

## Spokojnie, to tylko awaria cz. 4

Artur Krystosik

Błysk i potworny huk. Ogłuszeni powoli dochodzimy do siebie. Wokół rozchodzi się swąd spalinowy pomieszany z zapachem ozonu. Właśnie przeżyliśmy uderzenie pioruna.

Na szczęście uderzenia piorunów w jachty nie są zjawiskiem częstym, ale ich skutki mogą być opłakane. Najczęściej awarii ulega elektryka i elektronika (czasem nawet cała), co w jednej chwili może przenieść nas do czasów lampy naftowej. Co gorsza, znane są przypadki w których uderzenie pioruna niszczyło również kompas. Jeżeli znajdujemy się wtedy na oceanie, w dużej odległości od brzegu, to mamy prawdziwy problem.

Niniejszy artykuł poświęcony jest sposobom nawigacji w przypadku gdy nie dysponujemy praktycznie żadnym przyrządem nawigacyjnym, nawet kompasem. A jedyne co mamy to zegarek. No, może nie jedyne. Mamy głowę na karku, znajomość nieba, pojęcie o geometrii, a jak dobrze pójdzie to tablice do astronawigacji.

Co jest naszym celem? Ideałem byłoby dopłynięcie do zamierzonego portu, ale bądźmy realistami. Sukcesem będzie trafienie w przyjazny brzeg, czyli taki gdzie nie zostaniemy zjedzeni na obiad, porwani dla okupu czy zamknięci w więzieniu. Znajomość technik nawigacji awaryjnej daje nam na to spore szanse.

Na prowadzenie nawigacji składają się trzy stale powtarzane czynności: określanie pozycji, wyznaczanie kierunku oraz jego utrzymywanie. W przypadku braku urządzeń nawigacyjnych jedyne na czym możemy się oprzeć to zjawiska obserwowane z pokładu jachtu:

- wydarzenia na sferze niebieskiej np. wschody i zachody Słońca, czy pozycja Gwiazdy Polarnej;
- zjawiska meteorologiczne takie jak chmury, kierunek wiatru czy wywołanego nim falowania;
- zjawiska antropomorficzne takie jak smugi kondensacyjne samolotów.

### Idea

Zacznijmy od prostego acz pouczającego przykładu nawigacji awaryjnej. To że kierując się na Gwiazdę Polarną będziemy płynęli kursem na północ wiedzą chyba wszyscy. Co jednak zrobić w dzień? Gdybyśmy chcieli płynąć na południe to kierunek ten wyznacza pozycja Słońca o godzinie dwunastej czasu lokalnego (zakładając że znajdujemy się na półkuli północnej). Nawet nie dysponując zegarkiem, można ją określić obserwując długość rzucanego przez gnomon cienia. Dokładnie w południe cień będzie najkrótszy. Niestety im dalej od godziny dwunastej tym bardziej azymut Słońca różni się od  $180^\circ$ . Błędy te można jednak skompensować żeglując stale w kierunku Słońca, tyle samo czasu przed oraz po godzinie dwunastej. Przed dwunastą będziemy co prawda płynąć na południowy wschód, ale po dwunastej na południowy zachód, co da wypadkowy kurs dokładnie na południe. Ewidentną wadą tej metody jest nakładanie drogi, ale na szczęście są inne bardziej efektywne techniki.

Do utrzymywania kursu można wykorzystać również inne układy odniesienia np. kierunek wiatru, kierunek falowania czy odległe chmury na horyzoncie (choć bez wątplenia sterowanie na gwiazdę czy Słońce jest znacznie łatwiejsze). Na otwartych przestrzeniach wodnych zarówno wiatr jak i falowanie wykazują się dużą stabilnością

dzięki czemu mogą za taki układ posłużyć. W szczególności stabilnie zachowuje się rozkołys, który należy odróżnić od falowania wywołanego obecnie wiejącym wiatrem. Rozkołys jest zwykle falą długą, o bardzo dużej szerokości, mało stromą i nie łamiącą się. Fala wiatrowa jest krótsza, wąska (można łatwo zaobserwować jej granice), bardziej stroma i załamująca się. Rozkołys może stanowić dobry punkt odniesienia na przeciąg wielu godzin, a nawet dni. Niestety techniki te działają głównie za dnia. Brak światła bardzo utrudnia obserwację kierunku wiatru i falowania.

Utrzymywany kierunek powinno się możliwie często kontrolować korzystając ze znajomości nieba. Mierząc jakąś wielkość należy wykonać kilka pomiarów, a wynik uśrednić. Pozwala to na eliminację błędów przypadkowych. Dobrze jest jednocześnie zastosować dwie różne metody uśredniając wyniki. Daje to szansę na eliminację błędów systematycznych.

Jaką dokładność możemy uzyskać stosując techniki nawigacji awaryjnej? Po nabraniu pewnego doświadczenia, można przyjąć że dokładność utrzymania kursu będzie wynosiła +/- 15 stopni. Przy czym w pewnych warunkach np. kierując się na Gwiazdę Polarną ta dokładność będzie znacznie lepsza. Szacowanie to nie uwzględnia jednak znosu powodowanego prądem i wiatrem.

### Kilka pojęć

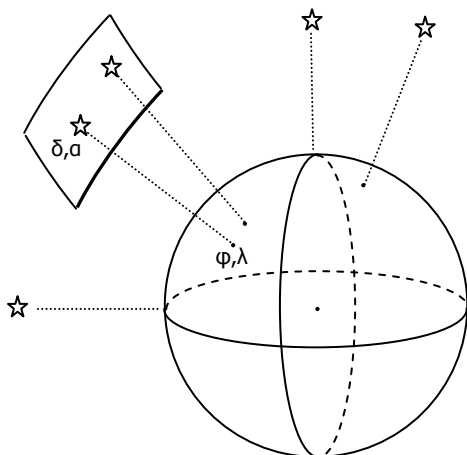
Nawigacja awaryjna to czysta astronawigacja, tyle że uprawiana za pomocą prymitywnych przyrządów w miejsce sekstantu, i w oparciu o przybliżone reguły w miejsce tablic. W związku z tym trzeba znać kilka podstawowych pojęć dotyczących sfery niebieskiej. Najlepiej zacząć od źródeł czyli VIII księgi z serii „Tytus, Romek i Atomek” ☺



Wbrew pozorom model Wszechświata z czasów Ptolemeusza świetnie nadaje się dla potrzeb astronawigacji, a zwłaszcza tej w wydaniu awaryjnym. Odległość Ziemi od gwiazd jest tak duża, że obserwując niebo widzimy pewien statyczny obraz, który dość łatwo może zostać wykorzystany na potrzeby nawigacji. Natomiast tam gdzie pojawia się dynamika np. w postaci dobowego ruchu Księżyca czy nawet rocznego ruchu Słońca, tam na ogół bez odpowiednich tablic (a zakładamy że nimi nie dysponujemy) nasze możliwości są ograniczone.

