

## **Zarządzanie siecią energetyczną**

### **Cele oraz zakres projektu**

Celem projektu jest stworzenie automatycznego systemu regulującego pracę sieci elektroenergetycznej. System ma automatycznie dbać o regulowanie obciążenia elektrowni, linii przesyłowych oraz akumulatorów by zminimalizować ryzyko awarii oraz optymalizować koszt wytwarzania energii.

Cały mechanizm regulacyjny ma odbywać się całkowicie automatycznie z uwagi na szybkość automatyki w porównaniu do możliwości ludzkich.

System ma posiadać zdolność podejmowania decyzji na podstawie danych statystycznych zgromadzonych w bazie danych.

### **Wymagania funkcjonalne**

W ogólności klientami systemu są 2 grupy użytkowników

- Centrala
  - Monitoruje całą sieć
    - Monitoring odbywa się na podstawie analizy zebranych meldunków i reakcji na zmieniające się parametry. Czas reakcji na zmianę w sieci musi być bardzo szybki rzędu 50 milisekund (bez uwzględnienia opóźnień transmisji danych przez sieć)
  - Ma możliwość wysyłania instrukcji do elementów sieci
  - Odbiera meldunki od elementów sieci
  - Steruje siecią wedle zdefiniowanych parametrów
- Element sieci
  - Odbiera polecenia od centrali
  - Wysyła meldunki do centrali (w regularnych odstępach czasu)
  - W oparciu o otrzymane polecenia steruje danym elementem sieci
  - Może zmieniać swoje cechy

### **Elementy sieci**

Sieć elektroenergetyczna składa się z następujących elementów

- Elektrownie
- Zbiorniki energii (baterie)
- Linie przesyłowe
- Odbiorca energii

## Elektrownia

### Cechy

Jest to element sieci który dostarcza prąd. Z punktu widzenia systemu najważniejsze cechy które muszą być zdefiniowane to

- Rodzaj (węgiel, ropa, gaz, atom, woda, wiatr, słońce)
  - Przechowywane w celu statystycznym
- Czas potrzebny na uruchomienie do pełnej mocy
  - Elektrownie potrzebują różnego czasu by móc zacząć działać z pełną mocą może być on liczony w minutach (dla turbin gazowych) do tygodni (dla reaktorów jądrowych)
- Czas potrzebny na wyłączenie elektrowni
  - Niektóre elektrownie wyłączają się bardzo długo np. reaktory jądrowe. Stąd opłacalne jest utrzymywanie ich w pełnej mocy przez dłuższy czas.
- Koszt kilowatogodziny
  - Elektrownie różnią się kosztem wytworzenia energii. Elektrownie atomowe wytwarzają bardzo tani prąd, ale nie mogą być łatwo włączane i wyłączane. Z kolei elektrownie bazujące ropie mogą być uruchamiane i wyłączane w minuty, ale koszt paliwa jest dużo większy niż w przypadku uranu
- Moc maksymalna
  - Jest to maksymalna możliwa moc do uzyskania przez elektrownię w kilowatach
- Moc bieżąca
  - Jest to bieżąca moc wytwarzana przez elektrownię (parametr bardzo ważny dla źródeł takich jak wiatr czy słońce)

### Zdefiniowe polecenia

## Zbiornik energii (bateria)

### Cechy

Jest to element sieci mający zdolność przyjmowania i oddawania energii. Jako magazyn jest równoważyć niedobory energetyczne i magazynować nadmiary energii.

Z punktu widzenia systemu jego najważniejsze cechy to

- Rodzaj
  - Przechowywany w celach statystycznych
- Bieżący stan
  - Każdy zbiornik energii może być ładowany, rozładowywany lub być w stanie spoczynku
- Stan naładowania
  - Stan naładowania podaje pozostałą energię zarówno w wartości procentowej jak i w kilowatogodzinach
- Czas ładowania
  - Parametr określa ile zajmuje naładowanie danego zbiornika energii w minutach
- Maksymalna moc ładowania
  - Parametr określa jak dużo energii można w danym momencie podać do zbiornika w kilowatach
- Maksymalna moc rozładowania
  - Parametr określa jak dużo energii może oddać naraz zbiornik kilowatach
- Pozostały czas działania przy bieżącym obciążeniu
  - Określa jak długo zbiornik energii jest w stanie ją dostarczać przy obecnym poziomie rozładowania
- Pozostały czas ładowania
  - Określa ile czasu zostało do pełnego naładowania zbiornika

### [Zdefiniowe polecenia](#)

## **Linia przesyłowa**

### **Cechy**

Ten element sieci odpowiada za przesyłanie energii między elementami sieci energetycznej.

