

**NAFTOSERWIS Sp. z o. o.**

**STOSOWANY I PROPONOWANY  
SYSTEM KOTWIĄCY  
W  
URZĄDZENIACH PRZECIWUPADKOWYCH  
DLA PRACY NA WYSOKOŚCI**

**Warszawa 2009 r.**

## Spis treści.

1. Opis rozwiązań zabezpieczeń pracownika str. 3  
Pracującego na wysokości zawierających linę stalową jako element kotwiący.
2. Opis rozwiązania zabezpieczenia ze sztywną str. 9  
szyną-prowadnicą jako elementem kotwiącym dla pracownika pracującego na wysokości.
3. Porównanie obu rozwiązań w zakresie skuteczności str. 10  
ich działania.
4. Porównanie obu systemów zabezpieczających str. 16  
przed upadkiem z wysokości

## 1. Opis rozwiązań zabezpieczeń pracownika pracującego na wysokości zawierających linę stalową jako element kotwiący.

Dotychczas stosowane zabezpieczenia przed upadkiem pracującego na wysokości pracownika obsługującego cysterny samochodowe i kolejowe posiadają jako element kotwiący dla indywidualnego jego osprzętu rozciągniętą i napiętą stalową linę.

Napinanie liny nośnej może być zrealizowane dwoma sposobami opisanymi poniżej:

- przy użyciu obciążników rys. 1.
- napinaczem mechanicznym rys. 2.

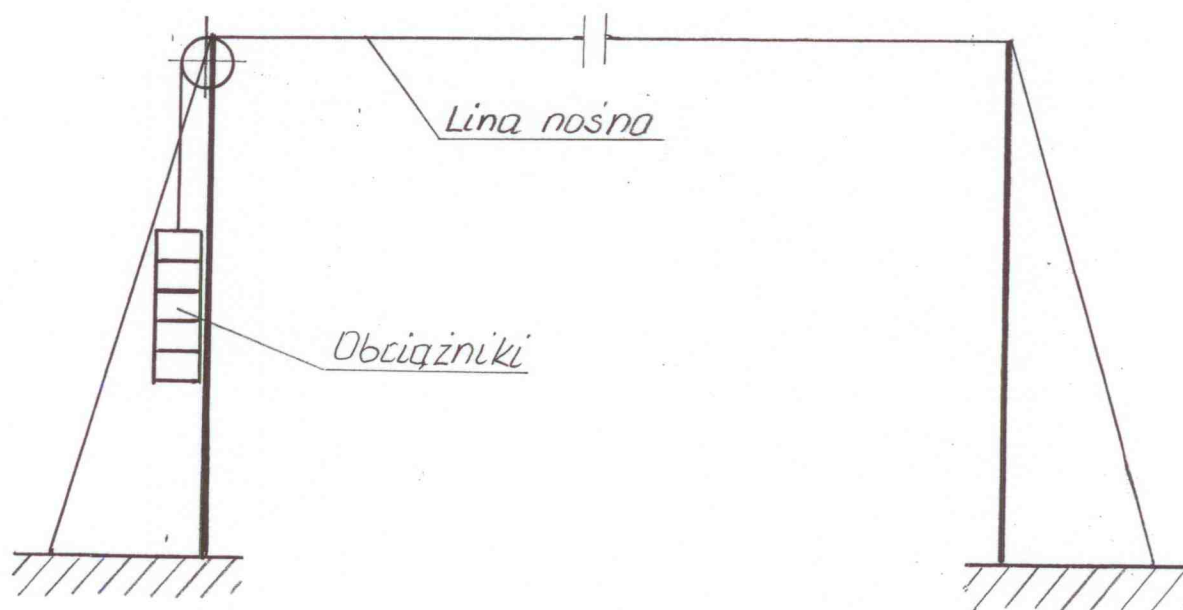
Wersja z napinaniem obciążnikami przedstawiona na rys. 1 nie wymaga regulacji długości liny, która zmienia się wraz ze zmianą temperatury otoczenia.

Wersja z napinaczem mechanicznym przedstawiona na rys. 2 posiada też amortyzator i wymaga dokonywania regulacji długości liny w zależności od pory roku w celu zabezpieczenia jego przed zniszczeniem podczas skracania się liny przy spadku temperatury oraz skasowania jej nadmiernego wydłużenia przy wzroście temperatury otoczenia.

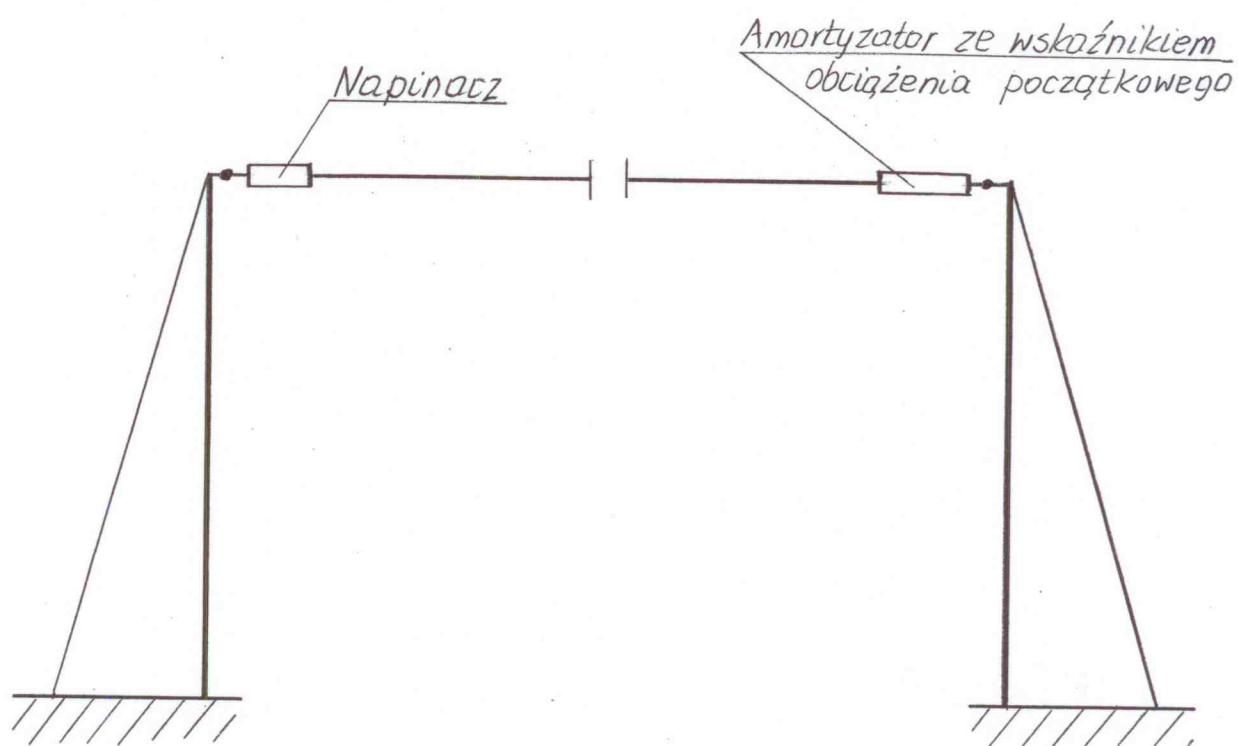
Wielokrotne regulacje długości liny mają na celu zachowanie w czasie roku w miarę stałej wielkości jej napięcia i zapewnienia minimalnej zmienności charakterystyki urządzenia w tym okresie.

