



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ FIZYKI I INFORMATYKI STOSOWANEJ

KATEDRA ODDZIAŁYWAŃ I DETEKCJI CZĄSTEK

Praca Dyplomowa

Rozbudowa i uaktualnienie systemu GGSS detektora ATLAS
TRT

Update and upgrade of the GGSS system for ATLAS TRT
detector

Autorzy:

Arkadiusz Kasprzak, Jarosław Cierpich

Kierunek studiów:

Informatyka Stosowana

Opiekun pracy:

dr hab. inż. Bartosz Mindur, prof. AGH

Kraków, 2021

Oświadczenie studenta

Uprzedzony(-a) o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz. U. z 2018 r. poz. 1191 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony(-a) o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 307 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) „Student podlega odpowiedzialności dyscyplinarnej za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyn uchybiający godności studenta.”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Jednocześnie Uczelnia informuje, że zgodnie z art. 15a ww. ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych Uczelnia przysługuje pierwszeństwo w opublikowaniu pracy dyplomowej studenta. Jeżeli Uczelnia nie opublikowała pracy dyplomowej w terminie 6 miesięcy od dnia jej obrony, autor może ją opublikować, chyba że praca jest częścią utworu zbiorowego. Ponadto Uczelnia jako podmiot, o którym mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.), może korzystać bez wynagrodzenia i bez konieczności uzyskania zgody autora z utworu stworzonego przez studenta w wyniku wykonywania obowiązków związanych z odbywaniem studiów, udostępniać utwór ministrowi właściwemu do spraw szkolnictwa wyższego i nauki oraz korzystać z utworów znajdujących się w prowadzonych przez niego bazach danych, w celu sprawdzania z wykorzystaniem systemu antyplagiatowego. Minister właściwy do spraw szkolnictwa wyższego i nauki może korzystać z prac dyplomowych znajdujących się w prowadzonych przez niego bazach danych w zakresie niezbędnym do zapewnienia prawidłowego utrzymania i rozwoju tych baz oraz współpracujących z nimi systemów informatycznych.

.....
(czytelny podpis)

Kraków, ?? września 2021

**Tematyka pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej Jarosława Cierpicha,
studenta drugiego roku studiów drugiego stopnia na kierunku informatyka
stosowana, specjalności modelowanie i analiza danych**

Temat pracy magisterskiej: **Rozbudowa i uaktualnienie systemu GGSS detektora
ATLAS TRT**

Opiekun pracy: dr hab. inż. Bartosz Mindur, prof. AGH

Recenzenci pracy:

Miejsce praktyki dyplomowej: WFiIS AGH, Kraków

Program pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej

1. Omówienie realizacji pracy magisterskiej z opiekunem.
2. Zebranie i opracowanie literatury dotyczącej tematu pracy.
3. Praktyka dyplomowa:
 - udział w Krakow Applied Physics and Computer Science Summer School '20
 - zapoznanie z materiałami (wykłady i szkolenia praktyczne) obejmującymi zagadnienia z dziedziny fizyki cząstek, informatyki oraz detektorów i elektroniki
 - praca nad projektem GGSS w dwuosobowym zespole, obejmująca zmiany w oprogramowaniu i architekturze projektu
 - prezentacja rezultatów wykonanej pracy przed uczestnikami oraz opiekunami szkoły
 - prezentacja wykonanych prac podczas wydarzenia TRT Days
4. Kontynuacja prac nad projektem:
 - wykonanie dalszych zmian w infrastrukturze systemu GGSS, w tym dodanie nowych funkcjonalności
 - przeprowadzanie okresowych testów działania systemu w środowisku docelowym
 - wykonanie testów końcowych oraz wsparcie podczas migracji projektu
5. Przekazanie projektu opiekunowi pracy.
6. Opracowanie redakcyjne pracy.

Termin oddania w dziekanacie: ?? września 2021

.....
(podpis kierownika katedry)

.....
(podpis opiekuna)

Kraków, ?? września 2021

**Tematyka pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej Arkadiusza Kasprzaka,
studenta drugiego roku studiów drugiego stopnia na kierunku informatyka
stosowana, specjalności modelowanie i analiza danych**

Temat pracy magisterskiej: **Rozbudowa i uaktualnienie systemu GGSS detektora
ATLAS TRT**

Opiekun pracy: dr hab. inż. Bartosz Mindur, prof. AGH

Recenzenci pracy:

Miejsce praktyki dyplomowej: WFiIS AGH, Kraków

Program pracy magisterskiej i praktyki dyplomowej

1. Omówienie realizacji pracy magisterskiej z opiekunem.
2. Zebranie i opracowanie literatury dotyczącej tematu pracy.
3. Praktyka dyplomowa:
 - udział w Krakow Applied Physics and Computer Science Summer School '20
 - zapoznanie z materiałami (wykłady i szkolenia praktyczne) obejmującymi zagadnienia z dziedziny fizyki cząstek, informatyki oraz detektorów i elektroniki
 - praca nad projektem GGSS w dwuosobowym zespole, obejmująca zmiany w oprogramowaniu i architekturze projektu
 - prezentacja rezultatów wykonanej pracy przed uczestnikami oraz opiekunami szkoły
 - prezentacja wykonanych prac podczas wydarzenia TRT Days
4. Kontynuacja prac nad projektem:
 - wykonanie dalszych prac nad warstwą oprogramowania systemu GGSS, w tym rozszerzenie możliwości głównej aplikacji
 - przeprowadzanie okresowych testów działania systemu w środowisku docelowym
 - wykonanie testów końcowych systemu
5. Przekazanie projektu opiekunowi pracy.
6. Opracowanie redakcyjne pracy.

Termin oddania w dziekanacie: ?? września 2021

.....
(podpis kierownika katedry)

.....
(podpis opiekuna)

Spis treści

1. Wstęp (AK i JC)	11
1.1. Wprowadzenie do domeny projektu (AK).....	11
1.2. Cel i założenia pracy (JC)	11
2. Wykorzystane technologie (AK i JC)	13
2.1. Język C++ (AK)	13
2.2. Język Python (AK).....	18
2.3. Narzędzia do analizy oprogramowania (AK)	19
2.4. System kontroli wersji Git (JC)	25
2.5. Portal GitLab (JC)	26
2.6. Narzędzie CMake (AK).....	28
2.7. Menadżer pakietów RPM (JC)	28
3. Budowa i działanie systemu GGSS (AK)	31
3.1. Wysokopoziomowa architektura systemu GGSS	31
3.2. Urządzenia elektroniczne.....	32
3.3. Warstwa oprogramowania	33
3.4. Oprogramowanie WinCC OA	34
3.5. Środowisko docelowe i ograniczenia	35
4. Prace nad architekturą i infrastrukturą projektu (AK i JC)	37
4.1. Zmiany w architekturze projektu (AK)	37
4.1.1. Wprowadzenie do problematyki.....	37
4.1.2. Motywacja do wprowadzenia zmian	40
4.1.3. Uproszczenie architektury projektu.....	40
4.1.4. Dodanie możliwości odtworzenia pierwotnej wersji kodu źródłowego.....	44
4.1.5. Pomniejsze zmiany	44
4.1.6. Podsumowanie	46
4.2. Automatyzacja pracy z submodułami (JC)	47
4.2.1. Wprowadzenie do problematyki.....	47

4.2.2.	Motywacja do wprowadzenia zmian	48
4.2.3.	Automatyzacja z użyciem dedykowanego narzędzia	49
4.2.4.	Dokumentacja sposobu pracy z submodułami.....	51
4.3.	Rozwój systemu budowania projektu (AK)	52
4.3.1.	Wprowadzenie do problematyki.....	52
4.3.2.	Motywacja do wprowadzenia zmian	54
4.3.3.	Zastosowanie funkcji i makr narzędzia CMake	54
4.3.4.	Wsparcie dla testów jednostkowych i dokumentacji	55
4.3.5.	Rozbudowa skryptu konfigurującego proces budowania projektu.....	57
4.4.	Automatyzacja i centralizacja wersjonowania projektu (JC)	59
4.4.1.	Wprowadzenie do problematyki.....	59
4.4.2.	Motywacja do wprowadzenia zmian	59
4.4.3.	Zmiany w skryptach budujących projekt.....	60
4.4.4.	Zmiany w systemie opartym o narzędzie CMake.....	60
4.4.5.	Zastosowanie <i>semantic-versioning</i> oraz zmiany w automatyzacji.....	61
4.4.6.	Podsumowanie	63
4.5.	Zmiany wdrożeniowe projektu GGSS.....	64
4.5.1.	Wprowadzenie do problematyki.....	64
4.5.2.	Motywacja do wprowadzenia zmian	64
4.5.3.	Skrypt do monitorowania zużytych zasobów przez główną aplikację ggss.....	65
4.5.4.	Zmiany w skryptach operacyjnych	65
4.5.5.	Zmiany w systemie awaryjnego wyłączania zasilania	66
4.5.6.	Wdrożenie z użyciem automatyzacji Gitlab CI/CD	67
4.6.	Rozwój infrastruktury do testowania warstwy sprzętowej (JC)	68
4.6.1.	Wprowadzenie do problematyki.....	68
4.6.2.	Motywacja do wprowadzenia zmian	68
4.6.3.	Rozwiązanie oparte o język Python.....	69
4.6.4.	Rozwiązanie oparte o język C++	70
4.6.5.	Podsumowanie	72
5.	Prace nad kodem źródłowym projektu (AK)	73
5.1.	Analiza aplikacji <i>ggss-runner</i>	73
5.2.	Specyfika i metodyka pracy	74
5.2.1.	Testy jednostkowe.....	74
5.2.2.	Zakres wprowadzanych zmian	77

5.2.3. Przyjęte ograniczenia.....	77
5.3. Poprawa jakości kodu źródłowego.....	78
5.3.1. Migracja do standardu C++11	78
5.3.2. Naprawa błędów w kodzie źródłowym.....	83
5.3.3. Likwidacja nieużywanych fragmentów kodu źródłowego	83
5.3.4. Pozostałe zmiany i podsumowanie	83
5.4. Rozszerzenie możliwości aplikacji.....	84
5.4.1. Obsługa zaawansowanych komend dla zasilaczy wysokiego napięcia.....	84
5.4.2. Rozbudowa biblioteki odpowiedzialnej za dopasowywanie krzywej	90
5.4.3. Zmiany w sposobie aktualizacji parametrów i zebranych danych.....	91
5.4.4. Zabezpieczenie przed przepełnieniem bufora urządzenia MCA	94
5.4.5. Możliwość przywracania domyślnej kolejności liczników słomkowych	96
5.4.6. Pomniejsze rozszerzenia.....	98
6. Testy systemu (AK i JC)	99
6.1. Cykliczne testy systemu (AK)	99
6.2. Testy po migracji systemu (JC).....	101
6.3. Testy wersji finalnej (AK i JC).....	101
6.3.1. Testy funkcjonalności głównej aplikacji.....	102
6.3.2. Testy aplikacji oraz skryptów do obsługi sprzętu fizycznego.....	104
6.3.3. Testy zużycia zasobów.....	108
7. Podsumowanie (AK i JC)	109
A. Przegląd praktyk stosowanych podczas prac nad projektem (JC).....	111
A.1. Wprowadzenie do problematyki	111
A.2. Motywacja do wprowadzenia zmian.....	112
A.3. Zmiana praktyk ze względu na nieregularność prac.....	112
A.4. Dokumentacja projektu.....	114
A.5. Konwencja kodowania	117
B. Wybrane poradniki / Selected guides.....	119
B.1. Adding modules to the project using existing CMake templates	119
B.2. Working with git submodules	119
B.3. Creating proper GGSS Docker image for CI/CD infrastructure.....	119
B.4. Using new GGSS DIM commands	119
B.5. Using GGSS DIM HV commands	119

1. Wstęp (AK i JC)

1.1. Wprowadzenie do domeny projektu (AK)

Europejska Organizacja Badań Jądrowych CERN jest jednym z najważniejszych i najbardziej znanych ośrodków naukowo-badawczych na świecie oraz miejscem intensywnego rozwoju fizyki i informatyki. W CERN-ie powstało wiele znaczących technologii, w tym między innymi stanowiący podstawę sieci WWW (*World Wide Web*) [1] protokół HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) [2]. Ośrodek ten kojarzony jest dziś jednak przede wszystkim z największym akceleratorem cząstek na świecie - Wielkim Zderzaczem Hadronów (LHC - *Large Hadron Collider*) [3], oraz z działającymi przy nim eksperymentami. Jednym z tych eksperymentów jest pełniący kluczową rolę w rozwoju współczesnej fizyki detektor ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*) [4].

Detektor ATLAS zbudowany jest z kilku pod-detektorów, tworzących strukturę warstwową. Najbardziej wewnętrzną część stanowi tzw. Detektor Wewnętrzny (ang. *Inner Detector*) [5], składający się z kolei z trzech kolejnych podsystemów. Jednym z tychże podsystemów, szczególnie istotnym w kontekście niniejszej pracy, jest detektor promieniowania przejścia (TRT - *Transition Radiation Tracker*).

System Stabilizacji Wzmocnienia Gazowego (GGSS - *Gas Gain Stabilization System*) [6] jest jednym z podsystemów detektora TRT, mającym zapewnić jego poprawne działanie. Projekt ten zintegrowany jest z systemem kontroli detektora ATLAS (DCS - *Detector Control System*) [5]. W skład systemu GGSS wchodzi zarówno warstwa oprogramowania, jak i szereg urządzeń. Ze względu na jego rolę, jednym z najważniejszych wymagań stawianych przed projektem jest wysoka niezawodność.

1.2. Cel i założenia pracy (JC)

Celem niniejszego dokumentu jest omówienie i podsumowanie półtorarocznych prac nad rozwojem i usprawnieniem systemu GGSS. Opisane zmiany stanowią kontynuację działań rozpoczętych w ramach stworzonej przez autorów pracy inżynierskiej o tytule *Rozbudowa i uaktualnienie oprogramowania systemu GGSS detektora ATLAS TRT* [7]. Praca inżynierska skupiała się na aspektach infrastruktury oraz architektury projektu, takich jak migracja do systemu kontroli wersji Git [8] i przebudowa architektury na bardziej modułarną oraz prostszą do zrozumienia.

Celem wielu wprowadzonych wtedy przez autorów zmian było udoskonalenie procesu wytwarzania oraz wdrażania oprogramowania w środowisko produkcyjne, co zostało osiągnięte m.in. poprzez wykorzystanie technologii CMake [9] oraz GitLab CI/CD [10].

Główny nacisk pracy magisterskiej położony został natomiast na część aplikacyjną projektu - kod źródłowy odpowiedzialny za główną logikę został rozbudowany oraz udoskonalony. W ramach zmian w kodzie zostały dodane nowe funkcjonalności, jego nieużywane fragmenty zostały usunięte z projektu, szeroko rozumiana jakość została zwiększona, a jego poprawne działanie zostało zabezpieczone poprzez testy automatyczne. Działania podjęte w celu zapewnienia, że projekt działał będzie w sposób niezawodny, takie jak testy automatyczne, manualne oraz przygotowanie potrzebnej do ich przeprowadzenia infrastruktury, stanowią bardzo istotną część niniejszego manuskryptu i zostały w nim szczegółowo omówione. Ponadto, ze względu na ciągłą pracę z systemem, a co za tym idzie poznawanie jego środowiska docelowego oraz newralgicznych punktów, część niniejszej pracy poświęcona została udoskoleniu powstałych w ramach pracy inżynierskiej rozwiązań związanych z infrastrukturą oraz architekturą projektu.

Jednym z postawionych autorom celów było odpowiednie udokumentowanie projektu tak, aby ewentualne przyszłe zmiany można było wykonywać z jak największą łatwością, a wprowadzenie nowych osób w projekt było jak najprostsze. Oprócz obszernego opisu zawartego w ramach tego manuskryptu wymogiem było, aby przygotować krótkie, lecz treściwe pliki instruktażowe, opisowe oraz odpowiednio udokumentować kod źródłowy.

Ze względu na bardzo szeroki zakres tematów podejmowanych w niniejszej pracy zdecydowano się na podział, który odchodzi od standardowego. W celu ułatwienia korzystania z manuskryptu wprowadzenie do opisywanego problemu oraz wykonane prace zostały zamieszczone w jednym miejscu. Zatem zarówno nakreślenie problemu, stan początkowy oraz sposób jego rozwiązania następują zaraz po sobie. Schemat ten został powtórzony dla każdego poruszanego w pracy zagadnienia. Autorzy chcą w ten sposób ułatwić wykorzystanie tegoż dokumentu zarówno jako wprowadzenia do tematyki, jak również jako dokumentacji stanowiącej podstawę ewentualnego dalszego rozwoju projektu.

2. Wykorzystane technologie (AK i JC)

W niniejszym rozdziale zawarty został opis stosowanych przez autorów pracy technologii. Przedstawione informacje obejmują zarówno wykorzystane języki programowania, jak również narzędzia, których zadaniem jest ułatwienie tworzenia wysokiej jakości kodu źródłowego, czy też automatyzacja procesów zachodzących na różnych etapach cyklu życia oprogramowania. Niniejszy rozdział stanowi krótkie wprowadzenie do każdego z omawianych zagadnień - zaawansowane aspekty każdej z opisywanych technologii przedstawione zostały w dalszej części pracy, podczas omawiania konkretnych, osiągniętych za ich pomocą, rozwiązań.

2.1. Język C++ (AK)

C++ [11] [12] to stworzony w latach 80-tych XX wieku wszechstronny język programowania, oryginalnie mający stanowić rozszerzenie popularnego języka C [13] o mechanizmy pozwalające na programowania obiektowe. Wraz z jego rozwojem pojawiło się natomiast wsparcie dla innych paradygmatów programowania, dzięki czemu nowoczesny C++ pozwala stosować (poza paradygmatem proceduralnym oraz obiektywnym) programowanie funkcyjne oraz generyczne. Z tego też powodu język ten znajduje współcześnie bardzo szerokie zastosowanie, od rozwiązań telekomunikacyjnych po oprogramowanie dla eksperymentów fizycznych, takich jak detektor ATLAS w CERN. Jest on ponadto bardzo istotny z punktu widzenia niniejszej pracy, ponieważ za jego pomocą napisana została większość oprogramowania systemu GGSS.

C++ jest wydajnym językiem kompilowanym, opartym o statyczne typowanie. Udostępnia mechanizmy pozwalające programiście na działanie na wielu poziomach abstrakcji - możliwe są zarówno niskopoziomowe operacje, takie jak manualne zarządzanie pamięcią, jak również modelowanie wysokopoziomowej logiki biznesowej. W ciągu ostatnich dziesięciu lat miał miejsce szczególnie intensywny rozwój języka, czego początek stanowi pojawienie się przełomowego standardu C++11. Od tego czasu regularnie, co trzy lata, wydawana jest nowa wersja standardu języka, a zatem od 2011 roku pojawiły się następujące wydania:

- C++11 - uznawane za przełomowe, zawiera modyfikacje w znacznym stopniu zmieniające sposób tworzenia oprogramowania w języku C++. Wprowadzone zostały zarówno rozszerzenia w rdzeniu języka, jak i w bibliotece standardowej. Najważniejsze elementy standardu C++11 to m.in.: semantyka przenoszenia i referencje do *r-wartości*, wyrażenia

lambda, słowa kluczowe `override` i `final` ułatwiające programowanie obiektowe, inferencja typów za pomocą słowa kluczowego `auto`, wsparcie dla wielowątkowości (model pamięci oraz funkcjonalności w bibliotece standardowej), tzw. inteligentne wskaźniki (ang. *smart pointers*) ułatwiające zarządzanie pamięcią czy nowe kontenery biblioteki standardowej.

- C++14 - mniejsze wydanie, stanowiące uzupełnienie standardu C++11 o pomniejsze funkcjonalności oraz poprawki. Wprowadzone zmiany to m.in. ułatwienia w korzystaniu ze słowa kluczowego `constexpr` oraz generyczne wyrażenia lambda.
- C++17 - wprowadza wiele nowych funkcjonalności, m.in. bibliotekę do obsługi systemu plików, typ `std::optional` czy możliwość wykonania inicjalizacji w wyrażeniu warunkowym [14].
- C++20 - najnowsze wydanie języka, pod względem liczby wprowadzonych zmian większe od dwóch poprzednich. Przykładowe elementy tego standardu to: koncepty (ang. *concepts*), moduły czy biblioteka pozwalająca na operacje na zakresach (ang. *ranges*).

Obecnie trwają prace nad nowym standardem języka, którego publikacja planowana jest na rok 2023. Poza wprowadzaniem funkcjonalności, nowe wydania języka C++ eliminują te elementy języka, które uznawane są za przestarzałe. Przykładem może być obecny w bibliotece standardowej od wczesnych wersji języka inteligentny wskaźnik `std::auto_ptr` - został on oznaczony jako przestarzały (ang. *deprecated*) po pojawieniu się nowych rozwiązań w standardzie C++11, a następnie został usunięty z języka wraz z wprowadzeniem standardu C++17. Tego typu zmiany mają na celu wspieranie tzw. *dobrych praktyk* - zasad ułatwiających tworzenie łatwego w utrzymaniu i rozwoju oprogramowania (np. poprzez odpowiednie zarządzanie zasobami).

Z punktu widzenia niniejszej pracy szczególnie istotne są zmiany wprowadzone w standardzie C++11 - z uwagi na ograniczenia w środowisku docelowym systemu GGSS jest to najnowsze dostępne tam wydanie języka (więcej informacji na ten temat przedstawione zostało w dalszej części pracy). Dlatego też zaprezentowany został krótki przykład obrazujący część funkcjonalności wprowadzonych właśnie w tym standardzie. W przykładzie tym zaimplementowana została prosta hierarchia klas reprezentujących zasilacze: jedna abstrakcyjna klasa bazowa `PowerSupply` oraz dwie implementacje: `CaenPowerSupply` oraz `MockPowerSupply`. W funkcji `main()` tworzony i wypełniany jest kontener przechowujący wskaźniki zawierające adresy obiektów reprezentujących różne typy zasilaczy. Następnie dla każdego z istniejących zasilaczy następuje polimorficzne wywołanie metody pozwalającej na zmianę wartości zasilania (tutaj powoduje jedynie wypisanie odpowiedniej wiadomości na standardowe wyjście). Celem przykładu jest zaprezentowanie prostego scenariusza, w którym nowe funkcjonalności języka wpływają pozytywnie na jakość i bezpieczeństwo kodu - nie prezentuje więc on w sposób bezpośredni zaawansowanych elementów języka (takich jak możliwość metaprogramowania za pomocą szablonów).

Na listingu 2.1 przedstawiona została implementacja przykładu zgodna ze standardem C++03. Najważniejsze cechy zaprezentowanego kodu, charakterystyczne dla kodu źródłowego powstającego przed pojawieniem się standardu C++11, to:

- konieczność manualnego zarządzania pamięcią - widoczne zastosowanie operatora `delete` pod koniec funkcji `main()`
- brak bezpośredniej możliwości zadeklarowania klasy jako *finalna* - tzn. taka, po której nie można dziedziczyć (przed standardem C++11 istniały jednak techniki, wykorzystujące zaawansowane funkcjonalności języka, pozwalające osiągnąć podobny rezultat - ze względu na stopień skomplikowania nie zostały tu jednak zaprezentowane)
- brak możliwości wskazania, że metoda w klasie pochodnej nadpisuje (ang. *override*) metodę wirtualną z klasy bazowej
- rozbudowana, nieczytelna składnia pętli `for` operującej na kontenerze za pomocą iteratora

Listing 2.1. Przykładowa implementacja prostej hierarchii dziedziczenia oraz polimorficznego wykonania metody - standard C++03. Należy zwrócić uwagę na konieczność manualnego zarządzania pamięcią oraz brak możliwości wskazania, że metoda w klasie pochodnej nadpisuje metodę wirtualną z klasy bazowej.

```
#include <vector>
#include <iostream>

// klasa abstrakcyjna reprezentująca zasilacz, udostępnia interfejs pozwalający
// na ustawienie wartości napięcia
class PowerSupply {
public:
    virtual ~PowerSupply() {};
    virtual void set_voltage(double value) const = 0;
};

// klasa reprezentująca konkretny typ zasilacza
class CaenPowerSupply : public PowerSupply {
public:
    void set_voltage(double value) const {
        std::cout << "Setting voltage to value: " << value << std::endl;
    }
};

// klasa reprezentująca atrapę (mock) zasilacza
class MockPowerSupply : public PowerSupply {
public:
    void set_voltage(double value) const {
        std::cout << "Setting mock voltage to value: " << value << std::endl;
    }
};
```

```
int main() {
    // utworzenie i wypełnienie kontenera przechowującego wskaźniki
    // zawierające adresy obiektów reprezentujących zasilacze
    std::vector<PowerSupply*> power_supply_units;
    power_supply_units.push_back(new CaenPowerSupply());
    power_supply_units.push_back(new MockPowerSupply());

    // iteracja po kontenerze, polimorficzne wywołanie metody set_voltage
    for(std::vector<PowerSupply*>::const_iterator it = ←
        power_supply_units.begin(); it != power_supply_units.end(); ++it) {
        (*it)->set_voltage(2.5);
    }

    // zwalnianie pamięci
    delete power_supply_units[0];
    delete power_supply_units[1];
}
```

Na listingu 2.2 przedstawiona została natomiast implementacja przykładu za pomocą języka C++ w standardzie 11. Najważniejszą zmianą jest zastosowanie inteligentnego wskaźnika `std::unique_ptr<PowerSupply>`, automatyzującego zarządzanie wskazywanym zasobem (pamięć zostaje zwolniona, gdy wskaźnik ulega destrukcji). Powoduje to, że programista nie jest odpowiedzialny za manualne sprawowanie kontroli nad pamięcią, a co za tym idzie zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia związanych z tym błędów (takich jak wycieki pamięci). Kolejną zmianą jest zastosowanie słowa kluczowego `override` w celu zadeklarowania, że metoda w klasie pochodnej (np. `CaenPowerSupply`) nadpisuje metodę z klasy bazowej (tutaj `PowerSupply`). W przypadku, gdy powyższe nie jest prawdą (np. za sprawą błędnej pisowni lub braku słowa kluczowego `const`), kompilator zgłosi błąd. W klasach pochodnych zastosowane zostało ponadto słowo kluczowe `final`, powodujące, że po klasach tych nie można dziedziczyć - jego stosowanie może wynikać m.in. z zalecenia mówiącego, że dziedziczenie powinno być możliwe jedynie w przypadku klas, które są z myślą o nim projektowane (np. klasy abstrakcyjne). Wymienione powyżej zmiany, możliwe dzięki stosowaniu funkcjonalności nowoczesnego języka C++, pozwalają na zwiększenie niezawodności tworzonego kodu źródłowego, m.in. poprzez zabezpieczenie go przed prostymi błędami oraz dostarczenie dodatkowej, wbudowanej wprost w język, dokumentacji. Innym typem zmiany, nastawionym w większym stopniu na zwiększenie czytelności kodu, jest natomiast zastosowanie w przykładzie pętli zakresowej do iteracji po kontenerze oraz wykorzystanie słowa kluczowego `default` w deklaracji domyślnego destruktora wirtualnego klasy bazowej. W standardzie C++11 wprowadzonych zostało znacznie więcej podobnych udoskonaleń, a ponadto wprowadzone zostały mechanizmy ułatwiające optymalizację oprogramowania (np. ze względu na szybkość wykonania lub ilość zużytej pamięci) - jednak ze względu na konieczność zachowania prostego charakteru przykładu nie zostały one zaprezentowane.

Listing 2.2. Przykładowa implementacja prostej hierarchii dziedziczenia oraz polimorficznego wykonania metody - standard C++11. Widoczne zastosowanie słów kluczowych `default`, `final` oraz `override`, pętli zakresowej oraz inteligentnego wskaźnika.

```
#include <vector>
#include <iostream>
#include <memory>

// klasa abstrakcyjna reprezentująca zasilacz, udostępnia interfejs pozwalający
// na ustawienie wartości napięcia
class PowerSupply {
public:
    virtual ~PowerSupply() = default;
    virtual void set_voltage(double value) const = 0;
};

// klasa reprezentująca konkretny typ zasilacza
class CaenPowerSupply final : public PowerSupply {
public:
    void set_voltage(double value) const override {
        std::cout << "Setting voltage to value: " << value << std::endl;
    }
};

// klasa reprezentująca atrapę (mock) zasilacza
class MockPowerSupply final : public PowerSupply {
public:
    void set_voltage(double value) const override {
        std::cout << "Setting mock voltage to value: " << value << std::endl;
    }
};

int main() {
    // utworzenie i wypełnienie kontenera przechowującego inteligentne
    // wskaźniki zawierające adresy obiektów reprezentujących zasilacze
    std::vector<std::unique_ptr<PowerSupply>> power_supply_units{};
    power_supply_units.emplace_back(new CaenPowerSupply());
    power_supply_units.emplace_back(new MockPowerSupply());

    // iteracja po kontenerze, polimorficzne wywołanie metody set_voltage
    for(const auto& psu : power_supply_units) {
        psu->set_voltage(2.5);
    }
}
```

Język C++ charakteryzuje się ponadto istnieniem dodatkowych, nie będących częścią standardu, bibliotek poszerzających zestaw dostarczanych przez niego narzędzi. Z punktu widzenia systemu GGSS istotne są: zestaw bibliotek Boost [15] [16], biblioteka GNU Scientific Library (GSL) [17] oraz zestaw bibliotek i narzędzi Qt [18].

Boost to popularna kolekcja bibliotek dla języka C++, ułatwiająca wiele aspektów tworzenia oprogramowania poprzez dostarczenie zróżnicowanego zestawu narzędzi programistycznych: zarówno ogólnego przeznaczenia, jak i bardzo wyspecjalizowanych. Pakiet Boost rozwijany jest znacznie szybciej niż biblioteka standardowa języka C++, a ponadto niektóre jego elementy stanowiły podstawę dla funkcjonalności dodawanych do języka w nowych jego wydaniach (np. wprowadzona w standardzie C++17 biblioteka `filesystem`, służąca do zarządzania systemem plików, oparta jest na analogicznym module z zestawu Boost). Przykładowe funkcjonalności udostępniane przez pakiet Boost to: rozszerzona względem biblioteki standardowej obsługa łańcuchów znakowych, dodatkowe kontenery (np. `Boost.MultiIndex`), implementacja algorytmów grafowych czy asynchroniczne programowanie sieciowe. Ze względu na szeroki zakres oferowanych funkcjonalności, pakiet Boost stosowany jest również przez warstwę oprogramowania omawianego w niniejszej pracy systemu GGSS.

GNU Scientific Library (GSL) to napisana w języku C biblioteka udostępniająca narzędzia programistyczne do wykonywania obliczeń numerycznych. Pozwala na wykonywanie operacji takich jak: znajdowanie miejsc zerowych funkcji, dopasowywanie krzywej do danych czy całkowanie metodą Monte Carlo [19]. Ze względu na drugą z wymienionych tu funkcjonalności biblioteka ta znalazła zastosowanie w oprogramowaniu systemu GGSS.

Qt jest zestawem narzędzi programistycznych umożliwiających tworzenie przenośnych aplikacji okienkowych z wykorzystaniem języka C++. Technologia ta nie została zastosowana w rdzeniu oprogramowania systemu GGSS, natomiast przy jej pomocy stworzone zostały pomniejsze narzędzia wchodzące w skład projektu. Opisane w niniejszej pracy rozwiązania nie są oparte o Qt, dlatego też szczegółowy opis dostarczanych przez zestaw narzędzi nie zostanie w niej zamieszczony.

2.2. Język Python (AK)

Python [20] [21] jest opartym na dynamicznym systemie typów językiem programowania ogólnego przeznaczenia, charakteryzującym się bardzo szerokim obszarem zastosowań, obejmującym m.in. automatyzację za pomocą skryptów, tworzenie aplikacji internetowych czy eksplorację danych. Cechą najczęściej kojarzoną z tym językiem jest intuicyjna składnia, ułatwiająca zarówno jego naukę, jak i zrozumienie napisanych z jego pomocą programów. Python jest językiem wieloparadygmatowym, pozwalającym pisać zarówno w sposób proceduralny, jak i obiektowo i funkcyjnie. W systemie GGSS język ten stosowany jest jako narzędzie pomocnicze, rozumiane przede wszystkim jako język skryptowy wykorzystywany do tworzenia infrastruktury projektu.

Obecnie język Python istnieje w dwóch szeroko stosowanych wersjach: Python 2 oraz Python 3. Oficjalnie wspieraną wersją jest wydanie trzecie (wsparcie dla Pythona w wersji drugiej zakończone zostało na początku 2020 roku), w rzeczywistości jednak, ze względu na fakt, iż wersje te nie są ze sobą w pełni kompatybilne, oprogramowanie napisane za pomocą Pythona 2 wciąż znaleźć można w wielu projektach. Z punktu widzenia systemu GGSS różnice między tymi wydaniem nie są w dużym stopniu znaczące (ponieważ język ten używany jest jako pomocnicze narzędzie), jednakże preferowana jest wersja trzecia.

Na listingu 2.3 przedstawiony został prosty przykład zastosowania języka Python jako narzędzia do tworzenia skryptów. W tym przypadku jest to prosty skrypt, generujący sto pierwszych elementów ciągu Fibonacciego i zapisujący je do pliku tekstowego w postaci kolumny. Przykład obrazuje wykorzystanie takich elementów języka jak generatory, pętle oraz operacje na plikach.

Listing 2.3. Przykładowy skrypt napisany w języku Python, którego działanie polega na wygenerowaniu stu pierwszych elementów ciągu Fibonacciego i zapisaniu otrzymanego wyniku do pliku tekstowego.

```
# generator zwracający kolejne wyrazy ciągu Fibonacciego
def fibonacci(n):
    first, second = 0, 1
    for _ in range(n):
        yield first
        first, second = second, first + second

# wykorzystanie generatora - zapis stu pierwszych
# elementów ciągu Fibonacciego do pliku tekstowego
with open('data.txt', 'w') as file:
    for elem in fibonacci(100):
        file.write(str(elem) + '\n')
```

2.3. Narzędzia do analizy oprogramowania (AK)

Podczas prac nad systemem GGSS autorzy wykorzystali szereg narzędzi ułatwiających utrzymanie jakości oraz niezawodności tworzonego oprogramowania. Współcześnie, wraz z rosnącym skomplikowaniem powstających projektów informatycznych, rośnie zapotrzebowanie na narzędzia wspierające analizę tworzonego oraz rozwijanego oprogramowania - jest ono często utrzymywane przez wiele osób, przez co zachowanie jego wysokiej jakości staje się coraz bardziej wymagającym zadaniem. Opisywane narzędzia charakteryzują się szerokim zakresem oferowanych możliwości, m.in. monitorowanie zużycia zasobów czy też badanie kodu źródłowego pod kątem zgodności z pewnymi przyjętymi standardami, oraz wspierają wykonywanie analizy programu na wiele zróżnicowanych sposobów. W najprostszym ujęciu wskazać można dwie możliwości klasyfikacji technik analizy oprogramowania:

- analiza kodu źródłowego (ang. *source analysis*) oraz analiza kodu maszynowego (ang. *binary analysis*) - w przypadku pierwszego typu badaniom poddawany jest kod źródłowy, napisany np. z wykorzystaniem języka C++, drugie podejście polega natomiast na analizie programu na poziomie kodu maszynowego lub reprezentacji pośredniej, takiej jak kod bajtowy (ang. *bytecode*).
- analiza statyczna (ang. *static analysis*) oraz analiza dynamiczna (ang. *dynamic analysis*) - podejścia te różni to, czy badanie wykonywane jest bez uruchamiania programu (pierwszy typ), czy też w trakcie jego wykonywania (drugi rodzaj).

Powyższe dwa podziały pozwalają ostatecznie określić cztery kategorie analizy oprogramowania: statyczna analiza kodu źródłowego, statyczna analiza kodu maszynowego, dynamiczna analiza kodu źródłowego oraz dynamiczna analiza kodu maszynowego [22]. Każde z tych podejść charakteryzuje się pewnymi zaletami względem pozostałych, należy je jednak traktować jako komplementarne - wskazane jest, w zależności od potrzeb, wykorzystywanie różnego typu narzędzi ułatwiających utrzymanie wysokiej jakości tworzonego oprogramowania. Szczegółowa analiza każdej z wymienionych możliwości wykracza poza zakres niniejszej pracy, w dalszej jej części przedstawione zostały jedynie najważniejsze informacje na temat szczególnie istotnych narzędzi, które wykorzystywali autorzy podczas prac nad systemem GGSS. W zamieszczonym opisie pominięte zostało jednak oprogramowanie, którego znajomość nie jest konieczna w celu zrozumienia dalszych części niniejszego manuskryptu, takie jak GNU Debugger (GDB) [23].

Z punktu widzenia testów, jakie wykonywane były podczas prac nad systemem GGSS, bardzo istotna jest platforma Valgrind [24]. Jej działanie opiera się na przeprowadzaniu tzw. instrumentacji - umieszczaniu w kodzie dodatkowych instrukcji [25], pozwalających na wykonywanie jego analizy, co w tym przypadku ma miejsce w czasie wykonywania programu. Valgrind pozwala na tworzenie wyspecjalizowanych narzędzi wykorzystujących dynamiczną instrumentację binarną, dzięki udostępnieniu rdzenia (ang. *core*), którego zadaniem jest deasemblacja kodu maszynowego do tzw. postaci pośredniej. Postać ta wykorzystywana jest przez poszczególne narzędzia, które dodają odpowiedni dla danego zastosowania kod analizujący. Szczególnie istotne z punktu widzenia niniejszej pracy są narzędzia Memcheck [26] [27] oraz Massif [28], których zadaniem jest monitorowanie, w jaki sposób badany program wykorzystuje dostępną pamięć.

Memcheck jest domyślnym narzędziem udostępnianym przez platformę Valgrind, pozwalającym na wykrywanie błędów związanych z zarządzaniem pamięcią w programach napisanych w językach C i C++. Przykładem tego typu błędów są wycieki pamięci, użycie zmiennych, którym nie została nadana żadna wartość, oraz próby dostępu do zwolnionej pamięci. Memcheck jest szczególnie istotny w kontekście testów systemu GGSS, ponieważ pozwala upewnić się, że podczas działania aplikacji wchodzących w skład projektu nie mają miejsca żadne błędy mogące powodować stopniowy wzrost zużycia zasobów, co w przypadku systemu działającego nieprzerwanie przez wiele miesięcy jako usługa mogłoby doprowadzić do niespodziewanej awarii.

Na listingu 2.4 przedstawiony został fragment kodu źródłowego napisanego w języku C++, zawierającego przykłady prostych błędów, które mogą zostać wykryte przy użyciu narzędzia Memcheck: użycie niezainicjalizowanej zmiennej oraz wyciek pamięci. W funkcji `main()` tworzona jest zmienna `no_value`, której nie zostaje nadana wartość. Następnie na jej podstawie podejmowana jest decyzja o zmianie wartości zmiennej `value` - sprawia to, że działanie programu jest niemożliwe do przewidzenia. W ostatniej linii funkcji `main()` tworzona jest dynamiczna tablica dziesięciu liczb całkowitych - ponieważ w programie nie następuje jej zwolnienie, jest to prosta forma wycieku pamięci.