Skoro Ziemia znajduje się w centrum Wszechświata i jest otoczona nieruchomą sferą gwiazd stałych, to dla każdej gwiazdy możemy wyznaczyć punkt na powierzchni

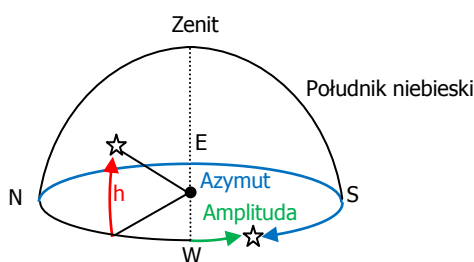
Ziemi, nad którym dana gwiazda świeci. Współrzędne tego punktu czyli szerokość ( $\varphi$ ) i długość ( $\lambda$ ) geograficzna są jednocześnie współzrędnymi gwiazdy znajdującej się na sferze niebieskiej czyli jej deklinacją ( $\delta$ ) i rektascensją ( $\alpha$ ). Wynika z tego że północny biegun nieba leży dokładnie nad północnym biegunem geograficznym, płaszczyzna ziemskiego równika jest jednocześnie płaszczyzną równika niebieskiego.



Rysunek 1 Współrzędne niebieskie, a współrzędne geograficzne.

Ktoś mógłby powiedzieć, że taki statyczny obraz nieba nie pasuje do rzeczywistości, no bo przecież wszyscy wiedzą że inne gwiazdozbiory widać zimą, a inne latem. Jest to sprzeczność pozorną, bo latem Oriona również „widać”, tyle że w dzień. Po prostu Słońce krążąc dookoła Ziemi znajduje się latem w tej części nieba, w której są gwiazdozbiory nieba zimowego i one nikną w jego blasku.

Patrząc na nocne niebo widzimy, że stoimy w środku ogromnej półkuli. Jej podstawą jest płaszczyzna horyzontu obserwatora. Punkt nad głową nazywamy zenitem. Linia północ-południe przechodząca przez zenit nazywa się południkiem niebieskim. Jest to miejsce górowania ciał niebieskich, w którym osiągają one największą wysokość nad horyzontem. Pozycja gwiazdy na sferze niebieskiej określana jest poprzez jej wysokość  $h$  oraz azymut, czyli namiar na gwiazdę.

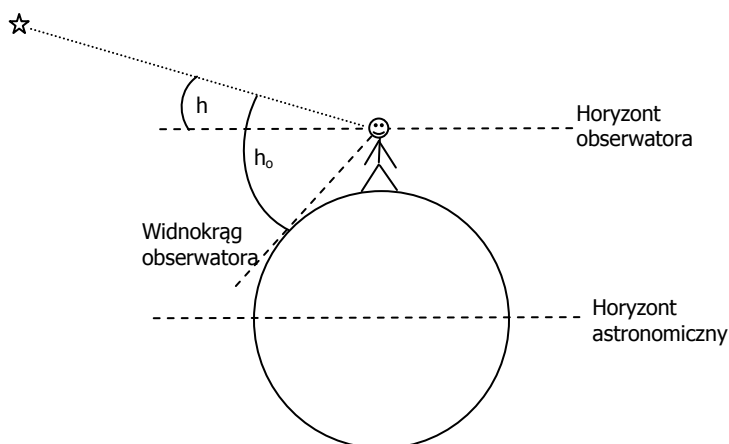


Rysunek 2 Sfera niebieska z punktu widzenia obserwatora.

Dla gwiazd wschodzących i zachodzących określa się również amplitudę wschodu i zachodu czyli namiar gwiazdy względem kierunku E lub W.

Na zakończenie rozdziału ważne rozróżnienie pomiędzy pojęciami horyzontu i widnokregu. W astronawigacji kąt  $h$  pod jakim widoczne jest ciało niebieskie wyznaczany jest zawsze względem horyzontu astronomicznego, czyli płaszczyzny przechodzącej przez środek Ziemi i prostopadłej do kierunku wskazującego zenit obserwatora. Ze względu na dużą odległość ciał niebieskich od Ziemi, pomiar ten

może być równie dobrze przeprowadzony względem horyzontu obserwatora czyli płaszczyzny równoległej do horyzontu astronomicznego i przechodzącej przez oczy obserwatora. Problem w tym, że obserwowana linia widnokregu nie wyznacza wcale płaszczyzny horyzontu obserwatora, ale płaszczyznę nachyloną do niej pod pewnym kątem, tym większym im wyżej znajdują się oczy obserwatora.



Rysunek 3 Widnokrąg a horyzont.

Pomiar wysokości ciała niebieskiego względem płaszczyzny widnokregu da zatem inną wartość ( $h_o$ ), niż rzeczywista wysokość ciała niebieskiego ( $h$ ), co oznacza że konieczne jest wprowadzenie poprawki na wysokość oka obserwatora. Ze względu na niezachowanie skali rysunku (średnicy planety do wzrostu człowieka) ta różnica wydaje się bardzo duża. W rzeczywistości jest znacznie mniejsza i wynosi kilka minut, co przekłada się na kilka mil dokładności pozycji.

### Przyrządy – co w zamian?

Część technik nawigacji awaryjnej zakłada, że dysponujemy co najmniej zegarkiem. Założenie jest o tyle uzasadnione, że na ogół na jachcie znajduje się ich kilka i jest mało prawdopodobne aby wszystkie uległy awarii. Jeżeli do tego choć jeden z nich wskazuje dokładny czas to nasza sytuacja znacznie się poprawia.

