**STRONA TYTUŁOWA PRACY DYPLOMOWEJ**

**OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY**

**STRSZCZENIE**

SPIS TREŚCI

[WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I OZNACZEŃ 8](#_Toc523343533)

[1 WSTĘP I CEL PRACY 10](#_Toc523343534)

[2 BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW STEROWANIA 12](#_Toc523343535)

[*2.1* *Podstawowe pojęcia bezpieczeństwa systemów sterowania* 12](#_Toc523343536)

[*2.2* *Safety case – definicja i struktura* 12](#_Toc523343537)

[*2.3* *Wnioskowanie o bezpieczeństwie w cyklu życia systemu* 12](#_Toc523343538)

[2.4 *Stosowanie dowodów w safety case* 12](#_Toc523343539)

[3 SYSTEM ABS W SAMOCHODACH OSOBOWYCH 13](#_Toc523343540)

[*3.1* *Charakterystyka systemu* 13](#_Toc523343541)

[*3.2* *Budowa i działanie* 19](#_Toc523343542)

[*3.2.1* *Obwód elektroniczny* 20](#_Toc523343543)

[*3.2.2* *Obwód hydrauliczny* 22](#_Toc523343544)

[*3.3* *Wymagania* 27](#_Toc523343545)

[*3.4* *Analiza bezpieczeństwa* 29](#_Toc523343546)

[*3.5* *Proces wytwórczy ABS* 29](#_Toc523343547)

[4 Zarządzanie dowodami w safety case dla ABS 48](#_Toc523343548)

[*4.1* *Opis podejścia* 48](#_Toc523343549)

[*4.2* *Klasyfikacja dowodów* 48](#_Toc523343550)

[*4.3* *Zbiór dowodów dla ABS w cyklu życia* 48](#_Toc523343551)

[*4.4* *Etapy zarządzania dowodami w rozwoju safety case* 48](#_Toc523343552)

[*4.5* *Zarządzanie zmianami* 48](#_Toc523343553)

[5 Analiza procesu 49](#_Toc523343554)

[*5.1* *Skuteczność i kompletność podejścia* 49](#_Toc523343555)

[*5.2* *Korzyści – wsparcie w zarządzaniu zakresem zmian* 49](#_Toc523343556)

[*5.3* *Napotkane problemy i propozycje doskonalenia podejścia* 49](#_Toc523343557)

[*5.4* *Skalowalność* 49](#_Toc523343558)

[*5.5* *Ile zajęło to czasu – efektywność procesu – automatyczne/ręczne* 49](#_Toc523343559)

[6 Podsumowanie 50](#_Toc523343560)

[7 WYKAZ LITERATURY 51](#_Toc523343561)

# WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

# WSTĘP I CEL PRACY

# BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW STEROWANIA

## *Podstawowe pojęcia bezpieczeństwa systemów sterowania*

Bezpieczeństwo to ograniczenie do akceptowalnego poziomu ryzyka, zagrożeń które mogą spowodować śmierć, zranienie, chorobę zawodową, uszkodzenie lub utratę sprzętu, mienia lub szkody dla środowiska. W każdym konkretnym przypadku dokładny poziom i zakres bezpieczeństwa musi być jasno określony przez interesariuszy projektu. Ważne jest także określenie konsekwencji wystąpienia potencjalnych zagrożeń i ich wpływu na projekt [1] .

## *Safety case – definicja i struktura*

Najważniejszym zadaniem które ma spełniać wytworzony Safety Case jest dostarczenie graficznej prezentacji logicznego wnioskowania podpartego dowodami że system jest bezpieczny w określonym kontekście użycia [2].

## *Wnioskowanie o bezpieczeństwie w cyklu życia systemu*

## *Stosowanie dowodów w safety case*

# SYSTEM ABS W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

## *Charakterystyka systemu*

Jednym z najstarszych systemów elektronicznych, stosowanych w pojazdach osobowych jest system *Anti-Lock Breaking System* (ABS). Układ ten należy się do grupy systemów typu *Advanced Vehical Control Systems* (AVCS) lub *Automated Highway Systems* (AHS).

Współczesne systemy ABS są mniejsze, lżejsze i bardziej skuteczne od swoich poprzedników. Pierwsze generacje systemu działały jednokanałowo, tzn. regulacja ciśnienia w zaciskach hamulcowych odbywała się dla czterech koła jednocześnie, co obniżało efektywność układu i wydłużało drogę hamowania pojazdu. Obecnie system jest w stanie obsługiwać każde z kół osobno, dzięki czemu wsparcie układu hamulcowego przez system ABS jest dużo lepsze [3]. Rosnące wymagania w zakresie wsparcia kierowcy podczas prowadzenia pojazdu, zmieniająca się dynamika ruchu drogowego, stan dróg, zmienne warunki pogodowe wzmogły konieczność permanentnego rozwijania wielu innych elektronicznych systemów bezpieczeństwa. Układ ABS jest podstawą dla rozwoju innych systemów stosowanych dziś powszechnie w pojazdach drogowych, m.in. ESP – elektroniczny układ stabilizacji toru jazdy, czy ASR – system zapobiegający poślizgowi kół podczas ruszania w warunkach o zróżnicowanej przyczepności podłoża [4]. Głównym zadaniami systemu ABS są:

* zapobieganie blokowaniu kół, w przypadku konieczności wykonania nagłego manewru hamowania, spowodowanego niebezpieczną sytuacja na drodze,
* wspomaganie działania hamulców, poprzez możliwość precyzyjnej symulacji hamownia „pulsacyjnego” [5].

Zapewnienie obrotu kół podczas hamowania, eliminuje zagrożenie utraty kontroli przez kierowcę nad pojazdem. Prowadzący pojazd może w ten sposób bezpiecznie ominąć przeszkodę, której nagłe pojawienie na drodze zmusiło go do gwałtownego hamowania. System ABS nie jest w stanie sam bezpośrednio skrócić drogi hamowania pojazdu, ponieważ jest to zależne m.in. od czynników takich jak: umiejętności kierowcy, oraz warunki zewnętrzne. Niemniej jednak samochód wyposażony w system ABS podczas hamowania nie jest narażony na zjawiska występujące bezpośrednio po zablokowaniu kół takie jak wirowanie lub ściąganie w bok. Nagłe, ale w pełni kontrolowane hamowanie zwiększa szanse na uniknięcie kolizji w ruchu drogowym pomimo krótkiej odległości od przeszkody.

Utrzymanie stabilności toru jazdy poprzez wyeliminowanie niekontrolowanego poślizgu kół ma duże znaczenie w przypadku hamowania zespołu pojazdów np. samochodu ciężarowego z naczepą. Drugi człon pojazdu, gdy utraci sterowność zaczyna poruszać się w kierunku poprzecznym do osi jazdy i może spowodować przewrócenie się całego zespołu.

Hamowanie w sytuacji zagrożenia jest skuteczniejsze, jeśli pod wpływem mocnego naciśnięcia pedału hamulca uzyskana została jak największa siła hamowania dla wszystkich kół. Maksymalne skrócenie czasu do momentu aktywacji ABS jest wspierane przez system *Hydraulic Break Assist* (HBA), który gwałtowne naciskanie pedału hamulca interpretuje jako konieczność użycia maksymalnej siły hamowania dla wszystkich kół. System ten zwiększa ciśnienie w układzie hamulcowym co przyspiesza moment włączenia układu ABS [6].

Zastosowanie systemu ABS w samochodach osobowych zmniejszyło liczbę zderzeń czołowych o 35% na mokrej nawierzchni i 9% na nawierzchni suchej. Tylko 24% kierowców samochodów, wyposażonych w system ABS i aż 58% kierowców samochodów bez tego systemu, nie było w stanie utrzymać toru jazdy po zahamowaniu [7].

Samochody bez ABS po rozpoczęciu hamowania kontynuują jazdę w kierunku zależnym od ich osi wzdłużnej. Wszelkie próby zmiany toru jazdy mogą okazać się nieskuteczne ze względu na to iż zablokowane koła ulegają poślizgowi przez co samochód porusza się w niekontrolowany sposób. Pojazd narażony jest na wypadnięcie z drogi lub uderzenie w przeszkodę, która spowodowała zapoczątkowanie manewru hamowania przez kierowcę [8].



Rysunek 2. Droga hamowania pojazdu z / bez ABS

Kierujący pojazdem bez ABS w sytuacji konieczności wykonania hamowania awaryjnego jest w wielu wypadkach w zdecydowanie trudniejszym położeniu. Bez wsparcia elektroniki jest zdany wyłącznie na własne umiejętności „czucia” samochodu i opanowanie. Technika hamowania awaryjnego bez wsparcia ABS polega na gwałtownym maksymalnym dociśnięciu pedałów hamulca i sprzęgła. Rozpędzone auto wpada w poślizg wzdłużny koła tracą swoją przyczepność. Samochód nie reaguje na ruchy kierownicą. Mimo to zbliżając się do przeszkody należy wykonać lekki skręt kierownicy w kierunku toru jazdy który pozwoli nam ominąć przeszkodę i jednocześnie zwolnić pedał hamulca. Spadek siły hamowania pozwoli na odzyskanie sterowności. Skręcone wcześniej koła przedniej osi spowodują szarpnięcie i zmianę toru jazdy we wskazanym przez kierowcę kierunku. Należy pamiętać o prawidłowym ułożeniu rąk na kierownicy, tak aby nie zostać zaskoczonym przez dynamiczne szarpnięcie kierownicy podczas nagłego odzyskania przyczepności. Jeśli powyższe czynności zostaną wykonane w sposób zdecydowany i odpowiednio wcześniej, istnieje duża szansa na unikniecie kolizji w ruchu drogowym [9].

Podczas hamowania pojazdem wyposażonym w ABS następuje podniesienie poziomu ciśnienia płynu hydraulicznego, co powoduje wzrost siły hamowania na zaciskach hamulcowych. Algorytm sterujący systemu na postawie prędkości obrotowej kół oblicza oczekiwaną prędkość pojazdu. Mając dane dotyczące prędkości poruszania się pojazdu i prędkość obrotowej kół, logika obliczeniowa systemu jest w stanie obliczyć poślizg każdego z kół lub kontrolować aktualne opóźnienie kątowe koła. Przekroczenie zakładanego poziomu poślizgu powoduje rozpoczęcie regulacji siły hamowania poprzez zmniejszenie momentu tarcia mechanizmu hamującego. Zwiększenie prędkości koła, po przekroczeniu wartości oczekiwanej, rozpoczyna ponowny proces regulacji siły hamowania [10].

Jakkolwiek ABS to system elektroniczny, włączający się samoczynnie podczas hamowania, to jednak kierowca ma kluczowy wpływ na efektywność jego pracy. Pewnym problemem dla skuteczności działania ABS jest błędne zachowanie kierowcy, który w panice, oznaki poprawnego działania systemu może intepretować jako zagrożenie, myślnie sądząc że „coś się zepsuło pod pedałem hamulca”. Efektywność działania systemu ABS podczas hamowania jest najwyższa, jeśli kierowca jak najmocniej dociska pedały hamulca i sprzęgła. Docisk pedału hamulca ma na celu jak najszybsze zwiększenie siły hamowania a przez to zatrzymanie pojazdu zanim dojdzie do kolizji z przeszkodą. Utrzymanie wciśniętego „sprzęgła” zaś, zapobiega wyłączeniu się silnika i w efekcie eliminuje możliwość wyłączenia elektronicznych systemów bezpieczeństwa samochodu. Podczas gwałtownego hamowania, kiedy ABS jest aktywny, prowadzący pojazd czuje wibracje lub szybkie pulsowanie pedału hamulca. Kierowca może odnieść wrażenie, że większy nacisk na pedał hamulca powoduje większy opór a wręcz zawracanie pedału w kierunku przeciwnym do siły nacisku. Towarzyszy temu słyszalny odgłos brzęczenia lub szlifowania. Wszystkie te sygnały świadczą o tym, że system ABS działa prawidłowo. Kierowca powinien skoncentrować swoją uwagę na utrzymaniu siły docisku pedałów hamulca i sprzęgła a także być gotowym na wykonanie manewru kierownicą w celu ominięcia przeszkody. Samochód nadal będzie w ruchu ponieważ potrzebny jest czas i odległość aby wytracił prędkość, jednak dzięki działaniu ABS, zachowa sterowność co pozwoli kierowcy utrzymać bezpieczny tor jazdy i omijać przeszkody na drodze [11]. Niestety, jak pokazują wyniki badania opublikowane przez Szkołę Jazdy Renualt, ponad połowa kierowców posiadających w swoich samochodach systemy ABS nie potrafi prawidłowo zahamować pojazdu w sytuacji zagrożenia. Decydujący jest tu brak doświadczenia i niewiedza zwłaszcza młodych kierowców, których poprawne działanie systemu ABS może wystraszyć i doprowadzić do zmniejszenia przez nich nacisku na pedał hamulca a tym samym obniżenia skuteczności hamowania [12]. Kierowcy bardziej doświadczeni, którzy także nie znają poprawnej techniki hamowania pojazdem z systemem ABS często także sami popełniają błąd próbując wykonywać wyuczone na starszej generacji samochodach hamowanie „pulsacyjne”. Niestety w takich warunkach system ABS także nie może poprawnie wykonywać swoich funkcji. Następuje „dezorientacja” systemu i w efekcie czego wydłużenie drogi hamowania. Często tez kierowcy wciskają pedał hamulca do momentu wystąpienia pierwszych sygnału poprawnego działania systemu ABS (charakterystyczne stukanie). Tymczasem może to oznaczać jedynie osiągnięcie granicy przyczepności kół na tylnej osi, podczas gdy dobrze obciążone przednie koła, maja jeszcze duże rezerwy przyczepności do podłoża.

