

Teoretyczne podstawy udarów wspinaczkowych

Marek Kujawiński

„Współczesny sprzęt wspinaczkowy jest tak mocny, że na pewno wytrzyma” - to coraz częściej wypowiedana i promowana przez wielu wspinaczy opinia, a przecież nie od dziś wiadomo, że: „powszechność jakiegoś poglądu nie jest, prawdę mówiąc, żadnym dowodem, nie daje nawet prawdopodobieństwa słuszności”. Wielu z nas jednak zadowala się takim uproszczonym ujęciem tematu. Paradoksalnie, ogólna wiedza na tematy mechaniczne wśród wspinaczy jest raczej nikła, a jej „powielaczowy” charakter może i powinien budzić niepokój.

Z mojej wieloletniej praktyki szkoleniowej wynika, że instruktorzy muszą często stawić czoło „kłopotliwym” pytaniom. Warto zatem sięgnąć głębiej, starając się poznać istotę zjawisk, aby w pełni świadomie o nich dyskutować. Spróbuję tutaj omówić, w znacznym uproszczeniu, zjawisko hamowania lotu wspinacza za pośrednictwem liny (udar wspinaczkowy) tak, aby i ci, dla których fizyka od zawsze była uosobieniem „piątego koła u wozu”, znaleźli „światelko w tunelu”. Mam nadzieję, że przedstawione zagadnienia skłonią do głębszej refleksji, pobudzą do dyskusji lub będą pomocne w pracy instruktorskiej.

1. Podstawowe pojęcia

Próbując opisać otaczające nas zjawiska fizyczne, często posługujemy się powszechnie znanymi terminami, których znaczenie jest nam obce lub nie do końca zrozumiałe albo używamy ich w niewłaściwym kontekście. Aby w przyszłości tego uniknąć wyjaśnimy znaczenie podstawowych terminów fizycznych, które są wykorzystywane do opisywania zjawiska powstrzymywania upadku wspinacza. W celu unifikacji wiedzy zachęcam również do zapoznania się z artykułem „*Sila uderzenia - prawdy i mity*” (zamieszczonym w Tatarniku 2/2009 i na stronie PZA w zakładce szkolenie/materiały techniczne), gdzie wyjaśniam zawiłości związane z pojęciami takimi jak: *sila graniczna* i *sila uderzenia*.

- **Udar wspinaczkowy (uderzenie)** to chwilowy proces, w którym dochodzi do gwałtownej zamiany energii kinetycznej spadającego wspinacza na energię potencjalną odkształcenia elementów układu hamującego. W efekcie przekazywania energii w układzie hamującym, zwanym łańcuchem asekuracyjnym, wyzwalamy się siły chwilowe o znacznej wartości, które są pochodnymi energii uderzenia. Siły powodują odkształcenia elementów tego układu

łącznie z ciałami wspinaczy, co może być niebezpieczne. Tej gwałtownej wymianie energii towarzyszy wydzielanie się znacznych ilości ciepła.

- **Energia** to wielkość fizyczna wyrażająca zdolność do wykonywania pracy.

Energia może występować pod postacią np.: energii mechanicznej, elektrycznej, cieplnej, jądrowej, chemicznej. Energia mechaniczna związana z ruchem ciała określana jest jako energia kinetyczna, natomiast ta związana z położeniem ciała fizycznego względem pewnego poziomu odniesienia zwana jest energią potencjalną. Jednostką miary ilości energii jest dżul [J].

- **Praca**, jest to proces, w którym występuje przekazywanie energii.

Związana jest z zamianą energii jednego rodzaju na inny jej rodzaj (np. praca siły grawitacji działającej na spadające ciało związana jest z zamianą energii potencjalnej tego ciała na jego energię kinetyczną). Jednostką, w jakiej wyraża się wykonaną pracę jest dżul [J].

- **Siła**, to wzajemne oddziaływanie na siebie ciał materialnych.

Może ona powodować wyprowadzenie ciała ze stanu spoczynku bądź też (w przypadku ruchu tego ciała) zmianę jego ruchu, może też spowodować jego odkształcenie. Siła jest wektorem, co oznacza, że posiada wartość, kierunek działania, zwrot oraz miejsce przyłożenia. Jednostką, w jakiej wyraża się siłę jest newton [N].