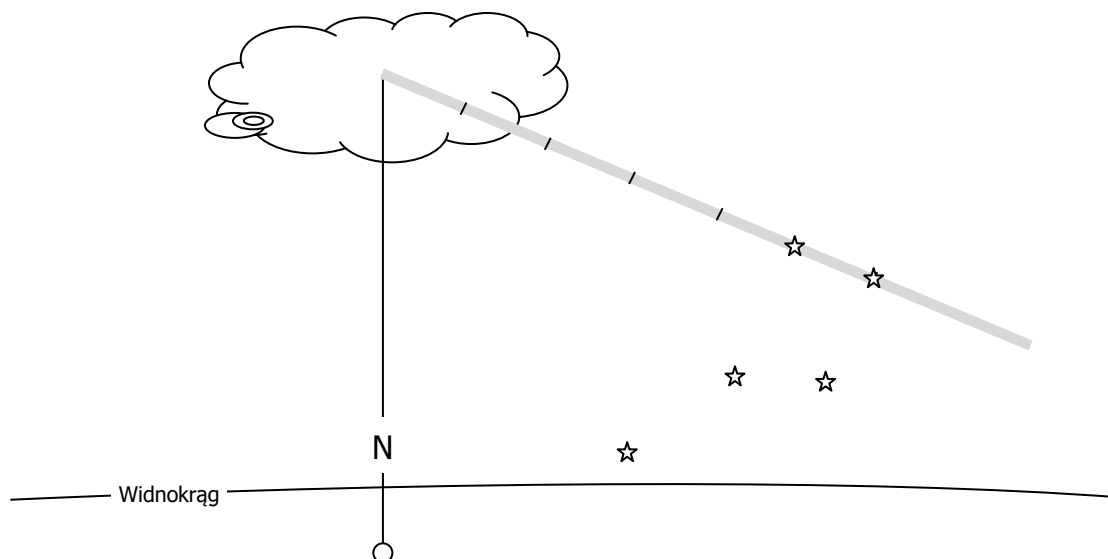
Poza zegarkiem będziemy potrzebowali kilku innych przyrządów, które trzeba wykonać we własnym zakresie.

Brak kompasu można częściowo zrekompensować wykonując tarczę kompasową, czyli koło z naniesioną podziałką kątową, z krokiem przynajmniej co pięć stopni. Będzie ona służyła do utrzymywania kierunku względem ciała niebieskiego widocznego pod pewnym kątem od założonego kursu. Tarczę kompasową możemy wykonać w następujący sposób:

- wyciąć z nieużywanej mapy, na której znajduje się róża kompasowa (dobrze ją powiększyć do rozmiarów talerza dla zwiększenia dokładności pomiarów),
- narysować przy pomocy trójkąta nawigacyjnego,
- narysować przy pomocy cyrkla i linijki, dzieląc koło prostymi wyznaczającymi na początku kierunki kardynalne, a potem kierunki pośrednie.
- narysować wykorzystując przybliżoną zależność, że koło o promieniu 57 jednostek ma obwód równy 360 jednostkom.

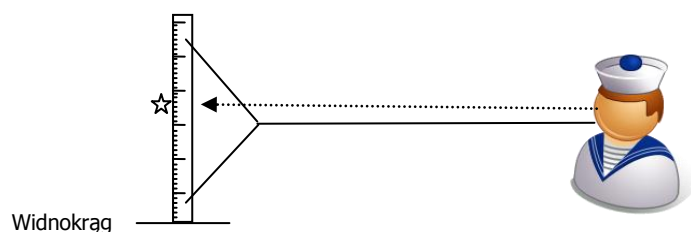
Użytecznym przyrządem jest kijek z przywiązany na jego końcu linką z ciężarkiem. Przesłaniając jego końcem gwiazdę, obciążona linka przecina widnokrąg wskazując

kierunek ciała niebieskiego. Technika ta pozwala również na wyznaczenie kierunku gwiazdy, która jest zasłonięta przez chmury. Zobaczmy to na przykładzie Gwiazdy Polarnej. Jedną z metod jej odnalezienia jest odmierzenie na przedłużeniu linii łączącej tylne koła Wielkiego Wozu pięciu odległości pomiędzy tymi kołami. Jeżeli tylne koła Wielkiego Wozu są widoczne, wystarczy odmierzyć na kijku tę odległość i przyłożyć kijek wzdłuż linii kół. Jego koniec wyznaczy położenie Gwiazdy Polarnej mimo że sama gwiazda jest zasłonięta.



Rysunek 4 Wyznaczanie pozycji zasłoniętej Gwiazdy Polarnej.

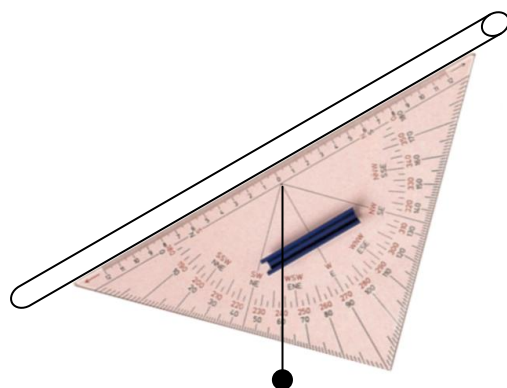
Wiele technik nawigacji awaryjnej wymaga wykonywania pomiarów wysokości ciał niebieskich nad horyzontem. Jeżeli nie dysponujemy sekstantem trzeba wrócić do instrumentów naszych przodków. Do pomiaru małych kątów (do  $15^\circ$ ) służy wynalazony przez Arabów Kamal. Jest to prostokątna deseczka z przyczepioną linką o stałej długości. Linkę przytrzymujemy zębami, deseczkę ustawiamy prostopadłe do widnokregu i na skali odczytujemy wysokość gwiazdy.



Rysunek 5 Kamal i sposób jego użycia.

Do zbudowania Kamal można wykorzystać przedstawioną wcześniej zależność: jeżeli linka będzie miała 57 cm długości, to każdy centymetr deseczki będzie odpowiadał jednemu stopniowi. Dokładność pomiaru przy pomocy Kamal sięga  $15'$ .

Jeżeli zachodzi konieczność pomiaru większych kątów niezbędne jest wykonanie prostego sekstantu wykonanego z rurki, trójkąta nawigacyjnego oraz linki z obciążeniem.



Rysunek 6 Sekstant awaryjny.

Do jego obsługi potrzebne są dwie osoby. Jedna wycelowuje lunetkę, a druga odczytuje zmierzony kąt. Dokładność takiego sekstantu nie przekracza 1-2°.

Zmierzone wysokości należy skorygować o stosowne poprawki tj. wysokość oka nad poziomem morza (D), refrakcję (R) oraz gdy mierzymy wysokość Słońca - poprawkę na jego średnicę (S). Mając tablice do astronawigacji jest to proste, natomiast bez nich trzeba zastosować pewne uproszczenia. Ogólny wzór na poprawianie zmierzonych wysokości jest następujący:

$$H_o = H_s - D - R \pm S$$

gdzie  $H_s$  jest zmierzoną wysokością.