Coraz trudniej znaleźć na drodze samochody niewyposażone fabrycznie w system ABS. To dobra informacja dla bezpieczeństwa kierowców. Negatywnym następstwem wzrostu liczby samochodów z ABS jest zwiększona liczba przypadków awarii tego systemu. Niestety, fakt, iż usterka ABS nie oddziałuje na sprawność układu hamulcowego powoduje, że wielu kierowców ją lekceważy. Problem potęgują kierowcy „starej szkoły” z długim stażem za kierownicą, aut bez ABS, którzy mylnie sądzą, iż w sytuacji krytycznej poradzą sobie wykonując hamowanie awaryjne bez wsparcia elektroniki. Niestety, fakt jest taki, że hamowanie samochodem bez systemu przeciwblokującego koła to nie jest, to samo, co awaryjne zatrzymanie pojazdu z uszkodzonym układem ABS. Brak korektora siły hamowania tylnych kół adekwatnie do intensywności wytracania prędkości może spowodować obrócenie się auta, wypadnięcie z toru jazdy i zatrzymanie na najbliższej przeszkodzie. Sytuacja kierującego pojazdem z uszkodzonym systemem ABS pogorszy się jeszcze bardziej jeśli do hamowania awaryjnego doszłoby w zakręcie. Wówczas uślizg tylnej osi spowoduję „zarzucenie” samochodu w wyniku działania siły odśrodkowej.

Warto udać się do serwisu i naprawić niesprawny system ABS ze względu na to iż nie są to wysokie koszty. Konsekwencje uderzenia w przeszkodę wynikające z nieskutecznego manewru hamowania awaryjnego są zdecydowanie wyższe, ponieważ do ceny naprawy pojazdu o ile w ogóle będzie możliwe, należy doliczyć wysokie ryzyko utraty zdrowia lub życia podczas wypadku drogowego [13].

Szczególnie „wrażliwe” w układzie ABS są czujniki pomiaru prędkości obrotowej kół. Objawem widocznym dla kierowcy, który może wskazywać na uszkodzenie czujnika pomiarowego jest zapalona podczas jazdy kontrolka ABS, lub innych systemów z którymi system przeciwblokujący się komunikuje jak np. ESP lub ASR. Często na panelu kierowcy widoczna jest także zapalona kontrolka „check engine” co może oznaczać zapisanie informacji o awarii czujników pomiarowych w sterowniku silnika. Podobne objawy mogą także występować jeśli uszkodzeniu uległ jeden z przewodów łączących czujnik z elektryczną jednostką sterującą. Częstymi przyczynami zakłóceń w pracy czujników układu ABS są m.in. luzy powstające na zużytym łożysku koła, zbyt niskie ciśnienie w jednym z kół lub zużyte tarcze hamulcowe generujące nadmierne wibracje, przez co czujniki mogą przesyłać niepoprawne dane pomiarowe. Zimą należy zwrócić uwagę na zabrudzenia czujników lub tarczy zębatej, zalegającą na ulicach solą lub błotem śniegowym. Włączanie się systemu ABS nawet przy najmniejszym hamowaniu w ruchu miejskim może świadczyć o uszkodzeniu koła zębatego z którym ściśle współpracuje czujnik pomiarowy. Koło zębate, narażone jest na korozję, w skutek pracy w trudnych warunkach, może utracić część zębów lub całkowicie zostać zerwane. W takiej sytuacji czujnik nie będzie w stanie prawidłowo wysyłać sygnałów pomiarowych do jednostki sterującej. Uszkodzone koło zębate należy wymienić korzystając z pomocy serwisu. Wprawny diagnosta jest w stanie zidentyfikować usterkę układu ABS odczytując kod błędu zapisany w systemie co pozwala na szybsze i skuteczniejsze rozwiązanie problemu [14].

Skuteczność awaryjnego hamowania często decyduje czy kierowca uniknie bezpośredniego uderzenia w przeszkodę, czy nie. Sprawnie działający układ ABS znacznie podnosi prawdopodobieństwo uniknięcia poważnych następstw wypadków drogowych. Możliwe, że będzie wydawać się to dziwne ale istnieją cztery sytuacje na drodze w których sprawnie działający układ przeciwblokujący koła wydłuży drogę hamowania.

Przykładem jest tu hamowanie awaryjne na drodze o „luźnej nawierzchni” np. liście na drodze. Brak bezpośredniego kontaktu z podłożem utrudnia systemowi ABS poprawne zmierzenie przyczepności kół i w efekcie poprawne dostosowanie siły hamowania. Znacznie lepszym rozwiązaniem w tej sytuacji byłoby zablokowanie kół, które w skutek wysokiej siły tarcia o podłoże mogłyby przepalić liście, aż do uzyskania pełnego kontaktu opony z drogą. Umożliwiłoby to poprawne określenie przyczepności kół przez system ABS i w efekcie jego skuteczne działanie.

Kolejną sytuacją w której ABS raczej utrudni hamowanie jest poruszania się pojazdu po kopanym piachu np. na plaży. Zablokowane koła zadziałaby jak pług wytwarzając „bandę piachu” która pomogłaby zatrzymać poruszający się pojazd. Działający układ ABS uniemożliwi zablokowanie kół przez co droga hamowania znacznie się wydłuży.

Innym przykładem, kiedy system przeciwblokujący może wydłużyć drogę zatrzymania pojazdu jest hamowanie na nawierzchni o zerowym poziomie przyczepności np. gładki lód. Niestety przy włączonym systemie ABS ze względu na brak jakiejkolwiek siły hamowania odległość do zatrzymania pojazdu wydłuża się. Zablokowane koła zdecydowanie przyspieszyłyby wytracanie prędkości samochodu i w efekcie jego zatrzymanie na lodzie. Utrudnienie pomiaru przyczepności koła, przez co zaburzenia pomiaru prędkości sprawia że hamowanie na „wyboistej” drodze należy traktować jako kolejny przykład „negatywnego” działania systemu. W tej sytuacji ważny będzie dobry stan amortyzatorów, które mogą znacząco ograniczyć momenty braku kontaktu opony z nawierzchnią a przez to wspomóc ABS w lepszym pomiarze poziomu przyczepności kół [15].

Wskazane wyżej sytuacje to jednak tylko nieliczne przykłady, gdy elektronika nie stoi po stronie kierowcy. Zdecydowana większość przypadków hamowania awaryjnego pozwala na pełne wykorzystanie systemu ABS zapewniając krótszą drogę hamowania, stabilność toru jazdy i sterowność samochodu umożliwiającą bezpieczne ominięcie przeszkody. Korzyści działania systemu ABS najłatwiej dostrzec podczas testów hamowania awaryjnego na suchej i mokrej nawierzchni z udziałem wykwalifikowanego kierowcy testowego i typowego kierowcy jakiego często spotkamy uczestnicząc w ruchu drogowym. Elektroniczny system przeciwblokujący jest w stanie różnicować siłę hamowania na krawędzi maksymalnej przyczepności z częstotliwością kilkunastu razy na sekundę. Nawet najbardziej doświadczony kierowca nie jest w stanie robić tego tak często i równie dokładnie.

Wyższość elektroniki nad człowiekiem dokumentują testy opublikowane przez serwis motoryzacyjny Interii oraz magazynów „Motor” i „Auto Moto”.



Rysunek 3 Hamowanie ze 100 km/h na suchej nawierzchni [16].

Najlepszy wynik podczas testu hamowania ze 100 km/h na suchej nawierzchni uzyskał typowy kierowca samochodu ze sprawnym systemem ABS. Jego droga hamowania była aż o 14 m krótsza od samochodu z wyłączonym systemem przeciwblokującym koła. Gdyby to była realna sytuacja na drodze kierowca samochodu hamując z zablokowanymi kołami uderzyłby w przeszkodę z prędkością ok 54 km/h.. Zaledwie przy nieco wyższej prędkości wykonuje się testy zderzeniowe Euro NCAP dla samochodów osobowych. Siła uderzenia przy tej prędkości powoduje nieodwracalne zniszczenia samochodu oraz groźne dla życia obrażenia pasażerów.

Przewaga w skuteczności hamowania z ABS rośnie jeszcze bardziej w sytuacji gdy kierowca musi zatrzymać pojazd na mokrej nawierzchni.



Rysunek 4 Hamowanie ze 100 km/h na mokrej nawierzchni [17]

Droga hamowania samochodu bez systemu ABS prowadzonego przez typowego kierowcę okazała się prawie dwa razy dłuższa w stosunku do pojazdu hamującego przy wsparciu elektroniki. W chwili gdy pojazd z systemem ABS zatrzymał się samochód typowego kierowcy hamujący z zablokowaniem kół poruszał się jeszcze z prędkością 69 km/h. Kierowca testowy z doświadczeniem sportowym był w stanie zahamować znacznie wcześniej, ale wynik 58,1 m uzyskany został po kilku próbach na „wyczucie” przyczepności kół. Podczas prawdziwej sytuacji na drodze hamowanie awaryjne odbywa się w stresie i jest całkowitym zaskoczeniem dla kierującego pojazdem. Typowy kierowca nie ma szans powtórzyć wyniku kierowcy testowego. Wszelkie próby chaotycznego hamowania pulsacyjnego będą tylko wydłużać drogę hamowania o kolejne metry. Mając zablokowane koła samochód nie reaguje na ruchy kierownicą przez co kierowca uderzy w przeszkodę z przy dużej prędkości [18].

## *Budowa i działanie*

Współczesne urządzenia elektroniczne prawie zawsze przechodziły długą drogę rozwoju i optymalizacji. Prototypowe konstrukcje ustępowały miejsca swoim nowszym generacyjnie następcom. Część urządzeń starszej generacji zniknęła zupełnie ponieważ w toku ewolucji technologicznej uznano je za zbyt przestarzałe i nie nadające się do rozwoju lub też ich funkcje przejęły inne urządzenia działające bardzie kompaktowo. Niektóre z tych urządzeń lub układów złożonych z poszczególnych urządzeń przetrwała ścieżkę ewolucji technologicznej osiągając postać i stopień złożoności jaki znamy dzisiaj. Podobną drogę technologicznego rozwoju przeszedł układ ABS, stając się dziś mniejszym, lżejszym bardziej skutecznym układem od swoich poprzedników.

Jak zapobiegać blokowaniu kół podczas hamowania pojazdów szynowych, samochodów i samolotów? To pytanie które konstruktorzy zadawali sobie już na początku XX w. Wśród pomysłów różnych rozwiązań pojawił się układ zaprojektowany przez firmę Bosh, który w 1936 został zgłoszony do patentu jako „urządzenie zapobiegające blokowaniu kół pojazdu mechanicznego w trakcie hamowania”. Niestety, wszystkie projekty układów przeciwblokujących produkowanych w tamtym czasie, okazały się zbyt skomplikowane a przez to zbyt awaryjne i za wolne, aby można było myśleć o ich seryjnej produkcji. Pewien sukces odniosła firma Teldix (później przejęta przez Bosha) , której system „ABS 1”, realnie skracał drogę hamowania i dawał stabilność toru jazdy na zakrętach. Postęp potwierdziły testy przeprowadzone przez tą firmę w 1966r. Niestety jednak nie udało się osiągnąć satysfakcjonującego poziomu trwałości sterownika elektronicznego systemu co spowodowało że układ ten nie trafił do seryjnej produkcji. Problemem była zbyt duża (licząca ok 1000 elementów) liczba części analogowych sterownika oraz nadmiar przewodów bezpieczeństwa. Konstrukcja okazała się zbyt awaryjna by pozytywnie przejść testy bezpieczeństwa i otrzymać zgodę na rozpoczęcie seryjnej produkcji. Przy wsparciu inżynierów Bosha i zastosowaniu układów scalonych i technologii cyfrowej udało się uprościć sterownik, który od tej pory składał się z ok 140 części [19]. Pierwsze próby produkcyjnego zastosowania systemu ABS datuje się na rok 1966, kiedy to brytyjska firma Jensen wypuściła na rynek model samochodu Jensen FF wyposażony seryjnie w system ABS *Maxret* firmy Dunlop, działający na tylną oś. [20].

