

# Radiolokacja 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:

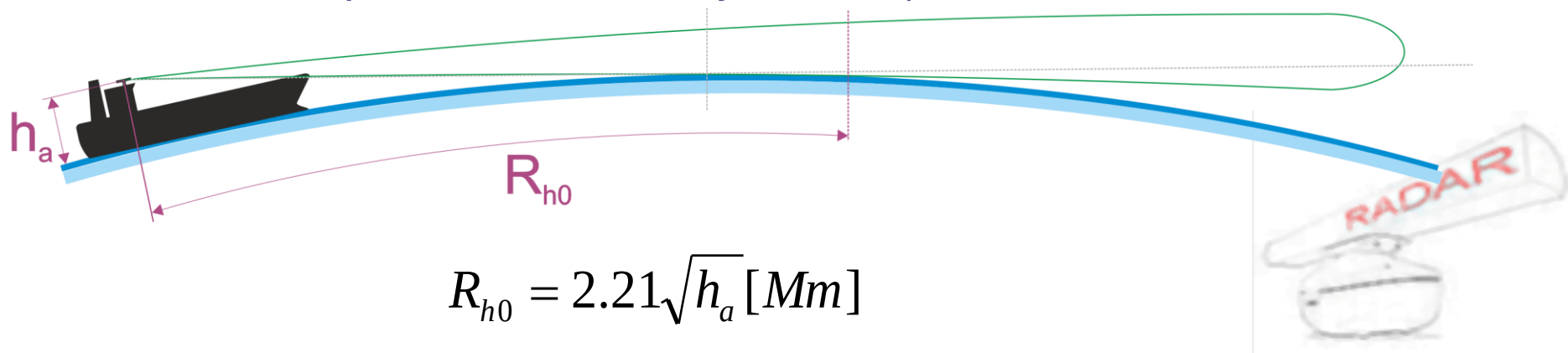
$$R_{h0} = 1.93\sqrt{h_a} \quad [Mm]$$

- Jak stąd wynika obiekty o małej wysokości  $h_0$ , znajdujące się za horyzontem radarowym zerowym nie zostaną wykryte.



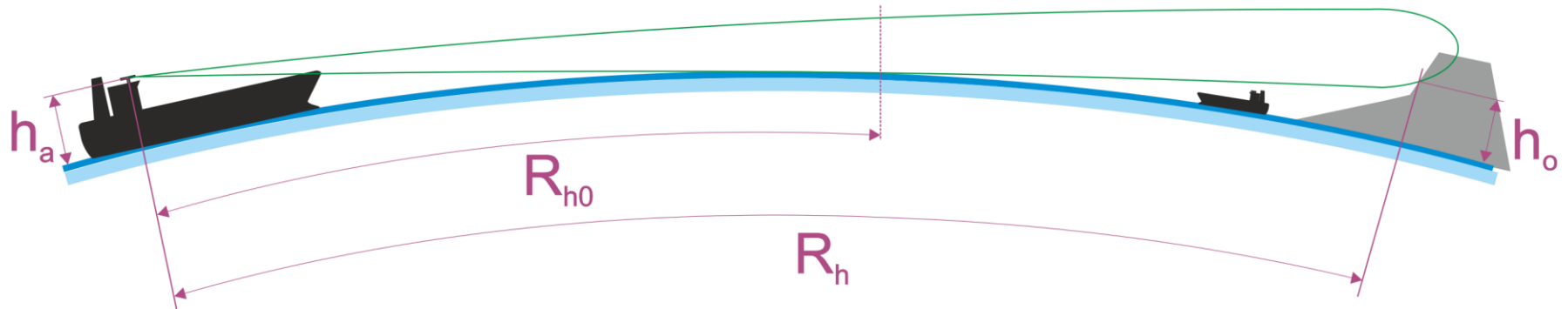
# Horyzont radarowy

- Podczas standardowych 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, stała wilgotność względna = 60% (niezależnie od wysokości).



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

# Wykrywanie na dużych odległościach



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

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



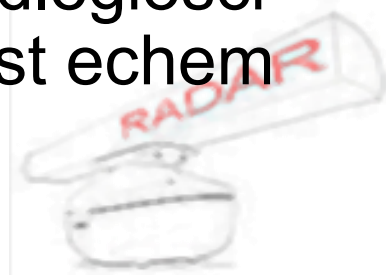
# Wykrywanie na dużych odległościach

- 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 lądu:



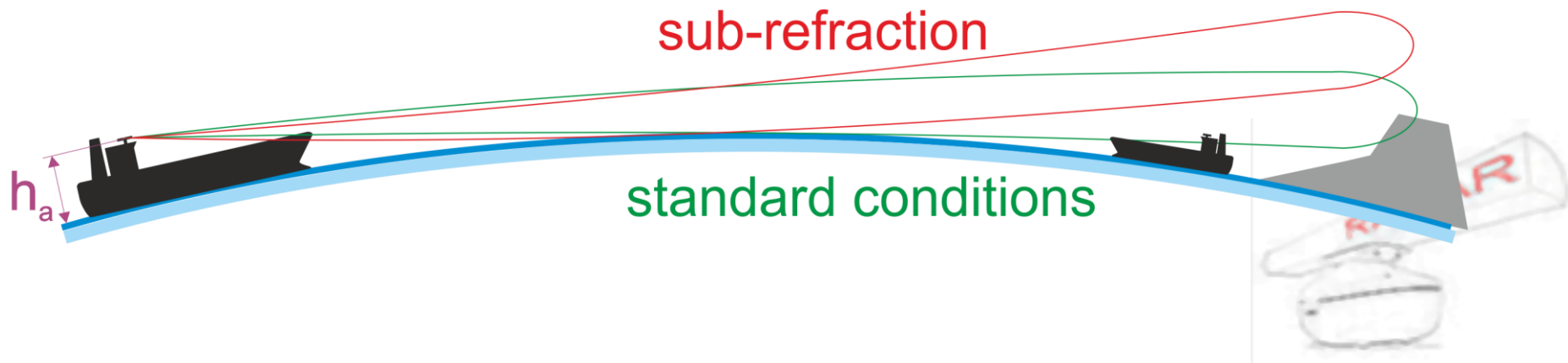
# Wykrywanie na dużych odległościach

- 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 (wertykalny skład atmosfery):
  - temperatura powietrza gwałtownie maleje
  - wilgotność rośnie wraz ze wzrostem wysokości