- **Siła uderzenia**, to reakcja liny na uderzenie wywołane upadającym ciałem wspinacza.

Siła uderzenia jest równa, co do wartości sile bezwładności ciała wspinacza, lecz przeciwnie do niej skierowana. Siła uderzenia jest odczuwana przez wspinacza jako nagłe „szarpnięcie” przez linę w trakcie hamowania lotu.

- **Nominalna siła uderzenia**, to maksymalna wartość siły uderzenia, jaką zarejestrowano w linie przy pierwszym udarze ciała o masie m , ze współczynnikiem odpadnięcia $n=1,78$, przy zachowaniu warunków zgodnych z normą EN-892.

Nominalna siła uderzenia jest parametrem charakterystycznym dla danej liny i jest zawsze podawana na „tabliczce znamionowej” liny. Nominalna siła uderzenia jest parametrem charakteryzującym pośrednio właściwości „dynamiczne” liny i mówi nam o tym, jak „łagodna” jest odpowiedź liny na udar ciałem spadającego wspinacza.

- **Siła graniczna**, to swoisty próg bezpieczeństwa, określony w normie dla danego typu lin, którego nie można przekroczyć podczas pierwszego udaru testowego, ze względu na wytrzymałość ciała ludzkiego.

Siła graniczna nie charakteryzuje w żadnym stopniu parametrów konkretnej liny! Jest to parametr charakteryzujący wytrzymałość organizmu człowieka na obciążenia udarowe.

- **Naprężenie**, to miara sił wewnętrznych powstających w ciele pod wpływem układu sił odkształcających je. W uproszczeniu można powiedzieć, że naprężanie określa obciążenie przypadające na jednostkę pola powierzchni przekroju ciała. Jednostką naprężenia jest *pascal* [Pa].
- **Odkształcenie**, to zmiana wymiarów lub kształtu ciała materialnego pod wpływem działania sił.
- **Współczynnik odpadnięcia**, to parametr wyrażający stosunek długości lotu wspinacza do długości liny pracującej w czasie hamowania lotu.

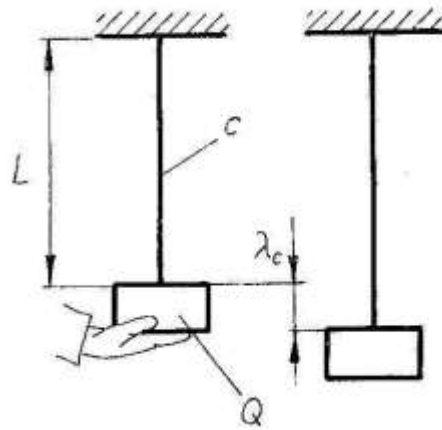
Parametr ten stanowi podstawę kwalifikacji udarów wspinaczkowych na ciężkie lub lekkie.

2. Obciążenie statyczne liny.

Zależnie od sposobu działania obciążeń możemy podzielić je na *obciążenia statyczne i dynamiczne*.

Na wstępie zajmiemy się obciążeniami statycznymi. Z tym przypadkiem obciążenia w linie mamy do czynienia wtedy, gdy siła wzajemnego oddziaływania w układzie „wspinacz – lina” nie zmienia się w czasie, względnie zmienia się bardzo powoli. Pod wpływem oddziaływania masy wspinacza i napięcia wewnętrznego w linie, układ „lina – wspinacz” znajduje się w stanie równowagi, co oznacza, że nie występują w nim przyspieszenia, ewentualnie są one tak małe, że można je pominąć. Innymi słowy siła w linie jest stała lub narasta bardzo powoli.

Na wstępie obciążymy linę siłą o wartości $Q = mg$ przyłożoną statycznie (rys.1). Załóżmy, że naprężenia w linie nie przekroczą granicy sprężystości materiału, co oznacza, że po ustaniu obciążenia lina powróci do swojej pierwotnej długości L .



Rys. 1

Na skutek statycznego oddziaływania ciała Q na linę jej odkształcenie λ_c jest proporcjonalne do przyłożonego obciążenia. Związek ten możemy zapisać w postaci:

$$\lambda_c = \frac{Q}{c} = \frac{QL}{EF} \quad [1]$$

gdzie:

$$c = \frac{EF}{L} = \frac{Q}{\lambda_c} \quad \text{wyraża sztywność liny.} \quad [2]$$

Występujący w tej zależności parametr E określany jako moduł sprężystości podłużnej Younga jest wielkością stałą, charakterystyczną dla danego materiału (w tym przypadku liny), a F jest sumaryczną powierzchnią przekroju poprzecznego włókien liny.

