

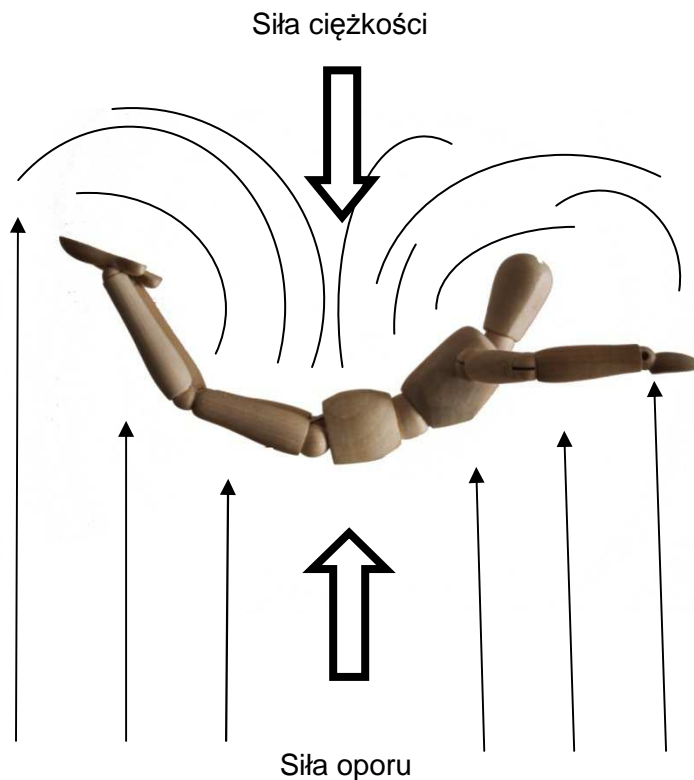
V. TEORIA SKOKU SPADOCHRONOWEGO

OPÓR POWIETRZA

Opór powietrza to siła skierowana przeciwnie do kierunku ruchu wywołana tarciem cząstek napływającego powietrza. Na ciało spadającego skoczka działają dwie siły, siła ciężkości skierowana pionowo w dół związana z przyciąganiem ziemskim i siła oporu powietrza skierowana przeciwnie do kierunku ruchu.

Na wartość oporu ma wpływ kilka czynników;

- **Kształt ciała;** opływowy, gładki zawirowania powstają z tyłu, nie opływowy zawirowania powstają na całej powierzchni, powodując większe tarcie
- **Powierzchnia ciała i położenie względem strug ;** im większa powierzchnia tym większy opór ponieważ cząstki powietrza mają większą drogę do pokonania
- **Prędkość ruchu ciała;** opór jest proporcjonalny do kwadratu prędkości (jeśli prędkość rośnie dwukrotnie to opór rośnie czterokrotnie aż do osiągnięcia prędkości granicznej)
- **Gęstość powietrza;** im rzadsze powietrze, tym mniejsza siła oporu (im wyżej od ziemi mniejsza gęstość a co za tym idzie mniejszy opór)



Opór powietrza jest zjawiskiem umożliwiającym wykonywanie skoków spadochronowych

DROGA SKOCZKA PO ODDZIELENIU SIĘ OD SAMOLOTU

Po oddzieleniu się od samolotu (skoku), droga skoczka podczas swobodnego spadania przebiega po paraboli, w pierwszej fazie skoku skoczek ma prędkość poziomą nadaną przez lecący samolot około 140 km/h oraz prędkość pionową 0 km/h. W miarę upływu czasu, prędkość pozioma zanika do 0 na skutek działania strug powietrza wytwarzanych przez śmigło samolotu oraz oporu powietrza, a rośnie prędkość pionowa zgodnie z zasadą ruchu jednostajnie przyspieszonego aż do momentu osiągnięcia prędkości granicznej.