Konstrukcja ABS firmy Bosh do seryjnej produkcji weszła 14 lat później kiedy to system „ABS 2”, zadebiutował jako wyposażenie dodatkowe w S-klasie Mercedesa z 1978r. oraz BMW serii 7. Pierwsze sukcesy nie zahamowały rozwoju systemu ABS. Rosnące wymagania w zakresie bezpieczeństwa powodowały że nadal pracowano nad optymalizacją układu. Znaczący sukces przyniósł rok 1989, w którym inżynierowie Bosha, zamontowali sterownik elektroniczny o budowie hybrydowej bezpośrednio przy układzie hydraulicznym. Zabieg ten pozwolił na rezygnację z części zbędnych kabli łączących sterownik z jednostką hydrauliczną oraz złączy wtykowych. Nowa generacja systemu ukazała się na rynku jako ABS 2E. Okazała się zdecydowanie lżejsza od swoich poprzedników. Pojawienie się nowych zaworów magnetycznych pozwoliło na powstanie w 1993 r układu ABS w wersji 5.0. Kolejne wersje układu ABS (wersje 5.3 oraz 5.7) wprowadzono na rynek w kolejnych latach. Nowe rozwiązania pozwoliły na kolejne obniżenia masy układu oraz wprowadzenie funkcji dodatkowych takich jak rozdział siły hamowania na cztery koła, który zastąpił używany do tej pory reduktor ciśnienia osi tylnej [21].

Wersja ABS 5.7 była pierwszą generacją układu, która działała znacznie ciszej od swoich poprzedników ale przede wszystkim umożliwiała integracje z systemem ESP [22].

W 2001 r zaprezentowano ABS w wersji 8.0. Modułowa konstrukcja tej generacji układu przetrwała do czasów dzisiejszych. Umożliwiała ona wytworzenie wielu wersji zaawansowania systemu obejmującego nie tylko ABS ale także ASR i ESP w dość podobny sposób. Wszystkie produkowane przez firmę Bosh systemy są produkowane przy zachowaniu jednolitego standardu obowiązującego we wszystkich zakładach produkcyjnych na świecie [23].

Polska również wniosła pewien wkład w rozwój układu ABS. Na początku lat osiemdziesiątych w warszawskiej Fabryce Samochodów Osobowych (FSO) powstał Hamulcowy Układ Antypoślizgowy (HUAP), Układ ten uważa się za prototyp polskiego układu przeciwblokującego koła samochodu podczas hamowania [24].

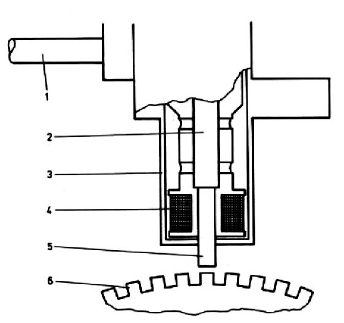
### *Obwód elektroniczny*

Współcześnie znane układy ABS, nie tylko firmy Bosh ale także innych producentów można zasadniczo podzielić na dwa obwody: elektroniczny i hydrauliczny.

Podstawowymi elementami obwodu elektronicznego systemu ABS są: zespół sterujący, cztery oddzielne dla każdego koła czujniki pomiaru prędkości obrotowej, czujnik położenia pedału hamulca, czujnik lampki kontrolnej, umiejscowionej na desce rozdzielczej kierowcy oraz czujniki kontroli poziomu i wartości ciśnienia płynu hamulcowego w układzie hamowania.

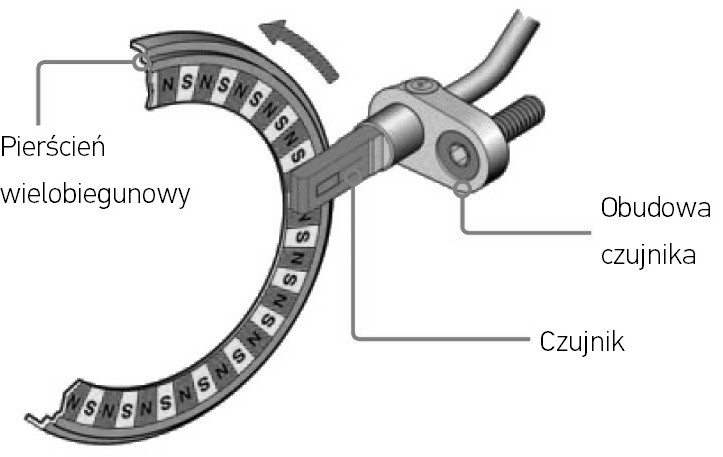
Elektroniczny Zespół Sterujący (EZU) jest odpowiedzialny z odbieranie i przetwarzanie sygnałów pochodzących z czujników pomiaru prędkości kół, czujnika położenia pedału hamulca, oraz czujników poziomu i wartości ciśnienia płynu hamulcowego w układzie. Zapewnienie ciągłej kontroli wyników z czujników składowych pozwala EZU m.in na ustalenie częstotliwości zmian prędkości chwilowej kół. Dokładność danych zapewniana jest przez wysoką częstotliwość pomiaru prędkości (ok 100 razy na minutę). Wykrycie nagłego spadku prędkości kół w krótkim czasie, przy jednoczesnej kwalifikacji zdarzenia, na podstawie sygnału z czujnika położenia pedału hamulca (wysłanie sygnału następuje w momencie gwałtownego dociśnięcia pedału hamulca w kierunku podwozia pojazdu) , jako hamowanie awaryjne, powoduje rozpoczęcie sterowania elektrozaworami wylotowymi i dolotowymi w taki sposób aby jak najszybciej odblokować zablokowane koła. Skuteczność działania przeciwblokującego jest interpretowana przez system, jako przywrócenie częstotliwości zmian prędkości obrotowej kół, do porównywalnych wartości, wykrywanych przed spadkiem, który zainicjował sekwencję działań przeciwblokujących. Wysoka częstotliwość wykonywania sekwencji sterujących elektrozaworami umożliwia dziesięciokrotną korekcję siły hamowania w ciągu jednej sekundy. Stwierdzenie jakichkolwiek nieprawidłowości np.: zwarcie przewodów, brak sygnału z czujników, zbyt niskie ciśnienia płynu hamulcowego lub zbyt mała jego ilość w układzie, powoduje uruchomienie przez EZU sekwencji instrukcji wyłączających system ABS wraz z zapisaniem kodu błędu w logach zdarzeń. EZU przekazuje sygnał o błędzie do czujnika lampki kontrolnej na desce rozdzielczej kierowcy. Widząc zapaloną kontrolkę ostrzegawczą, kierowca powinien udać się do serwisu w celu dokonania naprawy systemu [25].

Skuteczne działanie systemu ABS jest możliwe dzięki danym o prędkości obrotowej kół które dostarczane są przez czujniki pomiarowe. Urządzenia te są generatorami prądu typu indukcyjnego. Pomiar prędkości odbywa się na podstawie sygnału o zmiennej częstotliwości proporcjonalnej do prędkości kątowej (liczby obrotów na sekundę) koła do którego czujnik jest podłączony.

Rysunek 5. Budowa pasywnego czujnika pomiaru prędkości 1 - przewód elektryczny, 2 – rdzeń magnetyczny, 3 – szczelna obudowa, 4 – uzwojenie, 5 – końcówka czujnika, 6 – tarcza z naciętymi zębami [26].

Ze względu na sposób działania czujniki pomiaru prędkości obrotowej można podzielić na:

* czujniki pasywne – współpracują z pierścieniem lub tarczą zębatą umieszczona na piaście koła lub przegubie napędowym zewnętrznym półosi. Podczas obracania się tarczy czujnik „liczy” ilość mijających go zębów tarczy w określonej jednostce czasu. Wewnątrz czujnika znajduje się rdzeń z uzwojeniem lub magnesem generującym pole elektromagnetyczne sięgające powierzchni koła zębatego. Obracanie się tarczy zębatej powoduje zmiany w polu elektromagnetycznym czujnika co skutkuje indukowaniem napięcia wewnątrz czujnika. Informacje o liczbie miniętych zębów na tarczy oraz wartość napięcia na rdzeniu czujnika wysyłane są w formie sygnału do EZU,
* czujniki aktywne - współpracują z wielobiegunowym pierścieniem elektromagnetycznym umieszczonym przy kole. Na powierzchni pierścienia znajdują się wyodrębnione pola biegunowe oznaczone literami S i N. Czujnik współpracujący z tak zbudowanym pierścieniem złożony jest z elementów półprzewodnikowych które „rozpoznają” zmieniające się pole elektromagnetyczne generowane przez pierścień. Obracanie się pierścienia powoduje wygenerowanie sygnału, który przesyłany jest do sterownika EZU.

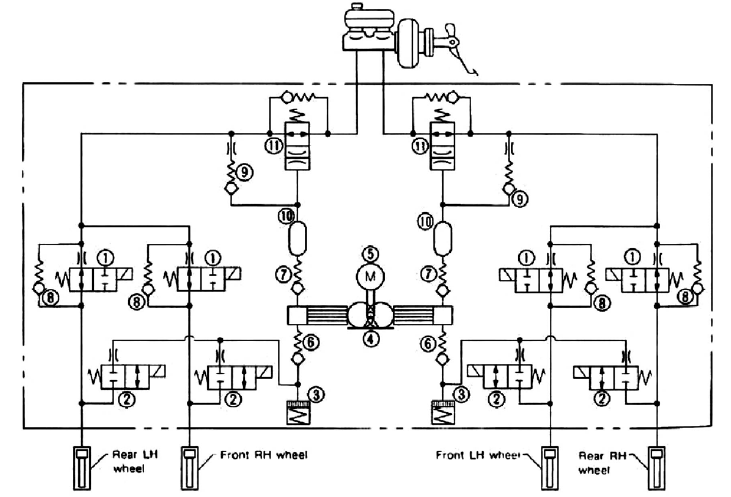
Rysunek 6 Schemat czujnika aktywnego wraz z pierścieniem elektromagnetycznym [27]

Intensywny rozwój technologii czujników aktywnych umożliwił poprawienie wydajności ich działania poprzez wykorzystanie zjawiska Halla. Aktywny czujnik z magnesem w celu wygenerowania sygnału wyjściowego współpracuje z impulsywną tarczą tzw. kołem dekodującym, umiejscowionym na uszczelniaczu łożyska koła. Obracanie się koła powoduje powstawanie napięcia a przez to następuje zmiana natężenia pola elektromagnetycznego. Informacje o zmianach zachodzące w obrębie pola elektromagnetycznego są przesyłane do sterownika zespołu sterującego.

Mając na względzie współczesne standardy pracy układów kontrolujących tor jazdy samochodu, czujniki aktywne są zdecydowanie lepszym i bardziej precyzyjnym rozwiązaniem ponieważ wysyłają sygnały z danymi pomiarowymi już od prędkość obrotowej kół jest na poziomie 0,1 km/h. Oznacza to szybsze i bardziej dokładne dostarczanie danych do analizy przez EZU a zatem większą efektywność działań przeciwblokujących. Dla porównania czujniki pasywne rozpoczynają wysyłanie sygnałów pomiarowych od prędkości wyższych niż 3 km/h. Wykorzystanie zjawiska Halla pozwoliło na wyprodukowanie czujników rozpoznających kierunek obrotu koła, co jest ważną informacją dla poprawnej interpretacji przez EZU otrzymanych danych pomiarowych. Przewaga czujników aktywnych widoczna jest także w obszarach niezawodności, mniejszej wrażliwości na zakłócenia, oraz odporności na wysokie temperatury czy wibracje [28].

### *Obwód hydrauliczny*

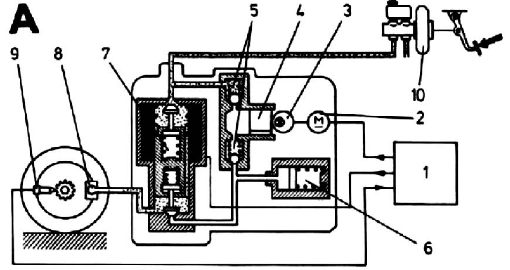
Obwód hydrauliczny, często nazywany też hydraulicznym zespołem sterującym jest całkowicie bezobsługowy. Stwierdzenie nieprawidłowości działania któregokolwiek z jego elementów powinno skutkować wymianą całego zespołu a nie poszczególnych elementów. Główne komponenty to: osiem elektrozaworów (cztery elektrozawory wylotowe i cztery elektrozawory dolotowe, po jednym z obu rodzajów dla niezależnej obsługi każdego koła), pompa hydrauliczna, akumulatory ciśnienia oraz elektrozawory główne.



