

## **Połączenia śrubowe w układach biegowych – rodzaje i sposoby zabezpieczeń**

*W artykule przedstawiono zasady doboru elementów złącznych wraz z ich podstawowym podziałem. Zaprezentowano rodzaje połączeń śrubowych występujących w układach biegowych pojazdów szynowych. Ponadto omówiono sposoby zabezpieczeń połączeń śrubowych przed odkręcaniem.*

### **1. WPROWADZENIE**

Połączenia gwintowane stanowią jedną z głównych metod zespawania elementów składowych konstrukcji stalowych. Przenoszą one siły osiowe i tnące oraz momenty zginające w styku ograniczając (w różnym stopniu) wzajemne przemieszczenia łączonych części konstrukcji.

Uzyskuje się je w wyniku następujących procesów technologicznych [1]:

- etap I - trasowanie otworów tj. wyznaczenie punktów usytuowania śrub na powierzchni elementów łączonych
- etap II - wiercenie otworów
- etap III - umieszczanie w otworach łączonych elementów śrub oraz dokręcenie ich nakrętek z jednoczesną kontrolą ich naciągu.

Podstawowym elementem połączenia gwintowego jest łącznik, składający się zazwyczaj ze śruby z gwintem zewnętrznym i nakrętki z gwintem wewnętrznym. Skręcenie ze sobą obu gwintów łącznika tworzy połączenie gwintowe.

Łączenie śrubami, ze względu na łatwość wykonania tych połączeń, stosuje się w różnych konstrukcjach, zwłaszcza do scalania konstrukcji rozbieralnych. Śruby stosuje się również do połączeń tymczasowych na czas montażu konstrukcji do chwili zastąpienia ich spoinami.

W układach biegowych pojazdów szynowych połączenia śrubowe – zaraz za spawanymi – stanowią najczęściej stosowany sposób mocowania komponentów. Z uwagi na złożoność zjawisk występujących podczas jazdy pojazdu, połączenia śrubowe muszą spełniać szereg kryteriów - od dużej odporności na drgania i wibracje, po odporność na korozję oraz samohamowność. Ponadto musi charakteryzować je łatwość montażu i demontażu, nierzadko wielokrotność użycia oraz wysoka niezawodność.

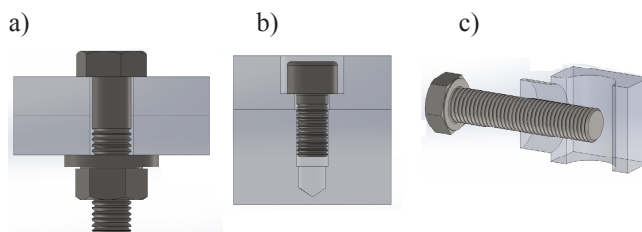
### **2. ANALIZA POŁĄCZEŃ GWINTOWYCH**

#### **2.1. Klasyfikacja połączeń**

W zależności od prześwitu między trzpieniem śruby i otworem, a także od stopnia dokręcenia śruby,

uzyskuje się połączenie o małej lub dużej zdolności do przemieszczeń. Sprężenie połączeń uzyskuje się wprowadzając wstępny naciąg trzpieni śrub, w wyniku kontrolowanego dokręcenia ich nakrętek. Połączenia, w których śruby nie są wstępnie napięte uważa się za niesprężone (zwykłe) [1].

Połączenia gwintowe dzielą się na pośrednie i bezpośrednie. W połączeniach pośrednich części składowe łączy się za pomocą łącznika (rys. 2.1a); rolę nakrętki może również odgrywać gwintowany otwór w jednej z łączonych części (rys. 2.1b). W połączeniach bezpośrednich gwint jest wykonany na łączonych częściach (rys. 2.1c).

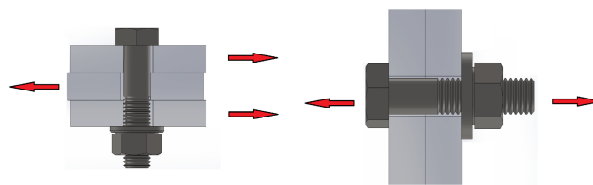


Rys. 2.1 Klasyfikacja połączeń śrubowych

Z uwagi na sposób wzajemnego usytuowania łączonych elementów połączenia śrubowe dzieli się na [1]:

- zakładkowe, w których kierunek głównej składowej obciążenia złącza jest prostopadły do osi łączników (rys. 2.2a)
- doczołowe, w których kierunek głównej składowej obciążenia złącza jest równoległy do osi

łączników (rys. 2.2b).



Rys. 2.2 Połączenia śrubowe

W większości przypadków połączenia gwintowe są połączeniami spoczynkowymi, wykorzystywanymi do łączenia części składowych lub do regulacji ich położenia. Gwinty są stosowane również w mechanizmach śrubowych, określanych także jako połączenia gwintowe ruchowe.

Powszechnie stosowanymi typami gwintów są: gwinty trójkątne (metryczne i rurowe walcowe) oraz trapezowe (symetryczne i niesymetryczne).

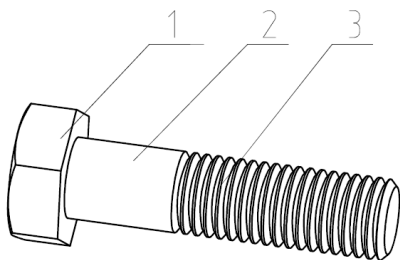
Ponadto gwinty dzielą się na:

- zwykłe, drobne (drobnozwojne) i grube (grubozwojne)
- prawe i lewe
- jednokrotne (pojedyncze) i wielokrotne (dwukrotne, trzykrotne itd.).

Gwinty zwykle występują najczęściej w elementach niezbyt dokładnych, produkowanych seryjnie lub masowo. Gwinty drobne mają mniejszą podziałkę niż gwinty zwykłe o tej samej średnicy. Ze względu na mniejszą głębokość gwintu są one stosowane w celu zwiększenia średnicy rdzenia śruby (są nacinane na tulejach, rurach).

## 2.2. Oznaczenia i dobór śrub

Na rys. 2.3 przedstawiono śrubę z łbem sześciokątnym (1), trzpieniem walcowym gładkim o średnicy  $d$  (2), nagwintowanym (3) na części lub na całej jego długości. Rdzeń śruby stanowi jej część nagwintowana, która pozostaje po odliczeniu nacięć gwintu. Łeb śruby jest graniastostłupem o podstawie sześcioboku. Znormalizowane typy śrub o gwincie metrycznym oznacza się symbolem  $M$  i liczbą odpowiadającą średnicy  $d$  gwintu śrub.



