|  |  |
| --- | --- |
| **Politechnika Świętokrzyska** | |
| Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki | |
| **Niezawodność Systemów Komputerowych** | Temat projektu: **Inteligentny system sterowania domem (Smart Home)** |
| Skład zespołu (numer 10):   * Przemysław Kałuziński * Michał Kaczor * Jakub Kuśmierczyk | Data wykonania:  12.10.2025r. |

# Opis ogólny systemu

Projektowany system komputerowy to **inteligentny system sterowania domem (Smart Home)**, którego zadaniem jest **automatyczne zarządzanie, monitorowanie i sterowanie podstawowymi funkcjami budynku** w zakresie oświetlenia, bezpieczeństwa, komfortu cieplnego oraz kontroli dostępu.

System umożliwia zdalne i lokalne sterowanie urządzeniami za pomocą aplikacji mobilnej lub przeglądarki internetowej. Wszystkie komponenty są zintegrowane w jednej sieci domowej Wi-Fi i połączone z centralnym kontrolerem (hubem), który przetwarza dane i wydaje odpowiednie polecenia.

System składa się z ośmiu podstawowych elementów nieodnawialnych (router, kontroler, czujnik ruchu, kamera, system alarmowy, żarówka, termostat, zamek do drzwi), z których każdy pełni określoną funkcję i wpływa na niezawodność całego układu.

**Funkcjonalności systemu:**

**1. Sterowanie oświetleniem**

* System automatycznie **włącza światło po wykryciu ruchu** w pomieszczeniu (czujnik ruchu → hub → żarówka).
* Umożliwia **zdalne włączanie, wyłączanie, ściemnianie i zmianę koloru światła** z poziomu aplikacji mobilnej.
* Pozwala ustawiać **harmonogramy** włączania/wyłączania oświetlenia w zależności od pory dnia lub obecności domowników.
* Może działać w trybie **symulacji obecności**, włączając światło o losowych godzinach, gdy domownicy są poza domem.

**2. System bezpieczeństwa i monitoringu**

* **Kamera IP** rejestruje obraz i dźwięk w czasie rzeczywistym, umożliwiając zdalny podgląd na żywo.
* **System alarmowy** reaguje na wykrycie włamania, otwarcie drzwi lub okna oraz ruch w obiekcie.
* W przypadku zdarzenia alarmowego system:
  + Aktywuje syrenę alarmową,
  + Wysyła powiadomienie push/SMS/e-mail do użytkownika,
  + Może automatycznie zablokować inteligentny zamek.
* Kamera oraz czujniki mogą **działać w trybie nocnym (IR)**.
* System przechowuje historię zdarzeń (np. momenty wykrycia ruchu, aktywacji alarmu, logi wejść).

**3. Kontrola dostępu**

* Inteligentny zamek drzwi umożliwia:
  + zdalne **otwieranie i zamykanie** drzwi z aplikacji,
  + **automatyczne blokowanie/odblokowywanie** w zależności od lokalizacji użytkownika (geofencing),
  + **przyznawanie tymczasowych uprawnień** (np. dla gościa lub serwisanta),
  + **rejestrację historii wejść i wyjść**.
* W razie alarmu system może automatycznie **zablokować wszystkie zamki** w budynku.

**4. Sterowanie klimatem i oszczędność energii**

* **Inteligentny termostat** automatycznie dostosowuje temperaturę w budynku do preferencji użytkownika.
* System:
  + Uczy się nawyków użytkowników (np. kiedy przebywają w domu),
  + Reguluje ogrzewanie i chłodzenie w celu **optymalizacji zużycia energii**,
  + Pozwala **zdalnie ustawić temperaturę**,
  + Wyłącza ogrzewanie, gdy domownicy są poza domem.
* Użytkownik może monitorować zużycie energii cieplnej i elektrycznej.

**5. Komunikacja i integracja urządzeń**

* Wszystkie urządzenia komunikują się poprzez **router Wi-Fi**, tworząc spójną sieć domową.
* Centralny **kontroler (hub)**:
  + Zbiera dane z czujników, kamer, zamków, żarówek i termostatu,
  + Przetwarza dane zgodnie z regułami automatyki (np. „jeśli wykryto ruch po zmroku → włącz światło”),
  + Wysyła odpowiednie polecenia do urządzeń wykonawczych,
  + Synchronizuje dane z aplikacją użytkownika.
* System może działać **lokalnie (bez Internetu)**, realizując wcześniej zdefiniowane scenariusze automatyki.

