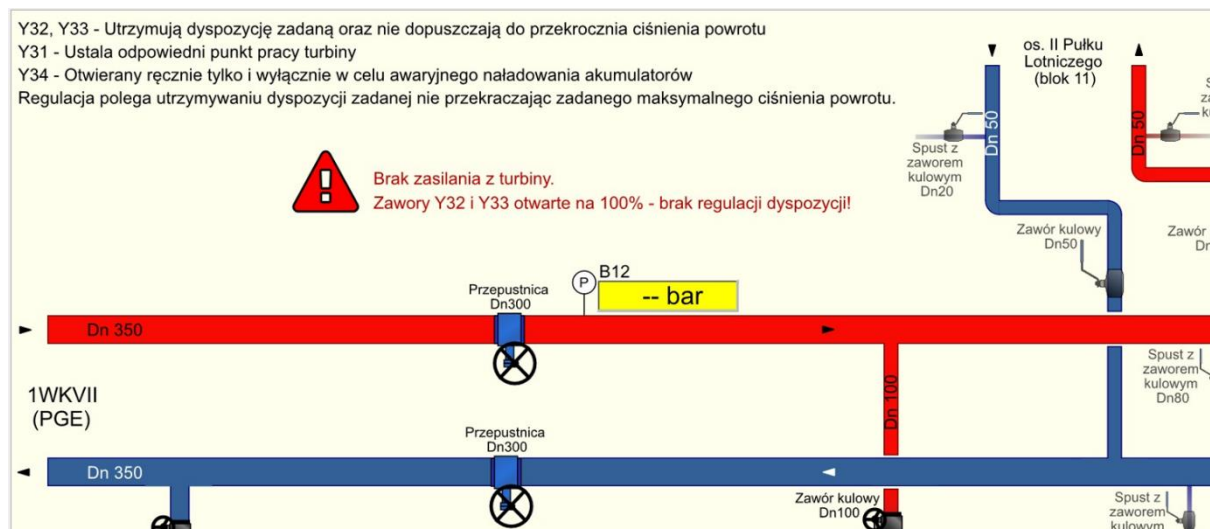
- Górny próg ładowania akumulatorów po przekroczeniu którego załączany jest znacznik MAX wynosi 55 V.
- Dolny próg ładowania akumulatorów po niżej którego załączany jest znacznik MIN wynosi 23 V.

Mogą się zdarzać chwilowe aktywacje znaczników MAX i MIN.

Chwilowa aktywacja znacznika MAX związana jest z charakterystyką pracy generatora i turbiny, co powoduje występowanie chwilowych większych wartości napięć. W przypadku nie chwilowych aktywacji znacznika MIN należy na pewno zwrócić uwagę, na stan napięcie zasilające urządzenia, gdyby sytuacja się przedłużała i groziło zatrzymaniem turbiny (niskie napięcie ładowania akumulatorów) wtedy należy sterować komorą ręcznie, gdyż parametry sieci ciepłowniczej uniemożliwiają pracę komory w automacie „Praca komory w sterowaniu ręcznym”.

15.6. PROCEDURY AWARYJNE

Na schemacie w telemetrii w przypadku braku zasilania z turbiny może aktywować się komunikat o „Braku zasilania z turbiny” (rys. 15.9.)



Rys.15.9. Komunikat o braku zasilania przez zespół generator - turbina – fragment wizualizacji komory w systemie SCADA

Na liście alarmów w momencie niskiego napięcia akumulatorów na komorze 1WKVII/1A (generowane przez urządzenie Battery Protect) pojawić się może komunikat (rys. 15.10.):

15	100	10.02.2021 12:49:36	Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Modbus Master Network / MAX-MR-10-1 Ujęcie DC TRC	Device offline	21.08.2023 10:49:29
4	100	10.02.2021 12:49:42	Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Modbus Master Network / MAX-MR-10-1 Ujęcie 24V DC	Device offline	21.08.2023 10:49:29
12	100	25.02.2021 21:20:02	BatteryProtect65 Ubat_MIN Alarm / Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Alarmy / BatteryProtect65 Ubat_MIN Alarm	Komora 1WKVII/1A - niskie napięcie akumulatorów - wymagane szybkie doładowanie	21.08.2023 10:49:30
✓ 21	100	22.02.2021 09:53:44	Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego / Modbus Master Network / Licznik IMP-ME-LI-4 A1	Device offline	21.08.2023 10:49:35

25.02.2021 21:20:02	BatteryProtect65 Ubat_MIN Alarm
---------------------	---------------------------------

/Komora 1WKVII 1A II Pułku Lotniczego/Alarmy/BatteryProtect65 Ubat_MIN Alarm
--

Komora 1WKVII/1A - niskie napięcie akumulatorów - wymagane szybkie doładowanie
--

Rys.15.10. Sygnał z Battery Protect – fragment wizualizacji komory w systemie SCADA

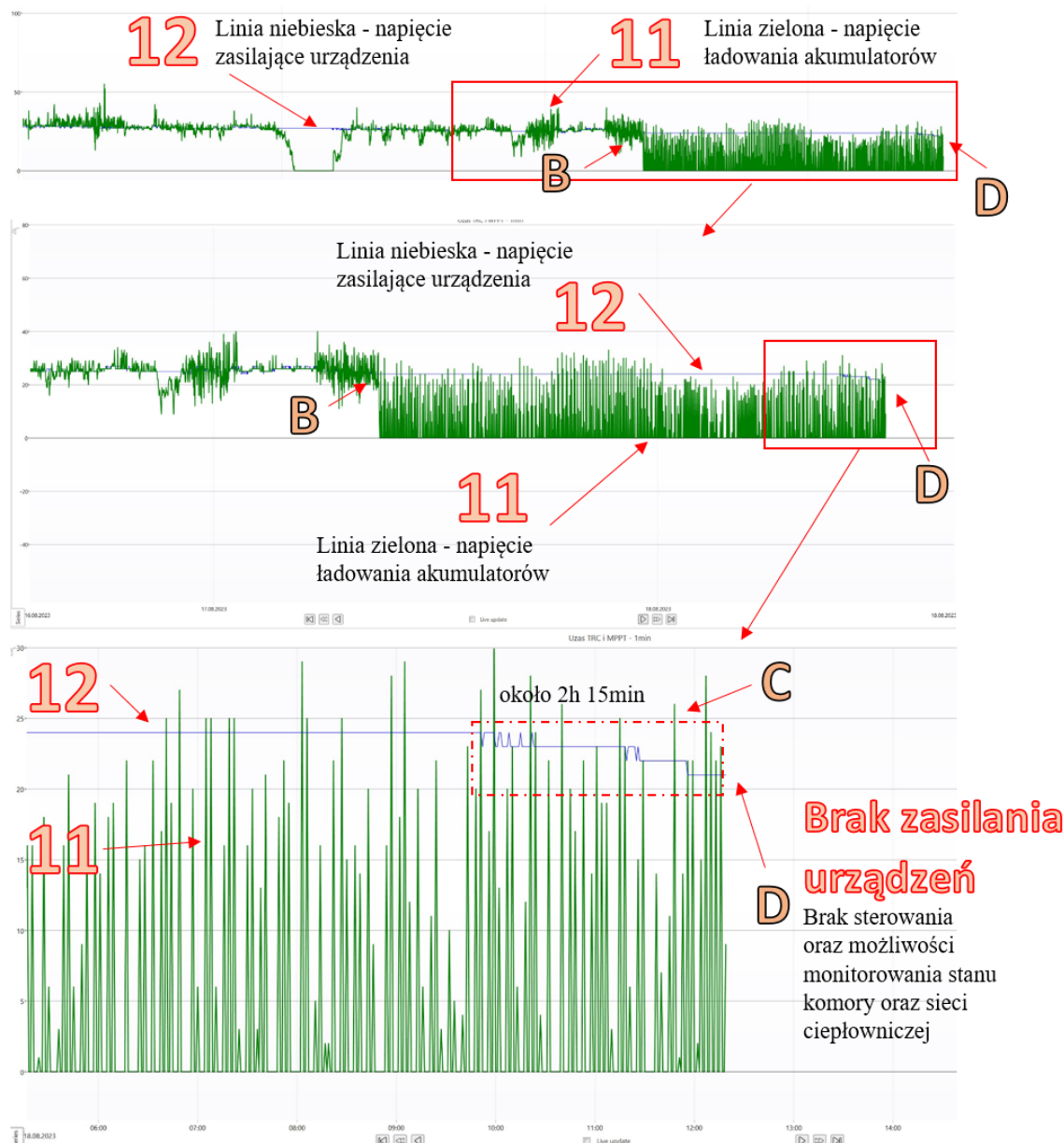
W tych przypadkach należy zwrócić uwagę czy możliwe jest jeszcze ręczne sterowanie komorą wymuszając większy przepływ przez turbinę, przy jednoczesnym

zwrócenia uwagi na stan napięcia zasilającego urządzenia. Gdy by się okazało, że stan tego napięcia był za niski lub, że od dłuższej chwili zmniejszało swoją wartość należy przyjrzeć się czy nie nastąpi za chwilę całkowite rozładowanie akumulatorów pokazane w przykładzie: „Przykład braku ładowania akumulatorów przez turbinę - rozładowywanie akumulatorów - w efekcie końcowym brak zasilania urządzeń” co w efekcie uniemożliwi sterowanie ręczne komorą.

W takim przypadku konieczne będzie wysłanie służb technicznych bezpośrednio na komorę w celu podładowania akumulatorów (np. uchylając by-pass).

15.7. PRZYKŁAD BRAKU ŁADOWANIA AKUMULATORÓW

Na rysunku 15.11. przedstawiono przykład braku ładowania akumulatorów przez układ turbina - generator, co prowadzi do ich rozładowania i w efekcie końcowym do braku zasilania urządzeń.



Rys.15.11. Wartości napięć – rozładowywanie akumulatorów i zaniki generacji napięcia przez generator; B – moment zakończenia ładowania akumulatorów przez turbinę; C – czas reprezentujący spadek napięcia zasilającego urządzenia z poziomu 23 V do 21 V; D – wystąpienie braku zasilania

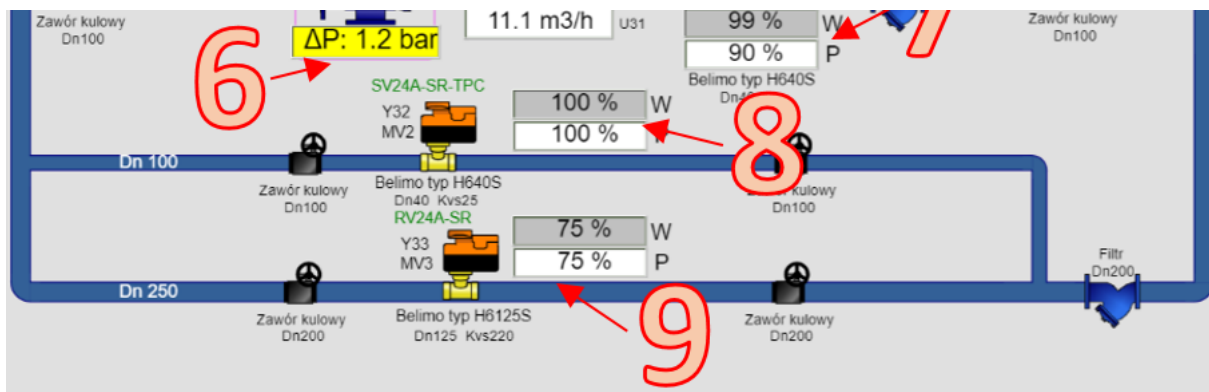
W momencie zakończenia ładowania przez turbinę napięcie zasilające urządzenia wynosiło 25 V.

Od momentu wystąpienia braku ładowania do spadku napięcie zasilającego urządzenia do poziomu 23 V, minęło około 25 godzin.

A następnie przez kolejne około 2 godziny i 15 minut trwał moment reprezentujący spadek napięcia zasilającego urządzenia z poziomu 23 V do 21 V, gdzie następnie wystąpiło brak wystarczającej energii do zasilania urządzeń znajdujących się komorze .

15.8. PRACA ZAWORÓW MV2 i MV3

Rysunek 15.12. przedstawia umiejscowienie zaworów MV2 i MV3 na rurociągu ciepłowniczym.



Rys.15.12. Umiejscowienie zaworów – wizualizacja SCADA; zaworów MV2 (Y32) (8) i MV3 (Y33) (9)

Praca zaworów MV2 (Y32) (rys. 15.14 - element 8) i MV3 (Y33) (rys. 15.14 - element 9) jest sprzężona programowo. Zarówno podczas pracy komory automatycznej jak i podczas ręcznego sterowania należy pamiętać, że najpierw otwierany jest zawór MV2 (Y32) (rys. 15.14 - element 8), a dopiero po jego wystrojeniu (szare pole) do wartości 100%, należy otwierać zawór MV3 (Y33) (rys. 15.14 - element 9).

To samo dotyczy operacji przamykania zaworów, najpierw przamykamy zawór MV3 (Y33) (rys. 15.14 - element 9), a dopiero po jego wystrojeniu (szare pole) do wartości 0%, należy przamykać zawór MV2 (Y32) (rys. 15.14 - element 8).

15.9. PRACA KOMORY W STEROWANIU RĘCZNYM

W przypadku: przepięć na sieci ciepłowniczej, zmiany źródła zasilania sieci, okresu przejściowego lub innych przypadkach, które zmieniają parametry pracy na rurociągu (rys. 15.9.- element 1, 2, 3, 4) mający wpływ na dyspozycję na turbinie (rys. 15.9. - element 6) i przepływ przez nią (rys. 15.9- element 5) → powodujący pojawienia się zbyt niskiego napięcia ładowania akumulatorów (rys. 15.9. - element 11). Oraz w przypadku przyjęcia alertu z komory ciepłowniczej 1WKVII/1A.

Należy ręcznie sterować zaworem MV2 (Y32) (rys. 15.9. - element 8) i MV3 (Y33) (rys. 15.9. - element 9) pamiętając o ich sposobie pracy „Praca zaworów MV2 i MV3” do momentu ustabilizowania się parametrów sieci (rys. 15.9. - element 1, 2, 3, 4, 5, 6) umożliwiającą automatyczną pracę komory ciepłowniczej.

15.10. GDY DOJDZIE DO ZATRZYMANIA TURBINY

Podczas zbyt małego przepływu przez turbinę i różnicy ciśnień może dojść do zatrzymania turbiny. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że gdy parametry pracy komory (ciśnienie i przepływ) wrócą do normy turbina samoistnie nie ruszy (spowodowane jest to przedostaniem się nieczystości do wirnika, uniemożliwiając jej rozruch). W takim przypadku konieczne jest uruchomienie turbiny przez służby techniczne bezpośrednio w komorze (poprzez wymuszenie przepływu przez turbinę, która rozpocznie ładowanie akumulatorów).

15.11. DODATKOWE UWAGI EKSPLOATACYJNE

Należy przeprowadzać przynajmniej raz na rok:

- kontrole napięcia akumulatorów (+ jeśli jest możliwe zbadanie stanu akumulatorów),
- czyszczenie filtrów znajdujących się w komorze,
- pomiar napięcia akumulatorów rezerwowych.

16. OPRACOWANIE OPROGRAMOWANIA STEROWNIKA SWOBODNIE PROGRAMOWALNEGO

Program sterowania komorą ciepłowniczą z wyspowym układem zasilania OFF-Grid został opracowany na sterowniku swobodnie programowalnym firmy Schneider Electric, przy użyciu dedykowanej aplikacji Menta. Program został napisany w języku programowania graficznego FBD (ang. Function Block Diagram), który umożliwia intuicyjne modelowanie i implementację algorytmów w postaci schematów blokowych.

Charakterystyka sterownika i środowiska programistycznego:

- Sterownik firmy Schneider Electric charakteryzuje się:
 - Modularnością i elastycznością, umożliwiającą integrację z różnorodnymi urządzeniami i protokołami komunikacyjnymi, w tym ModBus RTU oraz ModBus TCP,
 - Wysoką niezawodnością, niezbędną w systemach krytycznych, takich jak sterowanie siecią ciepłowniczą.
- Aplikacja Menta pozwala na:
 - Graficzne projektowanie logiki sterowania,
 - Intuicyjne definiowanie wejść, wyjść oraz zmiennych pośrednich,
 - Obsługę zaawansowanych algorytmów, takich jak regulatory PID czy bloki czasowe.
- Język FBD (Function Block Diagram):
 - Jest szczególnie popularny w systemach automatyki dzięki wizualnemu przedstawieniu procesów logicznych,
 - Umożliwia szybkie projektowanie algorytmów i ich przejrzystą prezentację,
 - Wspiera łatwą implementację złożonych funkcji sterujących, np. regulacji przepływu, sterowania wentylacją czy stabilizacji napięcia.

Struktura programu

Program sterowania został podzielony na osiem głównych algorytmów, z których każdy odpowiada za określony aspekt zarządzania systemem. Algorytmy obejmują kontrolę napięcia zasilania, regulację pracy turbiny, zarządzanie przepływem czynnika grzewczego oraz inne kluczowe funkcje zapewniające prawidłową pracę komory ciepłowniczej w trybie OFF-Grid.

Główne algorytmy programu

(1.) Kontrola napięcia zasilania (Załącznik nr 1)

Monitoruje i kontroluje obecność napięcia w układzie zasilania komory ciepłowniczej, weryfikując dane o napięciach generowanych przez turbinę oraz akumulatory. Komunikacja z urządzeniami przekazującymi informację o stanie napięć odbywa się w protokole ModBus RTU, uwzględniając stan online tych urządzeń w algorytmie. Wartością wynikową badanych czterech wartości jest informacja o braku zasilania (BrakZasilania) instalacji komory ciepłowniczej.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Napięcie generowane przez turbinę (NapiecieTRC),
- Napięcie ładowania akumulatorów (NapiecieLadowania),
- Sygnały online urządzeń (Online_MB_TRC, Online_MB_Ladowanie).

Wyjściami są natomiast:

- Informacja o braku zasilania.

Główne funkcje:

- Monitorowanie napięcia w czasie rzeczywistym,
- Zabezpieczenie urządzeń przed brakiem napięcia.

(2.) Regulacja napięcia generowanego (UgenDC) (Załącznik nr 2)

Stabilizuje napięcie generowane przez układ turbina-generator (Ugen_DC_TRC), kontrolując zawór Y31 (Zawor_Y31_Wyster). Algorytm uwzględnia sygnał z pływaka, który powoduje w przypadku zalania komory zamknięcie zaworu Y31, w celu odcięcia przepływu czynnika przez turbinę (wyłączenie napięcie). Algorytm jest przyszykowany na sygnał z regulatora obrotów (tachometr) układu turbina – generator. Odczyt prędkości jest przekazywany co sekundę w protokole ModBus RTU. Układ odczytu obrotów został przebadany na stanowisku laboratoryjnym, na chwilę obecną nie został on zainstalowany na komorze.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Napięcie generowane przez turbinę (Ugen_DC_TRC),
- Sygnał z pływaka (B92_Plywak_Alarm).

Wyjściami są natomiast:

- Wysterowanie zaworu Y31 (Zawor_Y31_Wyster).

Główne funkcje:

- Stabilizacja napięcia w zadanym zakresie,
- Automatyczne dostosowanie napięcia do warunków pracy,
- Ochrona w przypadku zalania komory.
- Ochrona przed zbyt dużym przepływem (generowanym napięciem).

(3.) Regulacja dyspozycji sieci ciepłowniczej (Załącznik nr 3)

Zarządza parametrami pracy sieci, sterując zaworami Y32 i Y33.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Ciśnienia sieci ciepłowniczej (B22_Cisnienie, B31A_Cisnienie, B31B_Cisnienie).

Wyjściami są natomiast:

- Wysterowanie zaworu Y32 (Zawor_Y32_Wyster),
- Wysterowanie zaworu Y33 (Zawor_Y33_Wyster).

Główne funkcje:

- Utrzymanie parametrów sieci w zadanym zakresie.

(4.) Regulacja przepływu czynnika grzewczego (Załącznik nr 4)

Optymalizuje przepływ czynnika, dostosowując warunki pracy turbiny PaT.

Wykorzystuje regulator PID do analizy bieżącego przepływu względem wartości zadanej. W tym celu sprawdzany jest status online licznika ciepła oraz informacja o bieżącym przepływie. Urządzenie przekazuje informacje o przepływie komunikując się ze sterownikiem w protokole ModBus RTU.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Przepływ (Przepływ_m3_h),
- Sygnały online licznika (Status_Online).

Wyjściami są natomiast:

- Wysterowanie zaworu Y31 (Zawor_Y31_Wyster) z algorytmu regulacji napięcia generowanego (UgenDC) .

Główne funkcje:

- Monitorowanie przepływu,
- Utrzymanie przepływu w optymalnym zakresie,
- Reakcja na zmiany zapotrzebowania lub warunki krytyczne.

(5.) Sterowanie bypassem (Załącznik nr 5)

Algorytm odpowiada za zarządzanie napięciem rurociągu zasilającego z powrotnym, zapewniając minimalny przepływ czynnika przez turbinę w razie potrzeby i tylko w okresie letnim - wymaganie technologiczne. Zawór może się uchylić maksymalnie do 5%.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Tryb letni (Tryb_LATO): wyznaczony na podstawie przekazanych w protokole ModBus TCP, danych o przepływie z dwóch pobliskich węzłów cieplowniczych, sygnały przepływu,
- Przepływ,
- Prąd ładowania.

Wyjściami są natomiast:

- Wysterowanie zaworem Y34.

Główne funkcje:

- Otwarcie bypassu w celu utrzymania minimalnego przepływu czynnika przez turbinę.

(6.) Sterowanie wentylacją komory i szafy sterowniczej (Załącznik nr 6)

Reguluje pracę wentylatorów w szafie SA oraz komory cieplowniczej, zapewniając odpowiednie temperatury.

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Temperatura w komorze,
- Temperatura w szafie.

Wyjściami są natomiast:

- Sygnały sterujące wentylatorami: komory, szafy SA.

Główne funkcje:

- Automatyczne włączanie wentylacji przy przekroczeniu zadanej temperatury,
- Tryb oszczędzania energii przy niskim naładowaniu akumulatorów.

(7.) Sterowanie oświetleniem komory (Załącznik nr 7)

Umożliwia sterowanie oświetleniem zarówno manualnie przy pomocy wyłącznika znajdującego się w komorze, jak i zdalnie z poziomu systemu SCADA (co można wykorzystać np. w przypadku zapomnienia wyłączenia oświetlenia przez obsługę komory, co zabezpiecza przed wyładowaniem akumulatorów).

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Przycisk sterujący (Przycisk_ON_OFF),
- Sygnał BMS (Zal_ON_OFF_BMS).

Wyjściami są natomiast:

- Stycznik oświetlenia.

Główne funkcje:

- Zdalne i manualne sterowanie oświetleniem,

(8.) Sterowanie sygnałem PWM (Załącznik nr 8)

Steruje obciążeniem generatora (grzejnik) sygnałem PWM, zapobiegając przekroczeniu dopuszczalnych wartości napięcia (Uzas_TRC).

Dane wejściowe do programu stanowią:

- Napięcie z generatora.

Wyjściami są natomiast:

- Sygnał sterujący triakiem (grzejniki).

Główne funkcje:

- Dynamiczne zmiana obciążenia generatora – zabezpieczenie przed generowanym wysokim napięciem.

17. WYMOGI BHP ORAZ DOSTĘPNE NORMY

Według aktualnie obowiązującej Polskiej Normy PN-EN 61140:2016-07, napięcia bezpieczne to takie napięcia, których wartości są mniejsze niż wymienione w normie i w znacznym stopniu zależą od warunków środowiskowych przebywania człowieka oraz od rodzaju napięcia (tabela 17.1.).

Rodzaj napięcia	Wartości bezpiecznych napięć [V]		
	Normalne (suche)	Szczególne (wilgotne)	Ekstremalne (mokre)
Napięcie przemienne (AC)	50	25	12
Napięcie stałe (DC)	120	60	30

Tabela 17.1. Wartości napięć bezpiecznych

Dla warunków szczególnych wilgotnych, wymagania i procedury są mniej rygorystyczne niż dla warunków ekstremalnych (mokrych), jednak wciąż zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa.

W poniższym zestawieniu przedstawiono wyszczególnione warunki środowiskowe, wymagania dotyczące ochrony, normy elektryczne, a także zalecenia eksploatacyjne dla urządzeń pracujących w trudnych warunkach wilgotnych i zmiennych temperaturach. Każdy z punktów precyzyjnie określa wymagania i wytyczne dotyczące ochrony przed czynnikami zewnętrznymi, a także zapewnia bezpieczeństwo i trwałość urządzeń w specyficznych warunkach pracy.