# Subrefrakcja

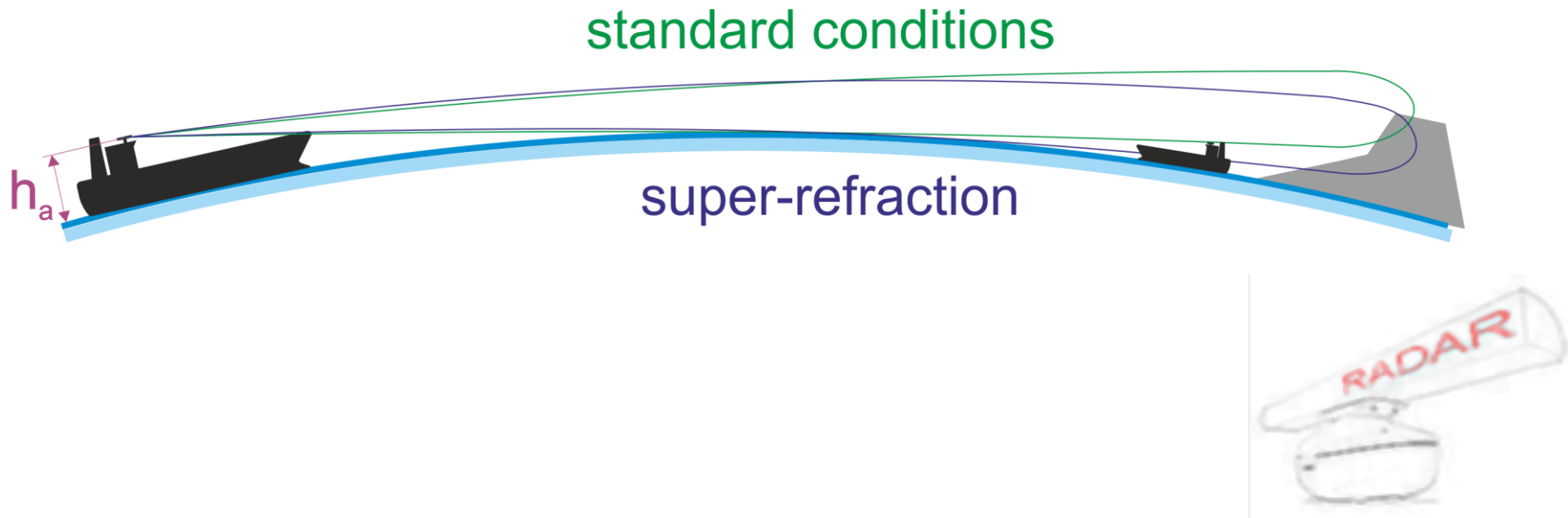
- Warunki do powstania subrefrakcji zachodzą wówczas gdy, zimne powietrze przemieszcza się ponad ciepłą wodą.
- Jest to typowe zjawisko dla strefy subarktycznej.
- Zjawisko to może spowodować zmniejszenie horyzontu radarowego (warunki standardowe) o nawet 40%.
- Może uniemożliwić wykrycie małych łodzi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





# Superrefrakcja

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



# Superrefrakcja

- Warunki sprzyjające powstaniu superrefrakcji są wówczas gdy (wertykalny skład atmosfery)
  - temperatura powietrza spada wolniej, niż ma to miejsce w warunkach standardowych a nawet rośnie
  - wilgotność maleje wraz ze wzrostem wysokości.
- Zjawisko to powoduje zwiększenie horyzontu radarowego o nawet 40%.



# Superrefrakcja

- Warunki 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.

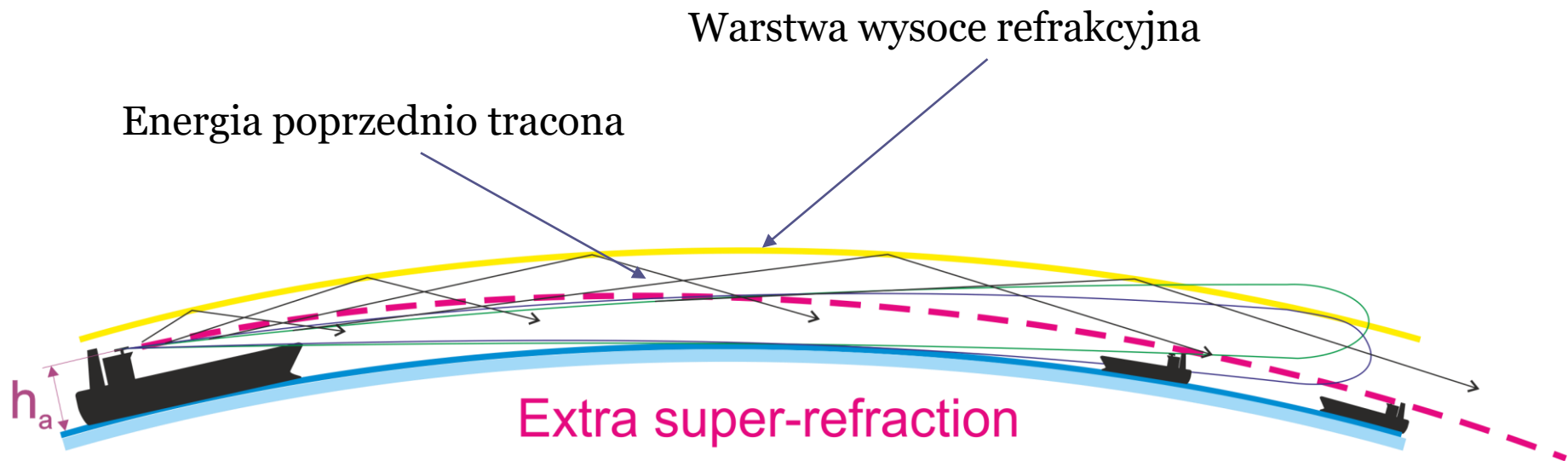


# Extra superrefrakcja

- W tych warunkach energia impulsu jest uwięziona w "kanale" utworzonym przez powierzchnię Ziemi i wysoce refrakcyjną warstwę, która może znajdować się na wysokości 30 metrów nad ziemią.
- Efektem jest koncentracja energii, która w przeciwnym razie zostałaby utracona w kosmosie wraz z energią, która normalnie przemieszczałaby się w kierunku celów.
- Ta zwiększona energia podąża teraz za powierzchnią Ziemi, zmniejszając w ten sposób ograniczenie horyzontu radaru i znacznie rozszerzając zakresy wykrywania celów.
- Może to spowodować wykrycie niepożądanych "ech z poprzedniego cyklu pracy radaru"