Z punktu widzenia systemu jej najważniejsze cechy to:

- Długość
  - Potrzebne do celów statystycznych
- Sprawność
  - W zależności od pogody i użytych materiałów linia energetyczna charakteryzuje się różną stratnością spowodowaną przez opór elektryczny. Wartość podawana jest w procentach określających ile energii zostanie utraconej po przesłaniu
- Maksymalna moc
  - Parametr określa ile energii może maksymalnie być przesłane przez daną linię przesyłową. Podawany jest w kilowatach
- Obciążenie
  - Podaje aktualne obciążenie linii w procentach jak i w kilowatach

### **Odbiorca energii**

#### Zdefiniowe polecenia

Jest to element sieci przesyłowej który pobiera energię.

Z punktu widzenia systemu istotne cechy to:

- Rodzaj
  - Do celów statystycznych (odbiorca indywidualny, firma)
- Priorytet
  - Określa jak bardzo ważne jest zapewnienie ciągłych dostaw energii do obiektu
  - Priorytet najwyższy to 1 (zawsze musi być prąd), każdy niższy oznacza mniejszy priorytet
- Zużycie energii
  - Parametr określa bieżący pobór mocy przez obiekt

### **Rola monitorująca centrali**

Centrala dostaje meldunki od elementów sieci. Częstotliwość wysyłania meldunków może być ustalana przez użytkownika w zależności od potrzeb, ale zaleca się by były to odstępy rzędu 10-20 min. Celem tego rozwiązania jest zapewnienie, że dany element sieci ciągle funkcjonuje i może być brany pod uwagę w zarządzaniu siecią.

Wszystkie meldunki są zapisywane w bazie danych w celach statystycznych.

System na bieżąco monitoruje stan sieci i w razie wykrycia jakiejś anomalii powiadamia nadzorującego go użytkownika.

Anomalie mogą być jawne i niejawne

#### **Jawne**

Każdy meldunek może zostać oznaczony jako pilny. Wówczas system natychmiast powiadomi użytkownika.

#### **Niejawne**

Tego typu anomalie są wywoływane przez centralę na podstawie analizy danych.

Przykładowe zdarzenia wywołujące powiadomienie o wystąpieniu anomalii to:

- Gwałtowny spadek mocy w dowolnym elemencie sieci
- Brak meldunku dochodzącego z jednego z elementów sieci przez zdefiniowany uprzednio czas
- Parametr nie mieszający się w zakresie (przykładowo stan naładowania większy niż 100%)
- Dowolna inna zmiana w sieci zdefiniowana przez użytkownika

## **Rola nadzorcza centrali**

Centrala steruje siecią energetyczną poprzez wysyłanie komend do elementów sieci. Mogą to być komendy wysyłane ręcznie przez nadzorcę albo automatycznie celem utrzymania pracy sieci w zadanych parametrach. Czas reakcji ma kluczowe znaczenie. Pomijając wszystkie opóźnienia związane z łączami telekomunikacyjnymi czas reakcji powinien mieścić się w granicach 50 milisekund.

### **Komendy do elektrowni**

- Włączyć \ wyłączyć
- Zmienić moc bieżącą

### **Komendy do zbiorników energii (baterii)**

- Rozpocząć rozładowywanie
- Rozpocząć ładowanie
- Zmień maksymalną moc wyjściową

### **Komendy do linii przesyłowych**

- Włączyć \ Wyłączyć przesyłanie energii
- Zmienić maksymalną dopuszczalną moc przesyłową

### **Komendy do odbiorcy energii**

- Włączyć \ Wyłączyć dopływ energii

### **Parametry sieci**

Sieć jest sterowana tak, aby spełniać określone przez nadzorcę priorytety.

