

Radiolokacja

Wykład 4

Wykrywanie na dużych i małych odległościach

Wymiary ech radarowych i możliwości ich korygowania



Horyzont radarowy

- Dla częstotliwości transmitowanych impulsów (ok. 10 i 3 GHz) droga tych impulsów może być uznawana (podobnie jak droga światła widzialnego) jako linia prosta.
- Horyzont radarowy zerowy jest odcinkiem stycznej do powierzchni Ziemi zawartym między anteną radaru a punktem styczności.
- Jak stąd wynika obiekty o małej wysokości h_0 , znajdujące się za horyzontem radarowym zerowym nie zostaną wykryte.

$$R_{h_0} = 1.93\sqrt{h_a} \quad [Mm]$$



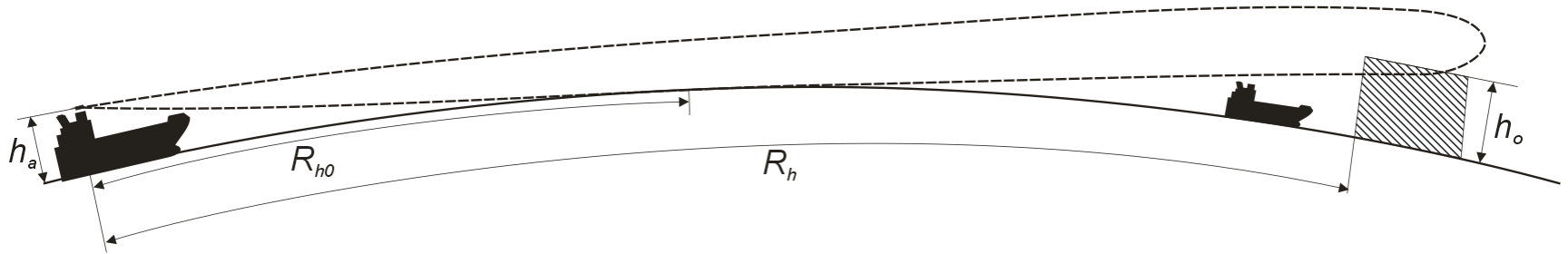
Horyzont radarowy

- Podczas normalnych warunków atmosferycznych charakterystyka antenowa zmierza ku dołowi wyginając się lekkim łukiem.
 - tj: Ciśnienie = 1013 hPa zmniejszające się o 36 hPa na 300 m wysokości, temperatura = 15°C zmniejszając się o 2°C na 300 m wysokości, wilgotność = 60%.
- Odległość do horyzontu radarowego można określić z wzoru:

$$R_{h0} = 2.21\sqrt{h_a} [Mm]$$



Horyzont radarowy



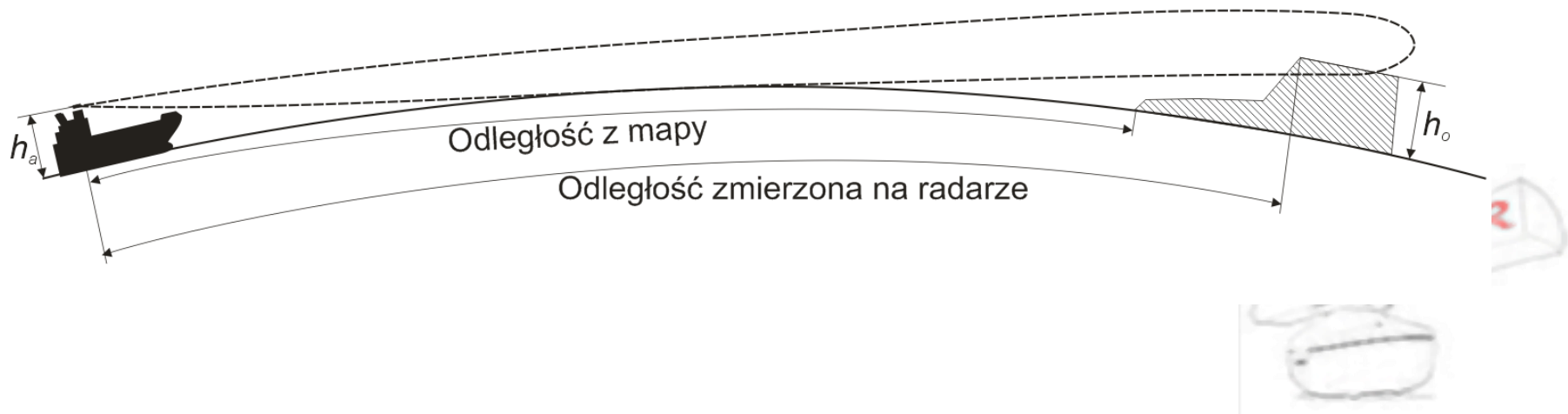
możliwość wykrycia obiektów zależy od wysokości anteny oraz wysokości wykrywanego obiektu. Odpowiada to formule:

$$R_h = 2.21 \left(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_o} \right) [Mm]$$



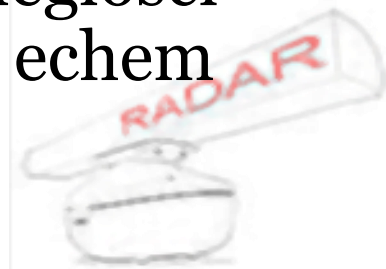
Wykrywanie na dużych odległościach

- Analizując powyższe zależności można stwierdzić, że w wypadku wysokiego obiektu będącego poza horyzontem radarowym zerowym istnieje możliwość wykrycia go na radarze o ile zasięg radaru na to pozwala. Obserwując takie echo na radarze należy mieć na uwadze, że wykryty obiekt może być wierzchołkiem góry w głębi łądu:



