



**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 oprogramowaniu systemu GGSS, w tym dodanie nowych funkcjonalności
  - przeprowadzanie okresowych testów działania systemu w środowisku docelowym
  - wykonanie prac nad infrastrukturą projektu
5. 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 zmian w oprogramowaniu systemu GGSS, w tym dodanie nowych funkcjonalności
  - przeprowadzanie okresowych testów działania systemu w środowisku docelowym
  - wykonanie prac nad infrastrukturą projektu
5. Opracowanie redakcyjne pracy.

Termin oddania w dziekanacie: ?? września 2021

.....  
(podpis kierownika katedry)

.....  
(podpis opiekuna)



---

## Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	9
1.1. Wprowadzenie do systemu GGSS	9
1.2. Cel pracy	9
<b>2. Budowa i działanie systemu GGSS</b>	11
2.1. Wysokopoziomowa architektura systemu GGSS	11
2.2. Urządzenia elektroniczne	12
2.3. Warstwa oprogramowania	13
2.4. Oprogramowanie WinCC OA	14
2.5. Środowisko docelowe i ograniczenia	15
<b>3. Praktyki stosowane w projekcie</b>	17
<b>4. Prace nad architekturą i infrastrukturą projektu</b>	19
4.1. Zmiany w architekturze projektu	19
4.1.1. Stan początkowy architektury projektu	19
4.1.2. Motywacja do wprowadzenia zmian	23
4.1.3. Uproszczenie architektury projektu	23
4.1.4. Dodanie możliwości odtworzenia pierwotnej wersji kodu źródłowego	26
4.1.5. Pomniejsze zmiany	27
4.1.6. Podsumowanie	29
4.2. Automatyzacja pracy z submodułami	30
4.3. Rozwój systemu budowania projektu	30
4.4. Automatyzacja i centralizacja wersjonowania projektu	30
4.5. Pakietowanie i rozlokowanie projektu	30
4.6. Rozwój infrastruktury do testowania warstwy sprzętowej	30
<b>5. Prace nad kodem źródłowym projektu</b>	31
<b>6. Testy systemu</b>	33
<b>7. Podsumowanie</b>	35



# 1. Wstęp

## 1.1. Wprowadzenie do systemu GGSS

Europejska Organizacja Badań Jądrowych CERN jest jednym z najważniejszych ośrodków naukowo-badawczych na świecie i miejscem rozwoju zarówno fizyki, jak i informatyki. Będąc miejscem powstania wielu znaczących technologii (m.in. protokół *HTTP - Hypertext Transfer Protocol*), CERN kojarzony jest dziś przede wszystkim z Wielkim Zderzaczem Hadronów (*LHC - Large Hadron Collider*) - największym akceleratorem cząstek na świecie. Jednym z pracujących przy LHC eksperymentów jest detektor ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*), pełniący kluczową rolę w rozwoju współczesnej fizyki - przyczynił się on do potwierdzenia istnienia tzw. bozonu Higgsa w 2012 roku.

Detektor ATLAS zbudowany jest z kilku pod-detektorów, tworzących strukturę warstwową. Najbardziej wewnętrzną część stanowi tzw. Detektor Wewnętrzny (ang. *Inner Detector*), 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*) jest jednym z podsystemów detektora TRT, mającym zapewnić jego poprawne działanie. Projekt ten zintegrowany jest z systemem kontroli detektora ATLAS (*DCS - Detector Control System*). 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.

W niniejszej pracy autorzy przybliżą najważniejsze zmiany dokonane przez nich w czasie półtorarocznych prac nad rozwojem i usprawnieniem systemu GGSS. Prace obejmują przede wszystkim zmiany w warstwie oprogramowania, mające na celu zarówno wprowadzenia nowych funkcjonalności do systemu, jak również uczynienie go bardziej przystępnym dla korzystających z niego osób, m.in. poprzez automatyzację procesów związanych z cyklem życia oprogramowania (np. tworzenie nowych wydań).