OBLICZANIE UTRATY WYSOKOŚCI W CZASIE SPADANIA

Prędkość graniczną skoczek osiąga w chwili zrównania się siły ciężkości skierowanej pionowo w dół z siłą oporu napływających strug. W momencie zrównania się tych dwóch sił, skoczek zaczyna spadać ze stałą prędkością w pozycji płaskiej to ok. **180 km/h**. Osiągnięcie prędkości granicznej przez skoczka zależy od wysokości skoku, im wyżej gęstość powietrza mniejsza - mniejszy opór, czyli skoczek utraci więcej wysokości nim osiągnie prędkość graniczną, im niżej gęstość powietrza większa - większy opór i skoczek traci mniej wysokości osiągając prędkość graniczną. Również sylwetka skoczka w jakiej będzie swobodnie spadał będzie miała znaczenie na moment osiągnięcia prędkości granicznej i utratę wysokości. W pozycji płaskiej duża powierzchnia ciała stawia opór, w pozycji pionowej spadając na siedząco (sid down) lub głową w dół (head down), znacznie mniejsza powierzchnia ciała stawia opór. Średnio wyliczono, iż skoczek po opuszczeniu statku powietrznego, lecąc w **pozycji płaskiej** osiąga prędkość graniczną **180 km/godz. (50 m/s)** w około **10 s** swobodnego spadania przemierzając odległość **340 m**.

Tabela ukazuje średnią utratę wysokości w stosunku do czasu, podczas swobodnego spadania;

1 s	5 m
2 s	20 m
3 s	45 m
4 s	75 m
5 s	110 m
6 s	147 m
7 s	193 m
8 s	240 m
9 s	288 m
10 s	340 m

Mając na uwadze powyższe jesteśmy w stanie wyliczyć średnio na jakiej wysokości będziemy wisieli na otwartym spadochronie jeśli wykonamy skok np. z **1200 m** i zrobimy **12 s** opóźnienia. Zgodnie z wyliczeniami przez pierwsze 10 s przemierzymy 340 m i osiągniemy prędkość graniczną zaczynając spadać ze stałą prędkością 50 m/s. Czyli kolejne 2 s to odległość 100 m. Podsumowując 12 s opóźnienia od wyjścia z samolotu to utrata 440 m wysokości po czym otwieramy spadochron. Na wypełnienie czaszy należy doliczyć jeszcze 2 s i 100 m wysokości.

10 s ; 340 m

2 s ; 100 m

12 s opóźnienia, utrata wysokości 440 m

+ 2 s otwarcie spadochronu – utrata wysokości 100 m

Jeśli skoczek wyskoczy z 1200 m zrobi 12 s opóźnienia i otworzy spadochron to zawiśnie na otwartej czaszy na wysokości 660 m.

$1200\text{m} - (440\text{ m opóźnienie} + 100\text{ m otwarcie spadochronu}) = 660\text{ m}$

Prędkość podaną w km/h chcąc zamienić na m/s trzeba podzielić km/h przez 3,6 i odwrotnie. *Przykład; $180\text{ km/h} : 3,6 = 50\text{ m/s}$ i odwrotnie $50\text{ m/s} \times 3,6 = 180\text{ km/h}$*

OTWARCIE SPADOCHRONU

W trakcie swobodnego spadania skoczek posiada energie kinetyczną, energia ta rozkłada się w czasie otwierania spadochronu wywołując przeciążenie.

W czasie otwarcia, następuje wyhamowanie prędkości pionowej skoczka 50 m/s do prędkości opadania na otwartym spadochronie około 3 m/s. Przeciążenie to powoduje, że ciało skoczka zwiększa swój ciężar pięciokrotnie, badania wykazały iż takie przeciążenie nie jest niebezpieczne dla życia nawet gdyby trwało do 15 s.