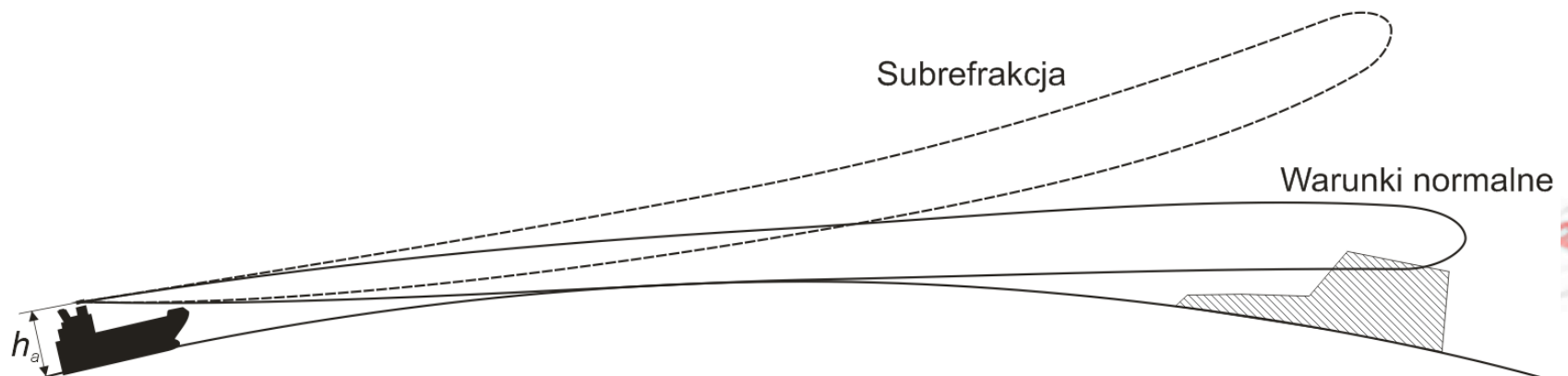
Wykrywanie na dużych odległościach

- Szczególnie ostrożnie należy interpretować obraz radarowy podczas podchodzenia do lądu z kierunku otwartego morza.
- Często zdarza się, że echa od obiektów z poza horyzontu radarowego zerowego nie rysują się ostro na ekranie radaru.
- Wówczas echa te należy interpretować jako niepewne i nie wykorzystywać do określania pozycji.
- Również należy uważać przy szacowaniu odległości do lądu gdyż nie zawsze odbierane echo jest echem od najbliższego fragmentu lądu.



Subrefrakcja

- W warunkach subrefrakcji wiązka promieni radaru jest wygięta do góry.
- Przypadek taki ma miejsce wówczas gdy temperatura powietrza maleje lub wilgotność rośnie wraz ze wzrostem wysokości.



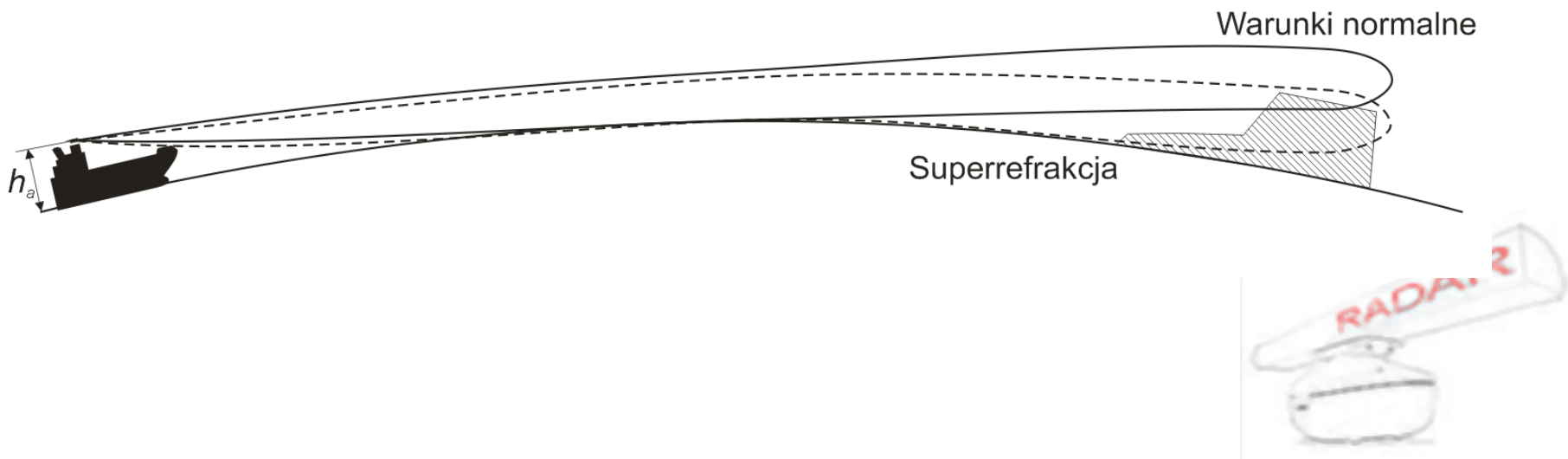
Subrefrakcja

- Warunki do powstania subrefrakcji zachodzą wówczas gdy, zimne powietrze przemieszcza się ponad ciepłą wodą.
- Jest to typowe zjawisko dla strefy subarktycznej. Zjawisko to może spowodować zmniejszenie zasięgu o ok. 40% normalnego horyzontu radaru.
- Może uniemożliwić wykrycie małych łodzi rybackich, niskich gór lodowych itp.



Superrefrakcja

- W warunkach superrefrakcji wiązka promieni radaru jest wygięta bardziej do dołu niż w warunkach normalnych.



Superrefrakcja

- Warunki sprzyjające powstaniu superrefrakcji są wówczas gdy temperatura powietrza rośnie lub wilgotność maleje wraz ze wzrostem wysokości. Zjawisko to powoduje zwiększenie horyzontu radarowego.
- Extra - superrefrakcja (dukty) – w warunkach wystąpienia bardzo silnej superrefrakcji może dojść do zjawiska extra-superrefrakcji. Zjawisko to zachodzi wówczas gdy mikrofałe ulegają wielokrotnemu odbiciu od wody oraz warstwy inwersyjnej powietrza. Wówczas to mogą się one rozchodzić na bardzo duże odległości, wywołując nawet kilkunastokrotne zwiększenie horyzontu radarowego.



Superrefrakcja

- Warunki super i extra-superrefrakcji mogą zajść wówczas gdy:
 - występuje poziome przesuwanie się ciepłych mas powietrza ponad chłodniejszym morzem wówczas to temp. rośnie a wilgotność maleje wraz z wysokością,
 - występują warunki wysokiego ciśnienia wraz z prądami zstępującymi,
 - podczas bezwietrznej słonecznej pogody.
- Jest to zjawisko charakterystyczne dla strefy tropikalnej, możliwe również do zaobserwowania na Bałtyku w okresie letnim.



Tłumienie ośrodka

- Równanie radarowe określające maksymalny zasięg radaru nie uwzględnia strat wynikłych na wskutek tłumienia mikrofal w atmosferze.
- Do głównych czynników powodujących tłumienie mikrofal można zaliczyć: mgłę, deszcz, grad, śnieg, dymy, zanieczyszczenia przemysłowe.
- Wpływ tłumienia fali przez opady zależne jest od jej długości.
- Z badań wynika, że fale o długości 10 cm podlegają bardzo małemu tłumieniu przez opady.
- Tłumienie ma znaczny wpływ na fale o długości 3 cm.



