



## Dlaczego wymyślono karwing?

*Grażyna Siemieniec-Oziębło  
Obserwatorium Astronomiczne UJ*

W przypadku karwingu trudno powiedzieć, że potrzeba była matką wynalazku. Technika klasyczna (równoległa) bardzo dobrze sprawdzała się przez ostatnie kilkadziesiąt lat zarówno w narciarstwie sportowym jak i rekreacyjnym.

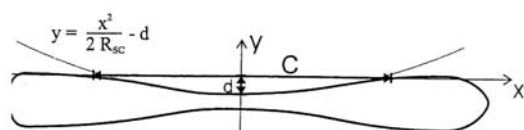
Bodźcem rozwoju w zakresie technik narciarskich stał się popularny wśród młodzieży snowboard. Atrakcyjność tej techniki, pomijając względy ideologiczne, związana jest z ciasnymi, ciętymi skrętami, którym towarzyszą radykalnie duże pochylenia. Dostarczyło to pomysłu na modyfikację techniki narciarskiej polegającej, podobnie jak w snowboardzie, na jeździe na krawędziach nart. Skręt karwingowy (cięty) „wycinany” jest przez krawędzie nart.

W skali kilku lat technika ta zyskała wielu zwolenników. Można chyba stwierdzić, że wprowadzenie jej ma charakter procesu ewolucyjnego. Niezbyt pospiesznego (przez pewne środowiska narciarskie, a zwłaszcza przez FIS, przyjęta wręcz z dużymi oporami), ale którego walory sprowadzają się głównie do łatwego przystosowania techniki zarówno w narciarstwie amatorskim jak i sportowym. Równoczesne z samą zmianą techniki skrętu było wdrożenie do masowego użycia zmienionych konstrukcyjnie nart.

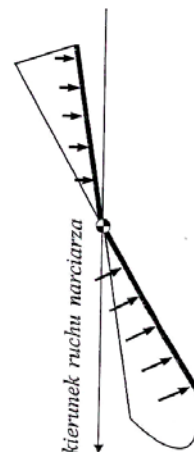
### **Narty, które same skręcają**

Modernizacja nart polegała na zmianie zarówno ich geometrii, technologii jak i materiału używanego do konstrukcji. Dzięki tym zmianom narty karwingowe posiadają charakterystyczne cechy, które pozwalają im skręcać samoistnie. Decyduje o tym linia boczna narty oraz jej podłużna i poprzeczna sztywność.

Tradycyjne narty miały prawie prostoliniowy kształt krawędzi. Krawędzie nart karwingowych charakteryzują się tzw. taliowaniem (rys. 1). Rozmiar ich boczno wycięcia to najważniejszy parametr konstrukcyjny. Jego głębokość określa promień wycięcia, typowo rzędu kilkunastu metrów (np. narty przeznaczone do slalomu mają promień w zakresie 11–14 m). Taka geometria umożliwia ustawienie wygiętej narty na krawędzi. Za jej podłużne ugięcie odpowiada, zmniejszona w stosunku do narty klasycznej, sztywność. Pozwala to łatwiej ją wyginać, dopasowując do planowanego promienia skrętu (rys. 2 i 7). Z kolei zdecydowanie zwiększona sztywność poprzeczna decyduje o skutecznym wciśnięciu narty w śnieg na całej długości krawędzi, tj. udaremnia wypłaszczenie tyłów lub dziobów nart.



Rys. 1. Widok narty z góry



Rys. 2. Siła reakcji śniegu działająca na ugiętą, zakrawędziowaną nartę

Dodatkowo, długość nart karwingowych jest mniejsza od ich klasycznych odpowiedników. To również pomaga w utrzymaniu cylindrycznej powierzchni zakrawędziowanych ślizgów.

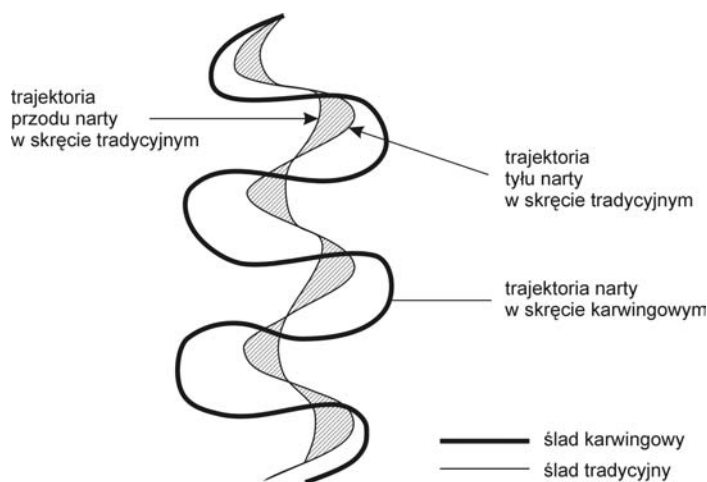
#### Co wywołuje skręt?