Rys. 2.3 Śruba z łbem sześciokątnym

Śruby są produkowane w trzech klasach dokładności wykonania, które oznaczono symbolami:

- A – dokładne
- B – średniodokładne
- C – zgrubne.

Różnią się one sposobem obróbki i dokładnością wykonania powierzchni (chropowatości) ich trzpieni.

Śruby zgrubne (klasy C) są obrobione jedynie na odcinku gwintowanym i dlatego też muszą mieć zapewniony odpowiedni luz w otworze łączonych elementów. Luz ten zależy od średnicy śruby (wynosi od 1,0 do 3,0 mm) i ma decydujący wpływ na nośność

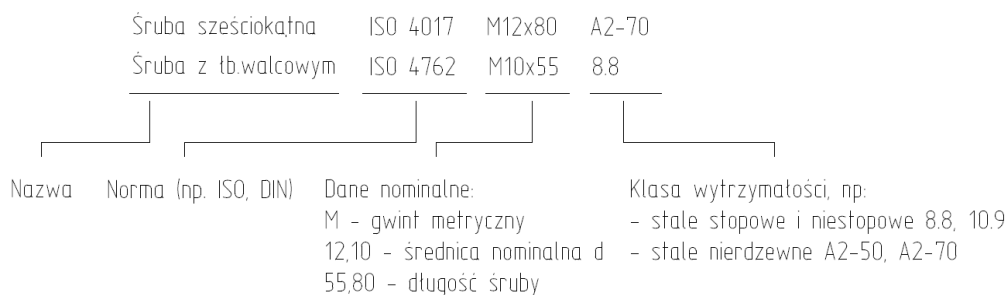
oraz odkształcenia połączeń. Śruby o takiej klasie wykonania są stosowane w połączeniach tymczasowych, w stykach montażowych słabo wyteżonych obciążonych statycznie i w połączeniach elementów o drugorzędnym znaczeniu konstrukcyjnym [1].

Śruby o średnio dokładnej klasie wykonania (klasy B) mają dodatkowo toczone trzpienie. Śruby wykonane ze stali o wysokiej wytrzymałości, z łbem sześciokątnym powiększonym lub z łbem zwykłym, są produkowane tylko w klasie B. Śruby te przeznaczone są przede wszystkim do połączeń sprężanych. Są one w zestawach śrubowych w systemie HV (klasy 10.9) lub HR (8.8 i 10.9). Ze względu na przenoszenie znacznych sił rozciągających nakrętki śrub sprężających mogą mieć wymiary zwiększone w stosunku do śrub zwykłych [1].

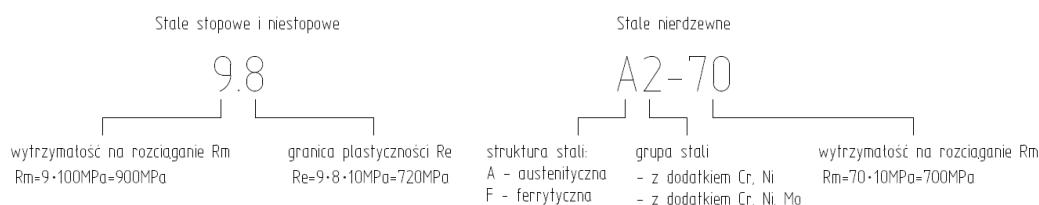
Śruby o dokładnej jakości wykonania (klasy A) są wykonywane z pogrubionym trzpieniem. Śruby o takiej klasie stosuje się w połączeniach pasowanych, z luzem między trzpieniem a ścianką otworu od 0,2 do 0,3 mm. Otwory w łączonych elementach do śrub pasowanych wykonuje się dwuetapowo. Wstępnie są one wiercone o średnicy mniejszej od nominalnej średnicy trzpienia. Po próbnym scaleniu łączonych elementów wykonuje się rozwiercanie otworów do średnicy nominalnej. Połączenia ze śrubami pasowanymi są pracochłonne i kosztowne, dlatego projektuje się je w przypadkach, gdy jest konieczne ograniczenie przemieszczeń w styku [1].

Śruby i nakrętki podzielono na klasy nie tylko w zależności od jakości wykonania, ale też od właściwości mechanicznych stali, z których są wykonane. Klasy wytrzymałości śrub oznacza się w zależności od zastosowanego materiału. Dla śrub wykonanych ze stali stopowych lub niestopowych klasy wytrzymałościowe śrub oznacza się symbolem składającym się z dwóch liczb przedzielonych kropką. Pierwsza liczba oznacza setną część wytrzymałości na rozciąganie stali gotowych śrub  $R_m$ . Druga liczba dziesiętna oznacza granicę plastyczności  $R_e$  wyrażonej jako iloczyn liczby pierwszej i drugiej pomnożony przez 10. Symbol 9.8 oznacza na przykład śrubę o wytrzymałości stali na rozciąganie  $R_m = 9 \cdot 100 \frac{N}{mm^2} = 900 \frac{N}{mm^2}$  i granicy plastyczności  $R_e = 9 \cdot 8 \cdot 10 \frac{N}{mm^2} = 720 \frac{N}{mm^2}$  (rys.

2.4). Dla śrub wykonanych ze stali nierdzewnych klasę wytrzymałości oznacza się symbolem składającym się z 3 liczb (rys. 2.5). Pierwsza oznacza strukturę stali, druga grupę stali a trzecia wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  wyrażoną jako iloczyn 3 liczby i liczby 10. W tabeli 1 przedstawiono klasyfikację klas wytrzymałości śrub.



Rys. 2.4 Przykład oznaczenia śruby [2]



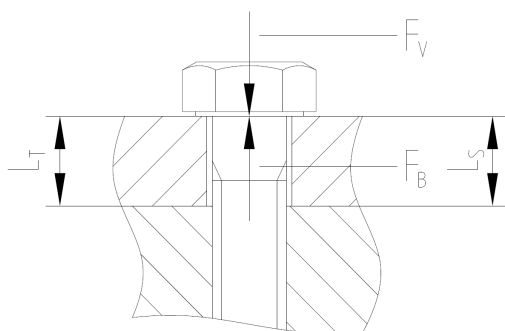
Rys. 2.5 Klasa wytrzymałości śrub – oznaczenia [2]