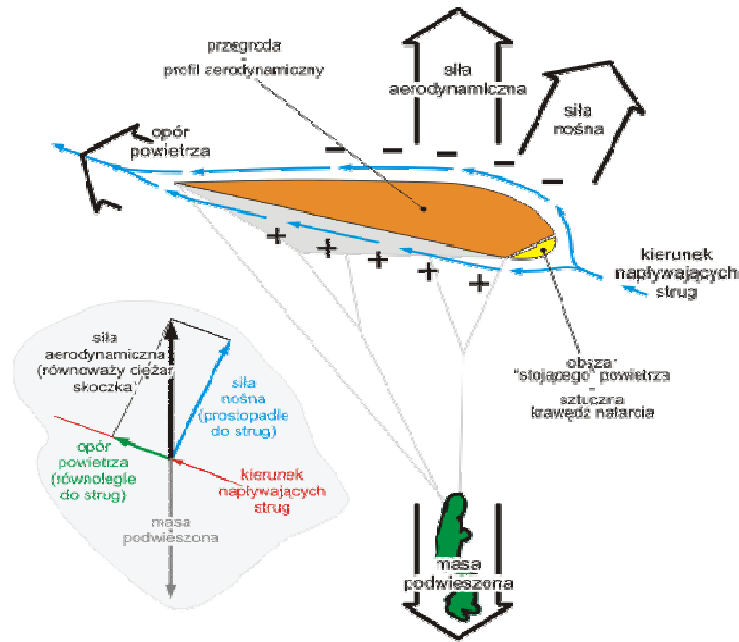
Proces otwarcia spadochronu, wyhamowania trwa około 2 s i skoczek przebędzie około 100 m od momentu zainicjowania otwarcia (rzucenia pilocika, wyciągnięcia zawlecзки przez linę desantową) do wypełnienia się czaszy spadochronu

Przedłużenie procesu otwarcia powoduje slider którego zadaniem jest nie tylko spowolnienie ale i uporządkowanie tego procesu. Dzięki przeciągnięciu w czasie otwarcia spadochronu na ciało skoczka działają znacznie mniejsze siły a energia kinetyczna zostaje rozłożona. Kręgosłup skoczka nie jest tak narażony na przeciążenia jak w przypadku używanych kiedyś spadochronów okrągłych. Czas otwarcia czaszy w dużej mierze zależy od konstrukcji i powierzchni spadochronu .

OPADNIE NA OTWARTYM SPADOCHRONIE

Dlaczego czasza spadochronu utrzymuje skoczka pod sobą pozwalając bezpiecznie wylądować a to dla tego że działa jak skrzydło samolotu wytwarzając siłę nośną. Czasza spadochronu pochylona jest pod odpowiednim kątem spowodowanym różnicą długości w poszczególnych grupach linek nośnych, kąt ten nazywamy kątem zaklinowania czaszy. Napływające powietrze wpada do wnętrza czaszy przez wloty w krawędzi natarcia usztywniając ją i nadając kształt profilu aerodynamicznego. Nadmiar tego powietrza wypychany jest przed czaszę tworząc sztuczną krawędzi natarcia, która rozdziela napływające strugi na górną i dolną powierzchnię. Powietrze opływając górną powierzchnię ma dłuższą drogę do przebycia by spotkać się na krawędzi spływu więc musi poruszać się szybciej w efekcie ma mniejsze ciśnienie niż na dolnej powierzchni. Różnica ciśnień pomiędzy górną powierzchnią (podciśnienie) a dolną (nadciśnienie) powoduje powstawanie siły nośnej skierowanej w górę, prostopadle do napływających strug powietrza

skydive.olsztyn.pl
Skrypt skoczka spadochronowego



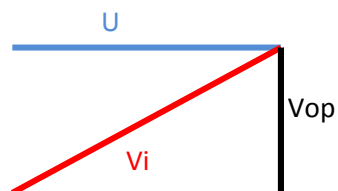
Po otwarciu spadochronu rozpoczyna się łagodne opadanie. Prędkość opadania zależy od ciężaru skoczka ze spadochronem, gęstości powietrza i powierzchni spadochronu. Prędkość, z jaką zbliża się skoczek do ziemi jest wypadkową prędkości opadania i prędkości wiatru.

Do obliczania prędkości wypadkowej skoczka na otwartym spadochronie posłuży wzór:

$$V_i = \sqrt{V_{op}^2 + (V+U)^2} \quad \text{czasza ustawiona z wiatrem}$$

$$V_i = \sqrt{V_{op}^2 + (V-U)^2} \quad \text{czasza ustawiona pod wiatr}$$

- V_{op}** - prędkość opadania
- U** - prędkość wiatru
- V** - prędkość pozioma skoczka względem wiatru (prędkość spadochronu)



Przykład;