Skręty na nartach wykonujemy wykorzystując moment sił zewnętrznych działających na nartę. Powodem jest siła reakcji śniegu (opór boczny), która jest prostopadła do krawędzi nart. To ona – a ściślej, jej składowa prostopadła do kierunku pędu – umożliwia zmianę kierunku ruchu

W tradycyjnej technice, wywołanie skrętu na płaskich odciążonych nartach następuje w wyniku impulsu rotacyjnego. Niezerowy moment siły wywołany pochyleniem do przodu z jednoczesnym „pchnięciem” tyłów nart na zewnątrz skrętu pociąga za sobą obrót narty. Sytuacja jest nieco inna w przypadku skrętu karwingowego. Skręcenie nart związane z pojawieniem się momentu sił wywołane jest samą geometrią nart. Narta ułożona na wygiętej w łuk krawędzi (rys. 2) odczuwa mniejszy opór ślizgając się wzdłuż linii kontaktu ze śniegiem niż wzdłuż swojej osi. W wyciętym rowku inicjuje skręt. Ten wymuszony ruch po łuku przypomina ruch kulki po cylindrycznej powierzchni szklanki. Podobnie jak powierzchnia walca na kulkę, śnieg wywiera siłę reakcji na nartę powodując zmianę jej kierunku. W tym sensie mówimy, że narta samoistnie skręca.

Te wszystkie cechy powodują, że zakrawędziwana narta w trakcie ruchu do przodu sama skręca. Rysunek 2 schematycznie pokazuje boczną linię (linia pogrubiona to wygięta krawędź) zakrawędziwanej narty. Śnieg wywiera większą siłę reakcji (prostopadle do krawędzi) na przednią część narty niż na tylną, co powoduje, że narta obraca się wokół swojego środka ciężkości podczas ru-

chu w przód. Im linia boczna ma mniejszy promień wycięcia, tym samosterowność narty jest większa. Impuls skrętny wywołany ugiętą i zakrawędziowaną nartą inicjuje skręt karwingowy. W porównaniu ze skrętem klasycznym, którego istotnym elementem jest zepchnięcie-ślizg płasko ustawionych tyłów nart na zewnątrz skrętu, skręt cięty odbywa się z definicji bez ześlizgu. Linia kontaktu narty z ziemią rysuje łuk okręgu. Oznacza to, że każdy punkt krawędzi narty przechodzi przez to samo miejsce, tj. śledzi tę samą trajektorię. Natomiast w technice tradycyjnej przód narty ma trajektorię ciaśniejszą niż tył. Tutaj, w każdej chwili promień skrętu korygowany jest przez rotacyjny ruch pięt prowadzący do ześlizgu. Różnice w obu typach śladów dobrze widać na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie śladów skrętu karwingowego i ślizgowego

Reasumując, modernizacja nart umożliwiła nie tylko skuteczne krawędziowanie i w konsekwencji samoprowadzenie nart, ale również ich dużą sprężystość i zwrotność. Z praktycznego punktu widzenia, jasne stają się powody, dla których karwing staje się dominującą techniką narciarską, redukując jednocześnie czas wykonania skrętu (brak ześlizgu) jak i wyraźnie dynamizując jazdę (oddana energia sprężystości nart). W konsekwencji odpowiada za łatwość i skuteczność wykonanego skrętu.

### Fizyka karwingu

Skąd bierze się ta łatwość ciętego skrętu i co determinuje fakt, że nowa technika jest bardziej korzystna zarówno w edukacji i umasowieniu dyscypliny jak i sportowych osiągnięciach zawodników? Tu wyjaśnienia dostarcza elementarna fizyka.