### Klasy wytrzymałości i parametry materiałowe [2]

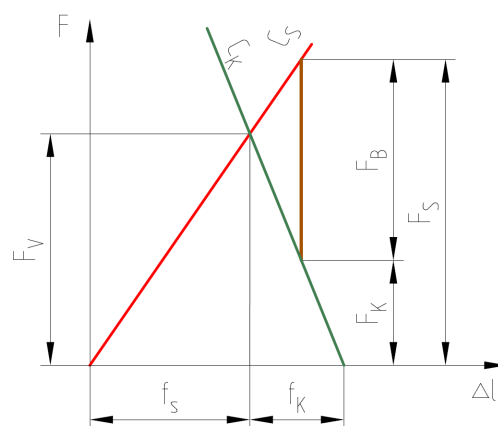
Tabela 1

Parametry materiałowe	Klasy wytrzymałości śrub ze								
	stali niestopowych i stopowych						stali nierdzewnych		
	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	A2-50	A4-50	A2-70
Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa]	500	600	800	900	1000	1200	500	500	700
Granica plastyczności $R_e$ [MPa]	400	480	640	720	900	1080	210	210	450
Wydłużenie przy zerwaniu $A$ [%]	10	8	12	10	9	8	20	20	13

Na rys 2.6 pokazano schemat obciążenia złącza śrubowego siłą działającą w osi połączenia. Dla tak przyjętych wartości wykres pracy złącza śrubowego pokazano na rys. 2.7. Na wykresie tym przyjęto pewne wartości sztywności łącznika (śruby)  $C_S$  oraz kołnierza  $C_K$ . Dla przyjętych warunków pracy (kierunek działania siły  $F_V$ ) otrzymujemy stan w którym część robocza śruby podlega rozciąganiu ( $f_S$ ) a część łączona kołnierza ściskaniu ( $f_K$ ). Dla takiego stanu powstaje wypadkowa siła  $F_V$  stanowiąca wstępny zacisk montażowy. Zwiększenie sztywności połączenia śrubowego (np. poprzez dodanie tulei dystansowej) lub zwiększenie sztywności kołnierza (inny materiał) powoduje zmianę wartości siły  $F_V$  (do wymaganej).



Rys. 2.6 Schemat obciążenia połączenia śrubowego siłą osiową:  
 $F_V$  – siła wstępnego napięcia;  $F_B$  – obciążenie robocze (zewnętrzne);  
 $L_S$  – długość śruby (roboczej);  $L_T$  – długość kołnierza



Rys. 2.7 Wykres pracy złącza śrubowego:

$F_V$  – siła wstępnego napięcia;  $F_B$  – obciążenie robocze (zewnętrzne);  $F_K$  – siła docisku;  $F_S$  – całkowite obciążenie śruby;  $f_S$  – wydłużenie śruby;  $f_K$  – skrócenie kołnierza;  $C_S$  – sztywność śruby;  $C_K$  – sztywność kołnierza

W tabeli nr 2 przedstawiono wytyczne doboru śrub w zależności od obciążenia przypadającego na śrubę. Dla wybranych wartości klasy wytrzymałości mechanicznej podano konkretne wartości wymiarowe śrub.

### 2.3. Zabezpieczenia przed odkręceniem

W wielu przypadkach na połączenie śrubowe działają siły zmienne, wstrząsy i drgania. W takim połączeniu może wystąpić zanik siły poosiowej, powodując luzowanie połączenia, a tym samym zanik siły tarcia między gwintem nakrętki a śruby. W celu

Wytyczne wstępno doboru śrub [2]

Tabela 2

Obciążenie	Obciążenie robocze przypadające na śrubę $F_B$ [kN]								
	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	
statyczne	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	
dynamiczne	1,6	2,5	4	6,3	10	16	25	40	
Klasa wytrzymałości	4.8.5.6	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
	5.8.6.8	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
	8.8	M5	M6	M8	M8	M10	M16	M16	M20
	10.9	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M16
	12.9	M4	M5	M5	M8	M8	M10	M12	M16

ochrony połączenia śrubowego przed samoczynnym luzowaniem stosuje się szereg zabezpieczeń. W tabeli nr 3 przedstawiono najczęściej stosowane zabezpieczenia przed odkręceniem.

Połączenia gwintowe okazują się zazwyczaj zawodne ze względu na spadek naprężenia wstępnego śruby, czego główną przyczyną jest spadek naprężenia osiowego i samoodkręcanie się śrub.

Spadek naprężenia osiowego prowadzi do zmiany naprężenia wstępnego śruby a tym samym do osłabienia siły zacisku złącza. Jest to spowodowane:

- osiadaniem – występuje kiedy powierzchnia stykających się części ulega wygładzaniu pod naciskiem sił naprężenia wstępnego
- pełzaniem – występuje kiedy nacisk na powierzchnie styku śruby lub nakrętki przekracza wytrzymałość materiału na ściskanie np. kiedy uszczelki są ściśnięte. Jeżeli połączenie nie jest wystarczająco elastyczne np. jeżeli śruby są zbyt sztywne lub źle dobrane pod względem proporcji ich długości do średnicy, spadkowi naprężenia wstępnego nie da się zapobiec.

Typy zabezpieczeń przed luzowaniem się połączenia śrubowego

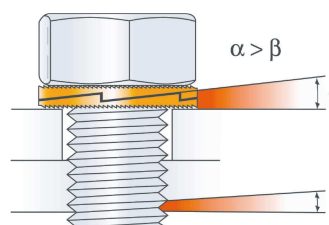
Tabela 3

Typ zabezpieczeń	
Podkładka sprężysta	Podkładka odginana
	
Podkładka klinująca	Nakrętka koronowa
	
Nakrętka samohamowna z wkładką poliamidową	Nakrętka samohamowna ze sprężyną zewnętrzną
	
Nakrętka samohamowna ze sprężyną talerzową	Środki do zabezpieczeń gwintów w płynie, sztyfcie
	

W przypadku stosowania podkładek sprężystych oraz odginanych stosuje się je głównie w połączeniach spoczynkowych. Pozostałe typy rozwiązań mają zastosowanie w połączeniach poddanych siłom dynamicznym gdzie występują drgania i wibracje.

### 2.3.1 Podkładki klinujące

Podkładki klinujące wykorzystują napięcie powstające w dokręcaniej śrubie. Ten system zabezpieczeń tworzy para podkładek, z których każda posiada na jednej ze swych powierzchni nacięcia w postaci klinów o kącie nachylenia  $\alpha$  większym od kąta wzniosu linii śrubowej gwintu współpracującej śruby  $\beta$  (rys. 2.8). Na drugiej powierzchni znajdują się promiennie nacięte ząbki. Podkładki są zestawione w gotowe do montażu komplety powierzchniami klinowymi do wewnątrz [4].