Listing 2.4. Przykład prostego programu zawierającego błędy możliwe do wykrycia za pomocą narzędzia Memcheck: użycie zmiennej, której nie została nadana wartość oraz wyciek pamięci.

```
#include <iostream>

int main() {
    int no_value; // niezainicjalizowana zmienna
    int value{10};
    if(no_value == 0) { // użycie niezainicjalizowanej zmiennej
        std::cout << "No-value equal to zero. Setting value to 5." << std::endl;
        value = 5;
    }
    std::cout << "Value: " << value << std::endl;

    int* leak = new int[10]; // wyciek pamięci - brak delete[]
}
```

Na listingu 2.5 przedstawione zostało natomiast wywołanie narzędzia Memcheck w celu zbadania stanowiącego przykład programu. W zamieszczonym wyjściu widoczne są informacje na temat wykrycia obu błędów. Ponadto, ponieważ nastąpiło wywołanie z użyciem opcji `--track-origins=yes`, wskazywane jest źródło wystąpienia nieprawidłowości (np. w przypadku niezainicjalizowanej zmiennej jest to linia, w której następuje jej definicja). Ponadto wyświetlane są: podsumowanie zawierające informacje na temat dynamicznych alokacji pamięci (czyli na tzw. *stercie* - ang. *heap*) oraz raport podsumowujący wykryte przez narzędzie wycieki pamięci, w zależności od ich rodzaju.

Listing 2.5. Wywołanie narzędzia Memcheck w celu zbadania programu zamieszczonego na listingu 2.4 - widoczne informacje na temat obu obecnych w przykładzie błędów.

```
user@host:~/test$ valgrind --track-origins=yes --leak-check=full ./a.out
==127== Memcheck, a memory error detector
==127== Copyright (C) 2002-2017, and GNU GPL'd, by Julian Seward et al.
==127== Using Valgrind-3.15.0 and LibVEX; rerun with -h for copyright info
==127== Command: ./a.out
==127==
==127== Conditional jump or move depends on uninitialised value(s)
```

```
==127==      at 0x109200: main (memcheck_code.cpp:7)
==127== Uninitialised value was created by a stack allocation
==127==      at 0x1091E9: main (memcheck_code.cpp:3)
==127==
Value: 10
==127==
==127== HEAP SUMMARY:
==127==      in use at exit: 40 bytes in 1 blocks
==127==    total heap usage: 3 allocs, 2 frees, 76,840 bytes allocated
==127==
==127== 40 bytes in 1 blocks are definitely lost in loss record 1 of 1
==127==      at 0x483C583: operator new[](unsigned long) (in ↵
    /usr/lib/x86_64-linux-gnu/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==127==      by 0x109272: main (memcheck_code.cpp:13)
==127==
==127== LEAK SUMMARY:
==127==      definitely lost: 40 bytes in 1 blocks
==127==      indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==127==      possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==127==      still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==127==      suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==127==
==127== For lists of detected and suppressed errors, rerun with: -s
==127== ERROR SUMMARY: 2 errors from 2 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

W niniejszej pracy pominięty został szczegółowy opis technik stosowanych przez narzędzie Memcheck w celu wykrywania błędów występujących w badanym programie. Istotna jest natomiast informacja, że przeprowadzana analiza oparta jest na wykorzystywaniu dodatkowych zasobów, w tym znaczącej ilości pamięci. W ten sposób działa m.in. mechanizm wykrywania użycia niezainicjalizowanych zmiennych - każdy bit danych zarządzany przez badany proces jest śledzony przez narzędzie za pomocą metadanych w postaci innego bitu (tzw. *valid-value bit*) [26]. Powoduje to znaczący wzrost zużycia pamięci, a zatem uniemożliwia jednocześnie przeprowadzanie (np. za pomocą innych, zewnętrznych narzędzi) badań dotyczących ilości wykorzystywanych przez analizowany program zasobów.

Drugim, istotnym z uwagi na prezentowane w niniejszym manuskrypcie treści, narzędziem opartym o platformę Valgrind jest Massif. Umożliwia on generowanie szczegółowych raportów opisujących wykorzystanie pamięci sterty (oraz opcjonalnie stosu) przez badany program. Pozwala to wykrywać scenariusze takie jak stopniowo rosnący, wraz z długotrwałym działaniem programu, rozmiar dynamicznie alokowanych struktur danych. Ponieważ w takim przypadku wyciek pamięci nie następuje w sposób jawny, problem tego typu jest trudny do wykrycia za pomocą narzędzia Memcheck. Uproszczony przykład tego typu scenariusza przedstawiony został na listingu 2.6. Zamieszczony tam program symuluje sterowany przez użytkownika pomiar: w każdej iteracji pętli `do-while` następuje alokacja pamięci, a następnie na podstawie wprowadzonego na

standardowe wejście znaku podejmowana jest decyzja o kontynuacji lub zakończeniu działania. Po zakończeniu wykonywania pętli następuje zwolnienie pamięci. Przedstawiony program nie zawiera błędów związanych z zarządzaniem pamięcią - zastosowania narzędzia Memcheck nie wskazuje na występowanie żadnych problemów. Każda iteracja pętli `do-while` wiąże się jednak ze zwiększeniem rozmiaru wykorzystywanej przez program pamięci sterty, co ostatecznie może doprowadzić do jej wyczerpania, a co za tym idzie, do błędu kończącego działanie aplikacji. Tego typu scenariusz jest szczególnie niebezpieczny w przypadku aplikacji, od których oczekuje się bezawaryjnego działania przez bardzo długi czas (np. kilka miesięcy) - w tego typu przypadkach mechanizm sterujący alokacją pamięci może być znacząco bardziej skomplikowany, niż ten przedstawiony w przykładzie, a co za tym idzie wcześnie wykrycie potencjalnego problemu może być niemożliwe bez zastosowania narzędzia takiego jak Massif.

Listing 2.6. Przykład prostego programu symulującego cykliczne wykonywanie pomiaru. W każdej iteracji wykonywana jest dynamiczna alokacja pamięci, a użytkownik za pomocą standardowego wejścia decyduje o zaprzestaniu lub kontynuacji działania programu. Załączony kod obrazować ma sytuację, w której program stopniowo zwiększa zużycie dostępnych zasobów, co w konsekwencji doprowadzić może do przerwania jego działania, gdy zostaną one wyczerpane.

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <unistd.h>

constexpr unsigned int NUMBER_OF_SAMPLES{100000};

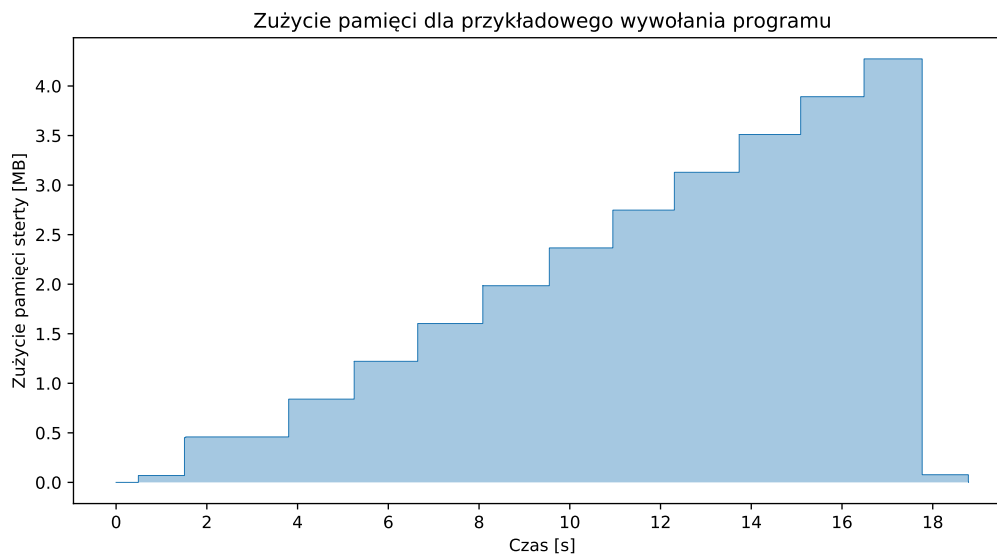
int main() {
    std::vector<int*> measurement_history{};

    // pętla symulująca następujący cyklicznie pomiar
    // o przerwaniu lub kontynuacji pomiaru decyduje użytkownik
    do {
        sleep(1);
        measurement_history.push_back(new int[NUMBER_OF_SAMPLES]);
        std::cout << "Measurement performed. Press q to stop or anything else to ↵
                    continue ..." << std::endl;
    } while(std::cin.get() != 'q');

    // zwolnienie zaalokowanej pamięci
    for(int* iteration: measurement_history) {
        delete [] iteration;
    }
    sleep(1);
}
```

Na rysunku 2.1 przedstawiony został natomiast wykres wykonany za pomocą danych, jakie znalazły się w raporcie wygenerowanym przez narzędzie Massif. Przedstawia on zużycie pamięci

sterty w funkcji czasu dla przykładowego uruchomienia zaprezentowanego programu - wyraźnie widoczny jest wzrost ilości wykorzystywanych zasobów wraz z kolejnymi alokacjami następującymi w pętli `do-while`. Poza danymi liczbowymi na temat zużycia przez badany program pamięci, generowany przez narzędzie raport zawiera informacje na temat następujących alokacji, co ułatwia znajdowanie źródeł wzrostu wykorzystania zasobów. Ze względu na znaczny rozmiar generowanego raportu nie został on zaprezentowany w niniejszym manuskrypcie.



Rys. 2.1. Wykres przedstawiający ilość wykorzystywanej pamięci sterty w funkcji czasu. Zaprezentowane dane pochodzą z przykładowego uruchomienia programu zawartego na listingu 2.6 - ich pozyskanie możliwe było dzięki wykorzystaniu wygenerowanego przez narzędzie Massif raportu.

Innym typem narzędzi wykorzystywanych przez autorów niniejszej pracy są te służące do statycznej analizy kodu źródłowego w celu określenia jego zgodności z przyjętymi konwencjami. Wykonywane w ten sposób badanie pozwala wykryć nieprawidłowości związane zarówno z tak prostymi zagadnieniami jak przyjęty styl (np. nazewnictwo zmiennych czy kolejność załączania plików nagłówkowych), jak również z wykorzystaniem poszczególnych elementów języka programowania (np. wykrywanie przestarzałych, niezalecanych konstrukcji, takich jak wspomniany w części opisującej język C++ wskaźnik `std::auto_ptr`). Tego typu narzędzia w znaczącym stopniu ułatwiają refaktoryzację (ang. *refactoring*), czyli proces wprowadzania w istniejącym kodzie źródłowym zmian, których celem jest zwiększenie jego jakości bez zmiany funkcjonalności. Przykładem bardzo popularnego wśród programistów C++ narzędzia przeprowadzającego statyczną analizę kodu źródłowego jest Clang-Tidy [29], oparty na kompilatorze Clang [30]. Ponadto nowoczesne środowiska programistyczne bardzo często posiadają zintegrowaną funkcjonalność pozwalającą przeprowadzić tego typu badanie. Tego typu środowiskiem jest, wykorzystywany przez autorów do pracy nad systemem GGSS, CLion stworzony przez firmę JetBrains [31].

2.4. System kontroli wersji Git (JC)

Git [32] jest narzędziem służącym do śledzenia zmian dokonywanych na zadanym zbiorze plików. Głównym celem jest umożliwienie programistom sprawnej współpracy w ramach procesu wytwarzania i rozwoju oprogramowania. Git pozwala m.in. na śledzenie zmian dokonywanych równolegle przez wielu deweloperów na jednym zestawie plików, zarządzanie skomplikowaną hierarchią zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami projektu czy też wersjonowanie zmian wprowadzanych w projekcie. Cechą wyróżniającą Git od innych systemów kontroli wersji jest jego wydajność, osiągnięta poprzez zastosowanie innego, w stosunku do systemów takich jak CVS czy Subversion, podejścia do przechowywania informacji o wprowadzanych zmianach. Technologia ta pozwala ponadto na stosowanie wielu zróżnicowanych podejść do zarządzania przepływem pracy (ang. *workflow*), dzięki czemu znalazła zastosowanie w wielu rozwijanych wspólnie projektach.

Jednym z podstawowych i najważniejszych elementów technologii Git są tzw. repozytoria (ang. *repository*), definiowane przez ukryty katalog `.git`, tworzony w momencie aktywowania systemu kontroli wersji w projekcie. Katalog ten znajduje się w głównej ścieżce projektu i zawiera w nim wszystkie informacje niezbędne do poprawnego działania technologii Git, takie jak: historia zmian wprowadzonych w poszczególnych plikach w ramach każdej rewizji (ang. *commit*), dane na temat gałęzi (ang. *branch*) projektu oraz informacje o zmianach wprowadzonych lokalnie i o etapie (ang. *stage*), w jakim się one znajdują. Takie repozytorium wraz z samą zawartością projektu można zdeponować w jednym z portali obsługujących technologię Git, np. w wykorzystywanym w ramach niniejszej pracy portalu GitLab.

Chcąc utrwalić zmiany w kodzie wykorzystując technologię Git należy skorzystać z funkcjonalności rewizji. Narzędzie oferuje programistom bardzo szeroki wachlarz możliwości, jednakże proces postępowania w swojej najprostszej, często spotykanej wersji nie jest skomplikowany. Po wprowadzeniu zmian należy dodać pliki, których stan powinien zostać zachowany, do tzw. przechowalni (ang. *staging area*) - służy do tego komenda `git add`. Następnie, za pomocą komendy `git commit`, należy utworzyć nową rewizję. Utworzona w ten sposób rewizja posiada swój własny, unikalny identyfikator - za jego pomocą w dowolnym momencie możliwe jest przywrócenie wszystkich plików do zachowanego stanu. Ponadto możliwe jest umieszczenie rewizji w zdalnym repozytorium, utrzymywanym w ramach wcześniej wspomnianych portali internetowych - służy do tego komenda `git push`.

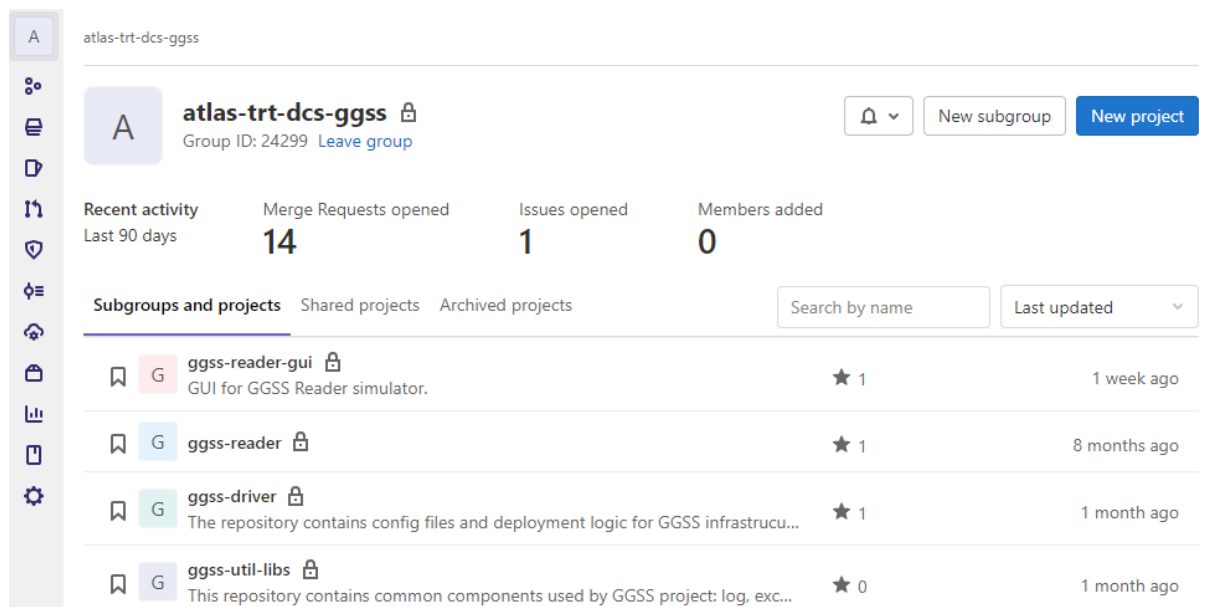
W przypadku równoległego prowadzenia przez wielu programistów prac nad tym samym zestawem plików, szczególnie przydatna staje się oferowana przez Git funkcjonalność gałęzi. Pozwalają one na odseparowanie zmian wprowadzanych przez różnych deweloperów w ramach tworzonych przez nich rewizji, dzięki czemu mogą oni prowadzić pracę w sposób niezależny od siebie. W momencie zakończenia prac, programiści mogą połączyć (ang. *merge*) rozwijane przez siebie gałęzie (lub dołączyć je do gałęzi głównej), w wyniku czego zachowane zostaną wszystkie

wykonane przez nich zmiany. W przypadku wystąpienia zmian konfliktujących ze sobą (np. zmiana tej samej linii kodu na obydwu gałęziach), istnieje możliwość manualnego rozwiązania problemu - osoba dokonująca połączenia wybiera, która wersja powinna zostać zachowana.

Poza opisanymi do tej pory podstawowymi funkcjonalnościami, Git oferuje szereg zaawansowanych możliwości. Jedną z nich są wykorzystywane w warstwie oprogramowania systemu GGSS submoduły (ang. *submodules*). Pozwalają ona na utworzenie hierarchicznego powiązania pomiędzy dwoma repozytoriami. Aby tego dokonać należy wykonać w repozytorium nadrzędnym komendę `git submodule add <adres_zależności>`. Powoduje ona dodanie innego, zewnętrznego repozytorium jako podkatalog w repozytorium nadrzędnym. Wytwarzanie nowych rewizji w repozytorium nadrzędnym, oprócz zapisania stanu plików w tymże repozytorium, skutkuje zachowaniem informacji o identyfikatorze rewizji submodułu. Dzięki temu możliwe jest wprowadzenie do projektu mechanizmu wersjonowania, pozwalającego na przechowywanie, poza informacjami o stanie plików wchodzących w skład repozytorium nadrzędnego, informacji o wersji wykorzystywanej zależności. Mechanizm submodułów pozwala na łatwą inicjalizację oraz zarządzanie projektem składającym się z wielu repozytoriów tworzących strukturę hierarchiczną.

2.5. Portal GitLab (JC)

GitLab jest to serwis hostujący repozytoria Git oparty o graficzny interfejs użytkownika w postaci portalu internetowego. Rozwiązanie to oferuje możliwość zdalnego przechowywania oraz udostępniania repozytoriów Git, np. w obrębie określonej grupy programistów. Rysunek 2.2 przedstawia panel istniejącej w ramach projektu GGSS grupy wraz z kilkoma rozwijanymi przez jej członków repozytoriami.



Rys. 2.2. Panel grupy *atlas-trt-dcs-ggss* utworzonej na platformie GitLab.

Omawiany portal wzbogaca ponadto współpracę opartą na repozytoriach poprzez wprowadzenie tzw. *merge request*. Pozwalają one na współpracę przy łączeniu dwóch gałęzi repozytorium w jedno. Rysunek 2.3 przedstawia część przykładowego panelu *merge request*. Oprócz logu wydarzeń widoczne są informacje na temat: osoby, która zatwierdziła zmiany, statusu skonfigurowanej automatyzacji, czy też stanu danego *merge request*. Dostępne są również zakładki, gdzie przeglądać można wszystkie rewizje wchodzące w skład dołączanej gałęzi oraz wprowadzone w ich ramach zmiany.

The screenshot shows a GitLab Merge Request (MR) for the 'Oper scripts' branch. At the top, it indicates the MR is 'Merged' and was created 1 week ago by Jarosław Piotr Cierpich (Owner). Below this, the title 'Oper scripts' is displayed with tabs for Overview (0), Commits (7), Pipelines (5), and Changes (8). The main content area shows a 'Request to merge oper-scripts into master' with a download icon. Below this, a pipeline status is shown: 'Pipeline #2907565 passed for 9d94e2ae on oper-scripts 1 week ago' with three green checkmarks and a download icon. A section indicates the 'Merge request approved' by a user, with a link to 'View eligible approvers'. The 'Merged by' section shows it was merged by Jarosław Piotr Cierpich 1 week ago, with buttons for 'Revert' and 'Cherry-pick'. It states 'The changes were merged into master with 39364687' and 'The source branch has been deleted'. Another pipeline status is shown at the bottom: 'Pipeline #2907599 passed for 39364687 on master 1 week ago' with three green checkmarks and a download icon. At the very bottom, there are reaction buttons (thumbs up, thumbs down, smiley) and sorting options ('Oldest first' and 'Show all activity').

Rys. 2.3. Przykładowy *merge request* na platformie GitLab.

Wraz ze wzrostem popularności portali takich jak GitLab zaczęto wprowadzać dodatkowe udogodnienia dla programistów, skupione szczególnie na procesie wytwarzania kodu, infrastruktury do tego stosowanej oraz różnym praktykom stosowanym w nowoczesnych projektach. Jedną z takich funkcjonalności jest GitLab CI/CD, czyli część portalu GitLab oraz platforma pozwalająca na automatyzację procesu twórczego poprzez zastosowanie podejścia Continuous Integration/Continuous Delivery. GitLab CI/CD pozwala na zdefiniowanie akcji, które mają być wykonywane automatycznie w przypadku wystąpienia pewnych zdarzeń, np: automatyczne wykonanie testów w momencie umieszczenia nowej rewizji na portalu GitLab, czy też utworzenie nowego wydania aplikacji po przekazaniu odpowiedniej etykiety (ang. *tag*) do repozytorium na platformie.

Wszystkie akcje zawarte w ramach wyżej opisanej automatyzacji wykonywane są na specjalnie przygotowanych maszynach wirtualnych zarejestrowanych w portalu GitLab, czyli tzw. *GitLab Runners*. Maszyny te posiadają zainstalowane odpowiednie rozszerzenia oraz oprogramowanie Docker [33], ponieważ większość akcji wykonywana jest w ramach kontenerów.

2.6. Narzędzie CMake (AK)

CMake jest rozwijanym przez firmę *Kitware* narzędziem automatyzującym procesy związane z cyklem życia oprogramowania, w tym przede wszystkim jego budowanie, testowanie, instalację oraz tworzenie pakietów. Udostępnia intuicyjny, oparty o prosty język skryptowy interfejs, umożliwiający tworzenie konfiguracji w sposób niezależny od docelowej platformy, dzięki czemu możliwe jest konstruowanie zaawansowanych, dostosowanych do potrzeb konkretnego projektu systemów budowania. Stanowi trzon systemu budowania i pakietowania przygotowanego na potrzeby systemu GGSS przez autorów niniejszego manuskryptu w ramach napisanej przez nich pracy inżynierskiej. Z narzędziem CMake ściśle zintegrowane są systemy CPack oraz CTest, który zadaniem jest kolejno: tworzenie pakietów instalacyjnych z oprogramowaniem (np. `.rpm`) oraz tworzenie konfiguracji umożliwiających testowanie automatyczne.

Na listingu 2.7 przedstawiony został bardzo prosty przykład pliku `CMakeLists.txt`, zawierającego konfigurację pozwalającą na zbudowanie aplikacji napisanej w języku C++. Na załączonym fragmencie kodu widoczne są komendy pozwalające określić informacje takie jak: minimalna wersja narzędzia CMake, nazwa oraz wersja projektu czy lista plików wchodzących w skład tworzonej aplikacji.

Listing 2.7. Przykład pliku `CMakeLists.txt`, zawierającego komendy pozwalające na zbudowanie prostej, składającej się z jednego pliku źródłowego, aplikacji napisanej w języku C++

```
# Określenie minimalnej wersji narzędzia CMake.
cmake_minimum_required(VERSION 3.0 FATAL_ERROR)

# Określenie nazwy i wersji projektu oraz stosowanego języka.
project(SampleApp VERSION 1.0.0 LANGUAGES CXX)

# Dodanie docelowego pliku wykonywanego.
add_executable(Sample main.cpp)
```

2.7. Menadżer pakietów RPM (JC)

RPM Package Manager [34] [35] jest systemem do zarządzania pakietami na systemach z rodziny Red Hat, Fedora, CentOS, OpenSUSE. Posługuje się on pakietami z rozszerzeniem `.rpm`. W ramach takiego pakietu zawarte są:

- główna zawartość, np. skompilowana aplikacja czy gotowy skrypt powłoki Bash [36]
- metadane: informacje o autorze, zawartości, wersji zawartości, opis pakietu, wymagane zależności
- logika instalacji oraz logika dezinstalacji: skrypty mające na celu przygotowanie systemu do instalacji oraz posprzątanie systemu po dezinstalacji pakietu

Instalacja oprogramowania za pomocą menadżera pakietów pozwala na znaczne przyspieszenie procesu. Zazwyczaj wszystkie akcje, które są wymagane przed zainstalowaniem oprogramowania, wykonywane są w ramach logiki instalacji. Menadżer pakietów, wykorzystując zewnętrzne repozytoria, jest w stanie pobrać i zainstalować wszystkie wymagane przez instalowany pakiet zależności. Dodatkowo menadżer pakietów RPM zapewnia weryfikację poprawności pakietu w postaci technologii GPG oraz MD5.

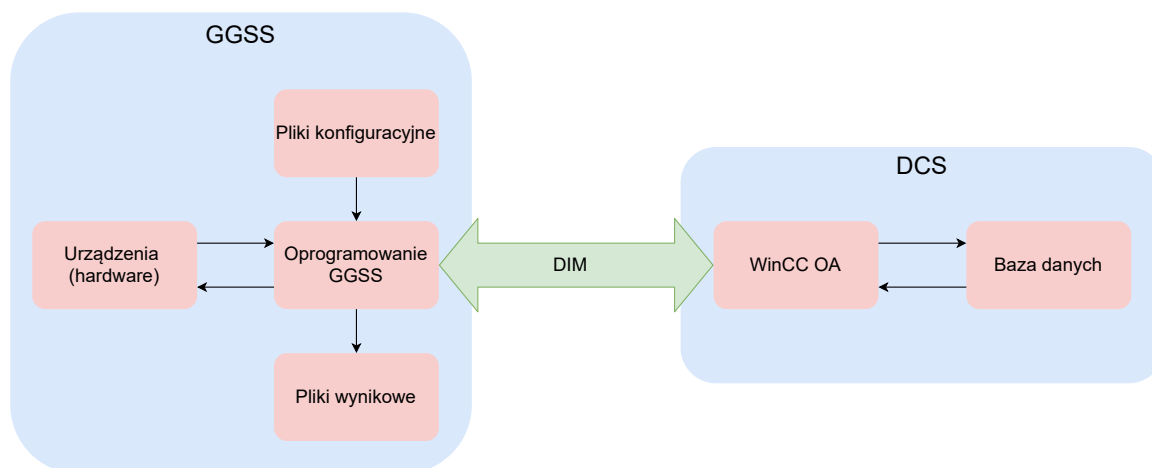
3. Budowa i działanie systemu GGSS (AK)

Niniejszy rozdział zawiera ważne, z punktu widzenia przeprowadzonych prac, informacje na temat systemu GGSS. Przedstawione tu opisy dotyczą zagadnień takich jak: wysokopoziomowa architektura systemu, struktura warstwy oprogramowania, opis wykorzystywanych przez system urządzeń oraz omówienie cech charakterystycznych środowiska docelowego.

3.1. Wysokopoziomowa architektura systemu GGSS

System GGSS składa się z kilku współpracujących ze sobą elementów, przedstawionych (wraz z występującymi między nimi interakcjami) na rysunku 3.1. Znaczenie poszczególnych komponentów projektu jest następujące:

- **urządzenia (ang. *hardware*)** - zestaw urządzeń elektronicznych (m.in. liczniki słomkowe, zasilacze wysokiego napięcia i multipleksery)
- **oprogramowanie GGSS** - zestaw aplikacji wraz z otaczającą je infrastrukturą, których zadaniem jest sterowanie urządzeniami wchodzącymi w skład systemu GGSS oraz przetwarzanie zbieranych za ich pomocą danych
- **pliki konfiguracyjne** - proste pliki tekstowe w formacie XML (*Extensible Markup Language*) [37], zawierające informacje o oczekiwanym sposobie działania systemu (np. maksymalna możliwa wartość napięcia, jakie może zostać ustawione na każdym z zasilaczy)
- **pliki wynikowe** - pliki tekstowe zawierające wyniki pomiarów wykonywanych przez system oraz rejestr zdarzeń
- ***SIMATIC WinCC Open Architecture*** [38] - system typu SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [39], stanowiący część systemu kontroli detektora ATLAS, pozwalający na obserwację i kontrolę działania poszczególnych poddetektorów
- ***Distributed Information Management System (DIM)*** [40] - protokół komunikacyjny dla środowisk rozproszonych, oparty o architekturę klient-serwer, zapewniający komunikację między oprogramowaniem systemu GGSS a systemem WinCC OA



Rys. 3.1. Wysokopoziomowa architektura projektu GGSS. Strzałkami oznaczono przepływ danych pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu [7].

Szczegóły działania najważniejszych z punktu widzenia niniejszej pracy elementów systemu omówione zostaną w dalszej części tego rozdziału. Znaczna część prac opisanych w niniejszym manuskrypcie skupiona była na udoskonaleniu warstwy oprogramowania systemu GGSS.

3.2. Urządzenia elektroniczne

Z punktu widzenia warstwy sprzętowej system GGSS składa się z zestawu tzw. słomkowych liczników proporcjonalnych, zasilanych za pomocą 4-kanalowych zasilaczy wysokiego napięcia. Sygnały generowane przez liczniki przetwarzane są przez wielokanałowy analizator amplitudy (MCA - *Multi-Channel Analyzer*), natomiast wybór licznika słomkowego używanego do wykonania pomiarów następuje za pomocą 8-kanalowego multipleksera sygnałów analogowych [41] [42]. Urządzenia podłączone są do komputera PC, który steruje nimi za pomocą oprogramowania systemu GGSS. W tabeli 3.1 zamieszczone zostało zestawienie informacji na temat wykorzystywanych przez projekt urządzeń. Sposób działania systemu (jego podstawa fizyczna oraz znaczenie przeprowadzanych pomiarów) wykracza poza zakres niniejszej pracy, został natomiast szczegółowo opisany w pracy *Wybrane zagadnienia związane z pracą słomkowych liczników proporcjonalnych w detektorze TRT eksperymentu ATLAS* [43], której autorem jest dr hab. inż. Bartosz Mindur, prof. AGH.

Tabela 3.1. Zestawienie istotnych z punktu widzenia niniejszej pracy urządzeń wchodzących w skład systemu GGSS.

Urządzenie	Informacje
4-kanalowy zasilacz wysokiego napięcia	CAEN N1470 [44]
wielokanałowy analizator amplitudy	CAEN N957 [44]
multiplexer sygnałów analogowych	urządzenie autorstwa Pana Pawła Zadroźniaka

3.3. Warstwa oprogramowania

Poprzez warstwę oprogramowania systemu GGSS autorzy rozumieją zarówno zestaw aplikacji napisanych w języku C++ (standard 11), jak i otaczającą je infrastrukturę (pomocnicze skrypty, system budowania, testowania i tworzenia nowych wydań).

Trzon warstwy oprogramowania projektu GGSS stanowi aplikacja *ggss-runner*, zawierająca logikę odpowiedzialną za komunikację z systemem za pomocą protokołu DIM, gromadzenie i walidację danych oraz sterowanie urządzeniami wchodzącymi w skład warstwy sprzętowej. W skład systemu wchodzi ponadto szereg pomniejszych aplikacji (niektóre z nich stanowią element dodany przez autorów niniejszej pracy, zostaną więc omówione ze szczegółami w dalszych jej częściach):

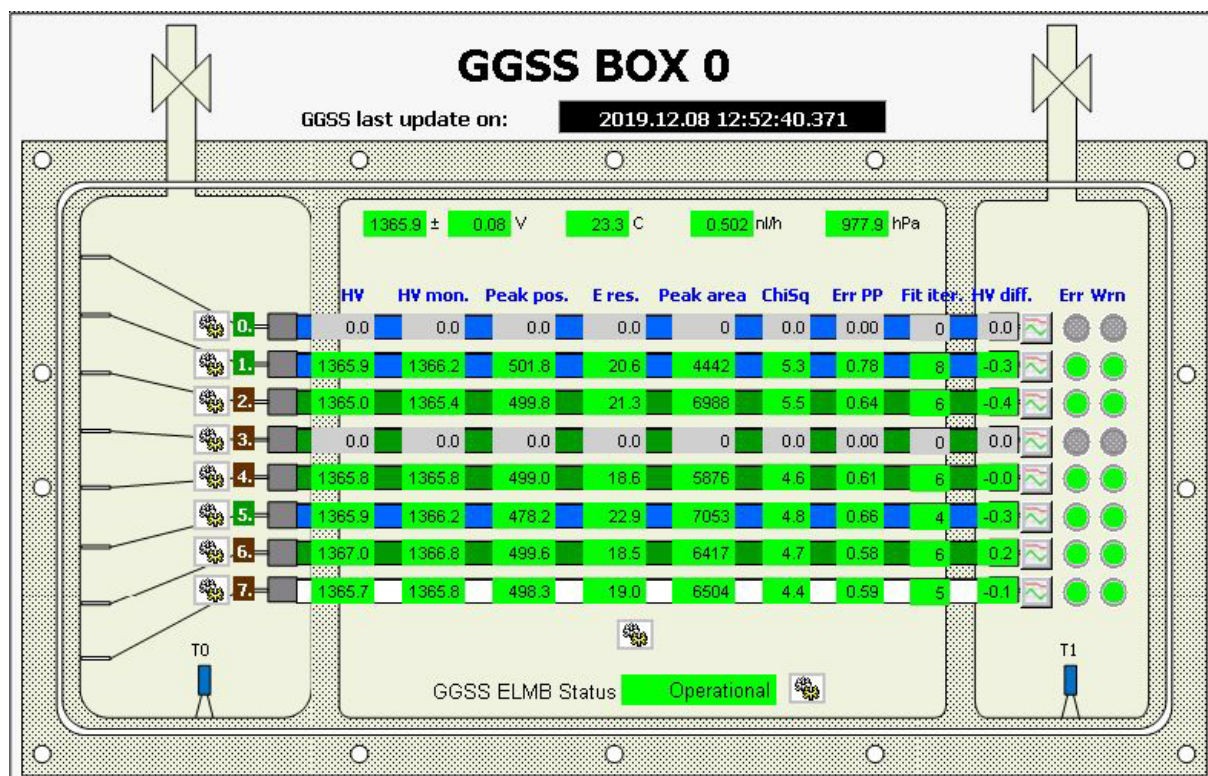
- *ggss-spectator* - aplikacja okienkowa służąca do wizualizacji zebranych przez system danych (zapisanych w plikach wynikowych)
- *ggss-reader* - niezależna aplikacja [45] przeznaczona do wykorzystywania na maszynach deweloperskich, pozwalająca na odtwarzanie działania oprogramowania sterującego GGSS, tzn. wysyłająca do systemu kontroli detektora archiwalne dane z pominięciem warstwy sprzętowej
- *ggss-dim-cs* - aplikacja pozwalająca na prowadzenie interakcji z systemem poprzez udostępnienie możliwości wysyłania do niego komend za pomocą protokołu DIM
- zestaw aplikacji *ggss-hardware-service-apps* - proste narzędzia pozwalające na wykonywanie operacji na wchodzących w skład systemu urządzeniach, w tym na wykonywanie testów ich działania.

Projekt GGSS charakteryzuje się ponadto rozbudowaną infrastrukturą, w której skład wchodzi systemy odpowiedzialne za budowanie projektu, zarządzanie zależnościami zewnętrznymi oraz pomiędzy jego komponentami, automatyzację procesu testowania poszczególnych komponentów oraz automatyzację tworzenia i wersjonowania wydań. Projekt zawiera ponadto skrypty pomocnicze (napisane przy użyciu popularnych języków skryptowych), pozwalające na zarządzanie systemem w jego środowisku docelowym. Gruntowna przebudowa infrastruktury systemu

GGSS stanowiła temat pracy inżynierskiej autorów. W dalszej części niniejszego manuskryptu omówione zostaną wprowadzone w ramach pracy magisterskiej rozszerzenia.

3.4. Oprogramowanie WinCC OA

SIMATIC WinCC Open Architecture jest oprogramowaniem typu SCADA firmy SIEMENS służącym do wizualizacji i sterowania procesami produkcyjnymi. Stanowi ono trzon systemu kontroli detektora ATLAS i pozwala na monitorowanie i sterowanie pracą wchodzących w jego skład podsystemów. WinCC OA pozwala m.in. na tworzenie specjalnych paneli, przedstawiających w przyjaznej dla użytkownika formie graficznej zebrane dane oraz procesy zachodzące w monitorowanym systemie - przykład tego typu panelu, obrazujący pracę słomkowych liczników proporcjonalnych wchodzących w skład warstwy sprzętowej systemu GGSS, przedstawiony został na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Fragment przykładowego panelu informacyjno-administracyjnego stworzonego z wykorzystaniem technologii WinCC OA. Widoczne są m.in.: parametry związane z pomiarami wykonywanymi za pomocą słomkowych liczników proporcjonalnych (np. *Peak pos.* i *Peak area*), data ostatniej aktualizacji oraz wskaźniki informujące o ostrzeżeniach i błędach.

Autorzy niniejszego dokumentu nie byli odpowiedzialni za przeprowadzanie prac związanych z rozwojem oraz utrzymaniem systemu WinCC OA funkcjonującego w ramach infrastruktury CERN. Z tego też powodu szczegóły jego działania nie zostaną omówione. Istotna, z punktu wi-

dzenia niniejszej pracy, jest natomiast możliwość zastosowania go jako narzędzia ułatwiającego przeprowadzanie okresowych testów systemu GGSS. Wynika to przede wszystkim z wygodnej w użytkowaniu funkcjonalności paneli, pozwalających na monitorowanie działania projektu w czasie rzeczywistym oraz natychmiastowe wykrywanie wszelkich nieprawidłowości.

3.5. Środowisko docelowe i ograniczenia

Charakterystyka środowiska docelowego, w jakim działa system GGSS, jest z punktu widzenia niniejszej pracy bardzo istotna, przede wszystkim ze względu na bardzo znaczący związek projektu z infrastrukturą dostarczaną przez CERN. Stawia to przed autorami szereg ograniczeń dotyczących wersji wykorzystywanych narzędzi, jak również wymusza dodatkowe działania w przypadku wykonywania pewnych operacji. Do najważniejszych ograniczeń narzucanych przez środowisko docelowe i specyfikę projektu należą:

- dostępna wersja kompilatora języka C++ - w ramach infrastruktury CERN dostępny jest kompilator *g++ (GCC) 4.8.5*. Wersja ta wspiera w większości standard C++11, a zatem funkcjonalności takie jak wyrażenia lambda czy semantyka przenoszenia. Niestety oferowane przez nią wsparcie nie jest pełne - brakuje m.in. poprawnej implementacji biblioteki odpowiedzialnej za przetwarzanie wyrażeń regularnych. Ze względu na wymóg zapewnienia możliwości budowania projektu na maszynie docelowej, ograniczenie to stanowiło znaczące utrudnienie podczas prac nad kodem źródłowym aplikacji wchodzących w skład systemu.
- dostępna wersja narzędzia CMake - na maszynach docelowych dostępna jest wersja *2.8.12.2*, stanowiąca bardzo stare wydanie narzędzia. Oprogramowanie w znacząco nowszej wersji (tzn. o numerze wyższym od *3.0*) dostępne jest jedynie na wybranych komputerach wchodzących w skład infrastruktury CERN, przez co zdecydowano o pozostaniu przy starym jego wydaniu. Stosowana wersja nie zawiera wielu powszechnie stosowanych współcześnie funkcjonalności oraz charakteryzuje się innym podejściem do zarządzania zależnościami (operacje na poziomie katalogów, uznawane za tzw. *złą praktykę*).
- związek projektu z wersją jądra systemu - jednym z modułów wchodzących w skład systemu GGSS jest *ggss-driver*, zawierający sterownik dla wielokanałowego analizatora amplitudy CAEN N957. Istnienie tego modułu wymusza zgodność wersji jądra systemu operacyjnego pomiędzy środowiskiem deweloperskim i produkcyjnym, co w konsekwencji prowadzi do komplikacji infrastruktury budowania projektu - konieczne jest stosowanie maszyn wirtualnych oraz narzędzia konteneryzacyjnego Docker podczas procesu budowania komponentu *ggss-driver* (stosowane rozwiązanie opisane zostało przez autorów szczegółowo w ich pracy inżynierskiej).
- ograniczone uprawnienia w środowisku docelowym - infrastruktura na której uruchamiany jest projekt GGSS jest środowiskiem CERN o zaostrzonym rygorze. Wszelkie instalowane aplikacje, zmiany w systemie, bibliotekach, czy też prostych ustawieniach użytkownika

muszą być konsultowane z administratorami systemowymi. Autorzy nie mają możliwości wprowadzania na własną rękę praktycznie żadnych zmian.