Tłumienie ośrodka

- **Mgła** wywołuje tłumienie w zależności od gęstości oraz rodzaju. Z badań wynika, że tylko bardzo gęsta mgła występująca w rejonach arktycznych powoduje zmniejszenie maksymalnego zasięgu radaru. Ze względu na małe rozmiary cząstek mgły nie widać jej echa na radarze.
- **Deszcz** powoduje ograniczenie zasięgu radaru na skutek tłumienia fal oraz odbijania impulsów sondujących od kropeł wody. Wielkość tłumienia zależna jest od intensywności oraz rodzaju deszczu. Podczas dużej intensywności deszczu może dojść do zmniejszenia zasięgu do 60% normalnego zasięgu radaru. Zasięg wykrywalności radaru maleje silniej gdy obiekt znajduje się w obszarze opadów w stosunku do obiektu znajdującego się poza tym obszarem.
- Opady deszczu dają echa na radarze, których siła zależy od wielkości kropeł.

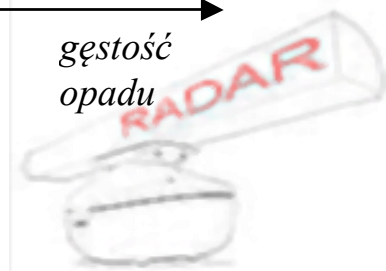
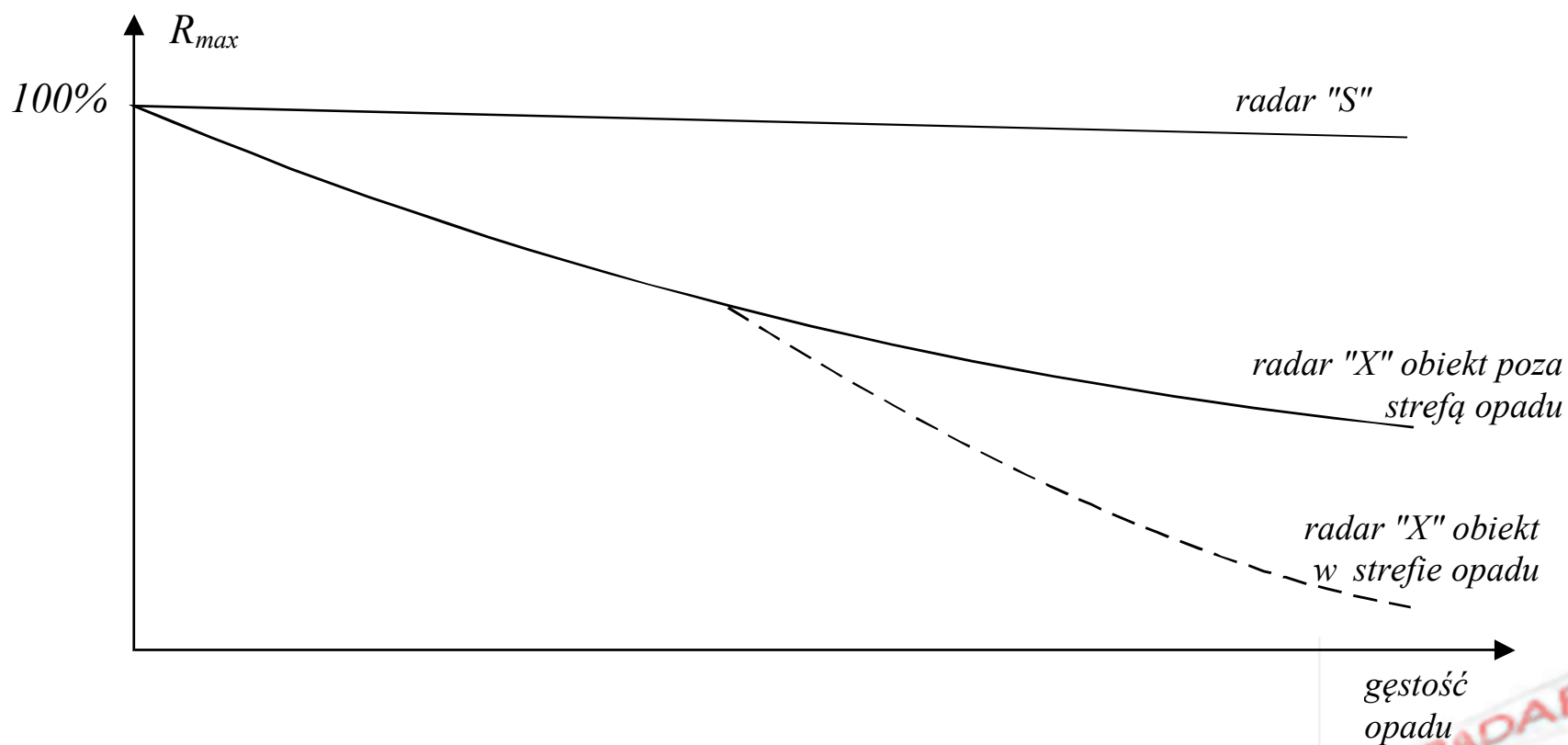


Tłumienie ośrodka

- **Grad i śnieg** wywołują mniejsze tłumienie niż deszcz oraz powodują przy tej samej intensywności wystąpienie dużo większych ech na radarze.
- Grad i śnieg powodują znaczne zmniejszenie zasięgu radaru dla obiektów znajdujących się w obrębie opadów. Zmiana zasięgu dla obiektów poza strefą opadów jest mała.



Tłumienie fal radarowych przez opady



Wykrywanie na małych odległościach

- Wykrywanie na małych odległościach może być ograniczone poprzez :
 - Zasięg minimalny
 - Strefę martwą
 - Sektor cienia pionowego