## 1.2. Cel pracy



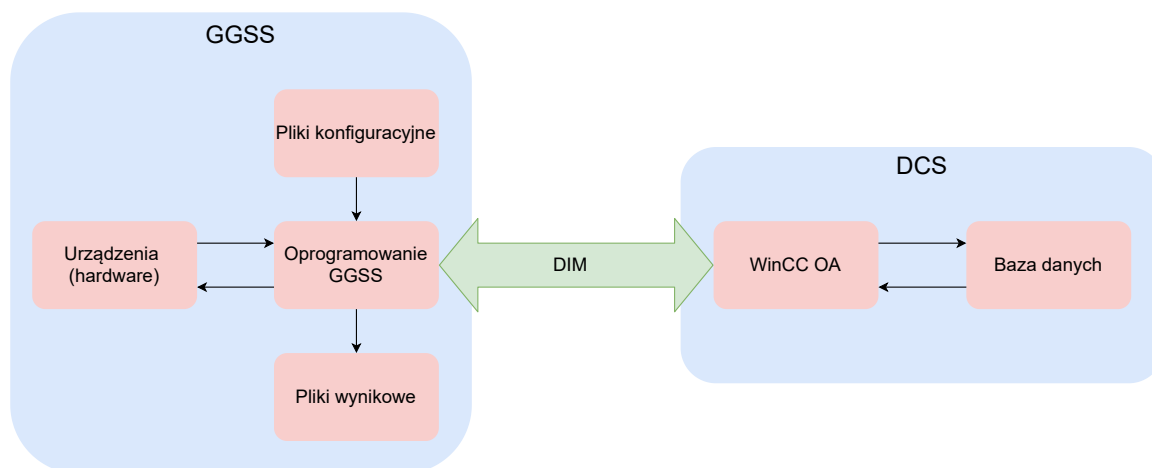
## 2. Budowa i działanie systemu GGSS

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.

### 2.1. Wysokopoziomowa architektura systemu GGSS

System GGSS składa się z kilku współpracujących ze sobą elementów, przedstawionych (wraz z występującymi między nimi interakcjami) na rysunku 2.1. 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*) **cytowanie**, 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* - cytowanie** - system typu SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) **cytowanie**, stanowiący część systemu kontroli detektora ATLAS, pozwalający na obserwację i kontrolę działania poszczególnych poddetektorów
- ***Distributed Information Management System (DIM)* - cytowanie** protokół komunikacyjny dla środowisk rozproszonych, oparty o architekturę klient-serwer, zapewniający komunikację między oprogramowaniem systemu GGSS a systemem WinCC OA



**Rys. 2.1.** Wysokopoziomowa architektura projektu GGSS. Strzałkami oznaczono przepływ danych pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu.

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.

### 2.2. 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 multipleksa sygnałów analogowych **cytowanie**. Urządzenia podłączone są do komputera PC, który steruje nimi za pomocą oprogramowania systemu GGSS. W tabeli 2.1 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*, której autorem jest dr hab. inż. Bartosz Mindur, prof. AGH **cytowanie**.