- możliwość przeprowadzania testów tylko w określonych momentach prac nad projektem - nad systemami GGSS oraz DCS pracuje wielu ekspertów, testowanie projektu możliwe jest zatem tylko wtedy, gdy nie zakłóca to prac innych osób i jest fizycznie możliwe (np. gdy nie są wykonywane prace nad warstwą sprzętową systemu). Wymusza to dostosowanie tempa prac w taki sposób, by jednocześnie testowany był ograniczony, ale znaczący zakres zmian (m.in. by możliwe było szybkie wprowadzenie poprawek w przypadku wykrycia błędu).
- konieczność zachowania kompatybilności wstecznej - zmiany wprowadzane w systemie nie mogą powodować, że starsze wersje komponentów, z jakich składa się system GGSS (rys. 3.1) staną się niezdadne do użycia, np.: dodanie nowego parametru do pliku konfiguracyjnego nie powinno wykluczać możliwości użycia starszej wersji tegoż pliku oraz starszej wersji oprogramowania. Tego typu ograniczenia obowiązują również w kontekście danych wymienianych pomiędzy aplikacją GGSS a systemem kontroli detektora za pomocą protokołu DIM - dane mają odgórnie ustalony, niemożliwy do zmiany format.

4. Prace nad architekturą i infrastrukturą projektu (AK i JC)

Niniejszy rozdział zawiera opis prac wykonanych przez autorów w ramach rozwoju architektury i infrastruktury systemu GGSS. Rozdział ten stanowi bezpośrednią kontynuację pracy inżynierskiej autorów [7], gdzie przygotowane zostały pierwsze wersje rozwijanych w ramach pracy magisterskiej rozwiązań. Przedstawione tu informacje dotyczą szerokiego zakresu zagadnień związanych z inżynierią oprogramowania, takich jak: zarządzanie strukturą projektu oraz jego zależnościami, automatyzacja procesów towarzyszących wytwarzaniu oprogramowania czy przygotowanie infrastruktury ułatwiającej testy warstwy sprzętowej systemu.

4.1. Zmiany w architekturze projektu (AK)

Przez zmiany w architekturze projektu autorzy rozumieją stopniowy rozwój zaimplementowanego przez nich w ramach pracy inżynierskiej rozwiązania. Rozwój ten obejmuje przede wszystkim uproszczenie powstałej hierarchii zależności między poszczególnymi elementami warstwy oprogramowania (rozumianymi zarówno jako repozytoria, jak i biblioteki), uczynienie systemu bardziej przystępnym dla użytkownika (np. poprzez nadanie komponentom nazw dobrze oddających ich przeznaczenie) oraz przygotowanie systemu pozwalającego w prosty sposób odtworzyć kod źródłowy w wersji bez wprowadzonych w ramach pracy magisterskiej modyfikacji (jako rodzaj zabezpieczenia przed skutkami potencjalnych błędów, które mogły zostać wprowadzone do oprogramowania podczas prac nad nim). Znaczna część zmian opisanych w niniejszej części pracy była możliwa do wprowadzenia z uwagi na trwające jednocześnie prace nad kodem źródłowym systemu GGSS i zmiany zachodzące w ich czasie.

4.1.1. Wprowadzenie do problematyki

Przeprowadzone przez autorów w ramach pracy inżynierskiej modyfikacje architektury systemu GGSS obejmowały przede wszystkim migrację projektu do systemu kontroli wersji Git, wprowadzenie spójnego nazewnictwa poszczególnych komponentów oraz zastosowanie funkcjonalności submodułów będącej częścią technologii Git do stworzenia hierarchicznej struktury repozytoriów (w odróżnieniu od pierwotnej, płaskiej architektury opartej o katalogi). Celem tych

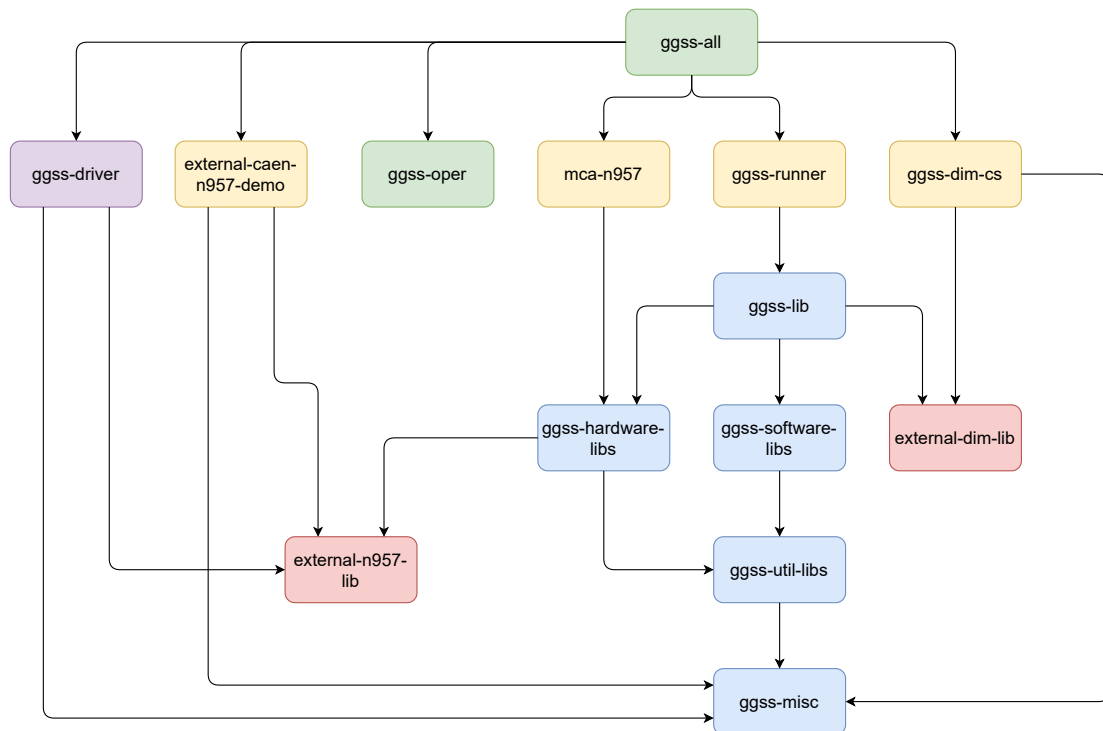
zmian było ułatwienie pracy nad pojedynczymi komponentami projektu oraz uczynienie jego struktury przyjazną dla użytkownika, co zostało zdaniem autorów osiągnięte.

Architektura stanowiąca punkt wyjściowy zmian wykonanych w ramach niniejszej pracy przedstawiona została na rysunku 4.1 (z pominięciem mało istotnych repozytoriów, zawierających np. dokumentację). Zawarte na schemacie kolory obrazują rolę każdego modułu (zielony - repozytorium pomocnicze, czerwony - zależność zewnętrzna, żółty - aplikacja, fioletowy - sterownik urządzenia oraz niebieski - kod źródłowy oraz pliki nagłówkowe bibliotek). Projekt składał się zatem z 14 tworzących strukturę hierarchiczną repozytoriów, zawierających elementy takie jak: aplikacje, pomocnicze skrypty, infrastruktura budowania oraz kod źródłowy bibliotek implementujących poszczególne funkcjonalności systemu. W kontekście tej części pracy szczególnie istotne są repozytoria zawierające kod źródłowy bibliotek statycznych oraz pliki nagłówkowe, stanowiące trzon projektu (tzn. wykorzystywane przez aplikację *ggss-runner*): *ggss-lib*, *ggss-software-libs*, *ggss-hardware-libs*, *ggss-util-libs* oraz *ggss-misc* (repozytoria te oznaczone zostały na rys. 4.1 kolorem niebieskim). Ich rola w pierwotnej wersji projektu prezentowała się następująco:

- ***ggss-hardware-libs*** - przechowywanie bibliotek odpowiedzialnych za obsługę urządzeń wchodzących w skład warstwy sprzętowej systemu GGSS. W pierwotnej wersji projektu były to następujące biblioteki statyczne:
 - *caenhv-lib* oraz *caenn1470-lib* - odpowiedzialne za komunikację z zasilaczami wysokiego napięcia CAEN N1470
 - *mca-lib* oraz *ortecmcb-lib* - odpowiedzialne za obsługę wielokanałowego analizatora amplitudy CAEN N957
 - *usbrm-lib* - odpowiedzialna za obsługę multipleksa sygnałów analogowych
- ***ggss-software-libs*** - przechowywanie bibliotek odpowiedzialnych za implementację wykorzystywanych przez system algorytmów i struktur danych związanych ściśle z warstwą oprogramowania (tzn. nie mających związku z warstwą sprzętową). W pierwotnej wersji projektu były to następujące biblioteki statyczne:
 - *xml-lib* - odpowiedzialna za implementację operacji odczytu oraz zapisu plików w formacie XML oraz operacji na strukturze drzewiastej powstałej w wyniku sparsowania zapisanych w tym formacie danych.
 - *fifo-lib* - odpowiedzialna za implementację prostej struktury danych, stanowiącej kolejkę typu FIFO (*First In, First Out*) o ograniczonym rozmiarze.
 - *fit-lib* - odpowiedzialna za implementację operacji wykonywanych na zebranych przez system danych, w tym przede wszystkim za mechanizm dopasowania do nich krzywej.
 - *daemon-lib* - odpowiedzialna za implementację mechanizmu pozwalającego uruchomić aplikację *ggss-runner* jako tzw. demon (ang. *daemon*) - usługę działającą „w tle”
- ***ggss-util-libs*** - przechowywanie bibliotek, od których zależne są zarówno komponenty odpowiedzialne za obsługę warstwy sprzętowej projektu, jak i związane z warstwą opro-

gramowania. Innymi słowy, były to biblioteki wykorzystywane przez zawartość obu wyżej wymienionych repozytoriów, a zatem nie mogące znaleźć się w żadnym z nich. W pierwotnej wersji projektu były to następujące biblioteki statyczne:

- *log-lib* - odpowiedzialna za implementację mechanizmu dziennika zdarzeń, zapisującego w plikach `.log` informacje o zdarzeniach mających miejsce w systemie
- *utils-lib* - odpowiedzialna za implementację pomniejszych funkcjonalności, takich jak konwersja między łańcem znakowym a liczbą (przed pojawieniem się standardu C++11 tego typu funkcjonalności nie były częścią biblioteki standardowej)
- *handle-lib* - odpowiedzialna za implementację wykorzystywanego w projekcie mechanizmu slotów i sygnałów
- *thread-lib* - odpowiedzialna za implementację wykorzystywanego w projekcie mechanizmu wielowątkowości
- *ggss-misc* - przechowywanie plików nagłówkowych (niebędących częścią żadnej z bibliotek statycznych) oraz plików `.cmake` tworzących infrastrukturę budowania projektu
- *ggss-lib* - przechowywanie kodu źródłowego zawierającego główną logikę systemu GGSS oraz przesyłane za pomocą protokołu DIM struktury danych



Rys. 4.1. Architektura projektu przed wprowadzeniem modyfikacji (sytuacja wyjściowa). Groty strzałek wskazują repozytoria bazowe, kolory natomiast opisują rolę poszczególnych modułów: zielony oznacza repozytoria pomocnicze, żółty - aplikacje, czerwony - biblioteki zewnętrzne, fioletowy - sterownik a niebieski - biblioteki i pliki nagłówkowe projektu GGSS.

4.1.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

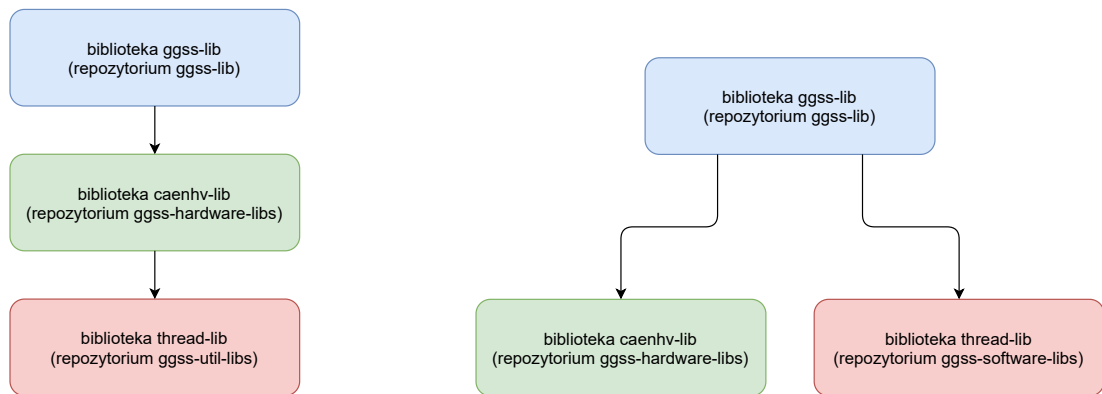
Przygotowane przez autorów w ramach pracy inżynierskiej rozwiązanie było w pełni funkcjonalne, charakteryzowało się jednak pewnymi wadami i ograniczeniami, wynikającymi przede wszystkim z ograniczeń czasowych, niewielkiego doświadczenia autorów w pracy z projektem oraz istniejącego wtedy założenia o niemodyfikowaniu kodu źródłowego aplikacji i bibliotek wchodzących w skład projektu. Najważniejsze z występujących w tym rozwiązaniu problemów to:

- głęboka hierarchia zależności, mająca negatywny wpływ na wydajność działania mechanizmu submodułów
- istnienie repozytorium *ggss-misc*, zawierającego (poza szablonami CMake) elementy kodu źródłowego niepasujące do pozostałych bibliotek wchodzących w skład systemu: bazowe klasy wyjątków stosowanych w całym projekcie oraz flagi konfigurujące projekt w zależności od systemu operacyjnego (konieczność zastosowania tego typu zabiegu wynikała wprost z założenia o niemodyfikowaniu kodu źródłowego w czasie tworzenia pracy inżynierskiej)
- zachowanie oryginalnych nazw bibliotek i aplikacji, dostosowując je jedynie do przyjętej konwencji. Jedną z bibliotek wchodzących w skład projektu była biblioteka statyczna *handle-lib*, odpowiedzialna za implementację mechanizmu slotów i sygnałów, na co, zdaniem autorów, jej nazwa nie wskazuje.
- wnioskowanie o zależnościach pomiędzy bibliotekami na podstawie dyrektyw preprocesora `#include` zawartych w kodzie źródłowym, a nie wykorzystywanych funkcjonalności, co wynikało z niewielkiego doświadczenia i wiedzy autorów na temat systemu podczas tworzenia pracy inżynierskiej oraz wspomnianego już założenia o niemodyfikowaniu kodu źródłowego.
- założenie o tworzeniu oddzielnego repozytorium dla każdej z występujących w projekcie aplikacji, niezależnie od jej rozmiarów, co ostatecznie znacznie skomplikowało powiązania pomiędzy repozytoriami (np. repozytoria *external-caen-n957-demo* oraz *mca-n957* charakteryzują się podobnymi zależnościami i oba zawierają niewielkie aplikacje, których zadaniem jest współpraca z wielokanałowym analizatorem amplitudy CAEN N957 - mogłyby być więc połączone w jedno repozytorium).
- brak łatwego sposobu na odtworzenie pierwotnej postaci kodu źródłowego - mechanizm ten nie był potrzebny na etapie pracy inżynierskiej, ponieważ nie dokonywano wtedy modyfikacji we wspomnianym kodzie.

4.1.3. Uproszczenie architektury projektu

Pierwszym podjętym przez autorów działaniem mającym na celu modyfikację struktury projektu była próba jej uproszczenia poprzez analizę zależności wewnętrznych systemu (tzn. zależności pomiędzy poszczególnymi bibliotekami). Prowadzone równolegle prace nad kodem źródło-

wym projektu pozwoliły autorom zaobserwować, iż pewna część występujących w nim dyrektyw preprocesora `#include` nie oddaje w poprawny sposób faktycznej struktury zależności między bibliotekami. Najważniejszy przykład stanowi łańcuch zależności występujących pomiędzy biblioteką *ggss-lib*, a bibliotekami *caenhv-lib* oraz *thread-lib*. W oryginalnej wersji projektu zależności między wymienionymi komponentami prezentowały się tak, jak na rysunku 4.2a, tzn. biblioteka *ggss-lib* zależna była od biblioteki *caenhv-lib*, która natomiast zawierała dyrektywę `#include` dołączającą plik nagłówkowy z biblioteki *thread-lib*.



(a) Oryginalna struktura.

(b) Struktura po wprowadzeniu zmian.

Rys. 4.2. Zestawienie oryginalnej oraz nowej struktury zależności pomiędzy bibliotekami *ggss-lib*, *caenhv-lib* oraz *thread-lib*. Groty strzałek wskazują w stronę modułów bazowych.

W rzeczywistości biblioteka *caenhv-lib* nie wykorzystywała zawartości wspomnianego pliku nagłówkowego - pełniła jedynie formę swego rodzaju pośrednika, udostępniając znajdujące się tam klasy bibliotece *ggss-lib*. Przeniesienie dyrektywy `#include` do biblioteki *ggss-lib* spowodowało, iż żadna z bibliotek wchodzących w skład repozytorium *ggss-hardware-libs* nie zawierała zależności do biblioteki *thread-lib*. Rozwiązanie to pozwoliło dokonać migracji tejsze biblioteki, wraz z wykorzystywaną przez nią biblioteką *handle-lib*, do repozytorium *ggss-software-libs*, redukując tym samym liczbę bibliotek znajdujących się w repozytorium *ggss-util-libs*. Rysunek 4.2b przedstawia w sposób schematyczny strukturę otrzymanego rozwiązania.

W związku z opisanymi powyżej zmianami ilość kodu źródłowego znajdującego się w repozytorium *ggss-util-libs* znacznie spadła - pozostałe tam biblioteki *log-lib* oraz *utils-lib* charakteryzowały się niewielkim rozmiarem. Spowodowało to, iż jednoczesne istnienie modułów *ggss-misc* oraz *ggss-util-libs* (po wprowadzonych zmianach spełniających tą samą rolę przechowywania niewielkiej liczby komponentów wykorzystywanych przez wiele modułów projektu GGSS) przestało być uzasadnione. Kolejny etap wykonanych prac stanowiło więc przeprowadzenie integracji tychże repozytoriów - w tym celu zdecydowano się na likwidację modułu *ggss-misc* po wcześniejszym przeniesieniu jego zawartości do *ggss-util-libs*.

Migracja znajdujących się w repozytorium *ggss-misc* plików `.cmake` (modułów wykorzystywanych przez infrastrukturę budowania projektu) wymagała, poza wykonaniem trywialnej czynności przeniesienia katalogu, aktualizacji (na poziomie całego projektu) ścieżek wskazujących lokalizację tychże plików. Działanie to było konieczne, ponieważ narzędzie CMake wymaga od programisty, by wyspecyfikował on lokalizację modułów `.cmake` dołączanych do projektu (np. za pomocą komendy `include()`) poprzez dodanie ścieżki z ich lokalizacją do listy `CMAKE_MODULE_PATH` (przykład wykorzystania tejże listy przedstawiony został na listingu 4.1). Oznaczało to więc konieczność wykonania, w każdym module wykorzystującym pliki `.cmake`, zmiany wspomnianej ścieżki tak, by wskazywała na katalog *cmake-templates* w repozytorium *ggss-util-libs*.

Listing 4.1. Przykładowy fragment pliku `CMakeLists.txt`, obrazujący sposób użycia listy `CMAKE_MODULE_PATH` w celu wskazania lokalizacji plików zawierających często wykorzystywane w projekcie, pomocnicze funkcje.

```
# Przypisanie pojedynczej wartości (zawierającej ścieżkę do katalogu
# cmake-templates, w którym znajdują się wykorzystywane w projekcie
# pliki .cmake) do listy CMAKE_MODULE_PATH
set(CMAKE_MODULE_PATH "${CMAKE_CURRENT_LIST_DIR}/../ggss-util-libs/cmake-templates")

# Dołączenie znajdujących się w katalogu cmake-templates plików .cmake
include(BuildStaticLibrary)      # ggss_build_static_library
include(SetupTests)              # ggss_setup_tests

# Wykorzystanie znajdującej się w pliku .cmake funkcji
ggss_build_static_library(
    TARGET_NAME "fifo"
)
```

Poza wspomnianymi plikami `.cmake` w repozytorium *ggss-misc* znajdował się katalog `include`, zawierający trzy pliki nagłówkowe z kodem napisanym w języku C++:

- pliki `ggssExceptions.h` oraz `HardwareException.h` zawierające klasy bazowe wyjątków wykorzystywanych w całym projekcie GGSS
- plik `CompatibilityFlags.h`, zawierający flagi konfiguruje projekt w zależności od platformy docelowej (Windows lub Linux)

Pliki te nie wchodziły oryginalnie w skład żadnej z bibliotek projektu GGSS, nie mogły zostać do nich również dodane przez autorów podczas przygotowywania pracy inżynierskiej, ponieważ wymagałoby to modyfikacji kodu źródłowego systemu. Podczas przeprowadzanej w ramach niniejszej pracy migracji tych plików do repozytorium *ggss-util-libs* zdecydowano się na likwidację katalogu `include` i rozdysponowanie jego zawartości do istniejących lub nowych bibliotek. Plik `CompatibilityFlags.h` przeniesiony został więc do biblioteki *utils-lib*, natomiast na potrzeby dwóch pozostałych nagłówków przygotowana została nowa biblioteka *exceptions-lib*.

Finalna struktura repozytorium *ggss-util-lib*s przedstawiona została na listingu 4.2. Poza wspomnianymi do tej pory zmianami nowością stanowi katalog `doxygen-config`, zawierający prosty plik konfiguracyjny działanie narzędzia Doxygen [46] służącego do generowania dokumentacji programów napisanych w języku C++. Rozszerzenie projektu o możliwość generowania dokumentacji zostanie jednak opisane szczegółowo w dalszej części pracy.

Listing 4.2. Zawartość repozytorium *ggss-util-lib*s po wprowadzeniu opisanych zmian. Widoczne są biblioteki wchodzące w skład repozytorium: *exceptions-lib*, *log-lib* oraz *utils-lib*, katalog *cmake-templates* zawierający szablony wykorzystywane przez system budowania, katalog *doxygen-config* zawierający konfigurację narzędzia Doxygen, nadrzędny plik *CMakeLists.txt* służący do budowania wszystkich bibliotek w repozytorium oraz plik *README.md* zawierający opis repozytorium.

```
.
|-- CMakeLists.txt
|-- README.md
|-- cmake-templates
|-- doxygen-config
|-- exceptions-lib
|-- log-lib
'-- utils-lib
```

Aby zachować możliwość wglądu w historię zmian przeprowadzanych w repozytorium *ggss-misc* zdecydowano, że jego likwidacja polegać będzie na przeprowadzeniu archiwizacji oraz usunięciu z pozostałych modułów odniesień do niego. Udostępniany przez portal GitLab mechanizm archiwizacji polega na oznaczeniu repozytorium jako niemodyfikowalne i przeniesieniu go do osobnej zakładki w widoku organizacji. Dzięki takiemu rozwiązaniu repozytorium wciąż dostępne jest do wglądu (a zatem istnieje możliwość zbudowania tych wersji systemu GGSS, które korzystały z niego jako z submodułu), niemożliwy jest natomiast jego dalszy rozwój.

Poza wspomnianymi do tej pory repozytoriami zmianami objęte zostały ponadto moduły przechowujące aplikacje służące do testowania i obsługi urządzeń elektronicznych wchodzących w skład warstwy sprzętowej systemu GGSS. Motywacją do wprowadzenia modyfikacji była konieczność rozbudowy projektu o kolejne tego typu aplikacje - tworzenie dla każdej z nich osobnego repozytorium znacząco komplikowałoby strukturę projektu. Zdecydowano zatem, iż repozytorium *mca-n957* zostanie dołączone do nowo powstałego modułu *ggss-hardware-service-apps*, grupującego niewielkie programy służące do operowania na urządzeniach. Repozytorium *external-caen-n957-demo* zostało natomiast poddane archiwizacji.

Poza zmniejszeniem progu wejścia do projektu poprzez uczynienie jego struktury prostszą, opisane do tej pory zmiany korzystnie wpłynęły na działanie mechanizmu submodułów systemu Git, na którym oparty został proces zarządzania zależnościami między repozytoriami w projekcie. Redukcja liczby repozytoriów i powiązań między nimi oraz zmniejszenie głębokości drzewa zależności (poprzez likwidację repozytorium *ggss-misc*) miało pozytywny wpływ na wydajność systemu zarządzającego architekturą projektu.

4.1.4. Dodanie możliwości odtworzenia pierwotnej wersji kodu źródłowego

Wprowadzanie zmian w kodzie źródłowym aplikacji, której jedną z najważniejszych cech jest jej niezawodność, stanowi znaczące ryzyko. Tego typu aplikacją jest program *ggss-runner*, stanowiący trzon projektu GGSS, a którego źródła podlegały modyfikacjom w ramach opisanych w niniejszym manuskrypcie prac. Naturalnym było więc stworzenie mechanizmu pozwalającego na stosunkowo łatwy powrót do oryginalnej wersji aplikacji, tzn. takiej niezawierającej opisanych w niniejszej pracy zmian w kodzie źródłowym.

Możliwość odtworzenia pierwotnej wersji kodu źródłowego osiągnięta została poprzez utworzenie, dla każdego repozytorium biorącego udział w procesie budowania aplikacji *ggss-runner*, specjalnej gałęzi nazwanej *legacy*. Gałęzie te zawierają oryginalną wersję kodu źródłowego napisanego w języku C++, natomiast pozostałe elementy (infrastruktura budowania oraz ciągłej integracji i dostarczania) znalazły się tam w swoich najnowszych wersjach, co gwarantuje ich spójność w całym projekcie (a co za tym idzie, mogą być używane w taki sam sposób, jak na gałęzi głównej).

Opisanymi zmianami objęte zostały następujące repozytoria: *ggss-all*, *ggss-runner*, *ggss-lib*, *ggss-software-libs*, *ggss-hardware-libs*, *external-dim-lib*, *external-n957-lib* oraz *ggss-util-libs*. W przypadku repozytoriów o nazwach zawierających przedrostek *external-* zmiany te polegały jedynie na utworzeniu nowej gałęzi - zawartość bibliotek zewnętrznych nie była przez autorów pracy modyfikowana.

Ostatecznie więc zbudowanie aplikacji *ggss-runner* w jej pierwotnej wersji jest bardzo proste, z poziomu repozytorium *ggss-all* sprowadza się do wykonania komend zamieszczonych na listingu 4.3. Dodatkowo, pliki README.md stanowiące dokumentację poszczególnych repozytoriów zostały na gałęziach *legacy* odpowiednio zmodyfikowane, by opisywać obowiązującą tam procedurę budowania projektu oraz zawartość poszczególnych modułów.

Listing 4.3. Komendy pozwalające na pobranie kodu źródłowego oraz zbudowanie aplikacji *ggss-runner* w jej oryginalnej wersji.

```
git clone ssh://git@gitlab.cern.ch:7999/atlas-trt-dcs-ggss/ggss-all.git &&
mkdir ggss-all-build &&
cd ggss-all &&
git checkout legacy &&
git submodule update --init --recursive &&
git submodule foreach --recursive git checkout legacy &&
cd ../ggss-all-build &&
python ../ggss-all/build.py --staticboost --buildtype release
```

4.1.5. Pomniejsze zmiany

Poza do tej pory opisanymi, wykonanych zostało kilka pomniejszych modyfikacji mających na celu szeroko pojętą poprawę jakości struktury projektu. Poniżej krótko opisane zostały trzy

wybrane przez autorów modyfikacje, charakteryzujące się różnym poziomem skomplikowania, ale operujące na poziomie pojedynczych repozytoriów.

4.1.5.1. Archiwizacja repozytorium *ggss-oper*

Jednym z repozytoriów wprowadzonych przez autorów w ramach wykonywania pracy inżynierskiej był moduł *ggss-oper*, zawierający skrypty oraz pliki konfiguracyjne stanowiące znaczną część infrastruktury przeznaczonej do użytkowania wraz z oprogramowaniem GGSS na maszynie docelowej. Zawartość tego repozytorium, nie stanowiąca wkładu wniesionego przez autorów niniejszej pracy w system, obejmowała m.in.:

- pierwsze wersje skryptów służących do przeprowadzania testów urządzeń wchodzących w skład warstwy sprzętowej projektu (napisane z wykorzystaniem języka Python)
- skrypty zarządzające stanem środowiska docelowego (np. ustawiające wymagane zmienne środowiskowe)
- skrypty zarządzające oprogramowaniem systemu GGSS, np. `ggss_monitor.sh` pozwalający na uruchamianie, zatrzymywanie oraz sprawdzanie stanu aplikacji *ggss-runner*

Wraz z postępami prac nad projektem, część z wymienionej powyżej zawartości zastąpiona została przez autorów pracy rozwiązaniami alternatywnymi (np. skrypty służące do przeprowadzania operacji na urządzeniach zastąpione zostały aplikacjami napisanymi w języku C++), pozostałe przeniesione zostały natomiast do repozytorium *ggss-all*. Ostatecznie moduł został więc zarchiwizowany.

4.1.5.2. Utworzenie biblioteki *asyncserial-lib*

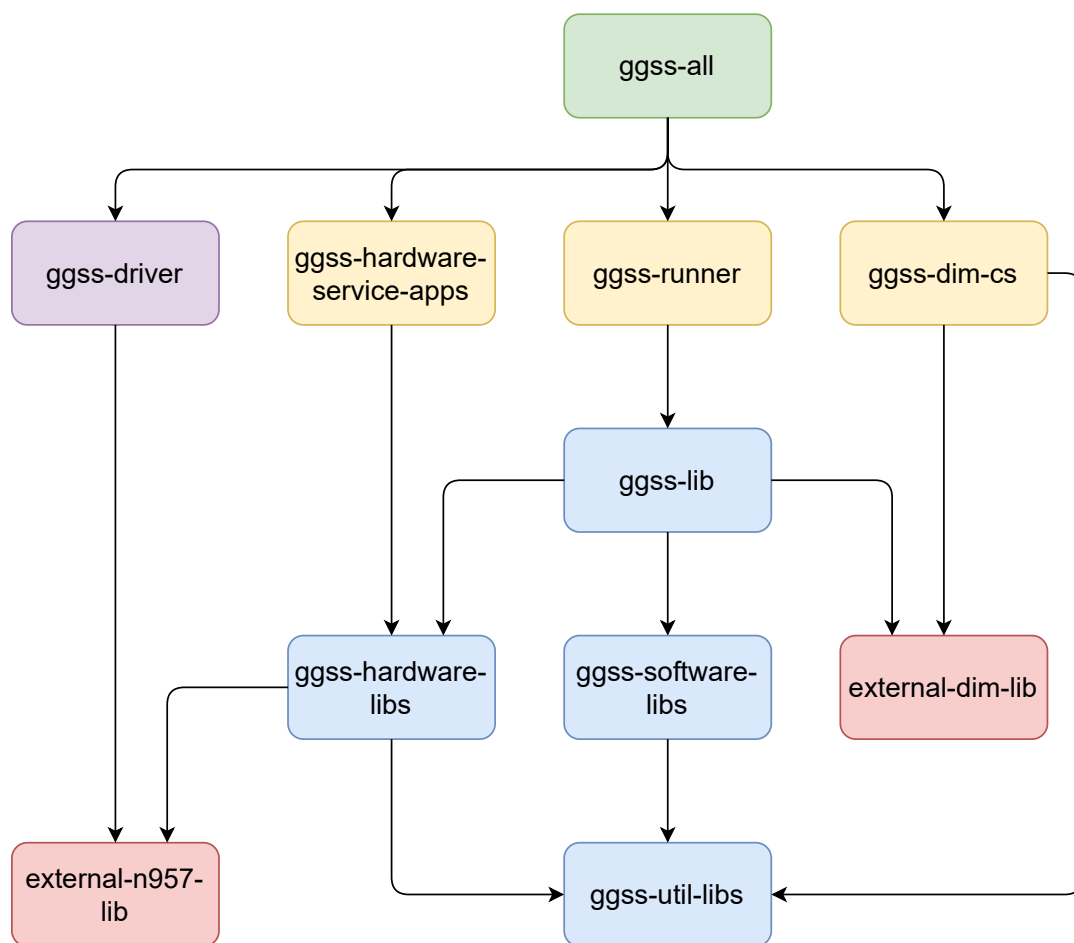
Podczas prac nad kodem źródłowym bibliotek statycznych wchodzących w skład repozytorium *ggss-hardware-libs* zaobserwowano, że w katalogach bibliotek *usbrm-lib* oraz *caenn1470-lib* zamieszczony został, poza właściwym dla nich kodem źródłowym, zestaw plików zawierających implementację asynchronicznej komunikacji z urządzeniami za pomocą interfejsu szeregowego. Ponieważ znalezione w obu przypadkach pliki nie różniły się od siebie, i jednocześnie stanowiły niezbędny element wspomnianych komponentów systemu (zawierały kluczową dla działania projektu funkcjonalność), zdecydowano o utworzeniu nowej biblioteki zawierającej omawiane pliki. Biblioteka nazwana została, zgodnie ze swoim przeznaczeniem, *asyncserial-lib* i weszła w skład repozytorium *ggss-hardware-libs*.

4.1.5.3. Zmiana nazwy biblioteki *handle-lib*

Jedną z bibliotek będących częścią systemu GGSS była biblioteka *handle-lib*, odpowiedzialna za implementację mechanizmu slotów i sygnałów. Oryginalnie biblioteka ta znajdowała się w repozytorium *ggss-util-libs*, jednak wraz z postępem prac została przeniesiona, wraz z biblioteką *thread-lib*, do repozytorium *ggss-software-libs*. Nazwa biblioteki nie pozwalała użytkownikowi domyślić się, jakie jest jej zastosowanie - z tego powodu zdecydowano się wprowadzić nową nazwę: *sigslot-lib* (od angielskiego *signals and slots*).

4.1.6. Podsumowanie

W ramach przeprowadzonych prac wykonane zostały zmiany pozwalające na uproszczenie architektury projektu, czyniąc ją przyjaźniejszą dla użytkownika. Finalna struktura przedstawiona została na rysunku 4.3 (podobnie jak w przypadku hierarchii wyjściowej - z pominięciem repozytoriów pomocniczych, nie wchodzących bezpośrednio w jej skład) - aktualnie składa się ona z 11 repozytoriów.



Rys. 4.3. Finalna struktura projektu, po wprowadzeniu wszystkich zmian opisanych w niniejszej pracy. Strzałki wskazują w stronę modułów bazowych. Widoczne jest znaczące uproszczenie struktury projektu względem wersji oryginalnej (rys. 4.1).

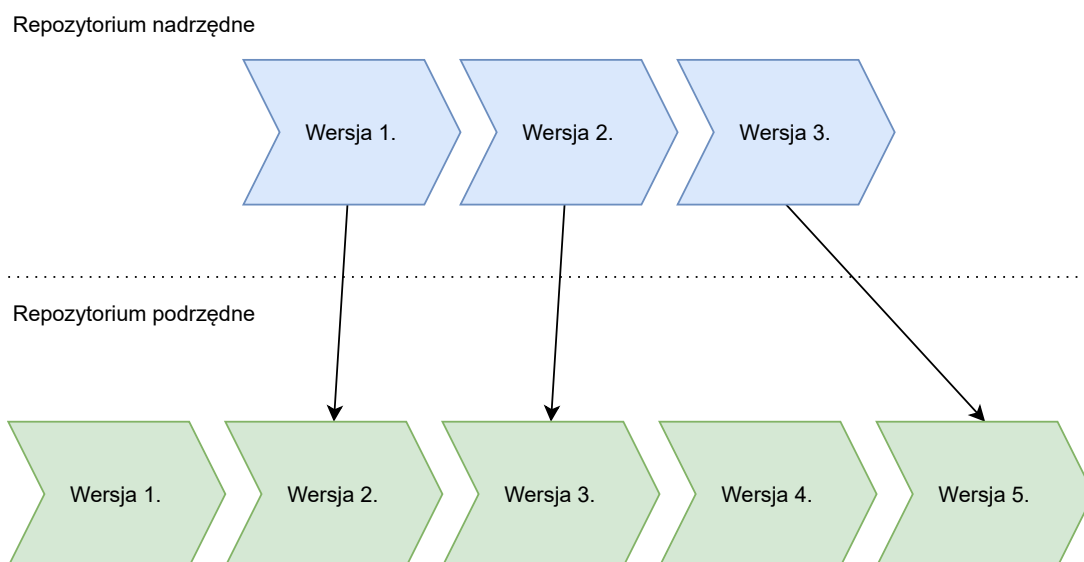
Dla repozytoriów biorących udział w procesie budowania aplikacji *ggss-runner* utworzone zostały ponadto gałęzie *legacy*, zawierające kod źródłowy projektu bez wprowadzonych w ramach niniejszej pracy zmian - dzięki temu możliwy jest stosunkowo łatwy powrót do oryginalnej wersji aplikacji, co stanowi zabezpieczenie na wypadek wprowadzenia do jej źródeł błędów.

4.2. Automatyzacja pracy z submodułami (JC)

Niniejsza część manuskryptu została poświęcona obsłudze, obecnej w projekcie GGSS, wielopoziomowej struktury opartej o mechanizm *git submodules*. Przedstawione zostały zalety i wady zastosowanego w trakcie pracy inżynierskiej rozwiązania. Omówione zostały zmiany, wprowadzone przez autorów w ramach niniejszej pracy magisterskiej, mające na celu ułatwienie pracy z submodułami. Dodatkowo krótko opisane zostały przygotowane *how-to* oraz praktyki które powinno się stosować pracując z taką architekturą.

4.2.1. Wprowadzenie do problematyki

W trakcie przygotowywania pracy inżynierskiej, a konkretnie wykonywania migracji całego projektu GGSS do systemu kontroli wersji Git, zdecydowano się na wykorzystanie technologii *git submodules*. Ze względu na nacisk na zwiększenie modularyzacji projektu technologia ta idealnie wpasowywała się w docelową architekturę. Zasada działania submodułów jest bardzo zbliżona do dowiązań symbolicznych stosowanych między innymi w systemach UNIX. Zamiast wskazywać na ścieżkę do folderu na lokalnym systemie submoduł wskazuje na ścieżkę do konkretnej wersji repozytorium na zewnętrznym serwerze od którego zależy moduł nadrzędny. Rysunek 4.4 przedstawia zasadę działania submodułów oraz wpływ wersjonowania na tenże mechanizm. Wykorzystanie submodułów pozwala na w pełni odseparowaną pracę nad wybranym komponentem systemu. Nie zachodzi konieczność pobierania żadnych dodatkowych plików, czy też zależności w celu zmienienia kodu źródłowego. Rozwiązanie to pozwala też na skorzystanie z bardzo szybkiej inicjalizacji całego projektu jedną komendą, co zostało przedstawione w listingu 4.4.