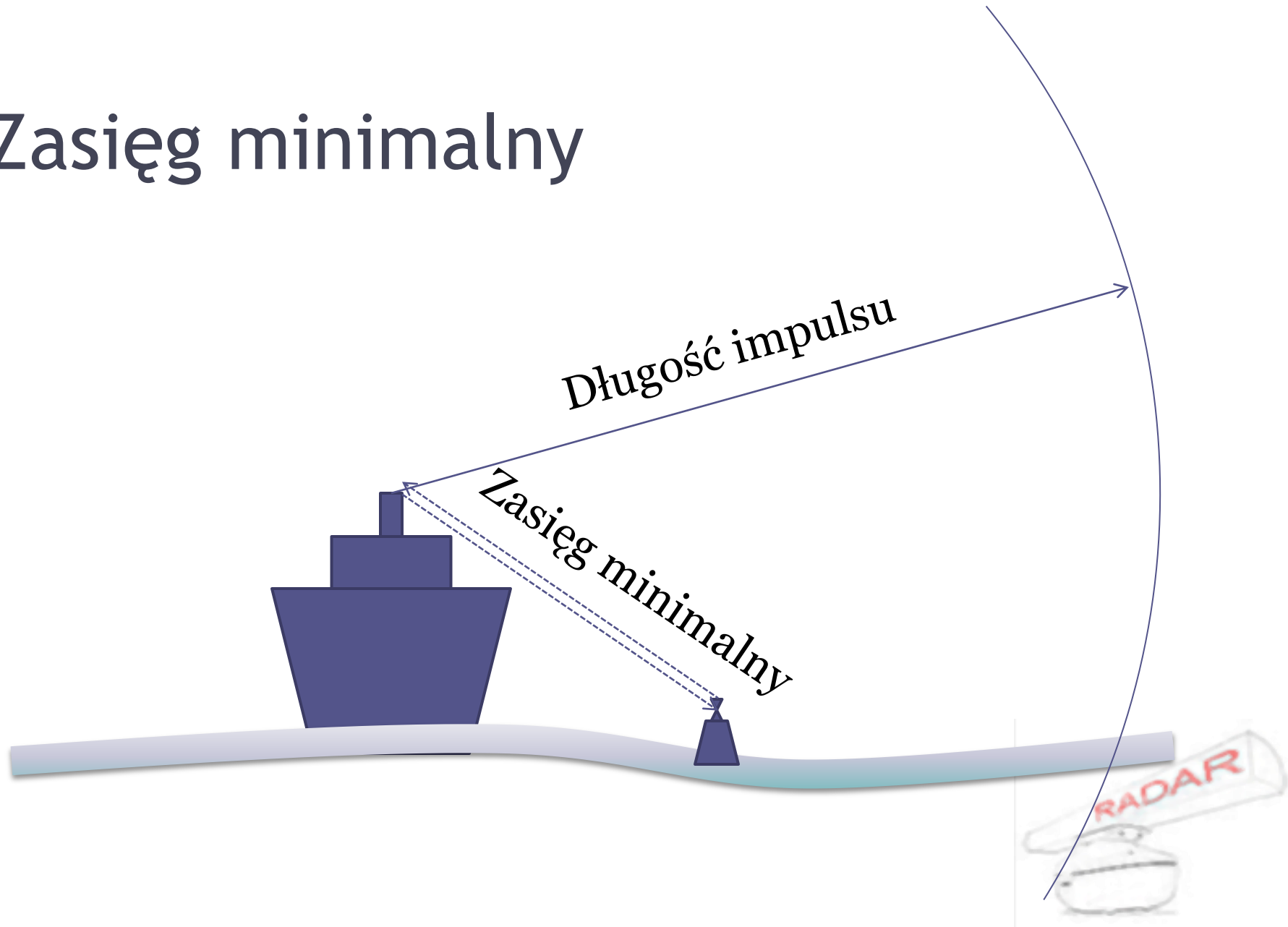
Zasięg minimalny

- Radar nie jest w stanie odebrać sygnału powracającego od obiektu, wówczas gdy jest w trakcie wysyłania impulsu lub jest w trakcie przełączania się z nadawania na odbiór.
- Radar nie może wykryć obiektów położonych bliżej niż połowa długości impulsu sondującego.
- Minimalny zasięg wyznacza się wybierając najkrótszą dostępną długość impulsu oraz uwzględniając czas przełączenia się z nadawania na odbiór.

$$D_{\min} = \frac{c\tau}{2} \quad \rightarrow \quad D_{\min} = (0.6 \div 1.2)c\tau$$