Poprawka na wysokość oka nad poziomem morza D może być wyznaczona ze wzoru:

$$D = 1' \times \sqrt{h}$$

gdzie  $h$  jest wysokością oka na poziomem morza wyrażoną w stopach. Poprawki tej nie stosuje dla sekstantu awaryjnego, a także zwykłych sekstantów wyposażonych w sztuczny horyzont<sup>1</sup>.

Jako poprawkę na średnicę tarczy słonecznej  $S$  można przyjąć stałą wartość 16' (z błędem około 0,5'). W astronawigacji jako wysokość Słońca przyjmuje się wysokość środka jego tarczy, a mierzona jest wysokość dolnej albo górnej krawędzi, stąd konieczność poprawki.

Z refrakcją będzie nieco trudniej. Dla zmierzonych wysokości powyżej 6° można ją wyznaczyć ze wzoru:

$$R = 60' / H_s$$

---

<sup>1</sup> Ponieważ wtedy pomiar odbywa się względem linii pionu, która jest prostopadła do horyzontu, więc nie ma problemu z nierównoległością powierzchni horyzontu i widnokręgu.

Niestety dla wysokości mniejszych niż  $6^\circ$  poprawka na refrakcję jest nieliniowa i silnie rośnie wraz z maleniem mierzonej wysokości. Przybliżony wykres zależności refrakcji od wysokości (z błędem około  $1'$ ) można otrzymać korzystając z następującego algorytmu:

- Narysować prostokąt o rozmiarach  $3 \times 4$  jednostki.
- Na osi poziomej (dolny bok) narysować podziałkę dla zmierzonej wysokości w przedziale od  $0$  do  $6^\circ$
- Na osi pionowej (lewy bok) narysować podziałkę dla refrakcji od  $0$  do  $48'$
- Za pomocą cyrkla wbitego w prawy górny róg prostokąta zatoczyć łuk rozpoczynający się od wartości refrakcji  $34,5'$  (łatwo to zapamiętać ze względu na kolejne cyfry) dla wysokości  $0^\circ$ , a kończący na refrakcji około  $10'$  dla wysokości  $6^\circ$ .

Sposób wyznaczenia krzywej trzeba niestety zapamiętać, ale prawdziwi żeglarze wytatuują ją sobie na ramieniu ☺

## Wyznaczanie kierunku na podstawie gwiazd

Gwiazdy są fantastyczne. Możemy na nich polegać niezależnie od miejsca w którym się znajdujemy. Pozwalają określać kierunki zarówno na lądzie jak i na morzu. Mogą być świetnymi punktami orientacyjnymi przez całą noc. Jest tylko jeden warunek – musimy je znać. Atlas nieba na jachcie nie należy do artykułów pierwszej potrzeby, ale warto go ze sobą zabrać. Nie dla potrzeb nawigacji awaryjnej (choć jest bardzo cenną pomocą) ale przede wszystkim dla frajdy poznawania nieba.

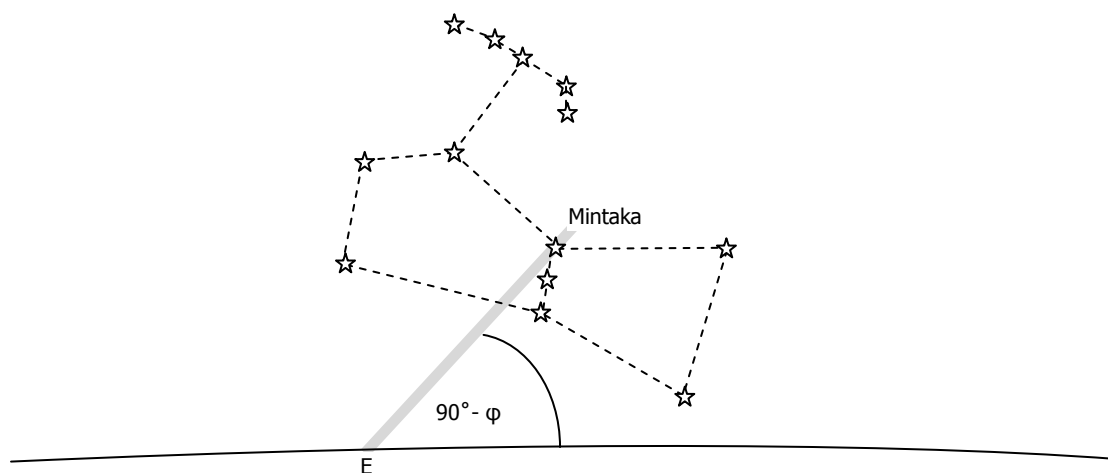
Gwiazdy pozwalają na dość łatwe wyznaczenie kierunków kardynalnych (N,S,E,W), ale korzystając z tarczy kompasowej i kilku prostych reguł możemy utrzymywać dowolny inny kurs.

## Gwiazda Polarna

Deklinacja Gwiazdy Polarnej wynosi  $89^\circ 18'$  czyli pomijając inne błędy pozwala na wyznaczenie kierunków z dokładnością do około  $1^\circ$ . Nawet jeżeli nie płyniemy na północ, to sterowanie z wykorzystaniem Gwiazdy Polarnej jako punktu odniesienia i tarczy kompasowej jest niewiele trudniejsze niż przy pomocy kompasu. Oczywiście im gwiazda jest niżej nad horyzontem tym jest to prostsze. Gwiazda Polarna jest widoczna do  $5^\circ$  szerokości północnej.

## Orion

To chyba najpiękniejsza konstelacja naszego nieba. W Polsce widoczna jest zimą. Pierwsza gwiazda pasa Oriona – Mintaka ma deklinację  $0^\circ$  czyli znajduje się nad równikiem. Oznacza to, że w tropikach (pomiędzy zwrotnikami) wschodząca Mintaka wyznacza kierunek E, a zachodząca kierunek W. W innych szerokościach wyznaczenie tych kierunków jest również możliwe, ale wymagana jest choćby przybliżona znajomość szerokości geograficznej  $\varphi$  na której się znajdujemy.