# Extra superrefrakcja



# 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, lotne 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.



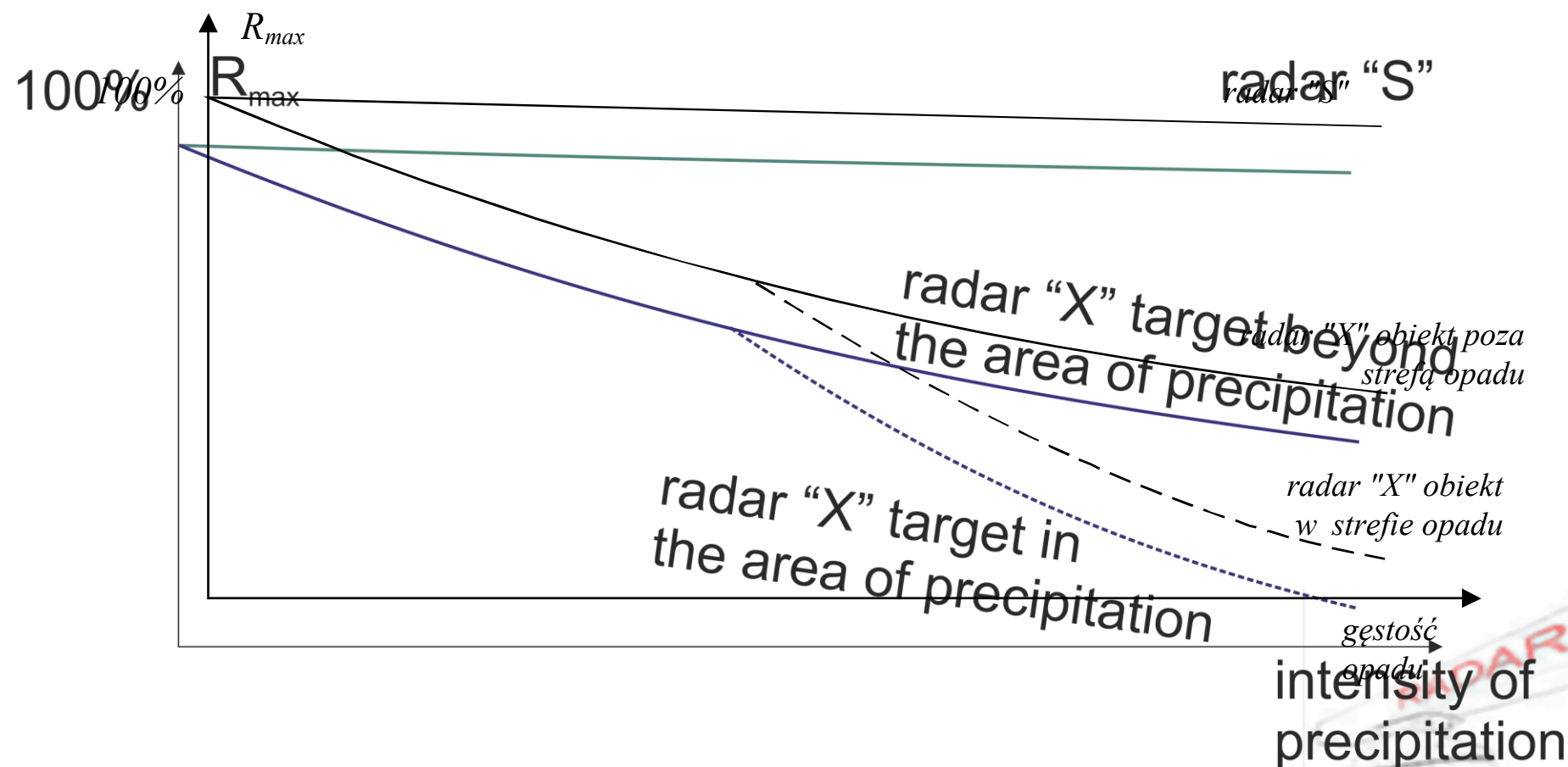
# Tłumienie ośrodka

- **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



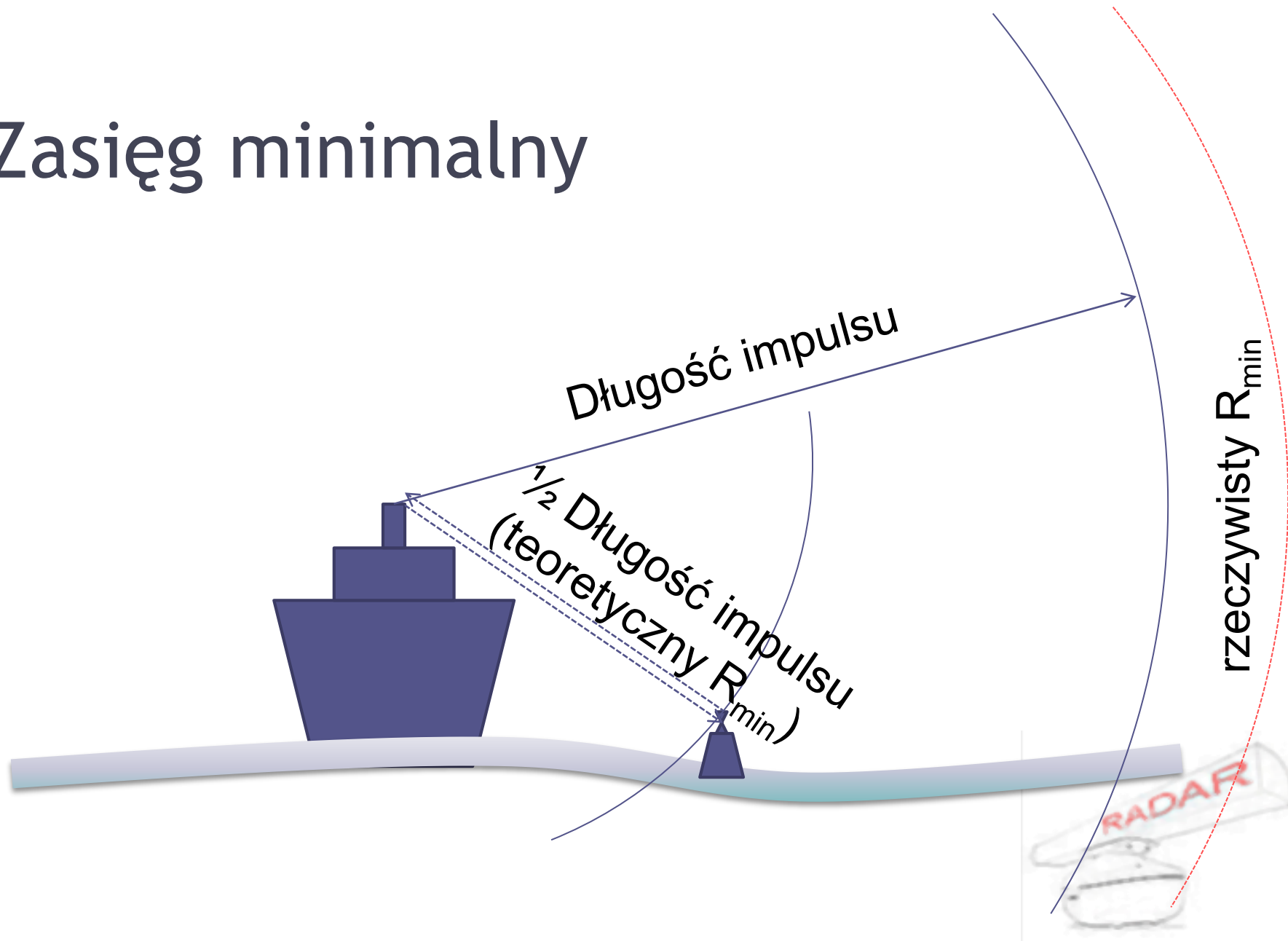
# Zasięg minimalny

- 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.
- Teoretycznie radar nie może wykryć obiektów położonych bliżej niż połowa długości impulsu sondującego. Jednakże z powodu czasu deaktywacji przełącznika N/O jest on dłuższy.