Zasięg minimalny

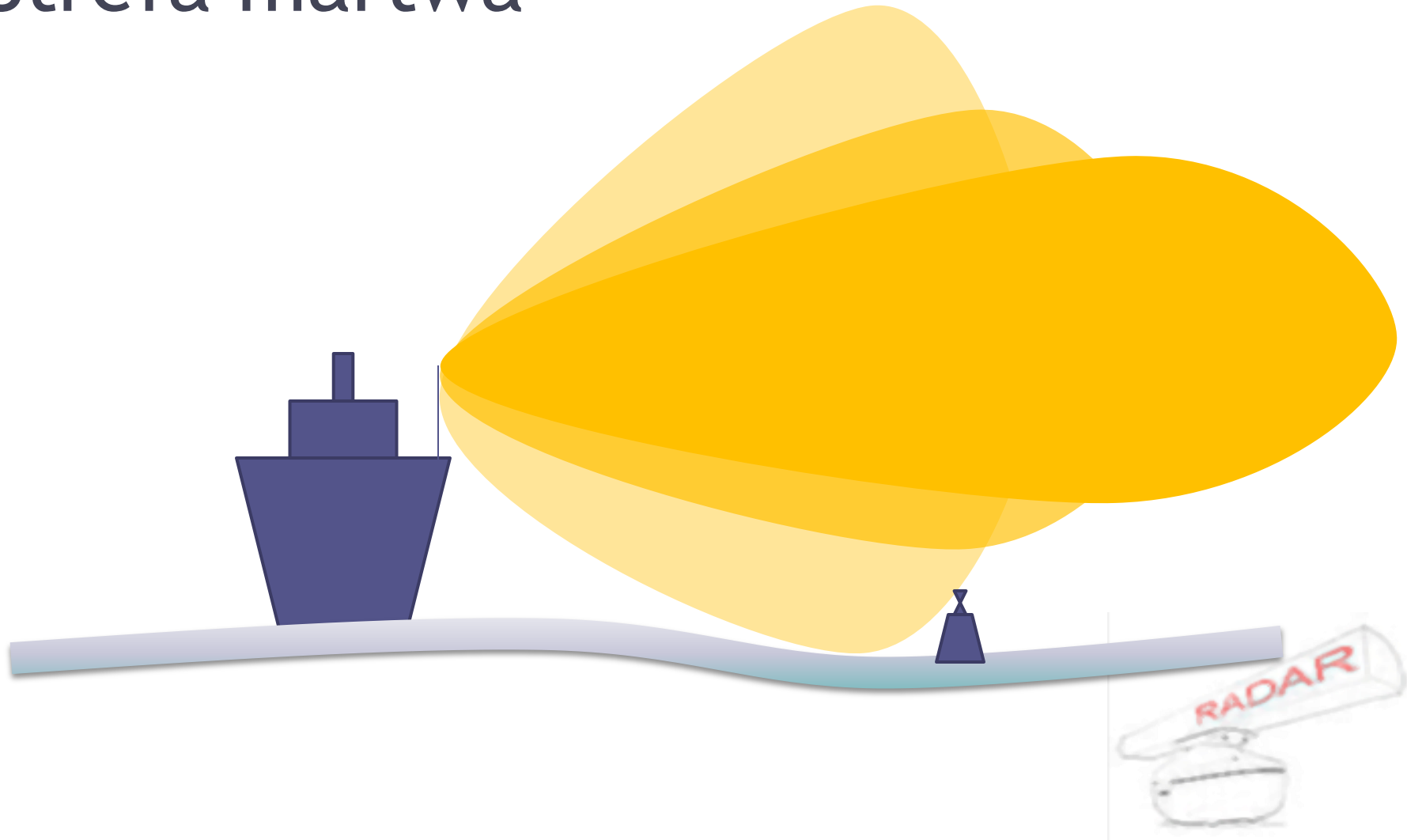


Strefa martwa

- Ograniczenie wykrywania obiektu na małych odległościach występujące, gdy antena radaru umieszczona jest a tyle wysoko, że punkt styczności charakterystyki antenowej z powierzchnią wody jest dalej niż odległość wynikająca z minimalnego zasięgu radaru.
- Wówczas obiekty, które są położone poniżej wiązki promieniowania teoretycznie nie będą wykryte przez radar.
- Łatwo zauważyć, że strefa martwa będzie wzrastać wraz z wysokością anteny.



Strefa martwa

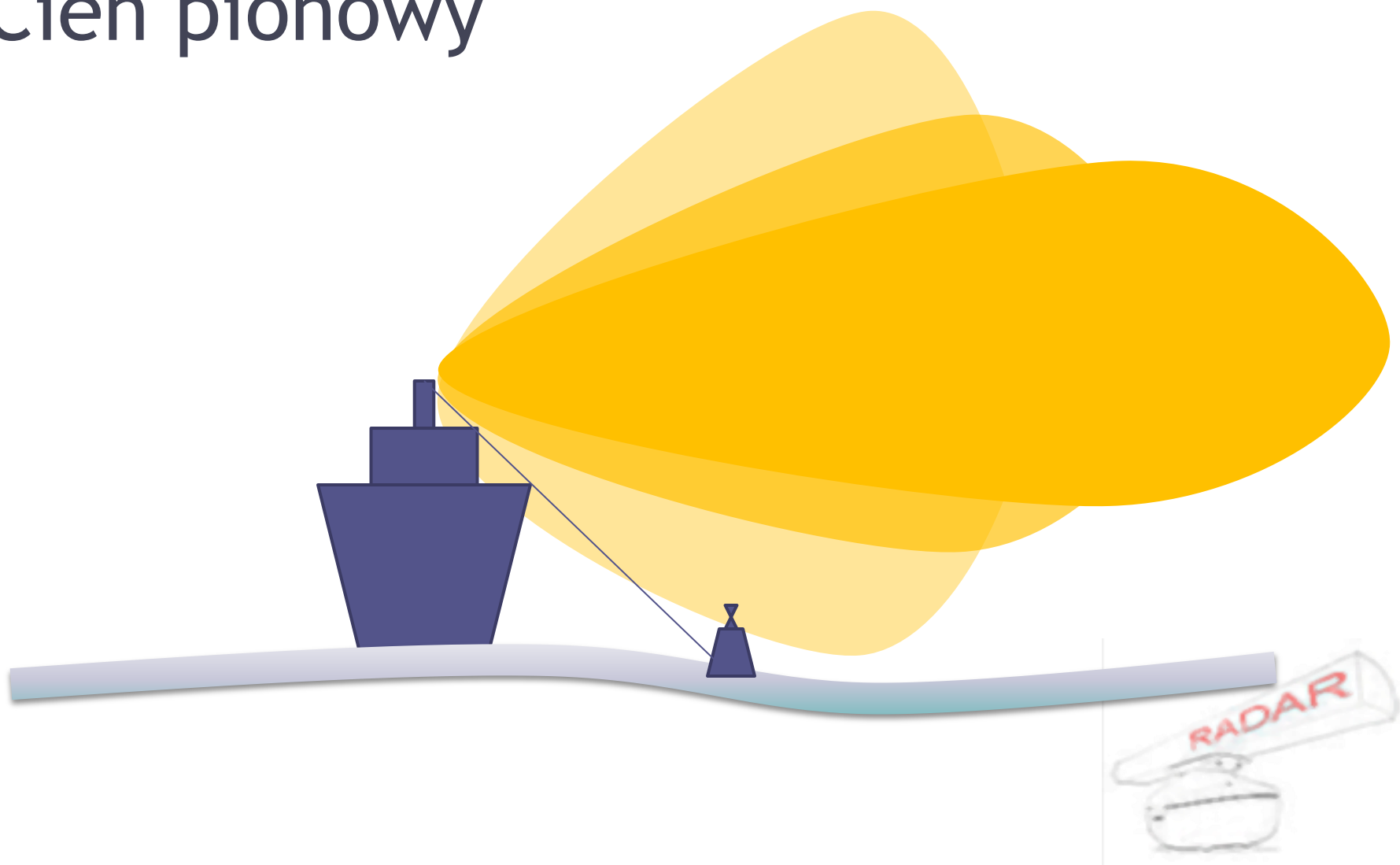


Cień pionowy

- Występuje wówczas, gdy na drodze promieni znajdzie się przeszkoda nieprzepuszczalna dla mikrofal.
- Zjawisko to często występuje na kontenerowcach, gdzie na kierunku dziób-rufa wysoko poukładane kontenery nie przepuszczają mikrofal.
- Obiekt jeżeli znajduje się w obrębie cienia pionowego nie zostanie wykryty.

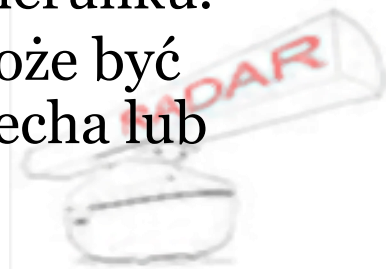


Cień pionowy



Ograniczenia wykrywania w płaszczyźnie poziomej

- Sektory cienia i półcienia poziomego – jeżeli na drodze rozchodzenia się mikrofal występują elementy konstrukcyjne statku, to powodują one powstawanie sektorów cienia i półcienia radarowego.
- W sektorach tych zasięg radaru znacznie spada, w niektórych przypadkach nawet do 0.
- Wielkość tych sektorów zależy od rozmiarów elementu ekranującego, odległości od anteny, rozpiętości i rodzaju anteny.
- Jeżeli szerokość obiektu ekranującego jest większa od szerokości anteny to należy się spodziewać powstania sektora cienia radarowego obejmującego całą przestrzeń na danym kierunku.
- Nieznajomość położenia sektorów cienia i półcienia może być niebezpieczna gdyż powodują one brak lub osłabienie echa lub pojawienie się ech fałszywych.