Rozpatrując rozwiązanie z rys. 1 przedstawione na rys. 3 uwzględniające obciążenie  $Q$  pochodzące od upadającego pracownika ( $\sim 100$  kg) można określić dla tego rozwiązania zależności między ugięciem liny  $h$ , siłą  $Q$  oraz obciążeniem napinającym  $P$  w stanie równowagi po wystąpieniu upadku pracownika.

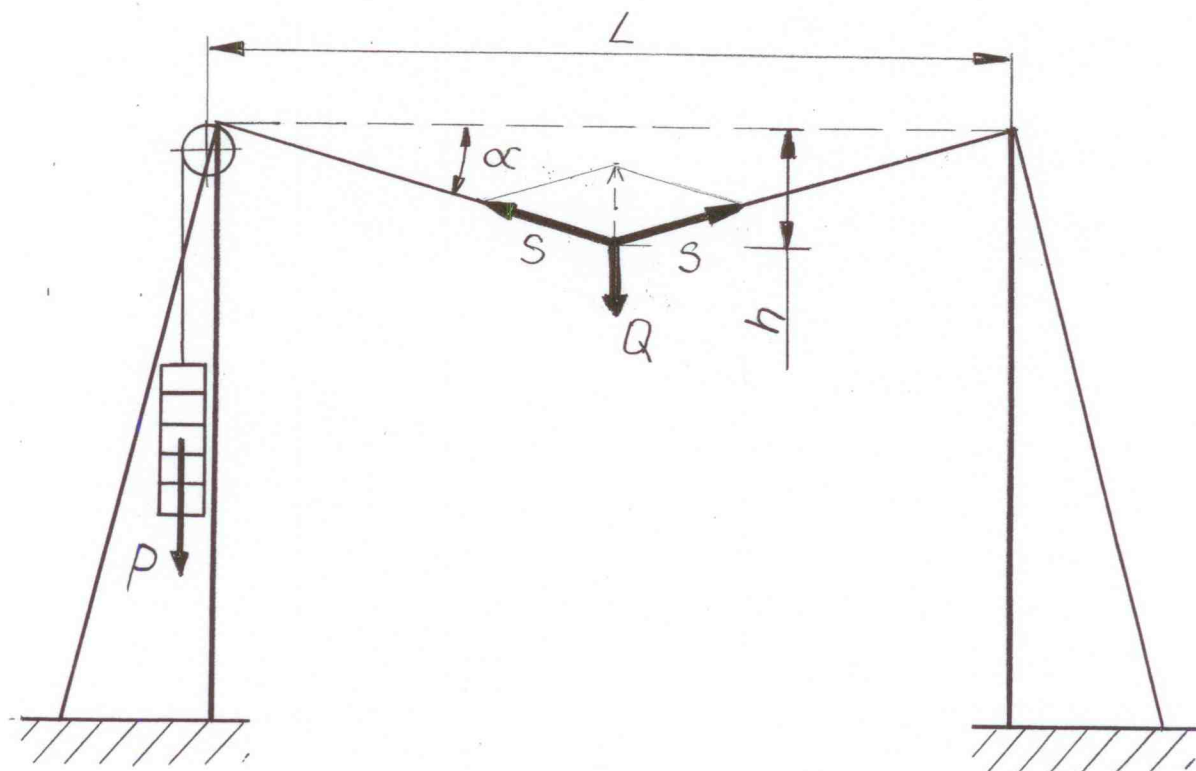
Ze wzoru wynika, że ugięcie liny rośnie wraz ze wzrostem jej długości  $L$  oraz maleje przy wzroście masy obciążników  $P$ .



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

Zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami zostały podane poniżej.

$$0,5 Q / S = \sin \alpha \rightarrow S = Q / 2 \sin \alpha$$

$$S = P \rightarrow P = Q / 2 \sin \alpha \rightarrow 2 \sin \alpha = Q / P$$

$$\sin \alpha = 0,5 Q / P \rightarrow \alpha = \arcsin 0,5 Q / P$$

Dla małych wartości kąta  $\alpha$  przyjmuje się, że  $\tan \alpha = \sin \alpha$ .

$$\tan \alpha = h / 0,5 L \rightarrow h = 0,5 L \tan \alpha = 0,5 L \sin \alpha = Q / 4 P$$

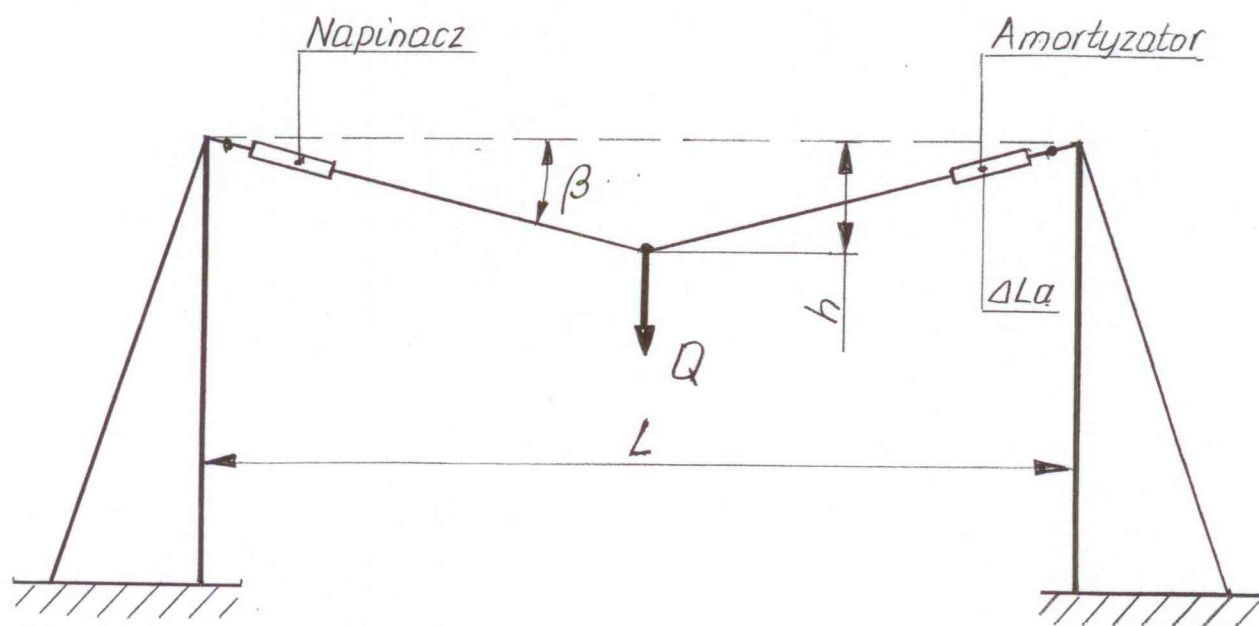
Dla  $Q = 100 \text{ kg}$

$$h = 25 L / P$$

Ze wzoru wynika, że ugięcie  $h$  rośnie wraz ze wzrostem długości liny nośnej  $L$  i maleje przy wzroście masy obciążników  $P$ .