Rysunek 7. Schemat obwodu hydraulicznego w układzie ABS na przykładzie samochodu Nissan Almera. Elementy składowe: 1 – elektrozawory jednokierunkowe wlotowe (zwiększające ciśnienie płynu hamulcowego), 2 – elektrozawory jednokierunkowe wylotowe (zmniejszające ciśnienie płynu hamulcowego), 3 – akumulatory ciśnienia płynu hamulcowego, 4 – pompa, 5 – silnik pompy elektrycznej, 6 – zawory wlotowe kulkowe jednokierunkowe, 7 – zawory wylotowe kulkowe jednokierunkowe, 8 – zawory zwrotne kulkowe jednokierunkowe, 8 – zawory zwrotne kulkowe jednokierunkowe, 10 – zasobniki (tłumiki pulsacji ciśnienia płynu hamulcowego), 11 – elektrozawory główne z zwrotnymi zaworami kulkowymi

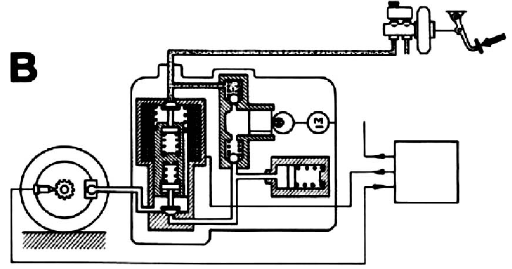
Działania przeciwblokujące dzięki którym system ABS wspiera kierowcę podczas hamowania, są wykonywane poprzez regulację ciśnienia płynu hamulcowego ,w zaciskach hamulcowych. Proces korygowania ciśnienia jest zależny od zmierzonej prędkości obrotowej kół. Rezultatem sterowania poziomem ciśnienia jest kontrola nad siłą z jaką szczęki hamulcowe dociskają powierzchnię kół. Cykl regulacji ciśnienia płynu hamulcowego jest realizowany przez precyzyjne sterowanie układem jednokierunkowych zaworów wlotowych i wylotowych. Zawory te są elektromagnetyczne, wyposażone w ruchomy „tłoczek”, który przyjmuje określone położenie w zależności od sposobu w który ma następować regulacja ciśnienia płynu w układzie hamulcowym. Elektrozawory są zasilane prądem zmiennym o napięciu + 12 V, za pomocą przekaźnika. Sterowanie pracą elektrozaworu odbywa się za pomocą ujemnego przerywanego sygnału pochodzącego z elektronicznego zespołu sterującego. Praca elektrozaworów odbywa się wg trzech faz:

* faza wzrostu ciśnienia– brak sygnałów sterujących od elektronicznego zespołu sterującego. Położenie „tłoczka” wewnątrz elektrozaworu umożliwia swobodny przepływ płynu hamulcowego od pompy hamulcowej do zacisku szczeki hamulca. Ciśnienie w obwodzie jest w pełni zależne od siły z jaką kierowca naciska pedał hamulca w samochodzie. Elektrozawory pozostają w tej fazie pracy także w przypadku awarii układu ABS, co pozwala na skuteczną pracę układu hamulcowego bez wsparcia elektronicznego. Brak regulacji ciśnienia płynu hamulcowego przez elektroniczny system wspierający na podstawie pomiaru prędkości kątowej w czasie rzeczywistym sprawia, że ryzyko zablokowania kół podczas hamowania awaryjnego jest bardzo wysokie,

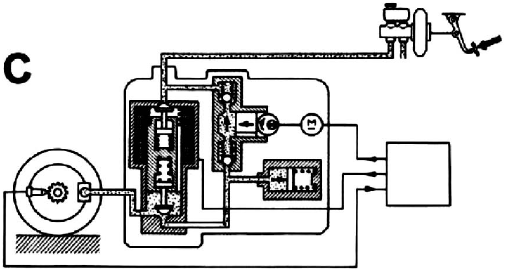


Rysunek 8 Faza wzrostu ciśnienia. Widoczny jest schemat elektrozaworu regulującego wraz z pompą elektryczną. 1 – elektroniczny zespół sterujący, 2 – silnik pompy elektrycznej, 3 – krzywka, 4 – tłoczek pompy elektrycznej, 5 - zawory kulkowe jednokierunkowe, 6 – akumulator ciśnienia, 7 – elektrozawór, 8 – zacisk hamulcowy, 9 – czujnik prędkości koła, 10 – pompa hamulcowa.

* faza utrzymania stałej wartości ciśnienia– sterowanie w tej fazie odbywa się przy ograniczonym napięciu elektrycznym. Tłoczek blokujący, w skutek działania pola elektromagnetycznego, przesuwa się od wysokości połowy swojego skoku w celu odcięcia dopływu płynu hamulcowego, do zacisków hamulcowych. Wzrost ciśnienia nie jest możliwy bez względu na siłę jak z jaka kierowca naciska na pedał hamulca. Następuje oddzielenie mechanizmu hamującego od pompy hamulcowej i obwodu powrotnego,

Rysunek 9. Faza utrzymywania stałej wartości ciśnienia. Schemat z uwzględnieniem położenia tłoczka sterującego wewnątrz elektrozaworu oraz widok połączonej z nim pompy elektrycznej

* faza zmniejszania ciśnienia – sterowanie odbywa się przy maksymalnej wartości napięcia elektrycznego. Następuje przyciągnięcie tłoczka blokującego przez pole elektromagnetyczne, powodując tym samym zamknięcie przewodu dolotowego, a także połączenie obwodu zacisku hamulcowego z pompą elektryczną. Uruchomienie pompy elektrycznej następuje za pomocą przekaźnika przez elektroniczny zespół sterujący. Wypompowanie płynu hamulcowego powoduje zmniejszenie ciśnienia w zacisku hamulcowym. Dzięki temu możliwy jest ponowny dopływ płynu hamulcowego przez przewody dolotowe z pompy hamulcowej w celu natychmiastowego odblokowania koła, które zostało zakwalifikowane przez system jako poślizgu.



Rysunek 10 Faza ograniczania ciśnienia. Tłoczek elektrozaworu jest uniesiony do góry poprzez przyciąganie pola elektromagnetycznego. Dzięki pracy pompy elektrycznej następuję wypompowanie płynu hamulcowego z układu a przez to zmniejszenie ciśnienia na zacisku szczęki hamulca.

Faza wzrostu i utrzymania stałej wartości ciśnienia są powtarzane za każdym razem gdy nastąpi wykrycie koła lub kół, które mogą zostać zablokowane. Fazy te następują bardzo szybko (do 10 razy nas sekundę) dzięki czemu korekcja ciśnienia na zaciskach hamulcowych jest bardziej precyzyjna Wpływa to bezpośrednio na skuteczność działań przeciwblokujących jakie ABS podejmuje w przypadku nagłego hamowania [29].

Ważnym elementem układu hydraulicznego ABS jest pompa elektryczna. Kilka zdań na jej temat pojawiło się wcześniej przy okazji omawiania faz pracy elektrozaworów. Należy jednak ten element potraktować bardziej szczegółowo ze względu na rolę jaka spełnia w prawidłowo działającym obwodzie hydraulicznym układu ABS.

Pompa elektryczna jest typu rotacyjnego. Jej głównym zadaniem jest zasysanie płynu hamulcowego ze zbiornika i kanałów powodując wzrost ciśnienia w akumulatorze. Wydajność pompy jest ograniczona ze względu na fakt że podczas pracy wytwarza ona duże ciśnienie robocze (do 21 MPa). Rozruchem pompy steruje silnik elektryczny, zasilany prądem zmiennym przez przekaźnik pompy, oraz wyłącznik ciśnieniowy. Pompa składa się z wirnika, którego tłoczki są umieszczone w sposób promieniowy, naprzeciwko siebie oraz bieżni pierścieniowej umieszczonej niewspółosiowo. Pompa elektryczna jest bezobsługowa w przypadku zużycia sygnalizowanego np. przez nadmierny poziom hałasu podczas jej pracy albo wytwarzanie zbyt dużego ciśnienia, możliwa jest jej wymiana. Ciśnienie robocze pompy zwykle mieści się w przedziale 14 – 18 MPa i jest regulowane przez wyłącznik ciśnieniowy. Osiągniecie ciśnienia 14 MPa powoduje włączenie się pompy elektrycznej. Urządzenie jest wyłączane kiedy ciśnienie przekroczy górną granicę zakresu a więc 18 MPa. Gdy ciśnienie robocze spada poniżej 14 MPa, wyłącznik ciśnieniowy uruchamia przekaźnik pompy poprzez dostarczenie ujemnego sygnału do styku 85. Przekroczenie górnej granicy ciśnienia roboczego powoduję odcięcie dopływu sygnału ujemnego, dzięki czemu przekaźnik kończy pracę pompy. Praca pompy jest możliwa tylko przy włączonym zapłonie lub gdy silnik pracuje, ponieważ dostarczenie dodatniego sygnału o natężeniu 12 V na styku 86 odbywa się przy użyciu wyłącznika zapłonu. Wyposażenie pompy w zawór zwrotny pozwala na przepływ płynu hamulcowego w obu kierunkach z i do akumulatora ciśnienia w zależności od fazy pracy elektrozaworów układu hydraulicznego. Możliwa awaria przekaźnika lub wyłącznika ciśnieniowego, która mogłaby doprowadzić do wytworzenia ciśnienia, przez pracującą pompę, wyższego niż robocze spowodowała konieczność zastosowania zaworu bezpieczeństwa. Zawór ten ogranicza ciśnienie do wartości 21 MPa umożliwiając odpływ nadmiaru płynu do przewodu dolotowego pompy. Takie rozwiązanie ma na celu podniesienie bezpieczeństwa układu przez umożliwienie przepływu płynu hamulcowego nawet jeśli obwód jest zamknięty [30]. Uruchomienie pompy następuje równocześnie z elektrozaworami regulacyjnymi w momencie gdy nastąpi faza ograniczania ciśnienia. Połączenie pracy pompy elektrycznej z elektrozaworami dało możliwość zmniejszenia ciśnienia w zaciskach hamulcowych, co kierowca odczuwa jako lekkie pulsacje przy dociskaniu pedału hamulca [31].

Regulacja ciśnienia płynu hamulcowego w obrębie pompy elektrycznej nie byłaby możliwa bez użycia akumulatorów ciśnienia. Akumulator ten jest zamontowany na powierzchni korpusu pompy elektrycznej i pełni rolę zbiornika przechowującego ok 150 cm3 płynu hamulcowego pod ciśnieniem 14 – 18 MPa. Zbiornik akumulatora jest podzielony na dwie komory oddzielone od siebie elastyczną membraną. Komora górna zwiera azot pod ciśnieniem wstępnym 8 MPa. Komora dolna w trakcie fazy roboczej jest wypełniona płynem hamulcowym. Pojemność każdej z komór akumulatora zmienia się w zależności faz pracy elektrozaworów wymagających zmniejszenia, utrzymania lub zwiększenia ciśnienia płynu hamulcowego. Przed dostarczeniem płynu hamulcowego pojemność dolnej komory jest równa zero. Membrana jest dociśnięta do dna zbiornika akumulatora. Wyłącznik ciśnieniowy przesyła sygnał sterujący do przekaźnika, włączając pompę elektryczną. Płyn hamulcowy pompowany przez pompę elektryczną przez przewód doprowadzający wypełnia dolną komorę zbiornika akumulatora powodując podnoszenie się membrany do góry. Po przekroczeniu ciśnienia 18 MPa wyłącznik ciśnieniowy przekazuje sygnał sterujący do przekaźnika pompy powodując jej wyłączenie. Spadek ciśnienia płynu hamulcowego znajdującego się w akumulatorze poniżej 14 MPa powoduje ponowne włączenie pompy elektrycznej w celu podniesienia ciśnienia płynu hamulcowego w komorze akumulatora. Poziom płynu hamulcowego zmniejsza się w przypadku gdy kierowca naciska pedał hamulca. Płyn hamulcowy znajdujący się w komorze akumulatora jest wówczas wykorzystywany przez obwód hydrauliczny do regulacji ciśnienia na zaciskach szczęk hamulcowych [32].

Akumulatory ciśnienia dostosowują swoją pracę do faz pracy elektrozaworów wylotowych i dolotowych Magazynują niewielką ilości płynu hamulcowego odprowadzonego przez pompę elektryczną z zacisków hamulcowych – fazy zmniejszania ciśnienia. Płyn hamulcowy jest ponownie przekazywany do zacisków hamulcowych z rozprężonej komory akumulatora ciśnienia – zakończenie fazy zmniejszania ciśnienia [33].

## *Wymagania*

Elektroniczne systemy wsparcia kierowcy maja za zadanie podnieść poziom jego bezpieczeństwa, w nagłych i nie przewidzianych sytuacjach na drodze. ABS jako system wspierający działanie układu hamulcowego, który jest kluczowym układem pojazdu samochodowego, musi być systemem bezpiecznym. Oznacza to, że usterka systemu ABS, nie może być równoznaczna, z awarią działania układu hamulcowego, a wiec pozbawieniem kierowcy możliwości zatrzymania pojazdu. Kierowca powinien być w stanie rozpocząć akcję hamowania niezależnie od tego czy system ABS pracuje prawidłowo. Zatrzymanie pojazdu nadal powinno być możliwe przy użyciu układu hamulcowego bez wsparcia elektronicznego, nawet jeśli wzrasta ryzyko zablokowania kół i w efekcie poślizgu, utraty kontroli nad pojazdem w sytuacji krytycznej. Określenie poziomu bezpieczeństwa jest możliwe poprzez zapewnienie, że system spełniania stawiane przed nim wymagania, w określonym kontekście użycia.