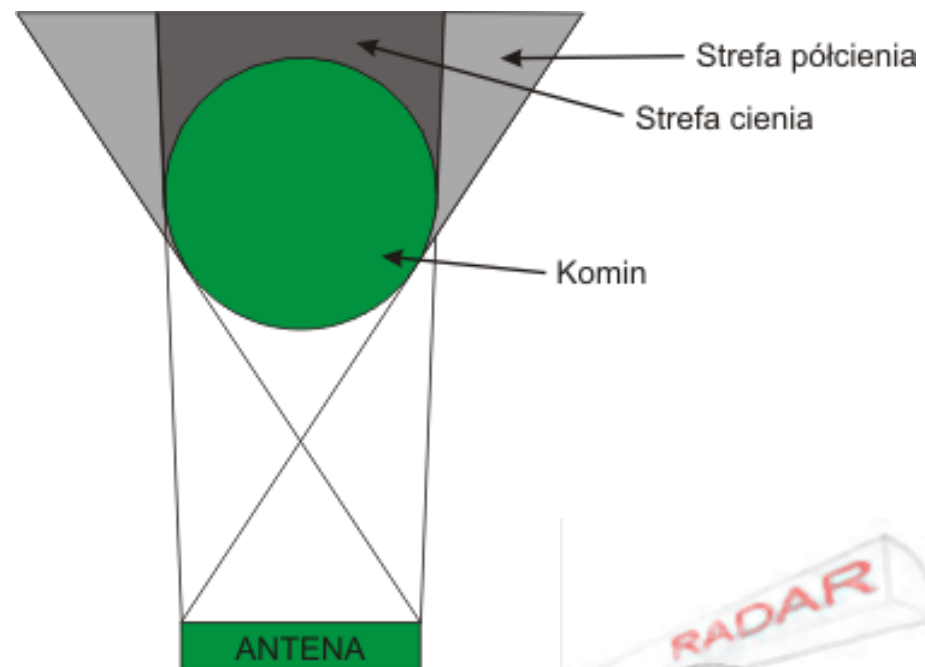
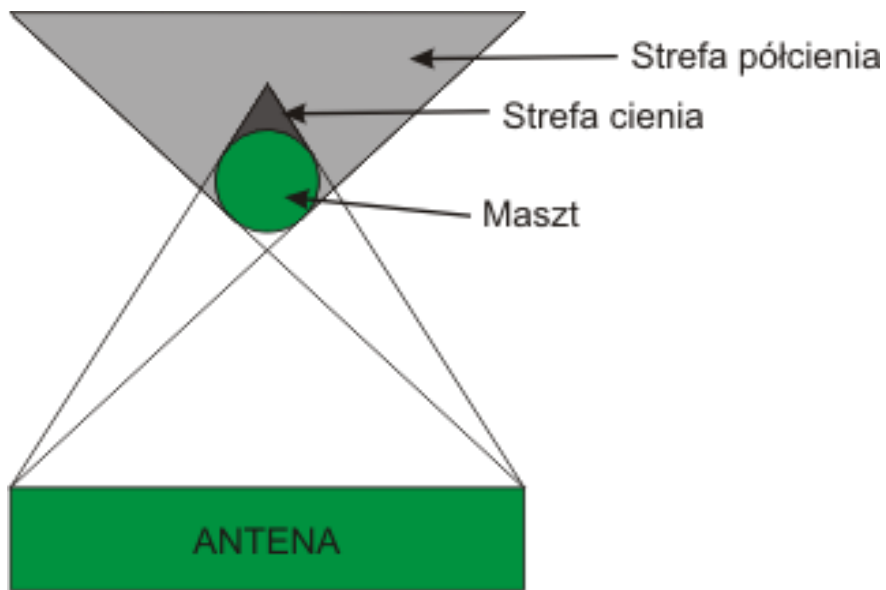


Minimalny zasięg wykrywania

- Zgodnie z wymogami IMO minimalny zasięg wykrywania, który wynika:
 - z długości zastosowanego impulsu sondującego,
 - strefy martwej (wysokości anteny, charakterystyki pionowej anteny)
 - Przesłonięcia (cienia pionowego) elementami konstrukcyjnymi statku
- Dla anteny umieszczonej na wysokości 15m nie powinien być większy niż 40m.



Sektory cienia i półcienia



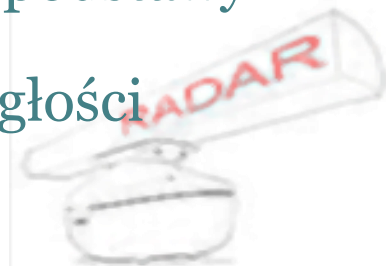
Rozmiar echa

- Echo obserwowane na ekranie radaru można interpretować w wymiarze odpowiadającym skali ekranu oraz w wymiarze przestrzennym.
- W skali ekranu wielkość echa jest mierzona w milimetrach gdy jego wymiar przestrzenny jest mierzony w metrach lub milach morskich.
- Dla praktyki nawigacyjnej, dla nawigatora bardziej przydatny jest wymiar przestrzenny.



Rysowanie echa

- W momencie wysyłania impulsu sondującego przez nadajnik –
 - strumień elektronów w lampie oscyloskopowej zaczyna się, pod wpływem układu podstawy czasu, odchyłać, kreśląc na jej ekranie promień podstawy czasu.
 - Następuje wybór kolejnych komórek pamięci do zapisu
- Prędkość odchylenia jest stała w wymiarze przestrzennym $c/2$ a w wymiarze ekranowym zależy od zakresu obserwacji, na jakim radar pracuje.
- W momencie odebrania przez odbiornik impulsu echa,
 - na ekranie lampy radaroskopowej (na promieniu podstawy czasu) występuje wyblask.
 - Zostaje zapisana jedynka w odpowiedniej do odległości komórce pamięci



Rysowanie echa

- Odległość
 - plamki wyblysku od punktu startu promienia podstawy czasu (środką zobrazowania)
 - Wyznaczona przez numer komórkijest proporcjonalna do odległości obiektu od radaru.
- Kątowe położenie promieniowania podstawy czasu na ekranie jest zsynchronizowane z kątowym położeniem anteny, co umożliwia określenie kierunku, w jakim wykryty obiekt się znajduje.



Rozmiar promieniowy

- Długość promieniowa wyblysku na ekranie jest sumą średnicy plamki świetlnej oraz połowy długości impulsu echa.
- Z kolei czas trwania impulsu echa może przybrać wartość najmniejszą równą czasowi impulsu sondującego lub może być większy o wartość czasu przelotu mikrofal nad obiektem.