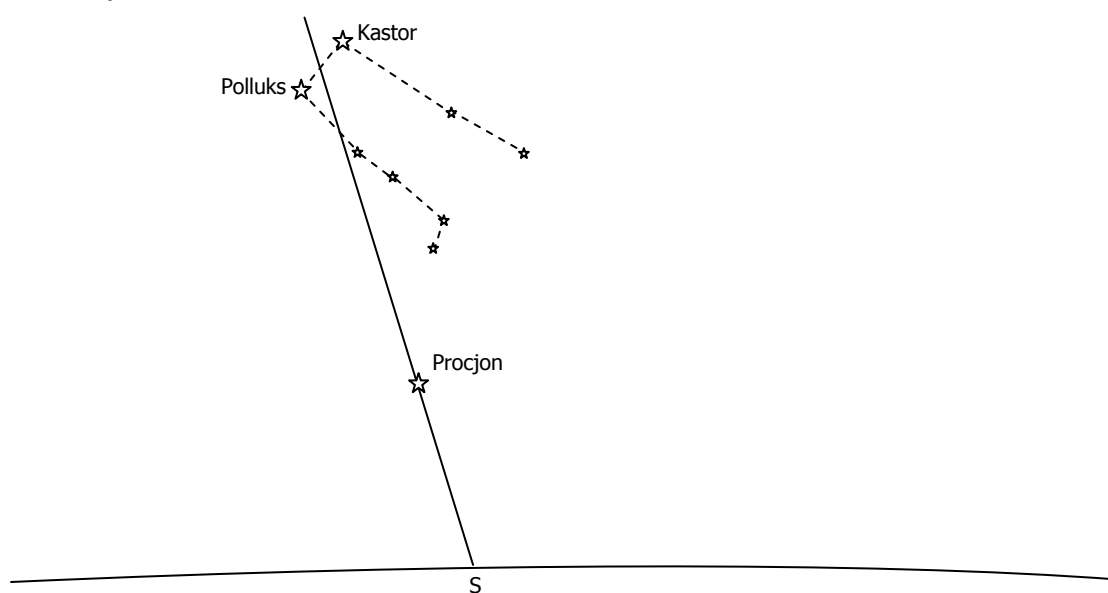


Rysunek 7 Wyznaczanie kierunku E lub W przy pomocy Oriona.

W celu wyznaczenia kierunku wschodniego należy ustawić kijek tak aby przecinał linię widnokręgu pod kątem  $90^\circ - \varphi$  i przesłaniał Mintakę. Miejsce przecięcia z linią widnokręgu wyznacza kierunek wschodni. W ten sam sposób możemy wyznaczyć kierunek zachodni w momencie gdy Orion zachodzi. Metoda ta może być stosowana mniej więcej do 3h po wchodzie lub 3h przed zachodem Mintaki. Poźniej błąd wyznaczenia kierunku zaczyna rosnąć, po upływie 3.5h osiąga  $10^\circ$ .

### Bliźnięta i Procjon

Kastor i Polluks z konstelacji Bliźniąt oraz gwiazda Procjon z gwiazdozbioru Małego Psa pozwalają na wyznaczenie kierunku południowego. Jeżeli Procjon znajduje się przynajmniej w połowie wysokości sfery niebieskiej, to linia rozpoczynająca się pomiędzy Kastorem i Polluksem oraz przechodząca przez Procjon wyznacza kierunek południowy.



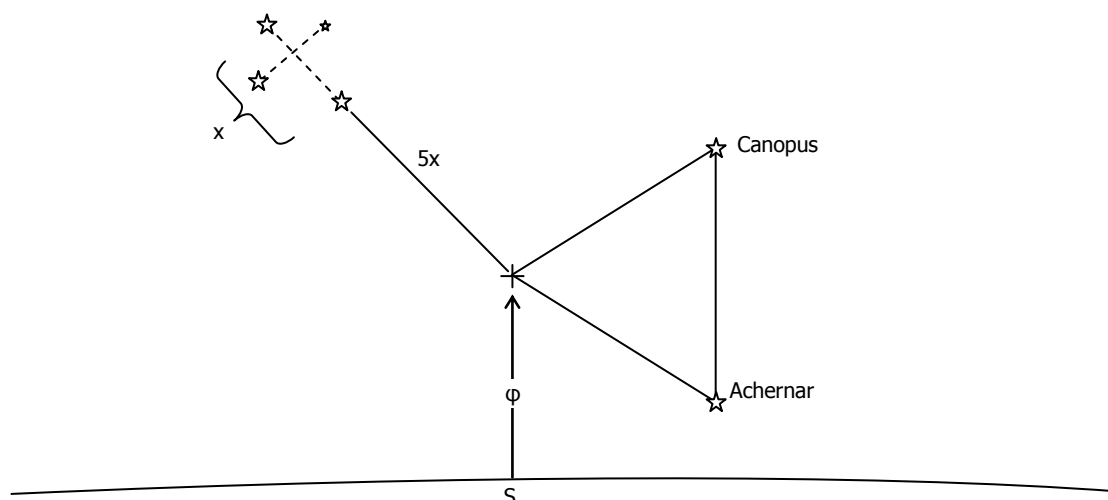
Rysunek 8 Wyznaczanie kierunku S przy pomocy Bliźniąt i Procjona.

Linia Bliźnięta-Procjon nie jest jedyną linią która może być wykorzystana do wyznaczania kierunku. Obserwując uważnie niebo można wyznaczyć inne linie utworzone przez jasne gwiazdy, które wskazują użyteczne kierunki. Ich przydatność będzie zapewne ograniczona do pewnych okresów nocy, ale jeśli wyznaczymy ich odpowiednio dużo to będziemy mogli dość łatwo określać kierunki przez większość nocy.

### Krzyż Południa

Na półkuli południowej nie ma dostatecznie jasnej gwiazdy wskazującej biegun południowy. Jego położenie może być jednak określone za pomocą tej samej techniki co w przypadku wyznaczania pozycji Gwiazdy Polarnej gdy jest ona zasłonięta przez chmury.

Biegun południowy znajduje się na przedłużeniu dłuższego ramienia Krzyża Południa, w odległości od dolnej gwiazdy trochę mniejszej niż 5 długości tego ramienia. Jest on również wierzchołkiem trójkąta równobocznego, w którego wierzchołkach znajdują się dwie jasne gwiazdy: Achernar i Canopus. Wyznaczenie tego trójkąta ułatwia znajomość szerokości geograficznej na której się znajdujemy.



Rysunek 9 Wyznaczanie kierunku S na podstawie Krzyża Południa.

Krzyż Południa wskazuje też kierunek południowy bezpośrednio, gdy dłuższe ramię jest prostopadłe do widnokregu (podczas górowania).