**6. Interfejs użytkownika**

* Użytkownik ma dostęp do wszystkich funkcji systemu przez:
  + aplikację mobilną (Android/iOS),
  + panel webowy przez przeglądarkę.
* Interfejs umożliwia:
  + ręczne sterowanie urządzeniami,
  + tworzenie własnych automatyzacji i scenariuszy,
  + przegląd historii zdarzeń i alertów,
  + monitorowanie stanu urządzeń (np. poziom baterii, łączność, temperatura).

**7. Funkcje autonomiczne i awaryjne**

* System działa **autonomicznie w trybie offline** – przy utracie Internetu lokalny hub nadal realizuje zaprogramowane reguły (np. włączanie światła po wykryciu ruchu).
* W przypadku braku zasilania niektóre urządzenia (np. alarm, czujniki) korzystają z **akumulatorów awaryjnych**.
* System wysyła **powiadomienia o awarii** urządzeń (np. brak łączności z kamerą, niskie napięcie baterii).

Podsumowując, nasz system Smart Home zapewnia **pełną automatyzację, zdalne sterowanie i monitorowanie stanu budynku**, obejmując:

* oświetlenie,
* bezpieczeństwo,
* ogrzewanie i klimatyzację,
* dostęp do domu.

# Zasada działania systemu

System działa w oparciu o poniższe zasady:

1. **Centralny kontroler (hub)** gromadzi dane z czujników i urządzeń oraz przetwarza je zgodnie z ustalonymi regułami automatyki.
2. Po wykryciu określonego zdarzenia (np. ruchu, otwarcia drzwi, przekroczenia temperatury) kontroler wysyła odpowiednie polecenie do urządzeń wykonawczych, np. włączenia oświetlenia, zamknięcia drzwi lub aktywacji alarmu.
3. Wszystkie elementy komunikują się ze sobą za pośrednictwem **routera Wi-Fi**, tworząc lokalną sieć komputerową.
4. Użytkownik ma dostęp do systemu za pomocą aplikacji mobilnej lub przeglądarki internetowej, dzięki czemu może sterować domem zdalnie i otrzymywać powiadomienia.
5. System działa automatycznie, a w przypadku utraty połączenia z Internetem nadal może wykonywać zaprogramowane scenariusze lokalne.

# Opis poszczególnych elementów systemu

1. **Router Wi-Fi (sieć domowa)**

**Przykład rzeczywisty:***TP-Link Archer AX50 (Wi-Fi 6)*

**Funkcja:**  
Stanowi podstawowy element sieci komunikacyjnej – łączy wszystkie urządzenia w sieć lokalną i zapewnia dostęp do Internetu.

**Zasada działania:**

* Odpowiada za komunikację między hubem a pozostałymi urządzeniami (kamera, termostat, alarm, zamek).
* Zapewnia obsługę protokołu IP, DHCP oraz szyfrowanie transmisji (WPA2/WPA3).
* Może obsługiwać równocześnie wiele urządzeń (do 30–50 połączeń).

**Dane techniczne:**

* Standard: IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6)
* Przepustowość: do 3000 Mb/s
* Porty: 1x WAN, 4x LAN
* Zasilanie: 12 V DC
* MTTF (szacowany): 50 000 h

1. **Centralny kontroler (Hub domowy)**

**Przykład rzeczywisty:***Raspberry Pi 4 Model B*

**Funkcja:**  
Stanowi centrum zarządzania całym systemem. Odpowiada za gromadzenie danych z urządzeń, ich analizę oraz wykonywanie reguł automatyki.

**Zasada działania:**

* Na urządzeniu zainstalowany jest system operacyjny (np. Home Assistant OS lub OpenHAB).
* Hub komunikuje się z urządzeniami przez sieć Wi-Fi lub Ethernet.
* Steruje oświetleniem, zamkiem, termostatem i systemem alarmowym.
* Przetwarza dane lokalnie i umożliwia dostęp zdalny przez aplikację mobilną.