W przypadku rozwiązania z rys. 2 układ z uwzględnieniem obciążenia  $Q$  pochodzącego od upadku pracownika w stanie równowagi przedstawiony jest na rys. 4.



Napięcie regulowane  $S$  w zakresie  $0,6 \div 2$  kN

Rys. 4.

W powyższym przypadku amortyzator ma za zadanie zamortyzować upadek pracownika poprzez stopniowe zwiększenie długości odcinka liny o wielkość  $\Delta L_a$ . Lina wstępnie napięta i pod wpływem dodatkowego obciążenia pochodzącego od upadku wydłuży się o  $\Delta L_s$ , zaś całkowite jej wydłużenie  $\Delta L$  określone jest poniższym wzorem:

$$\Delta L = \Delta L_a + \Delta L_s$$

Całkowita długość liny  $L_c$  po upadku pracownika wyniesie

$$L_c = L + \Delta L = L + \Delta L_a + \Delta L_s$$

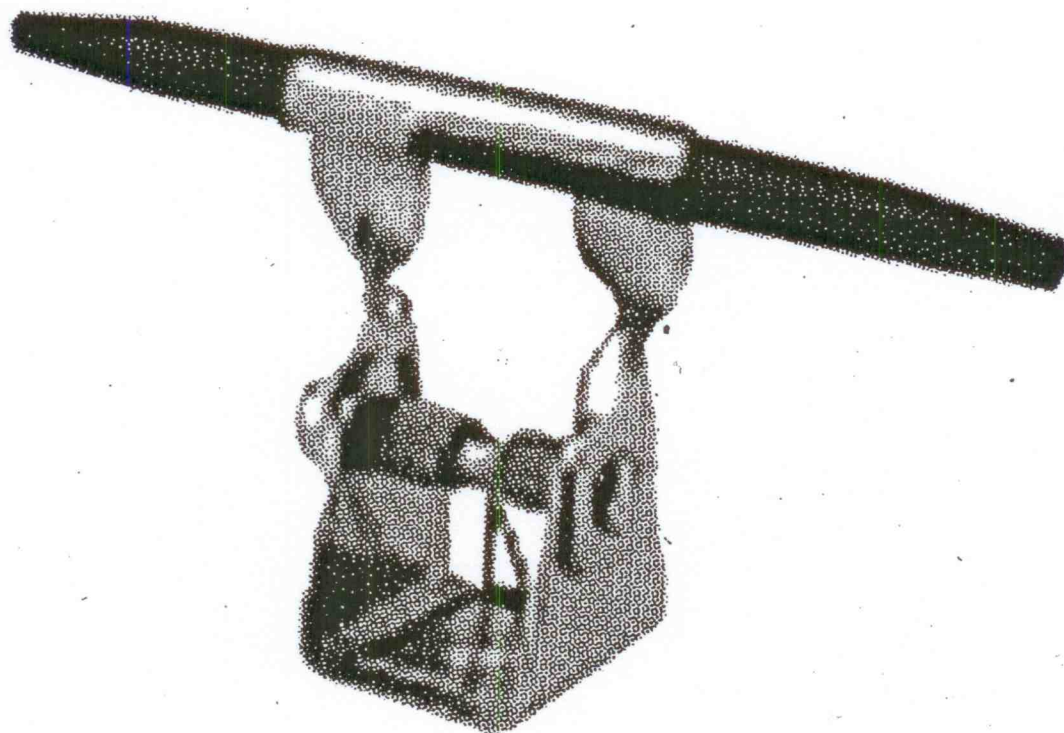
Kąt ugięcia liny  $\beta$  oraz opuszczenie się pracownika w pionie określone  $h$  wyniosą

$$\cos \beta = L / L_c = L / L + \Delta L_a + \Delta L_s$$

$$h = \sqrt{(0,5 L_c)^2 - (0,5 L)^2} = 0,5 \sqrt{(L + \Delta L_a + \Delta L_s)^2 + L^2}$$

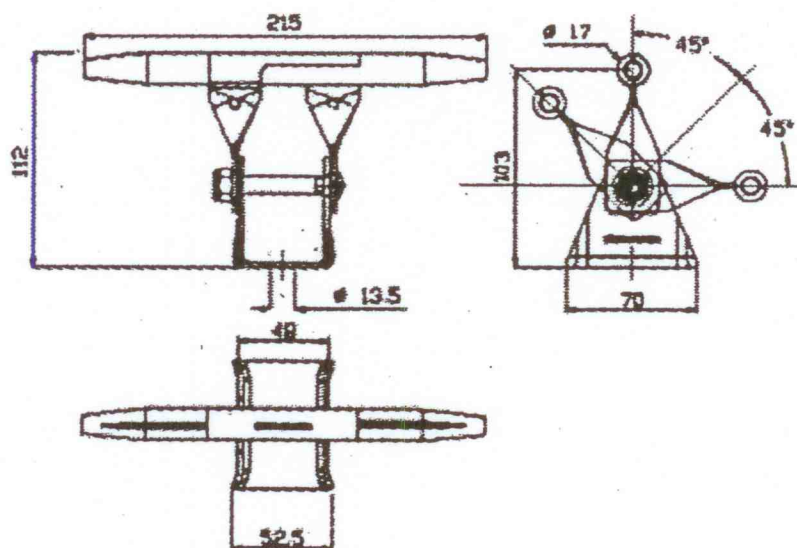
Ze wzorów wynika, że na wielkość opadania pracownika podczas upadku ma wpływ wielkość wydłużenia amortyzatora oraz wydłużenie liny, które wynika z pojawienia się w linie dodatkowych sił wywołanych upadkiem pracownika.

Firmy produkujące systemy zabezpieczeń dla pracowników pracujących na wysokości zalecają, żeby długi odcinek liny nośnej-kotwiącej pomiędzy skrajnymi podporami podzielić na odcinki mniejsze niż 20 metrów stosując pomiędzy tymi podporami dodatkowe punkty podwieszenia liny określane jako mocowanie pośrednie pozwalające na przemieszczanie się po linie wózka. Mocowanie to w przypadku jego uszkodzenia można łatwo wymienić bez rozcinania liny. Rys. 5 przedstawia podwieszenie w widoku.



Rys. 5.