V_{op}- prędkość opadania - 3 m/s

U - prędkość wiatru 6 m/s

V- spadochron o prędkości poziomej - 8 m/s (odpuszczone kołki sterownicze)

$$V_i = \sqrt{V_{op}^2 + (V + U)^2} = \sqrt{3^2 + (8+6)^2} = \mathbf{14,3 \text{ m/s}} \quad \text{z wiatrem}$$

$$V_i = \sqrt{V_{op}^2 + (V - U)^2} = \sqrt{3^2 + (8-6)^2} = \mathbf{3,6 \text{ m/s}} \quad \text{pod wiatr}$$

Jak widać ustawienie spadochronu względem wiatru ma istotny wpływ na prędkość przemieszczania się skoczka na otwartej czaszy.

OBCIĄŻENIE CZASZY – wing load

Na świecie opracowano specjalne tabele dla mniej doświadczonych skoczków w celu doboru wielkości czaszy do umiejętności i wagi skoczka w trosce o bezpieczeństwo młodych adeptów spadochroniarstwa. Przy doborze wielkości czaszy sugerując się cyframi w tabelach, uwzględniać należy również stosunek ilość wykonywanych skoków do okresu w jakim zostały one zrobione. Skoczek który wykonał 200 skoków w ciągu 8 lat lądując na lotnisku, w przeznaczony dla niego strefie. Przesiadając się na czaszę 190 sq (stóp) przy wadze 95 kg która jest dla niego sugerowana w tabeli przy takiej ilości skoków, może być czaszą zbyt małą dla jego umiejętności, może okazać się że nie poradzi sobie w trudniejszych warunkach np. lądowanie poza lotniskiem w ograniczonym terenie, turbulencje, lądowanie z wiatrem itp.

Obciążenie czaszy to stosunek masy ciała skoczka wraz z całym wyposażeniem (spadochrony, kask, kombinezon itd.) do powierzchni czaszy.

Wzór na obliczenie obciążenia czaszy wing load

$$\text{wing load} = \frac{\text{exit weight (lb)}}{\text{canopy size (sq ft)}} \qquad \text{obciążenie czaszy} = \frac{\text{masa skoczka z wyposażeniem (funty)}}{\text{powierzchnia spadochronu (stopy)}}$$

Do obliczeń obciążenia czaszy nie stosuje się obowiązujących w Polsce miar gdyż skomplikowało by to niepotrzebnie odczytywanie istniejących tabel opracowanych przez zachodnich producentów spadochronów.

Masa skoczka wyrażana jest w funtach. W celu zamiany kilogramów na funty należy masę skoczka podaną w kilogramach podzielić przez wartość 0,453592. Do wagi skoczka należy dodać jeszcze masę wyposażenia średnio to około 15 kg dla ucznia skoczka.

Przykład; skoczek waży 80 kg + 15 kg wyposażenie = 95 kg : 0,453592 = 209 lb funta
Otrzymaną wartość dzielimy przez powierzchnię spadochronu podaną w sqft stopach i uzyskujemy współczynnik obciążenia czaszy.

Wing-load w zależności od stopnia zaawansowania skoczka

Uczeń (do ŚK B lub USPA A - B)	< 1,0	lbs / sq ft
Średniozaawansowany (ŚK C lub USPA C max. 1,2)	1,1 – 1,3	lbs / sq ft
Zaawansowany (ŚK D lub USPA D max. 1,4)	1,4 – 2,0	lbs / sq ft

skydive.olsztyn.pl
Skrypt skoczka spadochronowego

Tabela zalecanej powierzchni czaszy do masy skoczka i ilości skoków opracowana przez Brian Germain amerykańskiego skoczka i konstruktora spadochronów.