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



# Zasięg minimalny

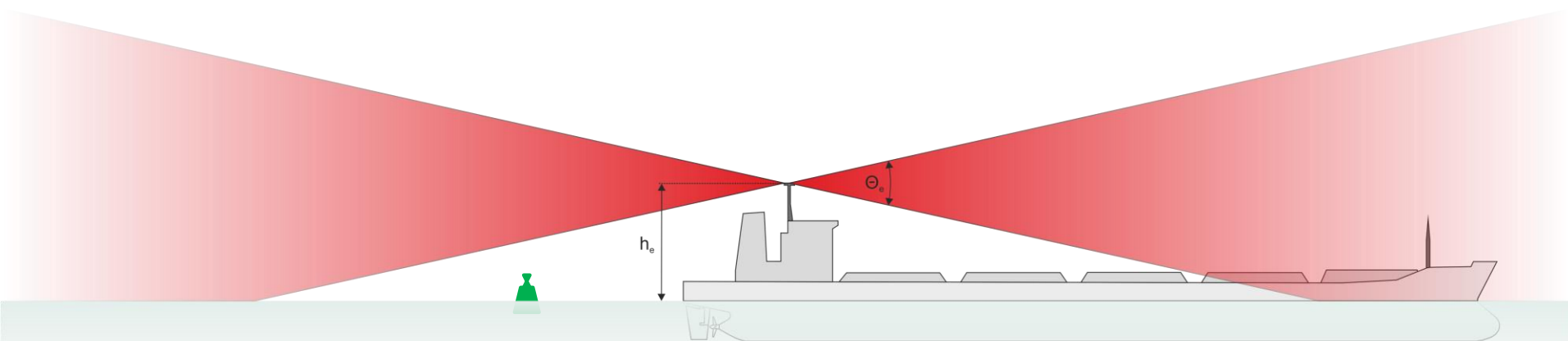


# Strefa martwa

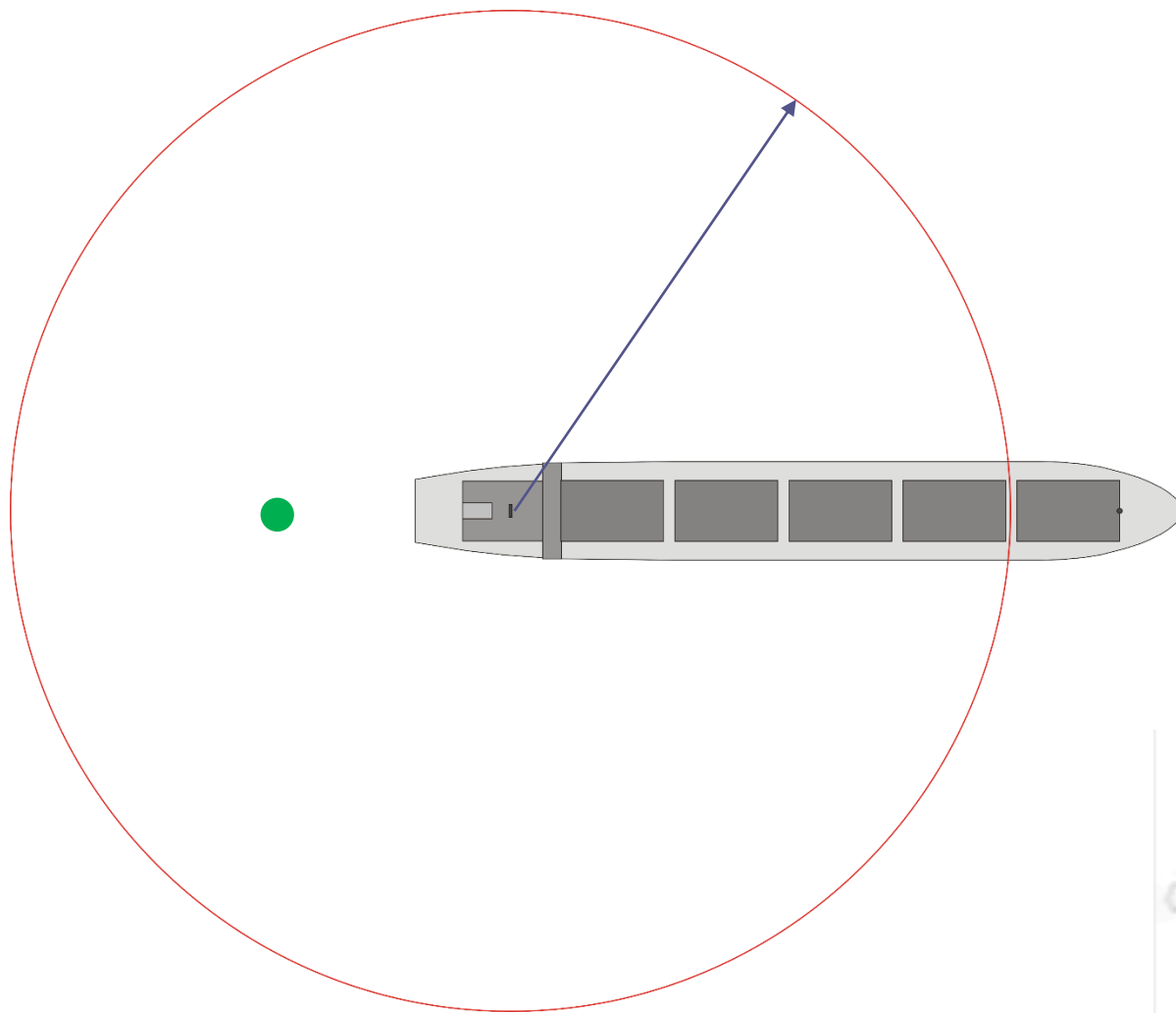
- Ograniczenie wykrywania obiektu na małych odległościach, które wynika z pionowej charakterystyki anteny  $\Theta_e$  oraz jej wysokości.
- Jest to odległość między pozycją anteny a punktem w którym wiązka radarowa styka się z powierzchnią Ziemi.
- Obiekty, które są położone poniżej wiązki promieniowania teoretycznie nie będą wykryte przez radar.



# Strefa martwa



# Strefa martwa



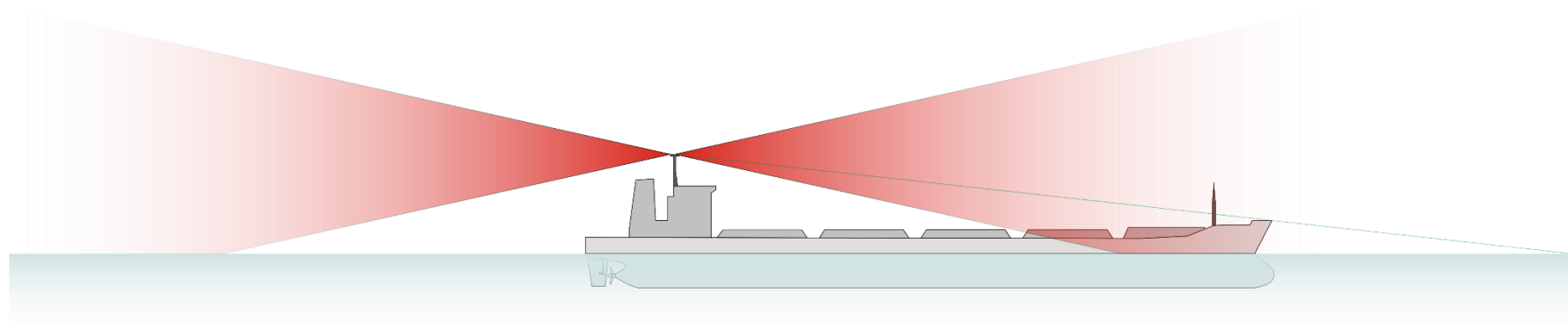
# Cień pionowy

- Występuje wówczas, gdy na drodze promieni znajdzie się przeszkoda nieprzepuszczalna dla mikrofal, która ma mniejszą wysokość niż antena i blokuje część wiązki.
- 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.