**Tabela 2.1.** Zestawienie istotnych z punktu widzenia niniejszej pracy urządzeń wchodzących w skład systemu GGSS.

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

## 2.3. 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):

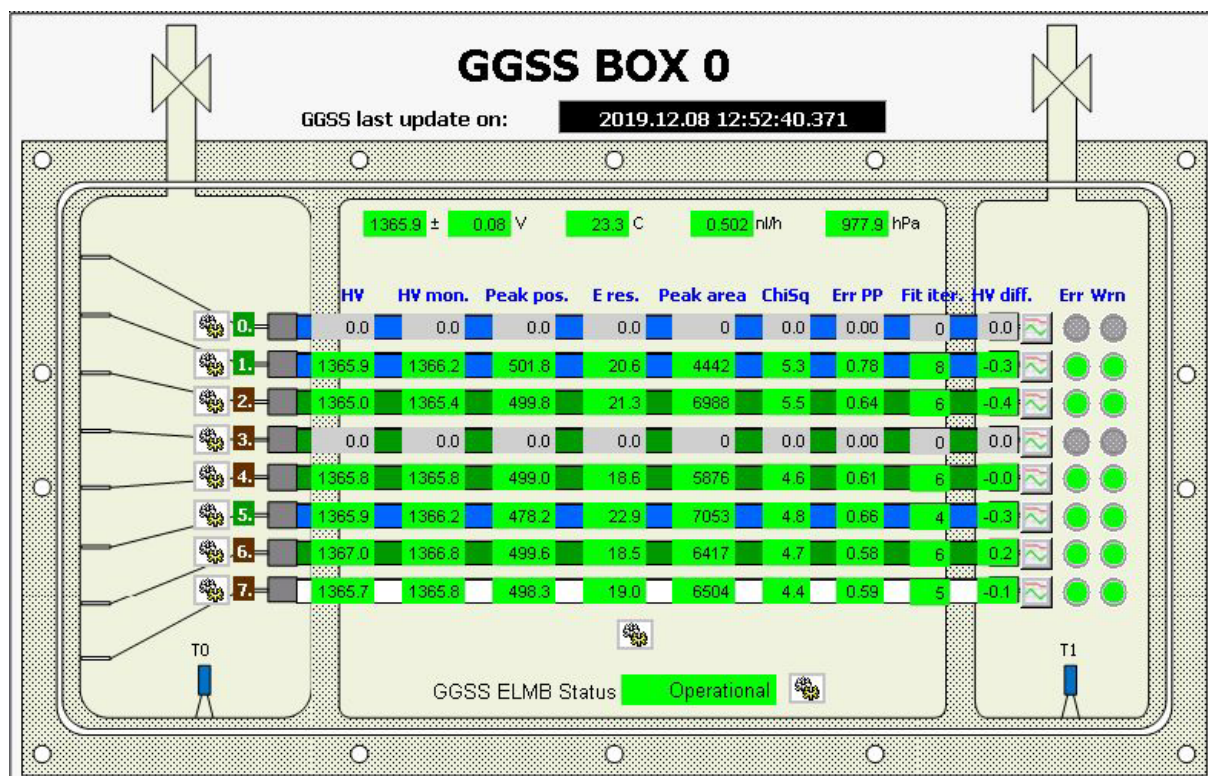
- *ggss-spector* - aplikacja okienkowa służąca do wizualizacji zebranych przez system danych (zapisanych w plikach wynikowych)
- *ggss-reader* - niezależna aplikacja przeznaczona do wykorzystywania na maszynach deweloperskich, pozwalająca na odtwarzanie działania oprogramowania sterującego GGSS, tzn. wysyłająca do systemu kontroli detektora archiwalne dane z pominięciem warstwy sprzętowej **cytowanie pracy grzeska**
- *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 (**cytat i tytuł**). W dalszej części niniejszego manuskryptu omówione zostaną wprowadzone w ramach pracy magisterskiej rozszerzenia.

## 2.4. 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 2.2.



**Rys. 2.2.** 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

widzenia 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.

## 2.5. 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 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 - **dopisac cos**
- 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. 2.1) 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.



### **3. Praktyki stosowane w projekcie**



## **4. Prace nad architekturą i infrastrukturą projektu**

Niniejszy rozdział zawiera opis prac wykonanych przez autorów w ramach rozwoju architektury i infrastruktury systemu GGSS. Rozdział ten stanowi bezpośrednią kontynuację pracy inżynierskiej autorów, 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**

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. Stan początkowy architektury projektu**