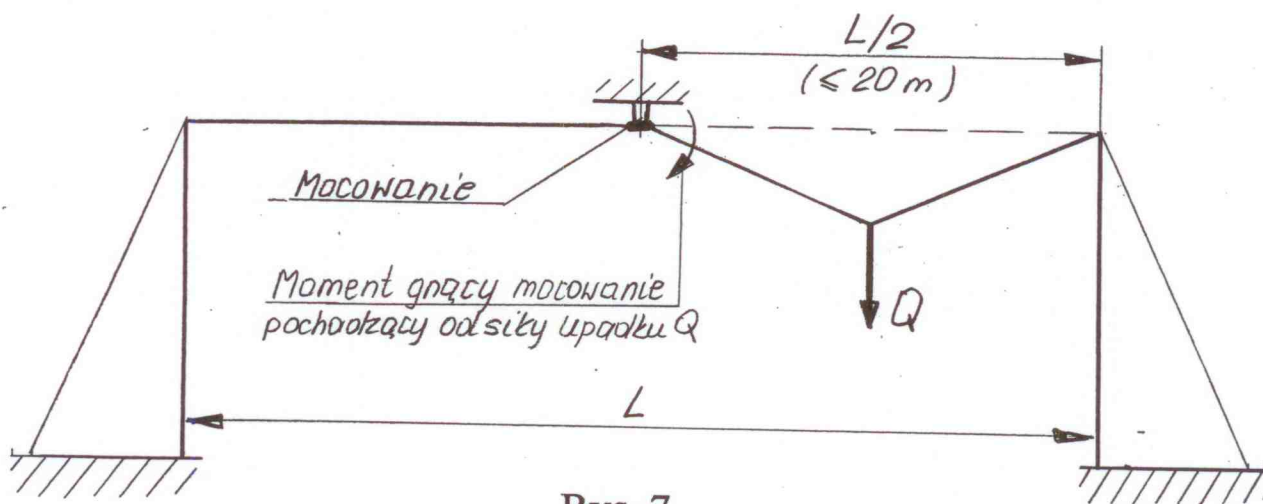
Rys. 6 przedstawia podwieszenie w rzutach wraz z wymiarami.



Rys. 6.

Konstrukcja mocowania zezwala na odchylanie po promieniu osi liny w płaszczyźnie prostopadłej do jej osi, a zainstalowane w nim sprężyny pozwalają na powrót liny do położenia neutralnego-początkowego.

Natomiast w przypadku deformacji liny w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś symetrii podpory i oś liny tak jak pokazane jest na rys. 7 mogą wystąpić znaczne i trwałe deformacje mocowania uniemożliwiające jego współpracę z zawiesiem przesuwным lub tocznym i wymagające jego wymiany.



Rys. 7.

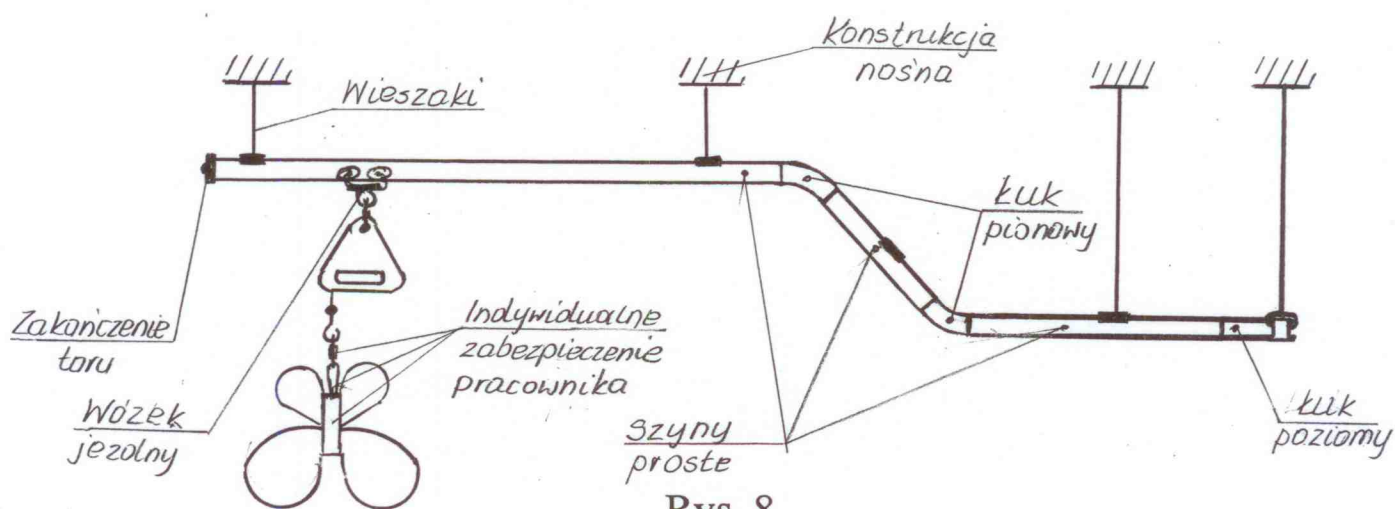


## 2. Opis rozwiązania zabezpieczenia ze sztywną szyną-prowadnicą jako elementem kotwiącym dla pracownika pracującego na wysokości.

Omawiana poniżej konstrukcja urządzenia zabezpieczającego przed upadkiem pracownika pracującego na wysokości opiera się na stosowaniu jako element kotwiący dla jego indywidualnego sprzętu sztywnej stalowej szyny-prowadnicy o określonym skrzynkowym kształcie w przekroju poprzecznym wykonanej ze stali nierdzewnej zamiast liny stalowej. Schematycznie konstrukcja zabezpieczenia pokazana jest na rys. 8.

Składa się ona z odcinków szyn-torów połączonych ze sobą łącznikami i podwieszonych punktowo do konstrukcji nośnej-wsporczej. Po torze wykonanym z szyn-prowadnic przemieszcza się tocznie wózek jezdny z umocowanym urządzeniem samohamownym, którego linka przy pomocy haka ze specjalnym zabezpieczeniem połączona jest zatrzaśnikiem gwintowanym z zaczepem szelek bezpieczeństwa pracownika. Szelki te są w wykonaniu antystatycznym.

Konstrukcja wykazuje bardzo dużą sztywność, kompensuje wydłużenie termiczne toru oraz pozwala na bardzo dużą swobodę przy kształtowaniu toru jezdny w płaszczyźnie poziomej i możliwość zmiany jego położenia w pionie czyli podnoszenia i opuszczania w zależności od potrzeb co zostało pokazane na rys. 8.