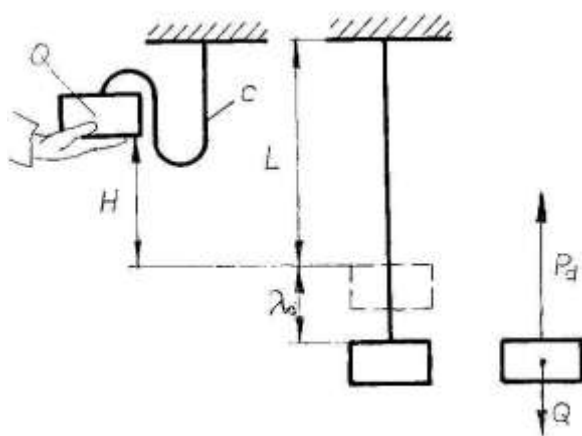
3. Obciążenie dynamiczne liny (uderzenie).

Przy uderzeniu zachodzi bardzo gwałtowna zamiana jednej postaci energii w drugą. Obciążenia wówczas występujące charakteryzują się szybkością i gwałtownością przy tym oddziaływania te mają charakter chwilowy. W szczególności zjawisko obciążenia dynamicznego w linie zachodzi w czasie hamowania odpadnięcia wspinacza (uderzenie podłużne), kiedy to szybkość lotu wspinacza ulega gwałtownej zmianie, na skutek oddziaływania liny, czego pożądaną konsekwencją jest zahamowanie lotu. Zadaniem systemu asekuracyjnego, a w szczególności liny, jest pochłonięcie większości energii kinetycznej ciała wspinacza powstałej w wyniku jego lotu. Najkorzystniej jest, gdy energia ta zostanie zamieniona na energię potencjalną odkształcenia liny i ciepło.

W czasie hamowania lotu, ciało wspinacza doznaje w wyniku oddziaływania liny bardzo znacznego przyspieszenia. Jego wartość jest najczęściej kilka (a w skrajnych przypadkach do kilkunastu) razy większa od przyspieszenia ziemskiego, co w sposób bezpośredni wpływa na wartość sił generujących się w układzie hamującym (asekuracyjnym). Ciało wspinacza oddziałuje na linę siłą bezwładności równą iloczynowi masy ciała i przyspieszenia, jakiemu jest ono poddane w czasie hamowania lotu. Odpowiedzią liny na uderzenie wspinacza jest powstanie w niej reakcji równej co do wartości sile bezwładności ciała Q , lecz przeciwnie do niej skierowanej. Nazwiemy ją dalej **siłą uderzenia**.

Siła bezwładności ciała Q wywołuje w linie naprężenie. Wartość tego naprężenia można wyznaczyć traktując siłę bezwładności jako obciążenie statyczne działające na linę. Na wstępie założymy, że nieodkształcalne ciało o ciężarze $Q=mg$, spada z wysokości H , a hamowanie jego upadku następuje za pośrednictwem odcinka sprężystej liny.

W rozważaniach pominiemy też masę odcinka liny, biorącego udział w hamowaniu lotu, przyjmując, że jest ona mała w stosunku do masy upadającego ciała wspinacza. Szczegóły tego zjawiska zilustrowano na rys. 2.



Rys. 2

Doświadczenia wskazują, że moduł sprężystości podłużnej Younga E nie zmienia swojej wartości również przy dynamicznym oddziaływaniu sił pod warunkiem, że zjawiska te przebiegają w granicach odkształceń sprężystych. Jeśli więc tylko naprężenia dynamiczne w linie nie przekraczają tej granicy, to odkształcenie λ_d liny jest proporcjonalne do reakcji układu hamującego w postaci siły bezwładności P_d . Postać wzoru będzie więc taka sama jak w [1], z tą tylko różnicą, że do liny zostanie przyłożona w tym przypadku siła bezwładności P_d ciała Q .