Główne wymagania postawione przed systemem ABS to:

* oczekiwane jest aby włączenie systemu następowało po odebraniu sygnału z czujnika naciśnięcia pedału hamulca,
* przy każdym uruchomieniu silnika pojazdu wymagana jest kontrola gotowości systemu do działania. W tym celu system wykona diagnostyczną procedurę testową, która sprawdzi czy nie zostały znalezione błędy blokujące jego poprawne działanie,
* każde zdarzenie, w którym system odbierze sygnał o włączeniu hamulców zainicjuje uruchomienie podstawowej procedury testowej, której zadaniem będzie sprawdzenie czy system działa prawidłowo,
* wykrycie błędów przez wcześniejsze procedury diagnostyczne spowoduje wykonanie metody wyłączenia systemu ABS. Układ hamulcowy nadal będzie sprawny jednak hamowanie odbywać się będzie bez wsparcia elektronicznego systemu przeciwblokującego koła,
* wymagane jest aby system ABS przesyłał informacje dotyczące wykrytych błędów do pamięci komputera pokładowego samochodu, skąd będzie możliwe ich odczytanie przez personel podejmujący czynności naprawcze,
* wysłanie informacji o awarii systemu ABS do komputera pokładowego samochodu spowoduje zapalenie sygnału ostrzegawczego na konsoli kierowcy. Spełnienie tego wymogu jest kluczowe w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa kierującemu pojazdem, który wiedząc o awarii, może odpowiednio wcześniej zwrócić się do autoryzowanego serwisu, w celu dokonania czynności naprawczych,
* system będzie umożliwiał wykonanie procedury restartującej po wykonaniu czynności naprawczych przez wykwalifikowany personel serwisowy. Procedura ta, usunie status awarii w systemie, do czasu zakończenia najbliższego testu diagnostycznego, np. po uruchomieniu silnika, po którym system ABS wyśle informacje do komputera pokładowego o gotowości do pracy lub awarii jeśli błędy nadal występują,
* system ABS będzie w stanie odbierać sygnały z czujników pomiaru prędkości obrotowej dla każdego z kół,
* system będzie przeciwdziałał blokowaniu kół w oparciu o zaimplementowany algorytm służący do interpretacji odczytanych pomiarów z czujników prędkości obrotowej. Umożliwi to wcześniejsze wykrycie kół które mogą zostać zablokowane. Analiza danych odbywać się będzie na zasadzie pomiaru czy zmierzona wartość prędkości obrotowej koła zbliża się do zakładanej wartości progowej w systemie powyżej której, system zakwalifikuje koło jako potencjalnie zablokowane,
* możliwe będzie sterowanie przez system ABS układem elektrozaworów odpowiadających za zmniejszanie lub zwiększanie ciśnienia a przez to siły hamowania w zaciskach hamulcowych kół, które mogą zostać zablokowane,
* system będzie reagował dynamicznie w zależności od wyników permanentnego pomiaru prędkości obrotowej dla każdego z kół [34].

Wykazanie że system ABS jest bezpieczny wymaga udowodnienia że każdy z wyżej wymienionych wymogów został spełniony. Graficzną reprezentacją wnioskowania o bezpieczeństwie systemu ABS jest dowód bezpieczeństwa (*Safety Case*).

## *Analiza bezpieczeństwa*

hazardy / failure modes

## *Proces wytwórczy ABS*

Współczesny przemysł motoryzacyjny dużą część zysków inwestuje w najnowsze zdobycze nauki i techniki w celu dostarczenia użytkownikom samochodów gwarantujących jak najwyższy komfort i bezpieczeństwo podczas jazdy. Cele te osiągane są poprzez implementacje coraz większej ilości elektronicznych systemów, których zadaniem jest podnoszenie standardu komfortu i bezpieczeństwa kierowcy w trakcie jazdy samochodem. Wysoki poziom zaawansowania stosowanych algorytmów komputerowych pozwala na efektywniejsze bardziej precyzyjne przetwarzanie danych pochodzących z czujników pomiarowych. Pozwala to na szybszą i skuteczniejszą „reakcję” elektronicznych systemów pokładowych samochodu na zmieniające się warunki otoczenia zewnętrznego. Podnoszenie standardów bezpieczeństwa sprawia, że czynnik błędu ludzkiego jest coraz bardziej minimalizowany. Rozbudowa funkcjonalności sterowników systemów pozwala na automatyczną aktywacje układu, który w ten sposób może reagować na zmiany w otoczeniu niezależnie od kierowcy. Szczególne znaczenie ma to w sytuacji, gdy chwila nieuwagi kierującego pojazdem decyduje o tym czy stanie się on uczestnikiem wypadku drogowego czy też nie. Projektanci systemów wbudowanych sterujących elektroniką pojazdu są świadomi, że tworzony przez nich produkt ma działać tak aby być w stanie inteligentnie korygować działania kierowcy, lub zastąpić go w sytuacji gdy ten w panice podczas zagrożenia na drodze nie podejmuje żadnych działań. Obrany kierunek rozwoju nowoczesnych technologii w motoryzacji stał się przyczyną do opracowania wyspecjalizowanych narzędzi programistycznych i standardów wytwarzania układowego oprogramowania sterującego, które powinno być niezależne od architektury sprzętowej, proste w utrzymaniu, niezawodne i łatwe do rozbudowy.

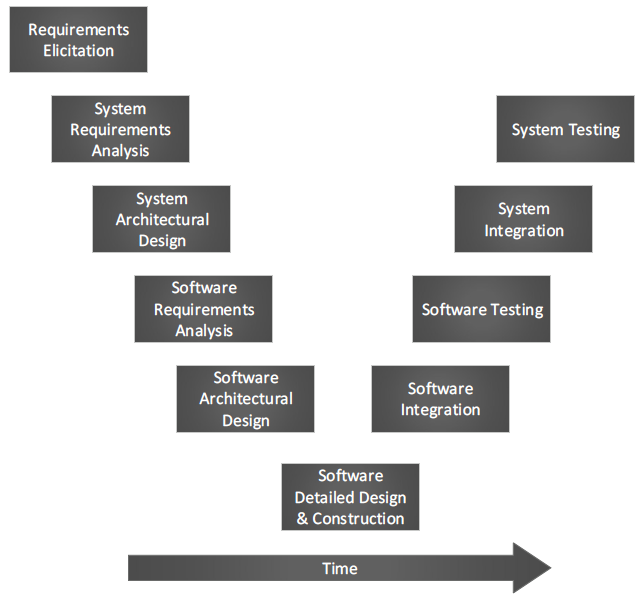
Najwięksi klienci przemysłu motoryzacyjnego w Europie, zwracają uwagę na rolę skutecznego i ustandaryzowanego zarządzania projektem, co jest wg nich równie ważne, jak wytworzenie konkretnego oprogramowania układowego. Sprawne, zarządzanie procesem wytwórczym daje odbiorcy produktu zdecydowanie więcej pewności, że zamawiany produkt będzie spełniał stawiane przed nim wymagania a przede wszystkim zostanie dostarczony w zakładanym terminie. Czas dostarczenia, produktu ma bezpośredni wpływ na proces wytwórczy w fabryce klienta, gdzie każde opóźnienie oznacza straty określonej części zysków. Dlatego klient musi mieć gwarancję minimalizacji ryzyka, że produkt będzie dostarczony zbyt późno lub nie będzie spełniał oczekiwań i ostatecznie jego wdrożenie opóźni się. Jasność i przejrzystość procesu wytwórczego u dostawcy ma zatem dla klienta kluczowe znaczenie. Standaryzacja procesu wytwórczego ma pomóc klientom na łatwiejszą kontrolę wytwarzania określonych produktów u rożnych dostawców w tym samym czasie. Ułatwia to lepsze planowanie procesu produkcyjnego po stronie klienta.

Producenci samochodów chętniej współpracują z dostawcami systemów, którzy proces wytwórczy opierają na standardzie SPICE (Software Process Improvement Capability Etermination). Standard ten normuje proces wytwarzania, testowania systemu oraz nakreśla sposób efektywnego zarządzania projektem tak aby produkt końcowy został dostarczony w terminie i pokrywał wymagania klienta. SPICE definiuje czym jest, jak przebiega i z jakich elementów składa się cykl wytwórczy produktu. Ważne jest to że oparcie się o tę metodologie wymusza wytwarzanie dokumentacji potwierdzającej spełnianie wyznaczonych standardów w określonych punktach czasu trwania projektu. Ułatwia to klientowi kontrolę i ocenę „dojrzałości” projektu w kluczowych momentach. Projekt prowadzony wg SPICE musi spełniać wymagania w zakresie:

* podstawowej praktyki, która musi być wykonana dla każdego procesu zachodzącego w projekcie,
* dokumentów oraz danych, które musza zostać wytworzone w wyniku każdej podstawowej praktyki,
* atrybutów dla każdego produktu,
* wykazania, że projekt jest odpowiednio zarządzany,
* wykazania, że projekt jest odpowiednio wspierany.

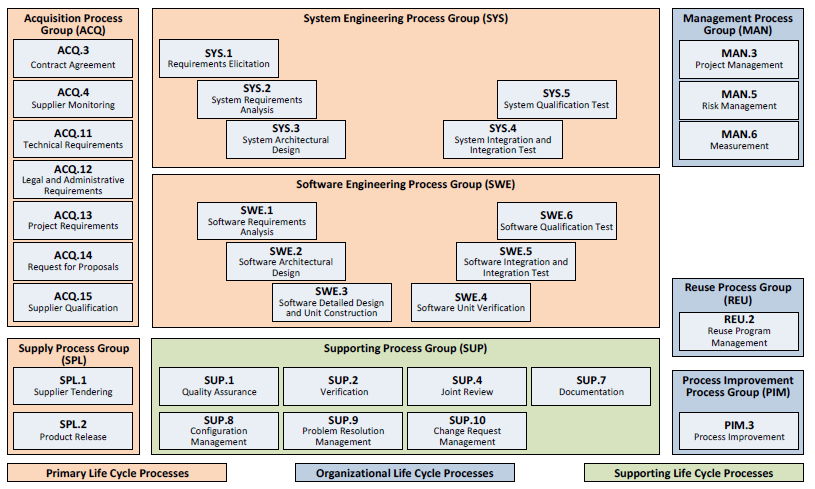
Istniejące standardy ze względu na zmieniającą się specyfikę branży motoryzacyjnej musza być ciągle rozwijane i uaktualniane w taki sposób, aby dawały najlepsze gwarancje spełniania celów, których realizacje mają wspomagać. Przykładem takiego rozwoju jest wytworzenie przez stowarzyszenie czołowych producentów samochodów (SIG – Sepcial Interest Group), standardu Automotive SPICE, zgodnego z normą ISO 12207. Standard ten opracowano w taki sposób, aby jeszcze bardziej formalizował cykl tworzenia systemu wbudowanego zamykając etapy jej tworzenia do wspólnie przyjętych jednolitych procesów. Przyjęcie tego standardu pozwoliło na polepszenie jakość wytwarzania oprogramowania wbudowanego dla branży motoryzacyjnej przez minimalizację prawdopodobieństwa pominięcia niektórych wymagań klienta. Wykazano, że dla zgodności cyklu wytwarzania systemu wbudowanego dla pojazdów mechanicznych ze standardem Automotive Spice konieczne jest, aby każde wymaganie klienta pokrywał oddzielny scenariusz testowy (ang. traceability). Zachowanie zgodności ze standardem Automotive SPICE wymusza na dostawcy oprogramowania umiejętne planowanie wszystkich zadań, ciągłą analizę wymagań klienta, tworzenie architektury i specyfikacji do programów, przeglądy kodu itd. Takie prowadzenie projektu podnosi prawdopodobieństwo wczesnego wykrycia błędów, a co za tym idzie niższy koszt ich naprawy. Minimalizowanie wystąpienia błędów przekłada się uzyskanie oprogramowania wyższej jakości co jest kluczowe, jeśli tworzone jest ono do obsługi modułów odpowiedzialnych za funkcje bezpieczeństwa w samochodzie.

Jedną z powszechniej stosowanych implementacji standardu Automotive SPICE jest tzw. model V który przedstawia kolejność kroków w czasie trwania procesu wytwarzania oprogramowania. Każdy krok ma przypisane określone zadania, których wykonanie leży w zakresie zespołów biorących udział w procesie wytwarzania oprogramowania. Realizacja uporządkowanych zadań ma zapewnić osiąganie określonych celów w zakresie realizacji wymagań stawianych przez klienta od początku cyklu wytwórczego.