lb	110	121	132	143	154	165	176	187	198	209	220	232	243	254	265
kg	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1	190	190	190	190	190	190	210	210	230	230	230	260	260	260	260
	170	170	170	170	170	170	178	189	200	211	222	230	230	230	230
20	170	170	170	170	190	190	210	210	230	230	230	230	230	230	230
	170	170	170	170	170	170	176	187	198	209	220	230	230	230	230
40	170	170	170	170	170	190	210	210	230	230	230	230	230	230	230
	150	150	150	150	150	160	171	182	192	203	214	224	230	230	230
60	170	170	170	170	170	190	190	210	210	230	230	230	230	230	230
	150	150	150	150	150	156	166	177	187	198	208	218	229	230	230
80	170	170	170	170	170	190	190	210	210	230	230	230	230	230	230
	150	150	150	150	150	152	162	172	182	193	203	213	223	223	230
100	150	150	150	150	170	190	190	210	210	230	230	230	230	230	230
	135	135	135	135	150	150	158	168	178	188	198	208	217	227	230
140	150	150	150	150	150	170	190	190	190	210	210	230	230	230	230
	135	135	135	135	135	141	151	160	170	179	188	198	207	217	226
180	150	150	150	150	150	150	170	190	190	210	210	210	230	230	230
	135	135	135	135	135	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216
220	135	135	135	135	135	150	170	170	190	190	210	210	210	230	230
	120	120	120	120	120	129	138	146	155	163	172	181	189	198	207
260	135	135	135	135	135	150	150	170	170	190	190	210	210	210	230
	120	120	120	120	120	224	132	140	148	157	165	173	181	190	198
300	135	135	135	135	135	135	150	150	170	170	190	190	210	210	210
	120	120	120	120	120	120	127	135	143	150	158	166	174	182	190
360	135	135	135	135	135	135	135	150	150	170	170	190	190	190	210
	120	120	120	120	120	120	120	127	135	142	149	157	164	172	179
400	135	135	135	135	135	135	135	135	150	150	170	170	190	190	190
	120	120	120	120	120	120	120	122	130	137	144	151	158	166	173
460	135	135	135	135	135	135	135	135	135	150	150	170	170	190	190
	120	120	120	120	120	120	120	120	123	130	137	143	150	157	164
500	135	135	135	135	135	135	135	135	135	150	150	150	170	170	170
	120	120	120	120	120	120	120	120	120	126	132	139	145	152	159

1. Pierwsza kolumna zaznaczona kolorem niebieskim przedstawia liczbę skoków
2. Pierwszy wiersz oznaczony kolorem żółtym przedstawia masę wyrażoną w funtach
3. Drugi wiersz oznaczony kolorem czerwonym to masa wyrażona w kilogramach
4. Wytłuszczonym drukiem przedstawiono zalecany średni zakres doboru wielkości czaszy podany w stopach.
5. Zapisany kolorem czerwonym najmniejszy dopuszczalny zakres wielkości czaszy dla danego przedziału skoków

Mając na uwadze własne bezpieczeństwo, w przypadku gdy będziesz miał jakiegokolwiek wątpliwości związane z doбором wielkości czaszy, warunków atmosferycznych w których będziesz skakał, sposobu lądowania, lub innych pytań dotyczących spadochroniarstwa, zwróć się z nimi do swojego zaufanego instruktora.

Pamiętaj nie ma głupich pytań.

LĄDOWANIE SKOCZKA

Potrąfimy wyliczyć, z jaką prędkością skoczek będzie opadać na otwartym spadochronie. Możemy również wyliczyć, po jakim czasie skoczek wyląduje. Inaczej mówiąc jak długo będzie opadał:

$$t = \frac{H}{V_{op}}$$

t - czas opadania na otwartym spadochronie

H - wysokość otwarcia spadochronu

V_{op} - prędkość opadania spadochronu

Czas opadania dla początkującego skoczka na dużym spadochronie to około 4 minuty (średnia prędkość opadania spadochronu 3 m/s)

Lądowanie jest jednym z trudniejszych elementów zależy od prędkości wypadkowej skoczka na otwartym spadochronie i drogi na jakiej ją wytraci .

OKREŚLANIE KIERUNKU I PRĘDKOŚCI WIATRU

Obecne spadochrony umożliwiają szybowanie w dowolnym kierunku, szybciej przemieszczają się z wiatrem wolniej pod wiatr. W celu wyliczenia miejsca nad którym skoczek ma wyskoczyć aby wylądował w określonym miejscu należy znać kierunek i prędkość wiatru.