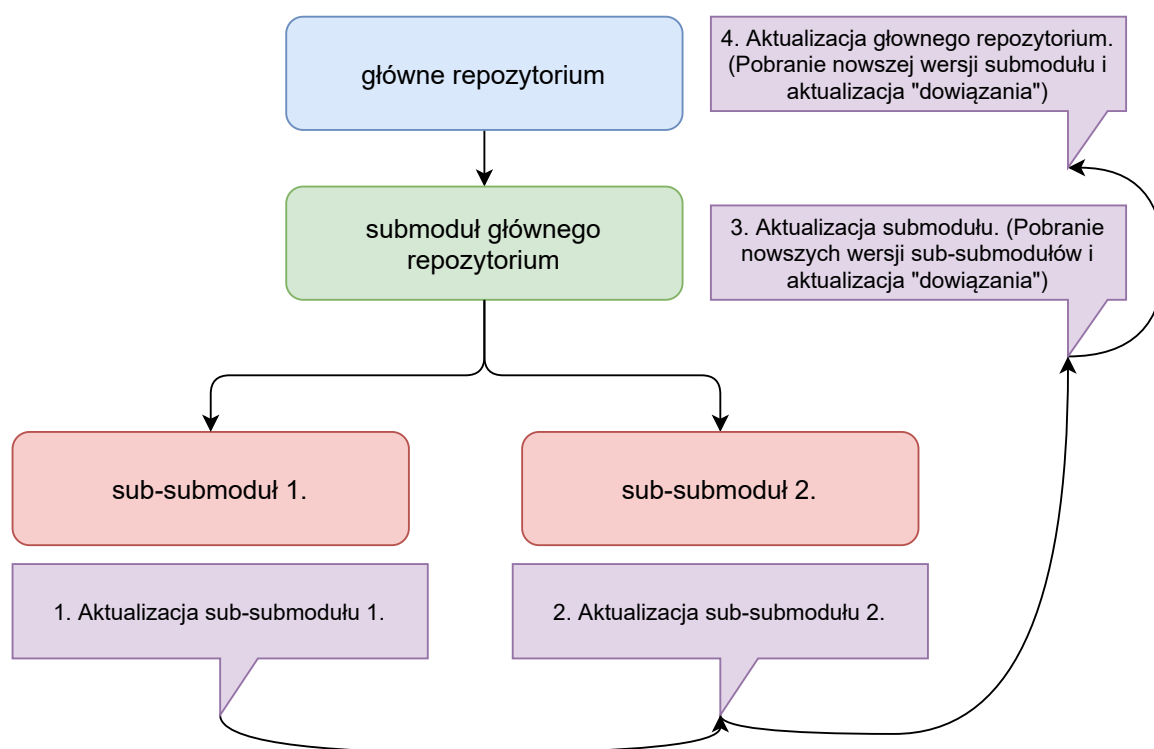
Rys. 4.4. Zasada działania submodułów: dowiązanie w ramach danej wersji repozytorium nadrzędnego wskazuje na konkretną wersję repozytorium podrzędnego.

Listing 4.4. Inicjalizacja pełnej struktury projektu jedną komendą.

```
user@host:~/ $ git clone ↵
ssh://git@gitlab.cern.ch:7999/atlas-trt-dcs-ggss/ggss-all.git && cd ggss-all ↵
&& git submodule update --init --recursive
Cloning into 'ggss-all/ggss-dim-cs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-driver'
Cloning into 'ggss-all/ggss-hardware-service-apps'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner'
Cloning into 'ggss-all/ggss-dim-cs/external-dim-lib'
Cloning into 'ggss-all/ggss-dim-cs/ggss-util-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-driver/external-n957-lib'
Cloning into 'ggss-all/ggss-hardware-service-apps/ggss-hardware-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-hardware-service-apps/ggss-hardware-libs/ggss-util-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/external-dim-lib'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/ggss-hardware-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/ggss-software-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/ggss-hardware-libs/external-n957-lib'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/ggss-hardware-libs/ggss-util-libs'
Cloning into 'ggss-all/ggss-runner/ggss-lib/ggss-software-libs/ggss-util-libs'
(8 lines truncated...)
```

4.2.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Pomimo wielu aspektów *git submodules*, które bardzo dobrze wpasowały się w kreowaną przez autorów w trakcie pracy inżynierskiej strukturę, z technologią tą związanych jest szereg niedogodności. Pierwszy znaczącym problemem napotkanym w trakcie pracy z submodułami było nietypowe zachowanie repozytoriów w trakcie ich inicjalizacji, a konkretnie automatyczne odłączanie ich od głównej gałęzi (wynika to z faktu, iż śledzenie zależności polega w tym przypadku na zapamiętywaniu identyfikatora konkretnej rewizji, nie zaś informacji o gałęzi). Co więcej praca z submodułami wymaga od programisty zwiększonej czujności oraz stosowania dodatkowych zasad, ponieważ więcej jest miejsc na pomyłkę, co może doprowadzić do niepoprawnego działania wykorzystanych narzędzi. Kolejnym problemem napotkanym w trakcie pracy z submodułami jest czasochłonność niektórych operacji, w szczególności aktualizacji repozytorium na samym spodzie drzewa zależności. Zmiana taka wymaga manualnej aktualizacji po kolei każdego z repozytorium, aż do samej góry tejże struktury, co przedstawia rysunek 4.5. Każda z aktualizacji przedstawiona na wspomnianym rysunku, to tak na prawdę cztery lub więcej koniecznych do wykonania akcji, do których wliczają się: aktualizacja repozytorium podrzędnego, dodanie wszystkich zmian do rejestru odpowiedzialnego za ich śledzenie, utworzenie nowej wersji repozytorium, opublikowanie nowej wersji na zewnętrznym serwerze.



Rys. 4.5. Przykładowa architektura oparta o submoduły z krokami jakie należy podjąć, aby wprowadzić zmiany na “najniższym” poziomie.

4.2.3. Automatyzacja z użyciem dedykowanego narzędzia

Konieczność wykonywania szeregu powtarzalnych czynności w celu wprowadzenia oraz propagacji zmian w poszczególnych modułach projektu GGSS stanowiła problem, który potencjalnie mógłby pochłonąć bardzo znaczącą ilość czasu, możliwego do przeznaczenia na rozwój samego systemu. Dlatego też już w początkowych tygodniach opisywanych prac autorzy zdecydowali się na przygotowanie, z wykorzystaniem języka Python, aplikacji *gitio*, której zadaniem było rozwiązanie przedstawionego problemu. Ze względu na to, że metadane technologii Git są bardzo złożone, a opanowanie zasad wewnętrznego działania tejże technologii wymagałoby bardzo dużo czasu, skorzystano z dedykowanej biblioteki [47] dostępnej z poziomu języka Python. Argumenty wejściowe przyjmowane przez *gitio* to:

- `-h, --help` - pozwala na wyświetlanie informacji o przeznaczeniu programu oraz przyjmowanych argumentach wraz z krótkim opisem
- `-p PATH, --path PATH` - ścieżka do głównego folderu zawierające drzewo repozytoriów do wyrównania
- `-b BIN, --bin BIN` - ścieżka do aplikacji Git (argument ten jest wymagany jedynie, jeżeli *gitio* nie jest w stanie automatycznie wykryć Git'a)

Przed uruchomieniem aplikacji *gitio* należy uprzednio przygotować repozytoria, które mają zostać poddane procesowi wyrównania. W tym celu należy wykonać następujące kroki:

- sklonować główne repozytorium - `git clone <url>`. W celu poprawnego działania należy sklonować repozytorium z użyciem klucza ssh.
- zainicjalizować i zaktualizować wszystkie submoduły za pomocą komendy:

```
git submodule update --init --recursive
```

- ustawić główną gałąź na każdym z submodułów za pomocą komendy:

```
git submodule foreach --recursive "git checkout master"
```

Zasada działania aplikacji jest stosunkowo prosta, natomiast znacząco ułatwia ona działania z wielopoziomową strukturą opartą o *git submodules*. W pierwszej kolejności *gitio* analizuje strukturę katalogów oraz metadane zawarte w folderach `.git`, dzięki czemu jest w stanie zapisać w pamięci zależności między repozytoriami. Następnie przechodząc od samego dołu drzewa zależności, czyli repozytoriów, które nie mają żadnych submodułów, wykonywane są następujące akcje:

- aktualizacja rewizji, na które wskazują submoduły do najnowszych dostępnych w zdalnym repozytorium
- utworzenie nowej rewizji z zaktualizowanymi submodułami
- przekazanie nowej rewizji do podłączonego zewnętrznego repozytorium.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa *gitio* pozwala na wyrównanie wersji repozytoriów tylko w przypadku, gdy w danym repozytorium nie ma żadnych zmian od wykonania ostatniej rewizji.

Rysunek 4.6 przedstawia przykładową rewizję na portalu GitLab utworzoną z użyciem *gitio*. Wiadomość w ramach utworzonej rewizji, czyli *Automatic repository update*, wskazuje na wykorzystanie *gitio*. Jedyne zmiany jakie jest w stanie wprowadzić *gitio*, to aktualizacja rewizji pod-projektu, co również widoczne jest na załączonym rysunku.

Automatic repository update

parent [a67f186a](#) **P** master

No related merge requests found

Pipeline #2917836 passed with stages

Changes 3 Pipelines 1

Showing 3 changed files with 3 additions and 3 deletions

Hide whitespace changes Inline Side-by-side

ggss-dim-cs @ e7c8e775

Compare [71a71f6...e7c8e775](#)

File	Change
1	- Subproject commit c71a71f6417a5ca511f47f8740f5544b59be5411
1	+ Subproject commit e7c8e775dd93a13a6c8328439df4714c84952b82

Rys. 4.6. Przykładowa rewizja utworzona z użyciem *gitio*.

4.2.4. Dokumentacja sposobu pracy z submodułami

Ze względu na to, że praca z repozytoriami posiadającymi submoduły wymaga poświęcenia dodatkowej uwagi oraz stosowania specyficznych praktyk, autorzy postanowili przygotować stosowną dokumentację, w formie plików README.md umieszczonych w repozytorium *ggss-aux*. Jej stosowanie pozwala na uniknięcie poważnych błędów, które mogłyby doprowadzić do niepoprawnego działania systemu kontroli wersji.

Dokumentacja została podzielona na trzy części. Pierwsza z nich odnosi się do poprawnej inicjalizacji repozytoriów z wielopoziomowymi submodułami. Poniżej zaprezentowane zostało krótkie streszczenie zawartych tam informacji:

- W pierwszej kolejności należy sklonować odpowiednie repozytorium z zewnętrznego serwera. W celu ułatwienia pracy z submodułami należy akcję tę wykonać za pomocą protokołu SSH wraz z przypisanym kluczem. Pozwala to uniknąć wielokrotnego wpisywania loginu oraz hasła przy każdorazowym klonowaniu submodułów. Przykładowa komenda dla repozytorium `ggss-all` wygląda następująco:

```
git clone ssh://git@gitlab.cern.ch:7999/atlas-trt-dcs-ggss/ggss-all.git
```
- W ramach poprzedniego kroku sklonowane zostało jedynie główne repozytorium, brak jest zawartości katalogów z submodułami. Ich inicjalizacja powinna zostać wykonana komendami `git submodule init` oraz `git submodule update`, natomiast w celu przyspieszenia tego procesu można wykonać jedną komendę, a mianowicie `git submodule update --init --recursive`. Właśnie taka komenda polecana przez autorów do pracy z projektem GGSS.
- Ze względu na sposób działania submodułów, przed dokonaniem zmian należy jeszcze zmienić gałęzie we wszystkich submodułach na gałąź docelową. Domyślnie inicjalizacja submodułów powoduje, że znajdują się one w stanie `detached HEAD`, co oznacza odwołanie do konkretnej rewizji, a nie gałęzi. W celu dokonania zbiorczego ustawienia gałęzi należy wykonać komendę `git submodule foreach --recursive "git checkout master"`

Kolejna część dokumentacji odnosi się do porad i dobrych praktyk, które należy stosować pracując z infrastrukturą repozytoriów opartą o submoduły. Ostatnią częścią dokumentacji jest natomiast krótki opis, w jaki sposób propagować zmiany w całym projekcie GGSS. Propagacja odbywa się za pomocą wyrównania wersji wskazywanych przez submoduły, a zatem przez odpowiednie skorzystanie z *gitio*. Więcej szczegółów jak skorzystać z *gitio* oraz warunków jakie należy spełnić zostały opisane w sekcji 4.2.3. Treść przygotowanej dokumentacji załączona została do niniejszej pracy w formie dodatku ...

4.3. Rozwój systemu budowania projektu (AK)

Pierwsze w pełni przystosowane do pracy z opartą o mechanizm submodułów strukturą projektu wydanie systemu budowania aplikacji oraz bibliotek wchodzących w skład warstwy oprogramowania GGSS przygotowane zostało przez autorów w ramach napisanej przez nich pracy inżynierskiej. Spełniało ono wszystkie podstawione przed nim wtedy wymagania, takie jak możliwość niezależnego budowania pojedynczych komponentów projektu. Jednakże wraz z kontynuacją przez autorów prac nad projektem w ramach niniejszej pracy magisterskiej, pojawiła się możliwość rozwoju stworzonego systemu, co pozwoliłoby uczynić go bardziej niezawodnym i przyjaźniejszym dla użytkownika. Na kolejnych stronach manuskryptu opisane zostały zatem zmiany w systemie budowania projektu GGSS, wprowadzone przez autorów w czasie przygotowywania niniejszej pracy dyplomowej.

4.3.1. Wprowadzenie do problematyki

Przygotowany w ramach pracy inżynierskiej system budowania oparty został o narzędzie CMake oraz, w mniejszym stopniu, o proste skrypty napisane w języku Python. Rezultatem było w pełni działające rozwiązanie, spełniające wszystkie postawione wtedy przed nim wymagania:

- niezależność od platformy - system powinien działać poprawnie zarówno na urządzeniach wykorzystujących system operacyjny Linux, jak i na komputerach z Windowsem.
- możliwość budowania projektu o skomplikowanej, hierarchicznej strukturze, jakiego jak aplikacja *ggss-runner* wchodząca w skład warstwy oprogramowania GGSS
- możliwość budowania każdego z komponentów systemu z osobna, bez wykorzystywania pozostałych, niepowiązanych z nim modułów
- czytelna, jednopoziomowa (brak zagnieżdżeń) wynikowa struktura katalogów, w której każdy zbudowany komponent znajduje się tylko raz, niezależnie od tego, jak wiele modułów było od niego zależnych

Ponieważ oprogramowanie systemu GGSS składa się z wielu bibliotek i aplikacji, dla których proces tworzenia przebiega bardzo podobnie, zdecydowano się zastosować rozwiązanie pozwalające na ponowne wykorzystanie poszczególnych komponentów systemu budowania. W tym celu wykorzystywane często funkcjonalności wyodrębnione zostały w postaci osobnych plików `.cmake`. W ten sposób do osobnych plików wydzielony został kod odpowiedzialny m.in. za: budowanie bibliotek statycznych, budowanie zależności danego komponentu czy dołączanie do projektu bibliotek Boost i GSL. Następnie tego typu pliki (zwane w dalszej części pracy szablonami CMake) wykorzystywane były w plikach `CMakeLists.txt` odpowiedzialnych za budowanie poszczególnych komponentów projektu, co zostało zobrazowane w formie przykładu na listingu 4.5. Zaprezentowany fragment kodu zawiera konfigurację procesu budowania biblioteki *thread-lib*, wraz z komentarzami w języku polskim.

Listing 4.5. Fragment wykorzystywanego w pierwotnej wersji systemu budowania pliku `CMakeLists.txt` zawierający konfigurację procesu tworzenia biblioteki *thread-lib*. Widoczne są przyjęte podczas tworzenia pracy inżynierskiej konwencje dotyczące sposobu wykorzystywania szablonów CMake.

```
# Przykład pliku CMakeLists.txt zgodnego z przygotowanym w ramach pracy
# inżynierskiej systemem budowania.

cmake_minimum_required(VERSION 2.8)

set(target_name "thread")

# Sprawdzenie, czy komponent nie został już przetworzony.
if(NOT TARGET ${target_name})

    # Ustawienie ścieżki wskazującej na szablony CMake.
    set(CMAKE_MODULE_PATH "${CMAKE_CURRENT_LIST_DIR}/../ggss-misc/cmake_templates")

    # Załączenie zawartości wybranych szablonów.
    include(BuildLibrary)
    include(FindLibraryBoost)

    # Pliki nagłówkowe.
    target_include_directories(${target_name} PUBLIC ↔
        ${CMAKE_CURRENT_SOURCE_DIR}/include/ThreadLib)

    # Dodanie zależności - wykorzystanie szablonu BuildDependencies.
    set(dependency_prefix "${CMAKE_CURRENT_SOURCE_DIR}/..")
    set(dependencies "handle" "log")
    include(BuildDependencies)

endif()
```

Przykład obrazuje sposób wykorzystywania szablonów CMake, jaki przyjęty został przez autorów podczas tworzenia przez nich pracy inżynierskiej - załączenie pliku za pomocą komendy `include()` powodowało zamieszczenie znajdujących się w nim instrukcji bezpośrednio w danym miejscu kodu. Dodatkowo, jeśli zawartość tego typu pliku wymagała od użytkownika wyspecyfikowania dodatkowych informacji, takich jak lista koniecznych do zbudowania zależności, następowało to po prostu poprzez utworzenie (przed miejscem załączenia pliku) zmiennej o odpowiedniej nazwie - na załączonym przykładzie jest to widoczne w przypadku pliku `BuildDependencies.cmake`, wymagającego do poprawnego działania istnienia zmiennych `dependency_prefix` oraz `dependencies`.

4.3.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Przygotowane przez autorów w ramach pracy inżynierskiej rozwiązanie charakteryzowało się pewnymi ograniczeniami, takimi jak brak wsparcia dla testów jednostkowych oraz tworzenia dokumentacji kodu źródłowego za pomocą narzędzia Doxygen. Niewątpliwą wadą przygotowanego rozwiązania był ponadto sposób wykorzystywania szablonów CMake, wymagający od użytkownika znajomości ich zawartości (by wiedzieć, jakie zmienne powinny zostać utworzone, by system działał poprawnie). Znacznie bardziej przyjazną dla użytkownika alternatywą wydaje się być wykorzystanie funkcji i makr, gdzie wszystkie potrzebne informacje przekazywane byłyby w formie argumentów. Ponadto wraz z pojawianiem się w warstwie oprogramowania systemu GGSS kolejnych aplikacji konieczne stało się rozbudowanie skryptu `build.py`, znajdującego się w repozytorium `ggss-all` i odpowiadającego za wysokopoziomowe zarządzanie procesem budowania (m.in. wybór między wersją `debug` i `release` oraz statycznym i dynamicznym linkowaniem bibliotek wchodzących w skład pakietu Boost).

4.3.3. Zastosowanie funkcji i makr narzędzia CMake

Jedną z wprowadzonych podczas prac nad systemem budowania projektu GGSS zmian była przebudowa istniejących plików `.cmake` poprzez umieszczenie znajdującego się tam kodu w starannie nazwanych funkcjach i makrach. Celem tej modyfikacji było ułatwienie osobom rozwijającym system GGSS dodawania nowych bibliotek i aplikacji. Jak zostało wyżej wspomniane, przed wprowadzeniem omawianej modyfikacji do sprawnego korzystania z przygotowanych szablonów konieczna była znajomość ich zawartości, ponieważ oczekiwały one często wyspecyfikowania wymaganych informacji za pomocą odpowiednio nazwanych zmiennych. Zamiast tego proponowane zostało rozwiązanie, w którym wszystkie potrzebne informacje przekazywane są do odpowiedzialnej za daną operację funkcji (lub makra) poprzez nazwane argumenty wywołania. Z punktu widzenia narzędzia CMake funkcjonalność taka dostępna jest przy pomocy komendy `cmake_parse_arguments`. Ze względu na trywialny i powtarzalny charakter wprowadzonych w szablonach CMake przekształceń, w niniejszej pracy pominięty został opis implementacji nowego rozwiązania, wskazana została natomiast różnica widoczna z perspektywy osoby wykorzystującej istniejący system budowania. Na listingu 4.6 przedstawiony został przykład wykorzystania jednej ze stworzonych przez autorów funkcji: `ggss_build_static_library` pochodzącej z szablonu `BuildStaticLibrary.cmake`. Przedstawiony fragment kodu wykonuje dokładnie to samo zadanie, co widoczny wcześniej na listingu 4.5 - odpowiedzialny jest za konfigurację procesu budowania biblioteki `thread-lib`. Jest on znacznie krótszy od widocznego w poprzednim przykładzie - zostało to osiągnięte poprzez przeniesienie do wnętrza funkcji funkcjonalności takich jak sprawdzenie, czy dany komponent został już przetworzony. Widoczny w przykładzie sposób przekazywania informacji za pomocą nazwanych argumentów funkcji (np. `DEPENDENCIES`) jest zdaniem autorów znacznie czytelniejszy od mechanizmu istniejącego w projekcie wcześniej.

Ponadto, dzięki wykorzystaniu funkcji, przedstawiony fragment przypomina kod źródłowy napisany za pomocą popularnych języków programowania, takich jak C i C++, co zdaniem autorów czyni go bardziej intuicyjnym.

Listing 4.6. Fragment wykorzystywanego w najnowszej wersji systemu budowania pliku `CMakeLists.txt` odpowiedzialnego za konfigurację procesu tworzenia biblioteki *thread-lib*. Widoczne jest wykorzystanie funkcji oraz nazwanych argumentów w celu zwiększenie czytelności prezentowanego kodu.

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.8)
project(ggss-thread-lib)

# Załączenie szablonów CMake zawierających wykorzystywane funkcje.
set(CMAKE_MODULE_PATH "${CMAKE_CURRENT_LIST_DIR}/../ggss-util-libs/cmake-templates")
include(BuildStaticLibrary)      # ggss_build_static_library

# Funkcja tworząca bibliotekę statyczną.
ggss_build_static_library(
    TARGET_NAME "thread"
    DEPENDENCY_PREFIX "${CMAKE_CURRENT_SOURCE_DIR}/.."
    DEPENDENCIES "sigslot" "ggss-util-libs/log"
)
```

W sposób podobny do załączanego w przykładzie pliku `BuildStaticLibrary.cmake` zmodyfikowane zostały pozostałe wchodzące w skład projektu pliki `.cmake` (np. plik `BuildDependencies.cmake`, odpowiedzialny za konfigurację zależności danego modułu) dzięki czemu wzrosła jakość kodu wchodzącego w skład systemu budowania. W większości przypadków autorzy zdecydowali się na wykorzystanie funkcji - zastąpienie ich za pomocą makr konieczne było tylko w kilku szczególnych przypadkach. Najważniejszą różnicą między obiema wspomnianymi konstrukcjami jest fakt, iż w ciele funkcji, w przeciwieństwie do makra, tworzony jest nowy zasięg widoczności zmiennych (ang. *scope*), przez co skutki zachodzących w jej wnętrzu zmian, takich jak przypisania, nie są domyślnie widoczne poza nią. Zastosowane zmiany zgodne są ponadto z konwencją, wedle której napisany za pomocą narzędzia CMake kod systemu budowania powinien być traktowany na równi z kodem źródłowym przetwarzanych przez niego aplikacji i bibliotek.

4.3.4. Wsparcie dla testów jednostkowych i dokumentacji

Kolejną wprowadzona przez autorów modyfikacją było dodanie, na poziomie systemu budowania, wsparcia dla testów jednostkowych oraz generowania, za pomocą narzędzia Doxygen, dokumentacji kodu źródłowego. Ponieważ obie wprowadzone funkcjonalności wykorzystywane są przez wiele komponentów projektu, ich implementacja zamieszczona została w znajdujących się aktualnie w repozytorium *ggss-util-libs* plikach `.cmake`, kolejno: `SetupTests.cmake` i

`SetupDoxygen.cmake`. Zgodnie ze stosowaną w projekcie konwencją, również te funkcjonalności zaimplementowane zostały w postaci funkcji (w przypadku dokumentacji) oraz makra (w przypadku testów, gdzie zostało to wymuszone z uwagi na konieczność wywołania polecenia `enable_testing` w odpowiednim zasięgu widoczności zmiennych).

Znajdująca się w pliku `SetupDoxygen.cmake` funkcja `ggss_setup_doxygen` wywoływana jest w ciele odpowiedzialnej za konfigurację procesu budowania bibliotek statycznych funkcji `ggss_build_static_library` (listing 4.7). Dzięki temu proces generowania dokumentacji konfigurowany jest automatycznie dla każdego modułu dodawanego do projektu. Poza wspomnianym szablonem CMake, w repozytorium *ggss-util-libs* utworzony został katalog `doxygen-config`, zawierający plik konfiguracyjny działania narzędzia Doxygen (np. poprzez aktywację funkcjonalności rekurencyjnego przeszukiwania katalogów wchodzących w skład dokumentowanego komponentu). Użytkownik ma możliwość generowania dokumentacji w formacie HTML dla każdego komponentu projektu poprzez wykonanie polecenia `make <nazwa-komponentu>-docs`, np. `make xml-docs` powoduje wygenerowanie dokumentacji biblioteki odpowiedzialnej za obsługę plików XML.

Listing 4.7. Fragment pliku `BuildStaticLibrary.cmake`, przedstawiający wywołanie funkcji odpowiedzialnej za konfigurację procesu generowania dokumentacji za pomocą narzędzia Doxygen.

```
# Konfiguracja procesu budowania dokumentacji za pomocą narzędzia Doxygen.
ggss_setup_doxygen (
    TARGET_NAME "${ARG_TARGET_NAME}"
)
```

Zgodnie z założeniem, że mechanizm testów jednostkowych jest opcjonalny dla każdego z modułów warstwy oprogramowania systemu GGSS, wywołanie znajdującego się w pliku `SetupTests.cmake` makra `ggss_setup_tests` nie następuje w żadnym ze zdefiniowanych przez autorów szablonów CMake. Zamiast tego programista przygotowujący dany komponent podejmuje decyzję o wykorzystaniu tej funkcjonalności, co zostało przedstawione na listingu 4.8, gdzie zamieszczony został fragment pliku `CMakeLists.txt` konfiguracyjny proces budowania biblioteki *fifo-lib* oraz przygotowanych dla niej testów jednostkowych. Z punktu widzenia systemu budowania wsparcie dla tego typu testów oparte zostało o narzędzie CTest. Każdy z plików `.cpp` znajdujących się w katalogu `test` (usytuowanym na tym samym poziomie co katalogi zawierające pliki źródłowe i nagłówkowe tworzonego komponentu) wykorzystywany jest do stworzenia osobnego testu za pomocą komendy `add_test`. Uruchomienie testów możliwe jest na kilka sposobów, jednym z nich jest wykonanie polecenia `ctest --verbose` z poziomu katalogu, w którym przeprowadzany jest proces budowania testowanego modułu.

Listing 4.8. Fragment pliku `CMakeLists.txt`, przedstawiający wykorzystanie funkcji konfiguracyjnej proces budowania modułu *fifo-lib* oraz makra odpowiedzialnego za obsługę przygotowanych dla niego testów jednostkowych. W celu zapewnienia poprawnego działania systemu budowania konieczne jest zachowanie odpowiedniej, zgodnej z przykładem, kolejności wywołań.

```
# Konfiguracja procesu budowania biblioteki statycznej fifo-lib
ggss_build_static_library(
    TARGET_NAME "fifo"
)

# Konfiguracja procesu budowania testów jednostkowych dla
# biblioteki fifo-lib.
ggss_setup_tests (
    TARGET_NAME "fifo"
)
```

4.3.5. Rozbudowa skryptu konfiguracyjnego proces budowania projektu

Znajdujący się w repozytorium *ggss-all* skrypt `build.py` odpowiedzialny jest za przeprowadzanie wysokopoziomowej konfiguracji procesu budowania całego projektu (możliwy jest m.in. wybór budowanych komponentów systemu). Względem wersji skryptu przygotowanej przez autorów w ramach pracy inżynierskiej wprowadzone zostały niewielkie zmiany. Najważniejszą z nich jest zmiana sposobu, w jaki użytkownik dokonuje wyboru budowanych modułów. W pierwotnej wersji skryptu dokonywane to było poprzez wywołanie go ze specjalnymi argumentami powodującymi wykluczenie poszczególnych komponentów z procesu budowania (np. zastosowanie argumentu `--norunner` powodowało pominięcie w procesie budowania aplikacji *ggss-runner*). Wraz ze wzrostem liczby budowanych komponentów takie podejście stało się niepraktyczne, zastąpione zostało zatem przekazywaniem do skryptu argumentu `--apps` wraz z listą budowanych modułów. Po wprowadzeniu zmian następujące wywołanie: `build.py --apps runner dimcs` powoduje zbudowanie dwóch komponentów systemu: aplikacji *ggss-runner* oraz *dim-cs*. Ponadto dodane zostało wsparcie dla omawianego w dalszej części pracy mechanizmu wersjonowania (argument `--version`). Na listingu 4.9 przedstawiony został wynik wywołania skryptu z argumentem `--help`, powodującym wypisanie informacji na temat sposobu jego użytkowania.

Listing 4.9. Wynik wywołania skryptu `build.py` z argumentem `--help`, powodującym wypisanie informacji na temat sposobu jego wykorzystywania.

```
user@host:~/ggss-all$ python3 build.py --help
usage: build.py [-h] [-d] [-s] [-v] --buildtype {debug,release}
               [--boostpath {default,variable}]
               [--buildall | --apps {runner,serviceapps,dimcs,driver}
               [{runner,serviceapps,dimcs,driver} ...]]
               [--version VERSION]
```

4. Prace nad architekturą i infrastrukturą projektu (AK i JC)

This script can be used for building various GGSS-related applications, like ggss-runner.

optional arguments:

```
-h, --help          show this help message and exit
-d, --dimonline     build project using latest DIM version. Disabled by default.
-s, --staticboost   force static Boost library linking. Disabled by default.
-v, --venv          build project using virtualenv. All required dependencies
                   will be installed. Disabled by default.
--buildtype {debug,release}
                   enable debug or release mode.
--boostpath {default,variable}
                   choose boost path: default /usr/local or the one specified
                   using BOOST environment variable. Variable is used by
                   default.
--buildall          Build all available apps.
--apps {runner,serviceapps,dimcs,driver} [{runner,serviceapps,dimcs,driver} ...]
                   Choose apps to build.
--version VERSION   Version with which apps will be labeled.
                   Default: dev-<currenttime> (YYYY-MM-DD_HH-MM-SS)
```

Consider visiting <https://gitlab.cern.ch/atlas-trt-dcs-ggss/ggss-all> for further info on GGSS software.

4.4. Automatyzacja i centralizacja wersjonowania projektu (JC)

Niniejsza część pracy traktuje o systemie wersjonowania stosowanym w projekcie GGSS. Zaprezentowane zostały: sposób nadawania wersji stosowany w projekcie przed rozpoczęciem prac, wymagania postawione przed przygotowanym przez autorów systemem oraz sposób jego implementacji.

4.4.1. Wprowadzenie do problematyki

Wersjonowanie oprogramowania jest to proces, którego celem jest przypisanie utworzonemu wydaniu produktu unikatowego identyfikatora, dzięki czemu w dowolnym momencie możliwy jest powrót do oznaczonej w ten sposób wersji systemu. Jest to szczególnie przydatne, gdy do środowiska produkcyjnego trafia wadliwa wersja aplikacji - możliwe jest wtedy przywrócenie odpowiedniego, testowanego wcześniej wydania. Wersjonowanie aplikacji pozwala ponadto na śledzenie zmian oraz usprawnień wprowadzanych w poszczególnych aktualizacjach. Użytkownicy są w stanie, sprawdzając dokumentację wprowadzonych zmian, określić, czy wykorzystywana przez nich wersja aplikacji posiada wszystkie wymagane funkcjonalności. Ponadto znajdowanie głównej przyczyny późno wykrytego błędu staje się znacznie prostsze, dzięki możliwości porównywania wadliwej wersji produktu z informacjami dotyczącymi wcześniejszych, działających poprawnie wydań.

W pierwotnej wersji projektu GGSS wersjonowaniu poddawany był jedynie pakiet RPM z sterownikami oraz zależnościami zewnętrznymi. Wersja składała się z czterech komponentów, czyli `<MAJOR>.<MINOR>.<PATCH>-<RELEASE>`. Komponent wersji, który był modyfikowany przy wprowadzaniu zmian był wybierany uznaniowo. Ponadto nadawanie wersji nie było wtedy procesem automatycznym - polegało na manualnym modyfikowaniu wartości w jednym z plików `.cmake`. Stosując takie rozwiązanie, próba wersjonowania wielu komponentów projektu wymagała wielokrotnego powtarzania tych samych czynności.

4.4.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Pierwszym czynnikiem, z powodu którego zdecydowano się na wprowadzenie zmian w systemie wersjonowania była jego nieporęczność. Każda zmiana i wydanie nowej wersji aplikacji wymagały od dewelopera, aby pamiętać, że należy jeszcze dodatkowo zmienić wersję w plikach `.cmake`. Był to kolejny krok, który programista musiał wykonać w celu przeprowadzenia poprawnego procesu rozwoju oprogramowania, a co za tym idzie potencjalnie kolejne miejsce na pomyłkę.

Dodatkowo niepoprawnie przeprowadzona zmiana wersji (np. na niższą) powodowała problemy z procesem instalacji nowego wydania oprogramowania w środowisku docelowym. Ze

względu na to, że na systemy działające przy detektorze ATLAS nałożone są duże wymagania i ograniczenia, to proces instalacji nowych wersji aplikacji jest monitorowany przez administratorów systemowych. Pomyłki w zmianie wersji oprogramowania uniemożliwiały ich zainstalowanie ze względu na błędy w działaniu menadżera pakietów oraz sprzeciw administratorów w stosunku do instalacji niepoprawnie wersjonowanych aplikacji.

Kolejnym czynnikiem, który spowodował wprowadzenie zmian w systemie wersjonowania był wymóg postawiony autorom, aby wszystkie aplikacje GGSS publikowane w danym momencie miały nadaną dokładnie tą samą wersję. Dzięki zastosowaniu takiego podejścia możliwe jest bardzo szybkie zidentyfikowanie kombinacji komponentów systemu GGSS, które są ze sobą kompatybilne.

Ze względu na te czynniki postanowiono przygotować zautomatyzowany, scentralizowany system wersjonowania oparty o dostępną infrastrukturę, czyli: skrypty budujące napisane w języku Python, pliki `.cmake`, portal GitLab i automatyzację w oparciu o GitLab CI/CD.

4.4.3. Zmiany w skryptach budujących projekt

W celu zapewnienia automatycznego, scentralizowanego wersjonowania należało wykonać zmiany w kilku warstwach projektu GGSS. W pierwszej kolejności zmodyfikowano główny skrypt do budowania (`build.py`) znajdujący się w repozytorium *ggss-all*. Została dodana do niego obsługa argumentu wejściowego `--version` tak, aby można było definiować wersję zarówno manualnie (w trakcie uruchamiania wyżej wymienionego skryptu), jak i poprzez automatyzację zdefiniowaną w ramach GitLab CI/CD. W przypadku braku podania wersji, za pomocą której mają zostać oznaczone budowane pliki, postanowiono ustawiać ją tak, by możliwie łatwe było odróżnienie wydania produkcyjnego od deweloperskiego. W takim przypadku wersja przygotowywana przez skrypt wygląda następująco: `dev-YYYY-MM-DD_HH-MM-SS`. Pozwala to na określenie, że pliki zostały zbudowane poza oficjalnym systemem automatyzującym cały proces, a ponadto taka konwencja umożliwia poznanie dokładnego momentu uruchomienia skryptu budującego. Oprócz rozszerzenia argumentów wejściowych, dostosowania wymagał również sposób obsługi plików `.cmake` w wyżej wymienionym skrypcie.

4.4.4. Zmiany w systemie opartym o narzędzie CMake

W przypadku plików `.cmake` zastosowano podobne podejście, jak w przypadku pliku `build.py`, tzn. dodano argument wejściowy w postaci parametru `VERSION`. Pozwala to na odebranie wartości wersji od skryptów zewnętrznych, jak i manualne wpisanej przez użytkownika. W przypadku nieustawienia wartości wyżej wymienionego parametru stosowana jest wartość domyślna: `no-version`. Listing 4.10 przedstawia przykładowe zastosowanie tego systemu w przypadku repozytorium *ggss-driver*.

Listing 4.10. Zastosowanie parametru `VERSION` w repozytorium *ggss-driver*.