1. Warunki środowiskowe i specyfika miejsca

- Temperatura otoczenia: +5°C do +60°C (klasa AA6).
- Wilgotność atmosferyczna: 10%-100% wilgotności względnej (klasa AB6).
- Obecność wody: Ochrona przed strumieniami wody (klasa AD5/AD6), bez wymogu ochrony przed pełnym zanurzeniem.
- Obce ciała stałe: Lekki kurz (klasa AE4).
- Korozja: Stałe oddziaływanie korozji (klasa AF4).
- Wibracje: Średnie wibracje (klasa AH2).

2. Wymagania dotyczące stopnia ochrony

- Minimalny stopień ochrony:

IP67: Pyłoszczelność i ochrona przed skutkami zanurzenia w wodzie na głębokości do 1 metra przez czas do 30 minut. Alternatywnie IP66: Ochrona przed silnymi strumieniami wody.

- Obudowy IP68: Mogą być stosowane opcjonalnie w miejscach o podwyższonej wilgotności, lecz nie narażonych na pełne zanurzenie.

3. Układy elektryczne w warunkach szczególnych wilgotnych

- Rodzaj obwodów: Obwody SELV lub PELV (bardzo niskie napięcie ochronne).

Napięcia SELV/PELV: Maksymalnie 25 V AC lub 60 V DC, zgodnie z normą PN-HD 60364-4-41.

- Izolacja przewodów: Odporna na wilgoć i działanie czynników chemicznych.

4. Ochrona przeciwporażeniowa

- Zasilanie niskonapięciowe: Maksymalnie 25 V AC lub 60 V DC.
- Połączenia wyrównawcze: Objęcie metalowych elementów instalacji (np. obudów generatorów i rurociągów) połączeniami wyrównawczymi (PN-HD 60364-5-54:2010).
- Monitoring izolacji: Regularne badania stanu izolacji obwodów.

5. Materiały i kable

- Kable odporne na wilgoć: Przewody o podwyższonej odporności, np. H07RN-F (zgodne z IEC 60245-4).
- Minimalizacja długości przewodów: Ograniczenie długości w miejscach o dużej wilgotności w celu zmniejszenia strat i ryzyka korozji.

6. Aparatura kontrolno-pomiarowa

- Zasilanie: Prąd stały o napięciu 24 V DC (prostowane z napięcia generowanego przez turbinę).
- Obudowy: Aparatura kontrolno-pomiarowa powinna być zainstalowana w obudowach o stopniu ochrony IP67.

7. Normy i zgodność

- Eksploatacja urządzeń musi być zgodna z następującymi normami:
 - PN-HD 60364-5-51: Ogólne wymagania ochrony.
 - PN-HD 60364-4-41: Ochrona przeciwporażeniowa.
 - PN-HD 60364-7-702: Instalacje w warunkach szczególnych wilgotnych.

8. Dodatkowe zalecenia dla eksploatacji

- Okresowe inspekcje: Przeprowadzanie regularnych inspekcji i konserwacji w celu wykrycia potencjalnych uszkodzeń izolacji lub korozji.
- Automatyczne systemy odpompowujące: Opcjonalnie stosowanie pomp odwadniających w miejscach o okresowym narażeniu na zalanie.
- Chłodzenie generatorów: W przypadku podwyższonych temperatur stosowanie pasywnych systemów chłodzenia powietrzem lub cieczą.

W warunkach szczególnych wilgotnych można zastosować mniej rygorystyczne środki ochrony w porównaniu do warunków ekstremalnych (mokrych), przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności. Wybór odpowiednich obudów, napięć oraz przewodów pozwoli na bezpieczną eksploatację generacyjnych układów turbinowych w takich warunkach.

Dla warunków ekstremalnych mokrych wymagania są znacznie bardziej rygorystyczne niż dla warunków szczególnych wilgotnych.

Procedury i zalecenia dla warunków ekstremalnych mokrych:

1. Warunki środowiskowe i specyfika miejsca [37]

- Temperatura otoczenia: +5°C do +60°C (klasa AA6).
- Wilgotność atmosferyczna: 10%-100% (wilgotność względna); 1-35 g/m³ (wilgotność bezwzględna, klasa AB6).
- Obecność wody: Ochrona przed strumieniami wody (AD5/AD6) oraz pełnym zanurzeniem w warunkach ekstremalnych (AD8).
- Obce ciała stałe: Lekki kurz (klasa AE4).
- Korozja: Stałe oddziaływanie korozji (klasa AF4).
- Wibracje: Średnie wibracje (klasa AH2).

2. Wymagania dotyczące stopnia ochrony

Urządzenia muszą posiadać stopień ochrony:

- IP68: Pyłoszczelność i ochrona przed skutkami ciągłego zanurzenia w wodzie.
- IP69: Ochrona przed silnym strumieniem wody (80-100 bar, +80°C) w przypadku wysokich temperatur medium.

3. Układy elektryczne w strefie 0 (PN-HD 60364-7-702:2010)

- Rodzaj obwodów: Wyłącznie SELV.

- Napięcia SELV: Maksymalnie 12 V AC lub 30 V DC.
- Instalacja przewodów: Przewody muszą być osłonięte lub izolowane.

4. Ochrona przeciwporażeniowa

- Zasilanie niskonapięciowe: Napięcie generowane przez układ turbinowy nie powinno przekraczać 12 V AC lub 30 V DC.
- Połączenia wyrównawcze: Wszystkie metalowe elementy muszą być uziemione.
- Monitoring izolacji: Ciągła kontrola obwodów SELV.

5. Materiały i kable

- Kable do strefy 0: Tylko typu H07RN8-F lub równoważne (odporne na wodę i oleje, izolacja gumowa zgodna z IEC 60245-4).
- Minimalizacja długości przewodów: Połączenia wyprowadzane poza strefę 0.

6. Aparatura kontrolno-pomiarowa

- Zasilanie: Prąd stały o napięciu 24 V DC (prostowane z napięcia generowanego przez turbinę).
- Obudowy: Aparatura kontrolno-pomiarowa powinna być zainstalowana w obudowach o stopniu ochrony IP69.

7. Normy i zgodność

Eksploatacja musi być zgodna z następującymi normami:

- PN-HD 60364-5-51 (ogólne wymagania ochrony).
- PN-HD 60364-4-41 (ochrona przeciwporażeniowa).
- PN-HD 60364-7-702 (instalacje w strefach wilgotnych, w tym węzły ciepła).

8. Dodatkowe zalecenia dla eksploatacji

- Okresowe kontrole: Regularne pomiary rezystancji izolacji i przeglądy urządzeń.
- Awaryjne systemy odpompowujące: Automatyczne pompy odwadniające dla ochrony w sytuacjach zalania.
- Chłodzenie generatorów: Stosowanie układów chłodzenia cieczą w przypadku wysokich temperatur otoczenia.

Powyższe procedury i zalecenia uwzględniają obowiązujące normy oraz specyficzne warunki środowiskowe, gwarantując maksymalny poziom bezpieczeństwa. Ekstremalne mokre warunki w komorze ciepłowniczej mogą

wystąpić jedynie w przypadku poważnej awarii sieci ciepłowniczej i ograniczają się do lokalnego obszaru objętego awarią. Niemniej jednak, w sytuacji takiej awarii, sieć ciepłownicza w tym miejscu zostanie odcięta przez służby eksploatacyjne, co uniemożliwi dalszą generację energii przez turbinę.

18. INSTALACJA OFF-GRID O NAPIĘCIU 24V DC I 400V AC W KOMORACH CIEPŁOWNICZYCH

W przypadku zasilania wyspowego (OFF-Grid) w komorach ciepłowniczych konieczne jest stworzenie instalacji elektrycznej opartej na zasilaniu 24 V DC, gdzie najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie turbinowych układów generacyjnych pracujących przy zmiennych prędkościach obrotowych. Układy typu turbina-generator powinny być instalowane w miejscach sieci ciepłowniczej, w których wymagana jest redukcja ciśnienia, co pozwala na odzysk energii. W miejscach gdzie jest konieczne jest zdławienie ciśnienia w rurociągu, mamy do czynienia z wymuszonymi zmianami przepływu oraz ciśnień.

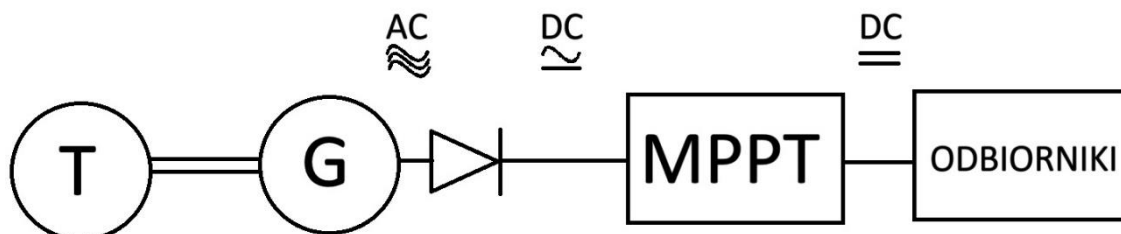
Generacja energii elektrycznej przy zmiennej prędkości obrotowej generatorów wymaga dodatkowo stosowania odpowiedniego układu przekształtnikowego tak by można było dopasować parametry wytwarzanej energii elektrycznej do odbiorników w przypadku zasilania OFF-Grid.

Obecnie do generacji energii elektrycznej przy zmiennej prędkości obrotowej używane są różne typy generatorów, jednakże dla budowanego układu OFF-Grid zaleca się zastosowanie synchronicznych generatorów wzbudzanych magnesami trwałymi typu IPM, które charakteryzują się większą stabilnością wartości generowanego napięcia w szerokim zakresie zmian prędkości obrotowej.

Generatory typu IPM z prostownikiem najlepiej aby współpracowały z układami przekształtnikowymi takimi jak w naszym przypadku regulator MPPT. Rozwój cyfryzacji i pojawienie się nowych urządzeń, takich jak MPPT, sprawił, że nie ma potrzeby budowania rozbudowanych układów kontrolnych w celu uzyskania odpowiednich parametrów jakościowych energii elektrycznej zasilającej odbiorniki.

Podstawową wadą układów, w których wzbudzenie generatora pochodzi od magnesów trwałych, jest niemożność jego wyłączenia, co oznacza, że napięcie na zaciskach generatora jest zawsze obecne, gdy wał wirnika jest w ruchu. Dodatkowo, brak możliwości regulacji napięcia generowanego przez taki system sprawia, że wartość indukowanego napięcia oraz częstotliwość są liniowo zależne od prędkości obrotowej. Ta zależność dotyczy przede wszystkim generatorów elektrycznych z magnesami trwałymi typu SPM. Z kolei generatory wzbudzone magnesami trwałymi typu IPM charakteryzują się stabilniejszymi parametrami wyjściowymi, co pozwala na uzyskanie bardziej stabilniejszych parametrów wyjściowych napięcia.

Przedstawiony układ zasilania OFF-Grid o napięciu 24 V DC (rys.18.1.) składa się z turbiny napędzającej generator generując w ten sposób trójfazowe napięcie, które jest następnie prostowane w prostowniku. Wyprostowane napięcie o zmiennej wartości kierowane jest na MPPT, gdzie otrzymuje stałą odpowiednią wartość do zasilania odbiorników.



Rys. 18.1. Układ generacyjny z generatorem wzbudzanymi magnesami trwałymi - zasilania OFF-Grid - 24V DC

Ze względu na specyficzne warunki panujące w komorach ciepłowniczych, w tym wymogi BHP związane z bezpieczeństwem obsługi, nie planowane są układy zasilania OFF-Grid o napięciu 400V AC.

19. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań, wdrożenie układu zasilania wyspowego (OFF-Grid) wykorzystującego turbiny PaT napędzające generatory elektryczne lub wykorzystujące energię elektryczną wytworzoną przez instalacje fotowoltaiczne dla obiektów sieciowych przynosi następujące efekty:

- Efektywność energetyczna i zrównoważony rozwój

Wdrożenie układów zasilania wyspowego wspiera realizację polityk środowiskowych, promuje zrównoważony rozwój dzięki zmniejszeniu emisji CO₂ oraz wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii lub energii odzyskanej w procesach przemysłowych. Rozwiązanie to może być elementem dążenia przedsiębiorstw ciepłowniczych do osiągnięcia statusu systemów efektywnych energetycznie, zgodnie z zaleceniami polityki krajowej i unijnej.

- Unikatowość i wszechstronność układów turbinowych

Układy turbinowe, oprócz generowania energii elektrycznej, oferują wsparcie w zakresie stabilizacji i regulacji ciśnienia w sieciach ciepłowniczych.

- Hydrauliczna optymalizacja pracy sieci

Modelowanie i analiza hydrauliczna sieci ciepłowniczych pozwala na precyzyjne określenie parametrów pracy układów turbinowych, co umożliwia ich dostosowanie do specyficznych wymagań eksploatacyjnych.

- Zasilanie OFF-Grid o napięciu 24 V DC

Instalacje OFF-Grid bazujące na napięciu 24 V DC są szczególnie przydatne w układach wymagających niskiego zużycia energii i wysokiej niezawodności, takich jak siłowniki, sterowniki automatyki, systemy monitoringu, czy oświetlenia. Napięcie 24 V DC zapewnia optymalny kompromis między efektywnością energetyczną a bezpieczeństwem użytkowania, co czyni je idealnym wyborem w instalacjach komór ciepłowniczych.

- Integracja z tradycyjnymi systemami regulacyjnymi

Instalacje zasilania OFF-Grid wymuszają rozbudowę tradycyjnej infrastruktury sieci ciepłowniczej o nowoczesne układy automatyki i monitoringu, co umożliwia wdrażanie systemów zarządzania ciepłem, tworząc w ten sposób ISC.

- Zasilanie autonomiczne dla obiektów sieciowych

Energia elektryczna generowana w układach turbina - generator pracująca w trybie OFF-Grid jest magazynowana i wykorzystywana na potrzeby własne obiektu, co pozwala na pełną autonomię energetyczną.

Układy te mogą zasilac oświetlenie, instalacje alarmowe, układy automatyki, pompy odwadniające.

- Wyniki wdrożeń i testów

Zabudowanie układów turbinowych PaT w rzeczywistych warunkach sieci ciepłowniczych potwierdziło ich efektywność regulacyjną i zdolność do stabilizowania parametrów pracy sieci.

Wytwarzana energia elektryczna pozwala na znaczną poprawę niezawodności dostaw ciepła i stabilności pracy sieci, szczególnie w okresach dużych wahań zapotrzebowania lub zmiennych warunków eksploatacyjnych.

Instalacje oparte o zasilanie OFF-Grid są integralnym elementem systemów nadzoru SCADA, wspierając cyfryzację i elektryfikację systemu ciepłowniczego.

- Wyzwania technologiczne i dobór urządzeń

Wdrożenie układów zasilania OFF-Grid wymaga indywidualnego podejścia do doboru urządzeń takich jak turbiny, generatory czy panele fotowoltaiczne, z uwzględnieniem lokalnych warunków eksploatacyjnych i specyfiki sieci.

Zastosowanie generatora elektrycznego w systemie zasilania OFF-Grid komór ciepłowniczych jest niezawodnym źródłem zasilania, idealnym w zastosowaniach wymagających stabilnej mocy przez całą dobę.

Panele fotowoltaiczne wykazują sezonową zmienność i uzależnienie od pory dnia, co czyni je nieefektywnym źródłem energii w porównaniu do generatora napędzanego pompą w ruchu turbinowym.

Rozwój cyfryzacji w zarządzaniu ISC, powoduje rozwój infrastruktury sterowania, komunikacji, oprogramowań, sterowników oraz urządzeń.

- Zastosowanie generatorów typu IPM

Dla bezpieczniejszej i bardziej efektywnej pracy układu zasilania OFF-Grid zaleca się zastosowanie generatorów typu IPM. Generatory te charakteryzują się:

- Wysoką sprawnością, większą stabilnością w zmiennych warunkach pracy oraz lepszym współczynnikiem mocy w porównaniu do tradycyjnych generatorów.
- Kompaktową budową, niezawodnością i zdolnością do pracy przy zmiennych prędkościach obrotowych, co czyni je idealnym rozwiązaniem dla instalacji zasilanych turbiną.

Podsumowanie

Wdrożenie układów zasilania wyspowego OFF-Grid w sieciach ciepłowniczych jest nie tylko możliwe, ale także przynosi wymierne korzyści w zakresie stabilności pracy sieci oraz autonomii energetycznej obiektów. Zastosowanie generatorów IPM dodatkowo zwiększa niezawodność i efektywność systemów zasilania, czyniąc je kluczowym elementem nowoczesnych i zrównoważonych systemów ciepłowniczych. Systemy te wspierają proces cyfryzacji i elektryfikacji miejskiej infrastruktury energetycznej, zapewniając jednocześnie większe bezpieczeństwo i stabilność dostaw ciepła oraz energii elektrycznej.

Analizując efekty prac należy stwierdzić, że udowodniono słuszność tezy postawionej na początku rozprawy: Zastosowanie układów zasilania wyspowego OFF-Grid bazujących na generatorze elektrycznym napędzanym turbiną TRC w obiektach sieci ciepłowniczej, umożliwi nadzór i sterowanie pracą sieci oraz budowę Inteligentnej Sieci Ciepłowniczej.

SPIS LITERATURY

- [1] Turski M., Sekret R.: The need to reorganize district heating systems in the light of changes taking place in the building sector (in Polish). Rynek Energii 2015 (4), pp. 27-34.
- [2] Joniec W.: District heating on the way to 5G generation (in Polish). Rynek Instalacyjny, 3/2022, 36–38.
- [3] EU H2020 FLEXYNETS Project: Fifth Generation, Low Temperature, High Exergy, District Heating and Cooling Networks, 2015.
- [4] Calise F., Liberato Cappiello F., Cimmino L., Dentice d'Accadia M., Vicidomini M.: Optimal design of a 5th generation district heating and cooling network based on seawater heat pumps. Energy Conversion and Management 267 (2022) 115912.
- [5] Grzebielec A., Rusowicz A., Jaworski M., Laskowski R.: Possibility of using adsorption refrigeration unit in district heating network. Archives of Thermodynamics, Vol. 36(2015), No. 3, 15–24.
- [6] Frotscher O., Oppelt T., Urbanek T., Otto S., Heinrich I. Schmidt A., Göschel T., Uhlig U., Frey H.: Software-in-the-Loop-simulation of a District Heating System as Test Environment for a Sophisticated Operating Software, In Proceedings of the 9th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications - SIMULTECH, 223-230, 2019, Prague, Czech Republic.
- [7] Bujalski M., Madejski P., Fuzowski K.: Day-ahead heat load forecasting during the off-season in the district heating system using Generalized Additive model. Energy & Buildings 278 (2023) 112630.
- [8] Leśko M., Bujalski W.: Modeling of district heating networks for the purpose of operational optimization with thermal energy storage. Archives of Thermodynamics, Vol. 38(2017), No. 4, 139–163.
- [9] Lan T., Strunz K.: Droop control for district heating networks: Solution for temperature control of multi-energy system with renewable power supply. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 146 (2023) 108663.
- [10] Lindgren J., Numerical modelling of district heating networks. Umeå University, Faculty of Science and Technology, Department of Physics, 2017.
- [11] Rzewuski M.: On-grid, off-grid and hybrid installations (in Polish), Automatyka B2B, 2021.

- [12] Lund H., Østergaard P.A., Connolly D., Mathiesen B.V.: Smart energy and smart energy systems. *Energy* 137 (2017) 556 – 565.
- [13] Leitner B., Widl E., Gawlik W., Hofmann R.: A method for technical assessment of power-to-heat use cases to couple local district heating and electrical distribution grids. *Energy* 182 (2019) 729 – 738.
- [14] Zhang Y., Campana P.E., Yang Y., Stridh B., Lundblad A., Yan J.: Energy flexibility from the consumer: Integrating local electricity and heat supplies in a building. *Applied Energy* 223 (2018) 430 – 442.
- [15] Mazurek M., Piękoś M.: New controllers based on water turbines - recovery of mechanical energy from mains water (in Polish). *Polski Instalator*, 2017.
- [16] Infrastruktura ciepłownicza w polskich miastach wymaga modernizacji. *Energetyka24*, <https://energetyka24.com/elektroenergetyka/infrastruktura-cieplownicza-w-polskich-miastach-wymaga-modernizacji> (2020).
- [17] Ile emitujemy gazów cieplarnianych, korzystając z ciepła sieciowego?. *Chronimy Klimat*, <https://www.chronmyklimat.pl/gospodarka/1506-ile-emitujemy-gazow-cieplarnianych-korzystajac-z-ciepła-sieciowego> (2021).
- [18] Polityka energetyczno-klimatyczna Unii Europejskiej – wyzwania i cele do 2050 roku. OIDE Sejm RP, https://oide.sejm.gov.pl/oide/images/files/pigulki/polityka_energ_klimat.pdf (2018).
- [19] Plan działania na rzecz przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r. Komisja Europejska, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112> (Bruksela, 2011).
- [20] Wrzalik.A., Smart district heating networks in the era of Energy transformation. *Sciendo*, <https://sciendo.com/article/10.2478/czoto-2022-0007> (2022).
- [21] Piotrowska B., Oto jakie technologie pomogą przy zielonej transformacji polskiego ciepłownictwa. *Biznesalert.pl*, https://biznesalert.pl/piotrowska-oto-jakie-technologie-pomoga-przy-zielonej-transformacji-polskiego-cieplownictwa-rozmowa/?utm_source=chatgpt.com (2024).
- [22] Cenian A., Dzierzgowski M., Pietrzykowski B., Żurek T., Niskotemperaturowe Sieci Ciepłownicze 4 Generacji (SC 4G)- mapa drogowa, *Nowa Energia* nr 4(80)/2021.
- [23] Niskotemperaturowe sieci ciepłownicze – baza modernizacji sektora ciepła. *Gramzielone.pl*,

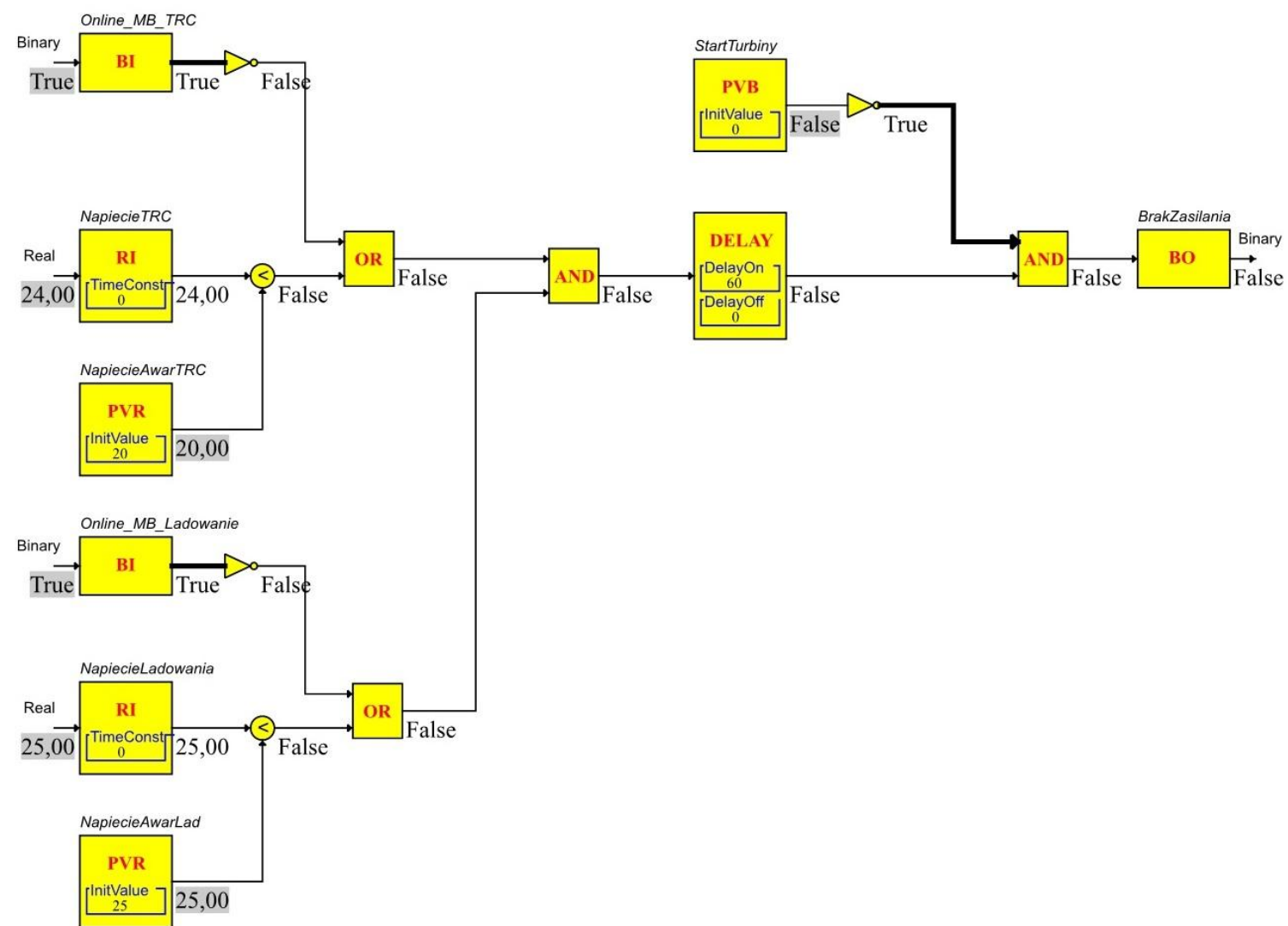
- https://www.gramwzielone.pl/trendy/20204041/niskotemperaturowe-sieci-cieplownicze-baza-modernizacji-sektora-ciepla?utm_source=chatgpt.com (2024).
- [24] Czym różni się instalacja on-grid i off-grid?. Instalacjefotowoltaiczne.com, <https://instalacjefotowoltaiczne.com/czym-rozni-sie-instalacja-on-grid-i-off-grid/>
- [25] Zarzycki M., Rduch J.: Odzysk energii hydraulicznej za pomocą pomp wirowych wielostopniowych w ruchu turbinowym. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, seria energetyka, zeszyt 125 (1995).
- [26] Nuno A., PaT Pump as Turbine, KSB, WATEFCON (2018)
- [27] Du J., Chang G., Adu D., Ofosu E.: Numerical Simulation and Computational Flow Characterization Analyses of Centrifugal Pump Operating as Turbine. https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-dissimilarity-amongst-pump-and-turbine-modes_fig1_354055633 (2021)
- [28] Turbine mode. KSB, <https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/turbine-mode-1115998>
- [29] Materiały firmy KSB – charakterystyki pomp i turbin. KSB, <https://www.ksb.com>.
- [30] Ziółek P.: Diagnostowanie i naprawa układów elektrycznych w pojazdach i maszynach 311[22].Z1.06, Wydawca Instytut technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007
- [31] Glinka. T: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, wyd. WNT (2018).
- [32] Gawron S.: Metody stabilizacji napięcia wyjściowego w prądnicach z magnesami trwałymi. Przegląd elektrotechniczny, NR 12/2014
- [33] Król E., Rossa R.: Prądnice synchroniczne z magnesami trwałymi umieszczonymi wewnątrz wirnika. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 80/2008
- [34] Kaczmarczyk D., MPPT - co to jest i jak działa?. fotowoltaikaonline.pl, <https://fotowoltaikaonline.pl/mppt> (2023)
- [35] Materiały firmy Victron Energy, <https://www.victronenergy.pl/>
- [36] Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie
- [37] Węgiel T., Borkowski D., Rejmer M., Rozegnał B., Ryszka J.: Opracowanie techniczne uwzględniające wymagane przepisy dozoru technicznego montażu urządzeń energetycznych w komorach cieplowniczych i węzłach ciepła z

uwzględnieniem zalecanych rozwiązań technicznych oraz wymogów BHP z podaniem gotowych rozwiązań technicznych dla układów generacyjnych na napięcia powyżej i poniżej napięcia bezpiecznego. Politechnika Krakowska (2019).