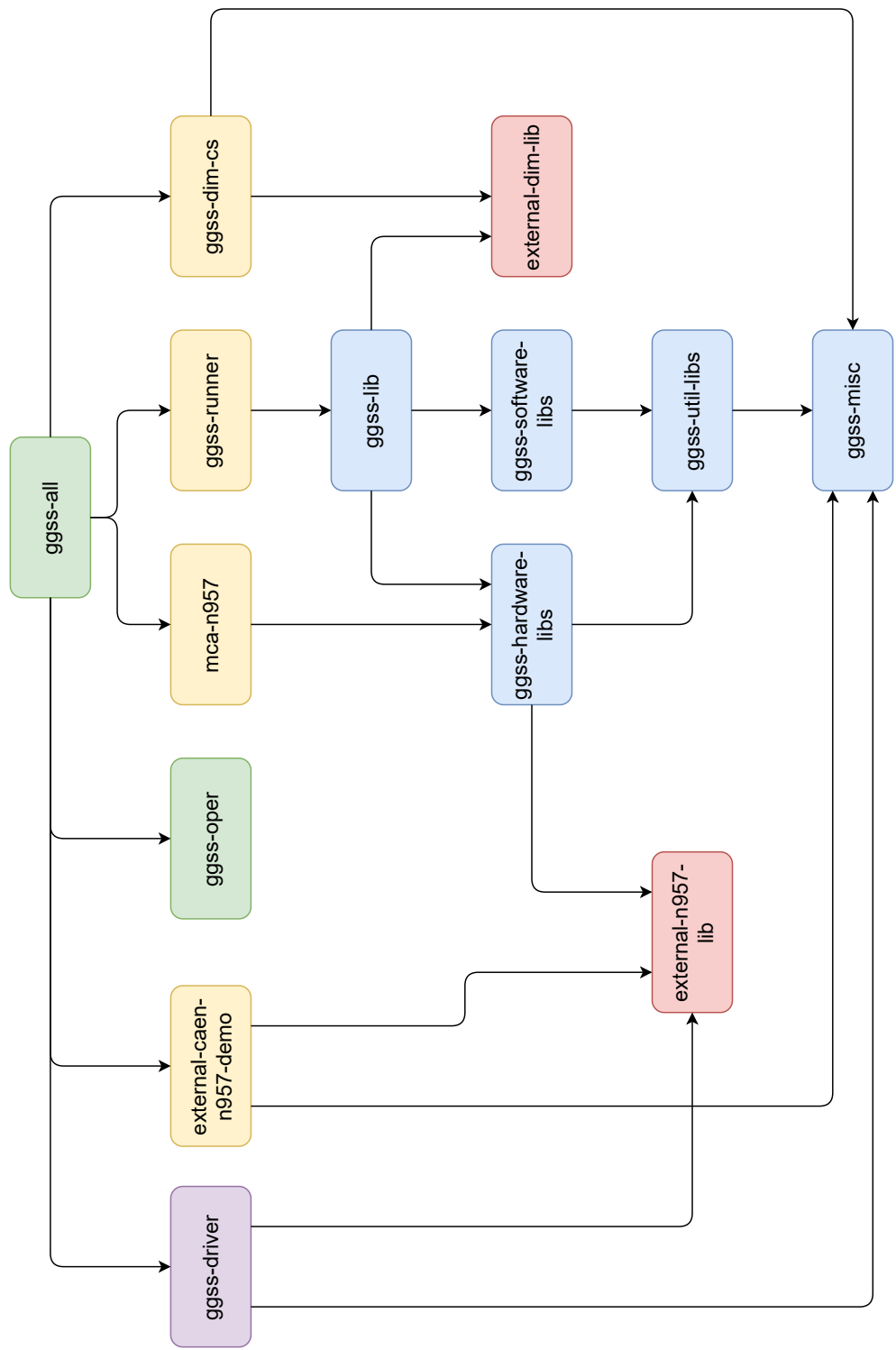
Przeprowadzone przez autorów w ramach pracy inżynierskiej modyfikacje architektury systemu GGSS obejmowały przede wszystkim migrację projektu do systemu kontroli wersji Git, wprowadzenie spójnego nazewnictwa poszczególnych komponentów oraz zastosowanie funkcjonalności submodułów będącej częścią technologii 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 struktury projektu 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 repozytoriów pomocniczych, zawierających np. dokumentację). Projekt zawierał 14 repozytoriów, tworzących strukturę hierarchiczną, w skład których wchodziły m.in.: 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 multiplexera 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 wyłącznie z warstwą oprogramowania. 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 łańcuchem 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