```
if (NOT VERSION)
    set (VERSION "no-version")
endif ()

message (STATUS "ggss-driver version: ${VERSION}")

#parameter initialization
set (CPACK_PACKAGE_NAME "ggss-driver-cc7")
set (CPACK_PACKAGE_VERSION ${VERSION})
```

4.4.5. Zastosowanie *semantic-versioning* oraz zmiany w automatyzacji

Do tej pory w projekcie GGSS wersja zmieniania była według uznania dewelopera, który wprowadzał tą informację w plikach `.cmake` odpowiedzialnych za budowanie danego komponentu systemu. W celu ustandaryzowania tego procesu zdecydowano się na stosowanie zasad *semantic-versioning* [48], wedle których wersja powinna składać się z trzech komponentów:

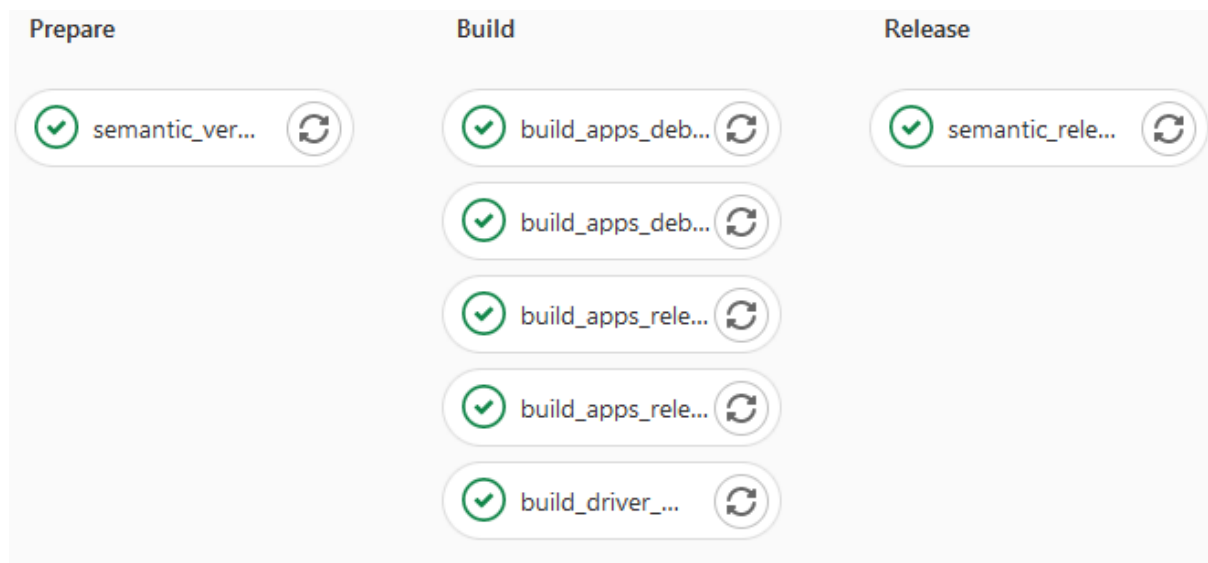
- **MAJOR** - komponent ten jest zmieniany, gdy wprowadzane są zmiany w interfejsie programistycznym aplikacji, przez co nie jest zachowywana kompatybilność z wcześniejszymi wydaniem, na przykład: dodatkowy, wymagany argument bez wartości domyślnej
- **MINOR** - komponent ten jest zmieniany, gdy w aplikacji wprowadzane są zmiany niepowodujące problemów z kompatybilnością, na przykład: dodanie nowej funkcjonalności, które nie wpływa na oferowane dotąd możliwości
- **PATCH** - komponent ten jest zmieniany, gdy wprowadzane są poprawki kompatybilne z wcześniejszymi wydaniem, na przykład: poprawa błędu wykrytego w aplikacji, zwiększenie stabilności

Zmienając komponent o większym znaczeniu, należy wyzerować pozostałe komponenty wersji, czyli zmieniając wersję MAJOR należy wyzerować zarówno MINOR, jak i PATCH.

Oprócz zastosowania wyżej wymienionych zasad postanowiono udoskonalić system wersjonowania o automatyzację za pomocą GitLab CI/CD. W tym celu wykorzystano *semantic-release* [49]. Jest to projekt oparty o język JavaScript [50] uruchamiany w środowisku NodeJS [51]. Jego działanie polega na pobieraniu zawartych w rewizjach oraz na portalu GitLab informacji dotyczących repozytorium w ramach którego został uruchomiony. Następnie dokonuje on analizy pozyskanych danych w celu określenia, czy na platformie GitLab powinna zostać uruchomiona automatyzacja odpowiedzialna za utworzenia nowego wydania (ang. *release*) wraz ze zwiększeniem wersji zgodnie z zasadami *semantic-versioning*.

Ze względu na to, że informacje na temat wersji potrzebne są również w części infrastruktury odpowiedzialnej za automatyzację procesu budowania aplikacji, projekt *semantic-release* wykorzystywany jest w dwóch etapach. W pierwszej kolejności uruchamiana jest analiza wiadomości zawartych w ramach rewizji tak, aby określić, czy któryś komponent wersji powinien zostać

zmieniony. Następnie informacja o wersji przekazywana jest do kroku odpowiedzialnego za budowanie wszystkich aplikacji projektu GGSS. Gotowe do użycia aplikacje przekazywane są do drugiego etapu wykonywanego w ramach logiki *semantic-release*, czyli utworzenia nowego wydania. Rysunek 4.7 przedstawia kroki podejmowane w ramach procesu automatyzacji. W ramach kroku *Prepare* przygotowana jest informacja o wersji, w ramach kroku *Build* budowane są wszystkie aplikacje biorąc pod uwagę wcześniej przygotowaną wersję, a w ramach kroku *Release* tworzone jest nowe wydanie.



Rys. 4.7. Etapy procesu automatyzacji z wykorzystaniem *semantic-release*.

Zasady dokonywanej przez *semantic-release* analizy wiadomości, istniejącej w ramach rewizji, zostały ustandaryzowane według konwencji *ESLint* [52]. W przypadku, gdy powinno zostać utworzone nowe wydanie, należy wraz z nową rewizją przygotować wiadomość w następującym formacie: `<tag>: <opis>`, gdzie `<tag>` to jedna z następujących wartości:

- Fix - naprawa błędu
- Update - usprawnienie kompatybilne wstecz
- New - nowa funkcjonalność
- Breaking - zmiany niekompatybilne wstecz
- Docs - zmiany w dokumentacji
- Build - zmiany w procesie budowania
- Upgrade - zmiany w zależnościach
- Chore - zmiany, które w żaden sposób nie wpływają na użytkowanie, np.: zmiany w testach

Opisem może być dowolna wiadomość krótko podsumowująca dokonane zmiany. Technologia *semantic-release* ustala automatycznie na podstawie analizowanych tagów, stosując zasady *semantic-versioning*, odpowiednią informację o wersji. Przykładowe działania projektu *semantic-release* zostało przedstawione na listingu 4.11.

Listing 4.11. Analiza wiadomości zawartych w rewizjach z wykorzystaniem *semantic-release*.

```
[@semantic-release/commit-analyzer] > Analyzing commit:
                                Breaking: This is for presentation reasons
[@semantic-release/commit-analyzer] > The release type for the commit is major
[@semantic-release/commit-analyzer] > Analysis of 29 commits complete: major release
[semantic-release] > Completed step "analyzeCommits" of plugin
                        "@semantic-release/commit-analyzer"
[semantic-release] > The next release version is 1.0.0
```

4.4.6. Podsumowanie

Dzięki zastosowaniu wszystkich przedstawionych kroków stworzono w projekcie GGSS scentralizowany, zautomatyzowany system wersjonowania wydań aplikacji. Wszystkie czynności potrzebne do utrzymania odpowiedniej wersji odbywają się w ramach automatyzacji opartej o GitLab CI/CD oraz projekt *semantic-release*. Deweloper musi jedynie wprowadzać odpowiednie oznaczenia w wiadomościach związanych z kolejnymi rewizjami, a utworzony system automatycznie zajmie się ewaluacją wszystkich trzech komponentów kolejnej wersji, zbuduje wszystkie komponenty systemu przekazując wcześniej uzyskane dane oraz udostępni gotowe do działania aplikacje w ramach nowego wydania dostępnego na portalu GitLab.

4.5. Zmiany wdrożeniowe projektu GGSS

Niniejsza część pracy opisuje zmiany związane ze skryptami służącymi do obsługi projektu GGSS w środowisku docelowym. Opisowi poddane zostały wprowadzone w nich zmiany, nowe funkcjonalności, czy też usprawnienia mające na celu poszerzenie możliwości wdrożeniowe projektu GGSS. Przedstawione zostały również rozwinięcia wdrożeniowe w automatyzacji projektu GGSS.

4.5.1. Wprowadzenie do problematyki

W celu zapewnienia obsługi systemu ggss w środowisku produkcyjnym oraz łatwości korzystania istniało wiele skryptów, które pozwalały na wdrożenie aplikacji. Odpowiadały one między innymi za obsługę cyklu życia aplikacji, np.: poprzez komendy `start`, `stop`, `remove_lock`, `check` wspierane przez skrypt `ggss_monitor`. Co więcej skrypty te w połączeniu z aplikacją *crontab*, odpowiedzialną za cykliczne wykonywanie komend na systemach z rodziny Linux, zapewniały ciągłe działanie aplikacji ggss oraz uruchamianie jej z odpowiednimi prawami dostępu. Oprócz skryptów wdrożeniowych w ramach systemu ggss istniała również infrastruktura odpowiedzialna za awaryjne wyłączenie zasilania na zasilaczu wysokiego napięcia.

4.5.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Ze względu na sposób implementacji poprzednich skryptów w celu poprawnego działania wymagane było, aby w systemie docelowym istniała określona struktura katalogów, a wewnątrz niej znajdowały się aplikacje projektu ggss. Dodatkowo logika potrzebna do działania systemu rozbita była na wiele plików-skryptów luźno ze sobą powiązanych, z niewiele tłumaczącymi nazwami. W celu dowiedzenia się co dany skrypt robi trzeba było sprawdzać jego zawartość, bądź być dobrze zaznajomionym ze skrótami użytymi w nazwie. Ze względu na powyższe czynniki postanowiono usprawnić skrypty odpowiadające za obsługę projektu ggss w systemie docelowym. Dodatkowo postanowiono rozszerzyć możliwości skryptów o monitorowanie zasobów zużywanych przez główną aplikację projektu ggss.

Modyfikacji została poddana również infrastruktura odpowiedzialna za awaryjne wyłączanie zasilania. Po analizie jej obecnych możliwości oraz uzyskaniu wymagań co do infrastruktury okazało się, że nie spełnia ona założeń. Najważniejszym przypadkiem użycia dla tejże infrastruktury było wyłączenie zasilania w momencie, gdy główna aplikacja ggss przestaje działać. Oprócz tego zabezpieczeniu miał zostać poddany proces wyłączania maszyny (ang. *shutdown*), tak, aby po zamknięciu systemu operacyjnego na komputerze produkcyjnym zasilania na zasilaczu również zostały wyłączone. Infrastruktura w pierwotnej postaci wspierała jedynie ten drugi przypadek.

Ze względu na brak ustandaryzowanego oraz łatwego sposobu na pozyskanie aplikacji, pakietów oraz skryptów potrzebnych na wdrożenie systemu ggss w środowisko docelowe postanowiono

wzbogacić automatyzację o kroki konsolidujące wszystkie zasoby potrzebne do wdrożenia projektu w środowisko produkcyjne wraz z ich odpowiednim opisaniem.

4.5.3. Skrypt do monitorowania zużytych zasobów przez główną aplikację ggss

W ramach pracy inżynierskiej został przygotowany skrypt *check_mem_ggssrunner.sh*, którego zadaniem było sprawdzanie zużycia pamięci, a dokładniej parametru VSZ (*Virtual Memory Size*), który reprezentował ilość pamięci do której na dany moment miał dostęp proces, między innymi: pamięć na partycji *swap*, pamięć zaalokowana (również ta nieużywana), pamięć przeznaczona na biblioteki współdzielone. Ze względu na to, że parametr ten nie oddawał dobrze zużywanej pamięci przez aplikację postanowiono rozbudować wyżej wymieniony skrypt o następujące parametry:

- CPU - stosunek wykorzystanego czasu procesora do rzeczywistego czasu, który upłynął od uruchomienia procesu
- MEM - stosunek RSS do całkowitej fizycznej pamięci zainstalowanej w systemie
- RSS(*Resident Set Size*) - ilość wykorzystywanej pamięci RAM przez proces. Brane pod uwagę są również biblioteki współdzielone, załadowane do pamięci, wykorzystywane przez proces. Nie zawiera informacji o pamięci na partycji *swap*.

RSS dokładniej ukazuje pamięć wykorzystywaną przez proces. W przypadku monitorowania z użyciem jedynie VSZ możemy łatwo pominąć niepokojące zachowanie aplikacji, ponieważ w zaalokowanej pamięci nie będzie to widoczne.

Skrypt został rozbudowany również o system, który pozwala na nieprzerwane działanie w tle bez błędów nawet, gdy główna aplikacja ggss pozostaje nieuruchomiona. Wyświetlany jest wówczas stosowny komunikat zamiast standardowych statystyk. Efekt ten uzyskano dzięki wykorzystaniu szeregu połączonych ze sobą, za pomocą tak zwanych *pipe*, programów środowiska Linux, tj.: *ps*, *grep* oraz *awk*. Odpowiednie połączenie tych komend pozwala na uzyskanie PID (*Process Identifier*) aplikacji i zapisanie go w zmiennej. W przypadku, gdy aplikacja nie jest uruchomiona zmienna pozostanie pusta. Wykorzystując język *bash*, jego struktury warunkowe oraz wyżej wymienioną zmienną możliwe było utworzenie zachowania zależnego od tego, czy proces jest uruchomiony, czy też nie.

4.5.4. Zmiany w skryptach operacyjnych

Przed dokonaniem zmian w skryptach operacyjnych, w pierwszej kolejności dokonano analizy wykorzystywanych skryptów i usunięto te, które nie były już potrzebne. Były to skrypty: *dimhw_mon_vmon.sh*, *dimhw_det_all_off.sh* oraz *ggss_starter.sh*. Pierwsze dwa z nich nie mogłyby zostać wykorzystane po wprowadzonych zmianach w systemie, ponieważ modyfikacji uległ format komend obsługiwanych przez projekt ggss, które mają kontrolować działanie zasilacza

wysokiego napięcia. Natomiast ostatni z nich został usunięty, ponieważ logika zawarta w ramach tego skryptu została przeniesiona do pliku `ggss_monitor.sh`, czyli jedyne miejsce, gdzie była ona wykorzystywana.

Jedną z ważniejszych zmian było wprowadzenie zmian w skryptach, które umożliwiły umieszczanie projektu ggss w dowolnej ścieżce w systemie, w początkowej wersji skryptów operacyjnych zapisana na stałe ścieżka `/localdisk/ggss/bin`. Obecnie ścieżka jest odczytywana względem umiejscowienia skryptów. Ze względu na to, że skrypty te cyklicznie uruchamiane są przez aplikację crontab niemożliwe było skrozystanie ze ścieżki względnej (`./`) konieczne za to było wykorzystanie parametru `BASH_SOURCE`, który jest tablicą, a element o indeksie 0 zawiera informację o względnej ścieżce, gdzie znajduje się wywoływany skrypt. Aby otrzymać ścieżkę bezwzględną wykorzystane zostało połączenie wyżej opisanego parametru wraz z komendą `cd` oraz `pwd`. Zamieniając wszystkie wystąpienia `/localdisk/ggss/bin` na uzyskaną we wcześniej opisany sposób ścieżkę bezwzględną efektywnie pozwoliło na umieszczanie projektu ggss w dowolnej ścieżce w systemie.

W skryptach operacyjnych dokonano również małego usprawnienia w systemie sprawdzającym, czy główna aplikacja systemu ggss jest uruchomiona. W pierwotnej wersji system jedynie sprawdzał, czy aplikacja ggssrunner jest uruchomiona. Dodatkowo system ten mógł łatwo ulec błędnemu działaniu, ponieważ wyniki nie były poprawnie filtrowane. Działanie polegało na sprawdzeniu, czy po odfiltrowaniu standardowego wyjścia z komendy `ps` za pomocą komendy `egrep` zawierającej jako argument nazwę aplikacji pozostaje jakakolwiek wartość. Szczęśliwie argument komendy filtrującej poprzedzony był prefixem `./` dzięki czemu system działał poprawnie. Natomiast gdyby prefix ten nie występował to nawet w przypadku gdyby aplikacja ggssrunner nie była uruchomiona odfiltrowany wynik działania zawierałby w sobie komendę `egrep`, co przedstawia listing 4.12. W celu zapobiegnięcia w przyszłości problemów z systemem weryfikowania, czy główna aplikacja projektu ggss jest uruchomiona wprowadzono dodatkowy filtr eliminujący z standardowego wyjścia wpisy na temat komendy `grep`.

Listing 4.12. Przykładowe działanie połączenie komend `ps` oraz `egrep` bez prefixu `./` przy argumentcie komendy `egrep`.

```
jcierpic@host:~$ ps afux | egrep "ggssrunner"
jcierpic  461  0.0  0.0  8160  732 pts/3    S+   14:20   0:00 \_ grep -E --color=auto ggssrunner
```

4.5.5. Zmiany w systemie awaryjnego wyłączenia zasilania

Ze względu na wymagane zmiany opisane w ramach sekcji 4.5.2 oraz chęci autorów do pozbycia się jak największej liczby zewnętrznych zależności w projekcie ggss wprowadzono szereg zmian w systemie awaryjnego wyłączenia zasilania.

Po pierwsze zmianie uległ skrypt *wd_hv.sh*, który uruchamiany jest cyklicznie w ramach aplikacji *crontab*, a jego celem jest upewnienie się, że skrypt pułapka (ang. *trap*), którego zadaniem jest uruchomienie aplikacji awaryjnego wyłączenia zasilania w przypadku otrzymania sygnału SIGTERM, dla zasilacza wysokiego napięcia jest uruchomiony. Wprowadzone zostały wcześniej opisane zmiany, które pozwoliły na umieszczenie skryptu w dowolnym miejscu w systemie, dodatkowo wprowadzono zmiany usprawniające wykrywanie czy skrypt pułapka jest uruchomiony. Dodatkowo wprowadzona została funkcjonalność blokowania uruchomienia aplikacji pułapki, nawet, gdy jest ona nieuruchomiona. Zaimplementowane zostało to z użyciem pliku *lock*. W przypadku występowania pliku *high_voltage_killer_trap.lock* w ścieżce, gdzie znajduje się skrypt *wd_hv.sh* skrypt pułapka nie zostanie uruchomiony niezależnie od pozostałych warunków.

W celu zapewnienia awaryjnego wyłączenia zasilania na zasilaczu wysokiego napięcia, gdy główna aplikacja projektu ggss pozostaje nieuruchomiona dłużej niż 5 minut, a przed tym okresem czasu była uruchomiona skrypt pułapka został wzbogacony o wykrywanie statusu aplikacji ggssrunner oraz o licznik czasu z wykorzystaniem wewnętrznej zmiennej powłoki bash *SECONDS*. W przypadku, gdy główna aplikacja ggss jest uruchomiona zmienna ta jest zerowana, w przeciwnym wypadku, gdy zmienna ta osiągnie wartość 300, czyli 5 minut, uruchamiana jest aplikacja *high-voltage-killer*, której zadaniem jest wyłączenie zasilania na wyjściu zasilacza.

Aplikacja *high-voltage-killer* została napisana od początku z użyciem języka C++, a jej zasada działania jest identyczna, jak w przypadku pierwotnego rozwiązania w języku Python. W trakcie działania aplikacja łączy się ze wszystkimi dostępnymi zasilaczami oraz wszystkimi ich modułami w podłączonych w ramach połączenia łańcuchowego, po czym zeruje na nich napięcia. Dodatkowo, ze względu na wykorzystanie języka, który używany jest również w głównej aplikacji systemu ggss, możliwe było wykorzystanie obsługi zasilacza już istniejącej w ramach biblioteki *caenn1470-lib*. Co więcej stosowanie języka C++ pozwoliło na pozbycie się ostatniej zależności w projekcie do biblioteki *python-serial*, a zatem całkowite pozbycie się jej z projektu ggss.

4.5.6. Wdrożenie z użyciem automatyzacji Gitlab CI/CD

Aby uprościć proces wdrażania systemu ggss wykorzystano funkcjonalność wydań (ang. *release*) dostępną w ramach portalu Gitlab oraz częściowo opisaną w ramach sekcji 4.4. Przy każdorazowym utworzeniu wydania wszystkie pliki potrzebne do wprowadzenia do systemu docelowego, aby projekt ggss mógł być uruchomiony, dostępne są z panelu danego wydania.

Przygotowana w ten sposób infrastruktura pozwala bez większych problemów na szybkie uzyskanie wszystkich potrzebnych zasobów do uruchomienia projektu ggss, a cały proces jest znacznie uproszczony.

4.6. Rozwój infrastruktury do testowania warstwy sprzętowej (JC)

Niniejsza część pracy została poświęcona aspektowi testowania urządzeń fizycznych wykorzystywanych przez projekt ggss. Zostały omówione próby przygotowania infrastruktury pozwalającej na przeprowadzanie testów z ominięciem głównej aplikacji ggss oraz ostateczne rozwiązanie przyjęte przez autorów. Same testy aplikacji do testowania fizycznego sprzętu zostały opisane w ramach rozdziału 6.

4.6.1. Wprowadzenie do problematyki

Ze względu na to, że system ggss do działania wymaga sprzętu fizycznego ważne jest, aby przed uruchomieniem głównej aplikacji była możliwość sprawdzenia, czy sprzęt jest sprawny. System ggss nie może zostać uruchomiony na niepoprawnie skonfigurowanym sprzęcie, ponieważ może to doprowadzić do różnych konsekwencji jak na przykład trwale uszkodzenie sprzętu. Biorąc pod uwagę te wymogi w ramach systemu ggss istniały skrypty w języku Python oraz aplikacja w języku C++ służące do wykonywania akcji na sprzęcie fizycznym w celu jego weryfikacji.

4.6.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Rozwiązanie dotychczas stosowane w projekcie ggss posiadało wiele mankamentów. Największą jego wadą była dodatkowa zależność do biblioteki *python-serial*, która nie jest obecna w środowisku docelowym przez co w ramach instalacji pakietu projektu ggss konieczna była instalacja również tejże biblioteki. Dodatkowo kod źródłowy był mało czytelny, przez co ciężko było rozszerzyć możliwości skryptów, szczególnie w przypadku tych w języku Python. Co więcej skrypty te wymagały rozszerzeń ze względu na swoje niewielkie możliwości weryfikacji sprzętu.

Autorzy postanowili rozwiązać te problemy tworząc nowe skrypty służące testowaniu sprzętu fizycznego. Postawiono kilka celów, które te skrypty miały realizować. Po pierwsze najważniejszym założeniem było udostępnienie takiego interfejsu, który będzie pozwalał na możliwie jak najbardziej kompletne przetestowanie sprzętu znając jedynie komendy jakie ten sprzęt przyjmuje. Ważne, aby specjalista był w stanie sprawdzić dogłębnie działanie sprzętu bez potrzeby zaglądania w kod źródłowy skryptów służących do testowania. Kolejnym celem, który autorzy postanowili zrealizować, to zapewnić podobny interfejs w przypadku wszystkich przygotowanych aplikacji. Ostatnim z głównych celów było, w miarę możliwości, pozbycie się jak największej ilości zewnętrznych zależności.

Po głębszej analizie potrzeb i możliwości dotąd stosowanych aplikacji, autorzy zdecydowali się pozostawić aplikację do testowania *analizatora wielokanałowego* w stanie oryginalnym, a skupić się na aplikacjach, których zadaniem jest testowanie *zasilacza wysokiego napięcia* oraz

multiplexera. Opisowi zostały poddane jedynie te aplikacje oraz skrypty, które zostały napisane, bądź zmodyfikowane przez autorów.

4.6.3. Rozwiązanie oparte o język Python

W celu ułatwienia pracy ze sprzętem postanowiono przygotować prosty skrypt współpracujący z aplikacją *udevadm*, służącą do obsługi i pobieraniu informacji z systemu plików *udev*, którego zadaniem jest dynamiczna alokacja plików urządzeń. Celem wyżej wymienionego skryptu było automatycznie pobieranie informacji na temat podłączonych do komputera urządzeń wchodzących w skład projektu ggss. Proces ten odbywał się za pomocą analizowania metadanych dostarczanych w ramach działania aplikacji *udevadm*. Listing 4.13 przedstawia przykładowe działanie skryptu służącego do wykrywania sprzętu. Najważniejszą informację jaką uzyskujemy w ramach jego działania to ścieżki do plików urządzeń, które są parametrem wejściowym potrzebnym do działania, przygotowanych przez autorów, aplikacji do testowania sprzętu.

Listing 4.13. Przykład działania skryptu do automatycznego wykrywania podłączonego sprzętu

```
[jcierpic@host device-detector]$ python detect_all_devices.py
Detected following devices:
-----
High Voltage
-----
device_path:/dev/ttyUSB0
-----

-----
Multi Channel Analyzer
-----
device_path:/dev/vl718_1
device_path:/dev/vl718_0
-----

-----
Multiplexer
-----
serial:USBRM0104
device_path:/dev/ttyUSB2
serial:USBRM0103
device_path:/dev/ttyUSB1
-----
```

Przygotowane zostały również dwie aplikacje w języku Python. Jedna służąca do testowania multiplexera, a druga do testowania zasilacza wysokiego napięcia. Docelowo obie aplikacje miały oferować tryb interaktywny, w którym osoby pracujące nad systemem mogą wprowadzać wcześniej zdefiniowane komendy za pomocą wyżej wymienionych aplikacji, a wynik ich

działania byłby dostępny w ramach informacji zwrotnej. Ze względu na ograniczenia czasowe w ramach pierwszej implementacji jedynie aplikacja do testowania multipleksa oferowała taki tryb. Oprócz tego obie aplikacje oferowały zwykły tryb działania, tj.: wykonanie wcześniej zdefiniowanego zestawu komend oraz sprawdzenie poprawności ich wykonania i informacji zwrotnych od sprzętu.

Rozwiązanie utworzone przez autorów realizowało tylko kilka celów, które zostały postawione. Po pierwsze częściowo został zrealizowany cel pozwalający na dogłębne przetestowanie sprzętu fizycznego. Ze względu na tryb interaktywnu użytkownicy systemu byli w stanie sprawdzić działanie w różnych, wymyślonych przez siebie przypadkach. Dodatkowo nowo napisane aplikacje stosowały się do standardów co do tworzenia czystego, łatwo rozszerzalnego kodu stosowanych w branży programistycznej, dzięki czemu dodawanie nowych funkcjonalności nie sprawiało dużych problemów.

Nie udało się natomiast pozbyć zależności do zewnętrznej zależności, jaką była biblioteka *python-serial*. Co więcej interfejs obydwu aplikacji nie był jednolity, ze względu na brakujący tryb interaktywny aplikacji przeznaczonej do zasilacza wysokiego napięcia. W trakcie prac nad aplikacjami odkryto również, że logika odpowiedzialna za obsługę komend zasilacza wysokiego napięcia istnieje już w systemie w postaci bibliotek w języku C++. Ponowna implementacja w języku Python powodowała duplikowanie odpowiedzialności oraz znaczne zwiększenie kosztów utrzymania.

Z powodu wyżej wymienionych wad utworzonego rozwiązania postanowiono ponownie rozwiązać ten problem, tym razem z wykorzystaniem języka C++ oraz zastosowaniem jeszcze lepiej zaplanowanego interfejsu służącego testowaniu.

4.6.4. Rozwiązanie oparte o język C++

Tworząc rozwiązanie oparte o język C++ w pierwszej kolejności wykonano odpowiedni plan interfejsu użytkownika tak, aby był on jak najbardziej przyjazny i pozwalał na jak najlepsze przetestowanie sprzętu. Celem było stworzenie takiego interfejsu, aby od użytkownika wymagana była jedynie znajomość komend. W tym celu postanowiono, na wzór rozwiązania w języku Python, zaimplementować tryb interaktywny. Oprócz trybu interaktywnego zdecydowanie się również na tryb pozwalający na łatwą automatyzację procesu bez potrzeby każdorazowego wprowadzania komend do aplikacji. W ramach wypracowanego rozwiązania postanowiono dodać do aplikacji tryb scenariuszowy. Pozwala on na wykonanie wcześniej zdefiniowanych komend w ramach scenariuszów zdefiniowanych w zewnętrznym pliku scenariuszowym. W celu osiągnięcia jak największej czytelności zdecydowano się zastosować format zbliżony do dobrze znanego formatu *YAML*. Listing 4.14 przedstawia przykładowy plik scenariuszowy z dwoma scenariuszami. Każdy ze scenariuszy składa się z kilku osobnych komend. Widoczne są również komentarze, których wsparcie dodano w celu zmniejszenia progu wejściowego dla osób, które dopiero zaczynają korzystać z tego rozwiązania.

Listing 4.14. Przykładowy scenariusz w formacie zbliżonym do *YAML*

```

SetAndCheckActiveChannelsScenario:
- getsn          # Get serial number
- setgetch 0     # Switch to channel 0 and check
- setgetch 1     # Switch to channel 1 and check
- setgetch 2     # Switch to channel 2 and check
- setgetch 3     # Switch to channel 3 and check
- setgetch 4     # Switch to channel 4 and check
- setgetch 5     # Switch to channel 5 and check
- setgetch 6     # Switch to channel 6 and check
- setgetch 7     # Switch to channel 7 and check
- setgetch 8     # Switch to channel 8 and check

ReadSerialNumberAndActiveChannelScenario:
- getsn          # Get serial number
- getch          # Get current channel

```

Logika obsługi plików scenariuszowych została zawarta w ramach biblioteki *scenario-lib*. Korzystają z niej dwie aplikacje to testowania sprzętu, tj.: *high-voltage-service-app* oraz *multiplexer-service-app*. Interfejs tych aplikacji jest możliwie zbliżony do siebie. Objawia się to między innymi w argumentach wejściowych obydwu aplikacji. Następne parametry są dla nich wspólne:

- `--help` - wyświetla opis wszystkich parametrów wejściowych oraz aplikacji
- `--dev-port` - ścieżka do pliku urządzeń, które odpowiada testowanemu sprzętowi
- `--scenario-file` - ścieżka do pliku ze scenariuszami
- `--scenarios` - nazwy scenariuszy z wcześniej wskazanego pliku scenariuszowego, które mają zostać uruchomione

Parametry `--scenario-file` oraz `--scenarios` są opcjonalne. W przypadku ich podania aplikacje są uruchamiane w trybie scenariuszowym, w przeciwnym wypadku w trybie interaktywnym. Ze względu na specyfikę sprzętu aplikacja *high-voltage-service-app* wymaga również podania, jako argument wejściowy, ilości modułów w połączeniu łańcuchowym (ang. *daisy chain*) - argument `--dev-modules`.

Komendy wspierane przez aplikację *multiplexer-service-apps* są następujące:

- `getsn` - pobranie numeru seryjnego
- `setch <numer kanału>` - pozwala na ustawienie aktywnego kanału
- `getch` - pobranie aktywnego kanału
- `setgetch` - ustawienie aktywnego kanału, a następnie pobranie w celu weryfikacji

W przypadku aplikacji *high-voltage-service-app* wspierane są wszystkie komendy, które wspiera biblioteka *hvcommand-lib*, a zatem wszystkie komendy możliwe do wykonania na zasilaczu. Oprócz wspierania samych komend wyżej wymieniona aplikacja pozwala na ich wykonanie w różnych trybach:

- zwykły - wykonanie komendy i wyświetlenie odpowiedzi

- asercji - wykonanie komendy i porównanie odpowiedzi do zadanej wartości. Komenda ta wspiera akcje jedynie na jednym elemencie zasilacza, czyli wynikiem działania musi być jedna wartość. W celu skorzystania z tego trybu należy poprzedzić komendę słowem kluczowym `assert`, a jako przyrostek wpisać oczekiwaną wartość
- asersji z tolerancją - tryb ten działa dokładnie, jak wyżej opisany tryb asercji, natomiast poza oczekiwaną wartością należy podać również wartość parametru tolerancji.

Dodatkowo wspierana jest również komenda `sleep`. W przypadku obsługi zasilacza wysokiego napięcia wymagane jest odczekanie pewnego okresu czasu zanim ustawione wartości pojawią się na wyjściu zasilacza. Przykładowe działanie wyżej przedstawionych aplikacji zostanie przedstawione w ramach przeprowadzonych testów, które zostały opisane w ramach rozdziału 6.

4.6.5. Podsumowanie

Ostatecznie utworzone rozwiązanie testowania sprzętu fizycznego wykorzystywanego przez projekt ggss spełniło wszystkie zakładane przez autorów cele. Z powodzeniem pozbyto się zależności do biblioteki zewnętrznej *python-serial*. Napisane przez autorów aplikacje cechują się w miarę uwspólnionym interfejsem, a od użytkowników wymagana jest jedynie znajomość komend. Możliwe jest dogłębne przetestowanie urządzeń korzystając z trybu interaktywnego, a zautomatyzowanie tego procesu możliwe jest przy użyciu scenariuszy. Co więcej tryb scenariuszowy pozwala na zmianę działania automatycznego sprawdzania poprawności sprzętu bez potrzeby modyfikowania samych aplikacji, czy też ich ponownej kompilacji. Wystarczy jedynie napisać nowy scenariusz i podać go jako parametr wejściowy.

5. Prace nad kodem źródłowym projektu (AK)

Niniejszy rozdział stanowi opis wprowadzonych przez autorów zmian w kodzie źródłowym aplikacji *ggss-runner*, stanowiącej trzon warstwy oprogramowania systemu GGSS. Opis poszczególnych modyfikacji poprzedzony został krótkim wprowadzeniem, opisującym wysokopoziomowe działanie omawianego programu oraz wynikające z jego specyfiki ograniczenia i założenia. Omówienie wprowadzonych zmian podzielone zostało na dwie części. W pierwszej z nich przedstawione zostały modyfikacje nie mające wpływu na sposób działania aplikacji, ale poprawiające jakość jej kodu źródłowego, np. poprzez jego migrację do nowszego standardu języka C++. Druga część stanowi natomiast opis nowych funkcjonalności oraz rozszerzeń wprowadzonych przez autorów do projektu.

5.1. Analiza aplikacji *ggss-runner*

5.2. Specyfika i metodyka pracy

Rozwój systemu działającego przez wiele lat w dedykowanym środowisku produkcyjnym, charakteryzującego się bardzo wysoką niezawodnością, wymagał od autorów dostosowania sposobu pracy w taki sposób, by wprowadzone zmiany nie miały negatywnego wpływu na jakość działania projektu. Wprowadzanie udoskonaleń w powstałym przed laty kodzie źródłowym niesie ze sobą dodatkowe wyzwania, wynikające m.in. ze sposobu, w jaki oryginalnie zaprojektowany został system (brak ogólnie przyjętych dziś praktyk programistycznych). Dlatego też pracując nad aplikacją *ggss-runner*, autorzy zdecydowali się na przyjęcie szeregu ograniczeń i praktyk, mających na celu ułatwienie pracy z jej kodem źródłowym oraz utrzymanie jej wysokiej niezawodności, m.in. poprzez wczesne wykrywanie błędów. Należą do nich m.in.: wymóg przygotowywania testów jednostkowych (uruchamianych automatycznie w ramach procesu ciągłej integracji) dla każdego modyfikowanego lub tworzonego modułu projektu, dla którego było to możliwe, ograniczenie zakresu wprowadzanych zmian oraz wymóg, by każda wprowadzana zmiana, przed jej dołączeniem do gałęzi głównej danego modułu, poddawana była inspekcji wykonywanej przez pozostałych członków zespołu (tzw. *code review*).

5.2.1. Testy jednostkowe

Celem testów jednostkowych jest sprawdzenie poprawności działania pojedynczego elementu systemu, rozumianego jako implementacja określonej funkcjonalności wchodzącej w skład logiki biznesowej projektu. Mówiąc inaczej, celem testów jednostkowych jest sprawdzenie zachowania testowanego komponentu (mogącego być, w zależności od konkretnego przypadku, pojedynczą funkcją, klasą czy też całym modułem), nie zaś weryfikacja szczegółów implementacyjnych. Powinny być one przygotowywane w ten sposób, by możliwe było ich automatyczne uruchomienie w celu weryfikacji każdej wprowadzanej przez programistę zmiany (np. po umieszczeniu nowej rewizji w portalu GitLab).

Autorzy zdecydowali się na przygotowywanie testów jednostkowych dla każdego modyfikowanego komponentu wchodzącego w skład aplikacji *ggss-runner*, dla którego istniała taka możliwość. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie, w jaki sposób działał dany element projektu przed wprowadzeniem poprawek lub rozszerzeń, oraz czy dokonanie modyfikacji nie skutkowało nieoczekiwaną zmianą sposobu jego funkcjonowania. Projekt w swojej pierwotnej wersji nie posiadał żadnego zautomatyzowanego systemu testowania, a zatem konieczne było wprowadzenie go od podstaw (zarówno na poziomie systemu budowania, ciągłej integracji i dostarczania, jak i na poziomie kodu źródłowego). Motywacją do zastosowania tego typu podejścia był wymóg zachowania niezawodności aplikacji *ggss-runner* oraz fakt, iż testy jednostkowe stanowią wspólnie szeroko stosowaną praktykę.

W celu tworzenia testów jednostkowych autorzy wykorzystali bibliotekę *Boost.Test*. Pozwala ona dokonywać sprawdzeń takich jak porównanie wartości zwracanej przez funkcję do warto-

ści oczekiwanej czy weryfikacja rzucenia określonego typu wyjątku. Biblioteka ta oferuje zatem podstawowe funkcjonalności pozwalające na testowanie projektu, jednakże z punktu widzenia systemu GGSS jest ona wystarczająca. Jej dodatkową zaletą, istotną z punktu widzenia przyjętych podczas prac nad projektem ograniczeń, brak konieczności wprowadzania dodatkowych zewnętrznych zależności, ponieważ aplikacja *ggss-runner* korzystała już w swojej pierwotnej wersji z pakietu Boost.

Na listingu 5.1 przedstawione zostały dwa przykładowe testy jednostkowe przygotowane przez autorów podczas prac nad projektem. Testom poddawany jest wchodzący w skład biblioteki *fifo-lib* szablon klasy `QueueLimited`, którego zadaniem jest implementacja generycznej kolejki o określonym rozmiarze, po przekroczeniu którego usunięty zostaje najstarszy znajdujący się w niej element (funkcjonalność ta wykorzystywana jest w aplikacji *ggss-runner* do przechowywania wyników kilku ostatnich pomiarów wykonanych za pomocą danego detektora słomkowego). Ponieważ celem przykładu jest zaprezentowanie mechanizmu testów jednostkowych, nie zaś sposobu działania testowanej kolejki, przedstawione na nim zostały bardzo proste sprawdzenia. Testy weryfikują, czy utworzona za pomocą domyślnego konstruktora struktura nie posiada żadnych elementów oraz czy próba pobrania elementu z pustej kolejki zakończy się rzuceniem wyjątku.

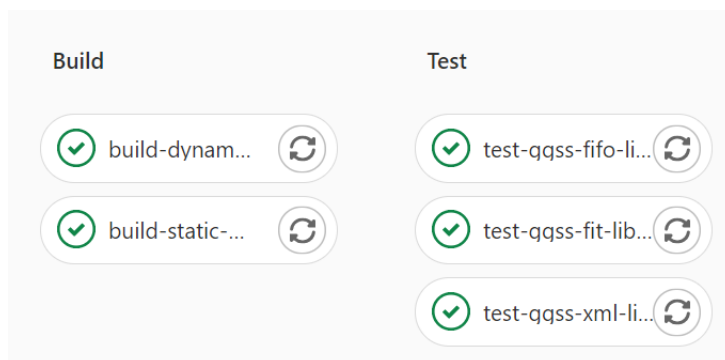
Listing 5.1. Przykład stworzonych na potrzeby projektu GGSS testów jednostkowych, weryfikujących poprawność działania podstawowych operacji wykonywanych na testowanym komponencie - w tym przypadku jest to szablon klasy implementującej kolejkę o ograniczonym rozmiarze.