Przykładami takich priorytetów są:

- Maksymalizacja bezpieczeństwa energetycznego
- Minimalizacja zmarnowanej energii
- Ograniczenie pracy energii uzyskiwanych z elektrowni określonego typu
- Minimalizacja ilości energii która musi być przesłana
- Redukcja kosztów operacyjnych

### **Podejmowanie decyzji**

Decyzje są podejmowane na podstawie zgromadzonych danych statystycznych oraz aktualnego stanu sieci. Przykładowo celem zapewnienia maksymalnego bezpieczeństwa energetycznego system będzie utrzymywał wszystkie elektrownie włączone tak, aby można było szybko zwiększyć zdolność generowania energii. W celu oszacowania planowanego zużycia energii system wykorzystuje bazę danych do ustalenia jaki był trend zużycia energii w ostatnich dniach (czy rośnie czy maleje).

### **Użytkownicy**

System jest dostępny poprzez terminale. Są one nadzorowane przez techników w elektrowniach, liniach przesyłowych i w zbiornikach energii (bateriach) zaś u odbiorców są w pełni automatyczne. W zależności od stopnia automatyzacji terminal może sterować elementem sieci automatycznie lub jedynie informować nadzorującą go osobę o konieczności zmian.

Centrala ma możliwość pełnego dostępu do sieci energetycznej w razie konieczności ręcznego sterowania poszczególnymi elementami. Potrafi także eksportować dane zgromadzone przez system celem wykorzystania ich w innych celach (np. w celach rozliczeniowych).

### **Komunikacja między elementami sieci**

Komunikacja między elementami sieci powinna być możliwa za pomocą dowolnej metody obsługującej protokół TCP/IP celem minimalizacji kosztów implementacji.

Format meldunków i komunikatów powinien bazować na XML z uwagi na standaryzację.

### **Wymagania niefunkcjonalne**

Interface użytkownika musi być przejrzysty i graficzny i nie powinien wymagać żadnej informatycznej wiedzy by móc go poprawnie użytkować

Wszystkie dane używane i generowane przez system muszą być zapisywane w możliwie prostym formacie

**Założenia projektowe**

System ma postać klient\serwer gdzie serwer podejmuje decyzje dotyczące funkcjonowania sieci, zaś klienci mają możliwość odbierania i wysyłania do niego informacji.

Zarówno klient jak i serwer muszą sprawdzać czy nie doszło do przekłamania przesyłanych danych jak również weryfikować ich poprawność.

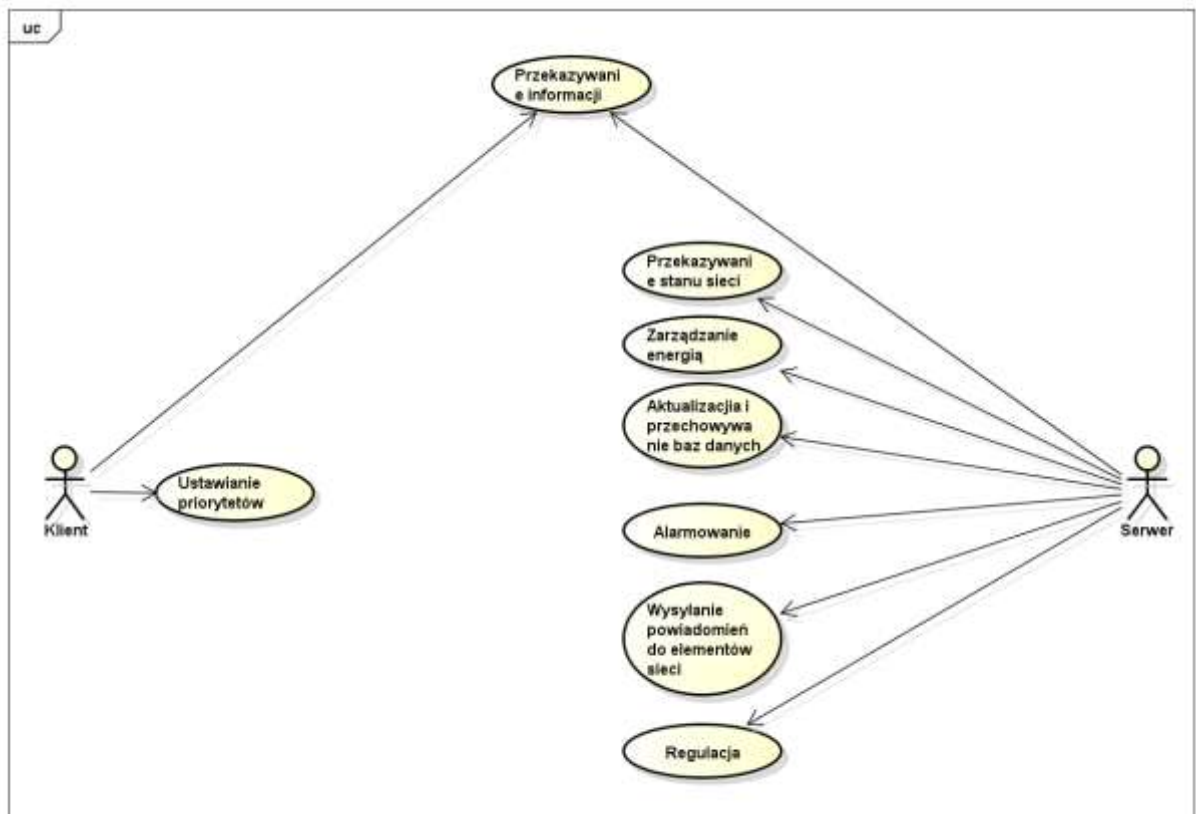
Z uwagi na możliwe stopnie złożoności sieci system musi być skalowalny do dowolnego możliwego fizycznie rozmiaru.