Dane takie zawarte są w komunikacie meteo dostępnym na stronie internetowej [awiacja. imgw. pl](http://awiacja.imgw.pl). Klikając produkt „GAMET” na wybranym obszarze -lotnisku uzyskamy dane dotyczące obecnie panujących warunków pogodowych które zawierają między innymi kierunek i prędkość wiatru na poszczególnych wysokościach. Należy to jeszcze zweryfikować z bieżącą obserwacją warunków meteo na lotnisku.

Przykładowy komunikat;

FAPL23 OKEC 181500
EPWW GAMET VALID 181600/182200 EPWA-
EPWW WARSAW FIR/A3 BLW FL100

SECN I

SFC VIS: 16/22 2000-5000M BR N PART
18/22 LCA 1200-5000M BR
18/22 LCA 0200-0900M FG
SIG CLD: 16/22 LCA BKN 400-1300/1500-1800FT AMSL N PART
18/22 LCA BKN 600-1400/1500-1900FT AMSL

SIGMET APPLICABLE: AT TIME OF ISSUE NIL
SECN II

PSYS: 18 EXTENSIVE H 1030 HPA CENTERED OVER TURKEY STNR WKN
L 1005 HPA OVER S SCANDINAVIA MOV NE NC
COLD FRONT LINE ESKM-EDDB-EDDS MOV NE NC

SFC WIND: 16/19 280/06KT 18/22 190/10KT W PART
WIND/T: 16/22
1000FT AMSL 16/19 260/10KT 19/22 180/25KT W PART 260/06KT E PART PS09
2000FT AMSL 16/19 280/15KT 19/22 200/20KT W PART 260/10KT E PART PS08
3300FT AMSL 16/19 280/15KT 19/22 260/15KT PS06
5000FT AMSL 16/19 280/15KT 19/22 250/15KT PS03
10000FT AMSL 16/22 260/18KT MS07

CLD: 16/22 SCT/BKN SC 1500-2000/4000-5000FT AMSL N PART
FZLVL: 16/22 6000FT AMSL

Przedstawione parametry określają

- SFC WIND – wiatr mierzony przy ziemi
- 1000 FT AMSL – wiatr na poszczególnych wysokościach podany w stopach (FT) (zamieniając stopy na metry dzielimy przez 3,2)
- 16/19 i 19/22 godzina podana w czasie UTC (latem dodajemy 2 godz. do czasu lokalnego zimą 1 godz.)
- 260/10 KT pierwszy parametr to kierunek wiatru podany w stopniach (**N** północ 360°, **E** wschód 90°, **S** południe 180°, **W** zachód 270°) drugi to prędkość wiatru podany w KT knotach (zamieniając KT na metry dzielimy na połowę)

Wiatr przy ziemi w godz. 18/21 kierunek 260° prędkość 3 m/s w godz. 21/24 kierunek 190° prę. 5 m/s

300 m kierunek 260° prędkość 5 m/s

600 m kierunek 280° prędkość 7,5 m/s

1000 m kierunek 280° prędkość 7,5 m/s

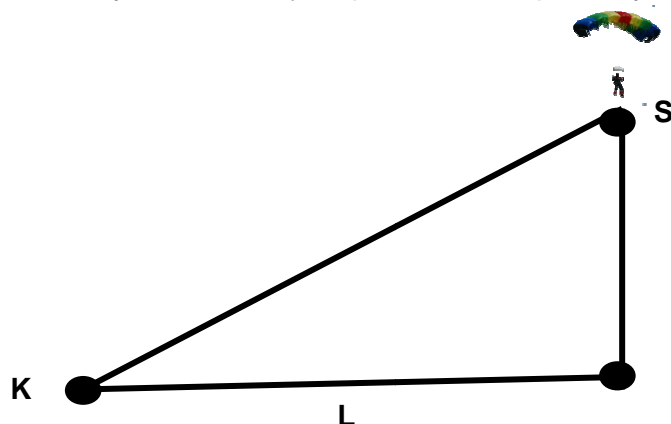
1500 m kierunek 280° prędkość 7,5 m/s

3000 m kierunek 260° prędkość 9 m/s

Średnia prędkość wiatru 6,25 m/s

Średni kierunek wiatru 270 ° (kierunek zachodni)

Znając średni kierunek i prędkość wiatru możemy wyliczyć drogę jaką przebędzie skoczek od momentu zawiśnięcia na otwartym spadochronie do momentu wylądowania na ziemi. Drogę tą nazywamy zniesieniem liniowym jest to linia łącząca rzut na ziemi punktu zawiśnięcia na otwartym spadochronie i punkt lądowania skoczka.