```
/**
 * \brief Checks if the container created using default constructor is empty.
 */
BOOST_AUTO_TEST_CASE(testIfEmptyContainerIsCreatedWhenUsingDefaultConstructor)
{
    QueueLimited<int> queue{};
    BOOST_CHECK_EQUAL(queue.empty(), true);
    BOOST_CHECK_EQUAL(queue.size(), 0);
    BOOST_CHECK_EQUAL(queue.full(), false);
}

/**
 * \brief Checks if proper exception is thrown when performing pop() operation
 *        on empty container.
 */
BOOST_AUTO_TEST_CASE(testIfExceptionIsThrownWhenTryingToPopFromEmptyContainer)
{
    QueueLimited<int> queue{};
    BOOST_CHECK_THROW(queue.pop(), QueueLimited<int>::ReadEmptyQueueException)
}
```

W przypadku pierwszego z zaprezentowanych testów widoczne jest zastosowanie konstrukcji `BOOST_CHECK_EQUAL`, sprawdzającej równość przekazanych do niej argumentów, co pozwala zweryfikować, że rozmiar utworzonej w domyślny sposób kolejki jest równy 0. W przypadku drugiego testu zastosowane zostało makro `BOOST_CHECK_THROW` pozwalające zweryfikować, czy wykonanie przekazanego kodu powoduje wyrzucenie określonego typu wyjątku (tutaj: `QueueLimited<int>::ReadEmptyQueueException`). Oczywiście zaprezentowany przykład nie wyczerpuje możliwości oferowanych przez zastosowaną bibliotekę, takich jak tworzenie wspólnych dla wielu testów konfiguracji (tzw. *test fixtures*), pozwalających m.in. na zdefiniowanie pewnego stanu początkowego.

Jak wspomniano, zaletą testów jednostkowych jest możliwość wykonywania ich automatycznie, np. podczas wdrażania nowej rewizji w zdalnym repozytorium. Przykładem tego typu funkcjonalności jest technologia GitLab CI/CD, wspierająca proces ciągłej integracji i dostarczania. Mechanizm CI/CD zintegrowany został z projektem GGSS w ramach przygotowanej przez autorów pracy inżynierskiej (obejmował wtedy przede wszystkim proces automatycznego budowania poszczególnych komponentów systemu) oraz rozbudowany o możliwość wykonywania automatycznych testów w ramach niniejszej pracy magisterskiej. Rysunek 5.1 przedstawia graficzną reprezentację procesu ciągłej integracji i dostarczania (tzw. *pipeline*) zdefiniowanego dla wchodzącego w skład projektu repozytorium *ggss-software-libs*. Zaprezentowany w tym przypadku proces składa się z dwóch etapów (ang. *stages*), z czego drugi stanowi nowość wprowadzoną w ramach niniejszej pracy - wykonanie testów jednostkowych.



Rys. 5.1. Graficzna reprezentacja przebiegu procesu ciągłej integracji i dostarczania zdefiniowanego dla repozytorium *ggss-software-libs*. Przeprowadzane działania podzielone zostały na dwa etapy, z czego drugi (*Test*) odpowiada za automatyczne wykonanie znajdujących się w projekcie testów jednostkowych.

Z punktu widzenia testów jednostkowych interesujący jest problem weryfikacji działania komponentów posiadających zależności, których działanie może być różne w zależności od środowiska, w jakim uruchamiane są testy. Przykładem tego typu modułu może być biblioteka implementująca obsługę zasilaczy wysokiego napięcia z wykorzystaniem komponentu odpowiedzialnego za komunikację przy pomocy portu szeregowego. W zależności od tego, czy wspomniany zasilacz jest dostępny w środowisku testowym, zachowanie modułu odpowiedzialnego za

komunikację będzie inne (zakończy się ona powodzeniem, lub też nie). W tym przypadku często stosowaną metodą jest wykorzystywanie tzw. atrap obiektów (ang. *mock object*), mających na celu kontrolowane przez programistę symulowanie działania rzeczywistego obiektu. Z punktu widzenia aplikacji *ggss-runner* zastosowanie tego podejścia było jednak w dużym stopniu problematyczne. Pierwszym powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, iż wykorzystywana biblioteka *Boost.Test* nie oferuje funkcjonalności wspierających tego typu metodyki testowania. Ponadto wymagają one tworzenia systemu w taki sposób, by możliwe było zastąpienie problematycznego obiektu jego atrapą - zwykle wykorzystuje się w tym celu wzorzec wstrzykiwania zależności (ang. *dependency injection*) oparty o mechanizm polimorfizmu. System GGSS nie był jednak tworzony w sposób umożliwiający łatwe stosowanie tego wzorca, a jednocześnie przepisanie go w taki sposób wymagałoby bardzo znaczących nakładów pracy. Dlatego też zdecydowano się nie stosować w implementowanych testach podejścia opartego o atrapy. Nie miało to jednak znaczącego wpływu na możliwość implementacji testów automatycznych - problem pojawił się jedynie w przypadku jednego komponentu, odpowiedzialnego za obsługę wspomnianych zasilaczy. W tym konkretnym przypadku testy automatyczne zastąpione zostały bardzo szczegółowymi testami manualnymi w środowisku docelowym.

5.2.2. Zakres wprowadzanych zmian

Istotnym ograniczeniem przyjętym przez autorów podczas wykonywania prac nad projektem było ograniczenie zakresu możliwych do wprowadzenia zmian. Wprowadzanie zmian i nowych funkcjonalności do istniejącego systemu możliwe jest na wiele sposobów, w tym poprzez:

- pracę z istniejącą architekturą systemu, dostosowując do niej sposób implementacji wprowadzanych zmian
- przepisanie projektu (pełne lub dotyczące jedynie wybranych komponentów) na nową, nowocześniejszą architekturę

Ze względu na fakt, iż jednym ze stawianych przed systemem GGSS wymogów jest jego wysoka niezawodność, a ponadto charakteryzuje się on znaczącym poziomem skomplikowania (do jego pełnego zrozumienia wymagana jest wiedza domenowa z zakresu fizyki wykraczająca poza zakres niniejszej pracy) zdecydowano się postępować zgodnie z pierwszym z wymienionych podejść. Dlatego też wprowadzane przez autorów modyfikacje miały przede wszystkim charakter niewielkich, zwykle zamykających się w obrębie jednego lub dwóch modułów, zmian mających udoskonalić sposób działania systemu.

5.2.3. Przyjęte ograniczenia

Poza do tej pory wspomnianymi, podczas prac nad rozwojem systemu GGSS autorzy stosowali szereg pomniejszych ograniczeń. Jednym z nich był brak możliwości wprowadzania do projektu jakichkolwiek nowych zależności zewnętrznych, aby nie komplikować sposobu jego bu-

dowania i dystrybucji. Ponadto istotnym było zachowanie zgodności projektu ze środowiskiem docelowym oraz zachowanie wstecznej kompatybilności z wcześniejszymi wersjami aplikacji *ggss-runner*. Ostatni w wymienionych wymogów w sposób znaczący wpływał na sposób, w jaki implementowane były niektóre z nowych funkcjonalności - np. jeśli wprowadzony do aplikacji algorytm wymagał znajomości zdefiniowanej w pliku konfiguracyjnym wartości, nieobecnej tam w pierwotnej wersji projektu, to implementacja powinna przewidywać brak takiego parametru (np. poprzez zdefiniowanie wartości domyślnej). Ostatnim istotnym ograniczeniem był sposób, w jaki nowe zmiany integrowane mogły być z główną gałęzią danego modułu - wymagało to wykonania, przez innego niż osoba dokonująca zmian członka zespołu, inspekcji wprowadzonych modyfikacji.

5.3. Poprawa jakości kodu źródłowego

Niniejsza część pracy opisuje wybrane zmiany dokonane przez autorów w celu zwiększenia jakości kodu źródłowego wchodzącego w skład aplikacji *ggss-runner* i wszystkich jej zależności. Opisane tu zmiany wykonywane były przede wszystkim w początkowym etapie prowadzonych prac, a ich celem, poza poprawą błędów czy unowocześnieniem kodu źródłowego, było umożliwienie autorom dokładnego zapoznania się ze strukturą projektu oraz zrozumienie zasady działania poszczególnych jego modułów oraz systemu jako całości. Proces wprowadzania do projektu opisanych modyfikacji wspomagany był przez wykorzystanie omówionych we wstępie teoretycznym narzędzi służących do przeprowadzania statycznej analizy kodu źródłowego.

5.3.1. Migracja do standardu C++11

Jednym z celów niniejszej pracy była modernizacja kodu źródłowego aplikacji *ggss-runner* poprzez przeprowadzenie jego migracji do standardu C++11, będącego najnowszym dostępnym w ramach wykorzystywanej infrastruktury wydaniem języka C++. Zastosowanie nowszego standardu miało na celu zwiększenie czytelności i bezpieczeństwa kodu źródłowego oraz wyeliminowanie, tam gdzie było to możliwe, zależności od bibliotek zewnętrznych, takich jak Boost. Przeprowadzone zmiany nie mogły stanowić jednak pełnej migracji - wynika to przede wszystkim z ograniczeń środowiska docelowego (stosowany tam kompilator nie wspiera standardu w pełni, np. nie jest możliwe poprawne wykorzystanie nagłówka `<regex>`) oraz brak odpowiedników niektórych oferowanych przez Boost funkcjonalności, takich jak mechanizm slotów i sygnałów, w bibliotece standardowej.

Wprowadzane modyfikacje miały w większości charakter niewielkich, lokalnych zmian, niewywierających znaczącego wpływu na funkcjonalności implementowane przez poszczególne moduły projektu. Autorzy wprowadzili różnego typu usprawnienia w niemal każdym komponencie systemu, przez co niemożliwym jest zawarcie w pracy zestawienia prezentującego wszystkie poprawki. Dlatego też zdecydowano się na zaprezentowanie, w kolejnych akapitach niniejszej części

manuskryptu, jedynie wybranego podzbioru wprowadzonych zmian, wzbogacając opis o przykłady w postaci fragmentów kodu pochodzących bezpośrednio z projektu.

Jedną z najczęściej wprowadzanych modyfikacji było zastąpienie jawnie wykorzystującej mechanizm iteratorów pętli `for` jej zakresowym odpowiednikiem. Zmiana ta, pomimo swojej prostoty, pozwala w sposób znaczący zredukować poziom skomplikowania niewielkiego fragmentu kodu. Pochodzący z biblioteki *gss-lib* przykład takiej zmiany zawarty został na listingach 5.2 (wersja oryginalna) oraz 5.3 (wersja po wprowadzeniu modyfikacji). Wynikowy fragment kodu jest krótszy, dzięki czemu pracującemu z nim programiście łatwiej skupić się na implementowanej logice biznesowej. Zastosowanie słowa kluczowego `auto` pozwoliło ponadto uniknąć jawnego specyfikowania typu, na jakim wykonywane są operacje.

Listing 5.2. Fragment kodu źródłowego przed wprowadzeniem zmian: przykład zastosowania pętli `for` wykorzystującej w sposób jawny pochodzący ze standardowej biblioteki szablonów mechanizm iteratorów.

```
for(ChannelDatas::iterator i = m_ChannelDataHandlers.begin();
    i != m_ChannelDataHandlers.end();
    ++i)
{
    i->second->highVoltage = 0.0;
}
```

Listing 5.3. Fragment kodu źródłowego po wprowadzeniu zmian: przykład zastosowania zakresowej pętli `for` oraz słowa kluczowego `auto` w celu zwiększenia czytelności oraz skrócenia fragmentu kodu zaprezentowanego na listingu 5.2.

```
for(auto& channelDataHandler: m_ChannelDataHandlers)
{
    channelDataHandler.second->highVoltage = 0.0;
}
```

Ponadto zastąpiono znane z języka C typy wyliczeniowe (`enum`) ich nowocześniejszym odpowiednikiem - silnymi typami wyliczeniowymi (`enum class/struct`). Na listingu 5.4 zamieszczony został pochodzący z biblioteki *log-lib* fragment kodu, przedstawiający wykorzystanie starszej konstrukcji. Jej zastosowanie wiąże się z szeregiem wad, m.in. nie definiuje ona nowego zakresu, przez co zawarte w niej nazwy mogą potencjalnie tworzyć konflikt np. z innym typem wyliczeniowym. Znane z języka C rozwiązanie pozwala zatem na stosowanie zapisu `int x = trace` - tzn. nie jest konieczne wyspecyfikowanie nazwy typu wyliczeniowego. Przedstawiony przykład obrazuje jeszcze jedną niedogodność związaną z wykorzystywaniem typów wyliczeniowych - możliwość przeprowadzania niejawnych konwersji do typu całkowitoliczbowego, by np. wykorzystać go w formie indeksu tablicy. Pomimo, że daje to programiście dodatkowe możliwości, to komplikuje tworzony kod poprzez dodanie do niego niewidocznych na pierwszy rzut oka przekształceń, co w wielu przypadkach uważane jest za złą praktykę, ponieważ jest sprzeczne z ideą tzw. *samodokumentującego się kodu*.

Listing 5.4. Fragment kodu źródłowego przed wprowadzeniem zmian: przykładowe wykorzystanie typu wyliczeniowego - widoczna możliwość dokonania niejawnej konwersji do typu całkowitoliczbowego.

```
enum SeverityLevel : char
{
    trace, audit, debug, info,
    warning, error, fatal
};

// przykład wykorzystania: niejawna konwersja do wartości całkowitoliczbowej
// w celu użycia jako indeks tablicy
SeverityLevel level = manip.get();
stream << severityLevelStrings[level];
```

Listing 5.5 przedstawia analogiczny fragment kodu, wykorzystujący silne typy wyliczeniowe. W stosunku do poprzedniego przykładu, w tym przypadku jawnie przypisano oczekiwane wartości do każdego z wystąpień w wyliczeniu - dzięki temu stosowanie ich jako indeksów tablicy jest bezpieczniejsze. Ponadto konieczna jest jawna konwersja do typu całkowitoliczbowego, wykonana za pomocą operatora `static_cast`. Stosując silne typy wyliczeniowe programista nie stwarza możliwości wystąpienia konfliktu nazw, ponieważ definiują one nowy zakres. Zatem, by uzyskać wartość liczbową, należy wykonać operację

```
int x = static_cast<int>(SeverityLevel::trace).
```

Listing 5.5. Fragment kodu źródłowego po wprowadzeniu zmian: wykorzystanie silnego typu wyliczeniowego, uniemożliwiającego niejawną konwersję do typu całkowitoliczbowego.

```
enum class SeverityLevel : char
{
    trace = 0, audit = 1, debug = 2, info = 3,
    warning = 4, error = 5, fatal = 6
};

// przykład wykorzystania: konieczne zastosowanie jawnej konwersji do
// typu całkowitoliczbowego (za pomocą static_cast)
const SeverityLevel& severityLevel = manip.get();
stream << severityLevelStrings[static_cast<int>(severityLevel)];
```

Autorzy zdecydowali się ponadto na wyeliminowanie z kodu źródłowego przestarzałych konstrukcji i zastąpienie ich odpowiednikami dostarczonymi przez standard C++11. Przykładem tego typu modyfikacji było zastąpienie, w kontekście tzw. dynamicznej specyfikacji wyjątków, słowa kluczowego `throw` za pomocą specyfikatora `noexcept`. Celem stosowania tych konstrukcji jest wskazanie intencji programisty na temat tego, czy stworzona funkcja może (pośrednio lub bezpośrednio) rzucić wyjątek. Pozorną zaletą specyfikatora `throw` była ponadto możliwość zawarcia w kodzie informacji na temat typów rzucanych przez funkcję wyjątków. W rzeczywistości jednak stosowanie go ograniczało możliwości rozszerzania i modyfikacji kodu, ponieważ

mogło spowodować krytyczny błąd w działaniu programu - jeśli rzucony został wyjątek inny, niż zostało zadeklarowane, to wykonanie programu było przerywane. Z tego też powodu jedynym stosunkowo bezpiecznym sposobem na wykorzystanie tej konstrukcji było wyspecyfikowanie, czy dana funkcja rzuca jakiegokolwiek wyjątki. Ta sama funkcjonalność możliwa jest do uzyskania z wykorzystaniem wprowadzonego w standardzie C++11 specyfikatora `noexcept` - pozwala on zawrzeć w deklaracji funkcji binarną informację na temat możliwości wyrzucenia wyjątku, a ponadto wspiera możliwość jej ewaluacji w czasie kompilacji. Przykład zastosowania zawarty został na pochodzącym z biblioteki *caenn1470-lib* listingu 5.6.

Listing 5.6. Przykład zastosowania specyfikatora `noexcept` w kodzie projektu GGSS w celu zadeklarowania, że zaprezentowana metoda nie powinna rzucać wyjątków.

```
const char* what() const noexcept override
{
    return m_message.c_str();
}
```

Standard C++11 wprowadza ponadto możliwość stosowania tzw. domyślnej inicjalizacji składowych (ang. *default member initialization*), co pozwala nadawać domyślne wartości niestacycznym polom klasy, dzięki czemu możliwe jest uproszczenie istniejących w projekcie klas, np. poprzez likwidację niektórych konstruktorów. Na listingu 5.7 przedstawiona została uproszczona (pominięte zostały niektóre pola) struktura `CaenHVParams`, pochodząca z biblioteki *caenhv-lib* w wersji zgodnej ze standardem C++03. Widoczny jest zdefiniowany w klasie konstruktor, którego celem jest nadanie wartości składowym tworzonego obiektu, zarówno za pomocą listy inicjalizacyjnej, jak i znajdującej się w jego ciele pętli `for`.

Listing 5.7. Fragment kodu źródłowego przed wprowadzeniem zmian: inicjalizacja niestacycznych składowych struktury za pomocą konstruktora.

```
struct CaenHVParams
{
public:
    CaenHVParams() : ramp(0), maxError(3)
    {
        for(unsigned i = 0; i < 4; ++i)
        {
            a[i] = 1.0;
            b[i] = 0.0;
        }
    }
    double ramp;
    double maxError;
    double a[4];
    double b[4];
};
```

Na listingu 5.8 zaprezentowany został natomiast analogiczny kod napisany z wykorzystaniem standardu C++11. Wynikowa struktura jest znacznie prostsza od swojej pierwotnej wersji, przede wszystkim za sprawą zastąpienia inicjalizacji składowych na poziomie konstruktora przez inicjalizację domyślną. Ponadto w swojej finalnej postaci struktura znacznie lepiej dokumentuje swoje przeznaczenie - jest to prosty, nieposiadający żadnych metod implementujących logikę, agregat.

Listing 5.8. Fragment kodu źródłowego po wprowadzeniu zmian: zastosowanie domyślnej inicjalizacji niestatycznych składowych struktury.

```
struct CaenHVParams
{
    double ramp{0.0};
    double maxError{3.0};
    double a[4] {1.0, 1.0, 1.0, 1.0};
    double b[4] {0.0, 0.0, 0.0, 0.0};
};
```

Zaprezentowane do tej pory zmiany stanowią oczywiście jedynie wybrany podzbiór wykonanych przez autorów modyfikacji. Poza do tej pory opisanymi, wykonane zostały inne przekształcenia mające na celu migrację kodu źródłowego do standardu C++11, m.in.:

- zastosowanie słowa kluczowego `override` w celu jawnego zadeklarowania, że metoda znajdująca się w klasie pochodnej przeciąża metodę z klasy bazowej - pozwala to wykrywać na etapie kompilacji błędy związane z nieprawidłową implementacją polimorfizmu, takie jak zmiana sygnatury metody w klasie bazowej przy jednoczesnym niewykonaniu tej czynności w klasie pochodnej
- zastosowanie słowa kluczowego `final` w celu zabronienia dziedziczenia lub przeciążania metod w przypadku modułów, które nie były projektowane z myślą o polimorfizmie
- zastąpienie opartej o pakiet Boost (m.in. `boost::assign`) inicjalizacji kontenerów wchodzących w skład biblioteki standardowej za pomocą rozwiązań oferowanych przez standard C++11 (jednolita inicjalizacja i konstruktory oparte o `std::initializer_list`)
- zastąpienie, tam gdzie było to możliwe, znanych z języka C tablic za pomocą kontenera `std::array`
- zastąpienie przygotowanych na potrzeby systemu GGSS funkcji, takich jak wykonująca konwersję typu liczbowego do łańcucha znaków funkcja pomocnicza `toString`, za pomocą rozwiązań standardowych (np. `std::to_string`)
- zastosowanie semantyki przenoszenia i referencji do r-wartości
- zastąpienie słowa kluczowego `typedef` za pomocą słowa `using`

5.3.2. Naprawa błędów w kodzie źródłowym

Kod źródłowych wchodzący w skład warstwy oprogramowania systemu GGSS od początku prac charakteryzował się bardzo wysoką poprawnością - zawierał tak naprawdę jedynie niewielką liczbę niezagrażających działaniu systemu niedociągnięć. Celem autorów była poprawa działania tych fragmentów kodu, w których udało się zlokalizować wszelkiego typu niedoskonałości.

Przeważająca część znajdowanych przez autorów, zarówno podczas oględzin kodu, jak i testów systemu w środowisku docelowym, błędów dotyczyła nietypowych scenariuszy, nie mających miejsca w czasie regularnego działania projektu. Bardzo często odnajdywane niedoskonałości związane były ze stosowaniem w projekcie mechanizmem wielowątkowości - ich naprawa sprowadzała się zwykle do przeprowadzenia szczegółowych testów mających na celu identyfikację przyczyny i dokładnego miejsca występowania problemu oraz wprowadzenia niewielkiej poprawki (np. poprzez wykorzystanie dodatkowej zmiennej pomocniczej lub instrukcji warunkowej) w odpowiednim miejscu kodu źródłowego. Jednym z przykładów tego typu błędów była sytuacja, w której użytkownik próbował zmienić kolejność, w jakiej dokonywany jest pomiar za pomocą poszczególnych detektorów słomkowych, w trakcie trwania takiego pomiaru. W odpowiednich warunkach mogło to doprowadzić do sytuacji, w której zebrane dane przypisywane były do nieprawidłowego detektora. Dla przykładu, jeśli system skonfigurowany był w taki sposób, że pomiary dokonywane były kolejno dla detektorów o numerach 1, 3, 6, 2, a użytkownik, podczas pomiaru na detektorze 3 dokonał zmiany kolejności na 1, 4, 5, 2, to wynik pomiaru wykonanego za pomocą detektora 3 przypisywany był detektorowi o numerze 4. Ponieważ rozwiązywanie tego typu problemów wymagało przede wszystkim znajomości trudnych do przedstawienia w pracy magisterskiej detali dotyczących implementacji poszczególnych funkcjonalności systemu GGSS, autorzy zdecydowali się nie prezentować w niniejszym manuskrypcie szczegółów postępowania w tego typu przypadkach.

Zadaniem autorów było ponadto diagnozowanie i naprawianie usterek związanych niepoprawną implementacją algorytmów wchodzących w skład projektu. Podczas prac nad kodem źródłowym aplikacji *ggss-runner* zidentyfikowany został jeden tego typu problem, związany z działaniem odpowiedzialnej za przetwarzanie plików konfiguracyjnych systemu GGSS biblioteki *xml-lib*.

5.3.3. Likwidacja nieużywanych fragmentów kodu źródłowego

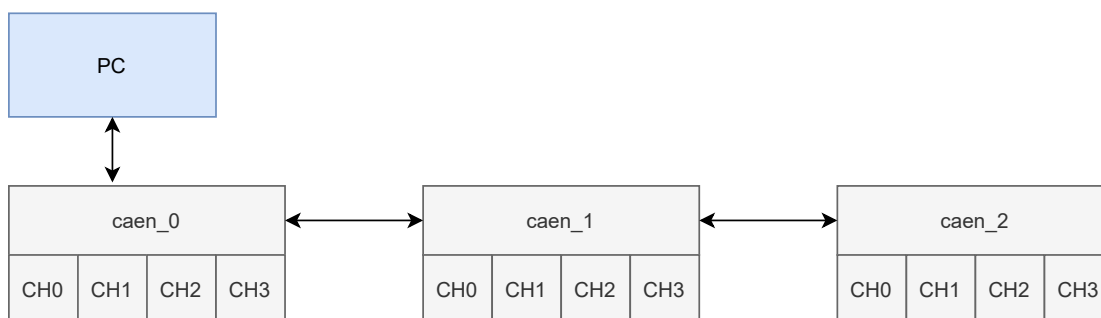
5.3.4. Pozostałe zmiany i podsumowanie

5.4. Rozszerzenie możliwości aplikacji

Zadaniem autorów, poza poprawą działania i jakości systemu GGSS, było wzbogacenie go o nowe funkcjonalności. W tej części pracy przedstawiony został szczegółowy opis najważniejszych rozszerzeń wprowadzonych przez autorów do aplikacji *ggss-runner*.

5.4.1. Obsługa zaawansowanych komend dla zasilaczy wysokiego napięcia

Jednym z zadań systemu GGSS jest komunikacja z zasilaczami wysokiego napięcia w celu monitorowania oraz modyfikacji ich parametrów. W swojej aktualnej postaci projekt wykorzystuje trzy czterokanałowe zasilacze CAEN N1470, których zadaniem jest dostarczanie zasilania do słomkowych liczników proporcjonalnych. Urządzenia podłączone są do głównego komputera łańcuchowo (ang. *daisy chain*), tzn. pierwszy zasilacz podłączony jest do niego bezpośrednio, a każdy kolejny łączony jest z poprzednim (rys. 5.2). Komunikacja z urządzeniami odbywa się poprzez port szeregowy, za pomocą specjalnych komend, których składnia określona została przez producenta.



Rys. 5.2. Łańcuchowe połączenie trzech czterokanałowych zasilaczy wysokiego napięcia z komputerem. Za pomocą kwadratów z oznaczeniem `CH<N>` przedstawiono kanały każdego z urządzeń. Nazwy poszczególnych modułów zostały, na potrzeby przykładu, uproszczone względem tych stosowanych w systemie GGSS.

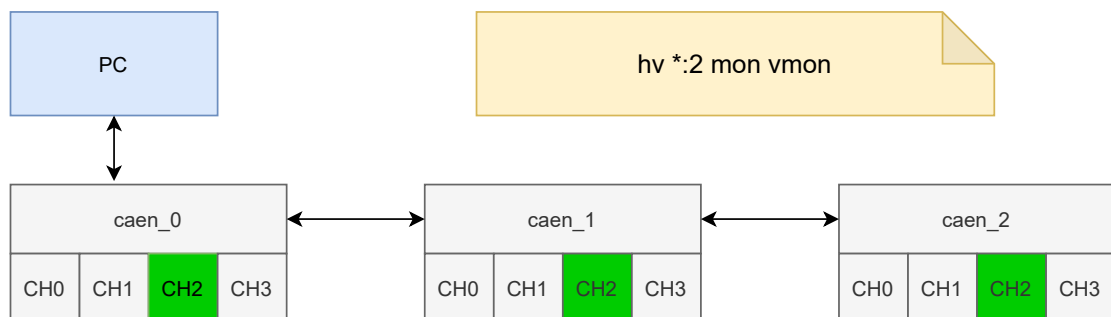
Dostarczone przez producenta zasilaczy komendy sterujące pozwalają zarówno na monitorowanie (MON), jak i modyfikację (SET) parametrów urządzeń, takich jak oczekiwana wartość napięcia. Poza wykonywaną operacją, komendy różnią się od siebie ponadto zakresem działania - mogą dotyczyć poszczególnych kanałów (np. modyfikacja maksymalnej dopuszczalnej wartości napięcia) lub modułu jako całości (np. pobranie jego numeru seryjnego). Przykładowo, format komendy monitorującej wartość określonego parametru dla pojedynczego kanału zdefiniowany został przez producenta w następujący sposób:

`$BD:<moduł>,CMD:MON,CH:<kanał>,PAR:<parametr>` . Dostępne polecenia pozwalają wykonywać operacje tylko ja jednym module jednocześnie, możliwy jest natomiast wybór pomiędzy jednym kanałem, a wszystkimi (specjalna wartość 4). System GGSS w swojej pierwotnej wersji oferował obsługę tego typu komend, stanowiąc pośrednika między użytkownikiem a urządzeniami.

Stosowanie tego typu poleceń charakteryzuje się, z punktu widzenia użytkownika, pewnymi niedogodnościami, z czego najważniejsze to: brak możliwości operowania na kilku zasilaczach jednocześnie oraz trudna do zapamiętania, nieintuicyjna składnia. Zadaniem autorów było przygotowanie biblioteki udostępniającej alternatywny, przyjazny użytkownikowi, zestaw komend, który byłby następnie tłumaczony przez system GGSS na format zdefiniowany przez producenta urządzeń.

W przypadku komend monitorujących parametry na poziomie poszczególnych kanałów przygotowany został następujący format: `hv <moduł>:<kanał> mon <parametr[,inne_parametry]>`, przy czym możliwe jest zastosowanie znaku `*` w zamian za specyfikację modułu lub kanału, co oznacza *wszystkie moduły/kanały*. Ponadto, dodatkowym ulepszeniem w stosunku do oryginalnej składni jest możliwość monitorowania wartości kilku parametrów jednocześnie - w takim wypadku należy przedzielić je przecinkiem. Przykładem nowego polecenia jest `hv *:2 mon vmon`, które pozwala na monitorowanie napięcia (parametr `vmon`) na kanale numer 2 dla każdego z zasilaczy (rys. 5.3). To polecenie jest odpowiednikiem wykonania trzech, zgodnych z oryginalną składnią, komend (po jednej dla każdego modułu):

```
$BD:0,CMD:MON,CH:2,PAR:VMON
$BD:1,CMD:MON,CH:2,PAR:VMON
$BD:2,CMD:MON,CH:2,PAR:VMON
```

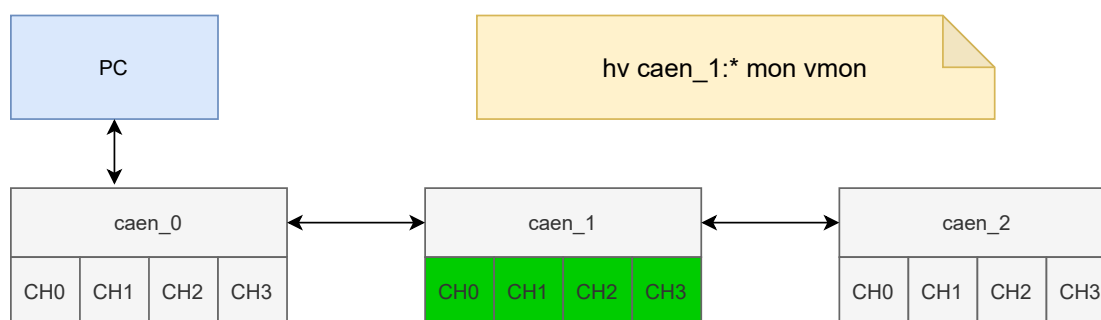


Rys. 5.3. Zasada działania komendy typu `hv *:2 mon <parametry>` - kolorem zielonym oznaczone zostały te kanały zasilaczy, z których pobrana zostanie monitorowana wartość. W tym przypadku jest to kanał numer 2 w każdym z urządzeń.

Odpowiedź otrzymana od urządzeń formatowana jest w taki sposób, by możliwe było stosunkowo łatwe jej parsowanie (np. w celu tworzenia skryptów). Przykładowy wynik działania dla zaprezentowanej wyżej komendy prezentuje się następująco:

```
OK: caen_0:2:VMON:1364.8;caen_1:2:VMON:0.0;caen_2:2:VMON:0.0
```

Innym przykładem wspieranej komendy jest `hv caen_1:* mon vmon` - dokonuje ona sprawdzenia wartości napięcia na wszystkich kanałach zasilacza oznaczonego nazwą `caen_1`. Jej odpowiednikiem zapisanym za pomocą składni dostarczonej przez producenta byłoby polecenie `$BD:1,CMD:MON,CH:4,PAR:VMON` - wartość 4 pełni tutaj rolę wartości specjalnej, odnoszącej się do wszystkich kanałów. Autorzy zdecydowali się jednak nie stosować tej konwencji (zastępując wartość 4 znakiem `*`), ponieważ dla osoby nieznającej szczegółów działania zasilacza CAEN N1470 mogłaby być ona myląca, a ponadto tworzyłaby ona powiązanie pomiędzy ilością kanałów w zasilaczu, a logiką biblioteki implementującej obsługę komend. Zasada działania powyższej komendy zaprezentowana została w formie graficznej na rysunku 5.4.



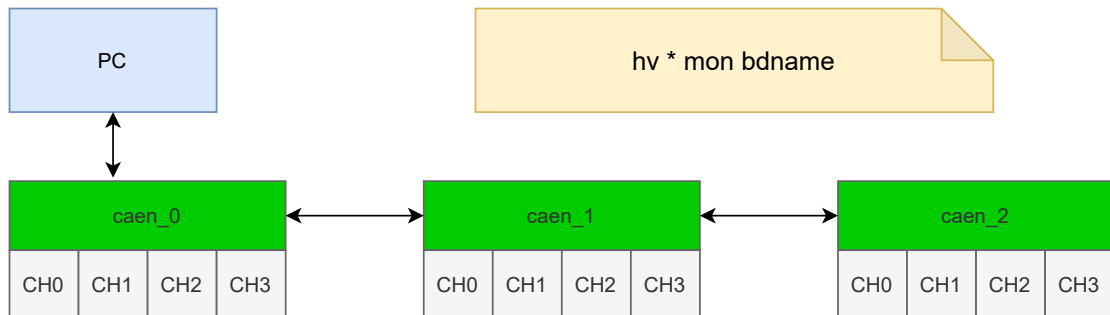
Rys. 5.4. Zasada działania komendy typu `hv caen_1:* mon <parametry>` - kolorem zielonym oznaczone zostały te kanały zasilaczy, z których pobrana zostanie monitorowana wartość. W tym przypadku są to wszystkie kanały urządzenia o nazwie `caen_1`.

Zadaniem przygotowanych komend jest ułatwienie użytkownikowi prowadzenia interakcji z zasilaczami wysokiego napięcia za pośrednictwem systemu GGSS. Ich stosowanie pozwala, za pomocą jednego polecenia, wykonać zapytanie wymagające wcześniej zastosowania większej liczby komend. Np. komenda `hv *: * mon vset,vmon,iset`, dokonująca sprawdzenia wartości trzech różnych parametrów dla każdego kanału we wszystkich urządzeniach, odpowiada wykonaniu dziewięciu poleceń za pomocą składni dostarczonej przez producenta:

```
$BD:0,CMD:MON,CH:4,PAR:VMON
$BD:1,CMD:MON,CH:4,PAR:VMON
$BD:2,CMD:MON,CH:4,PAR:VMON
$BD:0,CMD:MON,CH:4,PAR:VSET
```

```
$BD:1,CMD:MON,CH:4,PAR:VSET
$BD:2,CMD:MON,CH:4,PAR:VSET
$BD:0,CMD:MON,CH:4,PAR:ISET
$BD:1,CMD:MON,CH:4,PAR:ISET
$BD:2,CMD:MON,CH:4,PAR:ISET
```

W podobny sposób przygotowana została składnia komend wykonujących operacje na poziomie pojedynczego modułu - użytkownik pomija jedynie informację o wybranych kanałach. Tego typu komendy pozwalają uzyskiwać informacje takie jak nazwa modułu czy też jego numer seryjny. Przykładem polecenia operującego na poziomie zasilaczy jest `hv * mon bname` pobierające nazwy wszystkich trzech modułów - jego zasada działania zilustrowana została na rysunku 5.5. Jest to odpowiednik wykonania trzech komend za pomocą składni dostarczonej przez producenta (po jednej dla każdego urządzenia).



Rys. 5.5. Zasada działania komendy typu `hv * mon <parametry>`, tzn. operującej na poziomie modułów. Kolorem zielonym oznaczone zostały te zasilacze, z których pobrana zostanie monitorowana wartość - w tym przypadku, ze względu na wykorzystanie znaku `*`, są to wszystkie dostępne moduły.

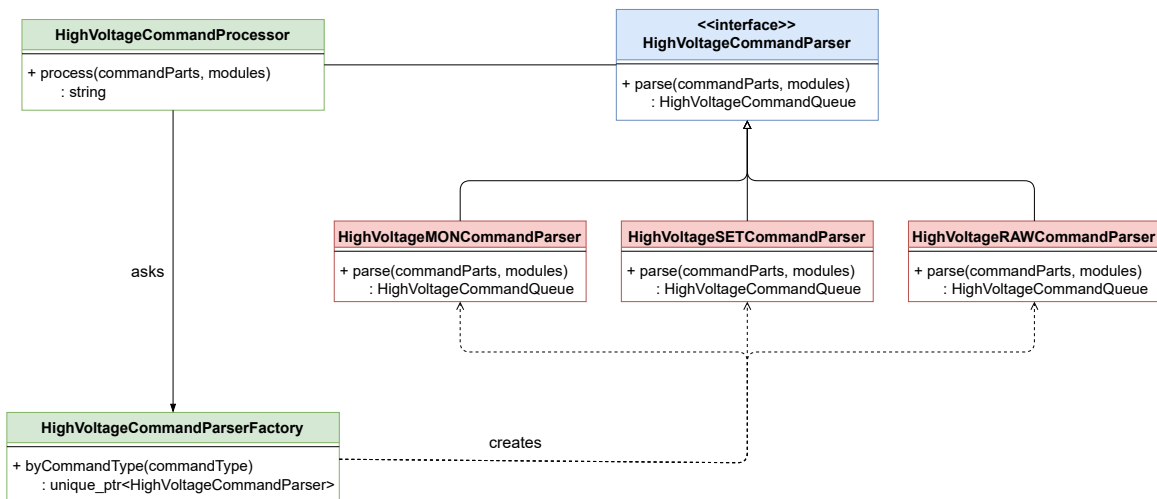
Autorzy przygotowali ponadto komendy typu SET, pozwalające na modyfikowanie wartości parametrów, zarówno na poziomie pojedynczych kanałów, jak i zasilaczy. Ich zasada działania jest bardzo podobna do komend monitorujących, z kilkoma różnicami:

- użytkownik po nazwie parametru specyfikuje jego oczekiwaną wartość
- nie ma możliwości wykonywania komendy dla kilku parametrów jednocześnie

Przykładem tego typu polecenia, wykonującego operację zmiany wartości napięcia na każdym kanale zasilacza `caen_0` na wartość 0, jest komenda `hv caen_0:* set vset 0`. Sposób określania wykorzystywanych zasilaczy i kanałów jest identyczny do tego stosowanego w przypadku komend typu MON. Szczególnym przypadkiem komend typu SET są komendy typu `hv <moduł>:<kanał> set ON/OFF`, których zadaniem jest włączenie lub wyłączenie danego kanału - w ich przypadku użytkownik nie specyfikuje wartości.

W celu zachowania możliwości wykorzystywania składni przygotowanej przez producenta zasilaczy, wprowadzony został trzeci typ polecenia, oznaczany za pomocą słowa RAW. Składnia tego typu poleceń jest następująca: `hv <moduł> raw <polecenie>`, gdzie `<polecenie>` oznacza komendę zgodną z oryginalną składnią. Przykładem komendy typu RAW jest polecenie `hv caen_0 raw $BD:00,CMD:MON,CH:0,PAR:VMON`, monitorujące wartość napięcia na kanale numer 0 urządzenia o nazwie `caen_0`. Komendy te pozwalają operować jednocześnie jedynie na jednym urządzeniu - wynika to z faktu, iż specyfikacja `<moduł>` musi być zgodna z numerem zawartym w ciele komendy.

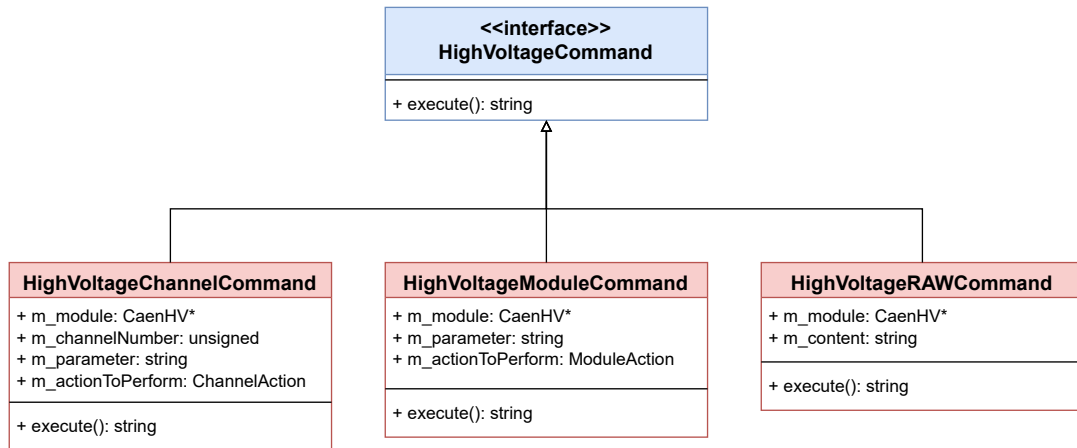
Z punktu widzenia implementacji zaprezentowana funkcjonalność przygotowana została w formie, znajdującej się w repozytorium *ggss-hardware-libs*, biblioteki statycznej *hvccommand-lib*. Zawarty w niej kod przygotowany został zgodnie ze standardem C++11 i oparty został o polimorficzną hierarchię klas reprezentujących parsery, z których każdy przystosowany został do przetwarzania innego typu komend: MON, SET lub RAW (rys. 5.6). Odpowiednia implementacja wybierana jest na podstawie trzeciego elementu każdej z komend (podział na elementy za pomocą białych znaków) - służy do tego klasa `HighVoltageCommandParserFactory`. Następnie parser przekształca otrzymaną komendę do zbioru obiektów reprezentujących czynności wykonywane na urządzeniach - kontener ten określony jest w kodzie źródłowym nazwą `HighVoltageCommandQueue`. W kolejnym kroku poszczególne akcje są wykonywane, a wynik jest przekształcany do odpowiedniego formatu.



Rys. 5.6. Diagram klas obrazujący architekturę przygotowanej biblioteki: główną część stanowi oparta o polimorfizm hierarchia klas służących do przekształcania komend do zbioru obiektów reprezentujących czynności wykonywane na urządzeniach.

Obiekty reprezentujące poszczególne czynności wykonywane na urządzeniach, przechowywane w wypełnianym przez parsery kontenerze `HighVoltageCommandQueue`, również modelowane

są przez polimorficzną hierarchię klas (rys. 5.7). Poszczególne klasy dziedziczące po abstrakcji `HighVoltageCommand` odpowiadają za: czynności wykonywane na pojedynczym urządzeniu, pojedynczym kanale oraz komendy typu RAW.



Rys. 5.7. Diagram klas obrazujący hierarchię reprezentującą czynności wykonywane na urządzeniach.

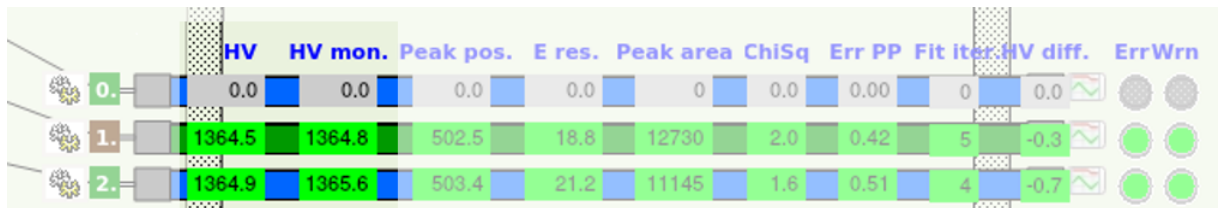
Dla biblioteki przygotowane zostały testy jednostkowe, pozwalające na automatyczną weryfikację poprawności implementacji. Ponadto przygotowane komendy były wielokrotnie testowane w środowisku produkcyjnym (co jest szczególnie istotne z uwagi na ich ścisły związek z urządzeniami), co zostało opisane w części pracy poświęconej testom projektu.

5.4.2. Rozbudowa biblioteki odpowiedzialnej za dopasowywanie krzywej

5.4.3. Zmiany w sposobie aktualizacji parametrów i zebranych danych

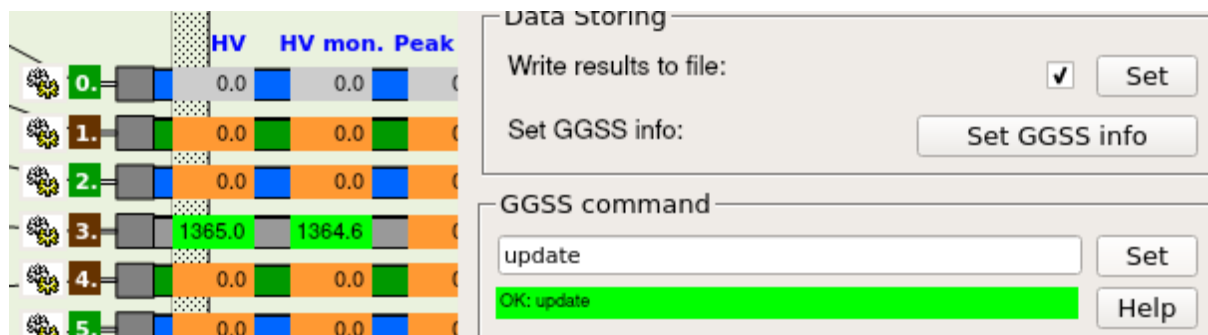
W swojej oryginalnej wersji system GGSS nie udostępniał możliwości aktualizacji niektórych parametrów oraz zebranych danych na żądanie - następowało to jedynie w ściśle określonych momentach działania systemu, takich jak zakończenie pomiaru za pomocą danego licznika słomkowego. Zadaniem autorów była rozbudowa projektu o możliwość aktualizacji na żądanie parametrów, takich jak monitorowane na danym liczniku napięcie, oraz danych w postaci zebranego widma.

Aktualizacja parametrów na żądanie osiągnięta została za pomocą komend wysyłanych przez użytkownika za pośrednictwem protokołu DIM. Istniejąca w oryginalnej wersji projektu komenda `update` dokonywała jedynie przesłania do systemu WinCC OA znajdującej się w pamięci struktury. Autorzy rozbudowali ją o wywołanie funkcji `UpdateAllCurrentlyMeasuredChannelsHVDData`, która przed wysłaniem informacji dokonuje aktualizacji danych związanych z wykorzystywanymi w projekcie zasilaczami wysokiego napięcia poprzez wykonanie zapytania za pomocą dostarczonych przez producenta urządzenia komend. Pozyskiwane w ten sposób dane to: monitorowane oraz ustawione napięcie oraz monitorowane natężenie prądu - w przypadku dwóch pierwszych parametrów wynikowe wartości możliwe są do zaobserwowania na dostępnym w systemie WinCC OA panelu (rys. 5.8).



Rys. 5.8. Fragment panelu dostępnego w ramach technologii WinCC OA, zawierającego dane dotyczące wykorzystywanych w systemie liczników słomkowych. Charakteryzujący się mniejszą przezroczystością fragment rysunku zawiera parametry *HV* oraz *HV mon.*, mogące podlegać aktualizacji dzięki wprowadzonym przez autorów zmianom.

Działanie najnowszej wersji komendy `update` zaprezentowane zostało na rysunku 5.9 - przedstawia on fragmenty dwóch paneli dostępnych w ramach systemu WinCC OA. Panel znajdujący się po prawej stronie rysunku służy to wysyłania do systemu GGSS komend za pomocą protokołu DIM. Przedstawiony zrzut ekranu wykonany został w krótkim czasie po uruchomieniu aplikacji, przed zakończeniem pierwszego wykonywanego pomiaru - stąd widoczne są wartości 0.0. Po wykonaniu komendy `update` dokonana została natomiast aktualizacja, w wyniku której pozyskane zostały aktualne wartości napięć dla wszystkich wykorzystanych kanałów - dzięki temu możliwa była obserwacja wartości dla kanału oznaczonego numerem 3, za pomocą którego wykonywany był w danym momencie pomiar, a zatem napięcie zostało znacznie zwiększone. W pierwotnej wersji systemu wykonanie polecenia `update` nie spowodowałoby aktualizacji tych wartości - miałyby to miejsce dopiero po zakończeniu pomiaru na kanale numer 3.



Rys. 5.9. Fragmenty dwóch paneli dostępnych w ramach technologii WinCC OA. Widoczna jest wysoka wartość napięcia odnotowana dla kanału numer 3 po wykonaniu komendy `update`. W swojej oryginalnej wersji zaprezentowane polecenie nie dokonałoby aktualizacji parametrów związanych z zasilaczami wysokiego napięcia.

W systemie istnieje ponadto polecenie `update channel <kanał>`, pozwalające dokonać aktualizacji tylko dla jednego, wybranego licznika. Zostało ono w podobny sposób rozbudowane przez autorów o funkcjonalność aktualizacji wartości parametrów związanych z pracą zasilaczy wysokiego napięcia. Fragment przygotowanego przez autorów kodu, odpowiedzialnego za pozyskanie od zasilacza odpowiednich danych i umieszczenie ich w strukturze przesyłanej za pomocą protokołu DIM, przedstawiony został na listingu 5.9.

Listing 5.9. Fragment kodu wchodzącego w skład biblioteki *ggss-lib*, którego zadaniem jest pobranie aktualnych wartości napięć i natężenia prądu dla pojedynczego kanału zasilacza oraz umieszczenie ich w strukturze używanej do komunikacji za pomocą protokołu DIM.