$$\lambda_d = \frac{P_d}{c} = \frac{P_d L}{EF} \quad [3]$$

Przy założeniu, że odkształceni podlega tylko lina, energia kinetyczna E_k spadającego ciała zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej zamieni się w całości na energię potencjalną związaną ze sprężystym odkształceniem liny U_d . Możemy, zatem napisać:

$$E_k = U_d \quad [4]$$

Ponieważ $E_k = \frac{1}{2}mV^2$ oraz $U_d = \frac{EF}{2L}\lambda_d^2$, to możemy zapisać:

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{EF}{2L}\lambda_d^2$$

Stąd:

$$\lambda_d = V \sqrt{\frac{mL}{EF}} \quad [5]$$

Z uwagi na to, że wydłużenie λ_d można wyrazić również zależnością [3], to naprężenie występujące w linie można zapisać w następujący sposób:

$$\delta_d = \frac{P_d}{F} = V \sqrt{\frac{mE}{FL}} \quad [6]$$

Zależność [6] wskazuje niezbicie na to, że **siła bezwładności ciała wspinacza wywołuje w linie naprężenie, które jest tym mniejsze im więcej liny bierze udział w powstrzymaniu spadania (większa jest pojemność układu hamującego), a co za tym idzie wygeneruje się mniejsza siła uderzenia działająca na ciało wspinacza.** Niestety, z uwagi na wielowątkową budowę liny i trudność w określeniu rzeczywistej powierzchni jej przekroju (nie jest ona prętem pełnym), reakcję liny na uderzenie zmuszeni jesteśmy wyznaczyć w inny sposób np. w oparciu o zasadę zachowania energii mechanicznej. Strata energii potencjalnej ciała U_h (tj. praca L_h siły wykonanej przez ciało Q na drodze upadku) równa jest energii potencjalnej U_d zgromadzonej w odkształconej linie (tj. pracy siły bezwładności L_d na drodze odkształcenia liny). Możemy, zatem napisać:

$$U_h = U_d \quad \text{oraz} \quad L_h = L_d \quad [7]$$

Lina o sztywności C doznaje w chwili uderzenia odkształceń sprężystych λ_d . Jej wydłużenie osiąga maksymalną wartość w chwili, gdy prędkość hamowanego ciała osiągnie wartość równą 0. Zwróćmy uwagę na to, że od momentu upadku do osiągnięcia maksymalnego wydłużenia dynamicznego liny, siła Q , działając przez cały ten czas pełną swoją wartością wykonuje pracę L_h na drodze $(H + \lambda_d)$, co możemy zapisać zależnością:

$$L_h = Q(H + \lambda_d) \quad [8]$$

W czasie hamowania upadku, tj. od momentu naprężenia się liny do chwili maksymalnego jej wydłużenia, siła bezwładności P_d rośnie począwszy od wartości zerowej aż do wartości maksymalnej. W skutek odkształcenia liny zostaje w niej zgromadzona energia odkształcenia postaciowego U_d . Energia potencjalna tego odkształcenia równa jest pracy L_d wykonanej przez siłę bezwładności P_d działającej na drodze wydłużenia liny λ_d . Wartość tej pracy określimy, zatem z zależności:

$$L_d = \frac{1}{2} P_d \lambda_d \quad [9]$$

Po podstawieniu do równania [7] wyrażeń na pracę [8] i [9] otrzymamy równanie kwadratowe względem wydłużenia dynamicznego λ_d w postaci:

$$\lambda_d^2 - 2\lambda_d \lambda_c - 2H\lambda_c = 0 \quad [10]$$

Rozwiązaniem tego równania jest wyrażenie:

$$\lambda_d = \lambda_c \pm \sqrt{\lambda_c^2 + 2H\lambda_c} \quad [11]$$

Znak (-) w wyrażeniu nie ma fizycznego znaczenia, dlatego w celu wyznaczenia maksymalnego wydłużenia dynamicznego liny posługujemy się zależnością:

$$\lambda_d = \lambda_c + \sqrt{\lambda_c^2 + 2H\lambda_c}, \text{ a po przekształceniu } \lambda_d = \lambda_c \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\lambda_c}} \right] \quad [12]$$

Jeśli wyrażenie $\left[1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\lambda_c}} \right]$ oznaczymy przez K_d i nazwiemy je jako dynamiczny współczynnik

uderzenia, to wydłużenie dynamiczne liny możemy zapisać w postaci:

$$\lambda_d = K_d \lambda_c \quad [13]$$

Fizyczne znaczenie dynamicznego współczynnika uderzenia K_d sprowadza się do tego, że znając parametry „statyczne” jesteśmy w stanie wyznaczyć parametry „dynamiczne” w taki oto sposób, że wartości parametrów „dynamicznych” wyrażamy jako wielokrotność parametrów „statycznych”. Ową wielokrotność można zinterpretować jako *komponent dynamiczny*, w którym decydującą rolę odgrywa tzw. **współczynnik odpadnięcia**.