### Gwiazdy zenitalne i reguła połowy wysokości

Szczególną pozycją gwiazd, którą można wykorzystać do określania kierunku jest przechodzenie gwiazdy przez zenit. Gwiazda przechodząc przez zenit porusza się przez pewien czas kierunku zachodnim, po czym w zależności od jej deklinacji zaczyna się odchyłać w kierunku północnym (dla deklinacji północnej) lub południowym.

Na szczęście istnieje prosta zasada określająca jak zmienia się namiar na taką gwiazdę. Jeżeli gwiazda osiągnie wysokość nad horyzontem równą szerokości geograficznej na której się znajdujemy, to jednocześnie przesunie się w kierunku

północnym lub południowym o połowę tej szerokości. Dalsze śledzenie tej gwiazdy jest niecelowe, gdyż błąd określenia kierunku szybko rośnie.

Założmy że znajdujemy się na szerokości  $40^\circ$  N. Jeżeli wysokość gwiazdy zmaleje z  $90^\circ$  do  $40^\circ$  to oznacza że jednocześnie przesunęła się w kierunku północnym o  $20^\circ$ . Można przyjąć że jest to proces liniowy, dzięki czemu kierunek gwiazdy możemy wyznaczać od momentu górowania, aż do osiągnięcia wysokości równej naszej szerokości. Azymut zachodzącej gwiazdy (czyli jej namiar) dany jest z dokładnością do kilku stopni wzorem:

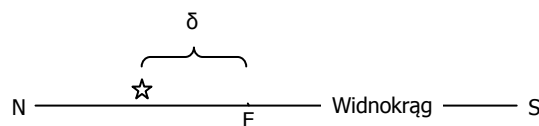
$$Az = 270 \pm \frac{\varphi}{2} \times \frac{90 - h}{90 - \varphi}$$

gdzie  $h$  jest zmierzoną wysokością nad horyzontem, a  $\varphi$  naszą szerokością geograficzną. Znak +/- zależy od tego czy gwiazda ma deklinację północną (+) czy południową (-). Czy ten wzór warto zapamiętać? Oczywiście nie. Znając zasadę, jego odtworzenie jest kwestią minut.

Reguła połowy wysokości obowiązuje również dla gwiazd wschodzących, z tym że ich namiar zmienia się w przeciwną stronę tj. zbliża się do wschodniego w miarę jak gwiazda po przekroczeniu wysokości równej naszej szerokości zbliża się do zenitu. Ale skąd mamy wiedzieć czy dana gwiazda stanie się gwiazdą zenitalną? Z poprzednich nocy, oczywiście o ile nasza szerokość geograficzna nie zmieni się znacznie.

### Zasada tropików

Reguła połowy wysokości działa w dowolnym miejscu na świecie, w przeciągu całego roku. Jednakże znajdując się w tropikach (pomiędzy zwrotnikami) możemy wykorzystać jej rozszerzoną wersję, która mówi że gwiazdę zenitalną możemy śledzić aż do momentu jej zachodu (a nie tylko do osiągnięcia przez gwiazdę wysokości równej naszej szerokości). W tropikach, amplituda (czyli namiar względem kierunku E lub W) dla każdej wschodzącej lub zachodzącej gwiazdy wynosi tyle ile jej deklinacja, a szerokość geograficzna obserwatora ma pomijalne znaczenie. Ponieważ gwiazda zenitalna ma zawsze deklinację równą naszej szerokości, to w momencie wschodzenia/zachodzenia takiej gwiazdy jej namiar względem E/W będzie różny o wartość szerokości geograficznej na której się znajdujemy.



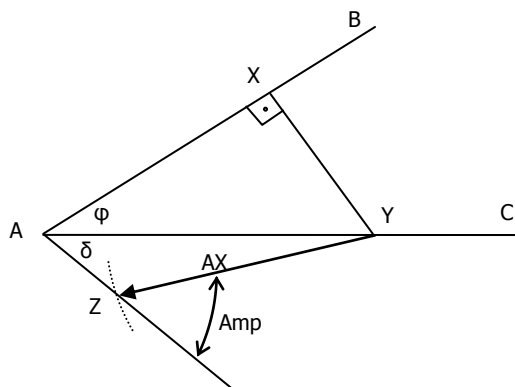
Rysunek 10 Reguła tropików dla wschodzącej gwiazdy o północnej deklinacji  $\delta$ .

Korzystając z odrobiny matematyki możemy pokusić się o wyznaczenie namiaru względnego na dowolną wschodzącą lub zachodzącą gwiazdę, w dowolnym miejscu na Ziemi. Namiar względem kierunku wschodniego (dla gwiazd wschodzących) lub zachodniego (dla zachodzących) dany jest wzorem:

$$\sin(Amp) = \frac{\sin(\delta)}{\sin(\varphi)}$$

gdzie  $\delta$  jest deklinacją gwiazdy, a  $\varphi$  naszą szerokością geograficzną.

Amplitudę można również wyznaczyć metodą graficzną przedstawioną na rysunku poniżej.



Rysunek 11 Graficzna metoda wyznaczania amplitudy wschodzącej lub zachodzącej gwiazdy.

1. Narysować kąt BAC równy szerokości geograficznej  $\varphi$
2. Narysować kąt CAD równy deklinacji gwiazdy  $\delta$
3. Z dowolnego punktu prostej AB narysować odcinek XY prostopadły do AB
4. Przy pomocy cyrkla, z punktu Y zakreślić łuk o długości AX, który przetnie prostą AD.
5. Kąt YZD jest szukaną amplitudą.

Skoro dość łatwo możemy wyznaczyć azymut dowolnej gwiazdy w momencie wschodu lub zachodu, to czy zakładając że dysponujemy zegarkiem nie byłoby możliwe wyznaczenie azymutu dowolnej gwiazdy w dowolnym momencie? Oczywiście tak, i jest to część procedury wyznaczania astronomicznej linii pozycyjnej z wysokości ciała niebieskiego. Niestety wymaga tablic do astronawigacji.