LISTA ZAŁĄCZNIKÓW

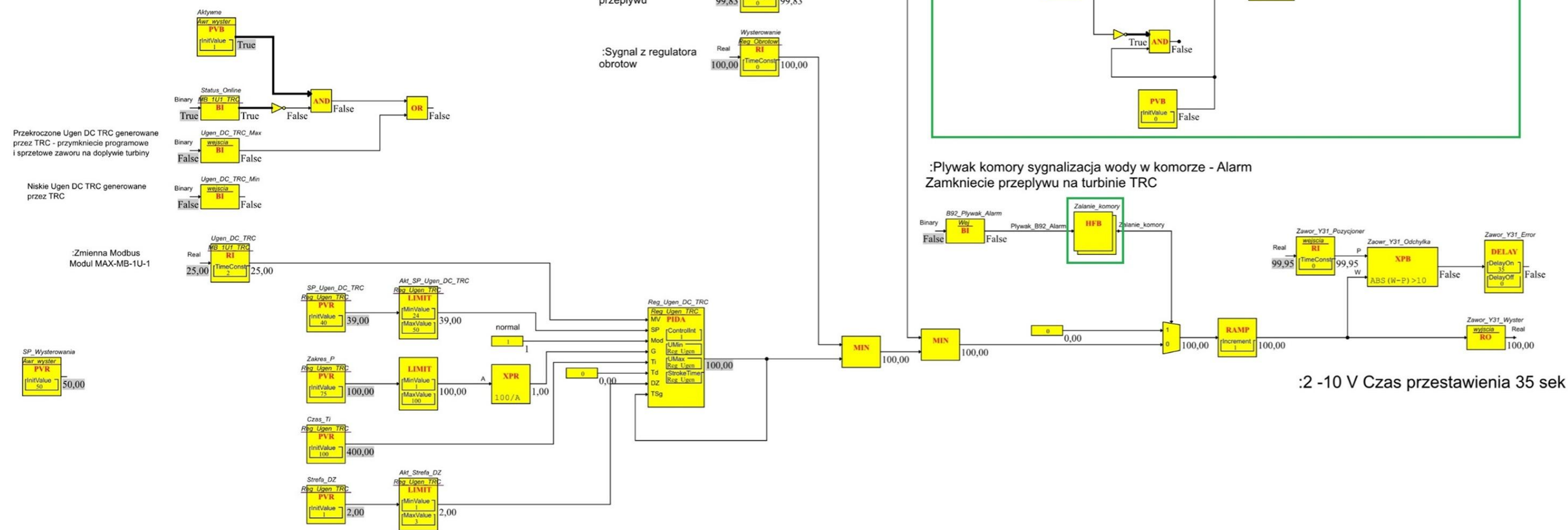
1. Program: algorytm kontrola napięcia zasilania.
2. Program: algorytm dla turbiny – regulacja napięcia generowanego (Ugen DC).
3. Program: algorytm regulacji dyspozycji.
4. Program: algorytm regulacji przepływu.
5. Program: algorytm sterowanie bypassem.
6. Program: sterowania wentylatorem komory.
7. Program: algorytm sterowaniem oświetleniem komory.
8. Program: algorytm sterowania sygnałem PWM.
9. Projekt elektryczny komory o zasilaniu OFF-Grid.
10. Projekt technologiczny komory o zasilaniu OFF-Grid.
11. Fotografie komory o zasilaniu OFF-Grid.

ZAŁĄCZNIKI



Rys. 1. Program: algorytm kontrola napięcia zasilania

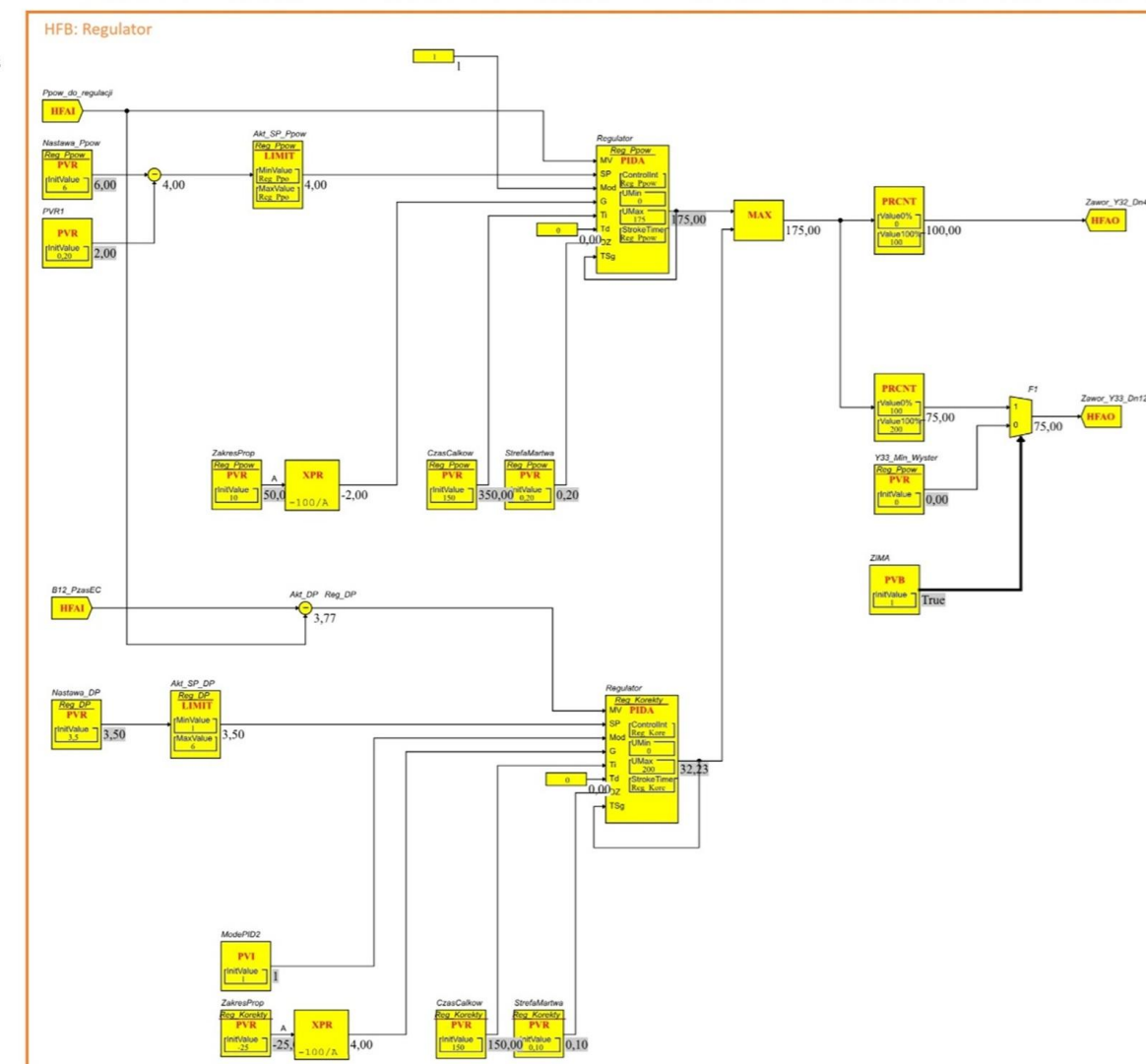
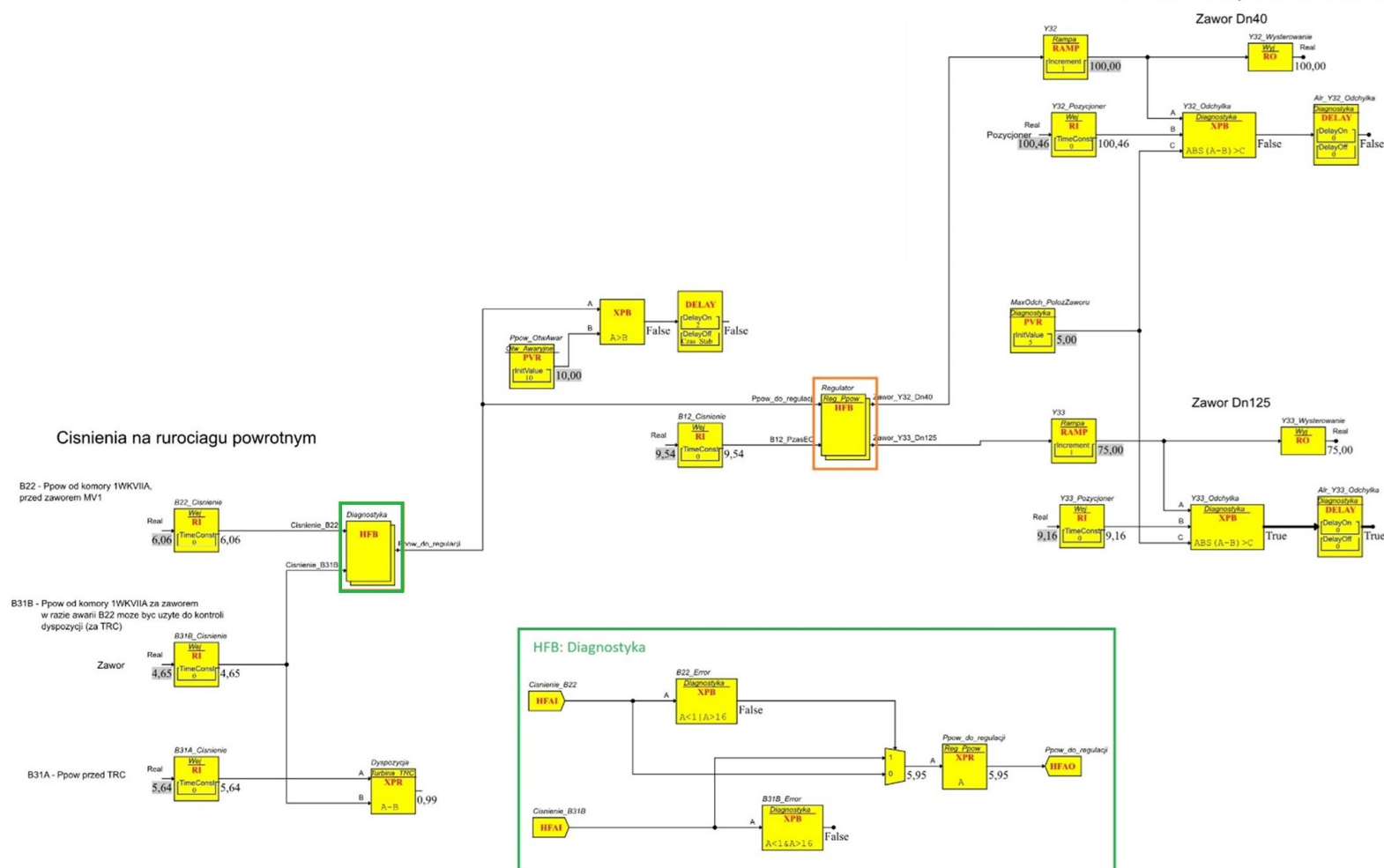
grudzien 2020 ver 1.0



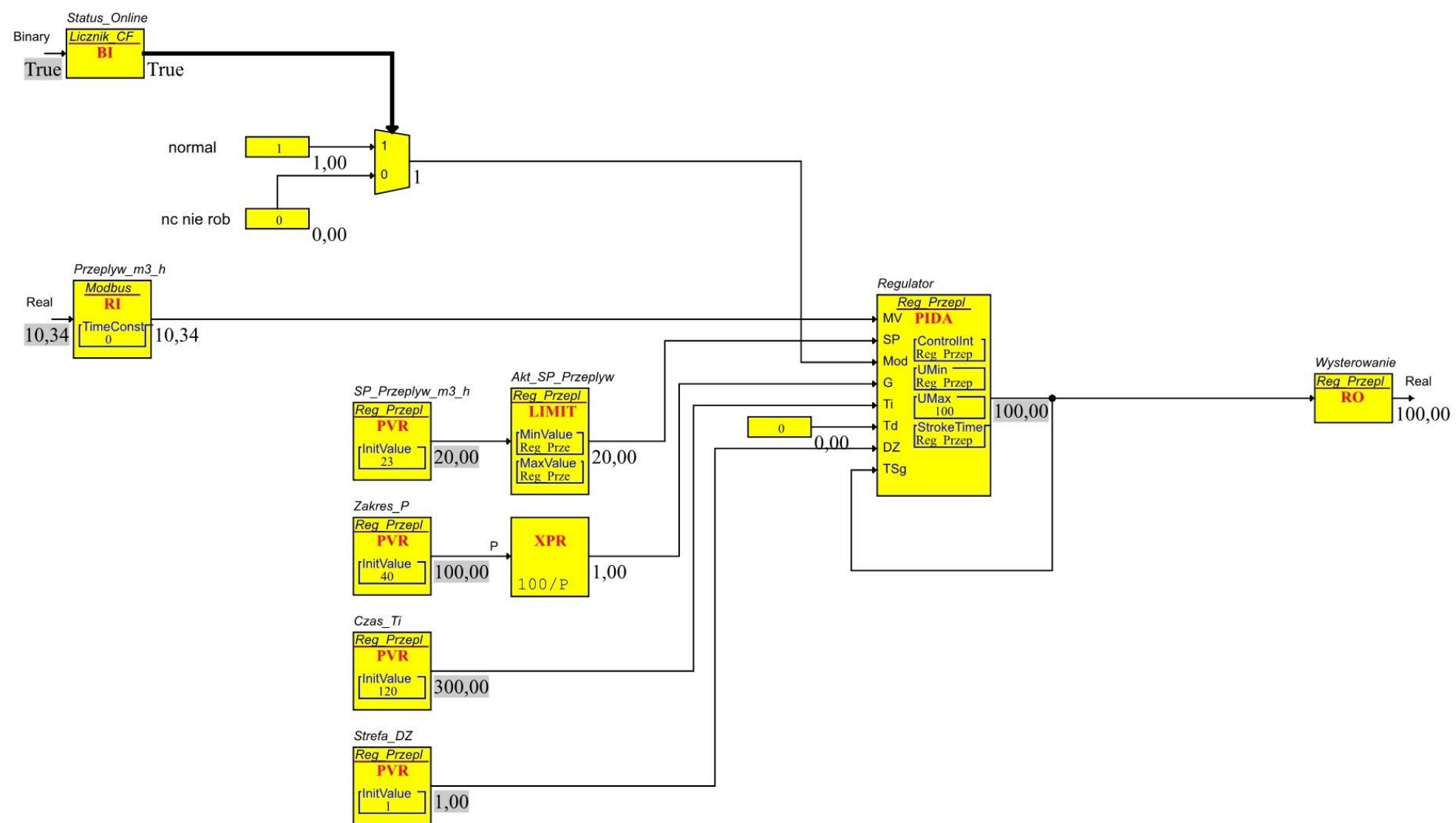
Rys. 2. Program: algorytm dla turbiny – regulacja napięcia generowanego (Ugen DC)

: 03.11.2023 Robert Wisniewski

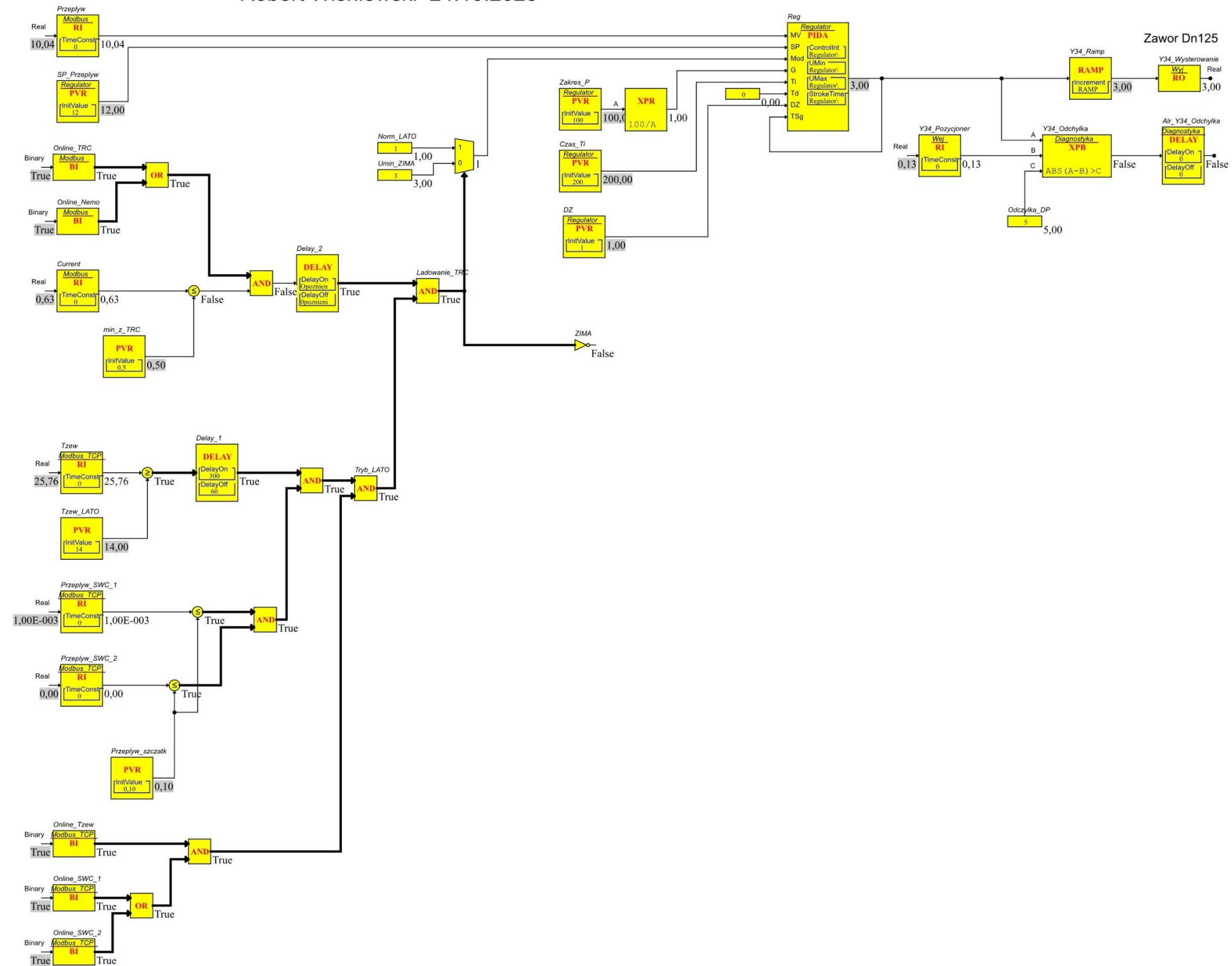
:2-10V Czas przestawienia 150 s



Rys. 3. Program: algorytm regulacji dyspozycji

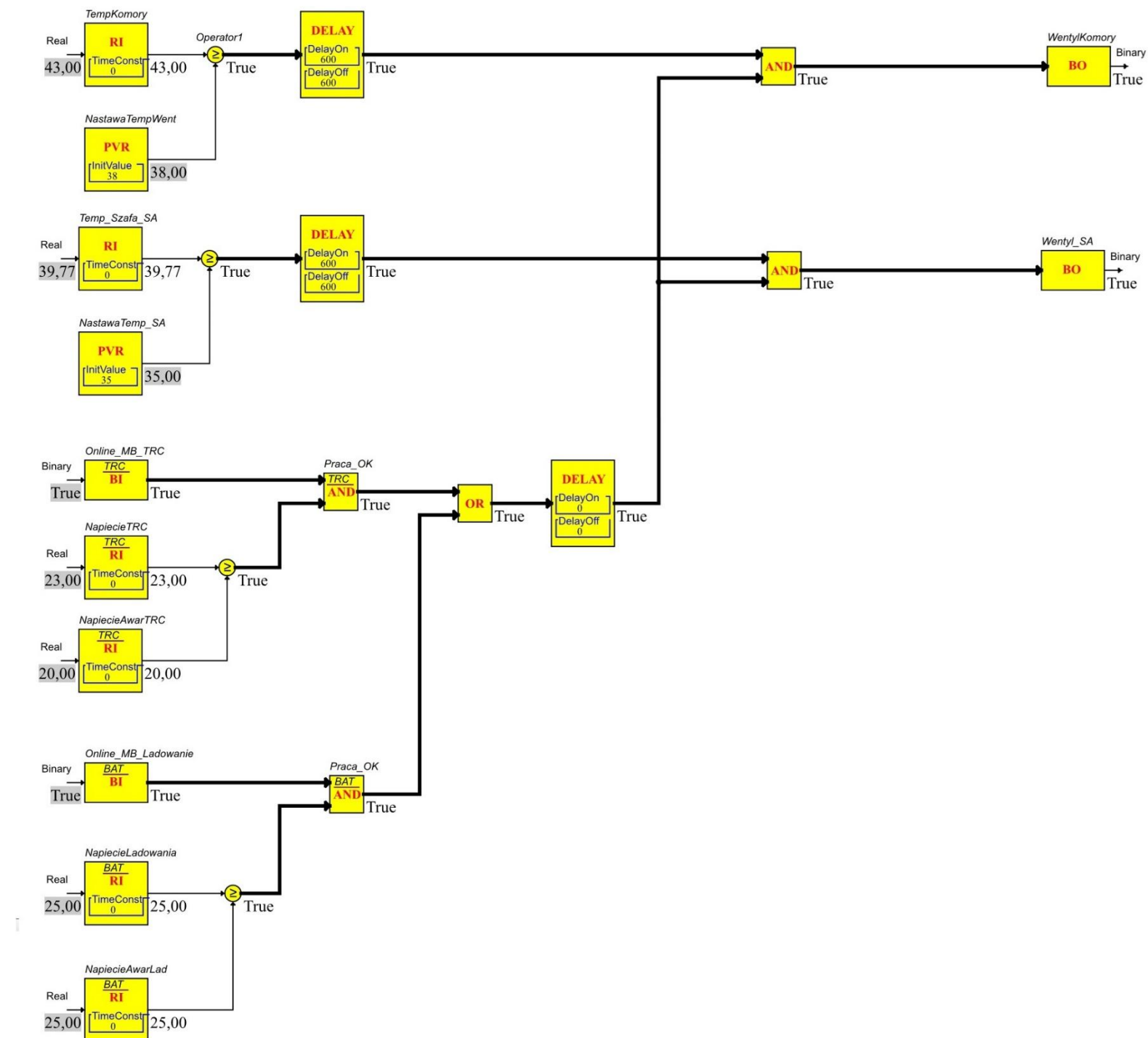


Rys. 4. Program: algorytm regulacji przepływu



Rys. 5. Program: algorytm sterowanie bypasssem

Robert Wisniewski 2023



Rys. 6. Program: sterowania wentylatorem komory

ZAŁĄCZNIK NR 6

INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo
Energetyki Ciepłej S.A.
Al. Jana Pawła II 188
30-969 Kraków