Poniżej przedstawimy schemat rachunku prowadzącego do wyrażenia pokazującego zależność między podstawowymi zmiennymi „opisującymi” narciar-

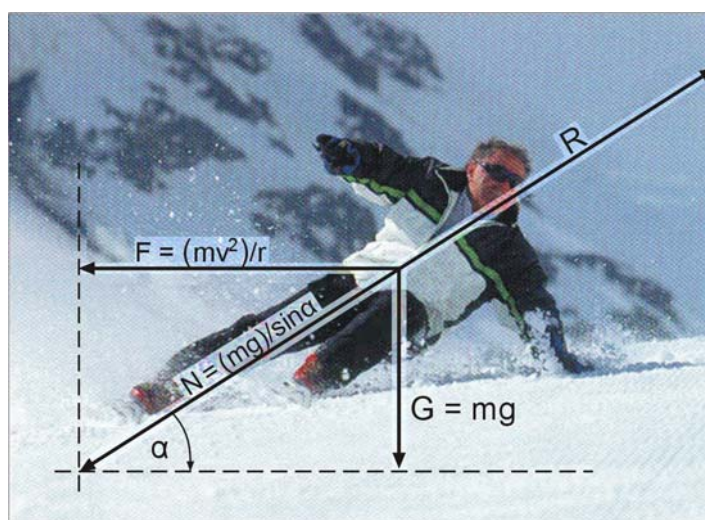
ski skręt. Do opisu poruszającego się po łuku narciarza użyjemy bardzo prostego modelu statycznego. Zaniedbujemy tym samym zarówno opór aerodynamiczny jak i siły dynamicznego tarcia wzdłuż trajektorii ruchu. Rozważmy zatem siły, które działają na narciarza w skręcie, zapewniając mu stabilność. Dla uproszczenia, ograniczymy się do płaszczyzny prostopadłej do toru ruchu, tj. zakładamy, że trajektoria narciarza jest horyzontalna. Zgodnie z rys. 4, w układzie związanym z poruszającym się narciarzem, wypadkowa siła  $N$  (będąca sumą siły odśrodkowej  $F$  i grawitacyjnej  $G$ ) równoważona jest siłą reakcji  $R$  podłoża. Wartości tych sił to odpowiednio

$$F = mv^2/r$$

$$G = mg$$

$$N = mg/\sin\alpha$$

$R$  – siła reakcji



Rys. 4. Siły działające na narciarza

gdzie  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $r$  – promień skrętu,  $v$  – prędkość narciarza, a  $\alpha$  to jego kąt pochylenia określony stosunkiem siły odśrodkowej do ciężaru ( $F/G = \operatorname{ctg}\alpha$ ). Wynika stąd zależność

$$\frac{v^2}{r} \operatorname{tg}\alpha = g = \operatorname{const}, \quad (1)$$

która wiąże wszystkie parametry skrętu. Można więc powiedzieć, że kąt pochylenia narciarza  $\alpha$  jest w ogólności funkcją dwu zmiennych: jego prędkości i promienia skrętu  $r$ . Jedyne w przypadku jazdy na krawędziach nart możliwa okazuje się redukcja ilości zmiennych w tym wyrażeniu. Poniżej pokażemy, dlaczego tak jest. Idea polega na tym, że właśnie w tym przypadku możliwe staje się wyrażenie promienia skrętu przez kąt zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  i parametr charakteryzujący geometrię nart. Promień skrętu przestanie więc być zmienną niezależną.

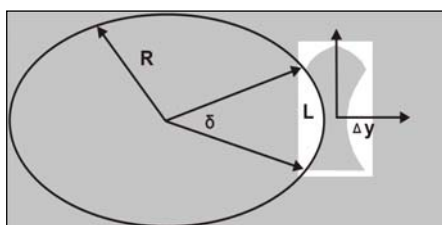
Aby zakrawędziowana narta nie ześlizgiwała się, siła wypadkowa jaką do niej przykładamy musi być prostopadła do ślizgu. Wynika z tego (patrz rys. 4

i 6), że jedynie w przypadku jazdy na krawędziach, kąty pochylenia narciarza  $\alpha$  i zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  (między ślizgiem a podłożem) pozostają w prostym związku:

$$\alpha_{kr} = 90 - \alpha .$$

Możliwość redukcji ilości parametrów w relacji (1) pokażemy w trzech krokach.

1. Najpierw wyrażamy wycięcie boczne narty  $\Delta y$  przez długość krawędzi  $L$  i jej promień krzywizny  $R$ . Wzory w ramce i rys. 5 pokazują jak  $\Delta y$  wyraża się przez parametry charakteryzujące geometrię nart.