System musi zaalarmować nadzorującego go użytkownika o wszelkich sytuacjach nietypowych uprzednio zdefiniowanych jak i w razie wystąpienia jakichkolwiek błędów w funkcjonowaniu.

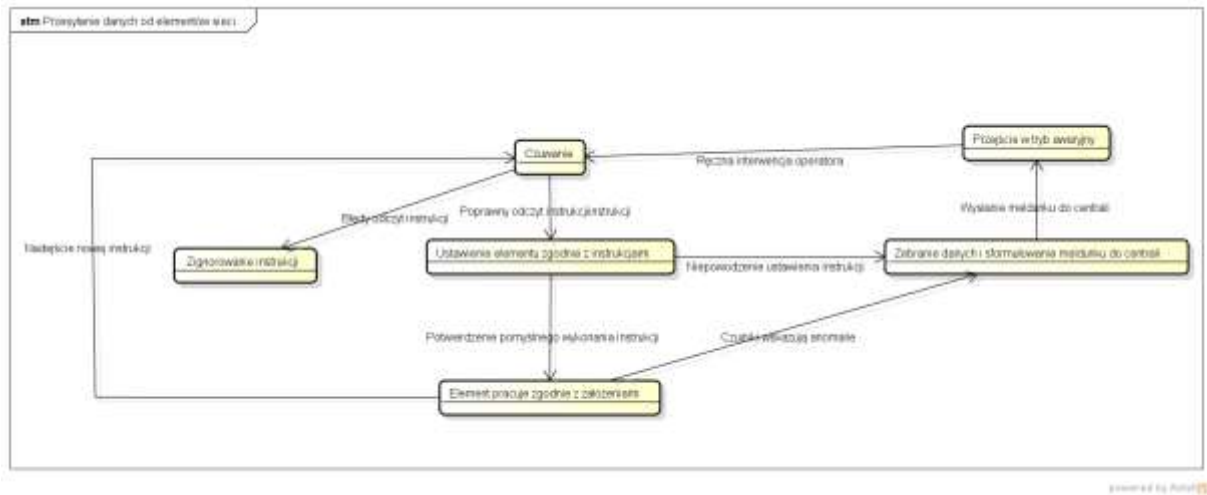
Podłączanie nowych elementów do systemu musi być możliwe proste.