ZADANIE: Automatyzacji komory ciepłowniczej 1WKVII/1A
os. II Pułku Lotniczego
Kraków

OBIEKT: Komora ciepłownicza 1WKVII/1A
os. II Pułku Lotniczego
Kraków

ZAKRES: Projekt wykonawczy układu sterowania

PROJEKTOWAŁ: inż. Dariusz Górniak
upr. nr SLK/1025/PWOE/05
specjalność instalacyjna w zakresie sieci, instalacji
i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych

DATA: lipiec 2020 r.

inż. Dariusz Górniak
uprawnienia budowlane do projektowania
i kierowania robotami budowlanymi
bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej
w zakresie sieci, instalacji i urządzeń
elektrycznych i elektroenergetycznych
nr ewid.: SLK/1025/PWOE/05

1. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

1. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA.....	2
SPIS RYSUNKÓW	2
ZAŁĄCZNIKI	2
2. PODSTAWA OPRACOWANIA	3
3. ZAKRES OPRACOWANIA	3
4. ZESTAWIENIE ODBIORÓW	3
5. OPIS OBIEKTU	4
6. ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE	4
6.1. UKŁAD WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ	4
6.2. INSTALACJA OŚWIETLENIA	4
6.3. INSTALACJA POMPY ODWADNIAJĄCEJ	4
6.4. ROZDZIELNICA SA	5
6.5. UKŁAD STEROWANIA	5
6.6. KOMUNIKACJA	6
7. PROWADZENIE PRZEWODÓW	6
8. OZNAKOWANIE APARATURY ORAZ PRZEWODÓW	6
9. UWAGI KOŃCOWE	7
10. LISTA KABLOWA	8
11. LISTA URZĄDZEŃ PERYFERYJNYCH	9
12. ZESTAWIENIE MATERIAŁÓW	10

SPIS RYSUNKÓW

Nr rys.	Ilość arkuszy	Tytuł	Format	Uwagi
01	1	Schemat technologiczny.	A4	
02	1	Schemat rozdzielnic SZS	A4	
03	9	Schemat rozdzielnic SA	A4	
04	1	Rozdzielnica SZS. Rozmieszczenie aparatury.	A4	
05	1	Rozdzielnica SA. Rozmieszczenie aparatury.	A4	
06	1	Schemat komunikacji	A4	
07	1	Komora 1WKVII/1A. Rozmieszczenie urządzeń.	A4	

ZAŁĄCZNIKI

Nr zał.	Ilość stron	Tytuł	Format	Uwagi
01	2	Aktualizacja założeń do projektu modernizacji komory 1WKVII/1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego	A4	
02	1	Uprawnienia budowlane nr SLK/1025/PWEO/05 projektanta	A4	
03	1	Zaświadczenie o przynależności projektanta do OIIB	A4	

2. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawa opracowania projektu:

- Warunki Techniczne nr RCW/51/81/2019 wydane 28.06.2019 r. przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie,
- aktualizacja Warunków Technicznych nr RCW/51/353/2019 wydane 07.01.2020 r. przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie,
-
- wizja lokalna,
- obowiązujące normy i przepisy,
- uzgodnienia międzybranżowe prowadzone w trakcie projektowania,
- dane techniczne urządzeń.

3. ZAKRES OPRACOWANIA

Opracowanie obejmuje dokumentację wykonawczą modernizacji komory ciepłowniczej 1WKVII/1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego w Krakowie w zakresie generatora energii elektrycznej, układu zasilania oraz sterowania napędów zaworów magistrali ciepłowniczej, instalacji oświetlenia oraz pompy odwadniającej.

Zakres opracowania (instalacja elektryczna):

- instalacja generatora energii elektrycznej,
- instalacja zasilania napędów zaworów,
- instalacja zasilania pompy odwadniającej,
- instalacja oświetlenia komory,

Zakres opracowania (układ sterowania):

- sterowanie napędów zaworów,
- komunikację GPRS z nadrzędnym systemem sterowania (SCADA).

4. ZESTAWIENIE ODBIORÓW

Zestawienie odbiorów:

- | | |
|---|--------|
| - napędy zaworów..... | 40 W, |
| - pompa odwadniająca..... | 290 W, |
| - oświetlenie komory..... | 80 W, |
| - układ sterowania..... | 30 W, |
| - grzałki (nagrzewnice) elektryczne + wentylator komory | 560 W. |

Moc zainstalowana: 1000 W,

Moc szczytowa: 590 W,

Napięcie zasilania: 24 VDC.

5. OPIS OBIEKTU

W komorze 1WKVII/1A zainstalowany będzie generator energii elektrycznej w postaci turbiny wodnej (sieć powrotna w.p.) oraz trzy zawory regulacyjne z napędami elektrycznymi.

6. ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

6.1. UKŁAD WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Układ wytwarzania energii elektrycznej zbudowany będzie w oparciu o generator prądu stałego o napięciu w zakresie 24-28 V napędzany turbiną wodną zabudowaną w rurociągu czynnika powrotnego w.p. Zasilanie z generatora prądu wprowadzone jest do przetwornika generatora, z którego wyprowadzona jest szyna 24VDC. Do szyny 24VDC włączone są (poprzez moduł zabezpieczający) dwa szeregowo połączone akumulatory o napięciu 12V i pojemności 60 Ah. Moduł zabezpieczeń akumulatorów zapewnia ciągłość zasilania na szynie 24VDC oraz kontrolę ładowania akumulatorów. Informacje o statusie modułu (stan alarmowy) przekazywane są do sterownika PLC, a za jego pośrednictwem do systemu SCADA MPEC S.A.

Ze względu na warunki pracy akumulatory należy zabudować jako wolnostojące, na ramie wsporczej wykonanej z kątownika 25x25x2 ze stali kwasoodpornej lub ze stali malowanej proszkowo. Przetwornik generatora oraz moduł zabezpieczeń akumulatorów należy zabudować bezpośrednio na ścianie komory, bez dodatkowej obudowy. Wszystkie połączenia przewodów z akumulatorami oraz przetwornikiem generatora i modułem zabezpieczeń akumulatorów wykonać jako śrubowe (końcówki oczkowe) i zabezpieczyć wazeliną techniczną bezkwasową.

6.2. INSTALACJA OŚWIETLENIA

W komorze przewidziane zostało oświetlenie oparte na oprawach bryzgoszczelnych montowanych bezpośrednio do stropu i wyposażonych elektroluminescencyjne źródła światła (LED) zasilane napięciem 24 VDC.

Przycisk oświetlenia zlokalizowany jest w górnej części komory, przy wlocie oraz włączony do wejścia sterownika zainstalowanego w rozdzielnicy SA.

Oprawy oświetleniowe należy zasilć z rozdzielnicy SA przewodem YDY 2x1,5 mm².

6.3. INSTALACJA POMPY ODWADNIAJĄCEJ

W komorze przewidziana została pompa odwadniająca zasilana napięciem 24 VDC i sterowana za pomocą sygnalizatora pływakowego umieszczonego wraz z pompą w studzience odwadniającej.

Ponadto przewidziany został drugi sygnalizator pływakowy umieszczonego na poziomie 10 cm nad dnem komory służący do alarmowania stanu zalewania komory.

Pompę odwadniającą należy zasilć z rozdzielnicy SA przewodem YLY 3x2,5 mm².

6.4. ROZDZIELNICA SA

Rozdzielnica SA zlokalizowana została w komorze 1WKVII/1A (dostęp wyłącznie dla upoważnionego personelu) na ścianie. W związku z lokalizacją rozdzielnic nie jest konieczne dodatkowe jej zabezpieczenie przed ingerencją osób nieupoważnionych.

Z rozdzielnic SA zasilane są oraz sterowane wszystkie urządzenia elektryczne zainstalowane w komorze – napędy zaworów oraz pompa odwadniająca i oświetlenie komory.

Rozdzielnica SA wyposażona jest w następujące elementy:

- wyłącznik główny,
- zabezpieczenia obwodów,
- lampkę sygnalizacyjną obecności napięcia szyny 24VDC,
- elementy sterownicze (sterownik PLC),
- listwy zaciskowe (przyłączeniowe).

Szczegóły przedstawione zostały w zestawieniu materiałowym.

6.5. UKŁAD STEROWANIA

Sterowanie napędów zaworów zrealizowane jest za pomocą sterownika PLC AS-B-24 (prod. Schneider).

Ze sterownika wyprowadzone są następujące sygnały:

- załączenie pompy odwadniającej – sterownik PLC, wyjście DO1,
- załączenie oświetlenia – sterownik PLC, wyjście DO2,
- załączenie wentylatora szafy SA – sterownik PLC, wyjście DO3,
- załączenie wentylatora komory oraz grzałek komory – sterownik PLC, wyjście DO4,
- sterowanie położeniem zaworu Y31 – sterownik PLC, wyjście Ua3,
- sterowanie położeniem zaworu Y32 – sterownik PLC, wyjście Ua5,
- sterowanie położeniem zaworu Y33 – sterownik PLC, wyjście Ua7,
- sterowanie położeniem zaworu Y34 – sterownik PLC, wyjście Ua1.

Do sterownika wprowadzone są następujące sygnały:

- sygnał zwrotny położenia zaworu Y31 – sterownik PLC, wejście Ua4,
- sygnał zwrotny położenia zaworu Y32 – sterownik PLC, wejście Ua6,
- sygnał zwrotny położenia zaworu Y33 – sterownik PLC, wejście Ua8,
- sygnał zwrotny położenia zaworu Y33 – sterownik PLC, wejście Ua2,
- pomiar temperatury zas. w.p. – poprzez licznik ciepła LC31,
- pomiar temperatury powr. w.p. – poprzez licznik ciepła LC31,
- pomiar ciśnienia zasilania sieci – sterownik PLC, wejście Ub1,
- pomiar ciśnienia powrotu sieci – sterownik PLC, wejście Ub2,
- pomiar ciśnienia powrotu sieci przed generatorem – sterownik PLC, wejście Ub3,
- pomiar ciśnienia powrotu sieci za generatorem – sterownik PLC, wejście Ub4,
- poziom wody w studziencie odwadniającej (praca pompy) – sterownik PLC, wejście Ua9,
- poziom wody (alarmowy) w komorze – sterownik PLC, wejście Ua10,

- sterowanie oświetleniem – sterownik PLC, wejście DI4,
- status modułu zabezpieczenia akumulatora (stan alarmowy) – sterownik PLC, wejście DI1,
- sygnał prędkości obrotowej generatora – sterownik PLC, wejście DI2,
- temperatura rozdzielnic SA – sterownik PLC, wejście Ua11,
- przepływ czynnika przez generator – sterownik PLC, Modbus

Temperatura wewnątrz rozdzielnic SA jest kontrolowana i regulowana za pomocą układu wentylacji sterowanego ze sterownika PLC (na podstawie pomiaru temperatury wewnętrznej rozdzielnic SA).

W rozdzielnic SK (wewnątrz komory) zainstalowany zostanie modem GPRS połączony ze sterownikiem przewodem FTP kat. 6.

6.6. KOMUNIKACJA

Połączenie projektowanego układu sterowania z systemem SCADA MPEC S.A. zrealizowane jest poprzez łącze GPRS. Modem GPRS zainstalowany w rozdzielnic SK połączyć należy ze sterownikiem PLC zainstalowanym w rozdzielnic SA przewodem FTP kat. 6 4x2x0,5.

7. PROWADZENIE PRZEWODÓW

Zasilanie poszczególnych odbiorów wykonać przewodami YLY oraz YDY.

Trasy kablowe układu sterowania urządzeń węzła ciepłego wykonane będą następującymi kablami oraz przewodami:

- przewody sterownicze pomiędzy rozdzielnicami: YSTY 300/500 V
- przewody sterownicze napędu zaworu oraz przetworników pomiarowych LIYYY 300/500 V.

Do układania kabli wykorzystać należy sztywne / giętke (peszel) rurki instalacyjne PCV. Wszelkie rurki instalacyjne PCV muszą spełniać warunki niepalności (nierozprzestrzeniania płomienia).

8. OZNAKOWANIE APARATURY ORAZ PRZEWODÓW

Wszystkie aparaty zainstalowane w rozdzielnic należy oznakować w sposób trwały za pomocą oznaczników (naklejek) zgodnie z wymogami i standardami Inwestora.

Wszystkie przewody należy oznakować w sposób trwały za pomocą oznaczników (profile lub tabliczki) zgodnie z wymogami i standardami Inwestora. Oznakowanie musi identyfikować początek oraz koniec połączenia. Ponadto na przewodzie zasilającym rozdzielnicę (przy rozdzielnic) należy opisać miejsce zasilania (wyprowadzenia obwodu) rozdzielnic.

Oznakowanie adresów przewodów okablowania wewnętrznego rozdzielnic RAKP wykonać należy za pomocą oznaczników kablowych adresujących przeciwny koniec połączenia w formacie [numer_aparatu]-[numer_zacisku]. Dla połączenia [aparat_X ,zacisk_A] – [aparat_Y ,zacisk_B] treść oznaczników posiadać będzie odpowiednio: dla aparatu X: [aparat_Y – zacisk_B] oraz dla aparatu Y: [aparat_X – zacisk_A].

9. UWAGI KOŃCOWE

Prace wykonać zgodnie z niniejszą dokumentacją. Wszelkie zmiany bez zgody projektanta są niedopuszczalne.

Wszystkie prace instalacyjne wynikające z zakresu niniejszego opracowania powinny być wykonane przez wykwalifikowany i posiadający wymagane uprawnienia personel zgodnie z "Warunkami technicznymi wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych" tom V.

Po wykonaniu instalacji należy dokonać pomiarów zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami, a ich wyniki przedstawić Inwestorowi.

Zabrania się prowadzenia prac pod napięciem.

Całość prac należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami.

Po wykonaniu instalacji należy dokonać pomiarów zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami, a ich wyniki przedstawić Inwestorowi.

Zastosowane wyroby winny mieć aktualne świadectwa dopuszczenia do stosowania, a wyroby objęte wykazem stanowiącym załącznik do Rozporządzenia Rady Ministrów z 3.11.1999r. (Dz. Ustaw nr 5 z 2000 r.) certyfikaty na znak bezpieczeństwa „B”.

10. LISTA KABLOWA

Lp	Oznacz.	Od	Do	Typ
1.	W31	G31 – generator energii elektrycznej	rozdzielnicza SZS	YLY 4x4
2.	W02	rozdzielnicza SZS	U02 – przetwornik generatora	YLY 4x4
3.	W03	rozdzielnicza SZS	U03 – moduł zabezp. akumulatorów	LIYY 2x0,75
4.		U02 – przetw. generatora	U03 – moduł zabezp. akumulatorów	LgY 1x6
5.		U03 – mod. zabezp. akumulatorów	rozdzielnicza SZS	LgY 1x6
6.		U02 – przetw. generatora	BAT04A – akumulator	LgY 1x6
7.		BAT04A – akumulator	BAT04B – akumulator	LgY 1x6
8.		BAT04B – akumulator	rozdzielnicza SZS	LgY 1x6
9.	W01	SZS	rozdzielnicza SA	YLY 4x4
10.	W91	SA	pompa odwadniająca	YLY 2x2,5
11.	W92	SA	oprawy oświetleniowe	YDY 2x1,5
12.	W93	SA	E93 – grzałka (nagrzewnica) elektryczna	YLY 2x2,5
13.	W94	SA	E94 – grzałka (nagrzewnica) elektryczna	YLY 2x2,5
14.	W95	SA	M95 – wentylator komory	YLY 2x2,5
15.	WY31	SA	Y31 – napęd zaworu regulacyjnego	LIYY 4x0,75
16.	WY32	SA	Y32 – napęd zaworu regulacyjnego	LIYY 4x0,75
17.	WY33	SA	Y33 – napęd zaworu regulacyjnego	LIYY 4x0,75
18.	WY34	SA	Y34 – napęd zaworu regulacyjnego	LIYY 4x0,75
19.	WB12	SA	przetwornik ciśnienia zasilania w.p.	LIYY 2x0,75
20.	WB22	SA	przetwornik ciśnienia powrotu w.p.	LIYY 2x0,75
21.	WB31A	SA	przetwornik ciśnienia powrotu w.p. przed generatorem	LIYY 2x0,75
22.	WB31B		przetwornik ciśnienia powrotu w.p. za generatorem	LIYY 2x0,75
23.	WB11	LC31	B11 – przetw. temperatury zas. w.p.	wyposażenie fabryczne
24.	WB12	LC31	B12 – przetw. temperatury powr. w.p.	wyposażenie fabryczne
25.	WB91A	SA	sygnalizator pływakowy B91A	wyposażenie fabryczne
26.	WB91B	SA	sygnalizator pływakowy B91B	wyposażenie fabryczne
27.	WS92	SA	przycisk oświetlenia S92	YDY 2x1,5
28.	WS71	SA	rozdzielnicza SZS	LIYY 2x0,75
29.	WS72	SA	generator	LIYY 2x0,75
30.		SA	rozdzielnicza SK	FTP kat. 6 2x2x0,5
31.	WLC31A	SA	licznik ciepła LC31	LIYY 2x0,75
32.	WLC31B	SA	licznik ciepła LC31	J-YStY 2x2x0,8
33.	WU31	LC31	przepływomierz U31	wyposażenie fabryczne

11. LISTA URZĄDZEŃ PERYFERYJNYCH

Lp	Oznaczenie	Opis	Typ urządzenia
Rozdzielnica SZS			
1.	G31	Generator	ETN-50-032-250 GG
2.	U02	Przetwornik generatora	Victron Energy MPPT 100/50
3.	U03	Moduł zabezpieczenia akumulatorów	Victron Energy SBP 65
4.	BAT04A BAT04B	Akumulator	12V 60Ah
5.	SA	rozdzielnica SA	prefabrykacja zgodnie z rys. 04 i 05
Rozdzielnica SA			
6.	Y31	napęd zaworu regulacyjnego	Belimo SV24A-SR-TPC
7.	Y32	napęd zaworu regulacyjnego	Belimo SV24A-SR-TPC
8.	Y33	napęd zaworu regulacyjnego	Belimo RV24A-SR
	Y34	napęd zaworu regulacyjnego	Belimo SV24A-SR-TPC
9.	Podw (M91)	pompa odwadniająca	zgodnie z oprac. technologicznym
10.	L	oprawy oświetleniowe	LED 20W, IP65, barwa 840
11.	B91A	sygnalizator pływakowy ster. pompy	Nivostop SS2/KW5
12.	B91B	sygnalizator pływakowy zasilania komory	Nivostop SS2/KW5
13.	S92	przycisk sterowania oświetlenia	przycisk zwierny 250V/10A, n/t, IP44
14.	E93	grzałka (nagrzewnica) elektryczna	zgodnie z oprac. technologicznym
15.	E94	grzałka (nagrzewnica) elektryczna	zgodnie z oprac. technologicznym
16.	M95	wentylator komory	zgodnie z oprac. technologicznym
17.	B12	przetwornik ciśnienia zasilania w.p.	Aplisens APC2000PD/0÷2,5MPa/0÷2,5MPa/ M20x1,5
18.	B22	przetwornik ciśnienia powrotu w.p. (przed zaworami regulacyjnymi)	Aplisens APC2000PD/0÷2,5MPa/0÷2,5MPa/ M20x1,5
19.	B31	przetwornik ciśnienia powrotu w.p. (przed generatorem)	Aplisens APC2000PD/0÷2,5MPa/0÷2,5MPa/ M20x1,5
20.	B32	przetwornik ciśnienia powrotu w.p. (obejścia)	Aplisens APC2000PD/0÷2,5MPa/0÷2,5MPa/ M20x1,5
21.	B11	przetwornik temperatury zasilania w.p	Schneider STP300-3000/160
22.	B21	przetwornik temperatury powrotu w.p.	Schneider STP300-3000/160
23.	U31	(licznik ciepła) ultradźwiękowy czynnika generatora	Itron CF55+US AXONIC

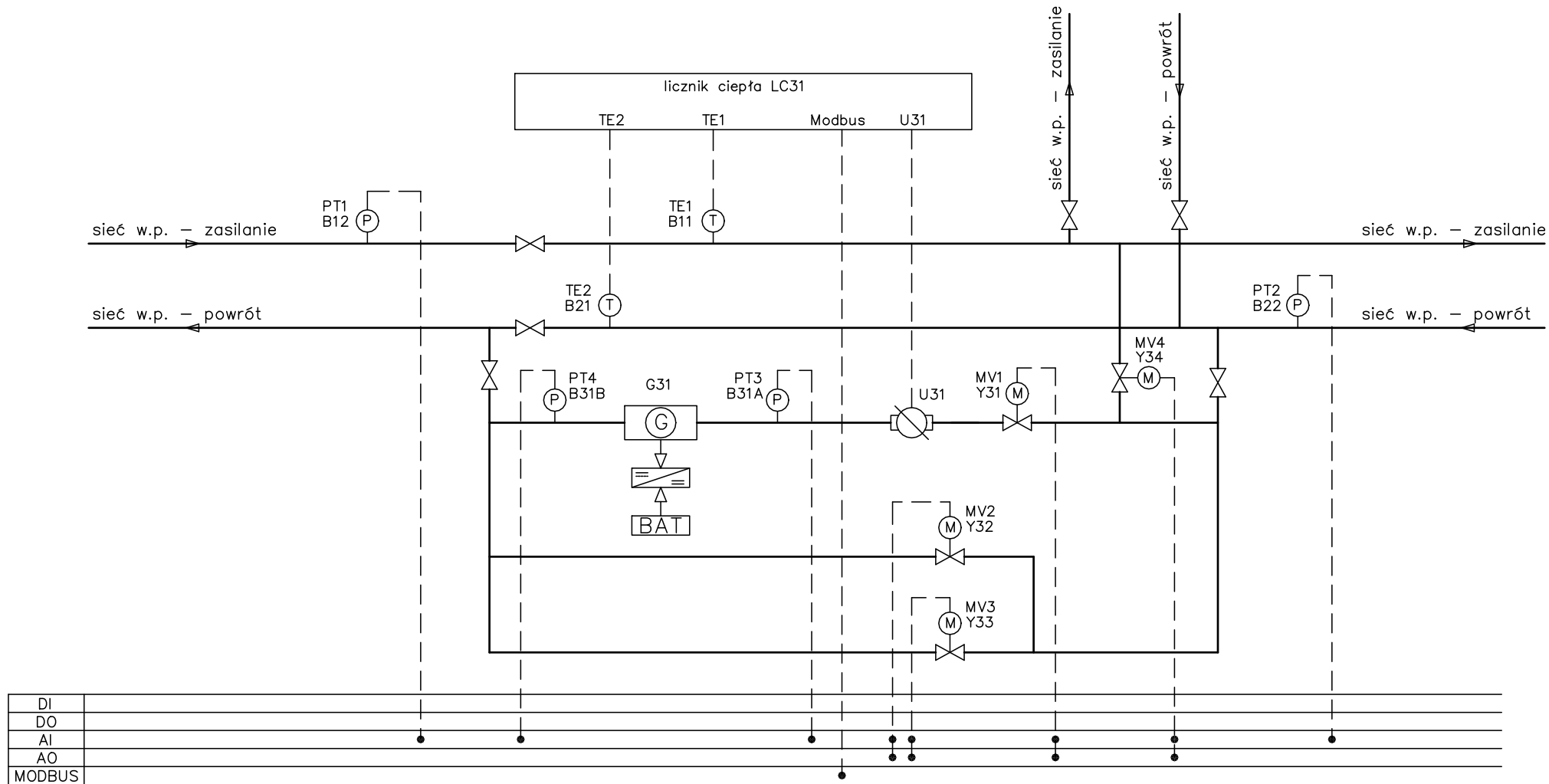
12. ZESTAWIENIE MATERIAŁÓW

Lp	Oznacz.	Opis	Ilość	Materiał referencyjny
Układ zasilania				
1.	U02	Przetwornik generatora	1 szt	Victron Energy MPPT 100/50
2.	U03	Moduł zabezpieczenia akumulatora	1 szt.	Victron Energy SBP 65
3.	BAT04A, BAT04B	Akumulator 12V 65Ah	2 szt.	Victron Energy
4.		Rama wsporcza dla akumulatorów j.w.	1 kpl.	wykonanie warsztatowe
Rozdzielnica SZS				
5.	SE	Obudowa z tworzywa, IP65 wymiary: 310x410x170	1 kpl.	Pawbol C.1602
6.	Q01	Rozłącznik 0-1, IP55, 3P, 32A napęd zewnętrzny żółto-czerwony		Eaton P1-32/EA/SVB
7.	F04	Podstawa bezpiecznikowa z wkładką 25A	1 kpl.	Midival 25A
8.	F05	Podstawa bezpiecznikowa z wkładką 20A	1 kpl.	Midival 20A
9.	K06	Przełącznik 2xNO/NC 5A Uc=24VDC + gniazdo do mont. na szynie TH35	1 kpl.	Relpol R2M 24VDC + GZ2
10.	X1,X2	Złączka ochronna, mont. Na szynie TH35 zacisk 10 mm ² , żółto-zielona	1 szt.	Pokój ZUO-10
11.	X1,X2	Złączka mont. na szynie TH35 zacisk 4 mm ²	8 szt.	Pokój ZUG-G4
12.	X1	Złączka mont. na szynie TH35 zacisk 2,5 mm ²	2 szt.	Pokój ZUG-G2,5
13.		Kanał grzebieniowy PCV 25x40	1 mb	
14.		Przewód LgY 6 mm ²	5 mb	
15.		Przewód LgY 1 mm ²	2 mb	
Rozdzielnica SA				
16.	SA	Obudowa z tworzywa, IP65 wymiary: 410 x 610 x 202 cm	1 kpl.	Pawbol C.1603
17.	Q01	Rozłącznik 0-1, IP55, 3P, 25A napęd zewnętrzny żółto-czerwony	1 kpl.	Eaton P1-25/EA/SVB
18.	H02	Lampka sygnalizacyjna obudowa zielona IP67 dioda 24VAC biała	1 kpl.	Eaton M22-L-W M22-LED-G
19.	F03	Wyłącznik nadmiarowoprądowy 1P, 2A-DC, charakterystyka C	1 szt.	Eaton CLS6-C2-DC-DE
20.	B03	Czujnik temperatury NTC 1,8 k bez osłony, do włączenia bezpośrednio do zacisków sterownika PLC	1 szt.	