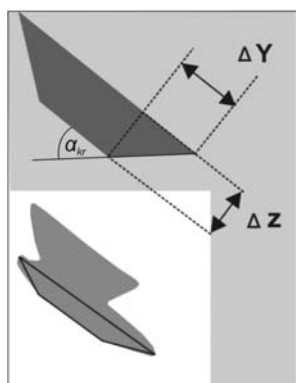
$$\begin{aligned} R\delta &= L \\ \Delta y &= R(1 - \cos(\delta/2)) \approx R\delta^2/8 = L^2/8R \end{aligned}$$

Rys. 5. Opis geometrii płasko leżącej narty

2. Następnie wiążemy ugięcie narty w skřęcie z promieniem skřętu.

Aby krawędź narty na całej swojej długości kontaktowała się ze śniegiem, narta musi się ugiąć. Ugięcie to rośnie wraz z kątem zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$ , rys. 7. Analogicznie jak powyżej wyrażaliśmy wycięcie boczne  $\Delta y$  (taliowanie) narty płaskiej przez inne wielkości geometryczne, wiążemy teraz ugięcie narty  $\Delta z$  z pewnym promieniem charakterystycznym  $R_{flex}$  (rys. 8 i 9). Ugięcie  $\Delta z$  przedstawione na rys. 6 i 9 wynosi (wzór przy rys. 9)

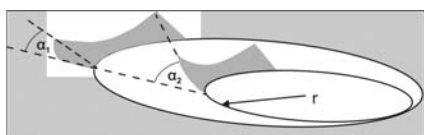
$$\Delta z = L^2 / (8R_{flex}).$$



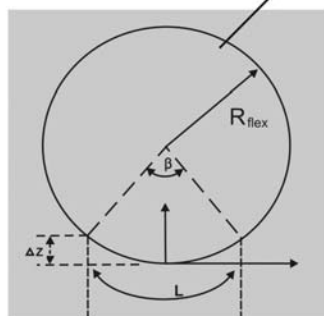
$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{\Delta y} &= \operatorname{tg} \alpha_{kr} \\ R_{flex} &= R / \operatorname{tg} \alpha_{kr} \end{aligned}$$

Rys. 6. Widok z przodu ugiętej narty (porównaj, widok z boku, rys. 9)

Zależy ono od kąta  $\alpha_{kr}$  (rys. 7), który jest miarą obrotu między układem odniesienia zdefiniowanego przez nartę płaską, a układem związanym z nartą ugiętą. Zgodnie z rys. 8, nartę ugiętą dobrze modeluje wirtualny cylinder o promieniu  $R_{flex}$  i osi równoległej do poprzecznej osi narty OY (rys. 1). Przekięcie tego cylindra z podłożem wyznacza elipsę, rys. 10, o półosiach  $a$ ,  $b$ .



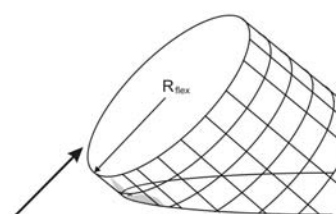
Rys. 7. Kąt zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  a ugięcie narty i promień skrętu



Rys. 9. Opis geometrii narty ugiętej – poprzeczny przekrój cylindra

$$a = \frac{R_{flex}}{\sin \alpha_{kr}}$$

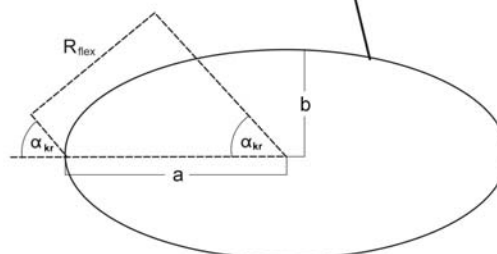
$$b = R_{flex}$$



Rys. 8. Przekięcie wirtualnego cylindra zawierającego powierzchnię narty z podłożem

$$\Delta z = R_{flex} \beta^2 / 8$$

$$L = R_{flex} \beta$$



Rys. 10. Przekięcie cylindra (rys. 8) z podłożem wyznacza elipsę o osiach  $2a$ ,  $2b$

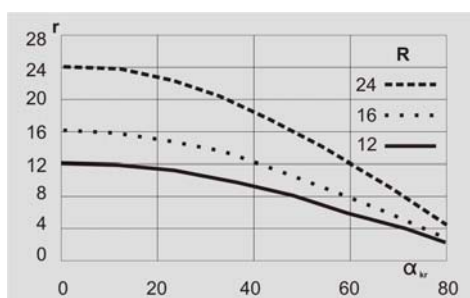
Narta znajduje się zawsze w jej wierzchołku, wycinając łuk o promieniu równym promieniowi krzywizny elipsy  $r = b^2/a$ . Wzory w ramce powyżej pozwalają zatem wyrazić promień skrętu

$$r = \frac{b^2}{a} = R_{flex} \sin \alpha_{kr}$$

3. Ostatni krok to powiązanie parametrów nart z promieniem skrętu. W tym celu wystarczy wyliczyć ugięcie narty i następnie zgodnie z rys. 5, 6, 9 wyeliminować  $R_{flex}$ . W konsekwencji dostajemy ostatecznie promień skrętu wyrażony przez geometrię nart i kąt  $\alpha_{kr}$ .

$$r = R \cos \alpha_{kr}$$

Wyrażenie jest zilustrowane poniżej.