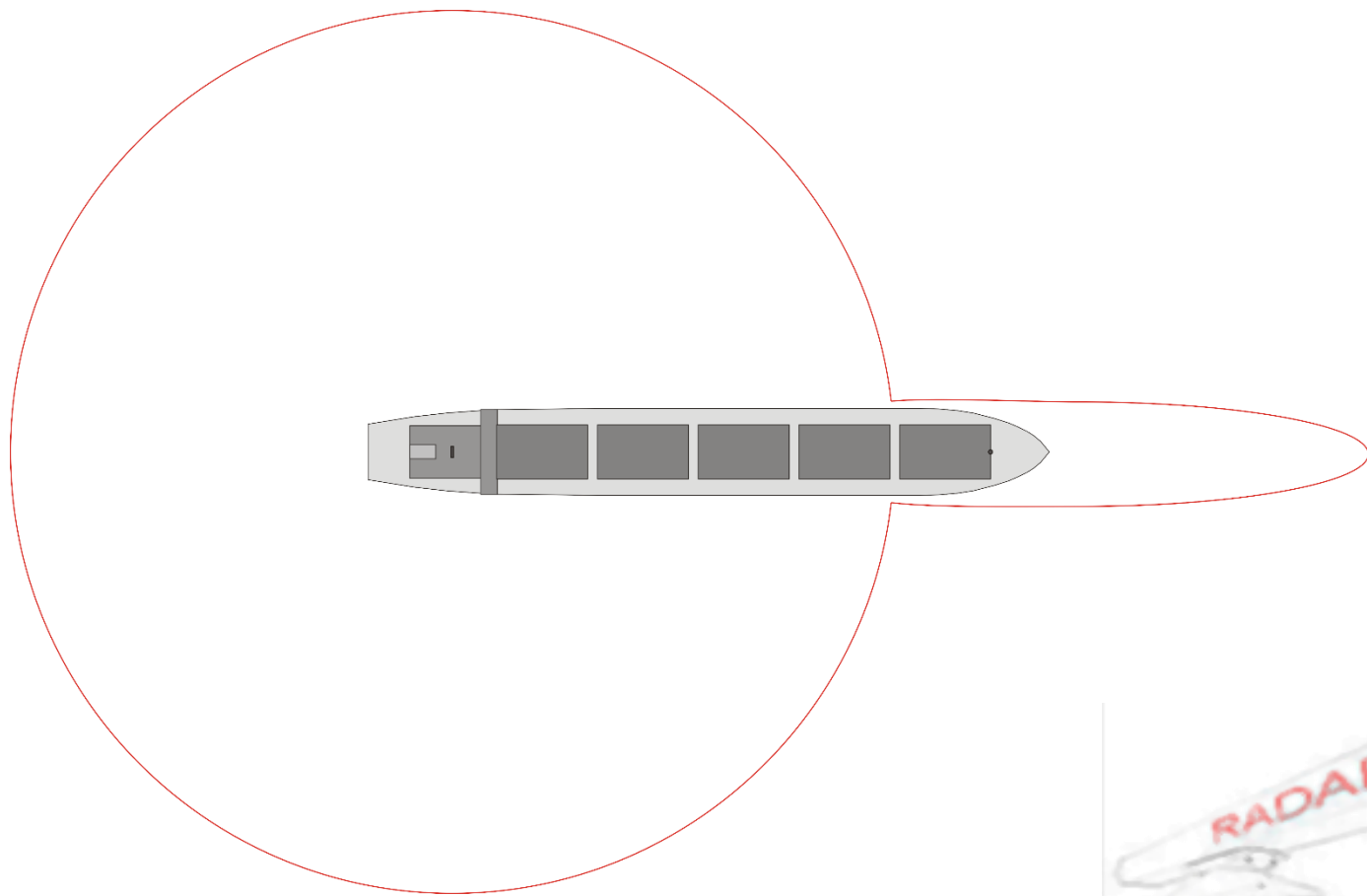




# Cień pionowy



# Cień pionowy



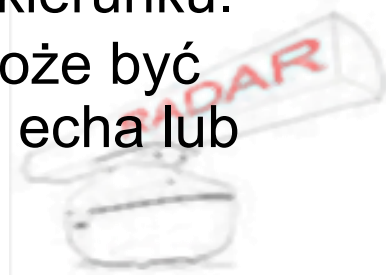
# Wymagalny minimalny zasięg

- Zgodnie z wymogami IMO (res. MSC 192) minimalny zasięg wykrywania boi nawigacyjnej:
  - dla anteny umieszczonej na wysokości 15m nad poziomem morza
  - przy prędkości poruszania się równej zero
  - przy braku falowania
- powinien mieścić się w zakresie 40m do 1 Mm bez konieczności zmian ustawień radaru innych niż zakres obserwacji.

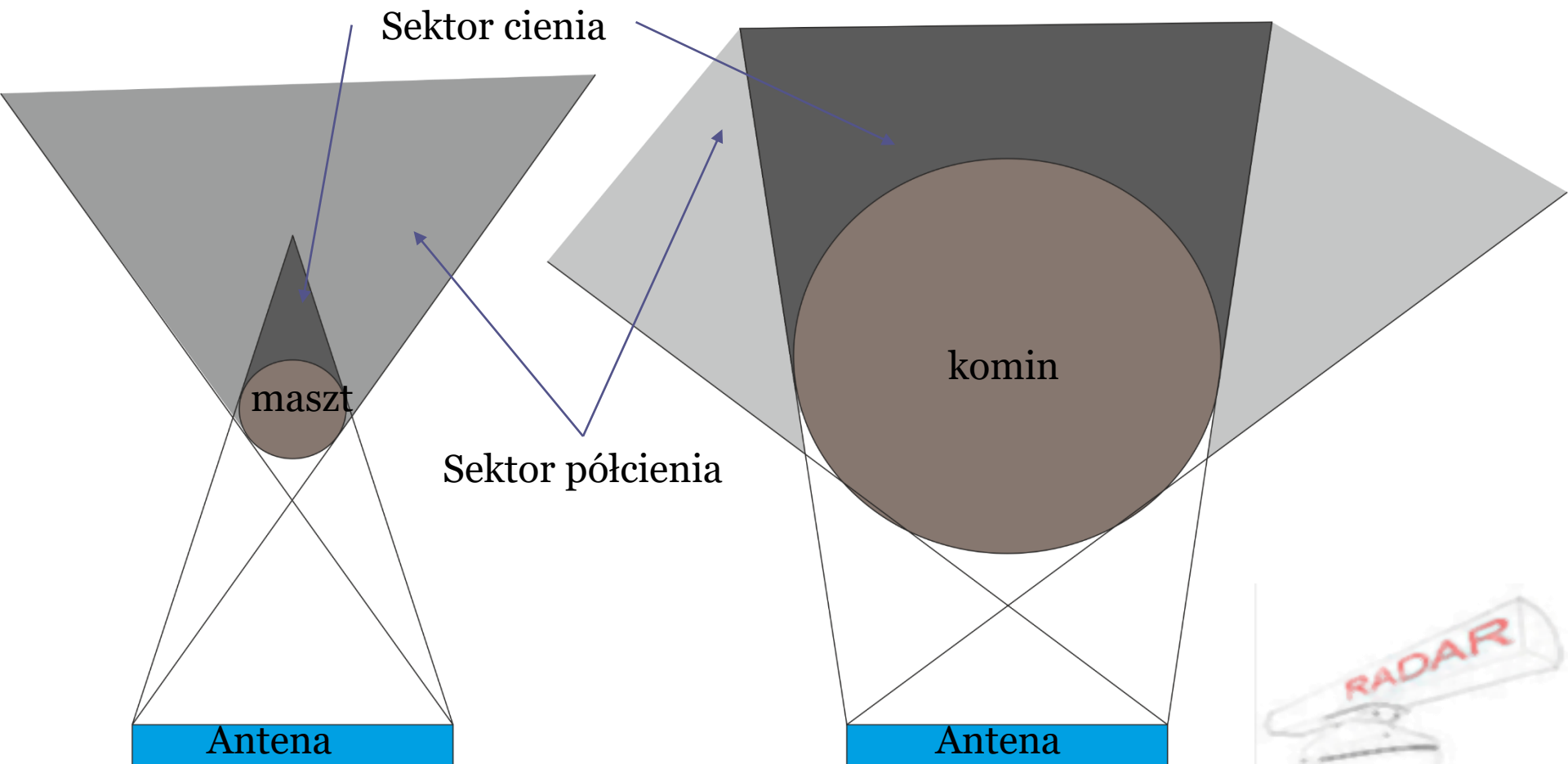


# Ograniczenia wykrywania w płaszczyźnie poziomej

- 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.