Ponieważ siły, jak i naprężenia w linie są proporcjonalne do jej odkształcenia, dlatego wyrażenia na siłę dynamiczną (siłę uderzenia) P_d i naprężenie δ_d w linie będą miały postać:

$$P_d = K_d Q \quad [14]$$

oraz

$$\delta_d = K_d \delta_c \quad [15]$$

Z podanych zależności łatwo już wyznaczymy interesującą nas siłę uderzenia P_d oraz wydłużenie dynamiczne liny λ_d , znając parametry takie jak ciężar Q ciała i wydłużenie liny λ_c powstałe pod wpływem statycznego oddziaływania ciężaru ciała.

4. Wpływ współczynnika odpadnięcia na wartość siły uderzenia w linie.

Wiemy o tym nie od dziś, że o „ciężkości” upadku nie świadczy długość lotu, lecz współczynnik odpadnięcia rozumiany jako stosunek długości lotu do długości liny pracującej w czasie odpadnięcia. Dlaczego tak się dzieje? Ogólnie rzecz ujmując, siła uderzenia, co do wartości jest proporcjonalna do masy ciała wspinacza i przyspieszenia, jakiemu jest ono poddane w trakcie hamowania lotu. Nie należy go jednak mylić z przyspieszeniem ziemskim! Przyspieszenie to jest wywołane zmianą ruchu ciała, a nie działaniem pola grawitacyjnego Ziemi i zależy ono od właściwości fizycznych liny (podatności liny na odkształcenia) i od czynników geometrycznych, tj. współczynnika odpadnięcia. Właściwościami fizycznymi liny nie będziemy się w tym miejscu zajmować, zastanówmy się natomiast, jaki wpływ na wartość siły uderzenia ma współczynnik odpadnięcia. Jeśli w wyrażeniu na dynamiczny współczynnik uderzenia K_d uwzględnimy zależność [1], to otrzymamy wyrażenie:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2EF}{Q} \frac{H}{L}} \quad [16]$$

Zauważmy, że iloraz $\frac{H}{L} = n$ to nic innego, jak poszukiwany współczynnik odpadnięcia.

Ostateczna postać wyrażenia na współczynnik dynamiczny uderzenia K_d przybierze wówczas postać:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2EF}{Q}n} \quad [17]$$

Wartość współczynnika odpadnięcia zawiera się zwykle w granicach 0 – 2, choć zdarzają się sytuacje, w których przybiera wartość większą niż 2. Dzieje się tak np. w przypadkach, gdy asekurujący w trakcie lotu partnera usunie z układu hamującego część liny (wybierze ją).

Z punktu widzenia mechaniki teoretycznej, odpadnięcia odbywające się przy tym samym współczynniku, niezależnie od długości lotu, wywołają taki sam skutek tj. takie same naprężenia i siły w linie (wynika z zależności [17] [13] [14] [15]). Dzieje się tak, dlatego, że przy wydłużaniu lotu przy tym samym współczynniku odpadnięcia, długość liny hamującej również rośnie, i to proporcjonalnie do długości lotu. Dlatego też, mimo że energia kinetyczna spadającego ciała jest większa przy długim locie, to zdolność pochłaniania jej przez linę również proporcjonalnie wzrasta. Dla ścisłości: tak jest tylko w teorii, przy założeniu, że ciała wspinaczy są nieodkształcalne. W rzeczywistych warunkach jest jednak inaczej. Przy krótkich lotach z $n=2$ bardzo duża część energii upadku pochłaniana jest przez ciała wspinaczy, co znacznie zniekształca mechanikę teoretyczną. Tak, więc dwumetrowy lot z całą pewnością nie wygeneruje w linie siły uderzenia o takiej samej wartości, co lot 20-metrowy przy tym samym współczynniku odpadnięcia, ponieważ stosunek energii pochłoniętej przez linę do tej pochłoniętej przez ciało w trakcie hamowania nie jest stały w obu tych przypadkach. Operując współczynnikiem odpadnięcia wyrażonym jako $n=H/L$ często zapominamy o tym, że wyrażenie to nie uwzględnia zjawisk tarcia liny o skałę i w przelotach, jest więc współczynnikiem czysto teoretycznym. W praktyce jednak występuje tarcie, które powoduje, że odcinek liny pomiędzy odpadającym a asekurującym jest obciążony nierównomiernie. Odcinki liny pomiędzy odpadającym wspinaczem, a pierwszym miejscem tarcia liny i dalej, pomiędzy kolejnymi przelotami, są obciążone siłą stopniowo zmniejszającą się na skutek tarcia. Siła uderzenia działa w pełnej wartości tylko pomiędzy odpadającym wspinaczem, a pierwszym miejscem tarcia na linie (jest to zwykle ostatni przelot lub występ skalny). Jak łatwo się domyślić, własności amortyzacyjne liny nie są więc w pełni wykorzystane. Oznacza to, że w rzeczywistych warunkach na siłę uderzenia ma wpływ rzeczywisty współczynnik odpadnięcia, który może być znacznie większy niż by to wynikało z obliczeń teoretycznych.