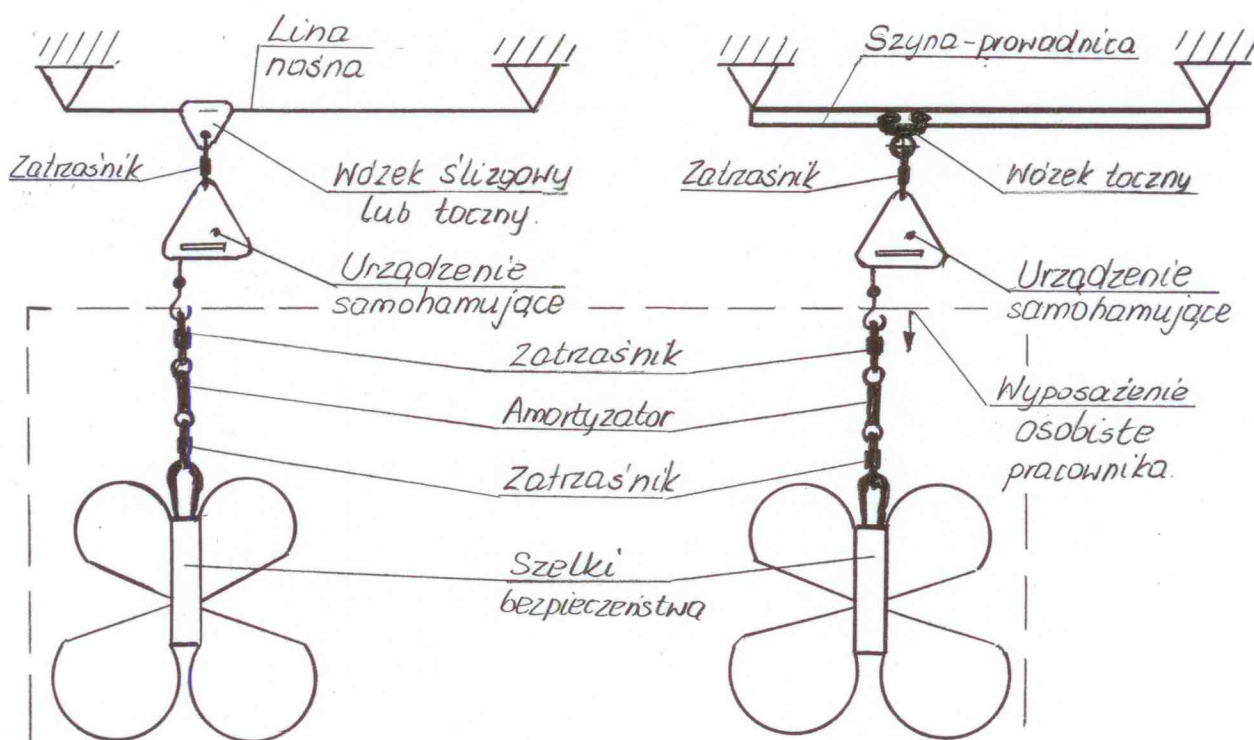


Rys. 8.

Opisane rozwiązania zabezpieczeń wymagają takich samych części składających się na indywidualne zabezpieczenie pracownika.

### 3. Porównanie obu rozwiązań w zakresie skuteczności ich działania.

Na rys. 9a i 9b przedstawione są schematycznie obie konstrukcje zabezpieczeń wraz z osobistymi zabezpieczeniami pracowników.



Rys. 9 a.

Rys. 9 b.

Obie porównywane konstrukcje zabezpieczenia przed upadkiem podczas pracy na wysokości na poniżej przedstawianych szkicach zostały ograniczone w przedstawieniu do obszaru w zakresie od konstrukcji nośnej do urządzenia samohamownego ze względu na identyczny skład indywidualnego czyli osobistego zabezpieczenia pracowników.

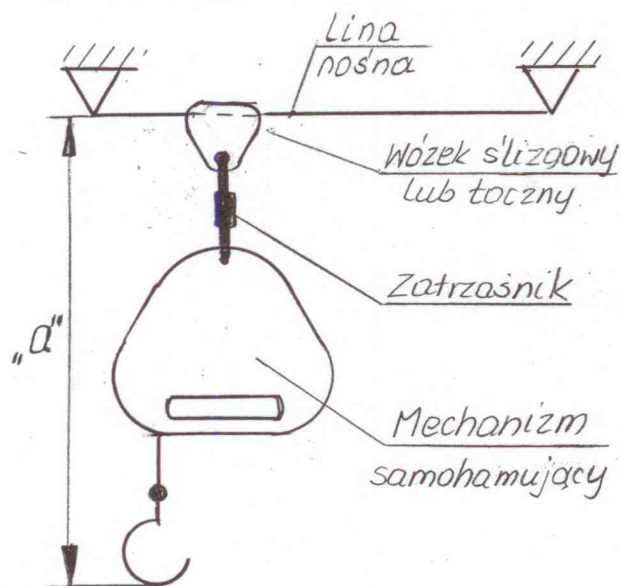
Przy porównywaniu działania obu konstrukcji opisywane są ruchy haków urządzeń samohamujących występujące podczas upadków pracowników w poszczególnych fazach.

Rysunki z literką „a” przedstawiają działanie urządzenia z elementem kotwiącym w postaci liny stalowej, natomiast z literką „b” urządzenia z elementem kotwiącym w postaci szyny-prowadnicy.

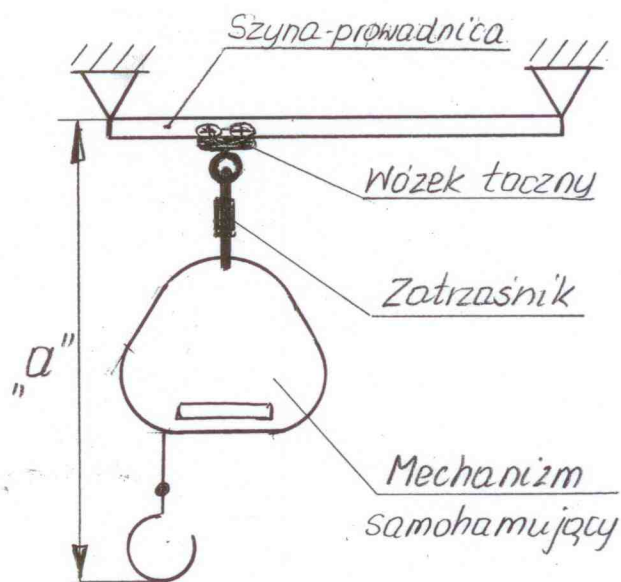
Każdy z dwóch rysunków o identycznych cyfrach w swych oznaczeniach, różniących się literkami opisuje tę samą fazę stanu obu konstrukcji tych urządzeń w czasie upadku pracownika.



Rys. 10a i 10b przedstawiają schematycznie stan obu konstrukcji przed upadkiem pracownika.