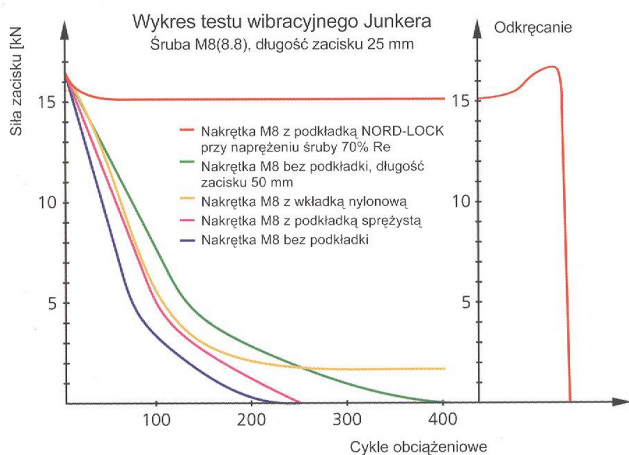


Rys. 2.8  
Zasada działania podkładek klinujących [4]

Kiedy śruba lub nakrętka jest dokręcana, zewnętrzne powierzchnie pary podkładek tworzą połączenia kształtowe z powierzchniami współpracującymi. Odkręcenie nakrętki lub śruby, również samoczynne, powoduje przesuwanie się podkładki górnej względem podkładki dolnej po wewnętrznych powierzchniach klinowych co wobec różnicy w kątach skutkuje powstaniem efektu blokowania [4]. Na rys. 2.9 przedstawiono wynik testu wibracyjnego Junkera przeprowadzone na kilku typach zabezpieczeń połączeń śrubowych.

Jak wynika z wykresu, większość połączeń wykazuje ograniczoną odporność na działanie drgań i wibracji. Połączenia gdzie zastosowano podkładkę klinową charakteryzuje mały spadek siły zacisku we wstępnej fazie (wynika to z dopasowywania się powierzchni), a następnie utrzymują stały poziom siły zacisku w kolejnych fazach badania.





Rys. 2.9 Wykres testu wibracyjnego Junkera [4]

Funkcja blokująca podkładek znajduje swoje potwierdzenie podczas odkręcania śruby lub nakrętki, przez widoczny wzrost napięcia w śrubie.

Test wibracyjny Junkera zgodny z normą DIN 65151 [8] jest powszechną i niezawodną metodą sprawdzania i porównywania skuteczności poszczególnych rodzajów połączeń śrubowych. Dzięki testowi można w uproszczony sposób zbadać odporność różnych rodzajów połączeń na oddziaływanie poprzecznych drgań i wibracji. Testowane połączenie śrubowe jest poddawane działaniu sił skierowanych prostopadle do swojej osi o regulowanej częstotliwości i amplitudzie a postępujące zmiany siły zacisku są mierzone przez czujniki tensometryczne i przedstawiane na wykresie.

Test Junkera jest uznawany za najbardziej rygorystyczny w porównaniu z metodami opartymi o generowanie dynamicznych obciążeń poosiowych wywołujących luzowanie się śrub. Test umożliwia również porównanie skuteczności działania kilku metod zabezpieczania połączeń poddanych takim samym warunkom pracy. Testy Junkera, które są prowadzone zgodnie z normą DIN 65151. Według autora metody dr Gerharda H. Junkera „jest udowodnione, że złącza obciążone dynamiczne ulegają w większości przypadków uszkodzeniom albo w wyniku zmian zmęczeniowych albo na skutek samoczynnego luzowania się przy czym luzowanie jest przyczyną powstawania większości uszkodzeń zmęczeniowych” [4].

**Podkładki klinujące spełniają swoją funkcję blokującą tylko i wyłącznie, jeżeli twardość powierzchni elementów współpracujących jest niższa od twardość tych podkładek.**

W tabeli 4 podano twardość podkładek klinujących w zależności od typu wykonania.

Funkcja blokująca podkładek wystąpi tylko w przypadku zastosowania wymaganych momentów dokręcających. W tabeli 5 podano wymagane momenty dokręcenia dla wybranych typów podkładek oraz sposobu smarowania gwintu (dla podkładki wykonanej z materiału kwasoodpornego A4, ze śrubą nierdzewną smarowaną smarem grafitowym GTP600).

Twardość podkładek klinujących [4]

Tabela 4

Materiały	Zakres wymiarowy	Metalizowane płatkami cynku	Brak pokrycia
Stal (hartowana na wskroś)	NL3 – NL130	>465 HV1	
Stal nierdzewna A4 (utwardzana powierzchniowo)	NL3ss – NL80ss		>520 HV0.05

Dobór momentu skręcającego [4]

Tabela 5

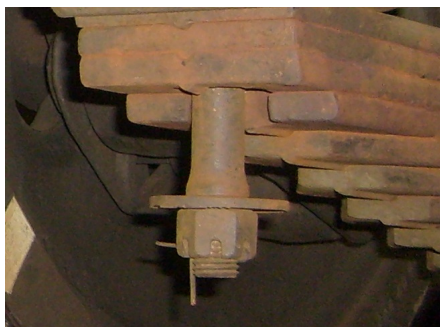
Typ podkładki	Rozmiar gwintu	Podziałka [mm]	A4-70, $G_F=0,65$ $\mu_g=0,14, \mu_w=0,15$		A4-80, $G_F=0,65$ $\mu_g=0,14, \mu_w=0,15$	
			Moment skręcający [Nm]	Sila zacisku [kN]	Moment skręcający [Nm]	Sila zacisku [kN]
NL3ss	M3	0,5	0,9	1,5	1,2	2,0
NL4ss	M4	0,7	2,0	2,6	2,7	3,4
NL5ss	M5	0,8	3,9	4,1	5,3	5,5
NL6ss	M6	1,0	6,9	5,9	9,2	7,8
NL8ss	M8	1,25	17	11	22	14
NL10ss	M10	1,5	33	17	43	23
NL12ss	M12	1,75	56	25	75	33
NL14ss	M14	2,0	89	34	119	45
NL16ss	M16	2,0	136	46	181	61
NL18ss	M18	2,5	191	56	254	75
NL20ss	M20	2,5	267	72	356	95
NL22ss	M22	2,5	364	89	485	118
NL24ss	M24	3,0	460	103	613	137

gdzie:  $G_F$  – stosunek granicy plastyczności do naprężenia wstępnego;  $\mu_g$  – współczynnik tarcia gwintu;  $\mu_w$  – współczynnik tarcia podkładki

Podczas dokręcania złącza śrubowego występują zarówno naprężenia rozciągające jak i skręcające. Naprężenia rozciągające dające pożądaną siłę zacisku w złączu są efektem poosiowego wydłużania się śruby. Naprężenia skręcające powstają w wyniku tarcia na współpracujących ze sobą powierzchniach gwintu i otworu gwintowanego co powoduje niepożądane skręcanie się śruby. Wzrost naprężeń skręcających grozi utratą plastyczności śruby zanim osiągnięta zostanie pożądana wartość siły zacisku.