**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

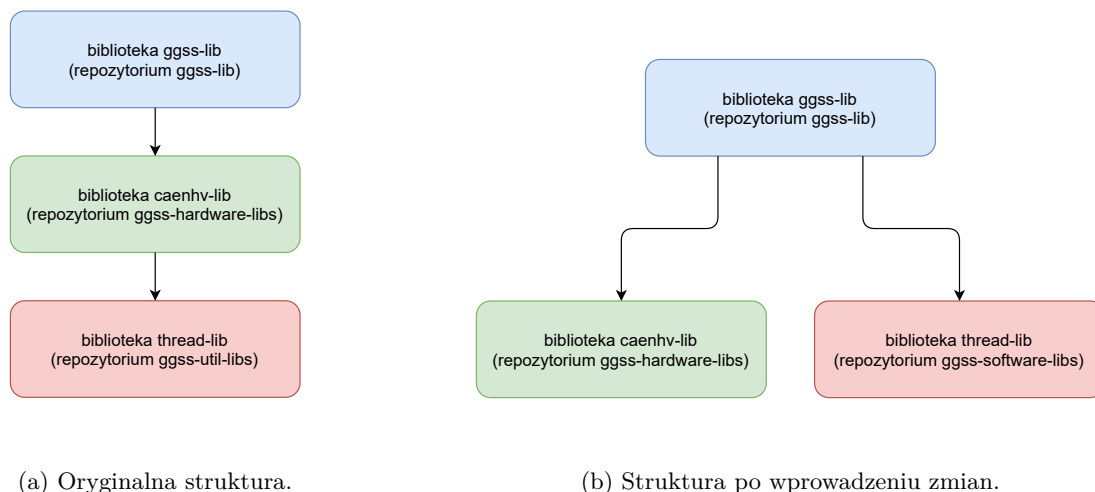
Przygotowane przez autorów w ramach pracy inżynierskiej rozwiązanie było w pełni funkcjonalne, charakteryzowało się jednak pewnymi wadami i ograniczeniami, wynikającymi przede wszystkim z ograniczeń czasowych, niewielkiego doświadczenia autorów w pracy z projektem oraz istniejącego wtedy założenia o 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 - mogłoby 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 źródłowym 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*.



**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 tejże 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-lib*s.