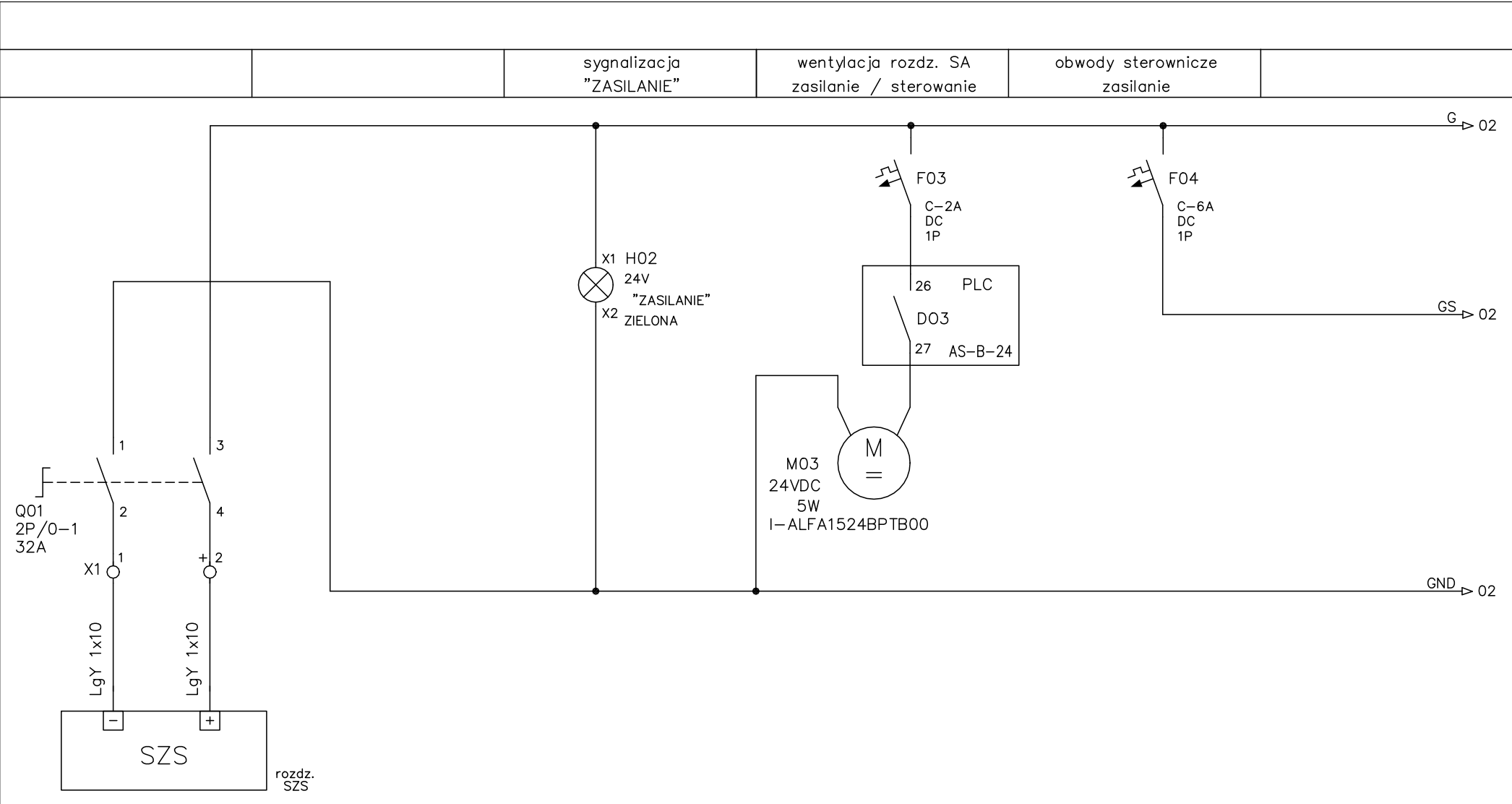
21.	M03	Wentylator 38m ³ /h z filtrem 24VAC IP54 +kratka wentylacyjna wylotowa z filtrem	1 kpl.	Schneider Electric NSYCVF38M24DPF
22.	F91	Wyłącznik nadmiarowoprądowy 1P, 16A-DC, charakterystyka C	1 szt.	Eaton CLS6-C16-DC-DE
23.	F92	Wyłącznik nadmiarowoprądowy 1P, 6A-DC, charakterystyka C	1 szt.	Eaton CLS6-C6-DC-DE
24.	K91, K92	Przełącznik instalacyjny 1xNO/NC 16A Uc=24VDC	2 szt.	F&F PK-1P 24 V
25.	R	Rezystor 499 Ω / 0,6 W	2 szt.	
26.	PLC	Sterownik PLC	1 szt.	Schneider AS-B-24
27.	X1-X8	Złączka dwutorowa piętrowa , mont. na szynie TH35 zacisk 2,5 mm ²	49 szt.	Pokój ZUG-G2,5
28.		Kanał grzebieniowy PCV 40x40	2 mb	
29.		Kanał grzebieniowy PCV 25x40	2 mb	
30.		Przewód LgY 1,5 mm ²	5 mb	
31.		Przewód LgY 1 mm ²	50 mb	
Rozdzielnica SK				
32.	SK	Obudowa z tworzywa, IP65 wymary: 31 x 41 x 17 cm	1 kpl.	
33.	GPRS	Modem GPRS Router Board SXE LTE + antena prętowa z kablem o długości 1 m	1 kpl.	MikroTik
Instalacja oświetlenia				
	L	Oprawa LED 24VDC 20W, IP65, barwa 840	4 kpl.	Lena Lighting Tytan LED 24-48V
Trasy, kable, przewody				
34.		Kabel YLY 4x4 mm ²	20 mb	
35.		Kabel YLY 4x2,5 mm ²	5 mb	
36.		Przewód LgY 1x6 mm ²	10 mb	
37.		Przewód YSTY 7x1 mm ²	3 mb	
38.		Kabel YLY 2x2,5 mm ²	8 mb	
39.		Przewód YDY 2x1,5 mm ²	20 mb	
40.		Przewód J-YStY 2x2x0,8	10 mb	
41.		Przewód LIYY 4x0,75 mm ²	50 mb	
42.		Przewód LIYY 2x0,75 mm ²	60 mb	
43.		Przewód J-YStY 2x2x0,8	15 mb	
44.		Przewód FTP 4x2x0,5 kat. 6	10 mb	
45.		Rurka instalacyjna PCV RL28	16 mb	
46.		Rurka instalacyjna PCV RL18	40 mb	
47.		Rurka instalacyjna PCV giętka (peszel) 13/18	50 mb	
Przetworniki pomiarowe				
48.		Sygnalizator pływakowy w kształcie gruszki z kablem o długości 5 m, z uchwytem na kabel i ciężarkiem	2 kpl.	Bamo Polska Nivostop SS2/KW5

49.	B12, B22 B31, B32	Przetwornik ciśnienia 0..2,5 MPa / 24 VDC / 4..20 mA / M20x1,5 + kurek manometryczny Pozycja wydana w części technologicznej	4 kpl.	Aplisens APC2000PD/ 0÷2,5MPa/ 0÷2,5MPa/ M20x1,5
Pozostałe				
50.		Aplikacja sterownika PLC	1 kpl.	
51.	S92	Łącznik zwierny „światło” 250V/10A, n/t IP54	1 szt.	
52.		Osprzęt dodatkowy (kołki, uchwyty, złączki, puszki, dławiki itp.)	1 kpl.	

Powyższe zestawienie materiałów służy do celów kosztorysowych i nie może być jedyną podstawą do zakupu materiału przez wykonawcę.

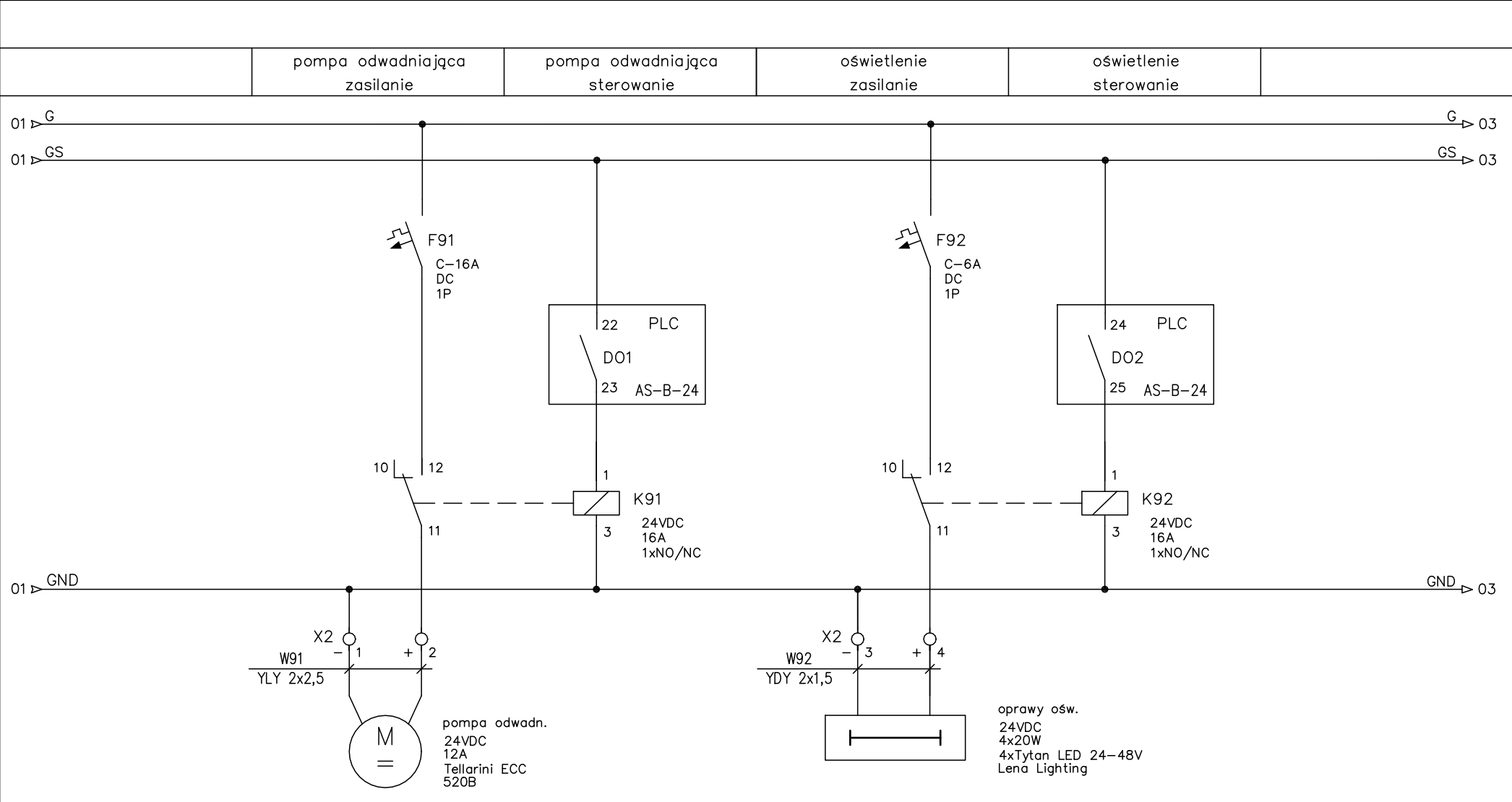


ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Komora 1WKVII/1A Schemat technologiczny	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków		STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy				PROJEKT NR: -	SKALA: - -
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 01
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 01
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



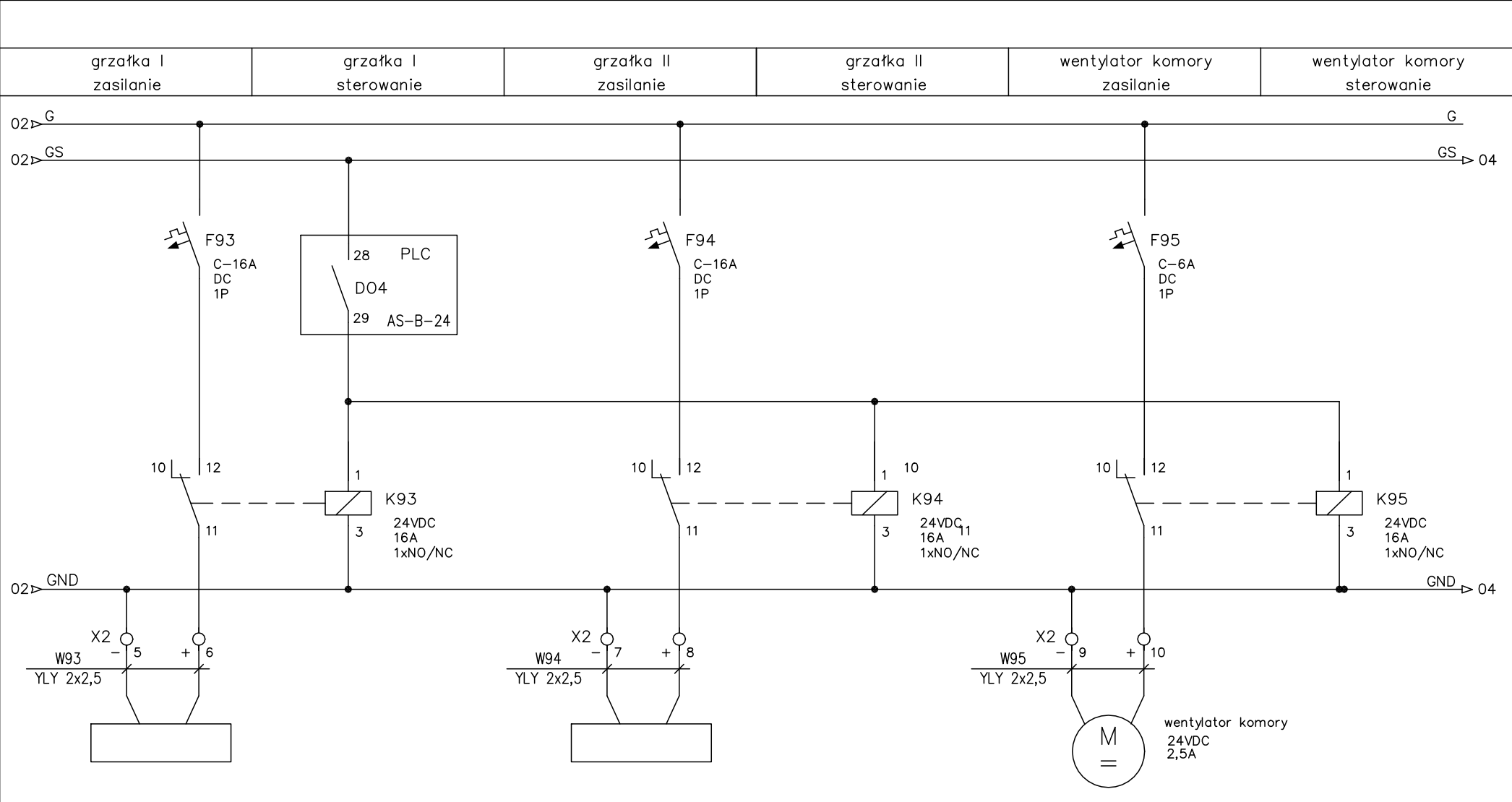
SA					
440 W			5 W		0,05 kW
18,3A			0,7 A		0,2 A
2x LgY 1x10					

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obwody potrzeb własnych	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków			STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 01
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



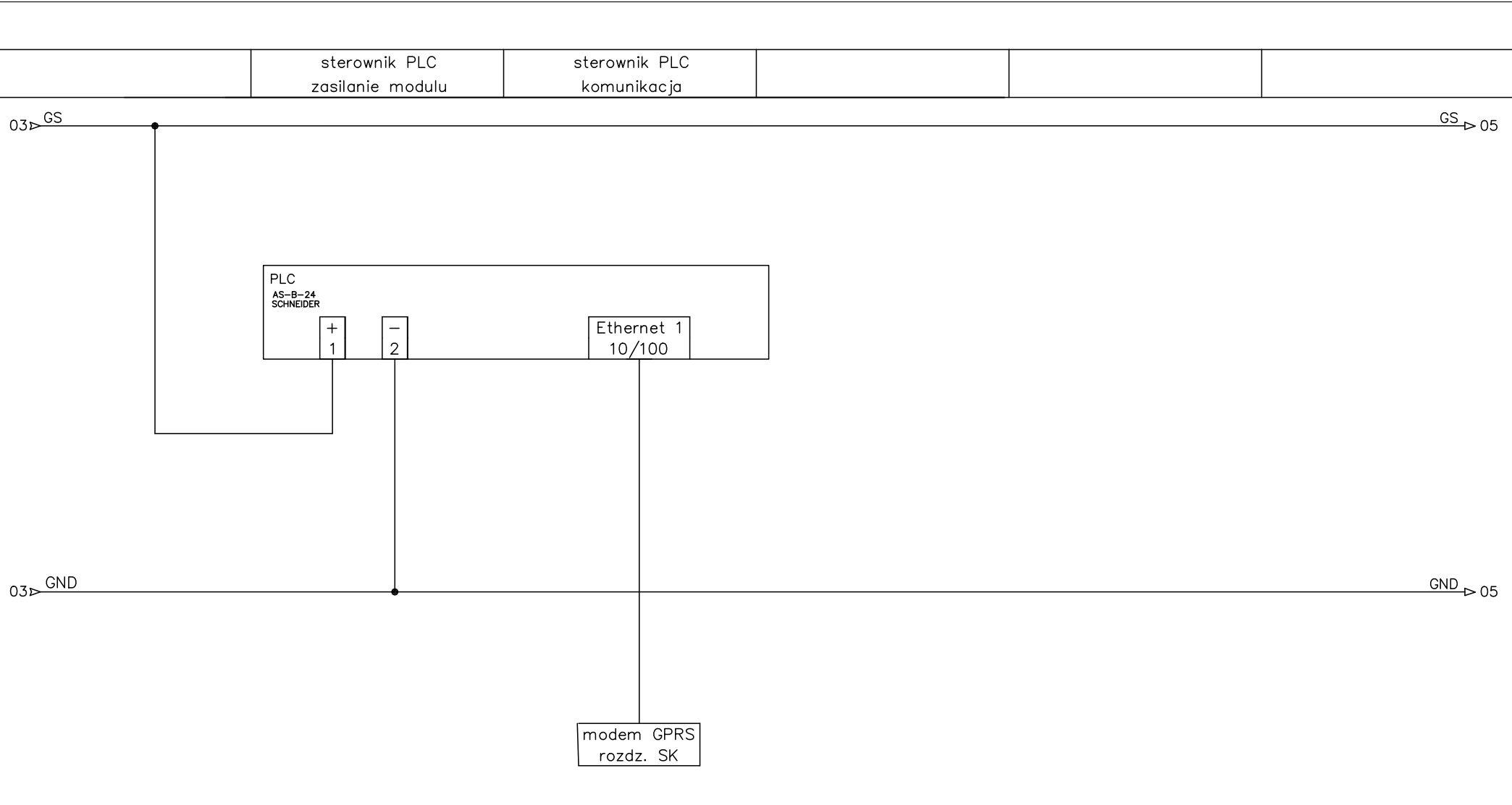
	M91		L92	
	288 W		80 W	0,05 kW
	12,0 A		3,4 A	0,2 A
	W91 / YLY 2x2,5		W92 / YDY 2x1,5	

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obw. pompy odw. i oświetlenia		
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków				STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:			NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 02
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



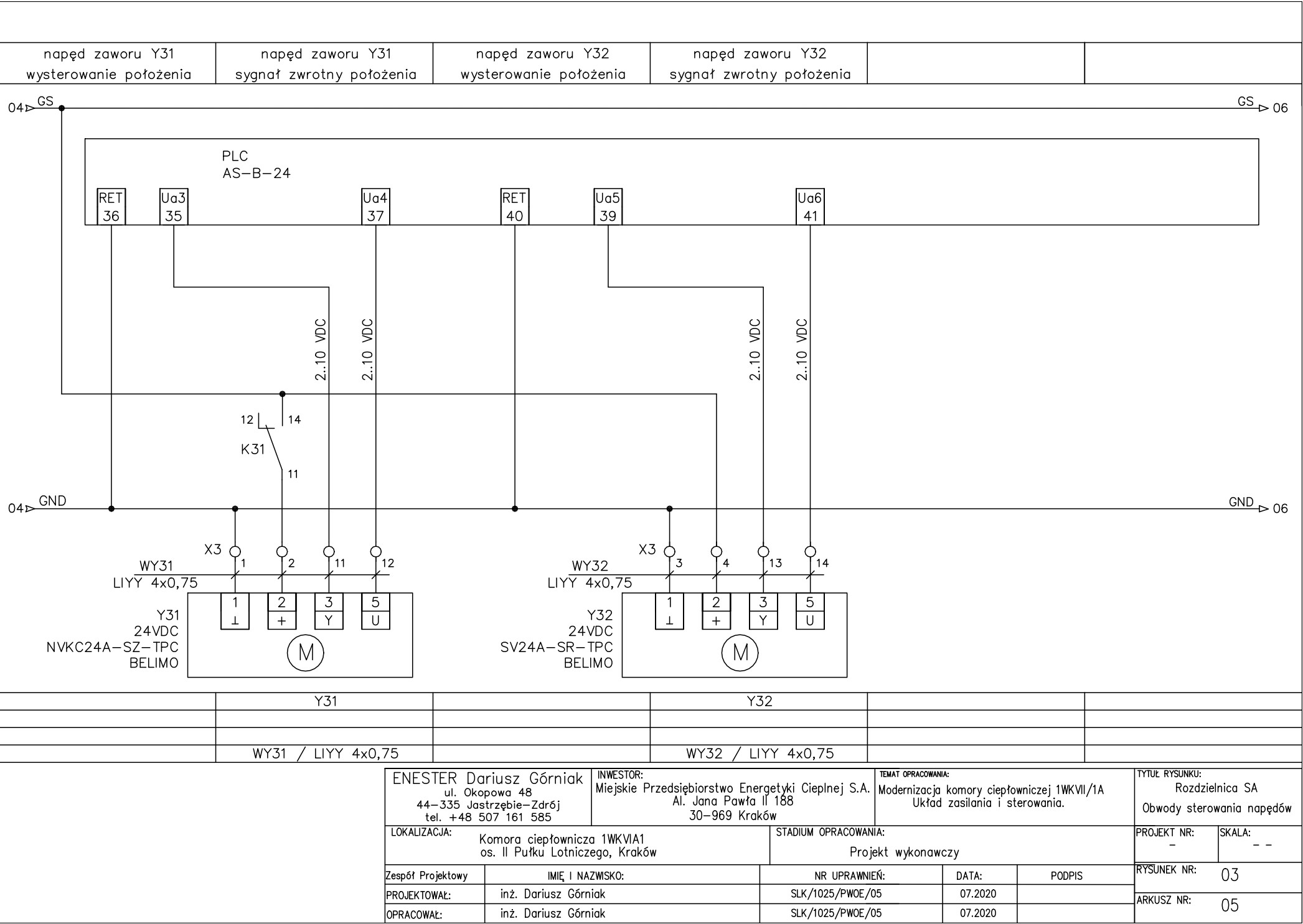
E93		E94		M95	
250W		250W		60 W	
10,4 A		10,4 A		2,5 A	
W93 / YLY 2x2,5		W94 / YLY 2x2,5		W95 / YLY 2x1,5	