# 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.
- W praktyce nawigacyjnej, dla nawigatora bardziej przydatny jest wymiar przestrzenny.



# Rysowanie echa

- W momencie wysyłania impulsu sondującego przez nadajnik
  - Następuje wybór kolejnych komórek pamięci dla danego cyklu pracy
  - Prędkość przesuwania się nad kolejnymi komórkami jest stała w wymiarze przestrzennym i wynosi  $c/2$ , a w wymiarze ekranowym zależy od zakresu obserwacji, na jakim radar pracuje – w zależności jaką odległość reprezentuje pojedyncza komórka pamięci.
- W momencie odebrania przez odbiornik impulsu echa,
  - Wartość w danym momencie wybranej komórki (odpowiedniej do odległości wykrytego obiektu) zmienia się na różną od zera.



# Rysowanie echa

- Odległość promieniowa
  - Wyznaczona przez numer komórki
  - jest proporcjonalna do odległości obiektu od radaru.
- Kątowe położenie promienia podstawy czasu na ekranie
  - jest zsynchronizowane z kątowym położeniem anteny, co umożliwia określenie kierunku, w jakim wykryty obiekt się znajduje.



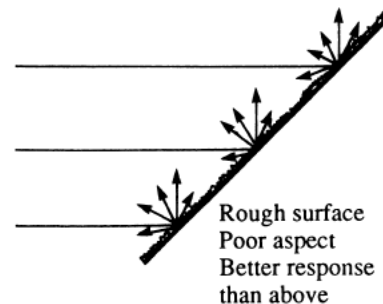
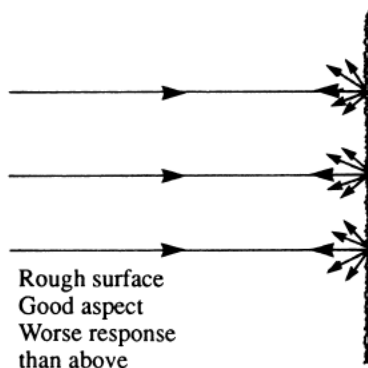
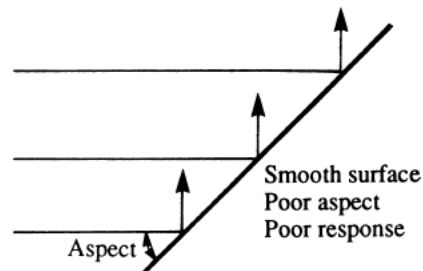
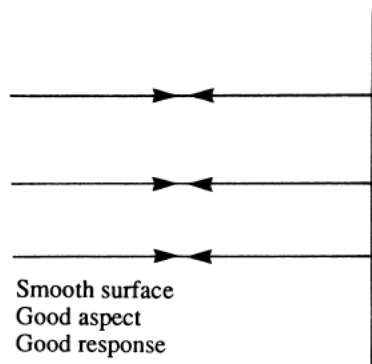


# Rozmiar promieniowy

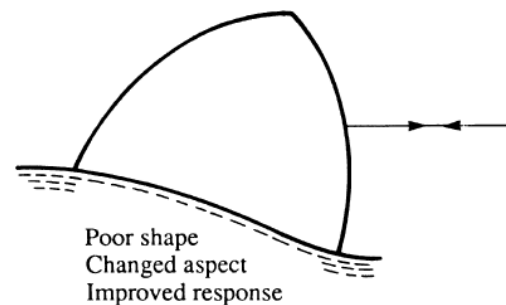
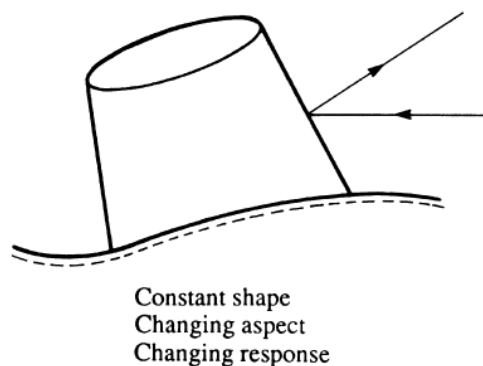
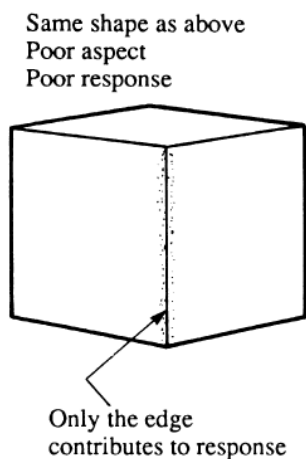
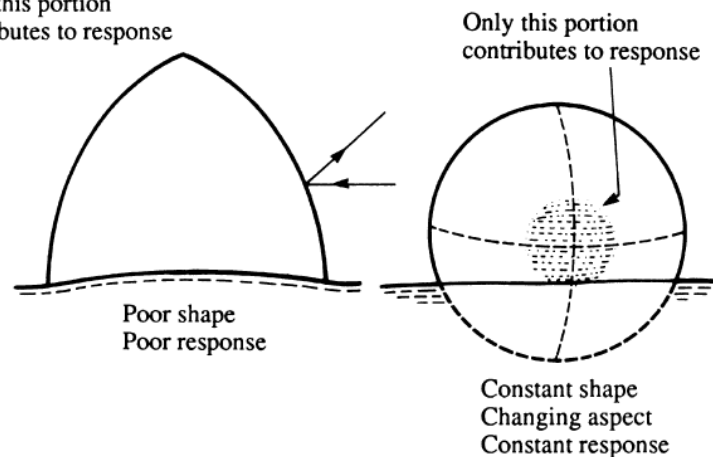
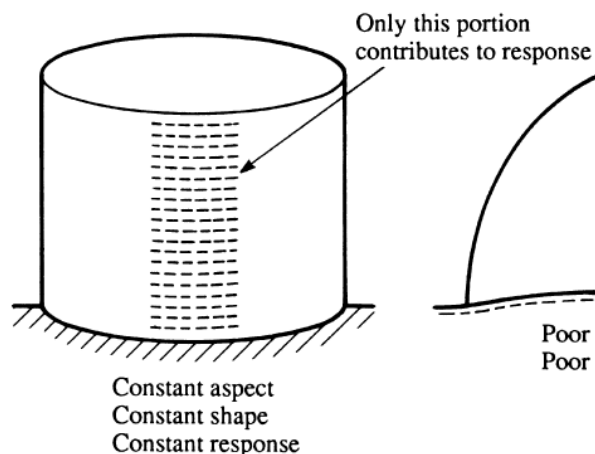
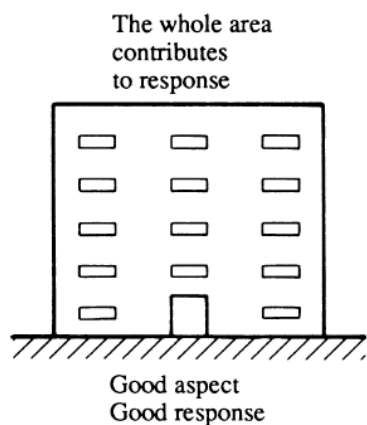
- Długość promieniowa wyblysku na ekranie jest sumą średnicy plamki świetlnej oraz połowy długości impulsu echa.
- Z kolei czas trwania impulsu echa może przybrać wartość najmniejszą równą czasowi impulsu sondującego lub może być większy o wartość czasu przelotu mikrofal nad obiektem.