### 2.3.2 Nakrętka koronowa

Nakrętki koronowe stanowią popularny, lecz coraz rzadziej stosowany sposób zabezpieczenia połączenia śrubowego przed odkręceniem. Zabezpieczenie takie zostało pokazane na rys. 2.10. Zastosowanie nakrętki koronowej wymaga równoczesnego stosowania zawleczek a tym samym wykonywania otworu w łączniku (śruba, sworzeń gwintowany itp.). Stwarza to sytuację, w której ponowne użycie sworznia jest ograniczone (w wielu przypadkach niemożliwe co wiąże się z koniecznością wykonywania nowego łącznika).



Rys. 2.10 Przykład stosowania nakrętki koronowej

W niektórych przypadkach istnieje możliwość zastąpienia nakrętki koronowej – nakrętką samozabezpieczającą. W tym przypadku konieczne jest spełnienie poniższych wymagań [3]:

- wszystkie śruby powinny być poddane oględzinom i kwalifikacji zgodnie z obowiązującymi przepisami. Należy odrzucić śruby nie posiadające na łbie czytelnego oznaczenia własności mechanicznych, z wadami powierzchni zewnętrznej gwintu (pęknięcia, zadziory, przecięcie lub wgniecenie dowolnej szerokości i głębokości na zwoju gwintu itp.), z zadziorami lub ostrymi krawędziami zewnętrznymi na wyjściu otworów po zawleczkach (otwory należy na całym obwodzie zaokrąglić, zadziory usunąć). Niedopuszczalne są nieciągłości powierzchni śruby wymienione w normie PN-EN 26157-1:1998 [12]

- gwint śruby po kwalifikacji i w/w poprawkach powinien być zgodny z normą PN ISO 965-2:2001 [13], a koniec śruby sfazowany i zgodny z PN-EN ISO 4753:2002 [14],

- w połączeniu śrubowym, śruba powinna mieć wytrzymałość odpowiednią do klasy własności mechanicznych nakrętki (np. nakrętka klasy własności mechanicznych 8 powinna współpracować ze śrubą klasy własności mechanicznych 8.8) – nie można stosować nakrętki do śruby o niższej klasie własności mechanicznych

- w połączeniu śrubowym otwór po zawleczce musi być zawsze na zewnątrz nakrętki (nie może być pod nakrętką lub między łbem śruby, a nakrętką).

### 2.3.3 Nakrętka samohamowna z wkładką poliamidową

Budowę nakrętki tego typu pokazano na rys. 2.12. Nakrętka składa się z metalowego korpusu oraz wkładki wykonanej z tworzywa sztucznego (poliamidu). Specjalna konstrukcja wkładki powoduje, że podczas wkręcania śruby wkładka „dopasowuje się” do zwojów śruby powodując powstawanie zacisku. Nakrętki tego typu, ze względu na charakterystyczne właściwości poliamidu, należą do nakrętek jednokrotnego użytku.



Rys. 2.12 Nakrętka samohamowna z wkładką poliamidową

Nakrętki z wkładką poliamidową są wykonane zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach DIN 985 [9], ISO 10511 [10], PN 82175 [11].

### 2.3.4 Nakrętka samohamowna ze sprężyną zewnętrzną

Ze względu na bardzo dobre właściwości samozabezpieczające samohamowne nakrętki te znajdują coraz częstsze zastosowanie w pojazdach szynowych w miejscach poddawanych częstym drganiom i obciążeniom dynamicznym. Budowa nakrętki została przedstawiona na rys. 2.12.



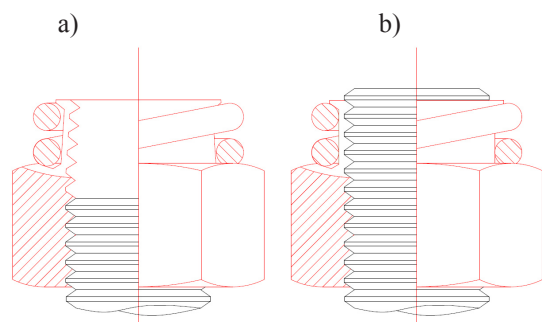
Rys. 2.12 Nakrętka samohamowna ze sprężyną zewnętrzną

W tabeli nr 6 podano własności mechaniczne nakrętek samohamownych ze sprężyną zewnętrzną.

Własności mechaniczne nakrętek samohamownych ze sprężyną zewnętrzną [5] Tabela 6

Materiał	Rozmiar gwintu	Twardość [HV]		Klasa własności mechanicznych	
		min.	max.	nakrętki normalne	nakrętki niskie
Stal automatowa	M5-M36	188	270	8	04
	M5-M36	192	291	10	05
Stal nierdzewna	M5-M36	-	-	A2-70	A2-035
	M27-M36	-	-	A4-80	A4-040

Znamienną cechą nakrętek tego typu jest sprężyna śrubowa umieszczona na kołnierzu zewnętrznym nakrętki. Podczas dokręcania nakrętki – dzięki specjalnym nacięciom na kołnierzu i odpowiedniej konstrukcji sprężyny – na zwojach śruby jest wytwarzany zacisk montażowy który uniemożliwia samoczynne odkręcenie się nakrętki. Nacięcia na kołnierzu oraz sprężyna zawinięta wokół kołnierza są tak zaprojektowane, aby średnica pod kołnierzem była odpowiednio mniejsza od średnicy wkręcanej śruby. Zasada działania nakrętki przedstawiona jest na rys. 2.13 – czerwoną linią zaznaczono odkształcenie kołnierza nakrętki podczas dokręcania śruby.



Rys. 2.13 Zasada działania nakrętki samohamownej ze sprężyną zewnętrzną: a) widok przed montażem śruby (z odgiętym kołnierzem) b) widok po montażu śruby (kołnierz „prostuje się” wytwarzając zacisk na śrubie)

Warunkiem koniecznym do spełnienia przy używaniu nakrętek tego typu jest konieczność stosowania śrub o odpowiednich klasach własności mechanicznych. Na rys. 2.14 przedstawiono schemat dopasowywania nakrętek do odpowiednich śrub.