O stopniu wykorzystania liny jako absorbera energii decyduje w praktyce ilość i rozmieszczenie przelotów na wyciągu. Ogólnie rzecz biorąc, im mniej jest tarcia w przelotach i o skałę, tym dłuższy odcinek ma szansę brać udział w pochłanianiu energii upadku, i naprężenia w linie z tytułu odpadnięcia będą mniejsze (patrz zależność [6]). **Mając na uwadze maksymalne wykorzystanie zdolności amortyzacyjnych liny, należy dążyć do zminimalizowania tarcia liny w karabinkach przelotowych na wyciągu.**

Najprościej można to osiągnąć poprzez prostoliniowe prowadzenia jej na wyciągu. Pomocnym rozwiązaniem w tym względzie są również karabinki z elementem tocznym (np. DMM Revolver). Jednak zalecam ostrożność przy tym rozwiązaniu! Zastosowanie karabinków obniżających tarcie liny w przelotach z jednej strony wpływa w sposób znaczący na obniżenie siły uderzenia działającej na odpadającego wspinacza, jednak z drugiej powoduje podwyższenie wypadkowej siły działającej na ostatni przelot, co może doprowadzić do jego destrukcji. Dlatego ze względów bezpieczeństwa pole użycia tych karabinków zawęziłbym tylko do dróg na stałe ubezpieczonych za pomocą kotw wklejanych. Z uwagi na przeniesienie na asekurującego większej siły niż by to miało miejsce w przypadku tradycyjnych karabinków (zmniejszenie efektu tarcia w karabinkach), może znacznie łatwiej dojść do utraty kontroli nad liną przez asekurującego. Jeśli do tego dodać to, że współczesne liny charakteryzują się małą średnicą oraz śliskością powłok impregacyjnych, to widać niezbicie, że utrata kontroli nad liną jest wielce prawdopodobna. Względy bezpieczeństwa przy tym rozwiązaniu wymuszają stosowanie przyrządów asekuracyjnych o wyższej sile hamowania.

5. Szczególny przypadek współczynnika odpadnięcia.

Jakże często spotykamy się ze stwierdzeniem: „*kiedy współczynnik odpadnięcia jest równy „0”, to w linie nie występuje siła dynamiczna*”. Czy tak jest w istocie? Wyobraźmy sobie następującą sytuację: wspinacz stojący na półce skalnej jest „przaucony” do stanowiska za pomocą napiętego „auta”, ale na nim nie wisi. W pewnym momencie półka, na której stoi, urywa się. Wspinacz zawisa na „aucie”. Jak wielka siła zadziała wówczas na stanowisko, przy założeniu, że ciało wspinacza jest nieodkształcalne? Wystarczy do zależności [17] podstawić współczynnik odpadnięcia o wartości $n=0$, a okaże się, że dynamiczny współczynnik uderzenia wyniesie $K_d=2$! Z dalszej analizy zależności [14] wynika, że **siła wzrośnie dwukrotnie w stosunku do obciążenia statycznego, mimo iż współczynnik odpadnięcia wynosi 0!**

Jest to spowodowane wystąpieniem siły bezwładności pochodzącej od nagłego przyłożenia ciężaru ciała Q do „auta”! Tyle mówi teoria, a jak jest w praktyce?