**Dane techniczne:**

* Procesor: Broadcom BCM2711 Quad-core 1.5 GHz
* RAM: 4 GB
* Łączność: Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet
* Pobór mocy: ok. 7 W
* MTTF (szacowany): 100 000 h

1. **Czujnik ruchu (Wi-Fi)**

**Przykład rzeczywisty:***Shelly Motion 2*

**Funkcja:**  
Wykrywa obecność osób i ruch w pomieszczeniu; umożliwia aktywowanie scen automatyki, np. włączanie światła lub alarmu.

**Zasada działania:**

* Łączy się z hubem przez Wi-Fi.
* Wykorzystuje czujnik PIR (podczerwieni) do detekcji ruchu.
* Może dodatkowo mierzyć temperaturę i natężenie światła.
* Działa na baterii i przesyła dane tylko przy zmianach stanu, oszczędzając energię.

**Dane techniczne:**

* Zasilanie: bateria Li-ion (ładowalna)
* Zasięg detekcji: do 9 m
* Łączność: Wi-Fi 2.4 GHz
* Czas pracy: do 24 miesięcy
* MTTF (szacowany): 17 520 h (ok. 2 lata)

1. **Kamera IP do monitoringu**

**Przykład rzeczywisty:***Wyze Cam v3*

**Funkcja:**  
Rejestruje obraz i dźwięk w czasie rzeczywistym oraz umożliwia zdalny podgląd z aplikacji mobilnej.

**Zasada działania:**

* Kamera Wi-Fi przesyła obraz do huba i aplikacji użytkownika.
* Posiada czujnik ruchu i tryb nocny (IR).
* Może nagrywać materiał na kartę microSD lub do chmury.
* Wysyła powiadomienia o wykryciu ruchu lub dźwięku.

**Dane techniczne:**

* Rozdzielczość: 1080p Full HD
* Kąt widzenia: 130°
* Łączność: Wi-Fi 2.4 GHz
* Zasilanie: 5 V DC (microUSB)
* MTTF (szacowany): 30 000 h

1. **System alarmowy (Wi-Fi)**

**Przykład rzeczywisty:***Ring Alarm (2nd Gen)* lub *SimpliSafe Base Station*

**Funkcja:**  
Zapewnia bezpieczeństwo budynku poprzez wykrywanie włamań i nieautoryzowanego dostępu oraz informowanie użytkownika o zagrożeniach.

**Zasada działania:**

* System składa się z centrali alarmowej, czujników otwarcia drzwi/okien, czujek ruchu oraz syreny.
* W przypadku wykrycia zdarzenia alarmowego, centrala uruchamia syrenę i wysyła powiadomienie do użytkownika oraz do huba.
* Łączy się z routerem Wi-Fi, co umożliwia integrację z resztą systemu i sterowanie z aplikacji mobilnej.
* Może automatycznie uzbrajać się lub rozbrajać w zależności od obecności domowników.

**Dane techniczne:**

* Zasilanie: sieciowe z akumulatorem awaryjnym
* Łączność: Wi-Fi 2.4 GHz, opcjonalnie GSM
* Syrena: ≥100 dB
* MTTF (szacowany): 40 000 h

1. **Inteligentna żarówka LED**

**Przykład rzeczywisty:***Philips Hue White and Color Ambiance A19*

**Funkcja:**  
Pozwala na zdalne sterowanie oświetleniem – włączanie, wyłączanie, ściemnianie oraz zmianę koloru.

**Zasada działania:**

* Komunikuje się z hubem przez Wi-Fi (lub przez mostek Hue Bridge).
* Reaguje na komendy automatyki (np. włączenie po wykryciu ruchu).
* Może działać według harmonogramu lub w zależności od pory dnia.

**Dane techniczne:**

* Strumień świetlny: 800 lm
* Pobór mocy: 9,5 W
* Trwałość: 25 000 h
* Komunikacja: Zigbee / Wi-Fi
* MTTF: 25 000 h

1. **Inteligentny termostat**

**Przykład rzeczywisty:***Google Nest Learning Thermostat (T3007ES)*

**Funkcja:**  
Reguluje temperaturę wewnątrz budynku, ucząc się nawyków użytkowników i dostosowując harmonogram ogrzewania lub chłodzenia.

**Zasada działania:**

* Łączy się z centralnym hubem przez Wi-Fi.
* Mierzy temperaturę i wysyła dane do systemu.
* Automatycznie steruje systemem grzewczym lub klimatyzacją.
* Pozwala na zdalne sterowanie i monitorowanie zużycia energii.