```
// wykonanie zapytań do zasilacza
auto voltage = hvDevice->getVoltage(channelData->noOfHVChannel);
auto monitoredVoltage = hvDevice->monitorVoltage(channelData->noOfHVChannel);
auto monitoredCurrent = hvDevice->monitorCurrent(channelData->noOfHVChannel);

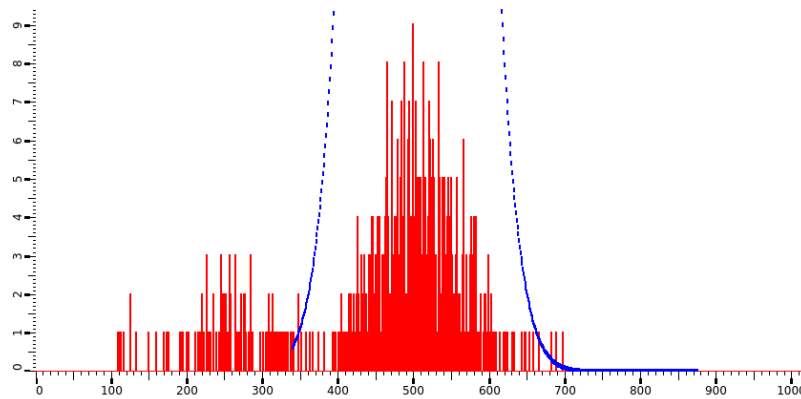
// aktualizacja przesyłanej do systemu WinCC OA struktury
channelData->highVoltage = voltage;
channelData->highVoltageMonitored = monitoredVoltage;
channelData->currentMonitored = monitoredCurrent;
```

W najnowszej wersji systemu aktualizacja parametrów dla wszystkich kanałów biorących udział w pomiarach wykonywana jest ponadto po uruchomieniu systemu (ang. *on start*) - w oryginalnej wersji systemu po uruchomieniu aplikacji, aby otrzymać dane, należało odczekać do zakończenia pierwszego pomiaru wykonywanego za pomocą danego licznika słomkowego. System wykonuje aktualizację również za każdym razem, gdy otrzyma od użytkownika poprawną komendę SET modyfikującą parametry zasilaczy wysokiego napięcia.

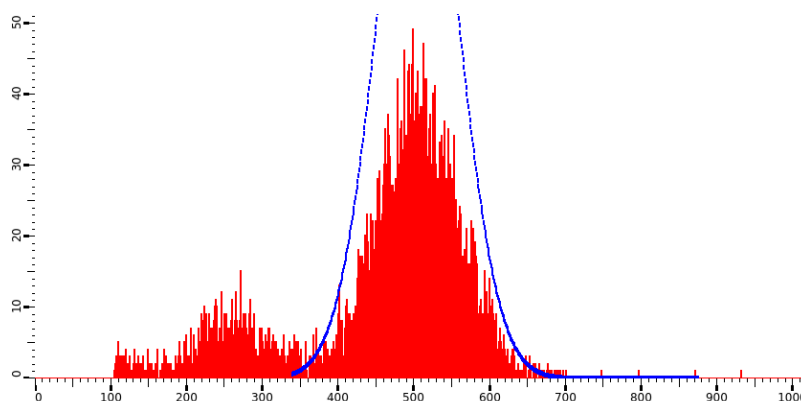
Autorzy rozszerzyli aplikację `ggss-runner` o szereg komend pozwalających użytkownikowi na prowadzenie zaawansowanej interakcji z systemem. Najważniejsze z nich to:

- `update all_straws` - dokonuje aktualizacji parametrów dla wszystkich liczników słomkowych, niezależnie od tego czy są one używane do wykonywania pomiarów
- `update spectrum` - dokonuje aktualizacji na żądanie widma zebranego przy pomocy licznika słomkowego wykorzystywanego w danym momencie do wykonywania pomiaru,
- `update all` - kombinacja komend `update` i `update spectrum`

Z punktu widzenia niniejszej pracy szczególnie istotne jest polecenie `update spectrum`, pozwalające pozyskać zebrane do momentu jego wykonania dane (widmo) dla kanału aktualnie używanego do przeprowadzania pomiaru. W pierwotnej wersji systemu GGSS nie istniała możliwość uzyskania zebranych danych przed zakończeniem pomiaru wykonywanego za pomocą danego licznika słomkowego. Ponieważ czas trwania pojedynczego pomiaru może sięgać nawet 10 minut, konieczne było zaimplementowanie mechanizmu pozwalającego użytkownikowi zobaczyć zebrane dane w czasie jego trwania. Przykład zastosowania przygotowanego polecenia przedstawiony został na rysunku 5.10.



(a) Efekt pierwszego wywołania komendy `update spectrum` - widoczna niewielka ilość zebranych przez system danych.

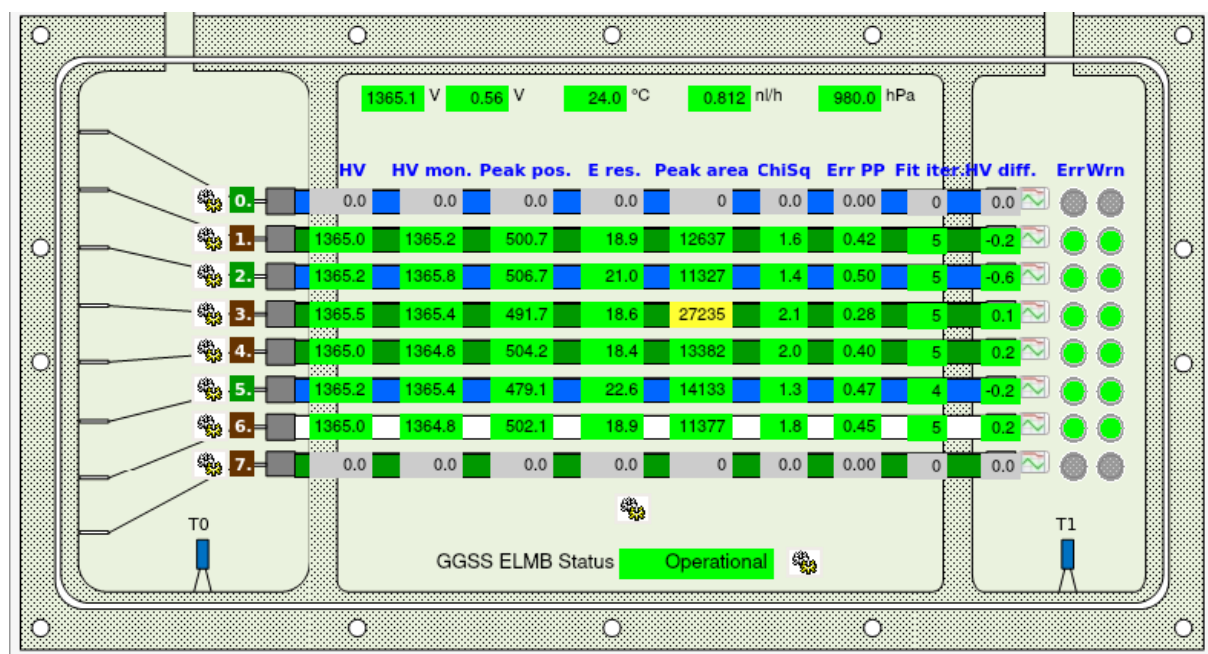


(b) Efekt drugiego wywołania komendy `update spectrum` - widoczna większa ilość danych niż w przypadku wywołania pierwszego.

Rys. 5.10. Przykład aktualizacji na żądanie zebranych danych: fragment panelu przedstawiającego dane w postaci histogramu, dla dwóch następujących po sobie w pewnym odstępie czasu użyciu komendy `update spectrum`.

5.4.4. Zabezpieczenie przed przepełnieniem bufora urządzenia MCA

Zbierane przez system GGSS dane, przed przekształceniem ich do postaci histogramu, przechowywane są w buforze urządzenia MCA dokonującego pomiar. Stosowana w projekcie konfiguracja pozwala na jednoczesne przechowywanie informacji o około 30000 zliczeniach. Przeprowadzane testy wykazały, że dla pewnych konfiguracji projektu liczba ta nie jest wystarczająca - zaprezentowane zostało to na rysunku 5.11, gdzie wartość *Peak area*, stanowiąca sumę liczebności przedziałów histogramu w pobliżu maksimum lokalnego, wynosi 27235 dla licznika o numerze 3. Niezależnie od zwiększania czasu trwania pomiaru, wartość ta nie ulegała zwiększeniu, ponieważ nowe dane były odrzucane z powodu przepełnienia wspomnianego już bufora. Należy zaznaczyć, że rozwiązanie zaprezentowanego problemu musiało zostać zrealizowane po stronie warstwy oprogramowania systemu - jakiegokolwiek zmiany w warstwie sprzętowej nie były na tym etapie możliwe.



Rys. 5.11. Przykład prezentujący problem przepełnienia bufora urządzenia MCA: dla odpowiednio długiego czasu trwania pomiaru wartość *Peak area* dla licznika słomkowego oznaczonego numerem 3 osiąga wartość 27000 i nie ulega zwiększeniu wraz z wydłużaniem czasu zbierania danych.

Przygotowane przez autorów rozwiązanie oparte zostało na okresowym przenoszeniu danych zawartych w buforze urządzenia MCA do znajdującej się w pamięci RAM komputera struktury. Dzięki temu wspomniany bufor może być regularnie opróżniany, co chroni przed jego przepełnieniem. W pierwotnej wersji systemu, po rozpoczęciu pomiaru odpowiedzialny za niego wątek przechodził w stan oczekiwania na zakończenie operacji (lub otrzymanie sygnału STOP zatrzymującego zbieranie danych). Zaproponowana przez autorów modyfikacja polegała na podziale czasu oczekiwania na mniejsze odcinki, na końcu których zebrane dane przenoszone są do pa-

mięci RAM. Uproszczona na potrzeby niniejszego manuskryptu implementacja tego algorytmu zaprezentowana została na listingu 5.10 - stosowany w projekcie algorytm uwzględnia ponadto kilka dodatkowych aspektów działania systemu, takich jak konieczność dokonania w połowie trwania pomiaru aktualizacji urządzenia ELMB za pośrednictwem systemu WinCC OA i protokołu DIM.

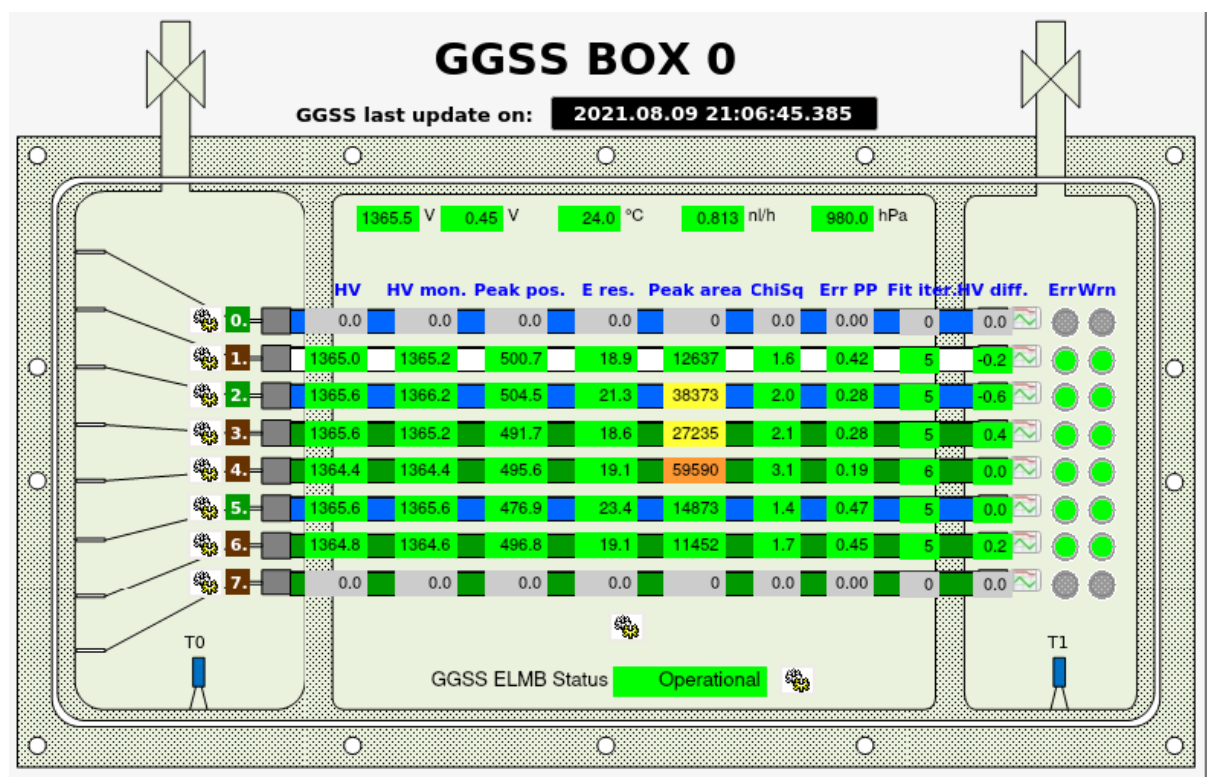
Listing 5.10. Uproszczona na potrzeby manuskryptu implementacja rozwiązania problemu przepełniającego się bufora - w określonych odstępach czasu wywoływana jest funkcja `GetData`, której działanie polega na przeniesieniu danych znajdujących się w buforze urządzenia MCA do pamięci RAM, przy jednoczesnym jego opróżnieniu.

```
// mcaRefreshIntervals to kontener zawierający odcinki czasu,
// na jakie podzielny został czas oczekiwania na zakończenie pomiaru
for(const auto& currentRefreshInterval : mcaRefreshIntervals)
{
    // oczekiwanie na sygnał STOP przez currentRefreshInterval milisekund
    waitStatus = GGSS_SIG_WAIT_MSEC(m_sigSTOP, currentRefreshInterval);
    if(waitStatus) // sygnał przechwycony - działanie GGSS zostaje przerwane
    {
        break;
    }
    else if(shouldRefreshMca) // sygnał nie przechwycony
    {
        // przeniesienie danych zawartych w buforze MCA do pamięci RAM
        boost::recursive_mutex::scoped_lock lk(_ggss_mutex);
        ChannelData& channelData = *m_GetChannel(channel);
        MCB& mcbForChannel = m_GetMCB(channelData.nameOfMcb);
        mcbForChannel.GetData();
    }
}
```

Okres wykonywania operacji przenoszenia zebranych danych określany jest w sekundach za pomocą parametru `mcaRefreshInterval`, który może zostać umieszczony w pliku konfiguracyjnym lub przekazany do systemu za pomocą komendy. W celu zachowania kompatybilności wstecznej z poprzednimi wersjami projektu parametr ten jest opcjonalny - jego brak lub przypisanie mu wartości 0 oznacza działanie systemu bez wprowadzonej poprawki (fladze `shouldRefreshMca` przypisywana jest w takim wypadku wartość `false`). Aby pobrać wartość tego parametru należy za pomocą protokołu DIM wysłać do systemu komendę `get mcaRefreshInterval`. Modyfikacja jego wartości wykonywana jest natomiast za pomocą polecenia `set ggss parameter mcaRefreshInterval value <oczekiwana_wartość>`.

Przygotowane rozwiązanie zostało przez autorów poddane testom w środowisku docelowym. Na rysunku 5.12 przedstawione zostało działanie systemu GGSS w sytuacji, gdy parametr `mcaRefreshInterval` przyjmuje wartość niezerową - bufor urządzenia MCA nie ulega prze-

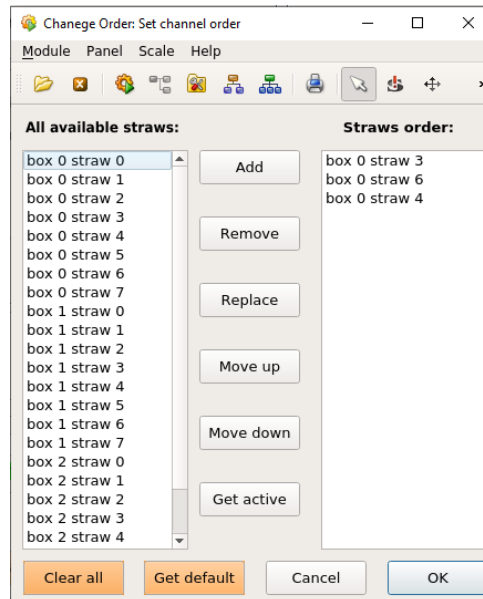
pełnieniu, o czym świadczy wysoka (przekraczająca 32768) wartość parametru *Peak area* dla danych zebranych za pomocą liczników słomkowych oznaczonych numerami 2 oraz 4.



Rys. 5.12. Działanie systemu GGSS po wprowadzeniu przez autorów rozszerzenia jego możliwości o cykliczne przenoszenie zebranych danych z bufora urządzenia MCA do pamięci RAM komputera. W przypadku liczników oznaczonych numerami 2 oraz 4 widoczna jest przekraczająca wartość 32768 liczba zliczeń, co świadczy o tym, że nie dochodzi do przepełnienia wspomnianego bufora.

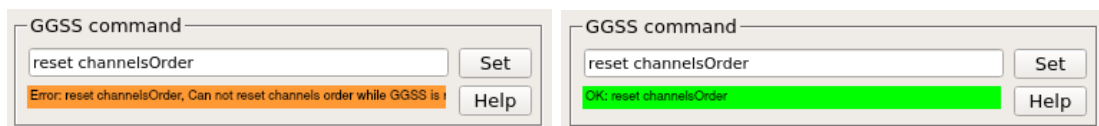
5.4.5. Możliwość przywracania domyślnej kolejności liczników słomkowych

Kolejność, w jakiej poszczególne liczniki słomkowe wykorzystywane są do przeprowadzania pomiarów, stanowi możliwy do modyfikacji przez użytkownika parametr systemu GGSS. Manipulowanie nim możliwe było już w oryginalnej wersji projektu. Autorzy wprowadzili jednak dodatkowo możliwość zapamiętania jego oryginalnej, odczytanej z pliku konfiguracyjnego, wartości, dzięki czemu możliwe jest jej przywrócenie. Służy do tego dodana do systemu komenda `reset channelsOrder`, którą wykonać można, gdy aplikacja nie przeprowadza żadnych pomiarów (tzn. gdy system znajduje się w stanie zatrzymania). Na potrzeby zilustrowania tej funkcjonalności rozważony zostanie przykład, w którym aplikacja uruchamiana jest z domyślną kolejnością ustaloną jako `0:3,0:6,0:4,0:2,0:5,0:1`. Następnie użytkownik za pomocą specjalnego panelu (rys. 5.13) dokonuje zmiany kolejności na obejmującą mniejszą liczbę liczników słomkowych: `0:3,0:6,0:4`.



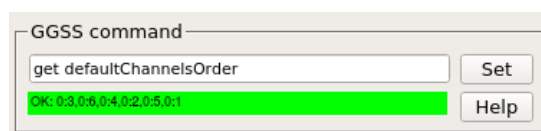
Rys. 5.13. Dostępny w ramach infrastruktury WinCC OA panel pozwalający na modyfikację kolejności, w jakiej poszczególne liczniki słomkowe wykorzystywane są do przeprowadzania pomiarów.

Po zmianie kolejności użytkownik dokonuje próby przywrócenia jej domyślnej wartości za pomocą komendy `reset channelsOrder` - w zależności od tego, czy system GGSS jest w tym momencie zatrzymany, komenda ta zwróci błąd (gdy nie jest - rys. 5.14a) lub wynik pozytywny (gdy jest - rys. 5.14b). Ponadto użytkownik ma możliwość sprawdzenia w dowolnym momencie przechowywanej w systemie wartości - służy do tego komenda `get defaultChannelsOrder`, której działanie zaprezentowane zostało na rysunku 5.14c. Funkcjonalność ta została ponadto zintegrowana w postaci przycisku *Get default* z przedstawionym na rys. 5.13 panelem. Autorzy nie brali jednak bezpośredniego udziału w rozwoju infrastruktury opartej o technologię WinCC OA - podczas przeprowadzania wspomnianej integracji pełnili jedynie rolę konsultacyjną.



(a) Błąd wykonania komendy resetującej.

(b) Poprawne wykonanie komendy resetującej.



(c) Działanie komendy pozwalającej na pobranie domyślnej kolejności.

Rys. 5.14. Przykłady zastosowania przesyłanych do systemu GGSS za pomocą protokołu DIM komend służących do operacji na domyślnej kolejności, w jakiej poszczególne liczniki słomkowe wykorzystywane są do przeprowadzania pomiarów.

5.4.6. Pomniejsze rozszerzenia

Poza opisanymi do tej pory zmianami, autorzy wprowadzili w projekcie kilka pomniejszych rozszerzeń - przykładem tego typu modyfikacji jest rozbudowa możliwości biblioteki *caenhv-lib*, odpowiedzialnej za wysokopoziomową implementację komunikacji z zasilaczami wysokiego napięcia. Zmiana ta polegała przede wszystkim na umożliwieniu pozyskiwania i modyfikowania większej liczby parametrów urządzeń. W pierwotnej wersji biblioteka pozwalała jedynie na uzyskanie najbardziej istotnych informacji, takich jak wartość monitorowanego na danym kanale napięcia. Wykorzystywane w projekcie zasilacze CAEN N1470 oferują natomiast bardzo rozbudowaną możliwość konfiguracji, obejmującą m.in. prędkość przyrostu i spadku napięcia po dokonaniu zmiany jego oczekiwanej wartości. Autorzy rozbudowali więc bibliotekę o dodatkowe funkcje pozwalające na manipulację tego typu parametrami. Zmiana ta jest istotna z punktu widzenia opisanej w sekcji 5.4.1 biblioteki obsługującej komendy wysyłane do zasilaczy - w celu wykonania operacji na urządzeniu wykorzystuje ona bowiem obiekty klas udostępnianych przez bibliotekę *caenhv-lib*. W swojej aktualnej wersji poddana rozbudowie biblioteka wspiera niemal wszystkie udostępniane przez producenta parametry zasilaczy.

6. Testy systemu (AK i JC)

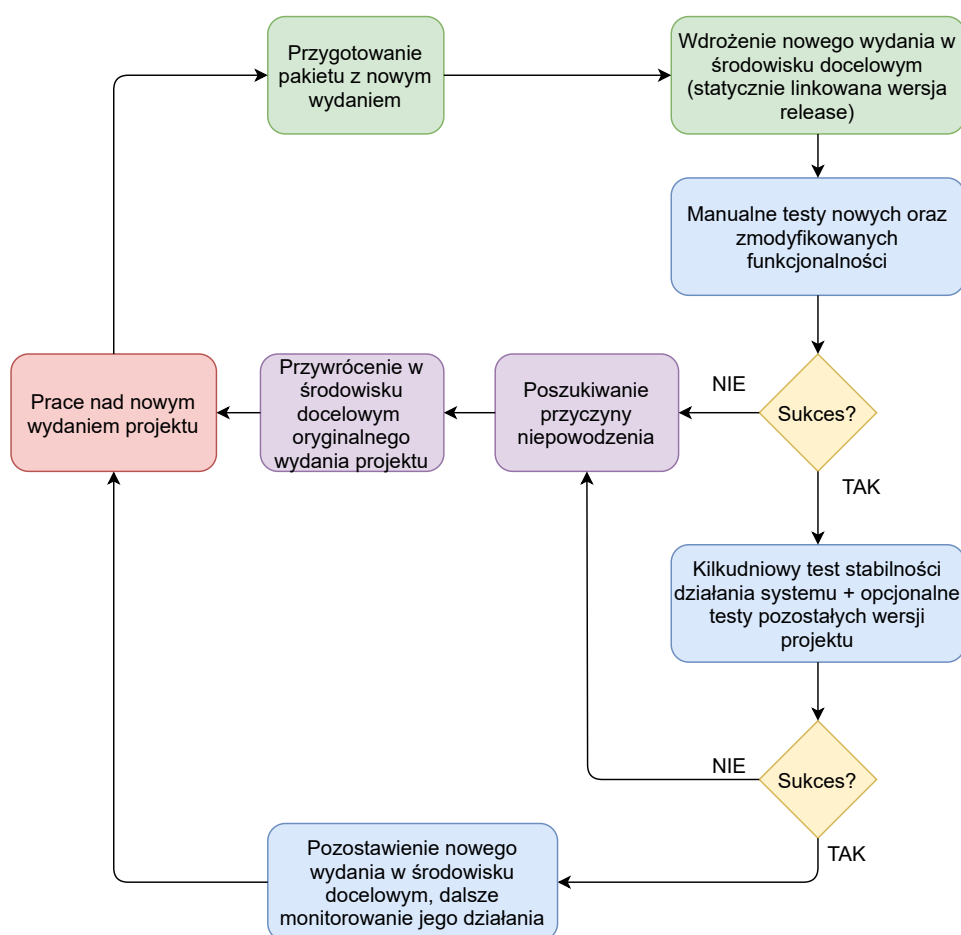
Niniejszy rozdział stanowi szczegółowy raport z przeprowadzanych w środowisku docelowym testów systemu GGSS. Został on podzielony na trzy części, opisujące różne rodzaje przeprowadzanych przez autorów sprawdzeń. Pierwsza z nich przybliża informacje dotyczące przeprowadzanych w sposób cykliczny testów - nacisk położony został tutaj przede wszystkim na opis powtarzanej w każdej iteracji procedury pozwalającej zweryfikować poprawność działania systemu. Druga część stanowi opis sprawdzeń wykonywanych w czasie mającej miejsce w lipcu 2021 roku migracji systemu do nowego środowiska docelowego. Zamieszczone w niej informacje dotyczą wkładu autorów we wspomnianą migrację, obejmującego m.in. wykonanie testów warstwy sprzętowej systemu GGSS. Ostatnia część niniejszego rozdziału opisuje wykonane w sierpniu 2021 roku testy finalnej wersji projektu. W tym przypadku przedstawiony został szczegółowy raport, obejmujący weryfikację poprawności działania każdej wprowadzonej do systemu lub zmodyfikowanej funkcjonalności, badanie stabilności systemu ze względu na wykorzystywane zasoby oraz testy nowych elementów infrastruktury, takich jak skryptu zarządzające środowiskiem docelowym.

6.1. Cykliczne testy systemu (AK)

Praca nad projektem stanowiącym część dużego, rozwijanego przez wiele osób systemu wymaga, w celu zapewnienia poprawności działania, przeprowadzania cyklicznych testów w środowisku docelowym. Pozwala to na wczesne wykrywanie i eliminowanie pojawiających się w projekcie błędów. Regularne przeprowadzanie weryfikacji poprawności działania najnowszej wersji warstwy oprogramowania systemu GGSS pozwoliło ponadto na wygodne testowanie wprowadzanych przez autorów funkcjonalności - duża częstotliwość oznacza w tym przypadku możliwość testowania niewielkiego zbioru zmian.

Ze względu na fakt, iż autorzy pracują nad systemem GGSS od września 2019 roku, to procedura przeprowadzania tego typu testów zawarta została w manuskrypcie pracy inżynierskiej. Z tego też powodu nie został tutaj zamieszczony szczegółowy opis wykonywanych czynności. Elementem stanowiącym nowość względem procesu przeprowadzanego w ramach pracy inżynierskiej były testy wprowadzanych oraz modyfikowanych funkcjonalności.

Na rysunku 6.1 przedstawiony został stosowany przez autorów cykl pracy - kolorem niebieskim oznaczone zostały etapy związane z testowaniem systemu. Po przygotowaniu nowego wydania systemu autorzy rozpoczynali pierwszy etap testów, gdzie manualnej weryfikacji poddawane były nowe funkcjonalności oraz wprowadzone modyfikacje. Tego typu sprawdzenia wykonywane były zwykle za pomocą statycznie linkowanej wersji *release* projektu. Jeśli tego typu testy zakończone zostały powodzeniem, następował drugi etap procesu testowania - trwający od kilku godzin do kilku dni test stabilności działania systemu, podczas którego monitorowane były zapisywane w dzienniku zdarzeń informacje oraz weryfikowane było zużycie zasobów. Opcjonalnie, jeśli testowane zmiany dotyczyły systemu budowania projektu, testom mogły zostać poddane inne jego wersje, np. *debug*. Po zakończeniu tego etapu, jeśli nie zostały wykryte żadne błędy, system pozostawiany był w środowisku docelowym i traktowany jako wydanie stabilne. W przypadku niepowodzenia autorzy mieli możliwość wykonywania we wspomnianym środowisku dodatkowych sprawdzeń mających na celu ustalenie przyczyny błędu.



Rys. 6.1. Diagram przedstawiający stosowany przez autorów cykl pracy - kolorem niebieskim oznaczone zostały etapy związane z regularnymi testami oprogramowania.

6.2. Testy po migracji systemu (JC)

Jednym z ważniejszych etapów pracy magisterskiej była migracja całego systemu GGSS wraz ze sprzętem elektronicznym do nowego środowiska uruchomieniowego. Polegała ona na przeniesieniu kopii oprogramowania na nowy komputer oraz podłączeniu do niego wykorzystywanych urządzeń.

Cała operacja miała odbywać się w ramach wyjazdu autorów do CERN, natomiast ze względów pandemicznych wyjazd ten został ostatecznie odwołany. Z tego powodu migracja mogła zostać jedynie częściowo przeprowadzana przez autorów, znaczną część pracy wykonali natomiast eksperci, którzy znajdowali się na miejscu. W ramach migracji podłączyli oni sprzęt oraz przenieśli zawartość dysków ze starego komputera do nowej maszyny. Przed uruchomieniem całego systemu autorzy zdalnie zweryfikowali poprawność całego procesu. W ramach tego etapu wykorzystane zostały aplikacje do testowania sprzętu opisane w sekcji 4.6. W trakcie wykonywania testów sprzętu okazało się, że jedynie urządzenie połączone bezpośrednio do komputera jest wykrywane, a urządzenia połączone za pomocą hub'u USB nie. Rozwiązaniem problemu było podłączenie dodatkowego zasilania wymaganego przez wcześniej wspomniany hub. Upewniwszy się iż sprzęt podłączony jest poprawnie i jego działanie nie budzi zastrzeżeń, autorzy wykonali sprawdzenia pozostałych elementów środowiska, czyli: zainstalowanych bibliotek, wpisów w tabeli programu `crontab` oraz poprawności umieszczenia plików projektu.

Po sprawdzeniu wszystkich wymaganych elementów środowiska autorzy rozpoczęli proces uruchamiania projektu GGSS wraz z jego główną aplikacją. W jego trakcie dokładnie monitorowano zachowanie warstwy oprogramowania oraz urządzeń elektronicznych. Oprócz zachowania aplikacji sprawdzane było również zużycie zasobów oraz ewentualne błędy, które mogły wystąpić ze względu na migrację. Po uruchomieniu projektu monitorowano jego działanie przez kilka godzin, a następnego dnia dokonano sprawdzenia dziennika zdarzeń. Nie stwierdzono żadnych problemów z systemem, a całość działała poprawnie. Migracja została uznana za zakończoną z sukcesem.

6.3. Testy wersji finalnej (AK i JC)

Niniejsza sekcja stanowi opis testów finalnej wersji systemu GGSS wykonanych w sierpniu 2021 roku. Sprawdzeniu poddane zostały zarówno wszystkie najważniejsze funkcjonalności systemu, jak również elementy infrastruktury projektu oraz wprowadzone przez autorów zmiany. Ponadto zbadane zostało zużycie zasobów systemu, takich jak pamięć, podczas długotrwałego, nieprzerwanego działania aplikacji *ggss-runner*.

6.3.1. Testy funkcjonalności głównej aplikacji

Autorzy dokonali szczegółowego sprawdzenia wszystkich przygotowanych modyfikacji i rozszerzeń. Ponadto testowane były elementy wchodzące w skład projektu od początku jego działania. W kolejnych akapitach opisane zostały poszczególne scenariusze testowe wraz z otrzymanymi przez autorów wynikami.

Działanie komend dedykowanych zasilaczom wysokiego napięcia

Testom poddana została przygotowana przez autorów składnia komend służących do komunikacji z zasilaczami wysokiego napięcia. Wykonane zostały sprawdzenia wszystkich trzech typów poleceń (MON, SET, RAW) przy zastosowaniu zróżnicowanych konfiguracji opisujących moduły, kanały oraz parametry. Listing 6.1 przedstawia wyniki przykładowych trzech zapytań - we wszystkich przypadkach są one zgodne z oczekiwaniami. Ze względu na powtarzalny charakter sprawdzeń, nie zostały tutaj przytoczone wszystkie testowane scenariusze. Sprawdzona została ponadto obsługa błędów, wynikających m.in. z niepoprawnego formatu i zawartości przesyłanych poleceń. Biblioteka dokonuje poprawnej obsługi tego typu sytuacji.

Listing 6.1. Przykładowe wyniki działania komend służących do komunikacji z zasilaczami wysokiego napięcia. Otrzymane rezultaty są zgodne z oczekiwaniami.