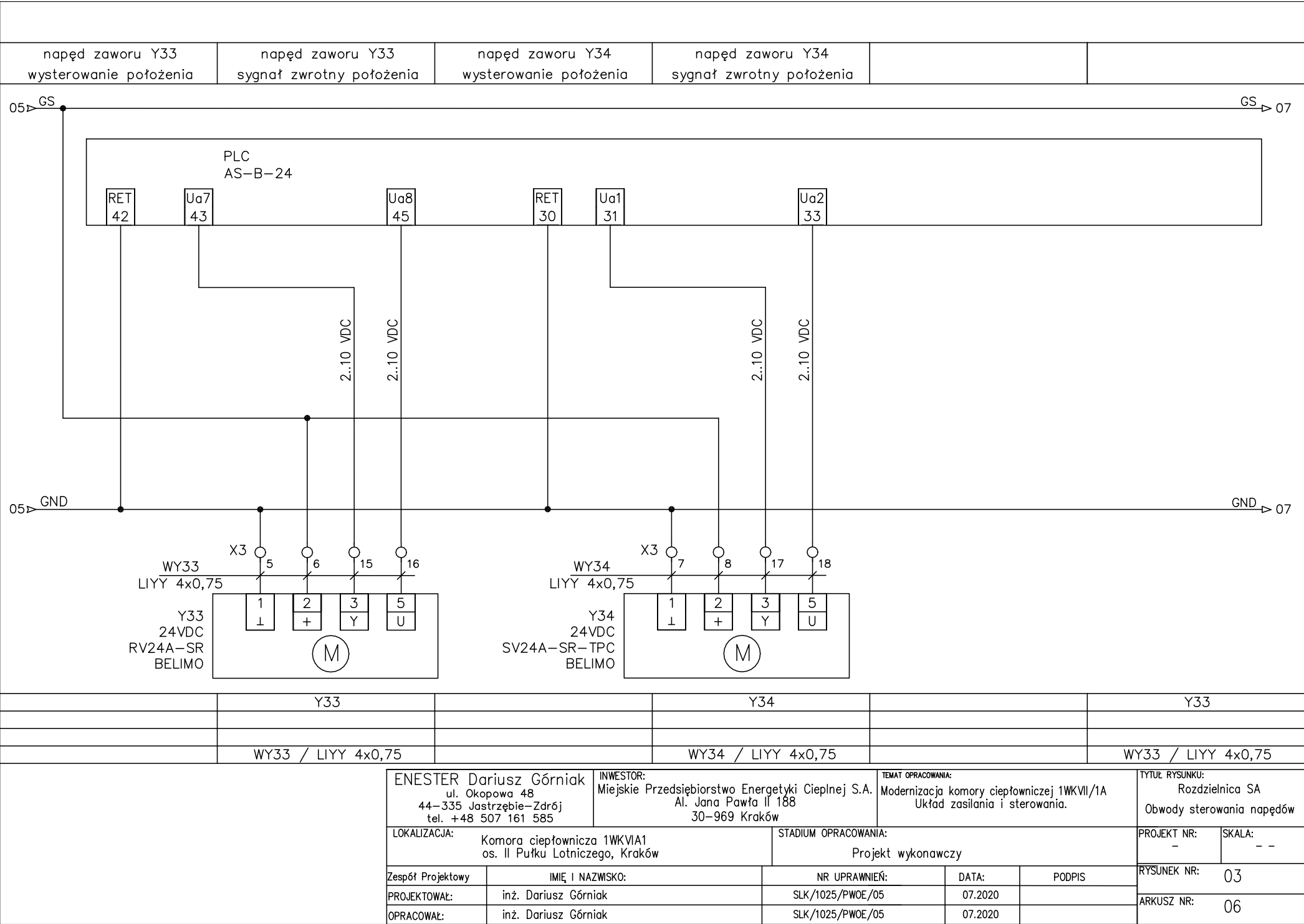
ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obw. pompy odw. i oświetlenia		
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków				STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:			NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 03
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



		FTP kat. 6 4x2x0,5			

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obwody sterownika PLC		
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków				STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:			NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 04
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		





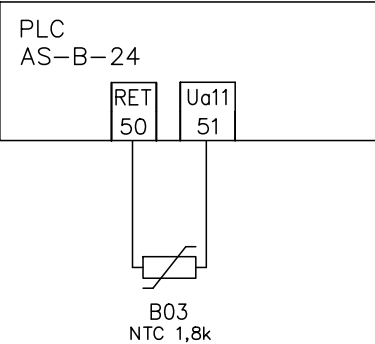
	temperatura rozd. SA pomiar temp. wewnqtrz rozd.				

07

GS

GS

09



07

GND

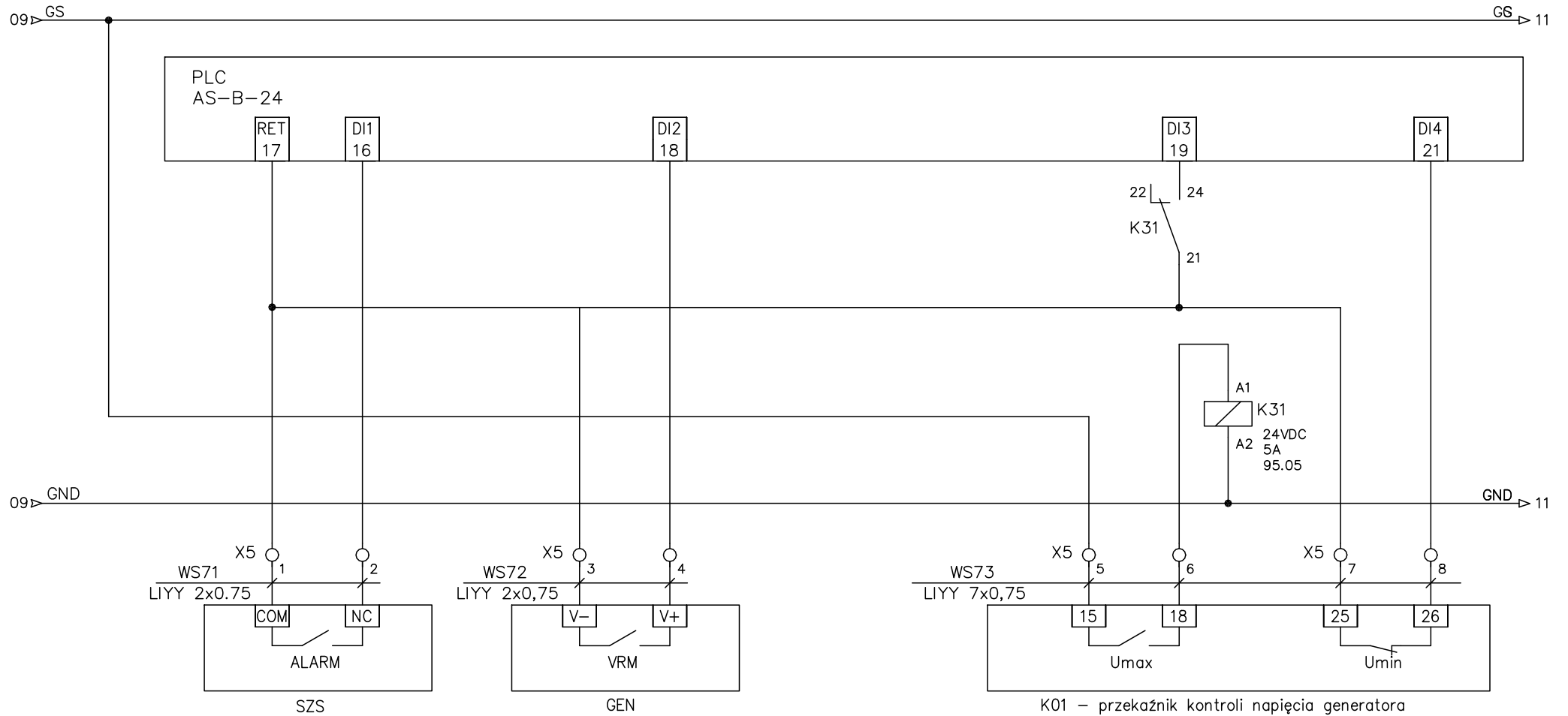
GND

09

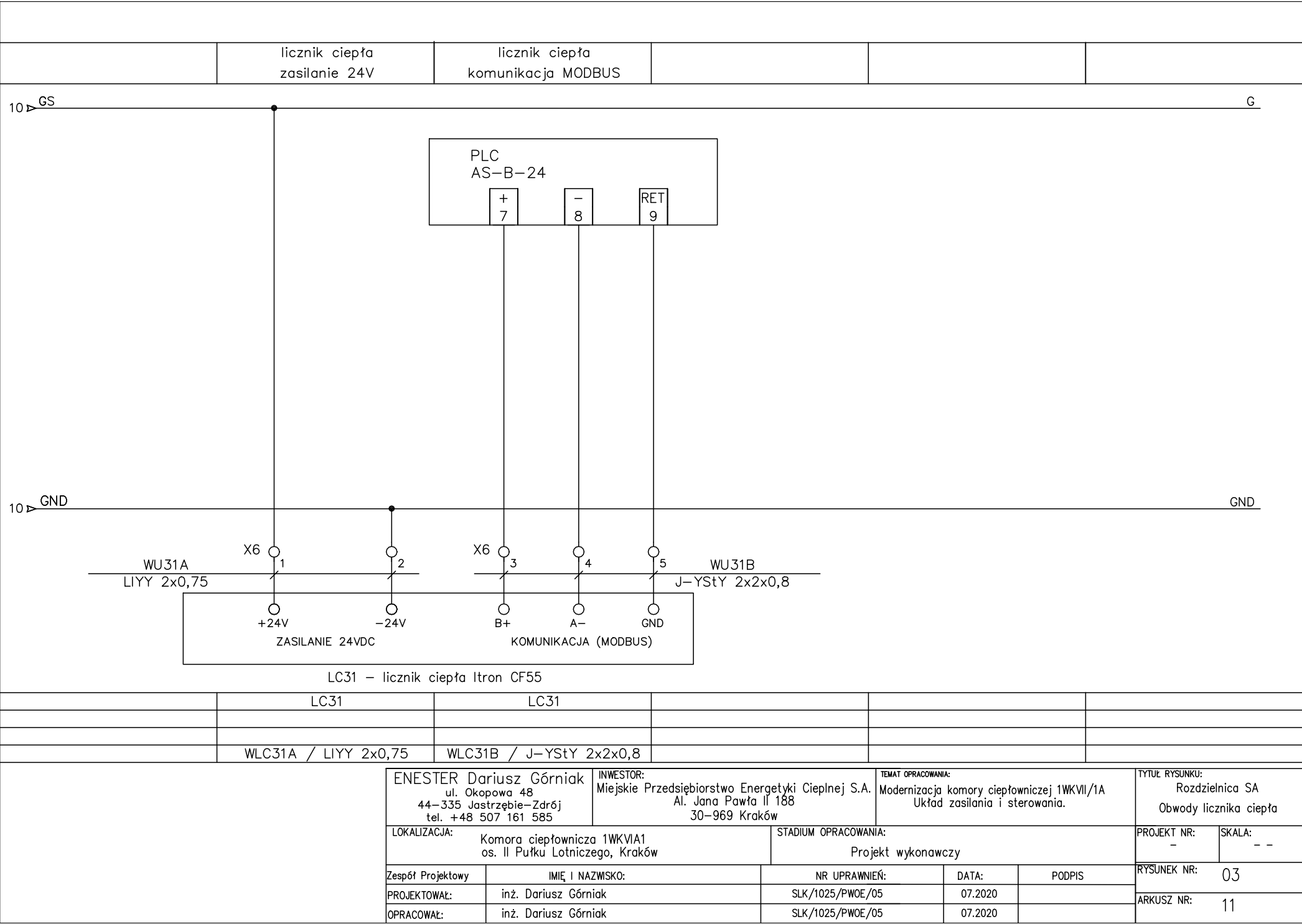
			WB21 / LIYY 2x0,75		

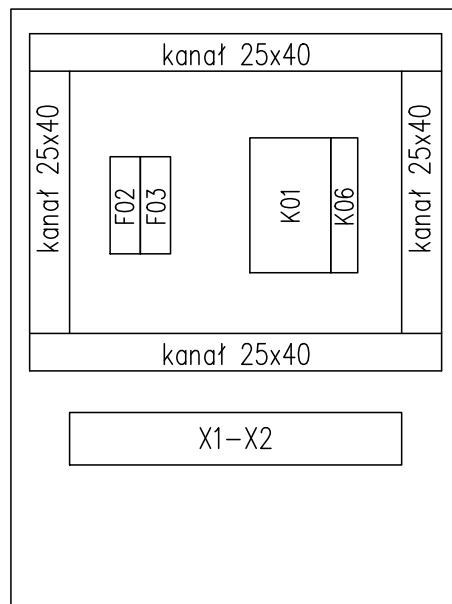
ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obwody czujnika temperatury		
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków				STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:			NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 08
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak			SLK/1025/PWOE/05		07.2020		

moduł zabezpieczenia akum. status – ALARM		generator (turbina) sygnał prędkości obrotowej		kontrola napięcia generatora wyłączenie pracy turbiny	kontrola napięcia generatora stan alarmowy
--	--	---	--	--	---

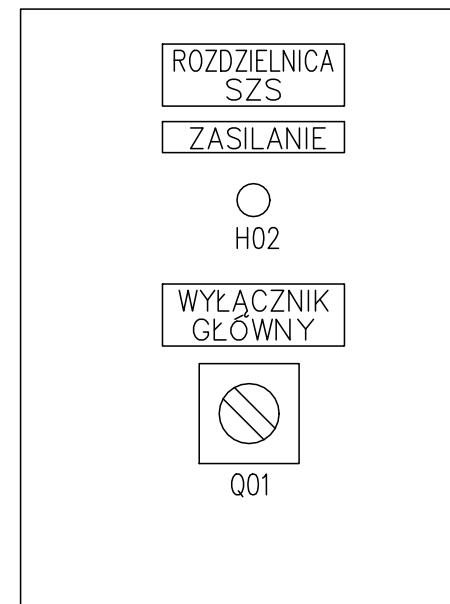


ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Obwody statusu UPS	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków		STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy				PROJEKT NR: -	SKALA: - -
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 03
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 10
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



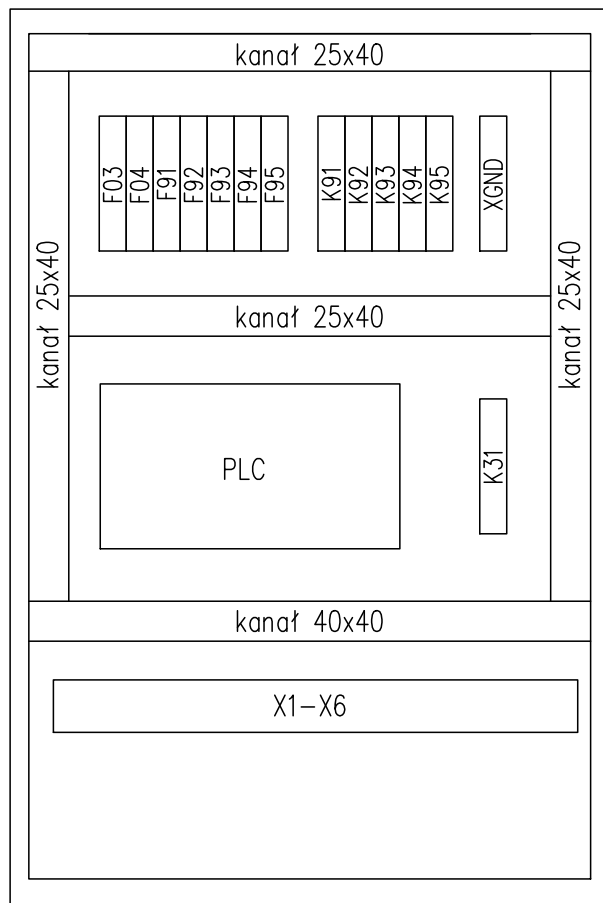


Rozmieszczenie aparatury w rozdzielnicy SZS

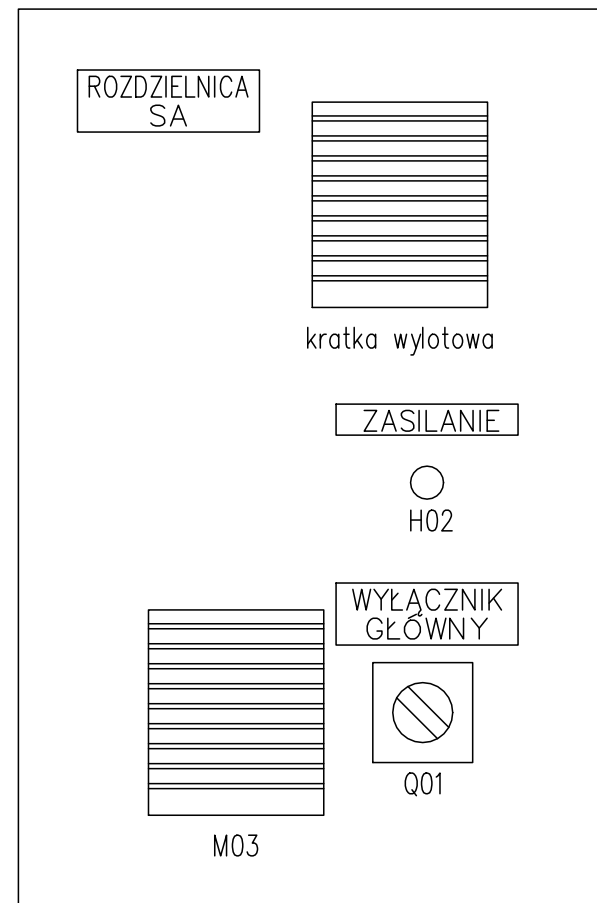


Widok elewacji rozdzielnicy SZS

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SZS Rozmieszczenie aparatury	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków			STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 04
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 01
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		



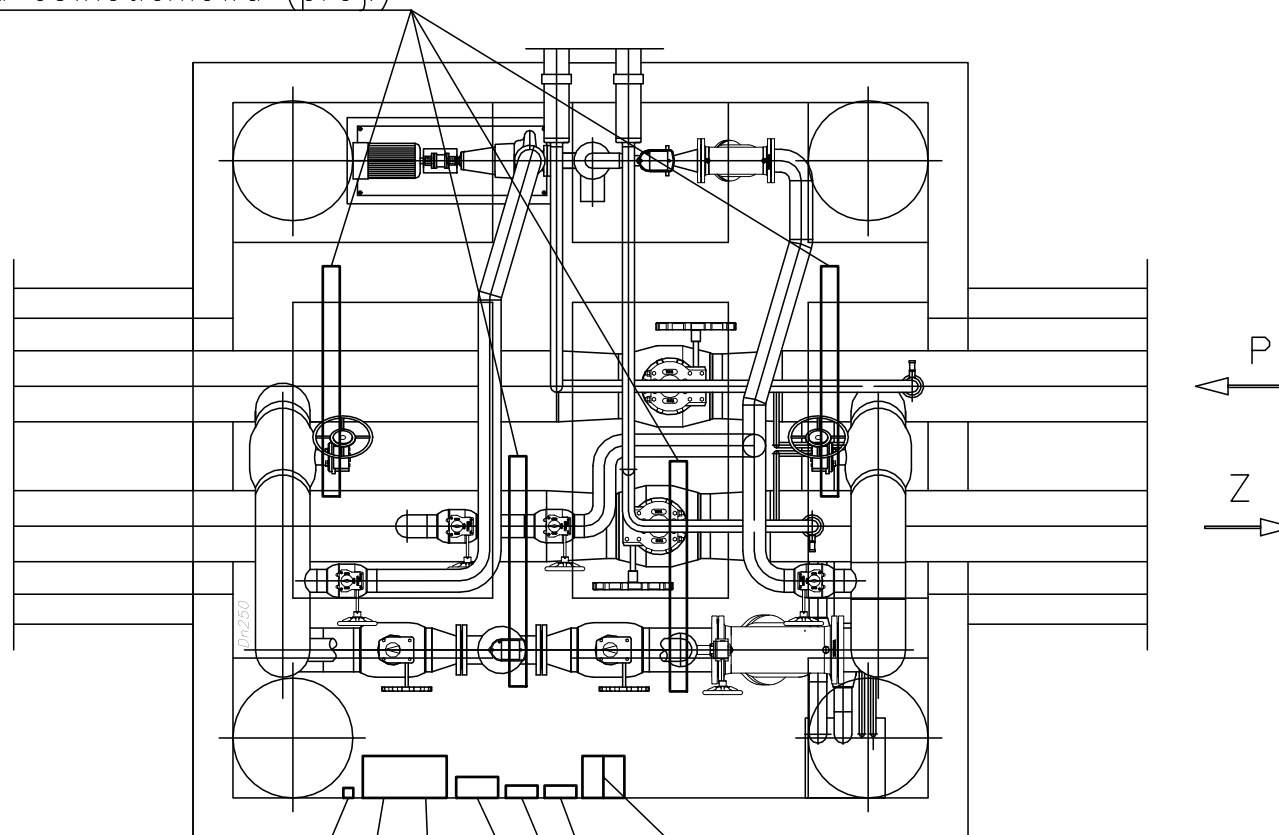
Rozmieszczenie aparatury w rozdzielni SA



Rozmieszczenie aparatury w elewacji rozdzielnic SA

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Rozdzielnica SA Rozmieszczenie aparatury	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków			STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy			PROJEKT NR: -	SKALA: - -
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR:
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PW0E/05		07.2020		05
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PW0E/05		07.2020		01

oprawa oświetleniowa (proj.)



przycisk ośw. S31

rozd. SA

rozd. SK

(nad SA, pod stropem komory)

U03

U02

SZS

BAT04A

BAT04B

ENESTER Dariusz Górniak ul. Okopowa 48 44-335 Jastrzębie-Zdrój tel. +48 507 161 585		INWESTOR: Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Al. Jana Pawła II 188 30-969 Kraków		TEMAT OPRACOWANIA: Modernizacja komory ciepłowniczej 1WKVII/1A Układ zasilania i sterowania.		TYTUŁ RYSUNKU: Komora 1WKVII/1A Rozmieszczenie urządzeń	
LOKALIZACJA: Komora ciepłownicza 1WKVIA1 os. II Pułku Lotniczego, Kraków				STADIUM OPRACOWANIA: Projekt wykonawczy		PROJEKT NR: -	SKALA: --
Zespół Projektowy	IMIĘ I NAZWISKO:		NR UPRAWNIENI:		DATA:	PODPIS	RYSUNEK NR: 07
PROJEKTOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		ARKUSZ NR: 01
OPRACOWAŁ:	inż. Dariusz Górniak		SLK/1025/PWOE/05		07.2020		

Znak sprawy: RCW/51/353/2019

Numer pisma: RCW/2703/A/9625/BI/PW/2019

Kraków, dnia 07.01.2020 r.

ENESTER Dariusz Górniak
ul. Okopowa 48
44-335 Jastrzębie - Zdrój

Dotyczy:

Aktualizacja założeń do projektu modernizacji komory 1WKVII/1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego.

Poniżej określamy aktualne założenia do warunków montażu zaworu regulującego ciśnienie zamontowanego na rurociągu powrotnym w komorze 1WKVII/1A.

Zawór regulacyjny i turbinę TRC należy zamontować na rurociągu powrotnym przy następujących założeniach:

- Parametry ciśnieniowe dla komory:
w sezonie grzewczym: 1,20/0,30 MPa
w sezonie letnim: 0,9/0,30 MPa
- Parametry przepływu dla komory:
w sezonie grzewczym: max 350 T/h
w sezonie letnim: min 20 T/h

Pozostałe wytyczne, jak w piśmie nr RCW/2703/9625/BI/PW/2019 z dnia 05.11.2019 r.