**Dane techniczne:**

* Zasilanie: 24 V (z sieci HVAC)
* Zakres temperatur: 9–32°C
* Łączność: Wi-Fi 802.11b/g/n
* MTTF (szacowany): 60 000 h

1. **Inteligentny zamek do drzwi**

**Przykład rzeczywisty:***August Wi-Fi Smart Lock (4th Gen)*

**Funkcja:**  
Umożliwia zdalne otwieranie i zamykanie drzwi oraz kontrolę dostępu do budynku.

**Zasada działania:**

* Zamek montowany od wewnętrznej strony drzwi.
* Łączy się przez Wi-Fi z hubem i aplikacją użytkownika.
* Może automatycznie blokować lub odblokowywać drzwi w zależności od lokalizacji właściciela (geofencing).
* Zapamiętuje historię wejść i wyjść.

**Dane techniczne:**

* Zasilanie: 4x bateria AA
* Łączność: Wi-Fi 2.4 GHz
* Czas pracy na bateriach: ~6 miesięcy
* MTTF (szacowany): 40 000 h

# Schemat funkcjonalny systemu

Obraz zawierający tekst, paragon, zrzut ekranu, linia

Zawartość wygenerowana przez AI może być niepoprawna.

# Opis niezawodnościowy elementów systemu

Wpływ uszkodzenia elementu na działanie całego systemu, czyi jak np nie działa router to wszystko nie będzie działać itd...

Uszkodzenie zamka powoduje brak automatycznego otwierania zamykania drzwi itd...

Pisać co powoduje uszkodzenie danego elementu

**1. Router Wi-Fi (sieć domowa)**

* **MTTF (szac.):** 50 000 h
* **Tryby awarii:** awaria zasilania, uszkodzenie modułu radiowego Wi-Fi, awaria firmware lub przeciążenie sieci.
* **Skutki lokalne:** utrata łączności pomiędzy wszystkimi urządzeniami; brak dostępu do Internetu i komunikacji IP.
* **Wpływ na system:**
  + Cały system przestaje funkcjonować jako sieć — **żadne urządzenie nie może komunikować się z hubem**, przez co automatyzacje, sterowanie z aplikacji i monitorowanie są niemożliwe.
  + Kamery, czujniki, żarówki i zamki tracą możliwość synchronizacji i sterowania.
  + **System wchodzi w tryb awarii komunikacyjnej**, działają jedynie urządzenia z lokalną autonomią (np. termostat w trybie awaryjnym).
* **Środki zaradcze:** podłączenie routera do UPS, zapasowy router w konfiguracji hot-swap, regularne aktualizacje firmware, monitoring stanu sieci.

**2. Centralny kontroler (Hub domowy)**

* **MTTF (szac.):** 100 000 h
* **Tryby awarii:** awaria zasilania, uszkodzenie pamięci (karty SD), awaria systemu operacyjnego, przegrzanie.
* **Skutki lokalne:** zatrzymanie przetwarzania logiki automatyki i scenariuszy.
* **Wpływ na system:**
  + Brak centralnego sterowania – **system traci zdolność do wykonywania reguł automatyki** (np. światło nie włącza się po wykryciu ruchu, zamek nie blokuje się automatycznie).
  + Zdalny dostęp przez aplikację lub przeglądarkę jest niemożliwy.
  + Część urządzeń (np. żarówki, termostat) może nadal działać **manualnie lub wg lokalnych ustawień**, ale nie są zsynchronizowane.
  + **Cały system traci inteligentny charakter**, działając jak zwykły zestaw niezależnych urządzeń.
* **Środki zaradcze:** UPS, automatyczny restart (watchdog), kopie zapasowe systemu, backup konfiguracji, chłodzenie pasywne/aktywne.

**3. Czujnik ruchu (Wi-Fi)**

* **MTTF (szac.):** ~17 520 h (ok. 2 lata)
* **Tryby awarii:** wyczerpanie baterii, uszkodzenie sensora PIR, utrata łączności Wi-Fi.
* **Skutki lokalne:** brak detekcji ruchu w danej strefie.
* **Wpływ na system:**
  + **Nie są wyzwalane automatyczne scenariusze** oparte na ruchu, np. włączanie światła po wejściu do pomieszczenia lub aktywacja alarmu przy naruszeniu strefy.
  + W nocy może dojść do sytuacji, w której oświetlenie się nie włączy, co **obniża komfort i bezpieczeństwo użytkownika**.
  + System alarmowy może nie wykryć intruza, jeśli brak jest redundantnego czujnika w tej strefie.
* **Środki zaradcze:** regularna wymiana baterii, redundancja czujników, okresowe testy działania.