**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-lib/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 konfigurujące 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-lib*s zdecydowano się na likwidację katalogu `include` i rozdysonowanie jego zawartości do istniejących lub nowych bibliotek. Plik `CompatibilityFlags.h` przeniesiony został więc do biblioteki *utils-lib*, natomiast na potrzebę 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 nowość stanowi katalog `doxygen-config`, zawierający prosty plik konfigurujący działanie narzędzia Doxygen 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
```

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 repozytoria *mca-n957* oraz *external-caen-n957-demo* zostaną dołączone do nowo powstałego repozytorium *ggss-hardware-service-apps*, grupującego niewielkie programy służące do operowania na urządzeniach.

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-lib*, *ggss-hardware-lib*, *external-dim-lib*, *external-n957-lib* oraz *ggss-util-lib*. 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. Przeprowadzone prace obejmują bogaty zakres wprowadzonych zmian, nie jest więc możliwe zamieszczenie w niniejszej pracy dokładnego opisu każdej z nich. Poniżej krótko opisane zostały więc trzy wybrane przez autorów modyfikacje, charakteryzujące się różnym poziomem skomplikowania, ale operujące na poziomie pojedynczych repozytoriów.

### 4.1.5.1. Likwidacja 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 zlikwidowany.

### 4.1.5.2. Utworzenie biblioteki *asyncserial-lib*

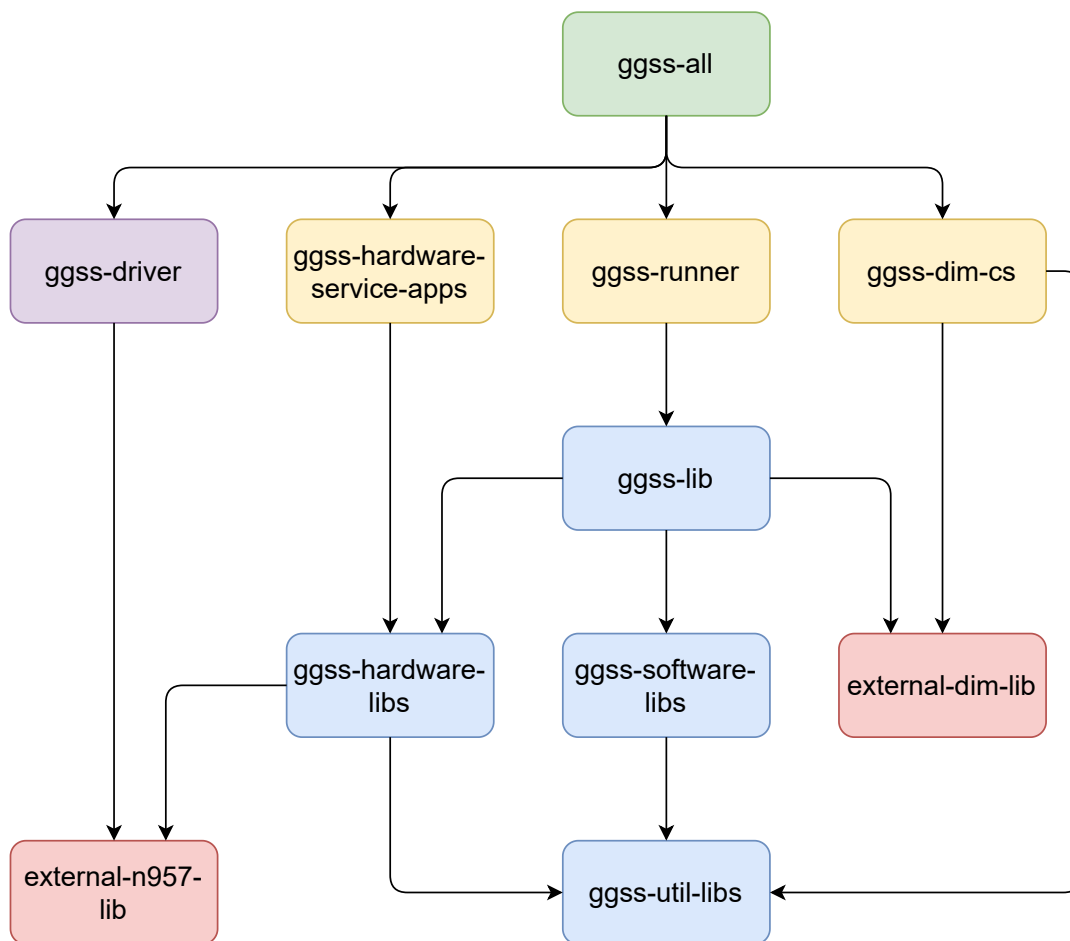
Podczas prac nad kodem źródłowym bibliotek statycznych wchodzących w skład repozytorium *ggss-hardware-libs* zaobserwowano, że w katalogach bibliotek *usbrm-lib* oraz *caenn1470-lib* zamieszczony został, poza właściwym dla nich kodem źródłowym, zestaw plików zawierających implementację asynchronicznej 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 przeniesiona została, 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**

**4.3. Rozwój systemu budowania projektu**

**4.4. Automatyzacja i centralizacja wersjonowania projektu**

**4.5. Pakietowanie i rozlokowanie projektu**

**4.6. Rozwój infrastruktury do testowania warstwy sprzętowej**

## **5. Prace nad kodem źródłowym projektu**





## 6. Testy systemu



## 7. Podsumowanie