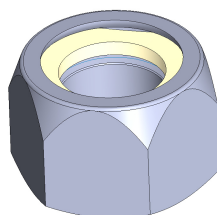
Klasa własności mechanicznej nakrętki		Klasa własności mechanicznej śruby
8, 04		8,8
10, 05		10,9
A2, A4		A2, A4 70/80

Rys. 2.14 Schemat kompletowania nakrętki ze śrubą

Bardzo ważne jest aby stosować śruby o klasie mechanicznej wyższej od klasy mechanicznej nakrętki, ponieważ w innym przypadku może wystąpić uszkodzenie mechaniczne śruby lub zanik napięcia nakrętki na śrubie. Przy zachowaniu odpowiednich warunków, nakrętki tego typu mogą być stosowane wielokrotnie.

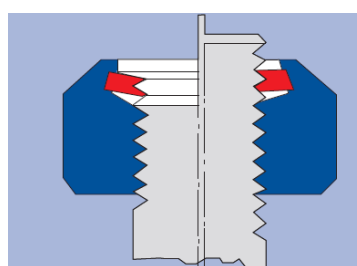
### 2.3.5 Nakrętka samohamowna ze sprężyną talerzową

Innowacyjność nakrętek tego typu polega na zastosowaniu stalowego elementu sprężynującego (sprężyny talerzowej) umiejscowionego wewnątrz nakrętki i stanowiącego blokadę dla samoczynnego odkręcania się nakrętki. Budowę nakrętki pokazano na rys. 2.15.



Rys. 2.15 Nakrętka samohamowna ze sprężyną talerzową

Zasada działania nakrętki została pokazana na rys. 2.16. Stalowy element zabezpieczający (sprężyna talerzowa) wstępnie wygięty w kierunku przeciwnym do kierunku wkręcania śruby (działając w kierunku promieniowym i osiowym) wywiera siłę zacisku na nakrętkę na którą działają naprężenia na całym jej obwodzie. Powoduje to przeniesienie siły zacisku na zwoje śruby i blokadę połączenia. Element sprężysty o przestawionym skoku i wyciętym znormalizowanym gwincie zapobiega uszkodzeniu współpracującego gwintu śruby, dzięki temu nakrętki tego typu mogą być stosowane wielokrotnie.



Rys. 2.16 Zasada działania nakrętki samohamownej ze sprężyną talerzową [6]

W celu zapewnienia odpowiedniej siły zacisku, tym samym zapewnienia samohamowności gwintu, konieczne jest zastosowanie odpowiedniego momentu dokręcenia. W tabeli nr 7 podano momenty dokręcenia dla wybranych rozmiarów gwintu. Należy jednak pamiętać, że podane momenty dokręcenia mają charakter orientacyjny, a konkretny moment dokręcenia zależy od wielu czynników i wymaga wykonania stosownych obliczeń.



Dobór momentu dokręcającego [kN] [6] Tabela 7

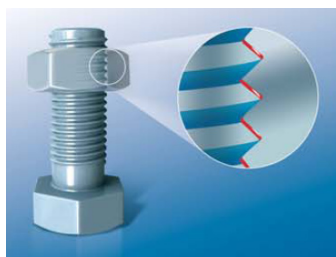
Rozmiar gwintu	Klasa wytrzymałości mechanicznej ( $\mu=0,12$ )			
	8	10	12	A2/A4-70
M5	6	9	10	4
M6	10	16	18	7
M8	25	38	45	17
M10	50	75	86	35
M12	86	128	150	55
M16	215	315	365	130
M20	430	605	705	235
M24	735	1040	1215	420
M30	1450	2060	2410	-
M36	2520	3570	4170	-

### 2.3.6 Środki do zabezpieczeń gwintów w płynie, sztyfcie

Samoodkręcanie się śrub jest wywołane przez każdy rodzaj dynamicznego obciążenia, takiego jak drgania czy zmiany temperatury. Niewystarczająca siła zaciskająca lub źle dopasowane elementy pozwalają na dodatkowe ruchy względne zwiększające ryzyko samoodkręcania. Obciążenia przemienne prowadzą do utraty zabezpieczenia spowodowanego tarcieniem, a nakrętka zaczyna się odkręcać ze śruby. W rezultacie wielu mikro ruchów połączenia gwintowe ostatecznie samo się luzuje [7].

Podczas gdy spadek naprężenia osiowego można ograniczyć jedynie poprzez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w częściach (np. zmiana proporcji długości do średnicy) lub poprzez stosowanie elementów elastycznych, samoodkręcanie się śrub można uniknąć jedynie stosując odpowiednie produkty zabezpieczające gwinty [7].

W celu zabezpieczenia połączenia śrubowego przed samoodkręceniem stosuje się środki całkowicie wypełniające przestrzeń pomiędzy współpracującymi gwintami nakrętki i śruby. W skutek braku dostępu powietrza i w kontakcie z metalem produkty te utwardzają się tworząc trwałe połączenie. Wówczas jakikolwiek ruch w gwincie jest zablokowany (rys. 2.17).



Rys. 2.17 Zasada działania środka zabezpieczającego gwint przed samoodkręceniem [7]

Przy wyborze typu środka zabezpieczającego należy wstępnie ustalić jaką wartość wytrzymałości mają spełniać:

- niska wytrzymałość – elementy łatwo demontowalne
- średnia wytrzymałość – demontaż przy użyciu standardowych narzędzi
- wysoka wytrzymałość – może być konieczne użycie nagrzewania punktowego.

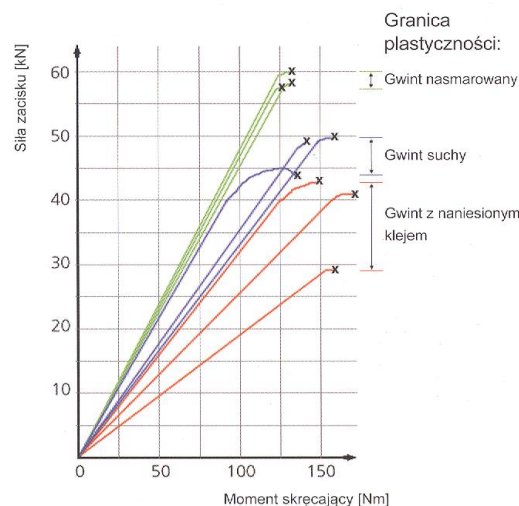
Produkty tego typu stanowią alternatywę dla tradycyjnych metod zabezpieczania połączeń gwintowych tj. [7]:

- elementy mechaniczne, np. podkładki odginane, zawlecзки: Stosowane tylko po to, aby zapobiegać wypadaniu śrub i nakrętek
- elementy zwiększające tarcie: dodawane, aby zwiększyć elastyczność połączenia i/lub zwiększyć tarcie: nie gwarantują permanentnego zabezpieczenia połączeń gwintowych przed działaniem sił dynamicznych
- elementy zabezpieczające, jak śruby z kołnierzem zębatym lub żebrowym, nakrętki i podkładki: zapobiegają samoodkręcaniu się, ale są kosztowne i zajmują więcej miejsca pod kołnierz oraz mogą uszkadzać powierzchnie.