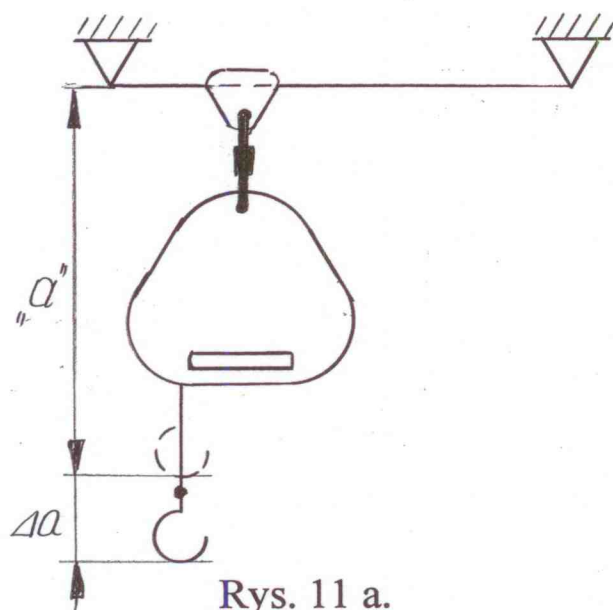


Rys. 10 a.

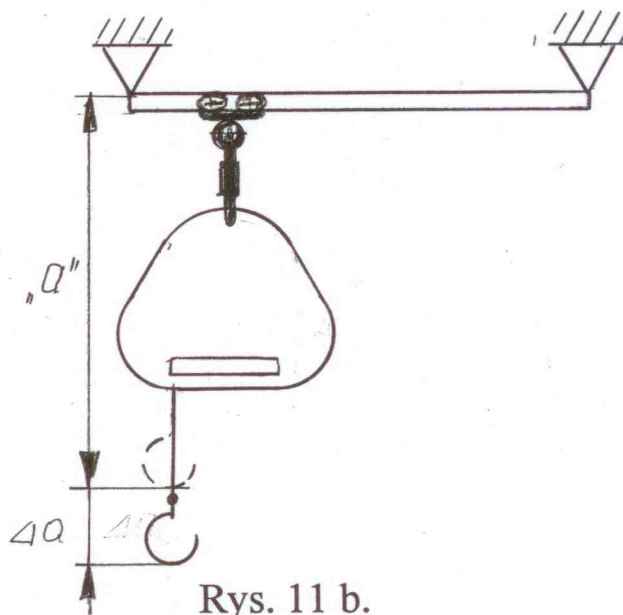


Rys. 10 b.

Na rys. 11a i 11b przedstawione są obie konstrukcje w fazie zadziałania mechanizmów samohamujących przy upadku pracowników i określających drogę potrzebną do zahamowania ruchu haka określaną wielkością  $\Delta a$ , odpowiadającą pierwszej składowej całkowitego opuszczenia się pracownika przy jego upadku.

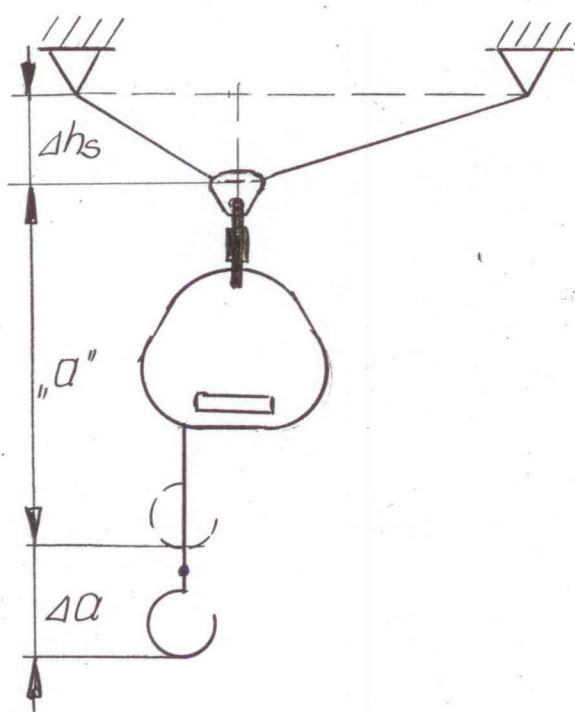


Rys. 11 a.

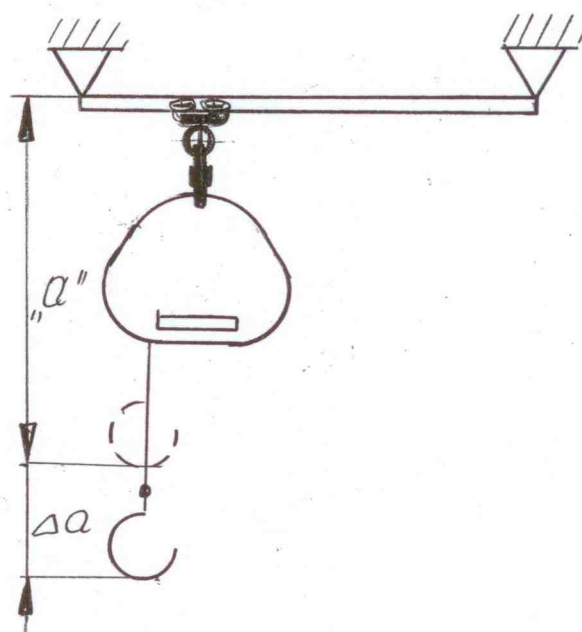


Rys. 11 b.

Na rys. 12 a i 12 b przedstawione są obie konstrukcje w następnej fazie uwzględniającej oprócz zadziałania mechanizmów samohamujących występujące w nich deformacje powstałe w wyniku pojawiającego się obciążenia pochodzącego od upadku pracownika, oznaczone  $\Delta h_s$ . Deformacje te występują tylko w konstrukcji zawierającej jako element kotwiący linę stalową zarówno w wersji z napinaniem obciążnikami jak i w wersji z amortyzatorem i mechanicznym regulatorem napięcia liny. Konstrukcja z szyną-prowadnicą jako elementem kotwiącym jest sztywna i nie pozwala na dodatkowe opuszczenie się w pionie haka urządzenia samohamownego czyli  $\Delta h_s = 0$ .



Rys. 12 a.



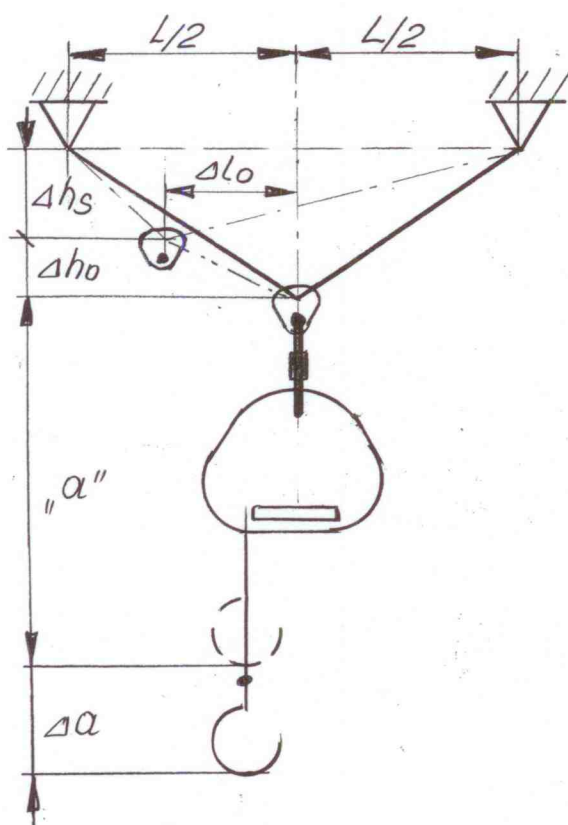
Rys. 12 b.