Rys. 11. Promień skrętu w funkcji kąta zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  dla nart o różnym promieniu wycięcia  $R$

### Co z tego wynika?

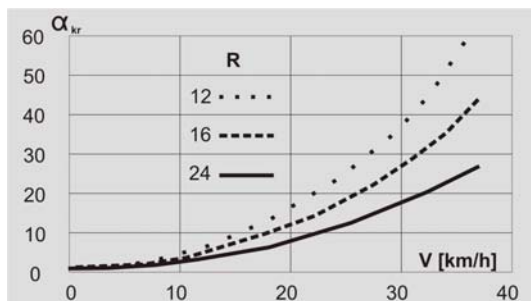
Kilka interesujących wniosków:

- uzyskanie na wybranych nartach odpowiedniego promienia skrętu zależy (w modelu czystego karwingu) wyłącznie od kąta zakrawędziowania nart; promienie te stają się ciaśniejsze dla nart o większym taliowaniu.
- Wzór (1) przyjmuje teraz postać

$$\frac{v^2}{R \sin \alpha_{kr}} = g \quad (2)$$

i dla danej prędkości narciarza dopuszcza precyzyjnie określoną wartość zakrawędziowania. Rys. 12 pokazuje jak ten kąt zależy od prędkości narciarza dla trzech nart o różnym taliowaniu. W szczególności graniczna prędkość przejazdu skrętu przy nierealistycznie dużych pochyleniach wynosi

$$v_{\max} \cong (Rg)^{1/2}$$



Rys. 12. Uzyskiwany kąt zakrawędziowania w funkcji prędkości dla nart o różnym promieniu  $R$

- Prezentowana wyżej idealizacja powinna być zastąpiona modelem bardziej rzeczywistym, uwzględniającym przede wszystkim nachylenie stoku  $\varphi$ . Pomijając tutaj nieco bardziej żmudny rachunek przedstawimy jedynie uogólniony odpowiednik wzoru (2)

$$v^2 = gR \cos \varphi \sin \alpha_{kr}$$

Podobnie jak w przypadku horyzontalnego przybliżenia skrętu, powyższy wzór pokazuje zależność prędkości od zakrawędziowania na stoku o stałym nachyleniu.

### Konkluzje

Powyższa dyskusja miała na celu wyprowadzenie podstawowej relacji opisującej skręt cięty. Wiąże ona prędkość i pochylenie narciarza z promieniem wykonywanej przez niego trajektorii.

- Stосуje się jedynie w przypadku jazdy idealnym karwingiem. A zatem wymaga szczególnych warunków zewnętrznych. W praktyce bliskich tym, jakie mamy w trakcie zawodów slalomowych, czyli płaskie i twarde podłoże, sztywne poprzecznie narty i zawodnicza technika pozbawiona ześlizgu.
- Względna prostota tej techniki wynika z faktu, że omawiany związek jest relacją o zredukowanej liczbie parametrów. Oznacza to, że prędkość narciarza jest funkcją wyłącznie jego pochylenia/zakrawędziowania. Użytkiwane w slalomie prędkości osiągają zgodnie z wykresem wartości  $\sim 50$  km/h.

Opis karwingu w kategoriach eksperymentu fizycznego pozwala wprawdzie zrozumieć przyczyny jego popularności, nie ułatwia nam jednak opanowania trudności zasadniczej – braku ... fizycznego przygotowania. Poza dobrym sprzętem, zwłaszcza ten deficyt wymaga specjalnej troski. Duże pochylenia to przede wszystkim duże przeciążenia dla mięśni, których skutki odczuwamy.

### Literatura

- [1] U. Jentschura, F. Farbach, *Physics of Skiing*, 2004, arXiv: physics/0310086.
- [2] K. Rybarczyk, *Carving a fizyka*, 2001/2002, Program Nauczania Nowoczesnego Narciarstwa NTN, Stowarzyszenie SPORT XXI.
- [3] Z. Stanisławski, *Narty 2*, Wydawnictwo „Dla Szkoły”, Wilkowice 2005.