**4. Kamera IP do monitoringu**

* **MTTF (szac.):** 30 000 h
* **Tryby awarii:** awaria zasilania, uszkodzenie sensora obrazu, błąd zapisu na karcie microSD, utrata łączności Wi-Fi.
* **Skutki lokalne:** brak podglądu wideo i nagrań z danej strefy.
* **Wpływ na system:**
  + **Utrata funkcji monitoringu i powiadomień** wideo, co znacząco obniża poziom bezpieczeństwa.
  + System alarmowy nadal może działać, ale **bez wizualnej weryfikacji zdarzenia** (np. alarm bez potwierdzenia obrazu).
  + W przypadku wielu kamer – uszkodzenie jednej ogranicza zasięg monitoringu, jednak system jako całość nadal działa.
* **Środki zaradcze:** zasilanie z UPS, zapisywanie do chmury, redundancja kamer w kluczowych miejscach.

**5. System alarmowy (Wi-Fi)**

* **MTTF (szac.):** 40 000 h
* **Tryby awarii:** uszkodzenie centrali, rozładowanie akumulatora awaryjnego, awaria komunikacji Wi-Fi, błąd czujników.
* **Skutki lokalne:** utrata funkcji detekcji włamania lub sygnalizacji alarmu.
* **Wpływ na system:**
  + **Brak reakcji systemu na naruszenia stref bezpieczeństwa** – intruz może wejść niezauważony.
  + Brak sygnału dźwiękowego i powiadomień w aplikacji.
  + Pozostałe funkcje (np. oświetlenie, termostat, zamek) działają niezależnie, ale **poziom ochrony domu spada do minimum**.
* **Środki zaradcze:** regularne testy, konserwacja akumulatora, możliwość pracy w trybie awaryjnym (np. GSM), niezależna syrena lokalna.

**6. Inteligentna żarówka LED**

* **MTTF (szac.):** 25 000 h
* **Tryby awarii:** przepalenie diody LED, awaria modułu sterującego, uszkodzenie radia Wi-Fi/Zigbee.
* **Skutki lokalne:** brak możliwości włączenia światła w danym punkcie.
* **Wpływ na system:**
  + **Brak oświetlenia w danym pomieszczeniu** lub brak reakcji systemu na wykrycie ruchu.
  + Nie wpływa bezpośrednio na działanie innych elementów, ale **obniża komfort użytkownika** i funkcjonalność automatyki (np. scena „Powrót do domu” nie zaświeci światła).
  + W przypadku wielu żarówek – system działa dalej częściowo.
* **Środki zaradcze:** okresowa wymiana, stosowanie żarówek o wysokiej trwałości, możliwość manualnego sterowania włącznikiem.

**7. Inteligentny termostat**

* **MTTF (szac.):** 60 000 h
* **Tryby awarii:** awaria elektroniki, utrata zasilania z systemu HVAC, błąd oprogramowania, brak łączności Wi-Fi.
* **Skutki lokalne:** brak regulacji temperatury i możliwości sterowania ogrzewaniem.
* **Wpływ na system:**
  + **Brak automatycznej kontroli temperatury**, co skutkuje spadkiem komfortu i wzrostem zużycia energii.
  + System traci funkcję oszczędzania energii i może przegrzewać lub wychładzać pomieszczenia.
  + Pozostałe moduły systemu (oświetlenie, alarm) działają normalnie – awaria nie wpływa na ich pracę.
* **Środki zaradcze:** zasilanie awaryjne HVAC, monitorowanie temperatury, możliwość ręcznego ustawienia na panelu urządzenia.