Przy stosowaniu środków tego typu należy pamiętać że odpowiednie przygotowanie powierzchni łączonych (oczyszczenie, odtłuszczenie) jest czynnikiem stanowiącym o niezawodności połączenia. Dlatego też ważne jest, aby umiejętnie dobrać środki przygotowujące. Należy również pamiętać o różnorodności materiałów, a tym samym o strukturze spoiwa: dla niektórych materiałów wymagany jest dłuższy czas stygnięcia czy też stosowanie aktywatorów przyspieszających proces spajania.

### 2.4. Smarowanie gwintów

Podczas dokręcania w śrubach powstają zarówno naprężenia rozciągające jak i skręcające. Naprężenia rozciągające są efektem osiowego wydłużania się śruby. Naprężenia skręcające powstają w wyniku tarcia na współpracujących ze sobą powierzchniach gwintu i otworu gwintowanego co powoduje niepożądane skręcanie się śruby. Wzrost naprężeń skręcających grozi utratą plastyczności śruby zanim osiągnięta zostanie pożądana siła zacisku. Na rys. 2.18 pokazano, na przykładzie śruby M12, wpływ powłok stosowanych na gwincie na siłę zacisku w zależności od danego momentu skręcającego.



Rys. 2.18 Przykładowy wykres zależności momentu skręcającego od siły zacisku dla śruby M12 (8.8) [4]



Z przedstawionego wykresu wynika, że największą wartość siły zacisku mają gwinty nasmarowane i w stosunku do gwintów suchych, posiadają relatywnie stałą wartość siły zacisku. W przypadku gwintów pokrytych klejem siła zacisku jest dwukrotnie mniejsza niż gwintów nasmarowanych oraz posiada szerokie spektrum wartości (od 30kN – 45kN).

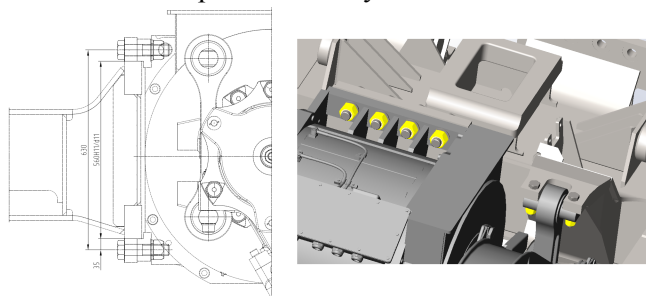
Z powyższego wynika, że stosowanie smaru pozwala na uzyskanie wysokiej i stałej wartości siły zacisku.

### 3. SPOSOBY POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH REALIZOWANE W UKŁADACH BIEGOWYCH

Ze względu na istnienie wielu rozwiązań konstrukcyjnych połączeń śrubowych w niniejszym rozdziale ograniczono się do przedstawienia przykładowych rozwiązań konstrukcyjnych montażowych połączeń śrubowych stosowanych w układach biegowych pojazdów szynowych.

#### 3.1. Układ napędowy

Mocowanie układu napędowego pokazano na przykładzie wózka 111E. Układ napędowy stanowią silnik trakcyjny oraz przekładnia mechaniczna. Sposób mocowania pokazano na rys. 3.1.

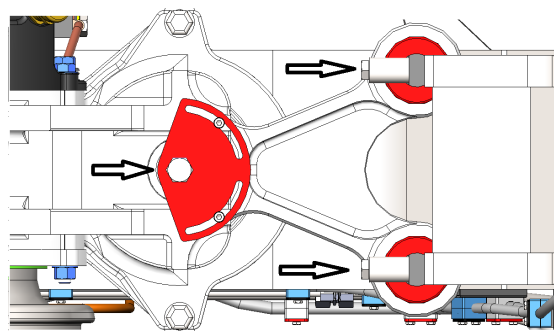


Rys. 3.1 Przykład mocowania układu napędowego

Osadzona na osi zestawu kołowego przekładnia mechaniczna podwieszana jest do ramy wózka poprzez przykręcone na dwie śruby M24, ciężło. Połączenie jest zabezpieczone przed odkręceniem dwiema nakrętkami ze sprężyną talerzową. Silnik trakcyjny przykręcany jest do ramy wózka 8 śrubami M36 zabezpieczonymi nakrętkami ze sprężyną talerzową. Ze względu na charakter pracy oraz masę silnika trakcyjnego, zastosowano dodatkowo pasowane połączenie kształtowe korpusu silnika z odpowiednimi wspornikami na ramie wózka (H11/d11). Ze względu na wielkość śrub i zastosowanie nakrętek zabezpieczających konieczne było zastosowanie wysokiego momentu dokręcenia ( $M_d=500Nm$ ).

#### 3.2. Prowadzenie zestawu kołowego

Prowadzenie zestawu kołowego wózka 111E jest realizowane za pomocą prowadnika trójramiennego składającego się ze stalowego ramienia oraz trzech przegubów. Mocowanie prowadnika pokazano na rys. 3.2.

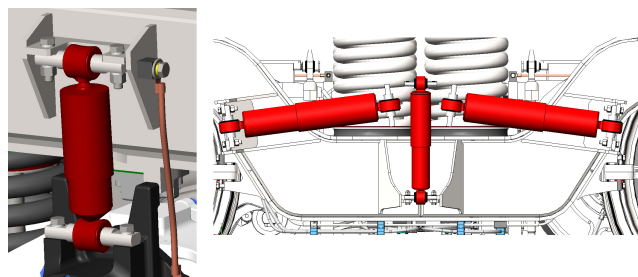


Rys. 3.2 Mocowania prowadnika trójramiennego

Z jednej strony prowadnik przymocowany jest za pomocą śruby M24 do korpusu maźnicy i zabezpieczony specjalną podkładką umożliwiającą ruch w określonym zakresie. Z drugiej strony przykręcony jest czterema śrubami M16 przykręconymi do ramy wózka. Ze względu na charakter pracy prowadnika i duże siły występujące w połączeniach śrubowych, konieczne było zastosowanie tulei dystansowych zwiększających sztywność roboczą śruby.