### Wyznaczanie deklinacji nieznanej gwiazdy

Czy istnieje możliwość określenia deklinacji nieznanej gwiazdy, bez posiadania atlasu nieba? Jeżeli znamy swoją szerokość geograficzną i wykonamy w miarę dokładne pomiary to tak. Należy wykorzystać zasadę, że współrzędne na sferze niebieskiej (deklinacja i rektascensja) odpowiadają współrzędnym geograficznym na powierzchni Ziemi, a gwiazda która w momencie swojego górowania jest w zenicie ma identyczne współrzędne jak nasza pozycja. Idąc dalej, jeżeli w momencie górowania gwiazda jest  $X$  stopni poniżej zenitu, oznacza to że jej deklinacja jest o  $X$  stopni mniejsza niż szerokość geograficzna na której się znajdujemy. Wykonanie takiego pomiaru wymaga określenia przebiegu południka niebieskiego (linii N-S przechodzącej przez zenit) oraz zmierzenia wysokości gwiazdy w momencie jej przejścia przez południk (górowania). Odjęcie zmierzonej wysokości od  $90^\circ$  daje nam odległość gwiazdy od zenitu.

### Ruch gwiazd

Jeżeli dysponujemy zegarkiem, to każda znana czy nieznana gwiazda może posłużyć do utrzymywania kierunku, pod warunkiem że jej wysokość podczas górowania nie przekracza  $45^\circ$ . Dla takich gwiazd wystarczająco dokładna jest zasada, która mówi

że na skutek ruchu dobowego sfery niebieskiej ich azymut zmienia się o  $15^\circ$  w ciągu godziny ( $360^\circ/24h$ ). Chcąc skorzystać z tej zasady należy dowolną metodą wyznaczyć jeden z kierunków, a następnie za pomocą tarczy kompasowej określić azymut gwiazdy i zanotować czas. Uwzględniając zmiany azymutu w czasie możemy łatwo utrzymywać założony kurs korzystając z tarczy kompasowej. Gdy gwiazda zachodzi wybieramy kolejną gwiazdę i powtarzamy proces.

Błąd tej metody rzadko przekracza  $5^\circ$ , a im niżej znajduje się gwiazda tym jest mniejszy. Po obu stronach południka niebieskiego błąd ma inny znak. Wykorzystując więc tę samą gwiazdę do utrzymania kierunku przed i po jej górowaniu spowodujemy że błędy się zniosą.

## **Wyznaczanie kierunku na podstawie Słońca**

Z punktu widzenia astronawigacji nie ma większych różnic pomiędzy wykorzystaniem Słońca i gwiazd, ale o pewnych kwestiach należy pamiętać. Po pierwsze, ze względu na roczny ruch Ziemi dookoła Słońca jego pozycja na sferze niebieskiej nie jest stała. Po drugie, patrząc bezpośrednio na Słońce bardzo łatwo jest uszkodzić wzrok. Konieczne jest zastosowanie filtrów, o co może nie być łatwo na jachcie. Trudność sprawia nie tylko wykonanie odpowiedniej osłony dla oczu, ale również jednoczesne posługiwanie się nią i przyrządem pomiarowym.

## **Wyznaczanie kierunku południowego (północnego)**

Kierunek południowy (północny na półkuli południowej) wskazuje Słońce w momencie górowania czyli o godzinie 12 czasu lokalnego. Nawet jeżeli dysponujemy zegarkiem z dokładnym czasem, to najprawdopodobniej godzina 12 na zegarku nie odpowiada godzinie 12 południka, na którym się znajdujemy.

Południe słoneczne można wyznaczyć korzystając z faktu, iż rzucany przez gnomon cień będzie wtedy najkrótszy. Jeżeli dysponujemy zegarkiem (wskazującym dowolny czas) można wykorzystać fakt że południe słoneczne przypada dokładnie w połowie czasu pomiędzy momentem wschodu i zachodu Słońca. Wykorzystując kamal i zegarek należy określić godzinę, o której Słońce podczas wschodu i zachodu osiągnie jakąś przyjętą wysokość nad horyzontem np.  $5^\circ$ . Wyznaczone czasy należy dodać do siebie i podzielić przez dwa. Wynik będzie wskazywał moment górowania Słońca.

Na przykład, założmy że podczas wschodu Słońce osiągnęło wysokość  $5^\circ$  o godzinie 0455, a podczas zachodu o 1920. Po zsumowaniu otrzymujemy 24h15m co podzielone przez 2 daje godzinę 1207.

Pomiary podczas wschodu i zachodu Słońca nie muszą być wykonywane tego samego dnia, a samo wyznaczenie momentu południa słonecznego warto powtarzać po przepłynięciu około 200 Mm. Popełniany błąd nie przekroczy 10 minut co jest najzupełniej wystarczającą dokładnością na potrzeby wyznaczenia kierunku.

## **Wyznaczanie linii wschód-zachód**

Do wyznaczenia linii wschód-zachód można wykorzystać fakt, że na tej linii porusza się koniec cienia rzucanego przez gnomon w przedziale godzina przed do godzina po południu słonecznym. Błąd metody nie przekracza kilku stopni, za wyjątkiem szerokości  $60^\circ$  i wyższych zimą, gdzie błąd jest znacznie większy. Technika ta jest dość trudna do zastosowania na morzu, ze względu na konieczność utrzymywania stałego kursu podczas prowadzenia pomiaru. Pomóc nam może wydłużenie gnomona, gdyż im dłuższy tym ruch cienia jest szybszy. Mocując do czubka gnomona

nitkę można zorientować jacht względem kierunku wiatru. Przy czym ustawienie jachtu na tym samym kursie wymagane jest jedynie w momencie oznaczania kolejnej pozycji cienia.

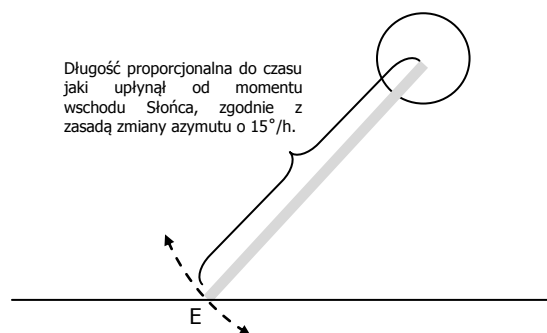
Latem na półkuli północnej Słońce wschodzi na północnym wschodzie, a zachodzi na północnym zachodzie. W swojej dziennej wędrówce na sferze niebieskiej przecina w pewnym momencie kierunek E, a następnie W. Dysponując tablicami wschodów i zachodów Słońca oraz znając swoją szerokość geograficzną można wyznaczyć te momenty. W tym celu należy obliczyć różnicę czasu wschodu Słońca dla naszej szerokości geograficznej oraz szerokości geograficznej przesuniętej o  $90^\circ$  w kierunku równika (np. dla  $\varphi=50^\circ\text{N}$ , druga szerokość wynosi  $40^\circ\text{S}$ ). Obliczona różnica jest okresem czasu od momentu wschodu Słońca, po upływie którego jego azymut będzie wynosił  $90^\circ$ .