```
Polecenie: hv **: mon vset,vmon
Znaczenie: pobranie wartości parametrów VSET i VMON dla wszystkich
           kanałów wszystkich zasilaczy
Wynik:      OK: hv_caen_n1470_0:0:VSET:0.0;hv_caen_n1470_0:1:VSET:0.0;
           hv_caen_n1470_0:2:VSET:0.0;hv_caen_n1470_0:3:VSET:1365.0;
           hv_caen_n1470_1:0:VSET:1365.0;hv_caen_n1470_1:1:VSET:0.0;
           hv_caen_n1470_1:2:VSET:1365.0;hv_caen_n1470_1:3:VSET:0.0;
           hv_caen_n1470_2:0:VSET:0.0;hv_caen_n1470_2:1:VSET:0.0;
           hv_caen_n1470_2:2:VSET:0.0;hv_caen_n1470_2:3:VSET:0.0;
           hv_caen_n1470_0:0:VMON:0.0;hv_caen_n1470_0:1:VMON:0.0;
           hv_caen_n1470_0:2:VMON:0.0;hv_caen_n1470_0:3:VMON:1364.8;
           hv_caen_n1470_1:0:VMON:1364.4;hv_caen_n1470_1:1:VMON:0.0;
           hv_caen_n1470_1:2:VMON:1364.8;hv_caen_n1470_1:3:VMON:0.0;
           hv_caen_n1470_2:0:VMON:0.0;hv_caen_n1470_2:1:VMON:0.0;
           hv_caen_n1470_2:2:VMON:0.0;hv_caen_n1470_2:3:VMON:0.0;

Polecenie: hv hv_caen_n1470_0:1 set vset 1
Znaczenie: zmiana wartości napięcia na jednym z kanałów na wartość 1
Wynik:      OK: hv_caen_n1470_0:1:VSET:OK;

Polecenie: hv hv_caen_n1470_0 raw $BD:00,CMD:MON,CH:0,PAR:IMON
Znaczenie: pobranie wartości monitorowanego natężenia prądu dla
           wybranego kanału i zasilacza (komenda typu RAW)
Wynik:      OK: hv_caen_n1470_0:#BD:00,CMD:OK,VAL:0000.00
```

Opróżnianie bufora urządzenia MCA

Sprawdzone zostało poprawne wykonanie algorytmu pozwalającego na zapobieganie przepełnieniu bufora urządzenia MCA poprzez cykliczne przenoszenie jego zawartości do pamięci RAM komputera.

Działanie algorytmu dopasowującego funkcję do zebranych danych

Działanie komend sterujących systemem GGSS

Pozostałe testy

6.3.2. Testy aplikacji oraz skryptów do obsługi sprzętu fizycznego

W ramach testów wersji finalnej przeprowadzono sprawdzenie wszystkich aplikacji do obsługi sprzętu fizycznego, które były modyfikowane, czy też utworzone od zera przez autorów. Teste były przeprowadzane w środowisku produkcyjnym przy wyłączonym systemie ggss, a dokładnie z wyłączoną główną aplikacją projektu. W celu sprawdzenia poprawności działania oraz funkcjonalności wykonano zarówno komendy z użyciem trybu interaktywnego utworzonych aplikacji, jak i trybu scenariuszowego. W pierwszej kolejności testom została poddana aplikacja odpowiedzialna za obsługę zasilacza wysokiego napięcia, czyli *high-voltage-service-app*. Listing 6.2 przedstawia wywołanie aplikacji z wszystkimi wymaganymi argumentami oraz wiadomość powitalną aplikacji. W ramach tejże wiadomości otrzymujemy informację o utworzeniu połączenia z modułem zasilacza, a dokładniej o dodaniu danego modułu do repozytorium. Następnie wyświetlana jest informacja o wykorzystaniu trybu interaktywnego wraz z krótką pomocą zawierającą format komend.

Listing 6.2. Uruchomienie aplikacji *high-voltage-service-app* w trybie interaktywnym

```
[jcierpic@pcatltrt02 high-voltage-service-app]$ ./high-voltage-app ↵
--dev-port=/dev/ggss_hv_0 --dev-modules 3
Connecting to HV using port /dev/ggss_hv_0 ...
Adding: /dev/ggss_hv_0:0 (alias:module0) to repository
Adding: /dev/ggss_hv_0:1 (alias:module1) to repository
Adding: /dev/ggss_hv_0:2 (alias:module2) to repository
Entering interactive mode ...
=====
Usage:
<module_alias> - moduleX, where X is between 0 and given --dev-modules exclusive
hv <module_alias>:<channel_number> mon <param[,other_params]> - mon channel command
hv <module_alias> mon <param> - mon module command
hv <module_alias>:<channel> set <param> <value> - set channel command
hv <module_alias> raw <command_content> - raw command
help - print help message
quit - exit testing app
=====
```

Listing 6.4 zawiera przykład działania komend pozwalających na ustawienie wartości zasilania na wyjściu zasilacza, oraz pobrania tejże wartości wraz z asercją mającą na celu automatyczne sprawdzenie, czy oczekiwana wartość zgadza się z rzeczywistością. Trzecie wywołanie komendy ma za zadania sprawdzenie, czy w przypadku nieotrzymania zadanej wartości aplikacja poprawnie zgłosi błąd. Ostatnie z wywołań sprawdza, czy działająca jest funkcjonalność asercji z toleracją.

Listing 6.3. Komendy wykonywane w trybie interaktywnym aplikacji *high-voltage-service-app*

```
>> hv module0:0 set vset 0
>>hv module0:0 set vset 0
```



```

<<OK: module0:0:VSET:OK;

>> assert hv module0:0 mon vmon 0
>>hv module0:0 mon vmon
<<OK: module0:0:VMON:0.0;
Assertion successful: target(0.000000) actual(0.000000)

>> assert hv module0:0 mon vmon 1
>>hv module0:0 mon vmon
<<OK: module0:0:VMON:0.0;
Error: Assertion failed: target(1.000000) actual(0.000000)

>> assertTol hv module0:0 mon vmon 2 10
>>hv module0:0 mon vmon
<<OK: module0:0:VMON:0.0;
Assertion with tolerance (10.000000) successful: target(2.000000) actual(0.000000)

```

Testom poddany został również tryb scenariuszowy, co przedstawia listing ???. W przypadku trybu scenariuszowego zamiast informacji o możliwych do wykonania komendach otrzymujemy informacje o przetorzonych komendach z pliku scenariuszowego, które zostaną wykonane w trakcie działania zasadniczego. Następnie uruchamiane są wszystkie przetworzone scenariusze, których uruchomienia zażądał użytkownik.

Listing 6.4. Uruchomienie aplikacji *high-voltage-service-app* w trybie scenariuszowym

```

[jcierpic@pcatltrt02 high-voltage-service-app]$ ./high-voltage-app ↵
--dev-port=/dev/ggss_hv_0 --dev-modules=3 ↵
--scenario-file=./sample_scenario.yml --scenarios=HighVoltageTestScenario
Connecting to HV using port /dev/ggss_hv_0 ...
Adding: /dev/ggss_hv_0:0 (alias:module0) to repository
Adding: /dev/ggss_hv_0:1 (alias:module1) to repository
Adding: /dev/ggss_hv_0:2 (alias:module2) to repository
Entering scenario mode ...
Parsing HighVoltageTestScenario HV scenario ...
Parsing hv module1:3 set vset 10.0 HV command ...
Parsing sleep 20000 HV command ...
Parsing assert hv module1:3 mon vset 10.0 HV command ...
Parsing assertTol hv module1:3 mon vmon 10.0 1.0 HV command ...
Parsing hv module1:3 set vset 0 HV command ...
Parsing sleep 20000 HV command ...
Parsing assert hv module1:3 mon vset 0 HV command ...
Parsing assert hv module1:3 mon vmon 0 HV command ...
Running HighVoltageTestScenario HV scenario ...
>>hv module1:3 set vset 10.0
<<OK: module1:3:VSET:OK;
>>hv module1:3 mon vset
<<OK: module1:3:VSET:10.0;

```

```
Assertion successful: target(10.000000) actual(10.000000)
>>hv module1:3 mon vmon
<<OK: module1:3:VMON:10.0;
Assertion with tolerance (1.000000) successful: target(10.000000) actual(10.000000)
>>hv module1:3 set vset 0
<<OK: module1:3:VSET:OK;
>>hv module1:3 mon vset
<<OK: module1:3:VSET:0.0;
Assertion successful: target(0.000000) actual(0.000000)
>>hv module1:3 mon vmon
<<OK: module1:3:VMON:0.0;
Assertion successful: target(0.000000) actual(0.000000)
```

Wszystkie testy aplikacji *high-voltage-service-app* przebiegły pomyślnie. Aplikacja wykonała wszystkie żądane czynności, a odpowiednie wartości pojawiły się na zasilaczu wysokiego napięcia. Zarówno tryb interaktywny, jak i scenariuszowy zostały uruchomione bez problemu. Aplikacja zachowywała się poprawnie również w przypadku, gdy oczekiwane było zgłoszenie błędu.

Następnie w podobny sposób przetestowane zostało działanie aplikacji *multiplexer-service-app*. Przetestowano zarówno jej tryb interaktywny, jak i scenariuszowy. Ze względu na to, że testy wyglądały analogicznie jak w przypadku aplikacji *high-voltage-service-app*, a różnice stanowiły jedynie komendy oraz odpowiedzi od urządzenia, zaprezentowany został jedynie listing 6.5, który przedstawia wiadomość powitalną aplikacji do obsługi multipleksera oraz kilka podstawowych komend.

Listing 6.5. Uruchomienie aplikacji *high-voltage-service-app* w trybie scenariuszowym

```
[jcierpic@pcatltrt02 multiplexer-service-app]$ ./multiplexer-app --dev-port ↵
/dev/ttyUSB2
Connecting to multiplexer using port /dev/ttyUSB2 ...
Entering interactive mode ...
=====
Usage:
getch - prints active channel
setch <channel_number> - set new active channel
getsn - prints MUX serial number
setgetch <channel_number> - set new active channel and check it
help - print help message
quit - exit testing app
=====
>> getsn
Printing MUX serial number ...
Serial number: 260
>> getch
Trying to get active channel ...
Active channel: 2
```

```
>> setch 0
Trying to set active channel ...
Active channel set to 0
>> getch
Trying to get active channel ...
Active channel: 0
>> setgetch 2
Trying to set active channel ...
Active channel set to 2
Trying to get active channel ...
Success: active channel matches desired one
```

W przypadku aplikacji *multiplexer-service-app* wszystkie testy udało się przeprowadzić pomyślnie. Nie stwierdzono żadnych błędów w działaniu wyżej wymienionej aplikacji. Wszystkie funkcjonalności, tryb interaktywny, jak i tryb scenariuszowy działały poprawnie.

Testy aplikacji *high-voltage-killer* oraz skryptów składających się na system awaryjnego wyłączania zasilania wysokiego napięcia polegały na zarówno uruchomieniu samego programu i sprawdzeniu, czy jego działanie jest poprawne oraz na zasymulowaniu rzeczywistych warunków, w ramach których program powinien zostać uruchomiony.

W pierwszej kolejności wykorzystano wcześniej przetestowaną aplikację *high-voltage-service-app* w celu ustawienia zasilania na zasilaczu wysokiego napięcia na wartość większą niż zero, następnie uruchomiono aplikację *high-voltage-killer*, co przedstawia listing 6.6. W ramach działania aplikacja analizuje znajdujące się w systemie pliki urządzeń, następnie wybiera te, za pomocą których podłączone są zasilacze wysokiego napięcia. Następnie wykorzystując bibliotekę *caenn1470-lib* zerowane są napięcia na wszystkich wyjściach wszystkich podłączonych modułów. Aplikacja prewencyjnie próbuje zerować napięcia na modułach od 0 do 7, nawet, gdy tylko 3 moduły są uruchomione, natomiast komendy wysyłane są jedynie do podłączonych modułów.

Listing 6.6. Uruchomienie aplikacji *high-voltage-killer*

```
[jcierpic@pcatltrt02 high-voltage-killer]$ ./high-voltage-killer
Running on port: /dev/ggss_hv_0
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:0
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:1
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:2
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:3
[ERROR] Device is not responding.
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:4
[ERROR] Device is not responding.
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:5
[ERROR] Device is not responding.
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:6
[ERROR] Device is not responding.
Killing voltage on: /dev/ggss_hv_0:7
```

```
[ERROR] Device is not responding.
```

Następnie ponownie wykorzystując aplikację *hgh-voltage-service-app* sprawdzono, czy rzeczywiście napięcie zostało wyzerowane. Wykonując odpowiednie komendy stwierdzono, że test przebiegł pomyślnie.

Oprócz samego działania aplikacji *high-voltage-killer* przetestowano również funkcjonalności dostarczane w skryptach współpracujących z tą aplikacją:

- Uruchomienie aplikacji *high-voltage-killer* jeżeli główna aplikacja ggss przestała działać i nie została uruchomiona w przeciągu 5 minut
- Możliwość zablokowania systemu awaryjnego wyłączania zasilania poprzez utworzenie pliku blokady.
- Ciągłe działanie systemu awaryjnego wyłączania zasilania w przypadku braku pliku blokady.
- Awaryjne wyłączenie zasilania w przypadku otrzymania sygnału SIGTERM

Przeprowadzone testy wszystkich wyżej wymienionych funkcjonalności przebiegły pomyślnie. Nie napotkano żadnych przeszkód w trakcie ich wykonywania. Dodatkowo przeprowadzaono testy aplikacji *device-detector*, której zadaniem jest raportowanie informacji o podłączonych do systemu urządzeniach fizycznych, które wymagane są do działania systemu ggss. Również w tym przypadku proces przebiegł pomyślnie. W celu osiągnięcia stu procentowej pewności, iż wszystkie aplikacje związane ze sprzętem fizycznym działają poprawnie w nowym środowisku testom została poddana również aplikacja *mca-service-app*. Uruchomienie tejże aplikacji nie budziło żadnych problemów, a wyniki jej działania były poprawne. Wraz z zakończeniem tego testu wszystkie aplikacje oraz skrypty związane ze sprzętem zostały w pełni przetestowane, dzięki czemu autorzy mogli być pewni poprawności zaimplementowanych funkcjonalności.

6.3.3. Testy zużycia zasobów

7. Podsumowanie (AK i JC)

W niniejszym manuskrypcie zaprezentowane zostały wykonane przez autorów prace nad rozbudową i uaktualnieniem warstwy oprogramowania Systemu Stabilizacji Wzmocnienia Gazowego detektora ATLAS TRT. Zaprezentowane w kolejnych rozdziałach zmiany obejmowały szereg zróżnicowanych zagadnień, związanych zarówno z infrastrukturą projektu, jak i jego kodem źródłowym.

Podczas wykonywania zaprezentowanych zadań autorzy zapoznali się z kodem źródłowym projektu. W pierwszych etapach prac wykonywano przede wszystkim niewielkie poprawki, których celem było poznanie systemu. Następnie autorzy rozszerzyli projekt o nowe funkcjonalności. Wszystkie założenia dotyczące wprowadzanych do systemu modyfikacji zostały spełnione, a każda wymagana funkcjonalność została zaimplementowana. Z punktu widzenia współczesnych praktyk programistycznych nie wszystkie zaproponowane rozwiązania są optymalne, jednakże wynika to przede wszystkim z nakładanych przez środowisko, w jakim działa projekt, ograniczeń.

W celu skutecznej organizacji projektu autorzy wykorzystali swoje doświadczenie pozyskane podczas prac nad komercyjnymi projektami informatycznymi. Stąd też duży nacisk położony został na odpowiednią organizację pracy oraz zastosowanie znanych praktyk ułatwiających pracę nad złożonymi systemami informatycznymi. Autorzy dokonali w nich oczywiście odpowiednich modyfikacji, by dostosować je do mniejszej skali projektu.

Podczas prac nad systemem autorzy starali się dołożyć wszelkich starań, by zapewnić jego niezawodność. O skuteczności tych działań świadczą przeprowadzone przez nich testy, jednoznacznie wskazujące na poprawność działania projektu. Szczególnie pomocne w zachowaniu odpowiedniej jakości okazały się regularne testy w środowisku docelowym, stosowanie testów automatycznych oraz rozbudowana infrastruktura automatyzująca czynności związane z cyklem życia oprogramowania.

Projekt pozostawiony został przez autorów w stanie umożliwiającym jego łatwy rozwój i utrzymanie. Aby dodatkowo ułatwić to zadanie, przygotowany został szereg instrukcji i poradników opisujących, w jaki sposób wykonywać zarówno podstawowe, jak i bardziej złożone działania. Praca nad systemem GGSS pozwoliła autorom na zdobycie cennego doświadczenia, zarówno z uwagi na prowadzoną pracę zespołową, jak i międzynarodowy charakter projektu.

A. Przegląd praktyk stosowanych podczas prac nad projektem (JC)

Celem niniejszego dodatku jest przedstawienie najważniejszych praktyk stosowanych przez autorów podczas wykonywania prac nad systemem GGSS. Poruszone zostaną tematy organizacji pracy nad kodem w zespole, dokumentacja projektu, czy też konwencje zastosowane w celu uzyskania w całym projekcie jednolitego kodu źródłowego.

A.1. Wprowadzenie do problematyki

Ze względu na zespołowy charakter przygotowanej przez autorów pracy inżynierskiej, w trakcie jej wykonywania wprowadzone zostały praktyki mające na celu organizację i koordynację współpracy. W ramach platformy GitLab, wykorzystywanej przez CERN jako główne narzędzie do współpracy nad kodem, skorzystano z szeregu funkcjonalności ułatwiających śledzenie postępów, jak i zarządzanie projektem. Oprócz utworzenia zespołu, do którego został przypisany kod projektu oraz w ramach którego odbywała się kolaboracja, wykorzystano:

- *issue* - opis pojedynczego zadania/problemu. Zawiera podstawowe informacje, przypisaną osobę, etykietę, która oznacza obecny stan, termin wykonania oraz wagę
- *kanban board* - tablica kanban zawierająca wszystkie przypisane do projektu zadania. Kolumny takiej tabeli stanowią spersonalizowane do projektu etykiety. Pozwala na wyso-kopoziomowe zarządzanie projektem, sprawdzenie statusu, czy też łatwą zmianę etykiety przypisanej do zadań poprzez przeciągnięcie do odpowiedniej kolumny.
- *merge request* - dedykowany widok do wprowadzania zmian wprowadzonych w ramach kodu deweloperskiego do kodu produkcyjnego, który jest wykorzystywany do tworzenia i dostarczania aplikacji
- *milestone* - jednostka organizacyjna pozwalająca na grupowanie kilku zadań, które realizują większy cel opisany w ramach *milestone*. *Milestone* śledzi przypisane do niego zadania, przewidywany czas zakończenia oraz wagę pozostałych do wykonania zadań.

W trakcie wykonywania pracy inżynierskiej, szczególnie podczas początkowego etapu projektu, który odbywał się w trakcie 3-tygodniowego wyjazdu do CERN, wyżej wymienione praktyki sprawdzały się bardzo dobrze.

A.2. Motywacja do wprowadzenia zmian

Ze względu na dobre sprawowanie się wyżej wymienionych praktyk w trakcie pracy inżynierskiej postanowiono o kontynuowaniu ich wykorzystania również w trakcie pracy magisterskiej. Z powodu nieregularnego aspektu pracy nad projektem, wykonywanie czynności zdalnie, lepsze poznanie środowiska, wykorzystywanych narzędzi oraz samej platformy GitLab postanowiono dostosować stosowane praktyki do nowych realiów. Dodatkowo bardzo ważną zasadą, biorąc pod uwagę zakończenie pracy nad projektem i przekazanie go osobie odpowiedzialnej za dalsze utrzymanie, było odpowiednie udokumentowanie całego projektu. Wymagało się, aby możliwie proste było wprowadzanie zmian do systemu GGSS oraz sprawne, nieprzerwane działanie po zakończeniu pracy magisterskiej. Dlatego dostarczona dokumentacja musiała być obszerna oraz dobrze opisująca zastosowane rozwiązania. Dodatkowo biorąc pod uwagę mocny nacisk tejże pracy na część aplikacyjną projektu potrzebne było zdefiniowanie pewnych zasad pozwalających na ustandaryzowaną pracę z kodem źródłowym aplikacji. Pozwoliło to na zachowanie pewnych konwencji w całym projekcie, co zapobiegało różnicom w kodzie między komponentami, a co za tym idzie utrzymanie kodu oraz wdrożenie nowych osób do projektu jest znacznie uproszczone.

A.3. Zmiana praktyk ze względu na nieregularność prac

Prace nad systemem GGSS były kontynuowane, z mniejszymi przerwami, od obrony pracy inżynierskiej. Natomiast ich charakter był nieregularny. Każdy z autorów pracował nad systemem w wybranych przez siebie godzinach. Ze względu na to wszystkie praktyki, które opierały się o regularny czas pracy oraz przewidywanie czasu zakończenia danych zadań nie miały większego zastosowania. Postanowiono zatem zaprzestać przypisywania wag poszczególnym zadaniom. Oprócz wartości szacunkowej niewiele ona wносиła w trakcie wykonywania zadania, dodatkowo przybrane wartości czasami różniły się od rzeczywistej wagi problemu, ponieważ często zadania wymagały w pierwszej kolejności zgłębienia tematu, a następnie określenia dokładnego rozwiązania problemu.

Zarzucono również praktykę wypełniania pola „termin oddania” w ramach tworzonych zadań. Ze względu na wcześniej wspomniany czas poświęcany na pracę nad projektem, a szczególnie jego regularność, informacja ta często nie sprawdzała się z rzeczywistym czasem zakończenia zadania. Dodatkowo informacja ta nie była praktycznie w ogóle potrzebna w trakcie prac nad projektem ze względu na sposób formułowania zadań, które były możliwe do realizacji bez wpływu na pozostałe zadania - były od siebie niezależne. W przypadku zadań, które wymagały koordynacji, czy też pracy od obydwu autorów, organizowane były spotkania online z wykorzystaniem narzędzi takich jak Microsoft Teams, które pozwalały na tworzenie konferencji podczas których realizowane były wyżej wymienione zadania, czy też określone były ramy czasowe wykonania zadań

od siebie zależnych. Sposób ten sprawdził się bardzo dobrze i nie wymagana była dodatkowa koordynacja dla tego typu prac.

Rysunek A.1 przedstawia *issue* utworzone według nowo ustalonych zasad. Brak jest przypisanego *milestone*, czy też *due date*. Natomiast ważne, wartościowe informacje, przydatne w trakcie pracy nad projektem są wypełnione, tj.: rozbudowany opis pozwalający w krótkim czasie zrozumieć o co chodzi w konkretnym zadaniu, osoby przypisane do *issue* oraz etykiety oznaczające aktualny stan wykonania zadania, czy też jakikolwiek powód z którego *issue* nie zostało, bądź nie zostanie wykonane.

The screenshot shows a GitHub issue page for 'hardware_utils scripts refactoring'. At the top, it indicates the issue is 'Open', created 11 months ago by Arkadiusz Konrad Kasprzak, and has a 'Close issue' button. The title is 'hardware_utils scripts refactoring'. Below the title, it states 'Following issues need to be addressed:' and lists several bullet points: creating C++ applications for HV and MUX testing, refactoring MCA testing, creating an RPM, and renaming the repository. There is also a '(Deprecated)' section with more bullet points about Python scripts and testing. On the right side, there is a sidebar with 'To Do' section containing '2 Assignees' (with profile icons), 'Epic' (None), 'Milestone' (None), 'Iteration' (None), 'Time tracking' (No estimate or time spent), 'Due date' (None), 'Labels' (Ongoing), and 'Weight' (None). Each item in the sidebar has an 'Edit' link.

Rys. A.1. Przykładowe *issue* wg. nowo przyjętych praktyk

A.4. Dokumentacja projektu

Projekt GGSS ma być utrzymywany i pozostać w użyciu również po zakończeniu działań nad pracą dyplomową. Ze względu na to że rozwiązania wprowadzone do projektu były zarówno implementowane, jak i projektowane przez autorów w porozumieniu z promotorem, posiadają oni niezbędną do uwiecznienia wiedzę na temat: powodów zastosowania pewnych rozwiązań, sposobu ich działania, sposobu korzystania z nich, czy też zasad, które należy stosować w trakcie rozwoju aplikacji. Ze względu na te czynniki dużo uwagi poświęcono przygotowaniu odpowiedniej dokumentacji pozwalającej na swobodną pracę z projektem przez osoby, które ten projekt będą nadal utrzymywać.

Dokumentacja w postaci plików *README* napisanych w języku znaczników *Markdown* jest dedykowana dla każdego z repozytoriów. Zazwyczaj opisana jest w niej zawartość danego repozytorium, sposób użycia tejże zawartości, jeżeli wcześniejsze przygotowanie zawartości jest potrzebne opisane są kroki, które należy w takiej sytuacji poczynić. Dodatkowo w wyżej wymienionych plikach opisane są wszelkie niuanse, czy też bardziej zaawansowane kwestie dotyczące zawartości danego repozytorium.

Rysunek A.2 przedstawia przykładowy plik *README* dla repozytorium *ggss-all* zawierające infrastrukturę do budowy głównej aplikacji systemu GGSS. Wyżej wymieniony plik zawiera informacje o przeznaczeniu repozytorium, wymaganiach potrzebnych do spełnienia w celu uruchomienia infrastruktury budującej aplikację, krokach które należy podjąć, aby skorzystać z tejże infrastruktury. Oprócz tego plik ten zawiera gotowe do użycia komendy, które można skopiować i wkleić bezpośrednio do konsoli w celu skorzystania z infrastruktury. Plik ten zawiera również, a co nie jest widoczne na rysunku, informacje o sposobie uzyskania dostępu do kodu protokołu DIM, który jest wymagany do działania systemu GGSS.

Przygotowana w ten sposób dokumentacja pozwala osobie praktycznie niezapoznanej z projektem na skorzystanie z infrastruktury i przygotowanie gotowej do użycia, w środowisku docelowym, aplikacji. Również powrót do projektu po dłuższej przerwie nie powinien powodować większych trudności.

This is the **main repository** of the GGSS project. It contains scripts used for building most of the applications used by GGSS. It also contains CI/CD configuration used to create production-ready packages. This `README` contains information about:

- repository content
- building procedure

Requirements

- CMake version 2.8 or higher
- C++ compiler
- Boost (version 1.57.0 or higher - it has to contain Boost.Log) - if such version is not available on used system, please download proper one and set BOOST environment variable to point to it (`export BOOST=<path_to_boost>`)
- GSL
- Python 3 - if necessary dependencies are not available, consider using virtualenv

Step by step

1. Create building directory: `mkdir build`
2. Go to newly created directory: `cd build`
3. Run `python <path_to_repo>/build.py <options>` from building directory
4. Applications will be built according to specified `<options>`

To clone and build all currently supported applications execute following commands:

```
git clone ssh://git@gitlab.cern.ch:7999/atlas-trt-dcs-ggss/ggss-all.git &&
mkdir ggss-all-build &&
cd ggss-all &&
git submodule update --init --recursive &&
cd ../ggss-all-build &&
python ../ggss-all/build.py --staticboost --buildall --buildtype release
```

Rys. A.2. Przykładowe *README* w ramach repozytorium *ggss-all*

W projekcie została zastosowana również dokumentacja na poziomie kodu źródłowego. Znajduje się ona między innymi: przed klasami, przed metodami, czy też na początku plików źródłowych. Dokumentacja ta stosuje format zgodny z narzędziem *doxygen*, co pozwoliło na jej ujednolicenie i zwiększenie czytelności. Dzięki wcześniej wspomnianej zgodności możliwe jest wygenerowanie dokumentacji w postaci plików *html*. Dokumentacja taka, w celu jej przeczytania, wymaga jedynie aktualnej przeglądarki internetowej. W celu pełnego wsparcia dokumentacji w postaci plików *html* generowanych z użyciem narzędzia *doxygen* potrzebne było również dosto-

sowanie infrastruktury służącej do budowania projektu, a dokładnie plików *CMake*, dzięki czemu wygenerowane pliki *make* posiadają moduły odpowiedzialne za obsługę wcześniej wspomnianej dokumentacji.

Rysunek A.3 przedstawia przykładową dokumentację zgodną z formatem wspieranym przez narzędzie *doxygen*. Zawiera ona krótki opis dotyczący metody, następnie opis każdego z parametrów przyjmowanych przez daną metodą oraz wartość zwracaną przez metodę. Informacje te są bardzo przydatne w przypadku, gdy nie jesteśmy pewni, zważając na samą definicję metody, jej działania, parametrów wejściowych, czy też wyjścia. Opis taki rozwiewa częściowo wątpliwości i pozwala w poprawny sposób skorzystać z wcześniej napisanego kodu.

```
/**
 * \brief Computes initial peak position for Gauss fit.
 * \param fitData Data used for performing fit and finding peak position.
 * \param fitParams Structure with fit parameters (like fit range).
 * \return Initial peak position.
 */
double calculateInitialPeakPositionForGaussFit(const std::vector<double>& fitData,
                                              const FitParams& fitParams);

/**
 * \brief Calculates starting Gauss fit parameters for Xenon.
 * \param fitData Data used for performing fit.
 * \param fitParams Structure where initial fit parameters should be stored.
 */
void calculateStartParamsForXenonGaussFit(const std::vector<double>& fitData,
                                           FitParams& fitParams);
```

Rys. A.3. Przykładowa dokumentacja metod w bibliotece *fit-lib* w ramach projektu GGSS

Rysunek A.4 przedstawia dokumentację jednej z metod w bibliotece *log-lib*. Zawartość jest zbliżona jak w przypadku rysunku A.3, natomiast przedstawiona w bardziej przystępny sposób. Dokumentacja wygenerowana za pomocą narzędzia *doxygen* świetnie nadaje się na udostępnienie zewnętrznym użytkownikom. Pozwala również w łatwiejszy sposób przeglądać pełną dokumentację danego modułu bez potrzeby przeglądania kodu źródłowego.

Function Documentation

SeverityLevel SeverityLevelConverters::toEnum (const std::string & severityLevel)
noexcept

Converts string to suitable SeverityLevel enum class entry. Throws if conversion not possible.

Note

To check acceptable string values please take a look at SeverityLevel enum class - all-lowercase as well as mixed and uppercase representations of entries found there (for example "trace") will be accepted by this function.

Parameters

String representation of SeverityLevel enum class entry.

Returns

SeverityLevel enum class entry selected according to given string representation.

Exceptions

out_of_range this function uses .at() method from std::map, and this method can throw if given string does not represent any of the entries from the enum.

Rys. A.4. Przykładowa dokumentacja metod w bibliotece *fit-lib* w ramach projektu GGSS

Ostatnim elementem dokumentacji zawartym w projekcie są dokumenty *how-to*. Napisane, podobnie jak pliki *README*, za pomocą języka znaczników *Markdown*, natomiast mają charakter globalny dla całego projektu - nie ograniczają się do jednego repozytorium. Dokumenty takie znajdują się w repozytorium *ggss-aux*. Opisane są tam krok po kroku bardziej zaawansowane aspekty pracy z projektem GGSS, jak np.: sposób obsługi architektury wielopoziomowej opartej o submoduły, czy też przygotowywanie wirtualnej maszyny do pracy jako *gitlab runner* w środowisku GitLab udostępnionym w ramach infrastruktury CERN.

A.5. Konwencja kodowania

Ze względu na to, że w trakcie pracy magisterskiej bardzo duży nacisk położono na część aplikacyjną projektu autorzy, jeszcze przed rozpoczęciem pracy nad kodem źródłowym, postanowili ustanowić konwencję kodowania, tak, aby na przestrzeni całego projektu GGSS utrzymać jednolity kod. Zasady, które zostały ustalone dotyczą nazewnictwa: klas, przestrzeni nazw, zmiennych, plików. Postanowiono wykorzystać, dobrze znane w środowisku, systemy notacji ciągów tekstowych *lower camel case* oraz *upper camel case*. Ze względu na różnorodność możliwych rozszerzeń plików w przypadku języka C++ postanowiono również ujednolicić ten aspekt. W przypadku plików z kodem źródłowym zastosowano rozszerzenia *.cpp* oraz *.h*.

Ustanawiając konwencję kodowania postanowiono ograniczyć się do wyżej wymienionych aspektów, sposób projektowania architektury, podziału na foldery, klasy, etc. wewnątrz da-

negu modułu pozostawiono bez większych obostrzeń. Oczywiście autorzy w każdym z dotkniętych miejsc stosowali dobre praktyki programistyczne oraz tak zwany *clean code*, natomiast, ze względu na to, że w większości przypadków prace nad projektem dotyczyły modyfikacji już istniejącego kodu oraz modułów była zachowana wcześniej zastosowana architektura.

B. Wybrane poradniki / Selected guides

B.1. Adding modules to the project using existing CMake templates

B.2. Working with git submodules

B.3. Creating proper GGSS Docker image for CI/CD infrastructure

B.4. Using new GGSS DIM commands

B.5. Using GGSS DIM HV commands

Bibliografia

- [1] Wikipedia The Free Encyclopedia. *World Wide Web*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web (term. wiz. 2021-08-27).
- [2] Wikipedia The Free Encyclopedia. *Hypertext Transfer Protocol*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol (term. wiz. 2021-08-27).
- [3] CERN. *The Large Hadron Collider*. URL: <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider> (term. wiz. 2021-08-27).
- [4] CERN. *ATLAS Experiment*. URL: <https://atlas.cern/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [5] M. Bochenek, T. Bołd, K. Ciba, W. Dąbrowski, M. Deptuch, M. Dwużnik, T. Fiutowski, I. Grabowska-Bołd, M. Idzik, K. Jeleń, D. Kisielewska, S. Koperny, T. Z. Kowalski, S. Kulis, B. Mindur, B. Muryn, A. Obłąkowska-Mucha, J. Pieron, K. Półtorak, B. Prochal, L. Suszycki, T. Szumlak, K. Świentek, B. Toczek i T. Tora. „Budowa aparatury detekcyjnej i przygotowanie programu fizycznego przyszłych eksperymentów fizyki cząstek (ATLAS i LHCb na akceleratorze LHC i Super LHC oraz eksperymentu na akceleratorze liniowym ILC).” W: *Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica. Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej. Raport Roczny 2008*. (2008).
- [6] Bartosz Mindur (Corresponding author). „Gas gain stabilisation in the ATLAS TRT detector”. W: *Journal of Instrumentation* (2016).
- [7] Jarosław Cierpich i Arkadiusz Kasprzak. *Rozbudowa i uaktualnienie oprogramowania systemu GGSS detektora ATLAS TRT*. 2020.
- [8] URL: <https://git-scm.com/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [9] Kitware. URL: <https://cmake.org/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [10] GitLab. *GitLab Continuous Integration (CI) and Continuous Delivery (CD)*. URL: <https://about.gitlab.com/product/continuous-integration/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [11] Bjarne Stroustrup. *Język C++, Kompendium Wiedzy, Wydanie IV (The C++ Programming Language, 4th Edition)*. ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice: HELION S.A., 2014, s. 35–53.
- [12] URL: <https://en.cppreference.com/w/> (term. wiz. 2021-08-27).

- [13] Brian W. Kernighan i Dennis M. Ritchie. *Język ANSI C. Programowanie. Wydanie II*. ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice: HELION S.A., 2010.
- [14] Stephen Roth. *Czysty kod w C++17. Oprogramowanie łatwe w utrzymaniu*. ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice: HELION S.A., 2018.
- [15] URL: <https://www.boost.org/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [16] Dokumentacja biblioteki Boost w wersji 1.57.0. URL: https://www.boost.org/doc/libs/1_57_0/?view=categorized (term. wiz. 2021-08-27).
- [17] URL: <https://www.gnu.org/software/gsl/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [18] URL: <https://www.qt.io/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [19] Wikipedia The Free Encyclopedia. *Monte Carlo integration*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_integration (term. wiz. 2021-08-27).
- [20] URL: <https://www.python.org/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [21] Mark Lutz. *Python. Wprowadzenie. Wydanie IV (Learning Python, Fourth Edition by Mark Lutz)*. ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice: HELION S.A., 2011, s. 49–65.
- [22] Nicholas Nethercote. *Dynamic Binary Analysis and Instrumentation or Building Tools is Easy*. 2004.
- [23] URL: <https://www.gnu.org/software/gdb/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [24] Valgrind Developers. *Valgrind*. URL: <https://valgrind.org/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [25] Tomasz Bukowski, Grzegorz Antoniak, Tomasz Kwiecień, Mateusz Krzywicki, Marcin Hartung, Gynvael Coldwind, Hasherezade, Maciej Kotowicz, Michał Kowalczyk, Robert Święcki, Piotr Bania i Mateusz Jurczyk. *Praktyczna Inżynieria Wsteczna. Metody, techniki i narzędzia*. ul. Gottlieba Daimlera 2, 02-460 Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2018.
- [26] Julian Seward i Nicholas Nethercote. *Using Valgrind to detect undefined value errors with bit-precision*. 2005.
- [27] Julian Seward i Nicholas Nethercote. *How to Shadow Every Byte of Memory Used by a Program*. 2007.
- [28] Valgrind Developers. *Massif: a heap profiler*. URL: <https://valgrind.org/docs/manual/ms-manual.html> (term. wiz. 2021-08-27).
- [29] URL: <https://clang.llvm.org/extra/clang-tidy/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [30] URL: <https://clang.llvm.org/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [31] JetBrains. *Static code analysis*. URL: <https://www.jetbrains.com/help/clion/code-inspection.html> (term. wiz. 2021-08-27).
- [32] Scott Chacon i Ben Straub. *Pro Git 2nd ed. Edition*. APress, 2014.

- [33] URL: <https://docs.docker.com/engine/docker-overview/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [34] URL: <https://rpm.org/documentation.html> (term. wiz. 2021-08-27).
- [35] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/RPM_Package_Manager (term. wiz. 2021-08-27).
- [36] URL: <https://www.gnu.org/software/bash/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [37] Wikipedia The Free Encyclopedia. *XML*. URL: <https://pl.wikipedia.org/wiki/XML> (term. wiz. 2021-08-27).
- [38] URL: <https://www.winccoa.com/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [39] Wikipedia The Free Encyclopedia. *SCADA*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA> (term. wiz. 2021-08-27).
- [40] C. Gaspar. *DIM Distributed Information Management System*. URL: <https://dim.web.cern.ch/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [41] Paweł Zadrożniak. *Opracowanie oraz oprogramowanie multipleksa sygnałów analogowych*. 2013.
- [42] Paweł Zadrożniak. *Aktualizacja sprzętu elektronicznego dla Systemu Stabilizacji Wzmocnienia Gazowego*. 2015.
- [43] Bartosz Mindur. *Wybrane zagadnienia związane z pracą słomkowych liczników proporcjonalnych w detektorze TRT eksperymentu ATLAS*. 2004.
- [44] URL: <https://www.caen.it/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [45] Grzegorz Podsiadło. *Uaktualnienie systemu kontroli detektora dedykowanemu dla ATLAS TRT GGSS*. 2020.
- [46] URL: <https://www.doxygen.nl/index.html> (term. wiz. 2021-08-27).
- [47] URL: <https://gitpython.readthedocs.io/en/stable/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [48] URL: <https://semver.org/> (term. wiz. 2021-08-26).
- [49] URL: <https://github.com/semantic-release/semantic-release> (term. wiz. 2021-08-26).
- [50] URL: <https://www.javascript.com/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [51] URL: <https://nodejs.org/en/> (term. wiz. 2021-08-27).
- [52] URL: <https://github.com/conventional-changelog/conventional-changelog/tree/master/packages/conventional-changelog-eslint> (term. wiz. 2021-08-26).