Na rys. 13 a i 13 b przedstawione są obie konstrukcje po wystąpieniu ich deformacji pochodzących od sił pojawiających się przy upadku pracownika z uwzględnieniem miejsca upadku, który najczęściej występuje asymetrycznie w stosunku do podpór elementów kotwiących. W przypadku konstrukcji z liną nośną nastąpi przemieszczenie się w poziomie oraz pionie haka wynikające z przemieszczenia wózka po linie do miejsca optymalnego położenia określanego jako położenie równowagi, którym jest punkt symetrycznie położony względem podpór liny nośnej.

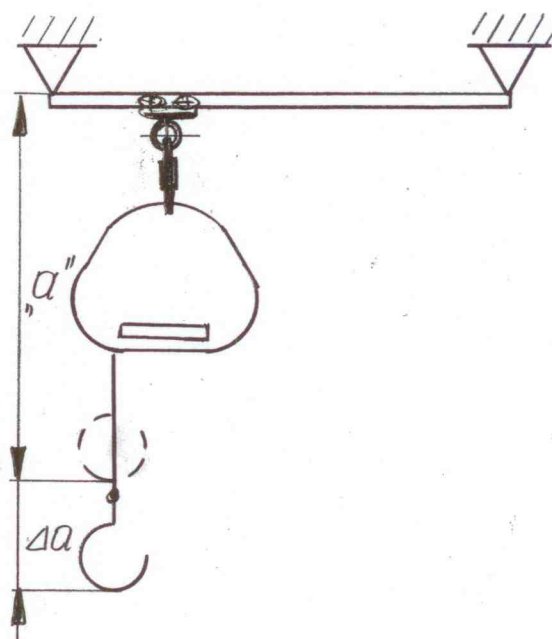


Takiego ruchu haka nie będzie przy upadku pracownika dla konstrukcji z szyną-prowadnicą ze względu na sztywność prowadnicy oraz sztywność konstrukcji nośnej-wsporczej tego rozwiązania.

Opisany powyżej ruch haka mechanizmu samohamującego do położenia optymalnego dla konstrukcji z liną nośną, po której porusza się ślizgowy wózek może trwać do momentu osiągnięcia przez niego symetrycznego położenia względem podpór lub ustać przed tym położeniem. Przypadek gdy wózek przekroczy punkt optymalnego położenia i ewentualnie zacznie powrót do niego jest mało prawdopodobny ze względu na znaczne siły tarcia występujące przy jego przesuwie po linie nośnej.

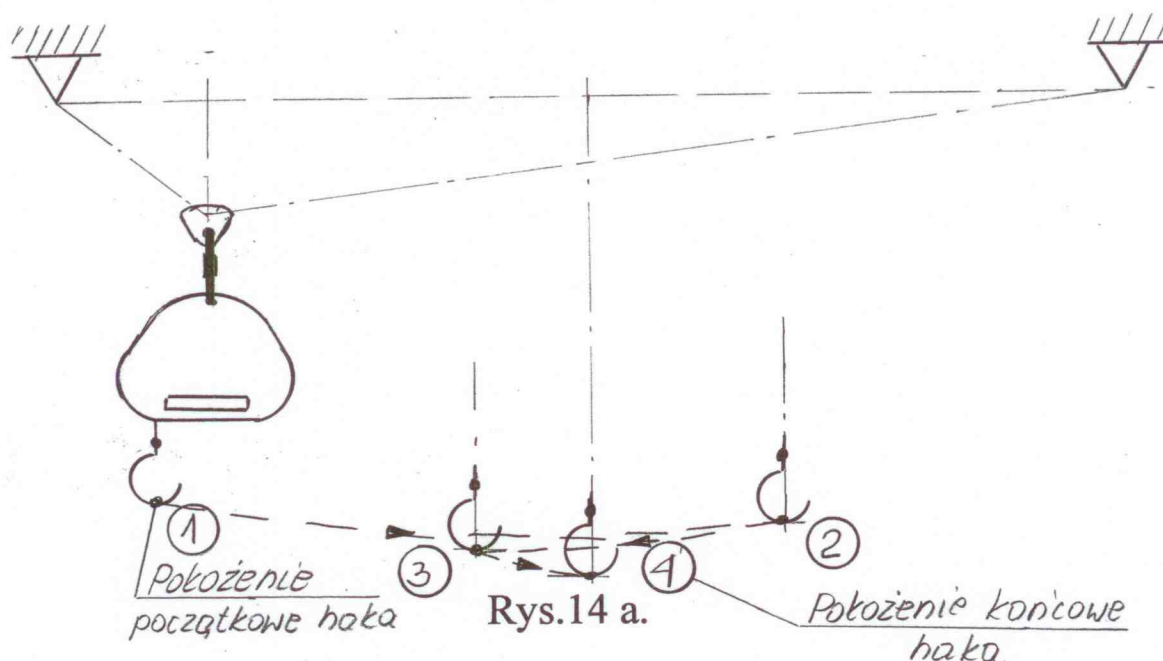


Rys. 13 a.



Rys. 13 b.

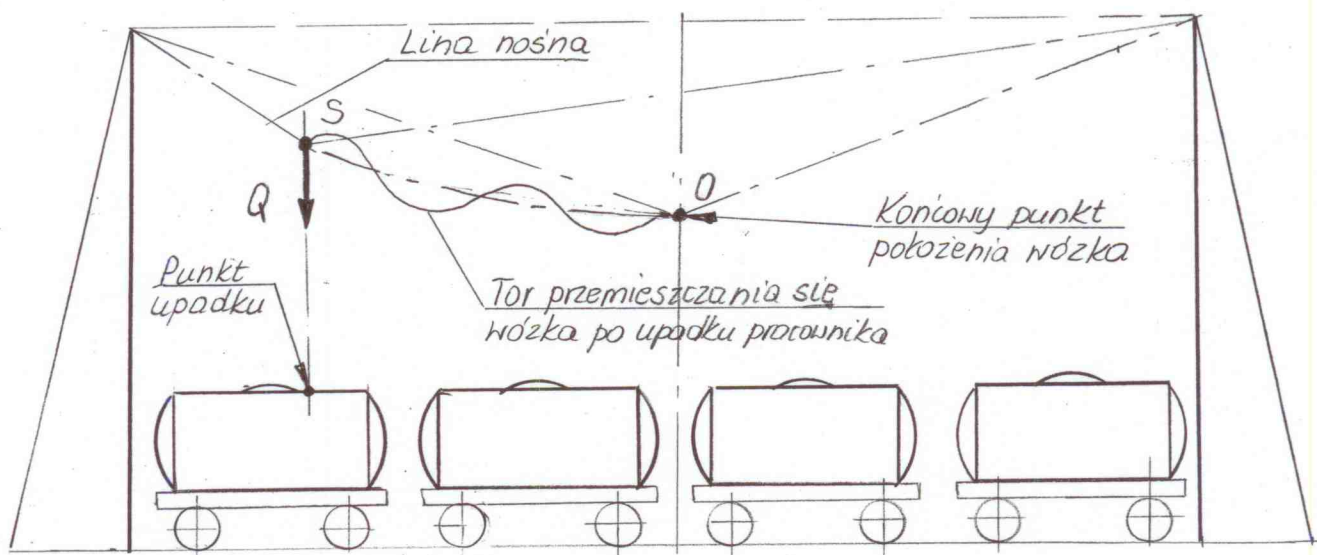
Natomiast w przypadku wózka tocznego ze względu na znacznie mniejsze opory jego przemieszczania się po linie może zaistnieć przypadek, że wózek podczas ruchu do położenia optymalnego przekroczy go z obu stron nawet kilkakrotnie zanim zatrzyma się w tym położeniu jak pokazane jest na rys. 14 a.