Na etapie projektowania proponujemy konsultacje rozwiązań technicznych z Biurem Projektów Badawczo-Rozwojowych MPEC S.A. w Krakowie; tel. 12 64 65 181.

W dalszej korespondencji prosimy powoływać się na znak sprawy umieszczony na wstępie niniejszego pisma.

Otrzymują:
1 x Adresat,
1 x PW
1 x RCW a/a.

WICEPREZES ZARZĄDU
ds. Inwestycji

mgr Jerzy Marcinko

BIURO ROZWOJU RYNKU GIEPŁA
Z-ca KIEROWNIKA BIURA
KIEROWNIK
Działu ds. Nowych Klientów
Adamska
mgr Inż. Lucyna Adamska

Wytyczne do modernizacji komory 1WKVII/1A

1 zawór regulacyjny i turbinę TRC należy zamontować na rurociągu powrotnym

2. Parametry ciśnieniowe dla komory

Zima 1,2 MPa/0,3 MPa

Lato 0,9 MPa/ 0,3 MPa

3. Parametry przepływu dla komory

Zima max 253 T/h

Lato min 20 T/h

350 T/h 07.01.2020

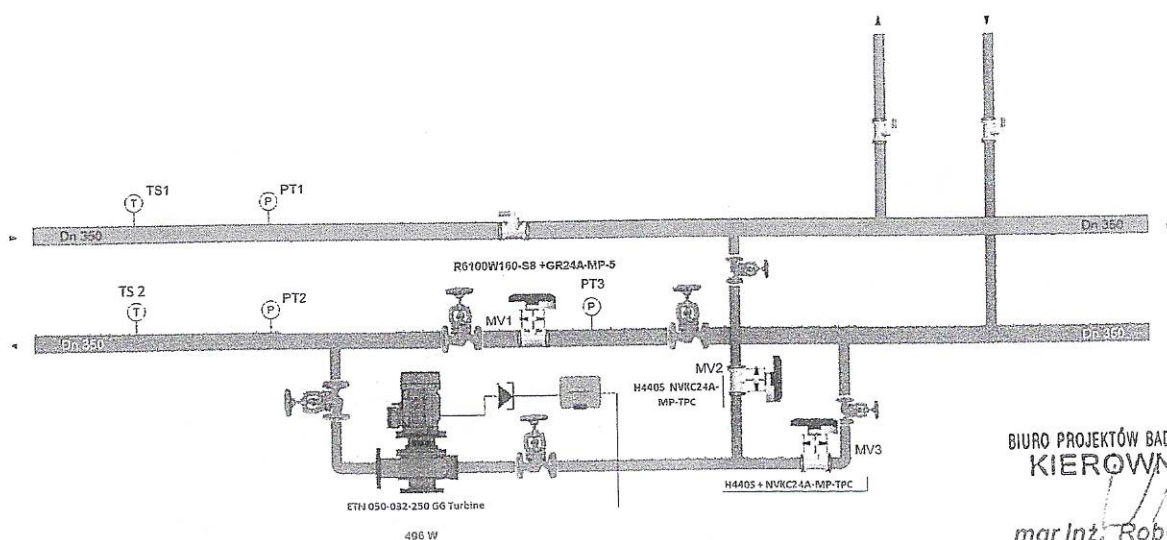
Komorę należy wyposażyć w układ odwodnienia z dwustopniową sygnalizacją poziomu wody

I stopień – pojawienie się wody w komorze uruchomienie odwadniania.

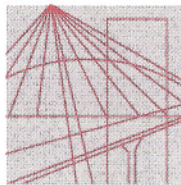
II stopień – zagrożenie zalania urządzeń elektrycznych wezwanie obsługi.

Turbine należy wykonać w oparciu o urządzenie firmy KSB typu ETN 50-032-250 GG
Turbine (496 W) konstrukcja zamontowana na platformie montażowej ze sprzęgłem .

przedstawiciel Handlowy Piotr Pudlik KSB tel 600 913 527



BIURO PROJEKTÓW BADAWCZO-ROZWOJOWYCH
KIEROWNIK BIURA
mgr Inż. Robert Wiśniewski



Ś L A S K A
O K R Ę G O W A
I Z B A
I N Ż Y N I E R Ó W
B U D O W N I C T W A

SLK/OKK/7131.7132/1025/05

Katowice, dnia 15 grudnia 2005 r.

DECYZJA

Na podstawie art. 24 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 15 grudnia 2000 r. o samorządach zawodowych architektów, inżynierów budownictwa oraz urbanistów (Dz.U. z 2001 r. Nr 5, poz. 42 z późn. zm.), art. 13 ust. 1 pkt 1 i 2, art. 14 ust. 1 pkt 5 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2003 r. Nr 207, poz. 2016 z późn. zm.) oraz § 12 pkt. 1 rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 18 maja 2005 r. w sprawie samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie (Dz.U. z 2005 r. Nr 96, poz. 817) w związku z art. 104 Kodeksu postępowania administracyjnego (Dz.U. z 2000 r. Nr 98, poz. 1071 z późn. zm.)

Okręgowa Komisja Kwalifikacyjna Śl.OIIB

n a d a j e

Panu(i) Dariuszowi Górniak

Inż. elektronik

ur. dnia 01 października 1977 w Wodzisławiu Śląskim

UPRAWNIENIA BUDOWLANE

numer ewidencyjny SLK/1025/PWOE/05

**do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń
w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i
elektroenergetycznych**

UZASADNIENIE

Okręgowa Komisja Kwalifikacyjna Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa w Katowicach na podstawie protokołów z postępowania kwalifikacyjnego oraz z przeprowadzonego egzaminu, stwierdziła, że Pan(i) **Dariusz Górniak** posiada wymagane prawem: wykształcenie i praktykę zawodową oraz uzyskał(a) pozytywny wynik egzaminu - konieczne do uzyskania uprawnień budowlanych **do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych**.

Szczegółowy zakres uprawnień jest określony na odwołanie niniejszej decyzji.

Pouczenie

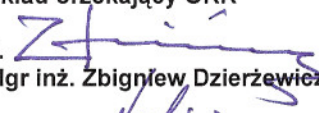
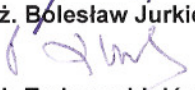
1. Zgodnie z art. 12 ust. 7 w/w ustawy Prawo budowlane – podstawę do wykonywania samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie stanowi wpis do centralnego rejestru Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego oraz wpis na listę członków właściwej izby samorządu zawodowego.
2. Od niniejszej decyzji służy odwołanie do Krajowej Komisji Kwalifikacyjnej Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa w Warszawie, za pośrednictwem Okręgowej Komisji Kwalifikacyjnej Śl.OIIB w Katowicach w terminie 14 dni od dnia jej doręczenia.

Otrzymują:

1. Pan(i) Dariusz Górniak
Długa 17E
44-330 Jastrzębie - Zdrój
2. Okręgowa Rada Izby
3. Główny Inspektor
Nadzoru Budowlanego
4. a/a.



Skład orzekający OKK

1. 
Mgr inż. Zbigniew Dzierżewicz
2. 
Mgr inż. Bolesław Jurkiewicz
3. 
Mgr inż. Tadeusz Lipiński



Zaświadczenie

o numerze weryfikacyjnym:

SLK-PR9-TPD-1VW *

Pan Dariusz Górniak o numerze ewidencyjnym SLK/IE/3724/05
adres zamieszkania ul. Długa 17 E, 44-330 Jastrzębie Zdrój
jest członkiem Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa i posiada wymagane
ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej.
Niniejsze zaświadczenie jest ważne do dnia 2020-12-31.

Zaświadczenie zostało wygenerowane elektronicznie i opatrzone bezpiecznym podpisem elektronicznym
weryfikowanym przy pomocy ważnego kwalifikowanego certyfikatu w dniu 2019-12-03 roku przez:

Roman Karwowski, Przewodniczący Rady Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa.

(Zgodnie art. 5 ust 2 ustawy z dnia 18 września 2001 r. o podpisie elektronicznym (Dz. U. 2001 Nr 130 poz. 1450) dane w postaci elektronicznej opatrzone bezpiecznym podpisem elektronicznym weryfikowanym przy pomocy ważnego kwalifikowanego certyfikatu są równoważne pod względem skutków prawnych dokumentom opatrzonym podpisami własnoręcznymi.)

* Weryfikację poprawności danych w niniejszym zaświadczeniu można sprawdzić za pomocą numeru weryfikacyjnego zaświadczenia na stronie Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa www.piib.org.pl lub kontaktując się z biurem właściwej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa.

Temat opracowania	Projekt techniczny technologii modernizacji komory 1WKVII1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego w Krakowie
Stadium	Projekt techniczny
Branża	sanitarna
Adres	Kraków, os. II Pułku Lotniczego
Inwestor	Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Krakowie
Podstawa opracowania	Zlecenie Inwestora
Projektował	mgr inż. Andrzej Krzesiński
Kraków, dnia	Luty 2020 r.

OPIS TECHNICZNY

1. WSTĘP.

1.1. Przedmiot opracowania.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest PROJEKT TECHNICZNY TECHNOLOGII
MODERNIZACJI KOMORY 1WKVII1A os. II Pułku Lotniczego

**Inwestor: Miejskie
Przedsiębiorstwo Energetyki
Ciepłej w Krakowie**

1.2. Podstawa opracowania.

Podstawą opracowania projektu technicznego jest zlecenie Inwestora:.

1.3. Cel opracowania.

Celem niniejszego opracowania jest montaż układu redukcji ciśnień i przygotowania obiektu do pracy w układzie inteligentnej sieci ciepłowniczej.

2. Materiały wyjściowe do projektowania.

Niniejszy projekt został opracowany w oparciu o:

- Warunki techniczne MPEC S.A. Kraków zawarte w piśmie . RCW/2703/9625/BI/PW/2019 z dnia 05. 11. 2019.
- Aktualizację założeń do projektu modernizacji komory 1WKVII1A . RCW/2703/A/9625/BI/PW/2019 z dnia 07. 01. 2020.
- Aktualne Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlano-Montażowych.

3. Opis stanu istniejącego.

Komora ciepłownicza 1WKVII1A zabudowana jest na sieci ciepłej 2xDn350 kanałowej. Komora jest budowlą podziemną o wymiarach w świetle 348x348x200cm. wejście do komory umożliwiają cztery wazy żeliwne D 600. Na rurociągach sieci zmontowane są zawory odcinające Dn 300 z przekładnią i napędem ślimakowym. W komorze jest odgałęzienie 2xDn50. Jest również system odwodnienia rurociągów.

4. Opis stanu projektowanego.

Na sieciowym rurociągu powrotnym zaprojektowano obejście zasuwy sekcyjnej rurociągiem Dn250. Na obejściu Dn 250 należy zamontować zawory kulowe Dn250, a pomiędzy zaworami:

- filtr siatkowy Dn250+zawór kulowy Dn40 umożliwiający czyszczenie bez demontażu fittra,
- 2x zawór kulowy Dn200
- 1x zawór regulacyjny na okres zimowy (350T/h) -grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H6125S BELIMO, Dn125, PN16 kvs220 + siłownik elektryczny (RV24A-SR BELIMO wg AKPiA)

Dla okresu letniego (20T/h) zaprojektowano obejście głównego zaworu regulacyjnego rurociągiem Dn100, na którym należy zamontować:

- 2x Zawór kulowy Dn100.
- 1x Zawór regulacyjny na okres letni (20T/h) -grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H640S BELIMO, Dn40, PN16 kvs 25 + siłownik elektryczny (SV24A-SR-TPC BELIMO wg AKPiA)

Dla wytworzenia energii elektrycznej potrzebnej do napędu siłowników zaworów regulacyjnych przewidziano zastosowanie dodatkowego obiegu Dn100 składającego się z:

- 2x Zawór kulowy Dn100
- filtr siatkowy Dn100+zawór kulowy Dn40 umożliwiający czyszczenie bez demontażu filtra,
- 1x Zawór regulacyjny na okres letni (20T/h) -grzybkowy dwudrogowy kołnierzowy typ H640S BELIMO, Dn40, PN16 kvs 25 + siłownik elektryczny (SV24A-SR-TPC BELIMO wg AKPiA)
- 1x Turbina ETN 050-032-250 GG KSB, Dn50, PN16
- 1x Ultradźwiękowy licznik ciepła z przelicznikiem CF55+US AXONIC Dn65 Qn25 ITRON POLSKA.

Dla okresu letniego, w przypadku zbyt niskiego przepływu wody sieciowej w przewodzie powrotnym, zastosowano spięcie Dn100 - rurociągu zasilającego turbinę z rurociągiem zasilającym Dn350. Dla pewności zamknięcia, zaprojektowano na tym spięciu dwa zawory kulowe Dn100.

Dla układu regulacji zastosowano cztery szt. Inteligentny przetwornik ciśnienia typu APC 2000 wraz z manometrem technicznym tarczowym i kurkiem manometrycznym.

5. Opis robót.

Złącza obiegowe Dn100, jak i obejście Dn 250 należy wykonać z rur ze stali P235GH wg PN-EN 10216-2+A2:2009 posiadających atest. Odcinki rur łączyć przez spawanie. Zawory montować zgodnie z instrukcją montażu podaną w DTR.

Ze względu na strategiczny charakter sieci cieplnej, wszystkie spawy należy poddać prześwietleniu, a wyniki przekazać inspektorowi nadzoru. Gotowe spięcie poddać próbie ciśnieniowej, której procedurę określają Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Sieci Ciepłowniczych COBRTI INSTAL. Wszystkie kolana przewidziano jako hamburskie R=1D wykonane ze stali P235GH wg PN-EN 10216-2+A2:2009 posiadających atest.

Przed wykonaniem izolacji antykorozyjnej – rurociągi należy oczyścić do 3 stopnia czystości poprzez szrotkowanie wg PN EN ISO 4618-3:2001. Ocenę stanu powierzchni po szrotkowaniu należy wykonać zgodnie z PN EN ISO 8502-3:2000 i PN EN ISO 8503-1:1999. Następnie należy wykonać malowanie rurociągów farbą ftalowo-silikonową przeciwrdzewną czerwoną tlenkową CEKOR R (KTM – 13131213531). Farba ta jest przeznaczona do antykorozyjnego zabezpieczenia zewnętrznych powierzchni rurociągów ciepłych o temp. Czynnika grzeijnego do 150°C. Ma dobrą tolerancję do niedokładnie oczyszczonego i wilgotnego podłoża. Jest jednocześnie farbą podkładową i nawierzchniową. Zalicza się do II klasy niebezpieczeństwa pożarowego. Wszystkie prace zabezpieczeń antykorozyjnych tą farbą powinny być wykonywane w odpowiedniej odzieży ochronnej i przy dobrej wentylacji. Producent POLIFARB Cieszyn. Po wykonaniu izolacji antykorozyjnej rurociągi należy zaizolować termicznie. Izolację cieplną rurociągów należy wykonać zgodnie z PN-B-02421:2000. Rodzaj izolacji cieplnej do uzgodnienia z użytkownikiem. Proponuje się gotowe kształtki z włókna szklanego firmy Gullfiber o grubości 100 mm. Na izolację nałożyć płaszcz ochronny z blachy stalowej ocynkowanej o grubości 0,5mm.

6. Opis robót.

Całość robót związanych ze spięciem obiegowym, wykonać wg instrukcji dostawcy przepustnicy oraz zgodnie z „Warunkami technicznymi wykonania i odbioru sieci ciepłowniczych”

Opracował
mgr inż. Andrzej Krzesiński



Znak sprawy: RCW/51/353/2019

Numer pisma: RCW/2703/9625/BI/PW/2019

Kraków, dnia 05.11.2019 r.

ENESTER Dariusz Górniak
ul. Okopowa 48
44-335 Jastrzębie - Zdrój

Dotyczy:

Założenia do projektu modernizacji komory 1WKVII/1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego.

Odpowiadając na pismo w ww. sprawie, poniżej określamy założenia do warunków montażu zaworu regulującego ciśnienie zamontowanego na rurociągu powrotnym w komorze 1WKVII/1A.

Zawór regulacyjny i turbinę TRC należy zamontować na rurociągu powrotnym przy następujących założeniach:

- Parametry ciśnieniowe dla komory:
w sezonie grzewczym: 1,20/0,30 MPa
w sezonie letnim: 0,9/0,30 MPa
- Parametry przepływu dla komory:
w sezonie grzewczym: max 253 T/h
w sezonie letnim: min 20 T/h

Jednocześnie informujemy, że komorę ciepłowniczą 1WKVII/1A należy wyposażyć w układ odwodnienia z dwustopniową sygnalizacją poziomu wody:

I stopień – pojawienie się wody w komorze – uruchomienie odwadniania

II stopień – zagrożenie zalania urządzeń elektrycznych – wezwanie obsługi

Na etapie projektowania proponujemy konsultacje rozwiązań technicznych z Biurem Projektów Badawczo-Rozwojowych MPEC S.A. w Krakowie; tel. 12 64 65 181.

W dalszej korespondencji prosimy powoływać się na znak sprawy umieszczony na wstępie niniejszego pisma.

CZŁONEK ZARZĄDU

mgr inż. Witold Warzecha

Otrzymują:

- 1 x Adresat,
- 1 x PW
- 1 x RCW a/a.

Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie

30-969 Kraków. Al. Jana Pawła II 188. tel. (12) 646 52 99, tel. (12) 646 55 33, fax (12) 644 55 10. e-mail: biuro@mpec.krakow.pl
Zarząd: Marian Łyko - Prezes Zarządu; Jerzy Marcinko - Wiceprezes Zarządu - ds. Inwestycji; Marek Mazurek - Członek Zarządu - ds. Eksploatacji;
Witold Warzecha - Członek Zarządu ds. Rozwoju;

Znak sprawy: RCW/51/353/2019

Numer pisma: RCW/2703/A/9625/BI/PW/2019

Kraków, dnia 07.01.2020 r.

ENESTER Dariusz Górniak
ul. Okopowa 48
44-335 Jastrzębie - Zdrój

Dotyczy:

Aktualizacja założeń do projektu modernizacji komory 1WKVII/1A zlokalizowanej na os. II Pułku Lotniczego.

Poniżej określamy aktualne założenia do warunków montażu zaworu regulującego ciśnienie zamontowanego na rurociągu powrotnym w komorze 1WKVII/1A.

Zawór regulacyjny i turbinę TRC należy zamontować na rurociągu powrotnym przy następujących założeniach:

- Parametry ciśnieniowe dla komory:
w sezonie grzewczym: 1,20/0,30 MPa
w sezonie letnim: 0,9/0,30 MPa
- Parametry przepływu dla komory:
w sezonie grzewczym: max 350 T/h
w sezonie letnim: min 20 T/h

Pozostałe wytyczne, jak w piśmie nr RCW/2703/9625/BI/PW/2019 z dnia 05.11.2019 r.

Na etapie projektowania proponujemy konsultacje rozwiązań technicznych z Biurem Projektów Badawczo-Rozwojowych MPEC S.A. w Krakowie; tel. 12 64 65 181.

W dalszej korespondencji prosimy powoływać się na znak sprawy umieszczony na wstępie niniejszego pisma.

Otrzymują:

1 x Adresat,

1 x PW

1 x RCW a/a.

WICEPREZES ZARZĄDU
ds. Inwestycji

mgr Jerzy Marcinko

BIURO ROZWOJU RYNKU CIEPŁA
Z-ca KIEROWNIKA BIURA
KIEROWNIK
Działu ds. Nowych Klientów
Adamska
mgr Inż. Lucyna Adamska

Wytyczne do modernizacji komory 1WKVII/1A

1 zawór regulacyjny i turbinę TRC należy zamontować na rurociągu powrotnym

2. Parametry ciśnieniowe dla komory

Zima 1,2 MPa/0,3 MPa

Lato 0,9 MPa/ 0,3 MPa

3. Parametry przepływu dla komory

Zima max 253 T/h

Lato min 20 T/h

350 T/h 07.01.2020

Komorę należy wyposażyć w układ odwodnienia z dwustopniową sygnalizacją poziomu wody

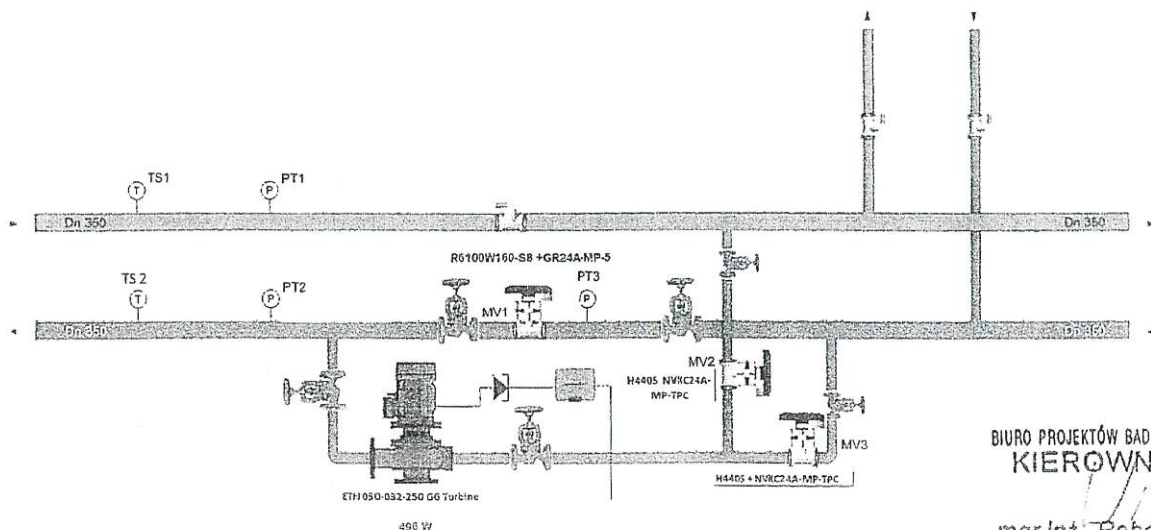
I stopień – pojawienie się wody w komorze uruchomienie odwadniania.

II stopień – zagrożenie zalania urządzeń elektrycznych wezwanie obsługi.

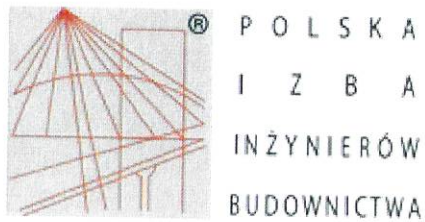
Turbine należy wykonać w oparciu o urządzenie firmy KSB typu ETN 50-032-250 GG

Turbine (496 W) konstrukcja zamontowana na platformie montażowej ze sprzęgłem .

przedstawiciel Handlowy Piotr Pudlik KSB tel 600 913 527



BIURO PROJEKTÓW BADAWCZO-ROZWOJOWYCH
KIEROWNIK BIURA
mgr Inż. Robert Wiśniewski



Zaświadczenie

o numerze weryfikacyjnym:

MAP-BUR-4GM-IIIE *

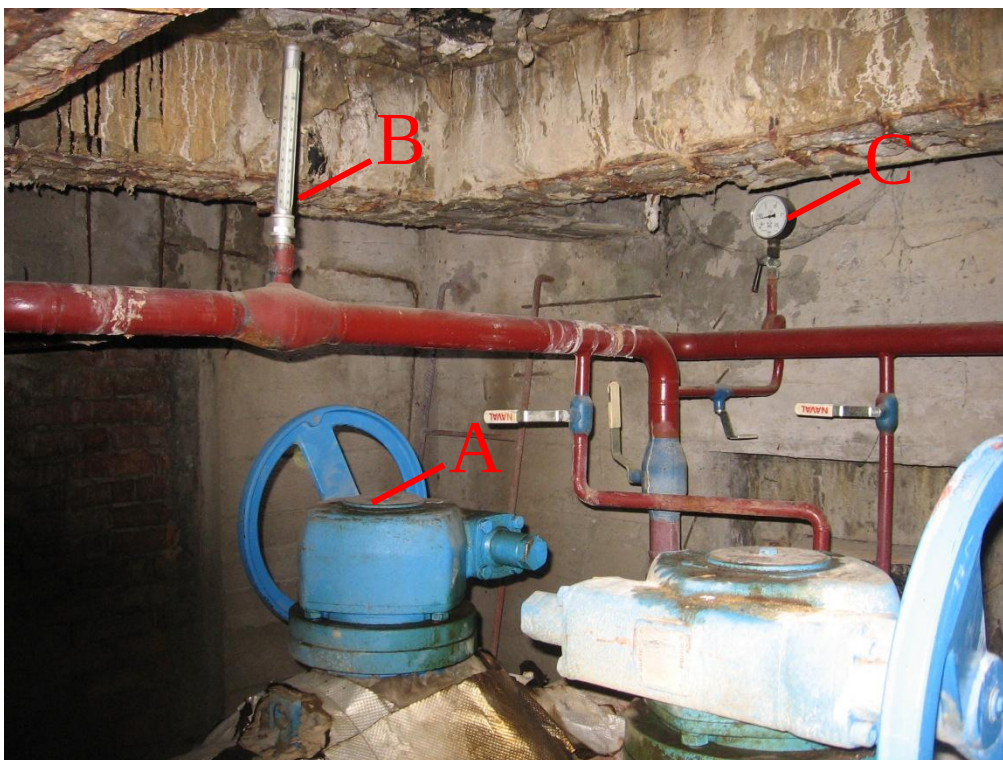
Pan Andrzej Krzesiński o numerze ewidencyjnym MAP/IS/0890/01
adres zamieszkania ul. Krakowska 102, 32-086 Bosutów
jest członkiem Małopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa i posiada wymagane
ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej.
Niniejsze zaświadczenie jest ważne do dnia 2020-12-31.