**8. Inteligentny zamek do drzwi**

* **MTTF (szac.):** 40 000 h
* **Tryby awarii:** rozładowanie baterii, awaria mechanizmu zamka, uszkodzenie modułu komunikacji.
* **Skutki lokalne:** brak możliwości zdalnego otwarcia/zamknięcia drzwi.
* **Wpływ na system:**
  + **Brak automatycznego blokowania drzwi** przy opuszczaniu domu lub braku domowników.
  + Zamek nie reaguje na scenariusze bezpieczeństwa (np. automatyczne zamknięcie przy włączeniu alarmu).
  + W skrajnych przypadkach – **blokada dostępu do domu**, jeśli zamek utknie w pozycji zamkniętej.
  + Pozostałe elementy systemu działają, ale bezpieczeństwo fizyczne domu jest obniżone.
* **Środki zaradcze:** regularna wymiana baterii, zapasowy klucz mechaniczny, testy manualnego odblokowania, monitorowanie poziomu energii.

# Struktura niezawodnościowa systemu – schemat

Obraz zawierający tekst, diagram, Czcionka, zrzut ekranu

Zawartość wygenerowana przez AI może być niepoprawna.

**LEGENDA:**

* 1. Router Wi-Fi
  2. Centralny kontroler
  3. Czujnik ruchu
  4. Kamera IP do monitoringu
  5. System alarmowy
  6. Inteligentna żarówka LED
  7. Inteligentny termostat
  8. Inteligentny zamek do drzwi

# Obliczenia dla systemu podstawowego

**Dane wejściowe:**

* Numer grupy:
* →
* Schemat połączeń:
* Dla elementów nieparzystych :
* Dla elementów parzystych :

**Wartości i w chwili h zaokrąglone do 5 miejsca po przecinku**

* ,

* ,

* ,

* ,

* ,

* ,

* ,

* ,

### **Zbiór minimalnych ścieżek systemu**

System jest funkcjonalny, gdy działają elementy 1,2,5,6,7,8 oraz przynajmniej jeden z pary (3 lub 4). Zatem istnieją dwie minimalne ścieżki zdatności systemu:

A więc:

= .

### **Zbiór minimalnych cięć systemu w chwili h**

Minimalne cięcia, które po uszkodzeniu powodują niezdolność systemu:

* pojedyncze elementy na szeregowych odcinkach:
* konieczność jednoczesnej awarii obu równoległych elementów:

Zatem zbiór minimalnych cięć to:

### **Funkcja niezawodności systemu w chwili h**

Dla połączeń **szeregowych** system działa tylko wtedy, gdy **działa każdy z elementów w szeregu**. Funkcja niezawodności dla n elementów ma postać:

Dla połączeń **równoległych** system działa, gdy **działa przynajmniej jeden element** w danej gałęzi. Funkcja niezawodności dla n elementów ma postać:

Układ naszego systemu zawiera zarówno elementy szeregowe, jak i równoległe. Dla części:

* **szeregowej**:
* **równoległej**:

Stąd finalnie, nasza funkcja niezawodnościowa ma postać:

Zatem wartość funkcji niezawodnościowej systemu wynosi:

### **Prawdopodobieństwo braku uszkodzenia systemu w przedziale**

Dla N=10:

Z definicji podanej w zadaniu:

Obliczamy więc najpierw wartość . W tym celu potrzebujemy również wyznaczyć wartości i w chwili h

* ,
* ,
* ,
* ,
* ,
* ,
* ,
* ,

Zatem wartość funkcji niezawodnościowej systemu chwili h wynosi:

Podstawiając obliczone otrzymujemy prawdopodobieństwo braku uszkodzenia systemu w przedziale równe:

### **Oczekiwany czas zdatności systemu**

Czas ten określamy wzorem:

**Dane:**

Funkcja niezawodnościowa ma postać:

Postacie funkcji niezawodnościowych poszczególnych elementów:

* dla nieparzystych: :
* dla parzystych: :

Wyciągamy wspólne czynniki:

Aby uprościć zapis, wprowadzamy sumy:

Wtedy:

**Rozkład całki na 3 składniki:**

Każda z tych całek ma postać:

Dlatego mamy wzór pomocniczy dla i :

gdzie to funkcja uzupełniająca błędu. (Jeśli , wtedy całka sprowadza się do .)

**Podstawienia numeryczne:**

**Obliczenie całek:**

Każdą z trzech całek liczymy ze wzoru:

**Wynik końcowy:**

Finalnie uzyskujemy oczekiwany czas zdatności systemu na poziomie: 377.72520h, czyli około 377h i 43,5 min.

# System z redundancją elementu nr 1

## Schemat funkcjonalny systemu

## Struktura niezawodnościowa

## Obliczenia zależności

## Obliczenia korzyści redundancji