Oprócz opisanych wyżej ruchów haków mechanizmów samohamownych podczas upadków pracowników może też występować zanikający ruch oscylacyjny haków w pionowej płaszczyźnie przechodzącej przez oś liny, wynikający ze sprężystości układu napinającego linę nośną, ale tylko dla wersji pokazanej na rys. 15 a pokazującym front kolejowy.

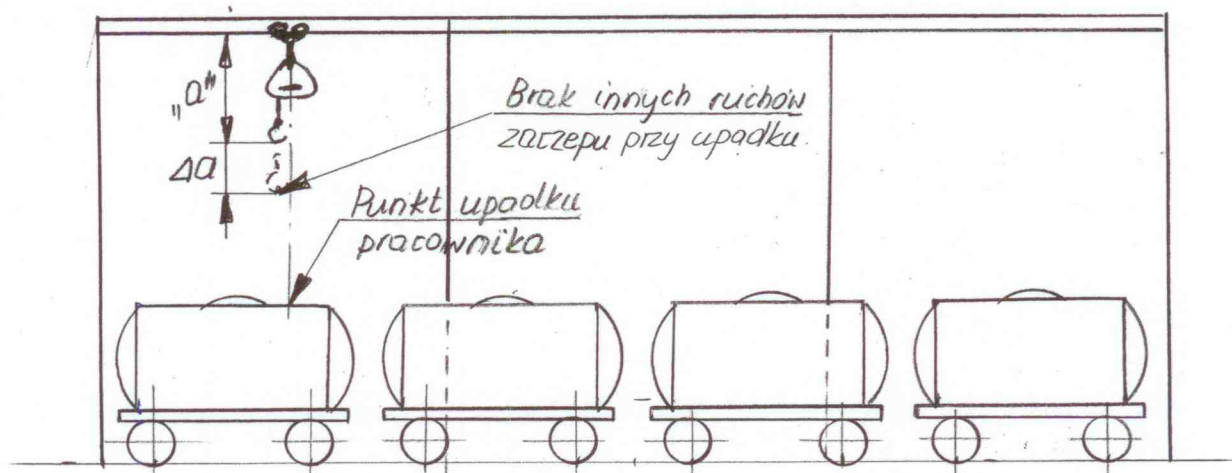
Na rys. 15a i 15b przedstawione zostały opisywane wcześniej wersje urządzeń zabezpieczających przed upadkiem pracownika pracującego na frontach kolejowych.

Rys. 15 a przedstawia front kolejowy z urządzeniem zabezpieczającym przed upadkiem zawierającym element kotwiący w postaci liny.





W przypadku, gdy upadek pracownika wystąpi w miejscu innym niż środek odcinka liny pomiędzy podporami to pracownik będzie się przemieszczał wzdłuż osi toru, aż do punktu określającego środek tego odcinka liny z jednoczesnym stopniowym opadaniem w dół. Podczas przemieszczania się pracownika wzdłuż liny nośnej wystąpi też jego zanikający, oscylacyjny ruch w pionie spowodowany sprężystością układu napinającego linę. W tym przypadku ruch oscylacyjny w pionie w momencie ruchu pracownika do góry w zależności od jego prędkości spadania i sprężystości układu napinającego linę nośną może doprowadzić nawet do kilkukrotnego odblokowania hamulca mechanizmu samohamownego co wywoła dodatkowe ruchy opadania pracownika. Dla urządzenia zabezpieczającego pracownika przed upadkiem pokazanego na rys. 15 a, w przy upadku pracownika oprócz ruchu w dół haka wynikającego z opóźnienia zadziałania hamulca występują inne ruchy haka określane jako dodatkowe, wynikające z ugięcia liny, przemieszczania wózka po linie do jej środka, zanikającego oscylacyjnego pionowego ruchu i ewentualnych pionowych ruchów wynikających z odblokowywania hamulca mechanizmu samohamującego. Wszystkie te dodatkowe ruchy przyczyniają się do powstawania urazów u pracownika podczas jego upadku.



Rys. 15 b.

Przedstawiona na rys. 15 b wersja urządzenia zabezpieczającego przed upadkiem pracownika zawierająca sztywną szynę-prowadnicę charakteryzuje się brakiem ruchów wózka jezdnego występujących w rozwiązaniu zawierającym linę nośną co pozwala na określenie go jako w pełni lub optymalnie bezpiecznym.

## **5. Porównanie skuteczności obu systemów zabezpieczających przed upadkiem z wysokości.**

Przedstawione powyżej dwa rozwiązania systemów zabezpieczających pracowników przed upadkiem bardzo różnią się w swojej budowie oraz skuteczności ochrony pracowników.

System zabezpieczający z elementem kotwiącym w postaci szyny-prowadnicy zapewnia większe bezpieczeństwo pracownikowi pracującemu na wysokości niż system zbudowany w oparciu o element kotwiący w postaci liny stalowej.

Powodem zwiększonego bezpieczeństwa pracownika jest to, że system z szyną-prowadnicą eliminuje wszystkie ruchy pracownika występujące podczas jego upadku skutkujące powstawaniem u niego obrażeń takich jak stłuczenia i złamania.

Ruchami powodującymi obrażenia u pracownika podczas jego upadku są:

- pionowe opadanie wynikające z deformacji liny od sił przy upadku
- pionowe i poziome przemieszczanie się do punktu równowagi
- pionowe oscylacyjne ruchy wywołane sprężystością układu liny nośnej
- dodatkowe ruchy opadania wywoływane odblokowywaniem hamulca.

Takie ruchy pracownika nie wystąpią w przypadku urządzenia zabezpieczającego zawierającego szynę-prowadnicę.