W praktyce siła, która wystąpi w „aucie” z całą pewnością nie wzrośnie aż dwukrotnie, bowiem ciało odpadającego pochłonie w dużej części energię uderzenia. W układzie tym wystąpi jednak siła dynamiczna działająca na stanowisko.

Jeśli chcemy, aby w linie nie wystąpiło naprężenie dynamiczne na skutek urwania półki, nie wystarczy skasować luz na „aucie”, ale należy koniecznie na nim się „odwiesić”.

Z identycznymi zjawiskami dynamicznymi spotykamy się nagminnie podczas asekuracji odgórnej drugiego wspinacza na linie lub asekuracji „na wędkę”. Mając na uwadze, że w tych przypadkach czynny odcinek liny jest znacznie dłuższy, to dynamiczne oddziaływanie siły bezwładności spowoduje znacznie większe wydłużenie liny, co w konsekwencji może przyczynić się do powstania sytuacji niebezpiecznych. Jakże często w wyniku przekonania, że w trakcie asekuracji „na wędkę” lub „na drugiego” nie występują siły dynamiczne, dochodzi do upadku na ziemię wspinającego się. Widzimy, zatem, że zaprezentowany na wstępie pogląd jest błędny. Siła dynamiczna wystąpi również wtedy, gdy współczynnik odpadnięcia będzie równy „0”.

6. Asekuracja z wykorzystaniem wielu lin w układzie jedno i wielotorowym.

Odpowiedź na pytanie „*czy w przypadku odpadnięcia wspinacza asekuracja z wykorzystaniem dwóch lin zapewnia bezpieczeństwo*”? - nie jest jednak taka prosta, jak się na pozór wydaje i jest uzależniona od tego, w jakim układzie (jednotorowym, czy wielotorowym) prowadzimy asekurację. Zależy też od rodzaju lin i konfiguracji przelotów na wyciągu. Użycie dwóch lin przy asekuracji w układzie równoległym może prowadzić do wzrostu wypadkowej siły uderzenia w stosunku do siły uderzenia odpowiadającej pojedynczej linie. Ogólnie rzecz ujmując można rozróżnić dwa przypadki.

Pierwszy z nich dotyczy sytuacji, kiedy liny w czasie odpadnięcia są równocześnie naprężane. Z przypadkiem tym mamy do czynienia, kiedy liny są prowadzone jednotorowo lub, wielotorowo lecz przeloty na obu „torach” są rozmieszczone na tych samych wysokościach, co dwóch konsekwencji prowadzi do jednoczesnej pracy obu lin. Wypadkowa dwóch sił uderzenia lin nie jest jednak, jak się może wydawać, dwukrotnie większa w stosunku do siły uderzenia pojedynczej liny.

Analiza zależności teoretycznych [17] i [14] wskazuje na to, że w tych przypadkach, kiedy liny naprężone są jednocześnie wypadkowa dwóch sił uderzenia dla lin tego samego typu i takich samych właściwościach wzrasta o ok. 40% w stosunku do siły uderzenia pojedynczej liny. Sytuacja staje się szczególnie niebezpieczna w przypadku użycia dwóch lin pojedynczych, kiedy

może dojść do wzrostu wypadkowej siły uderzenia powyżej dopuszczalnej granicy (*siły granicznej*), co w konsekwencji może spowodować uszkodzenie odpadającego wspinacza.

Użycie dwóch lin pojedynczych w układzie jednotorowym lub wielotorowym, z założeniem, że mogą pracować jednocześnie, jest niedopuszczalne!

Użycie natomiast lin połówkowych i bliźniaczych w układzie jednotorowym wprawdzie powoduje wzrost wypadkowej siły uderzenia, lecz z całą pewnością nie przekroczymy wartości dopuszczalnych. W drugim przypadku, kiedy spotykamy się z układem wielotorowym, w którym nie występuje jednoczesne napięcie lin w czasie hamowania lotu (każda z lin pracuje niezależnie) możemy sobie pozwolić na zastosowanie lin zarówno połówkowych jak i pojedynczych bez obawy przekroczenia siły granicznej.