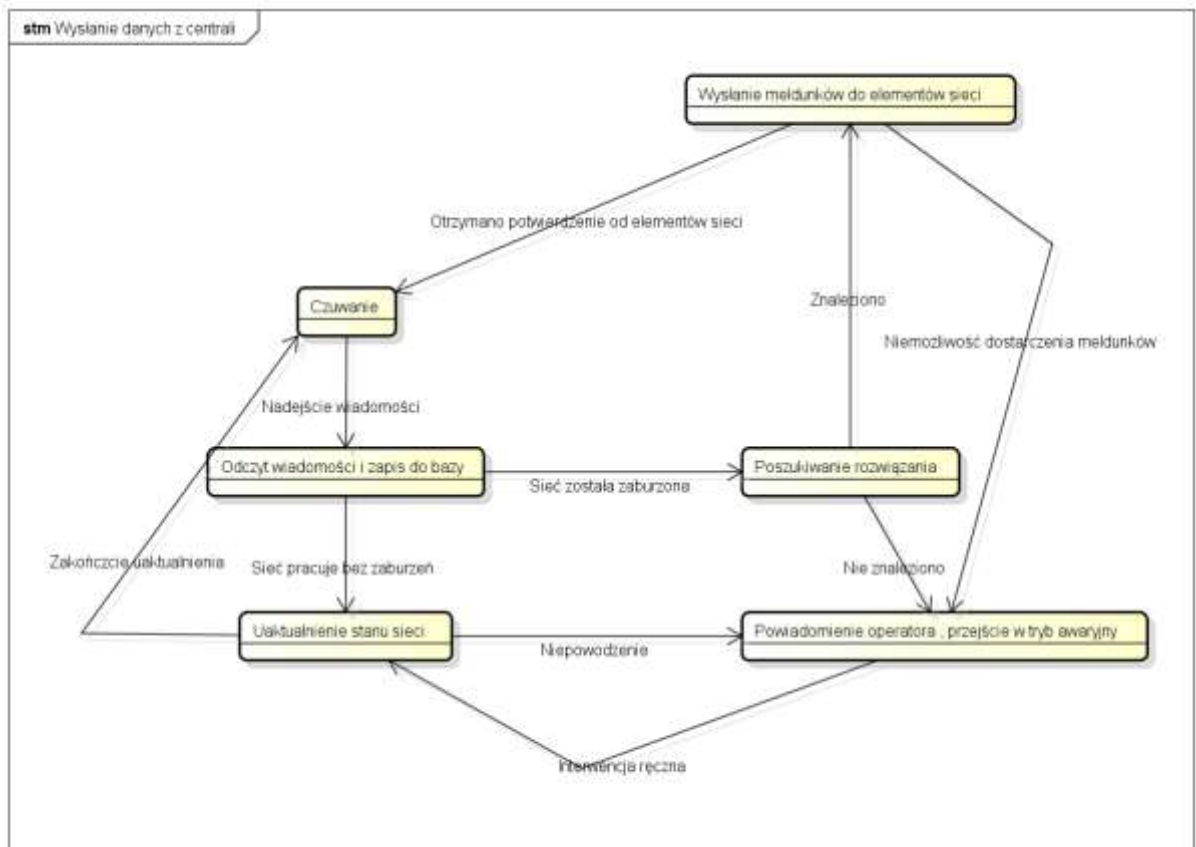
## Załącznik 1 – Use Case diagram



## Załącznik 2 – Transfer danych z elementu sieci do centrali



### Załącznik 3 – Otrzymywanie meldunków w centrali



## Załącznik 4 – Plan testów

### *Opis projektu*

Testowany system służy do zarządzania siecią elektroenergetyczną. W takim rodzaju sieci mogą mieć miejsce różne nieprzewidziane okoliczności i oczekuje się, że system będzie w stanie działać poprawnie niezależnie od ich wystąpienia.

### *Przypadek testowy*

Każdy przypadek testowy posiada:

- Zdefiniowaną strukturę sieci
- Zdefiniowane parametry wedle których system steruje siecią
- Zdefiniowany parametr testowy

### *Warunki przejścia testu*

By test został uznany za zaliczony wymagane jest

- Zapewnienie ciągłej dostawy energii (liczba energii wywarzanej nie może być mniejsza niż zużywanej)
- Wykonanie testu w czasie nie większym niż uprzednio zdefiniowany
- Utrzymanie parametru testowego powyżej założonego poziomu

### *Ocena wyniku testu*

Każdy test który zostanie uznany za zaliczony jest oceniany wedle wzoru:

$$ocena = \frac{P_{oczekiwany}}{P_{uzyskany}}$$

Stosowanie takiej miary daje obraz jak dobrze system radzi sobie z zadaną sytuacją.

## *Testy*

System by był uznany za w pełni funkcjonalny musi spełnić następujące warunki

- Posiadać zaimplementowane wszystkie potrzebne funkcje
- Funkcje mają działać w czasie umożliwiającym praktyczne wykorzystanie systemu
- System musi sprawdzać się w zadanych mu scenariuszach testowych

### *Test funkcjonalne*

Testy funkcjonalne obejmują funkcjonalność systemu. Miarą którą przyjmujemy za wynik testu jest czas reakcji systemu. System reagujący w czasie zbyt wolnym niż oczekiwany jest bezużyteczny.