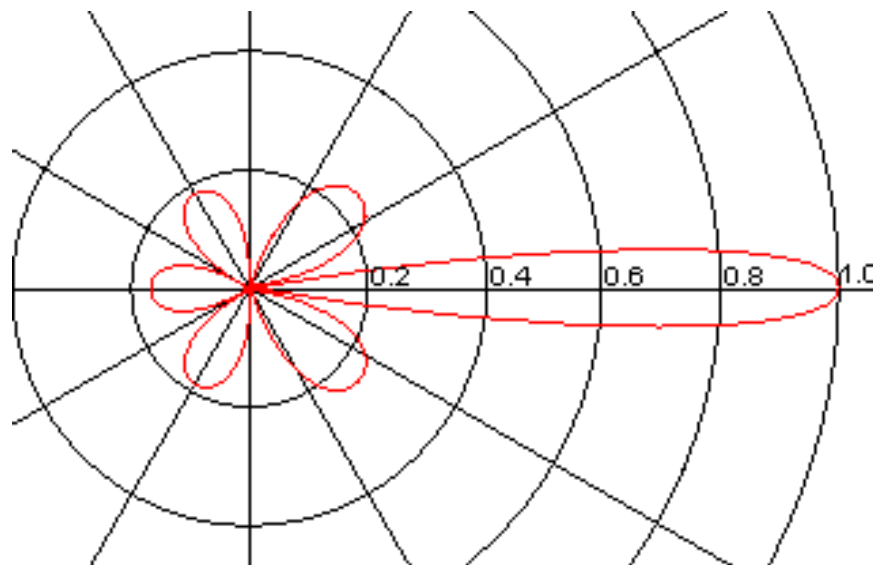
Rozmiar kątowy

- Jeśli następny impuls sondujący trafi również w obiekt - spowoduje to powstanie następnego wyblysku przesuniętego nieco kątowno zgodnie z kierunkiem obrotu podstawy czasu lecz najczęściej pokrywającego się częściowo z poprzednim.
- Najczęściej kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt kolejnych impulsów trafia w obiekt punktowy powodując kolejne wyblyski, co w efekcie daje wypadkowy obraz echa na ekranie.

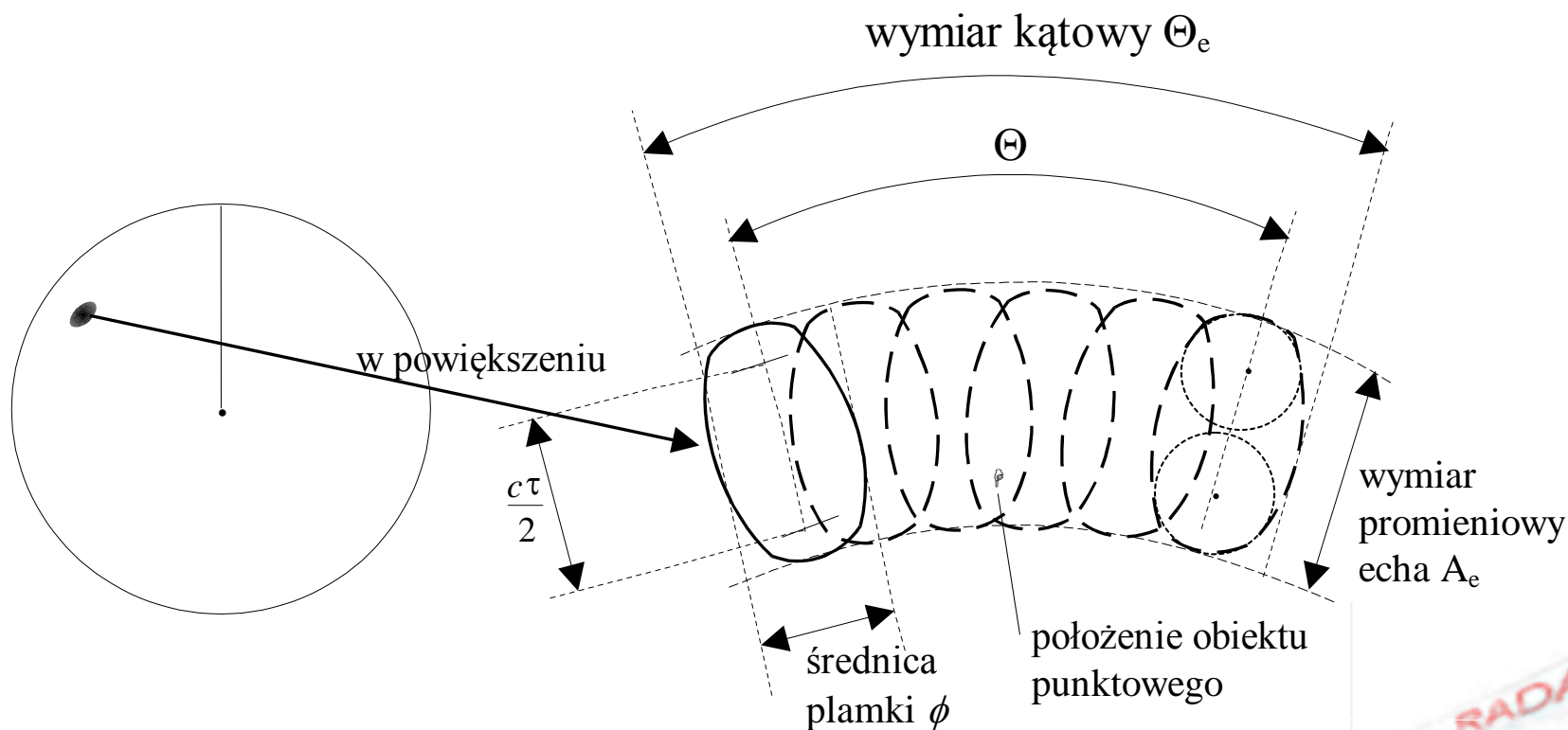


Rozmiar kątowy

- Wybłąski trwają dotąd, aż charakterystyka antenowa całym przekrojem poprzecznym przesunie się nad obiektem



Rozmiar echa od obiektu punktowego



Rozmiar echa

- W ogólnym przypadku rozmiar echa charakteryzują zależności:

$$A_e = \frac{c\tau}{2} + \phi + r$$

$$\Theta_e = \Theta + \angle\phi + \alpha$$

gdzie :

A_e - wymiar promieniowy echa,

Θ_e - wymiar kątowy echa ,

r, α - rozmiar promieniowy obiektu, kąt widzenia obiektu - pod warunkiem, że obiekt odbija całą powierzchnią.