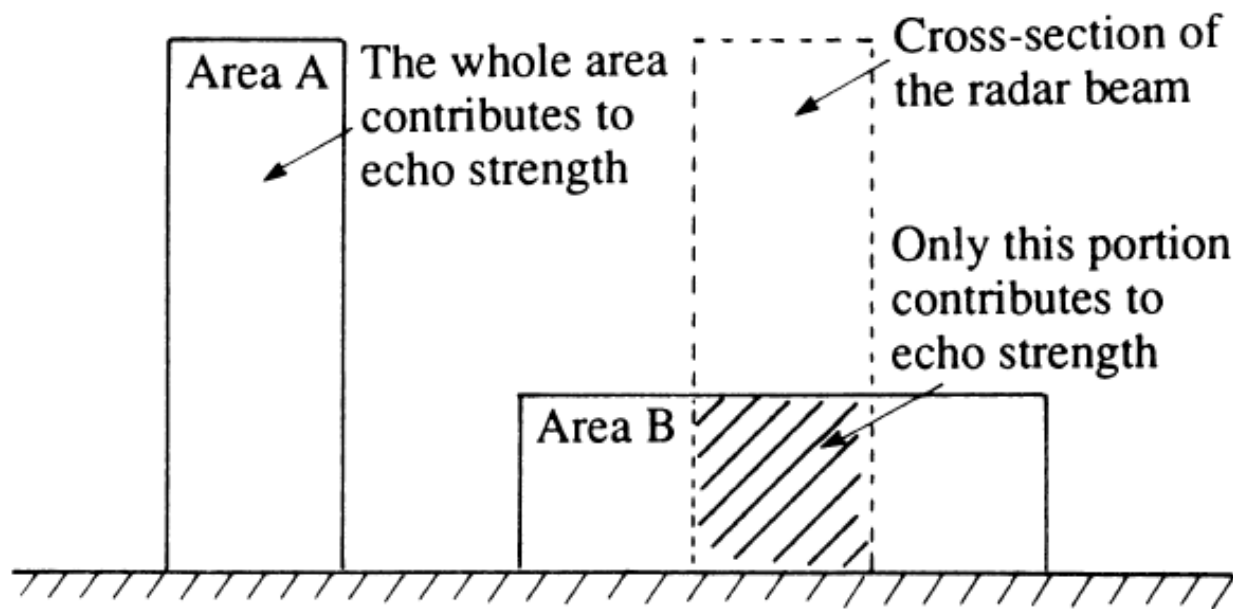
# Wpływ aspektu na amplitudę echa



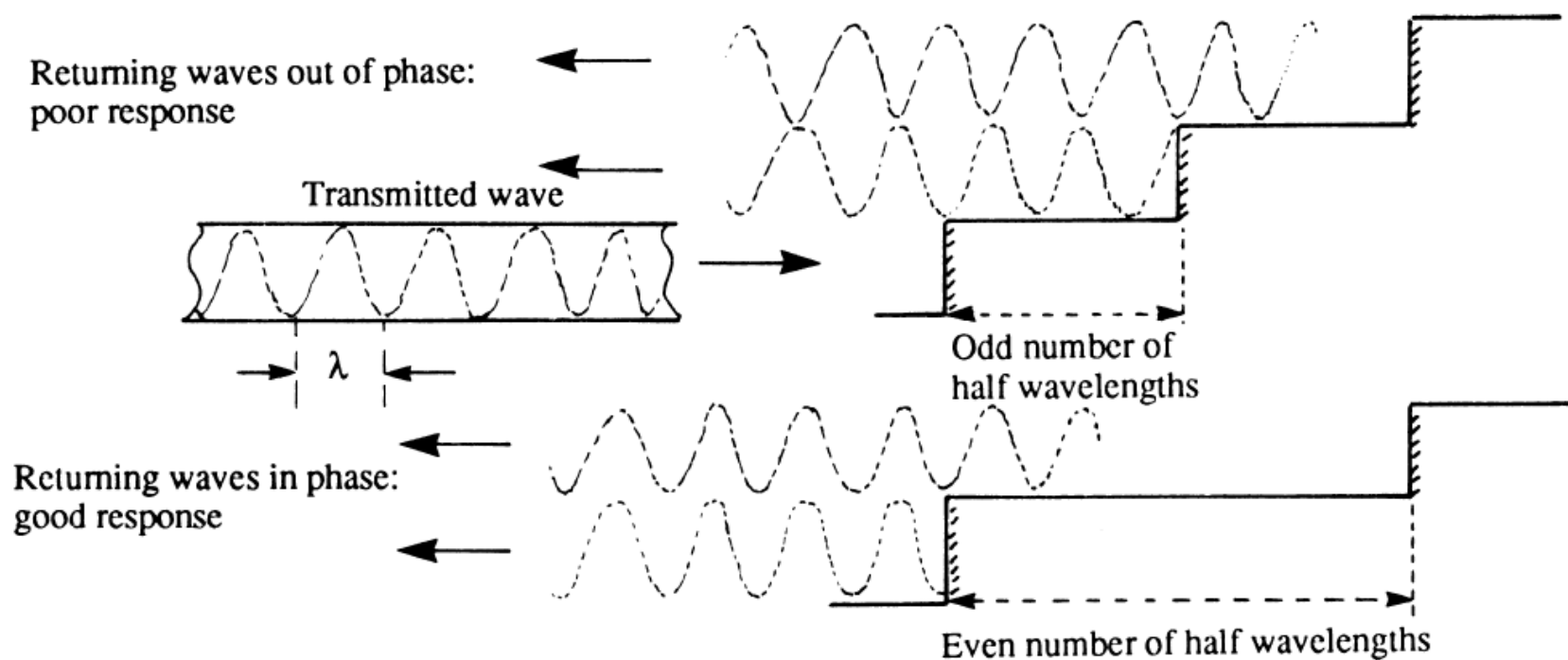
# Wpływ kształtu na amplitudę echa



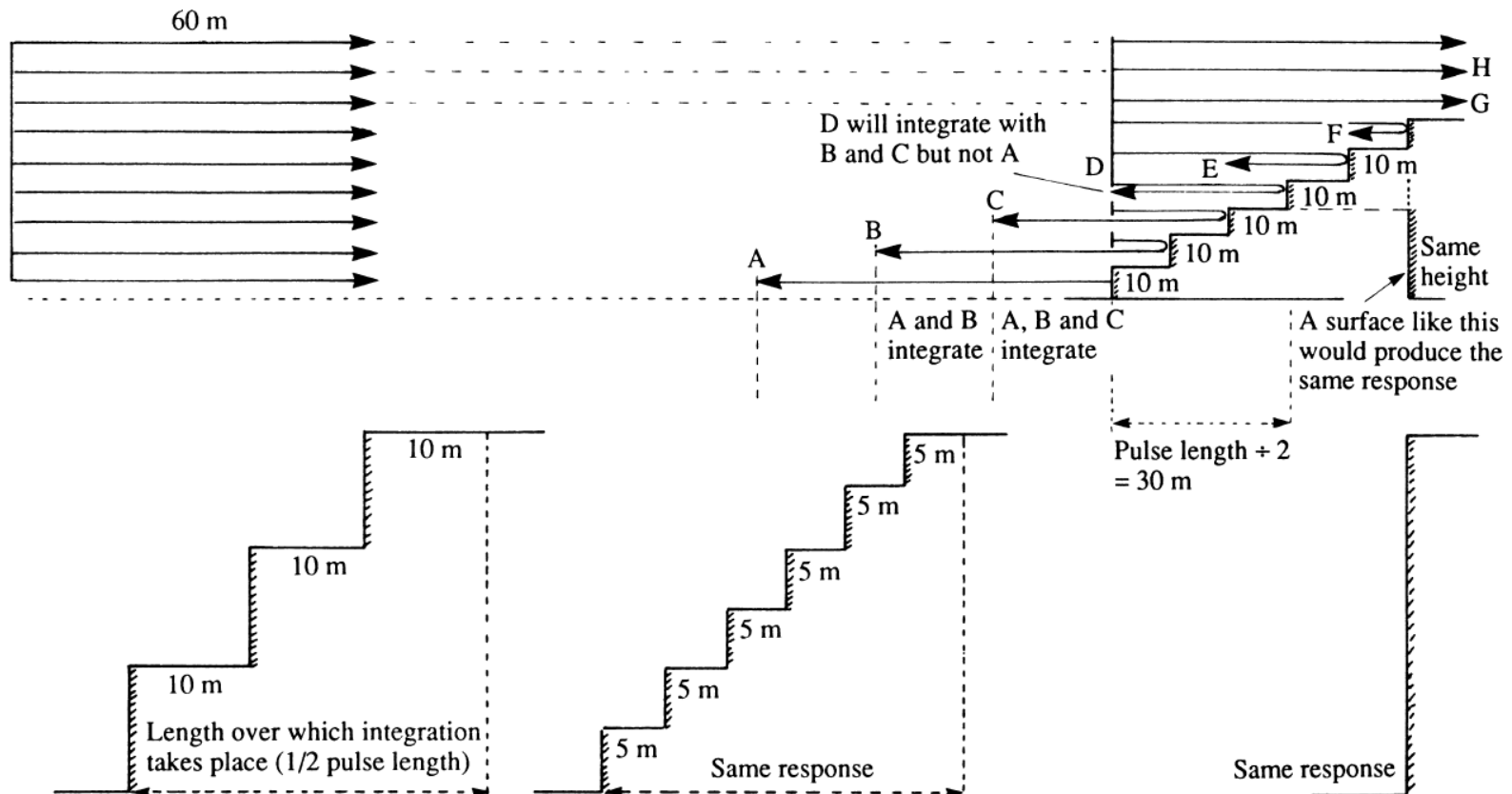
# Wpływ napromieniowanego obszaru na amplitudę echa



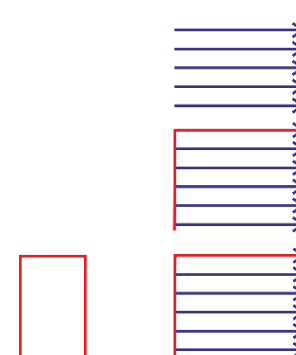
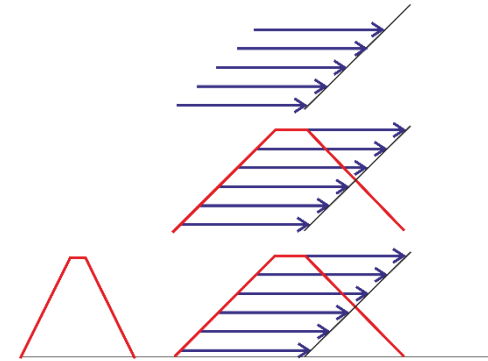
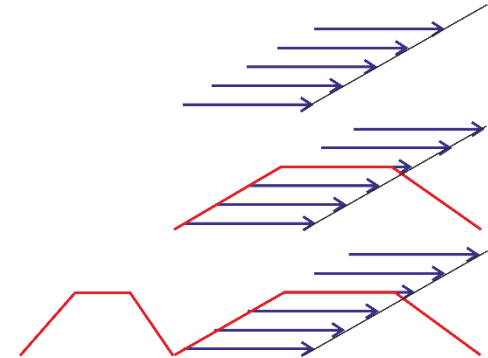
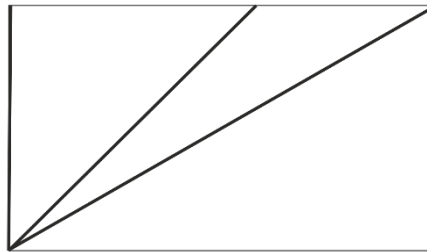
# Wpływ koherencji na siłę echa



# Integracja sygnałów z pochyłych powierzchni