S – punkt zawiśnięcia skoczka na otwartym spadochronie
K - miejsce lądowania skoczka
L - zniesienie liniowe

Wzór na zniesienie liniowe;

$$L = t \times V_{\text{sr}}$$

L - zniesienie liniowe

t – czas opadania na otwartym spadochronie

V_{sr} - Średnia prędkość wiatru

Przykład;

t – średnio uczeń skoczek opada na czaszy około 4 min. (240 s)

V_{sr} – średnia prędkość wiatru z komunikatu 6,25 z średni kierunek wiatru 270°

$$L = 240 \text{ s} \times 6,25 \text{ m/s} = 1500 \text{ m}$$

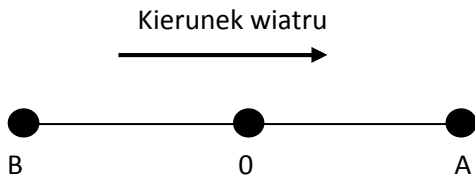
Jeśli skoczek nie steruje spadochronem a czasza ustawiona jest z wiatrem, to zniesiony zostanie na odległość 1500 m z zachodu 270° na wschód 90°.

skydive.olsztyn.pl

Skrypt skoczka spadochronowego

Przy braku możliwości dostępu do komunikatu meteo możemy określić zniesienie przy użyciu sondy papierowej; jest to taśma papierowa o szerokości ok. 25 cm i długości ok. 4 m z jednej strony obciążona kawałkiem drewnianej listewki.

Metoda ta polega na zrzuconiu z samolotu lecącego pod wiatr, na wysokości 600 m sondy papierowej opadającej z prędkością zbliżoną do opadania na czas spadochronu. Rzut punktu na ziemi wyrzucenia sondy a punkt jej lądowania to zniesienie liniowe.



B- miejsce wyrzutu skoczków

0 - punkt rzutu sondy i lądowania skoczków

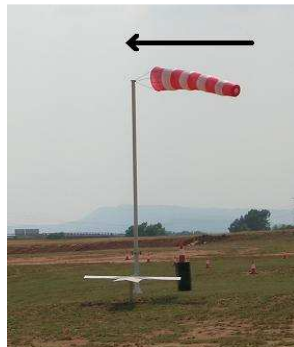
A – miejsce lądowania sondy

Od 0 do punktu A to zniesienie liniowe. Aby skoczkowie wylądowali w punkcie 0 rzut skoczków należy wykonać w punkcie B

Jak określić kierunek i prędkość wiatru praktycznie, na lotnisku i w przypadku lądowania w terenie przygodnym za lotniskiem ?

➤ Lądowanie na lotnisku

- Rękaw wskazuje kierunek wiatru jednocześnie jesteśmy w stanie określić w przybliżeniu siłę wiatru, obserwując wypełnienie rękawa. Jeśli leży wiatr ma siłę około 0-2 m/s, wypełniony do połowy 3-5 m/s wypełniony cały w poziomie powyżej 6 m/s



- Strzała wykładana na ziemi podczas skoków, ustawiona jest pod wiatr i wskazuje kierunek lądowania skoczków.

➤ Teren przygodny, lądowanie za lotniskiem

- Po położeniu słońca. Przed wejściem do samolotu ustawiamy się pod wiatr i zapamiętujemy położenie słońca na tarczy zegara np. słońce na godzinie 9. Wykonując skok z statku powietrznego po za lotniskiem ustawiamy spadochron do lądowania (pod wiatr) tak by mieć słońce na godzinie 9.
- Charakterystyczne punkty na ziemi, względem lotniska i kierunku wiatru (zbiornik wodny, kompleks leśny, komin, stadion, droga itp.). W tym przypadku musimy znać dobrze topografię terenu przylegającego do lotniska. Znając kierunek wiatru na lotnisku, przekładamy go względem usytuowania charakterystycznych punktów do lotniska.