### *Szablon testu*

Nazwa testu	Testowana funkcja	Maksymalny dopuszczalny czas wykonania	Uzyskany czas wykonania	Ocena

### *Test obciążeniowe*

Jeśli system zawiera wszystkie niezbędne funkcje należy go przetestować w scenariuszach uwzględniających przypadki z czasu rzeczywistego.

Parametr testowy opisuje którą cechę sieci poddajemy obserwacji.

### *Przykładowe parametry sieci które można poddać testowaniu*

1. Ilość energii produkowanej przez poszczególne źródła
2. Obciążenie źródeł energii
3. Obciążenie linii przesyłowych
4. Ilość traconej energii
5. Nadwyżka produkowanej energii
6. Nadwyżka energii produkowana przez dany rodzaj źródła energii

7. Całkowita pozostała ilość energii pozostała we wszystkich zbiornikach energii w sieci

***Szablon testu obciążeniowego***

Nazwa testu	Parametr testowy	Próg akceptacji	Uzyskany wynik	Ocena

***Testy niezawodnościowe***

Po przeprowadzeniu wszystkich testów należy sprawdzić niezawodność sieci. W tym celu stosuje się uzyskane przez testy oceny. Niezawodna sieć powinna przechodzić testy z dużym zapasem co zapewnia jej niezawodność w razie nieprzewidzianych sytuacji.

Test niezawodnościowy jest definiowany poprzez parametr który opisuje testy których oceny bierzemy pod uwagę.

***Szablon testu niezawodnościowego***

Nazwa testu	Badane testy	Próg akceptacji	Uzyskany wynik	Ocena

## Przykłady testów

### *Test funkcjonalny nr 1.*

„Testujemy czas reakcji centralnego systemu na komendę”

Opis testu

By system był funkcjonalny musi udzielać odpowiedzi w czasie mniejszym niż 50 ms (pomijamy opóźnienia łączy telekomunikacyjnych). W tym celu w warunkach symulacji wysyłamy spreparowane meldunki do systemu celem sprawdzenia działania. System będzie otrzymał w minutę 20 meldunków zwykłych i 1 alarmowy (oznaczający anomalię). By test został zaliczony każdy meldunek musi być przetworzony w mniej jak 50 ms.

Jakość systemu wyznaczymy poprzez obliczenie ilorazu czas oczekiwanego przez czas faktyczny.

$$\frac{50}{t_{uzyskane}}[ms] = Ocena$$

### *Test obciążeniowy nr 1.*

„Testujemy funkcjonalność systemu w zapewnianiu bezpieczeństwa energetycznego”

Opis testu

Testowa sieć energetyczna ma 3 źródła energii o mocy 500MW (atomowe), 100 źródeł o mocy 2 MW (wiatrowe) oraz 2 źródła o mocy 100 MW (turbiny gazowe).

Łącznie mamy 105 źródeł energii o łącznej mocy 1900MW, sieć potrzebuje 1600MW w szczycie. System jest zaprogramowany na ekonomizację pracy sieci.

Oczekiwanie:

Trywialne rozwiązanie polega na utrzymywaniu wszystkich źródeł energii na pełnej mocy. Jednakże jest nieefektywne ekonomicznie. Oczekujemy, że system będzie korzystał z elektrowni atomowych by pokryć podstawowe zapotrzebowanie i z wiatrowych by pokryć resztę. Gdy jednakże moc z energii wiatrowych zacznie spadać system włączy turbiny gazowe by zrównoważyć niedobór.

Nazwa testu	Parametr testowy	Próg akceptacji	Uzyskany wynik	Ocena
Ekonomia1	Koszt kilowatogodziny	Koszt poniżej 0.40	Koszt 0.10	4

### Test **niezawodnościowy** nr 1.

„Testujemy niezawodność całego systemu”

Opis: Niezawodny system będzie miał ocenę całkowitą większą od 1 im większa będzie ocena tym bardziej niezawodny system. Próg akceptacji można podnieść jeśli zyczy

Wyliczamy średnią ocenę wszystkich testów. Następnie dzielimy przez próg akceptacji. Uzyskany wynik to niezawodność.

Zakładamy, że progiem akceptacji jest średnia ocena większa niż 4

Nazwa testu	Badane testy	Próg akceptacji	Uzyskany wynik	Ocena
Niezawodność_globalna	Wszystkie	4	22	5,5