Rysunek 11. Przykładowa Implementacja standardu Automotive SPICE – model V [35]

Standard Automotive SPICE wyróżnia trzy kategorie procesów, które są integralnym częściami cyklu wytwórczego: Primary Life Cycle Processes, Organizational Life Cycle Processes and Supporting Life Cycle Processes.



Rysunek 12. Schemat procesów podzielonych na kategorie wg. standardu Automotive Spice.

Realizacja dyplomu koncentruje się wokół kwestii dowodzenia o bezpieczeństwie systemu. Dlatego nie wszystkie procesy cyklu wytwórczego wymagają dokładnej analizy. W tym rozdziale szczegółowo omówione zostaną wyłącznie te procesy, które są kluczowe w kontekście zapewnienia że system na etapie wytwarzania, spełnia wymagania klienta w zakresie bezpieczeństwa.

Mając na uwadze powyższe kryterium analizę cyklu wytwórczego otwierają procesy zaliczane do kategorii Primary Life Cycle Processes. Kategoria ta agreguje procesy w czterech grupach:

* System Engineering Process Group (SYS),
* Software Engineering Process Group (SWE),
* Supplay Process Group (SPL) – ta grupa dotyczy procesów wykonywanych po stronie dostawców zewnętrznych, których zadaniem jest dostarczanie produktu lub usługi, które są jedynie częścią całości wytwarzanego systemu. Wnioskowanie o bezpieczeństwie odbywa się dla systemu jako spójnej całości wszystkich komponentów także tych dostarczanych przez firmy zewnętrzne dlatego pomijam grupę SPL w dalszej analizie procesu wytwórczego,
* Acquisition Proces Group (ACQ) – procesy tej grupy są wykonywane po stronie klienta, lub dostawcę działającego jako klient dla własnych dostawców, w celu nabycia produktu lub usługi. Procesy tej grupy, podobnie jak poprzedniej nie mają istotnego wpływu na wykazywanie bezpieczeństwa systemu, dlatego w dalszej części tego podrozdziału nie będą szerzej omawiane.

Poniżej omówione zostały procesy z grup SYS i SWE oraz SUP (procesy należące do kategorii Supporting Life Cycle Procesess) – które są ważne w kontekście dowodzenia o bezpieczeństwie systemu w cyklu wytwórczym.

|  |  |
| --- | --- |
| ***System Engineering Process Group (SYS)*** – składa się z procesów związanych z::   * Pobieraniem, zarządzaniem wymaganiami klienta i wewnętrznymi co do systemu * Definiowaniem architektury systemu * Integracją i wykonywaniem testów na poziomie systemu | |
| **Requirements Elicitation (SYS1)** | |
| Cele procesu | Gromadzenie, przetwarzanie i śledzenie wymagań interesariuszy względem produktu przez cały proces wytwórczy |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Utrzymanie komunikacji pomiędzy zainteresowanymi stronami projektu 2. Uzgodnione wymagania interesariuszy zostały zdefiniowane i określone 3. Ustalenie mechanizmu zmian w wymaganiach które mogą następować w oparciu o zmieniające się potrzeby zainteresowanych stron projektu 4. Ustalenie mechanizmu monitorowania aktualnych potrzeb zainteresowanych stron projektu 5. Ustalenie procedury, której interesariusze powinni przestrzegać w celu określenia statusu i dyspozycji żądań zmian w wymaganiach 6. Zapewnienie że zmiany w wymaganiach wynikające z zmieniającej się technologii i potrzeb interesariuszy są właściwie identyfikowane, powiązane a ryzyko z związane z ich wdrożeniem jest oceniane i zarządzane |
| Produkty wyjściowe | * Plan zarzadzania ryzykiem projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Plan ograniczania ryzyka (powiązane z RIP pkt. 6) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 1, 4) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 4, 5) * Dokument kontroli zmian (powiązane z RIP pkt. 3, 4) * Raport analizy (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 6) * Wymagania Interesariuszy projektu (powiązane z RIP pkt. 1, 2) |
| **System Requirements Analysis (SYS2)** | |
| Cele procesu | Przekształcenie zdefiniowanych wymagań zainteresowanych stron projektu w zestaw wymagań systemowych, które będą pomocne przy projektowaniu systemu. |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Wytworzenie zdefiniowanego zestawu wymagań systemowych 2. Pogrupowanie wymagań systemowych wg określonych kategorii. Analiza wymagań pod względem ich poprawności i możliwości weryfikacji 3. Przenalizowanie wpływu wymagań systemowych na środowisko operacyjne 4. Określenie priorytetów wdrażania wymagań systemowych 5. Aktualizacja wymagań systemowych, jeśli jest to potrzebne 6. Ustalenie czy wymagania interesariuszy „pokrywa” wytworzony zestaw wymagań systemowych 7. Ocena wymagań interesariuszy pod względem kosztów, harmonogramu i wpływu na projekt 8. Uzgodnienie wymagań systemowych i przekazanie wszystkim zainteresowanym stronom projektu |
| Produkty wyjściowe | * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 8) * Dokument kontroli zmian (powiązane z RIP pkt. 1) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument identyfikacji wymagań systemowych w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 6) * Raport analizy (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 7) * Dokument specyfikacji wymagań co do interfejsu systemu (powiązane z RIP pkt. 1, 3) * Specyfikacja wymagań systemowych (powiązane z RIP pkt. 1, 5) * Kryteria weryfikacji (powiązane z RIP pkt. 2) |
| **System Architectural Design (SYS3)** | |
| Cele procesu | * Opracowanie projektu architektury systemu * Przypisane określonych wymagań względem systemu do poszczególnych elementów w opracowanym projekcie architektury * Ocena projektu architektury systemu wg zdefiniowanych kryteriów |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Wytworzenie projektu architektury systemu z wskazaniem elementów, z których się składa 2. Powiązanie wymagań systemowych z określonymi elementami systemu na projekcie 3. Zdefiniowanie interfejsów poszczególnych elementów systemu 4. Zdefiniowanie logiki systemu 5. Wskazanie na projekcie architektury systemu które wymagania systemowe odpowiadają pozyskanym wymaganiom od interesariuszy projektu 6. Uzgodnienie projektu architektury systemu i przekazanie go wszystkim stronom projektu |
| Produkty wyjściowe | * Projekt architektury systemu (powiązane z RIP pkt. 1, 2, 3, 4, 5) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument identyfikacji wymagań systemowych w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 5) * Specyfikacja wymagań dotycząca interfejsu systemu (powiązane z RIP pkt. 3) |
| **System Integration and Integration Test (SYS4)** | |
| Cele procesu | * Integracja elementów systemu w większe moduły aż do uzyskania w pełni zintegrowanego systemu zgodnego z projektem architektury systemu * Dostarczenie dowodów, że elementy systemu zostały zintegrowane w sposób zgodny z projektem architektury |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Wytworzenie strategii integracji systemu zgodnej planem projektu. Plan wydań kolejnych wersji systemu oraz projekt architektury systemu są opracowywane pod kątem integracji elementów systemu 2. Wytworzenie strategii testów integracji systemu, która zawiera plan testów regresyjnych, w celu przetestowania interakcji elementów systemu 3. Opracowanie specyfikacji testów integracji systemu zgodnych z strategią testów integracji, takich których pozytywne wykonanie dostarczy dowody na zgodność zintegrowanych elementów systemu w tym także interfejsów pomiędzy elementami z wytworzonym projektem architektury 4. Uzyskanie takiego zaawansowania projektu, w którym elementy systemu są zintegrowane zgodnie z dostarczoną strategia integracji 5. Wybór przypadków testowych zawartych w specyfikacji testów integracji następuje w oparciu o wytyczne strategii testów integracyjnych i planu wydań kolejnych wersji systemu 6. Zapewnienie, że interakcje poszczególnych elementów systemu są testowane przy użyciu wybranych przypadków testowych a wyniki testów są dokumentowane. 7. Zapewnienie identyfikacji przypadków testowych wraz z wynikami testów integracji przeprowadzonych na ich podstawie na projekcie architektury który obrazuje poszczególne elementy systemu 8. Zapewnienie, że wyniki testów integracji są opisywane i udostępniane wszystkim zainteresowanym stronom projektu |
| Produkty wyjściowe | * Specyfikacja testów (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Plan testów (powiązane z RIP pkt. 1, 2) * Wytworzony prototyp systemu (powiązane z RIP pkt. 4) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 8) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 7) * Dokument identyfikacji wymagań systemowych w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 7) * Wyniki testów (powiązane z RIP pkt. 6, 8) |
| **System Qualification Test (SYS5)** | |
| Cele procesu | Sprawdzenie czy wytworzony zintegrowany system jest zgodny z wymaganiami i czy jest gotowy do dostarczenia. |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii testów kwalifikacji systemu, obejmującej strategie testów regresyjnych zgodnych z planem projektu i planem wydań kolejnych wersji systemu w celu kompletnego przetestowania dostarczonego zintegrowanego systemu 2. Opracowanie specyfikacji testów, zgodnie z strategią testów kwalifikacji, których celem będzie dostarczenie dowodów na zgodność systemu z wymaganiami klienta 3. Zapewnienie, że przypadki testowe uwzględnione w specyfikacji testów kwalifikacji są wybierane zgodnie z strategią testów kwalifikacyjnych i planem wydań kolejnych wersji systemu 4. Zapewnienie, że dostarczony system zintegrowany jest testowany wg wybranych przypadków testowych a wyniki są na bieżąco dokumentowane 5. Zapewnienie spójności oraz identyfikacji przypadków testowych i uzyskanych na ich podstawie wyników z wymaganiami systemowymi dostarczonymi przez klienta |
| Produkty wyjściowe | * Specyfikacja testów (powiązane z RIP pkt. 2, 3) * Plan testów (powiązane z RIP pkt. 1) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument identyfikacji wymagań systemowych w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 5) * Wyniki testów (powiązane z RIP pkt. 4, 6) |