7. Najwyższy przelot jako bloczek.

W czasie hamowania odpadnięcia najwyższy przelot w układzie asekuracyjnym można potraktować jako tzw. bloczek nieruchomy. W celu powstrzymania upadku (wynika to z warunku równowagi sił) konieczne jest, aby siła uderzenia występująca po jednej stronie tego bloczka była zrównoważona siłą po przeciwnej jego stronie. W przeciwnym przypadku osoba, która „zalicza lot”, spadłaby na ziemię. Siła potrzebna do zrównoważenia siły uderzenia oddziałuje na asekurującego. Na skutek tarcia pomiędzy liną a karabinkiem siła działająca na asekurującego jest zawsze mniejsza od siły uderzenia działającej na odpadającego. Różnica ta może wynosić nawet ok. 40%. **Tarcie liny o karabinek zależy od siły uderzenia generującej się w linie, kinematycznego współczynnika tarcia pary ciernej lina/ karabinek oraz tzw. kąta opasania liny na karabinku.** Siła uderzenia i siła równoważąca po drugiej stronie karabinka, tworzą ze sobą pewien kąt. Wypadkowa sił występujących po obu stronach przelotu jest ich sumą geometryczną. Do zrównoważenia tej siły wypadkowej potrzebna jest reakcja przelotu skierowana przeciwnie do siły wypadkowej. W wyniku udaru maksymalna wypadkowa siła działająca na najwyższy przelot będzie, co najmniej 1,6 razy większa od siły uderzenia i takiej to sile będzie musiał sprostać ostatni przelot.

8. Wpływ nominalnej siły uderzenia na ostatni punkt przelotowy.

Decydujący wpływ na siłę działającą na ostatni przelot mają: masa odpadającego, współczynnik odpadnięcia, właściwości fizyczne liny oraz sposób asekuracji (dynamiczna, statyczna). Nominalna siła uderzenia liny jest parametrem charakteryzującym pośrednio właściwości fizyczne liny i jest parametrem charakteryzującym odpowiedź liny na udar, czyli jej właściwości „dynamiczne”. **Przy założeniu jednakowego współczynnika odpadnięcia oraz jednakowego sposobu asekuracji lina o niższej nominalnej sile uderzenia wygeneruje w układzie asekuracyjnym mniejszą siłę uderzenia, a tym samym mniejsza siła zadziała na ostatni przelot (efekt bloczka).** Mówiąc inaczej, lina o niższej nominalnej sile uderzenia łagodniej traktuje zarówno nasz organizm w trakcie hamowania lotu jak i przeloty na wyciągu niż lina o większej nominalnej sile uderzenia. Względy bezpieczeństwa sugerują, aby wybierać te właśnie liny, które charakteryzują się mniejszą nominalną siłą uderzenia.

Bibliografia:

- „Wytrzymałość materiałów” N. M. Bielajew; WMON Warszawa 1954
- „Mechanika ogólna” tom 1,2 Jerzy Leyko; PWN Warszawa 1978
- „Mechanika techniczna” J. Szerszyński; WSiP Warszawa 1982
- „Wytrzymałość materiałów” M. E. Niezgodziński, T. Niezgodziński; PWN Warszawa 1984
- „W skale – zasady alpinizmu” w. Sonelski; OU PTTK Politechniki Śląskiej Gliwice 1987
- „Fly By.....” Marek Pokszan, Warszawa 1990
- „O wykorzystaniu punktów asekuracyjnych na stanowisku” Henryk Mierzejewski; Warszawa 1990
- „Liny alpinistyczne” Aleksander Lwow; Wrocław 1992
- „Wspinaczka skalna” K. Treter; Paskal Bielsko- Biała 2005
- „Wspinaczka w skale” C. Luebben; Galaktyka Łódź 2006

Marek Kujawiński

Instruktor taternictwa PZA i wspinaczki wysokogórskiej (uprawnienia państwowe), z wykształcenia inż. mechanik. Pracę szkoleniową rozpoczął w 1992 r. Jest absolwentem stażu w renomowanej szkole alpinizmu ENSA w Chamonix we Francji. Należy do Akademickiego Klubu Górskiego w Łodzi, prezes klubu w latach 2001-2010. W latach 2005-2009 członek Komisji Szkolenia PZA.

Artykuł powstał w roku 2013 i w skróconej wersji został opublikowany w „Taterniku”.