Zaświadczenie zostało wygenerowane elektronicznie i opatrzone bezpiecznym podpisem elektronicznym
weryfikowanym przy pomocy ważnego kwalifikowanego certyfikatu w dniu 2019-12-16 roku przez:

Mirosław Boryczko, Przewodniczący Rady Małopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa.

(Zgodnie art. 5 ust 2 ustawy z dnia 18 września 2001 r. o podpisie elektronicznym (Dz. U. 2001 Nr 130 poz. 1450) dane w postaci
elektronicznej opatrzone bezpiecznym podpisem elektronicznym weryfikowanym przy pomocy ważnego kwalifikowanego certyfikatu są
równoważne pod względem skutków prawnych dokumentom opatrzonym podpisami własnoręcznymi.)

* Weryfikację poprawności danych w niniejszym zaświadczeniu można sprawdzić za pomocą numeru weryfikacyjnego zaświadczenia na
stronie Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa www.piib.org.pl lub kontaktując się z biurem właściwej Okręgowej Izby Inżynierów
Budownictwa.



Rys. 1. Komora OFF-Grid przed modernizacją: A - przepustnice, B - manometr, C - termometr

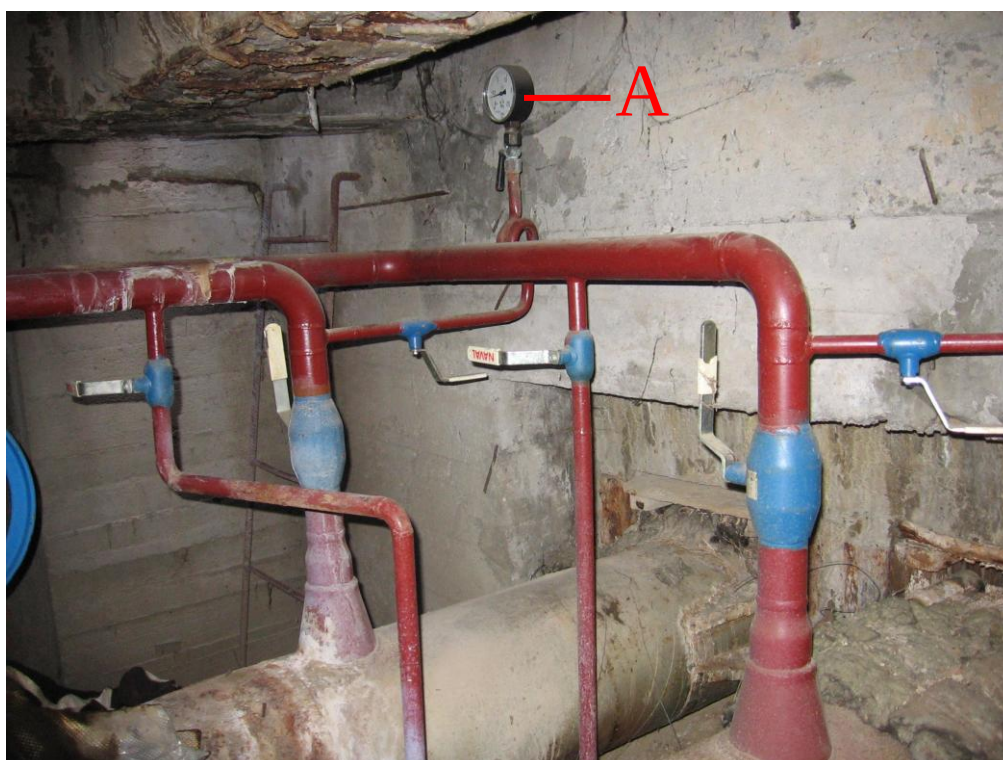


Rys. 2. Komora OFF-Grid przed modernizacją: A- przepustnice

ZAŁĄCZNIK NR 11



Rys. 3. Komora OFF-Grid przed modernizacją: A - termometr



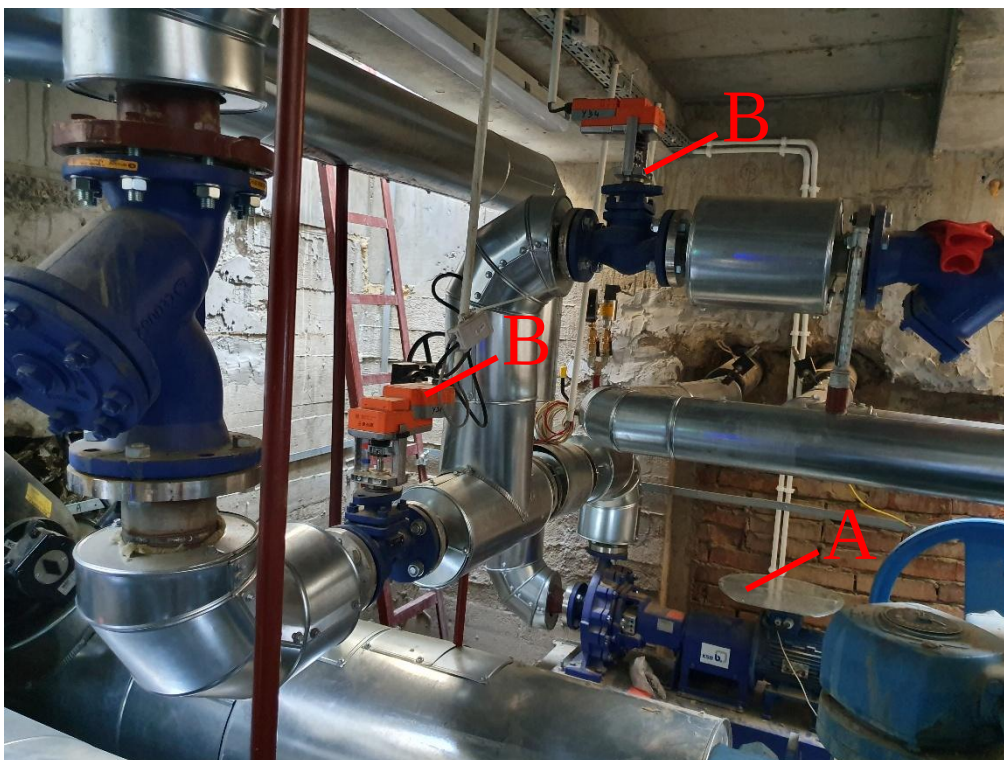
Rys. 4. Komora OFF-Grid przed modernizacją: A- manometr



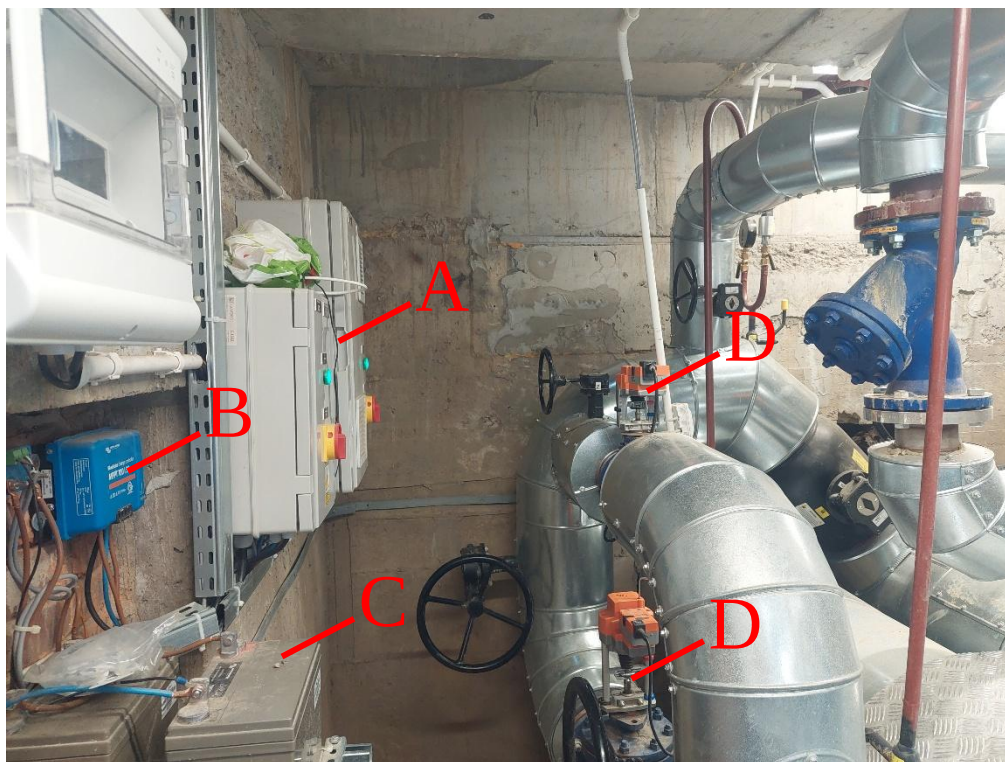
Rys. 5. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - zespół turbina - generator



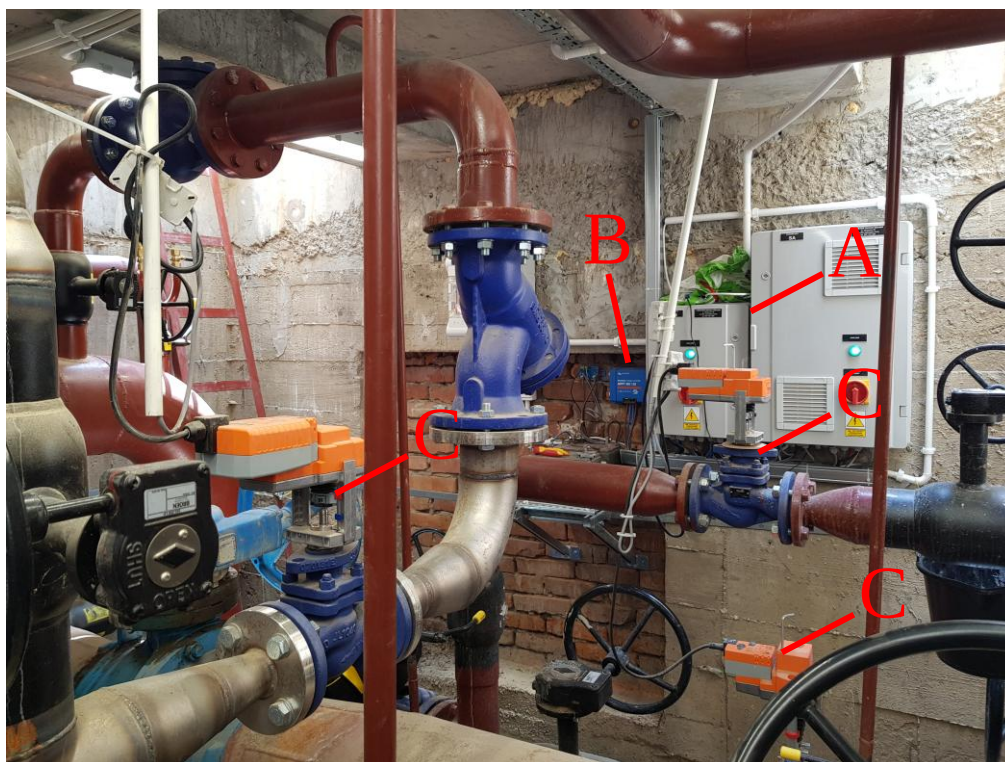
Rys. 6. Komora OFF-Grid po modernizacji: A -zespół turbina – generator, B - licznik ciepła



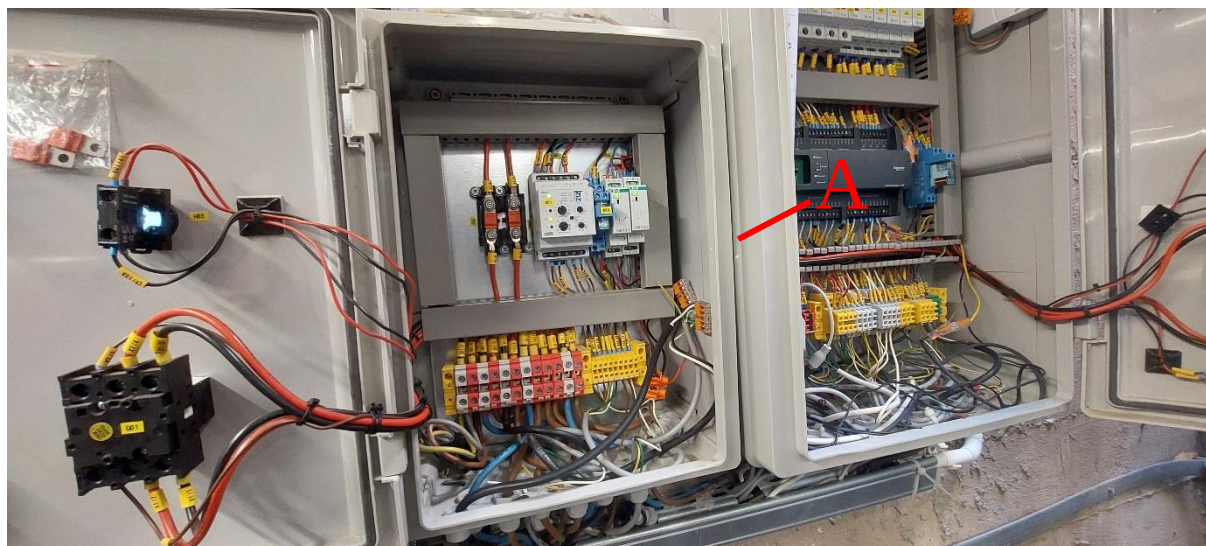
Rys. 7. Komora OFF-Grid po modernizacji: A- zespół turbina – generator, B- zawory z siłownikami



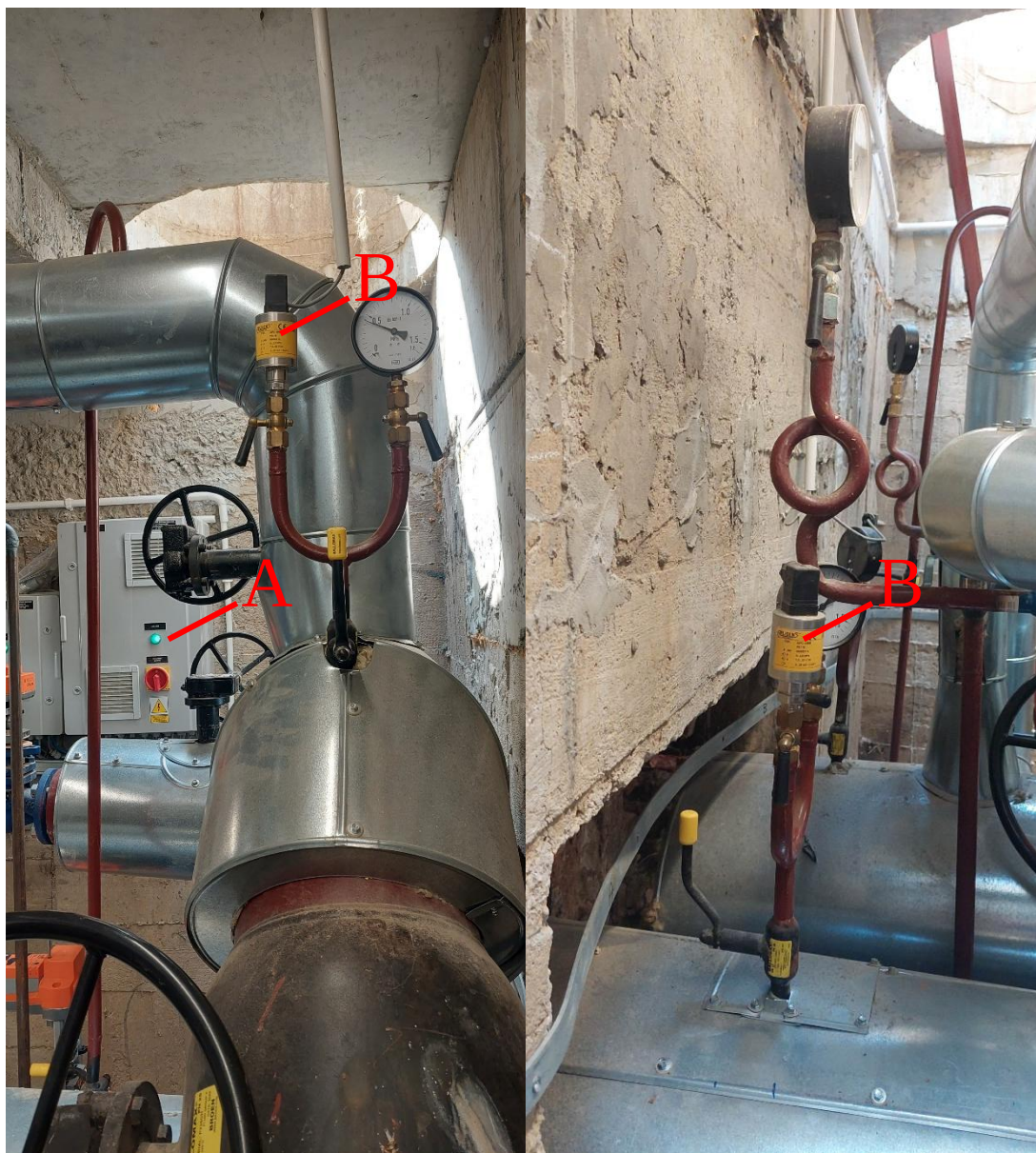
Rys. 8. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne, B -MPPT, C - akumulatory, D - zawory z siłownikami



Rys. 9. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne, B - MPPT, C - zawory z siłownikami



Rys. 10. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne



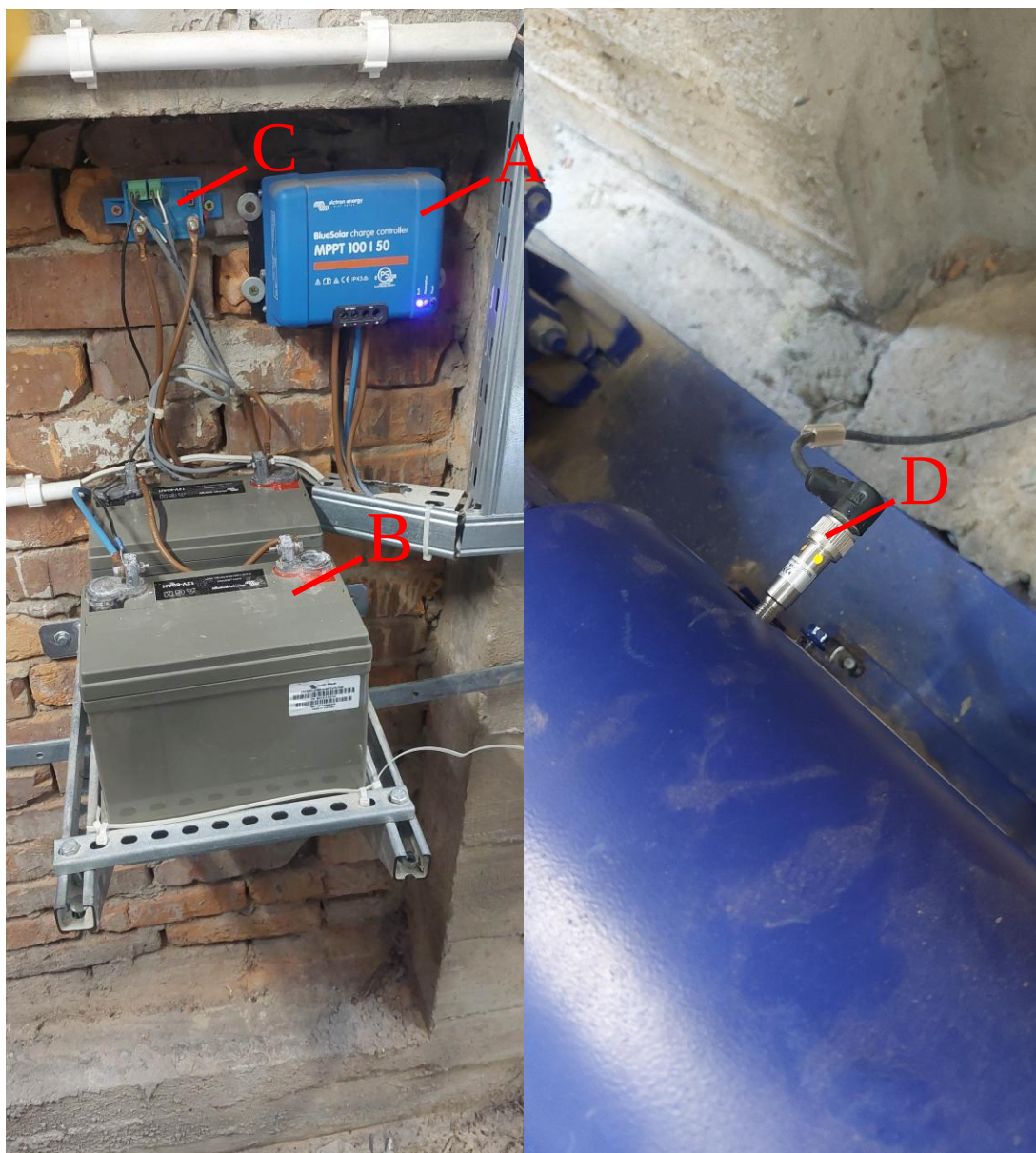
Rys. 11. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne, B - przetworniki ciśnienia



Rys. 12. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - zespół turbina – generator, B - zawory z siłownikami



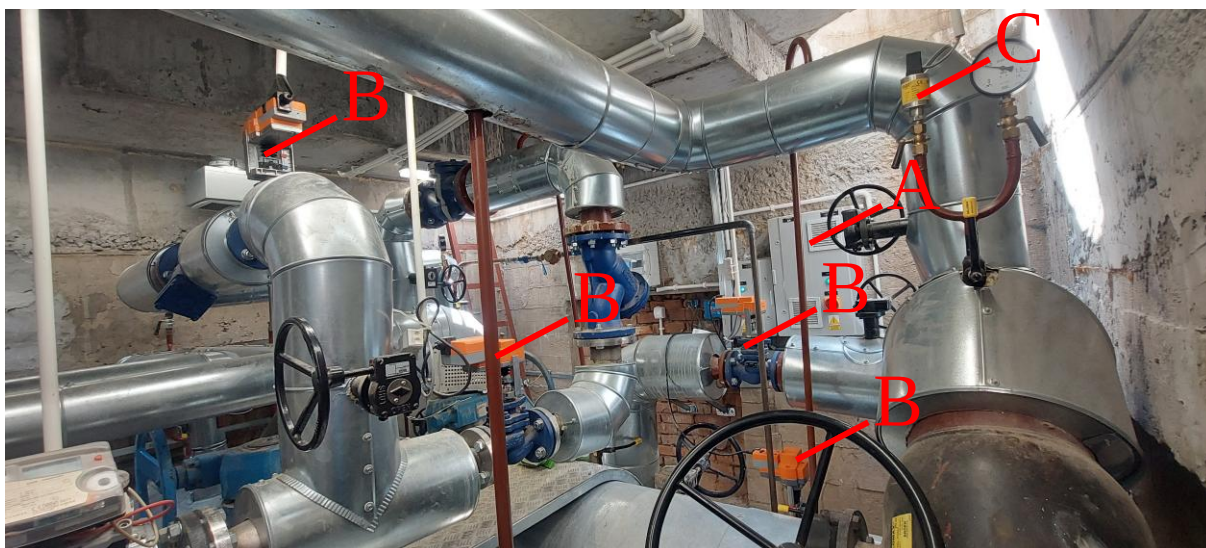
Rys. 13. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne



Rys. 14. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - MPPT, B - akumulatory, C - battery protection, D - czujnik obrotów wału turbina - generator



Rys. 15. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne, B - MPPT, C - zawory z siłownikami, D - przepustnice, E - przetworniki ciśnienia



Rys. 16. Komora OFF-Grid po modernizacji: A - szafy elektryczne, B - zawory z siłownikami, C - przetworniki ciśnienia