#### 3.3. Mocowanie tłumików drgań

W zależności od przeznaczenia pojazdu stosuje się tłumienie drgań: pierwszego, drugiego stopnia, pionowe, poziome, wężykowania. Niezależnie od charakteru pracy tłumika istotne jest, aby jego montaż umożliwił jego prawidłowe funkcjonowanie. Na rys. 3.3 pokazano przykładowe mocowania tłumików.



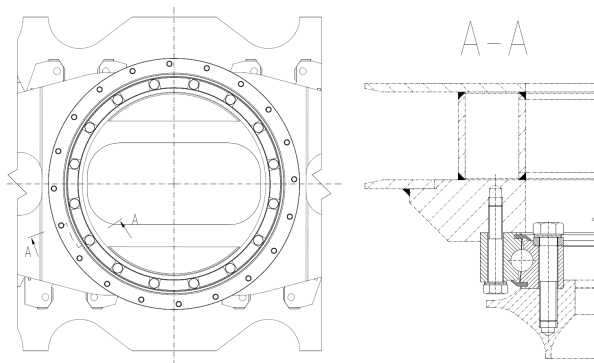
Rys. 3.3 Mocowania prowadnika trójramiennego

Tłumiki wężykowania w pierwszym stopniu umieszczone są między korpusem maźnicy a ramą wózka. W rozwiązaniu tym zastosowano podkładki klinujące przy czym dla połączeń w których występuje otwór przelotowy, konieczne jest stosowanie podkładek z dwóch stron: od strony nakrętki jak i śruby. Dla takiego rozwiązania istotne jest, aby zapewnić odpowiedni moment dokręcający powodujący „zacięcie” się pary podkładek.

#### 3.4. Mocowanie łożyska wielkogabarytowego

Łożysko wielkogabarytowe umieszczone jest między nadwoziem a układem biegowym pojazdu (rys. 3.4). Mocowanie łożyska odbywa się przy użyciu 16 śrub M20 (łączyjących łożysko z podwoziem pojazdu)

oraz 20 śrub M16 (łączyjących łożysko z nadwoziem pojazdu). Ze względu na dużą ilość łączników, przy montażu łożyska konieczne jest użycie adapterów umożliwiających odpowiednie „spasowanie” łączonych powierzchni. Ze względu na charakter pracy łożyska konieczne było zastosowanie zabezpieczenia przed odkręceniem. Do tego celu użyto podkładek klinujących.



Rys. 3.4 Mocowania łożyska wielkogabarytowego

Zgodnie z zaleceniami producenta łożyska ze względu na oczekiwaną długą żywotność i wysoką niezawodność należy:

- przeprowadzać regularne dokręcanie wszystkich śrub mocujących w ustalonych odstępach czasowych lub co określoną ilość godzin pracy
- stosować nowe śruby mocujące w przypadku wymiany łożysk
- w przypadku jeżeli dopuszczalne naciski powierzchniowe są przekroczone i klasa użytych śrub jest większa niż 10.9 muszą być używane ulepszone podkładki zarówno pod łby śrub jak i pod nakrętki
- dla śrub klasy 12.9 zawsze używać odpowiednich podkładek.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Połączenia śrubowe są jednym z najczęściej stosowanych typów nietrwałego łączenia elementów. W wielu przypadkach stanowią bardzo ważny element składowy całości od sprawności którego zależy prawidłowe funkcjonowanie urządzenia/maszyny w którym zostały użyte. Dlatego też ważne jest, aby na etapie projektowania prawidłowo ocenić charakter pracy złącza oraz możliwe działania niepożądane.

W układach bieżowych pojazdów szynowych większość komponentów montowana jest do ustroju nośnego za pomocą połączeń śrubowych. W wielu przypadkach są to elementy o dużej masie (układ napędowy, tarcza hamulcowa) podlegające częstym drganiom i wibracjom. Dlatego też istotne jest, aby zapewnić bezpieczne i niezawodne mocowanie odpowiadające wymaganiom ze względu na charakter pracy złącza.

Ze względu na specyfikę układów bieżowych i złożone warunki pracy, należy zapewnić niezawodną i

bezobsługową pracę wszystkich złączy śrubowych. W wielu przypadkach, w celu rewizji i podczas normalnej eksploatacji układu bieżowego, dostęp do złącza śrubowego jest niemożliwy bądź utrudniony ze względu na umiejscowienie pod pojazdem. Dlatego też ważne jest aby zabezpieczenie złącza przed odkręceniem miało charakter możliwie trwały. Dla prawidłowej eksploatacji pojazdu istotne jest, aby stosować części złączne zgodnie z zaleceniami konstruktora oraz producenta i to zarówno na prototypie jak i podczas późniejszej eksploatacji bo tylko od tego będzie zależała niezawodność pojazdu.

#### 5. LITERATURA

- [1] Biegus A., *Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodu 3. Część 4 – Połączenia śrubowe. Materiały dydaktyczne.* Wrocław 2010
- [2] *Poradnik mechanika* Wydawnictwo REA, Warszawa 2008
- [3] Rozynek, T., Janiszewski. *Zb.: Warunki techniczne i zasady zabezpieczania połączeń śrubowych w taborze kolejowym (w wagonach towarowych i pojazdach trakcyjnych) U-109 BK-02.* Biuro Konstrukcyjno – Technologiczne. PKP CARGO S.A. Poznań wrzesień 2007
- [4] *materiały reklamowe firmy NORD-LOCK*
- [5] *materiały reklamowe firmy GALLY*
- [6] *materiały reklamowe firmy FLAIG&HOMMEL*
- [7] *materiały reklamowe firmy LOCTITE*
- [8] *DIN 65151 Aerospace; dynamic testing of the locking characteristics of fasteners under transverse loading conditions (vibration test)*
- [9] *DIN 985 Textile floor coverings - Castor chair test; German version EN 985:2001*
- [10] *ISO 10511 Nakrętki sześciokątne samozabezpieczające z wkładką niemetalową, niskie*
- [11] *PN 82175 Nakrętki sześciokątne samozabezpieczające z wkładką poliamidową*
- [12] *PN-EN 26157-1 Części złączne -- Nieciągłości powierzchni- Śruby, wkręty i śruby dwustronne ogólnego stosowania*
- [13] *PN ISO 965-2 Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia -- Tolerancje -- Część 2: Wymiary graniczne gwintów zewnętrznych i wewnętrznych ogólnego przeznaczenia -- Klasa średniokładna*
- [14] *PN-EN ISO 4753 Części złączne -- Zakończenia części z zewnętrznym gwintem metrycznym ISO*