Czas trwania impulsu echa

- W czasie kolejnych sondowań ilość energii odbijanej od obiektu punktowego ulega zmianie co powoduje zmianę amplitudy echa.
- Wzrost amplitudy w rzeczywistości nie idealnie prostokątnych impulsów jest przyczyną zwiększania się czasu trwania impulsu mierzonego na poziomie progu wyświetlania, co prowadzi do zwiększenia promieniowego wymiaru echa.



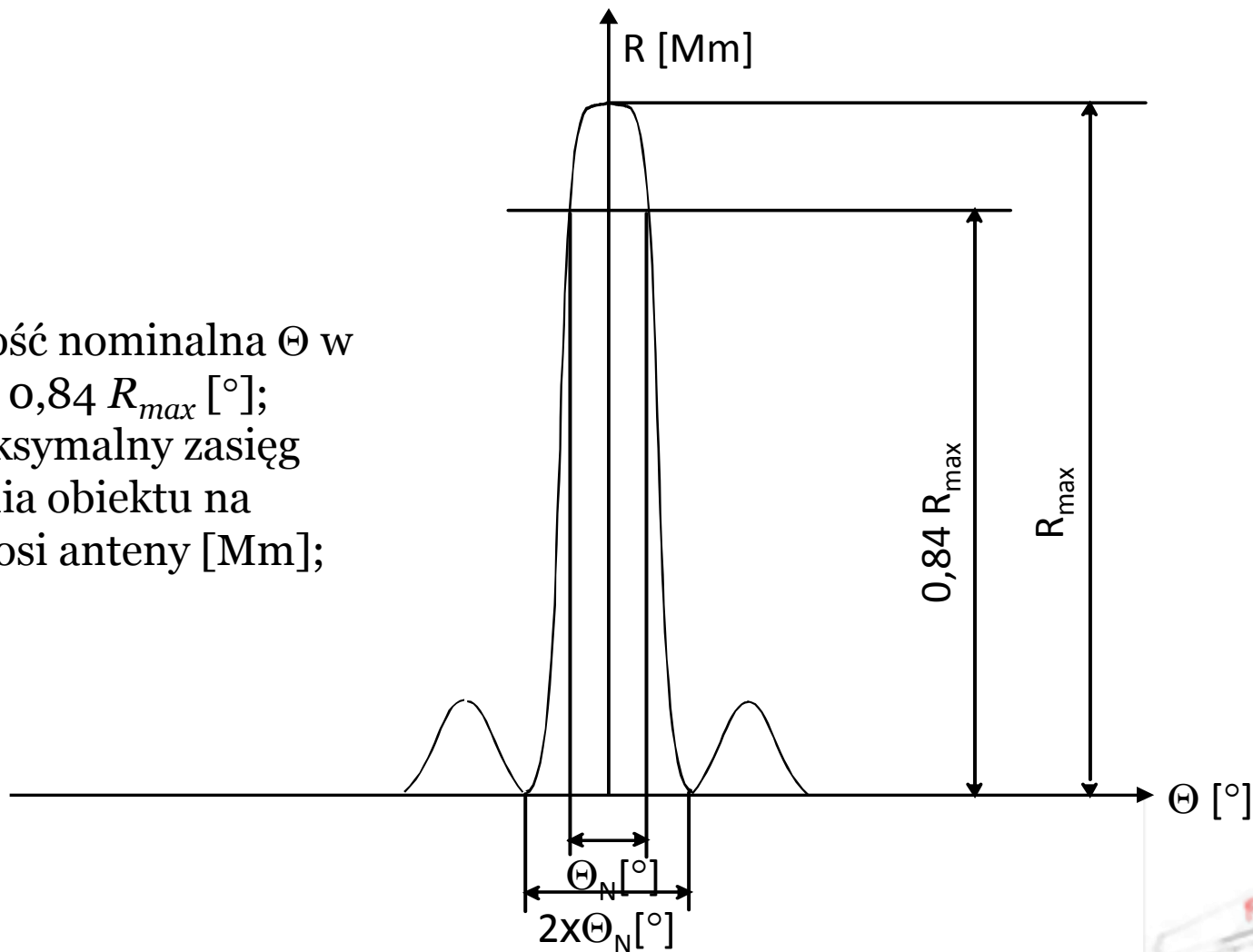
Pozioma charakterystyka promieniowania

- Założenie, że szerokość kątowna echa Θ_e jest równa szerokości charakterystyki poziomej promieniowania anteny na poziomie 3 dB jest dość grubym przybliżeniem.
- W rzeczywistości szerokość kątowna echa jest wielkością zmienną dla danego typu radaru i zależy od relacji odległość obiektu / zasięg, a więc np. od wielkości wzmocnienia sygnału w odbiorniku, czasu trwania impulsu sondującego, dokładności strojenia, położenia pokrętła ZRW, itp.
- Na podstawie kształtu przekroju poziomego charakterystyki promieniowania anteny oraz przy założeniu, że szerokość listka głównego charakterystyki w odległości 0 jest w przybliżeniu równa dwukrotnej szerokości na poziomie 0.84 zasięgu (3dB), można określić szerokość kątowną echa w funkcji odległości od obiektu.
- Należy zauważyć, że w wypadku oddziaływania listków bocznych wymiar kątowny charakterystyki znacznie wzrasta.



Pozioma charakterystyka promieniowania

Θ_N - wartość nominalna Θ w odległości $0,84 R_{max}$ [$^\circ$];
 R_{max} - maksymalny zasięg wykrywania obiektu na poziomie osi anteny [Mm];



Częstotliwość powtarzania i prędkość obrotowa anteny

- Liczba impulsów (m) odbitych od obiektu punktowego w czasie jednego obrotu anteny zależy od częstotliwości impulsowania (f_p), szerokości charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej (Θ) oraz prędkości obrotowej anteny (n), wyraża się wzorem:

$$m = \frac{\Theta * f_p}{6 * n} [\text{bezwym.}]$$

gdzie:

Θ [°],
 f_p [Hz],
 n [obr/min]



Częstotliwość powtarzania i prędkość obrotowa anteny

- Możliwe jest wystąpienie sytuacji, w której pierwszy (lub ostatni) impuls sondujący z liczby wyznaczonej wzorem nie zostanie odbity od obiektu, na skutek czego wymiar szerokościowy echa ulegnie zmniejszeniu.
- Szerokość kątowna pomiędzy dwoma impulsami sondującymi (\mathcal{N}) wynosi:

$$\mathcal{N} = \frac{6 \cdot n}{f_p} [^\circ]$$

zmniejszenie szerokości - pulsacja echa z tego tytułu wyniesie \mathcal{N} .



Koniec