|  |  |
| --- | --- |
| ***Software Engineering Process Group (SWE)*** – składa się z procesów związanych z:   * Zarządzaniem wymaganiami klienta co do oprogramowania które wynikają z pozyskanych wymagań dotyczących systemu * Opracowaniem projektu architektury oprogramowania * Integracją i wykonywaniem testów przed wdrożeniem wytworzonego oprogramowania | |
| **Software Requirements Analysis (SWE1)** | |
| Cele procesu | Przegląd wymagań dotyczących systemu i na ich podstawie stworzenie listy wymagań względem oprogramowania wbudowanego które ma zostać wytworzone |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Określenie wymagań względem oprogramowania i przydzielenie ich do określonych elementów oprogramowania systemu i ich interfejsów 2. Podzielenie wymagań dotyczących oprogramowania na kategorie i przeanalizowanie ich pod względem poprawności i weryfikowalności 3. Analiza wpływu wymagań względem oprogramowania na środowisko deweloperskie 4. Zdefiniowanie priorytetów wdrażania wymagań klienta względem oprogramowania podczas procesu wytwórczego. 5. Jeśli jest to konieczne wymagania względem oprogramowania mogą być aktualizowane 6. Określenie spójności i zakresu identyfikowalności wymagań dotyczących oprogramowania w dostarczonych wymaganiach względem systemu. Weryfikacja możliwości identyfikacji wymagań dotyczących oprogramowania na dostarczonym projekcie architektury systemu. 7. Ocena dostarczonych wymagań względem oprogramowania pod kątem kosztu wdrożenia, zakresu zmian w harmonogramie wdrożenia oraz wpływu na projektowany system 8. Uzgodnienie ostatecznej listy wymagań względem oprogramowania i przekazanie ich wszystkim stronom projektu których one dotyczą |
| Produkty wyjściowe | * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 8) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument kontroli zmian (powiązane z RIP pkt. 5, 7) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach od interesariuszy co do systemu (powiązane z RIP pkt. 1, 6) * Raport z analizy (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 7) * Specyfikacja wymagań dotyczących interfejsu oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 1) * Specyfikacja wymagań dotyczących oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 1) |
| **Software Architectural Design (SWE2)** | |
| Cele procesu | * Opracowanie projektu architektury oprogramowania wbudowanego * Przypisane określonych wymagań względem oprogramowania do poszczególnych elementów w opracowanym projekcie architektury * Ocena projektu architektury oprogramowania wbudowanego wg zdefiniowanych kryteriów |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Zdefiniowanie projekt architektury oprogramowania wyodrębniając poszczególne elementy oprogramowania 2. Przydzielenie wymagań względem oprogramowania do właściwych elementów na architektury na projekcie 3. Zdefiniowanie interfejsów wszystkich elementów oprogramowania 4. Określone są zachowania dynamiczne i cele dotyczące zużycia zasobów poszczególnych elementów oprogramowania 5. Zdefiniowanie spójności między wymaganiami związanymi z oprogramowaniem a poszczególnymi elementami na projekcie architektury oprogramowania 6. Uzgodnienie ostatecznej wersji projektu architektury oprogramowania i przekazanie go zainteresowanym stronom projektu |
| Produkty wyjściowe | * Projekt architektury oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 1, 2, 3, 4, 5) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 5) * Specyfikacja wymagań dotyczących interfejsu oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 3) |
| **Software Detailed Design and Unit Construction (SWE3)** | |
| Cele procesu | Wytworzenie i dostarczenie elementów oprogramowania zgodnych z projektem architektury |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie szczegółowy projekt architektury oprogramowania z podziałem na poszczególne moduły 2. Określenie interfejsów dla wskazanych na projekcie modułów oprogramowania 3. Określenie zestawu dynamicznych zachowań poszczególnych modułów oprogramowania (określenie logiki aplikacji) 4. Określenie spójności oraz zakresu identyfikowalności pomiędzy wymaganiami względem oprogramowania a poszczególnymi modułami zdefiniowanymi w projekcie szczegółowym architektury 5. Uzgodnienie szczegółowego projektu architektury oprogramowania i przekazanie go zainteresowanym stronom projektu 6. Wytworzenie modułów oprogramowania zdefiniowanych w projekcie szczegółowym architektury |
| Produkty wyjściowe | * Szczegółowy projekt architektury oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 1, 2, 3) * Prototyp oprogramowania wbudowanego (powiązane z RIP pkt. 6) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 4) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 4) |
| **Software Unit Verification (SWE4)** | |
| Cele procesu | * Weryfikacja wytworzonych elementów oprogramowania pod kątem ich zgodności z szczegółowym projektem architektury * Dostarczenie dowodów że elementy oprogramowania są zgodne z zaprojektowaną architekturą oraz zdefiniowanymi wymaganiami niefunkcjonalnymi |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii weryfikacji modułów oprogramowania 2. Opracowanie kryteriów weryfikacji modułów oprogramowania zgodnych z dostarczoną strategią weryfikacji dzięki którym możliwe będzie dostarczenie dowodów na zgodność dostarczonych modułów oprogramowania z projektem szczegółowym 3. Zapewnienie że moduły oprogramowania są weryfikowane na podstawie strategii weryfikacji i dostarczonych kryteriów weryfikacji 4. Ustalenie spójności pomiędzy kryteriami weryfikacji modułów oprogramowania a rezultatami przeprowadzonej weryfikacji 5. Podsumowanie wyników weryfikacji modułów oprogramowania i dostarczenie ich zainteresowanym stronom projektu |
| Produkty wyjściowe | * Specyfikacja testów (powiązane z RIP pkt. 2) * Plan testów (powiązane z RIP pkt. 1) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 3, 4) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 4) * Rezultaty weryfikacji (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Wyniki testów (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Raport analizy (powiązane z RIP pkt. 3) |
| **Software Integration and Integration Test (SWE5)** | |
| Cele procesu | * Integracja elementów oprogramowania w większe moduły aż do uzyskania w pełni zintegrowanego oprogramowania wbudowanego * Dostarczenie dowodów że elementy oprogramowania zostały zintegrowane w sposób zgodny z projektem architektury |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii integracji oprogramowania zgodnej z planem projektu, planami wdrożeń kolejnych wersji oprogramowania oraz projektem architektury oprogramowania w celu dostarczenia dowodów poprawnego zintegrowania elementów oprogramowania 2. Opracowanie strategii testowania integracji oprogramowania obejmującą strategię testów regresji w celu przetestowania interakcji między poszczególnymi elementami oprogramowania 3. Opracowanie specyfikacji testów integracji oprogramowania zgodnie ze strategią testów integracji, której celem jest dostarczenie dowodów na zgodność zintegrowanych elementów oprogramowania z architekturą oprogramowania 4. Zapewnienie, że elementy oprogramowania są zintegrowane zgodnie ze strategią integracji oprogramowania 5. Zapewnienie, że scenariusze testowe zawarte w specyfikacji testów integracji są wybierane zgodnie ze strategią testów integracji i planem wydań kolejnych wersji oprogramowania 6. Zapewnienie, że zintegrowane elementy oprogramowania są testowane przy użyciu określonych przypadków testowych, a wyniki testów integracji oprogramowania są właściwe dokumentowane 7. Zapewnienie spójności między wskazanymi elementami na projekcie architektury oprogramowania a przypadkami testowymi zawartymi w specyfikacji testów integracji oprogramowania 8. Dokonanie posumowania wyników testów integracji oprogramowania i przekazane do wszystkich zainteresowanych stron projektu. |
| Produkty wyjściowe | * Moduł (element architektury) oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 4) * Zintegrowane oprogramowanie (powiązane z RIP pkt. 4) * Specyfikacja testów (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Plan testów (powiązane z RIP pkt. 1, 2) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 8) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 7) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 7) * Wyniki testów (powiązane z RIP pkt. 6, 8) * Lista „zbudowanych” deweloperskich wersji kodu oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 4, 7) |
| **Software Qualification Test (SWE6)** | |
| Cele procesu | Zapewnienie że wytworzone zintegrowane oprogramowanie wbudowane jest zgodne z wymaganiami |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii testów kwalifikacji oprogramowania, obejmującej strategie testów regresyjnych zgodnych z planem projektu i planem wydań kolejnych wersji oprogramowania w celu kompletnego przetestowania dostarczonego zintegrowanego oprogramowania 2. Opracowanie specyfikacji testów kwalifikacji oprogramowania, zgodnie z strategią testów kwalifikacji, których celem będzie dostarczenie dowodów na zgodność oprogramowania z wymaganiami klienta 3. Zapewnienie, że przypadki testowe uwzględnione w specyfikacji testów kwalifikacji są wybierane zgodnie z strategią testów kwalifikacyjnych i planem wydań kolejnych wersji oprogramowania 4. Zapewnienie, że dostarczone oprogramowanie zintegrowane jest testowane wg wybranych przypadków testowych a wyniki są na bieżąco dokumentowane 5. Zapewnienie spójności oraz identyfikacji przypadków testowych i uzyskanych na ich podstawie wyników z wymaganiami względem oprogramowania dostarczonymi przez klienta 6. Zapewnienie że wyniki testów kwalifikacji oprogramowania zostały opisane i przekazane wszystkim stronom, projektu których dotyczą. |
| Produkty wyjściowe | * Specyfikacja testów (powiązane z RIP pkt. 2, 3) * Plan testów (powiązane z RIP pkt. 1) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 6) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Dokument identyfikacji wymagań względem oprogramowania w pozyskanych wymaganiach interesariuszy (powiązane z RIP pkt. 5) * Wyniki testów (powiązane z RIP pkt. 4, 6) * Strategia (powiązane z RIP pkt. 1) |

Drugą grupą procesów które mają znaczenie w obszarze bezpieczeństwa systemu, a zatem wymagają szczegółowego omówienia to procesy z kategorii Supporting Life Cycle Processes. Kategoria ta zawiera procesy które należą do Supporting Process Group (SUP). Grupa ta składa się z procesów, które mogą być wykorzystane przez dowolny inny proces w różnych punktach cyklu życia systemu / projektu. Procesy tej grupy to:

|  |  |
| --- | --- |
| **Quality Assurance (SUP1)** | |
| Cele procesu | * Niezależne zapewnienie że wytwarzany produkt lub trwający proces wytwórczy jest zgodny z wcześniejszymi założeniami, planami * Monitorowanie wytwarzanego produktu lub trwającego procesu wytwórczego i podejmowanie działania w przypadku stwierdzenia niezgodności |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie, wdrożenie i utrzymanie spójniej strategii zapewnienia jakości oprogramowania 2. Uzyskanie niezależności obiektywności oraz minimalizowanie ryzyka konfliktu interesów pomiędzy stronami projektu przy wdrażaniu strategii utrzymania jakości oprogramowania 3. Niezgodności produktów roboczych, procesów, oraz czynności podejmowanych w ramach określonego procesu z powiązanymi wymaganiami są identyfikowane, dokumentowane, propagowane do wszystkich zainteresowanych stron projektu 4. Zgodność produktów roboczych, procesów i czynności w ramach procesów jest weryfikowana, dokumentowana i propagowana do wszystkich interesariuszy projektu 5. zapewnienie mechanizmów przekazywania informacji o niezgodnościach w projekcie pomiędzy osobami odpowiedzialnymi za zarządzanie projektem na różnych poziomach 6. Odpowiednie zarządzanie projektem ma na celu zapewnienie, że zidentyfikowane niezgodności zostaną rozwiązane |
| Produkty wyjściowe | * Plan zapewnienia jakości rozwiązań (powiązane z RIP pkt. 1, 2) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące zawarte uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 3,4,5) * Dokument z opisem problemów związanych z utrzymaniem jakości rozwiązań (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Dokument zawierający opis ogólnego poziomu jakości wytwarzanych rozwiązań (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4) * Dokument związany z przeglądem poziomu jakości wytwarzanych rozwiązań (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4) * Rejestr działań podjętych w celu poprawienia poziomu jakości oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 3, 5, 6) * Dokument zawierający opis kryteriów jakie muszą zostać spełnione w celu utrzymania określonego poziomu jakości oprogramowania (powiązane z RIP pkt. 1) |
| **Verification (SUP2)** | |
| Cele procesu | * Potwierdzenie, że każdy produkt w danym procesie lub projekcie właściwie odzwierciedla określone wymagania. |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie, implementacja i zarządzanie strategią weryfikacji 2. Zidentyfikowanie kryteriów weryfikacji wszystkich wymaganych produktów roboczych procesu 3. Zapewnienie że czynności w zakresie weryfikacji są wykonywane 4. Zapewnienie że defekty są identyfikowane i dokumentowane 5. Zapewnienie że rezultaty weryfikacji są dostępne dla klientów oraz wszystkich zainteresowanych stron projektu |
| Produkty wyjściowe | * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca obowiązujące zawarte uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 5) * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) dokumentująca występujące problemy w zakresie implementacji procesu (powiązane z RIP pkt.3, 4, 5) * Dokumentacja wyników weryfikacji (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 5) * Dokumentacja zawierająca wykaz podjętych działań w celu rozwiązania zidentyfikowanych problemów (powiązane z RIP pkt. 4) * Dokumentacja zawierająca kryteria które musza zostać spełnione w celu zapewnienia określonego poziomu jakości (powiązane z RIP pkt. 2) * Strategia weryfikacji (powiązane z RIP pkt. 1) |
| **Joint Review (SUP3)** | |
| Cele procesu | * Potwierdzanie wspólnie z interesariuszami stanu zaawansowania projektu w odniesieniu do stawianych przed nim celów * Potwierdzanie wspólnie z interesariuszami że produkt na obecnym etapie wytwórczym spełnia oczekiwania |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Przeglądy zarządcze i techniczne są organizowane wg bieżących potrzeb projektu 2. Status, produkty procesu są oceniane podczas wspólnych przeglądów interesariuszy projektu 3. Wnioski uzgodnione po wspólnych przeglądach interesariuszy projektu są dostępne dla wszystkich zainteresowanych stron projektu. 4. Czynności podejmowane w następstwie uzyskanych rezultatów przeglądu projektu są monitorowane aż do ich zakończenia 5. Problemy są identyfikowane i dokumentowane |
| Produkty wyjściowe | * Korespondencja służbowa (maile, notatki ze spotkań) potwierdzająca zawarte uzgodnienia, dokumentująca aktualną dojrzałość projektu (powiązane z RIP pkt. 3,4,5) * Zapis przeglądu kontraktu (powiązane z RIP pkt. 1,2,3) * Dokumentacja występujących problemów (powiązane z RIP pkt. 3,5) * Korespondencja służbowa (maile, notatki) ze spotkań zespołów wspierających projekt (powiązane z RIP pkt. 1,2) * Dokumentacja zwierająca zapis informacji pochodzących z przeglądów projektu (powiązane z RIP pkt. 1 - 5) * Dokumentacja zawierająca wykaz podjętych działań w celu rozwiązania zidentyfikowanych problemów (powiązane z RIP pkt. 3, 4, 5) * Raporty przeprowadzonych analiz (powiązane z RIP pkt. 3, 5) * Raporty wykonanych audytów (powiązane z RIP pkt. 1, 2) * Dokumentacja dotycząca możliwości wprowadzania ulepszeń w zakresie określonego procesu (powiązane z RIP pkt. 3, 4) |
| **Documentation (SUP4)** | |
| Cele procesu | * Opracowanie materiałów projektowych * Utrzymanie aktualności zarejestrowanych informacji w procesie wytwórczym |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii identyfikującej dokumentację, która ma powstać podczas cyklu życia produktu lub usługi 2. Identyfikacja standardów których należy przestrzegać w celu opracowywania dokumentacji projektowej 3. Określenie rodzajów dokumentów jakie musza zostać wytworzone w trakcie trwania procesu lub projektu 4. Zawartość dokumentacji oraz cele jej wytwarzania są jasno określone 5. Określone są standardy regulujące sposób opracowania i udostępniania wytworzonej dokumentacji projektowej 6. Utrzymanie aktualności dokumentacji projektowej odbywa się wg ścisłych kryteriów |
| Produkty wyjściowe | * Plan dokumentowania czynności projektowych (powiązane z RIP pkt. 1, 2) * Dokument zawierający potwierdzenie zawartych uzgodnień (powiązane z RIP pkt. 4, 5) * Dokument przeglądu projektu (powiązane z RIP pkt. 4, 5) * Dokument zawierający historię wprowadzonych zmian w określonych obszarach projektu (powiązane z RIP pkt. 5, 6) * Lista produktów roboczych dla poszczególnych procesów (powiązane z RIP pkt. 3) |
| **Configuration Management (SUP5)** | |
| Cele procesu | * Utrzymanie integralności wszystkich produktów (np. środowiska deweloperskie) objętych procesem lub projektem * Udostępnienie ich zainteresowanym stronom zarówno po stronie klienta jak i wewnętrznie pomiędzy zespołami biorącymi udział w procesie wytwarzania oprogramowania. |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii zarządzania konfiguracją 2. Wszystkie elementy konfiguracji wygenerowane przez proces lub projekt są zidentyfikowane i dokumentowane zgodnie ze strategią zarządzania konfiguracją 3. Modyfikacja i wydania elementów konfiguracji podlegają kontroli 4. Modyfikacje i wydania elementów konfiguracji są udostępniane zainteresowanym stronom projektu 5. Raportowany jest stan zmian elementów konfiguracji 6. Zapewniona jest kompletności i spójność podstawowych elementów konfiguracji 7. Przechowywanie elementów konfiguracji jest kontrolowane |
| Produkty wyjściowe | * Elementy konfiguracji (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 7) * Podręcznik obsługi i przechowywania elementów konfiguracji (powiązane z RIP pkt. 3, 4, 5, 7) * Plan zarządzania konfiguracją (powiązane z RIP pkt. 1, 2, 7) * Plan naprawy konfiguracji (powiązane z RIP pkt. 1, 7) * Podstawowe dane konfiguracji (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 5, 6) * Dokument zarządzania konfiguracją (powiązane z RIP pkt. 2, 5, 7) * Historia zmian konfiguracji (powiązane z RIP pkt. 3) * System zarządzania konfiguracją (powiązane z RIP pkt. 1, 3, 4) |
| **Problem Resolution Management (SUP6)** | |
| Cele procesu | * Zapewnienie identyfikacji, analizy możliwych rozwiązań problemów * Monitoring skuteczności wdrożonych rozwiązań mających na celu usunięcie problemu |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii zarządzania rozwiązywaniem problemów w projekcie 2. Zidentyfikowane problemy są rejestrowane i klasyfikowane 3. Zidentyfikowane problemy są analizowane w celu dobrania odpowiedniego sposobu ich rozwiązania 4. Inicjowanie rozwiązań problemu 5. Zidentyfikowane problemy są monitorowane aż do pełnego ich rozwiązania 6. Znany jest stan zgłoszonych problemów oraz okoliczności ich występowania |
| Produkty wyjściowe | * Plan zarządzania zidentyfikowanymi problemami (powiązane z RIP pkt. 1) * Dokument opisujący problem (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 5) * Raport analizy problemu (powiązane z RIP pkt. 3) * Raport zwierający ocenę skali problemu (powiązane z RIP pkt. 3) * Raport stanu problemu (powiązane z RIP pkt. 6) |
| **Change Request Management (SUP7)** | |
| Cele procesu | * Definiowanie żądań zmiany * Monitoring postępów wdrożenia żądań zmiany * Ocena skuteczności wdrożonych żądań zmian |
| Rezultaty implementacji  Procesu (RIP) | 1. Opracowanie strategii zarządzania żądaniami zmian 2. Żądania zmian są rejestrowane i identyfikowane 3. Identyfikacja zależności pomiędzy wieloma żądaniami zmian 4. Określenie kryteriów potwierdzenia realizacji żądań zmian 5. Żądania zmian są oceniane pod kątem oszacowania zasobów które są potrzebne do ich wdrożenia 6. Ustalenie priorytetów wdrożenia żądań zmian na podstawie wyników analizy ich wpływu na projekt oraz dostępności zasobów 7. Zatwierdzone żądania zmian są monitorowane aż do zakończenia ich wdrażania 8. Identyfikacja statusów żądań zmiany 9. Powiązanie żądań zmian z produktami roboczymi w procesie |
| Produkty wyjściowe | * Plan zarządzania zmianą (powiązane z RIP pkt. 1) * Żądanie zmiany (powiązane z RIP pkt. 2, 3, 4, 5, 6, 7) * Dokument przeglądu żądań zmian (powiązane z RIP pkt. 7) * Dokument kontroli wdrożonych żądań zmiany (powiązane z RIP pkt. 8, 9) |