### Wykorzystanie dziennego ruchu Słońca

Jeżeli Słońce podczas górowania nie przekracza wysokości  $45^\circ$  możemy wykorzystać identyczną jak w przypadku gwiazd zasadę zmiany azymutu o  $15^\circ$  w ciągu godziny. Zaczynając od znanego azymutu Słońca w danym momencie i wykorzystując tarczę kompasową oraz zegarek możemy dość łatwo wyznaczyć w zasadzie dowolny inny kierunek.

W jaki sposób wyznaczyć początkowy azymut Słońca? Na przykład określając południe słoneczne, albo wyznaczając azymut wschodu Słońca za pomocą gwiazd. Technika ta polega na określeniu przy pomocy gwiazd kierunku wiatru czy chmur na widnokręgu, a następnie przyjęcie ich jako punktu odniesienia do wyznaczenia azymutu wschodzącego Słońca. Ważne jest aby kierunek przy pomocy gwiazd wyznaczać jak najbliżej świtu.

Znając azymut wschodu Słońca możemy dość dokładnie wskazać ten punkt na widnokręgu w przeciągu do dwóch godzin od momentu wschodu. W tym celu należy wyskalować kijek zgodnie z zasadą  $15^\circ$  w ciągu godziny, po czym odmierzając odcinek na kijku proporcjonalny do czasu jaki upłynął od momentu wschodu zakreślić nim łuk rozpoczynający się od tarczy słonecznej i przecinający horyzont. Miejsce przecięcia z widnokręgiem jest miejscem wschodu Słońca.



Rysunek 12 Wyznaczanie punktu wschodu Słońca.

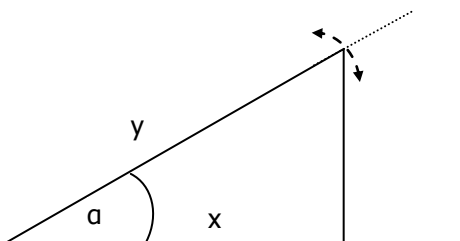
Wykorzystując tarczę kompasową możemy następnie wyznaczyć azymut Słońca względem znanego azymutu miejsca wschodu.

## Zasada tropików dla Słońca

Identycznie jak w przypadku gwiazd można skorzystać z zasady tropików, która mówi że amplituda zachodzącego lub wschodzącego Słońca jest równa jego deklinacji. Deklinację najlepiej wziąć z tablic do astronawigacji, ale jeśli takimi nie dysponujemy można ją w przybliżony sposób wyznaczyć ze wzoru:

$$Dec = 23,4^\circ \times \cos\left(90^\circ \times \frac{p}{p+r}\right)$$

gdzie  $p$  – liczba dni, począwszy od daty dzisiejszej, do najbliższego przesilenia czyli 21 grudnia lub 21 czerwca,  $r$  – liczba dni do najbliższej równonocy czyli 23 września lub 21 marca. A to co jest  $23,4^\circ$ ? To szerokość geograficzna zwrotników z błędem  $2'$ , ale dzięki kolejnym cyfrom łatwa do zapamiętania. Ale co zrobić jeśli nie dysponujemy kalkulatorem z wyposażonym w funkcje trygonometryczne? Można skorzystać z definicji cosinusa w trójkącie prostokątnym:  $\cos \alpha = x/y$



Rysunek 13 Wyznaczanie cosinusa kąta.

Chyba wstyd to dalej tłumaczyć, ale niech tam... Za pomocą trójkąta nawigacyjnego należy narysować dowolny trójkąt prostokątny z kątem  $\alpha$ , którego cosinusa poszukujemy. Jako  $y$  można przyjąć dowolną liczbę całkowitą odmierzoną np. cyrklem. Wartość  $x$  wyjdzie sama. Iloraz  $x/y$  obliczamy na najprostszym kalkulatorze np. z telefonu komórkowego lub wykonując dzielenie na papierze.

## Kompas słoneczny

Wyznaczając w różnych porach dnia azymut Słońca oraz mierząc w tym momencie jego wysokość, a także czas od momentu wschodu możemy naszkicować wykres zależności azymutu Słońca od jego wysokości lub upływu czasu. Ponieważ dynamika ruchu Słońca przed i po południu jest identyczna, to wyznaczone przed południem azymuty można przenieść symetrycznie na godziny popołudniowe, a pomiary wykonać jedynie dla sprawdzenia. Korzystając z wykresu możliwe jest wyznaczanie azymutu Słońca jedynie w oparciu o pomiar jednej z tych wielkości, interpolując pomiędzy punktami gdzie został on wyznaczony dokładnie.

Kalibrację takiego kompasu należy powtarzać po przepłynięciu ok. 200 Mm.

## Zakończenie

Nocne niebo jest jednym wielkim drogowskazem. Wychodząc jedynie od szerokości geograficznej, znajomości kilku gwiazd oraz zasad wyznaczania kierunków możemy stopniowo włączać całe niebo w proces nawigacji awaryjnej. Stale dostępna gwiazda-przewodniczka sprawi, że utrzymanie kierunku nocą będzie znacznie łatwiejsze niż w dzień.

Co jednak zrobić gdy niebo przykryje się chmurami lub opadnie mgła? Jeżeli sterowanie na wiatr czy falowanie okazałoby się niemożliwe należy rozważyć

położenie się dryf. Kontynuacja żeglugi w bliżej nieokreślonym kierunku wprowadzi bowiem nieznany, ale zapewne duży błąd do pozycji zliczonej.

Niezależnie od dokładności pomiarów na kierunek ruchu jachtu działają czynniki których wpływ jest bliżej nieznany. O ile dryf wiatrowy, przy pewnym doświadczeniu (o które też nie jest łatwo, bo kto w erze GPS się tym przejmuje i próbuje wyznaczyć?) można oszacować a nawet zmierzyć, to siły i kierunki prądów pozostają w dużym stopniu nieznane. Błędy wyznaczania kierunku oraz znos powodują, że wraz z upływem czasu nieoznaczoność naszej pozycji rośnie, a jej określenie (choćby w przybliżeniu) staje się coraz bardziej palącą potrzebą. Korzystając z technik nawigacji awaryjnej możemy pokusić się o jej wyznaczenie z dokładnością do kilkudziesięciu mil, ale to jest już opowieść na następny odcinek.