Uzupełniając opis cyklu wytwórczego realizowany wg. standardu Automotive SPICE wspomnieć należy także o kategorii procesów *Organizational Life Cycle Processes*. Składa się ona z procesów wspierających rozwój produktów i zasobów organizacji. Właściwa implementacja i rozwój procesów tej kategorii pomagają organizacji osiągać cele biznesowe w aktualnie prowadzonych projektach. Kategoria ta dzieli procesy na trzy grupy:

* Management Proces Group (MAN) – grupa ta składa się z procesów z których korzystać będzie każdy pracownik biorący udział w procesie wytwórczym którego rolą jest zarządzanie określony projektem lub procesem w ciągu cyklu życia systemu. Grupa MAN składa się z procesów takich jak: *project management, risk management, measurement*.
* Reuse Process Group – grupa obejmuje jeden proces stworzony w celu systematycznego wykorzystywania możliwości reużycia zasobów organizacji w cyklu życia systemu.
* Improvement Process Group (PIM) - w skład tej grupy wchodzi wyłącznie jeden proces - *process improvement*, który zawiera praktyki jakie należy stosować w celu usprawnienia innych procesów wykonywanych w ramach jednostki organizacyjnej [36].

# Zarządzanie dowodami w safety case dla ABS

## *Opis podejścia*

## *Klasyfikacja dowodów*

## *Zbiór dowodów dla ABS w cyklu życia*

## *Etapy zarządzania dowodami w rozwoju safety case*

## *Zarządzanie zmianami*

# Analiza procesu

## *Skuteczność i kompletność podejścia*

W przykładzie ABS nie znaleziono potrzeby stosowania dowodu który nie byłby ujęty w 3.5 i klasyfikacji 4.2

## *Korzyści – wsparcie w zarządzaniu zakresem zmian*

## *Napotkane problemy i propozycje doskonalenia podejścia*

## *Skalowalność*

## *Ile zajęło to czasu – efektywność procesu – automatyczne/ręczne*

# Podsumowanie

# WYKAZ LITERATURY

1. Dezfuli H. Benjamin A., Everett Ch., Smith C., Stamatelatos M., Youngblood R. *NASA System Safety Handbook.* Washington : National Aeronautics and Space Administration, 2011. str. 3.

2. B.M Łuczak. *Ocena narzędzi do budowy Assurance case.* Gdańsk : Politechnika Gdańska, 2014. str. 8.

3. D. Smigielski. System ABS. Co warto o nim wiedzieć? [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://antymoto.com.

4. Systemy elektroniczne ABS, ESP, ASR: poznaj alfabet bezpieczeństwa. *Akademia Auto Świat.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://akademia.autoswiat.pl.

5. Właśniak R i Zamiatowski K. *Agregat hudrauliczny Tevez MK II.* Bydgoszcz : Zespół Szkół Samochodowych, 2000. str. Rozdz. 2.1 Opis ogólny.

6. ABS (motoryzacja). *Wikipedia.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] https://pl.wikipedia.org.

7. How effective is ABS at reducing crashes. *Brainonboard.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.brainonboard.ca.

8. ABS (Anti-Blockier-System, Anti-look Break System, Anti Bloking System). [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.opony.com.pl/informacje/technologie.

9. Hamowanie awaryjne z ominięciem przeszkody bez systemu ABS. *Serwis Internetowy miesięcznika Szkoła Jazdy.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.szkola-jazdy.pl/.

10. Foltynowicz L, Ślaski G i Kupiec J. *Układy przeciwblokujące a diagnostyka układów hamulcowych.* Poznań  : Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska, 2001. str. 2.

11. [Online] https://www.aaafoundation.org/faqs-anti-lock-braking-system-abs.

12. Hamowanie z ABS-em to sztuka. *Serwis internetowy Głosu Pomorza.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.gp24.pl.

13. Kierowca lepszy niż ABS? Zapomnij. *Serwis motoryzacyjny magazynów „Motor” i „Auto Moto”.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://magazynauto.interia.pl.

14. Czujniki obrotów kół – do czego służą jak działają i jakie są objawy ich awarii. *Serwis motoryzacyjny portalu Wirtualna Polska.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://autokult.pl.

15. Cztery sytuacje drogowe w których ABS może wydłużać drogę hamowania. *Serwis motoryzacyjny Interii oraz magazynów „Motor” i „Auto Moto”.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://magazynauto.interia.pl.

16. Kierowca lepszy niż ABS? Zapomnij. *Serwis motoryzacyjny magazynów „Motor” i „Auto Moto”.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://magazynauto.interia.pl,.

17. Bosh: ABS – historia rewolucyjnego systemu. *Serwis motoryzacyjny magazynu Auto – Swiat.* [Online] [Zacytowano: 30 Listopad 2017.] www.auto-swiat.pl.

18. Kierowca lepszy niż ABS? Zapomnij. *Serwis motoryzacyjny magazynów „Motor” i „Auto Moto”.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://magazynauto.interia.pl.

19. Bosh: ABS – historia rewolucyjnego systemu. *Serwis motoryzacyjny magazynu Auto – Swiat.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] www.auto-swiat.pl.

20. ABS (motoryzacja) pkt. 6 Historia. *Wikipedia.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] https://pl.wikipedia.org.

21. Bosh: ABS – historia rewolucyjnego systemu. *Serwis motoryzacyjny magazynu Auto – Swiat.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.auto-swiat.pl.

22. ABS (motoryzacja) pkt. 6 Historia. *Wikipedia.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] https://pl.wikipedia.org.

23. Bosh: ABS – historia rewolucyjnego systemu. *Serwis motoryzacyjny magazynu Auto – Swiat.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] www.auto-swiat.pl.

24. ABS (motoryzacja) pkt. 6 Historia. *Wikipedia.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] https://wikipedia.org.pl.

25. Właśniak R i Zamiatowski K. *Agregat hudrauliczny Tevez MK II, Rozdz. 4.1 Elektroniczny zespół sterujący.* Bydgoszcz : Zespół Szkół Samochodowych, 2000.

26. Paszkowski J. *Diagnostyka układu hamulcowego ABS.* Warszawa : Instytut Maszyn Elektrycznych, Politechnika Warszawska, 2003. strony 20-22.

27. Czujnik ABS. *Serwis internetowy Hella.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] https://www.hella.com.

28. Czujniki obrotów kół – do czego służą jak działają i jakie są objawy ich awarii? *Serwis motoryzacyjny Wirtualnej Polski.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://autokult.pl.

29. Paszkowsk J. *Diagnostyka układu hamulcowego ABS.* Warszawa : Instytut Maszyn Elektrycznych, Politechnika Warszawska, 2003. strony 17-19.

30. Właśniak R i Zamiatowski K. *Agregat hudrauliczny Tevez MK II.* Bydgoszcz : Zespół Szkół Samochodowych, 2000.

31. Paszkowsk J. *Diagnostyka układu hamulcowego ABS.* Warszawa : Instytut Maszyn Elektrycznych, Politechnika Warszawska, 2003.

32. Właśniak R i Zamiatowski K. *Agregat hudrauliczny Tevez MK II.* Bydgoszcz : Zespół Szkół Samochodowych, 2000.

33. Paszkowsk J. *Diagnostyka układu hamulcowego ABS.* Warszawa : Instytut Maszyn Elektrycznych, Politechnika Warszawska, 2003. str. 19.

34. Mongiat J, i inni. Anti-Lock Breaking System Project – Requirements Analysis Document. *Serwis Internetowy.* [Online] [Zacytowano: 30 Październik 2017.] http://www.cse.msu.edu/~cse470/F01/Projects/ABS/ABS4/web/do-requirements/do-requirements.html.

35. Bień A, Rzeszutko J i Szymański T. Systemy wbudowane do celów pomiarowo – kontrolnych w motoryzacji. Proces projektowania i wstępnej diagnostyki. Kraków : PAK, 2014. strony 655-656. 8/2014.

36. SIG VDA QMC Working Group 13 / Automotive. *Automotive SPICE.* 2015.