# Integracja sygnałów z pochyłych powierzchni



# Rozmiar kątowy

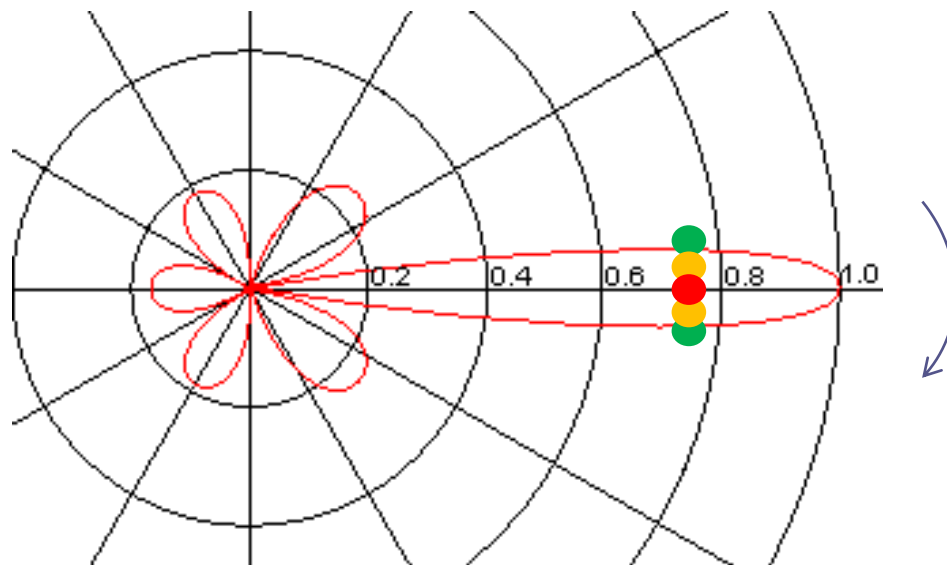
- Jeśli następny impuls sondujący trafi również w obiekt - spowoduje to powstanie następnego wybuchu przesuniętego nieco kątozo zgodnie z kierunkiem obrotu podstawy czasu lecz najczęściej pokrywającego się częściowo z poprzednim.
- Najczęściej kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt kolejnych impulsów trafia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



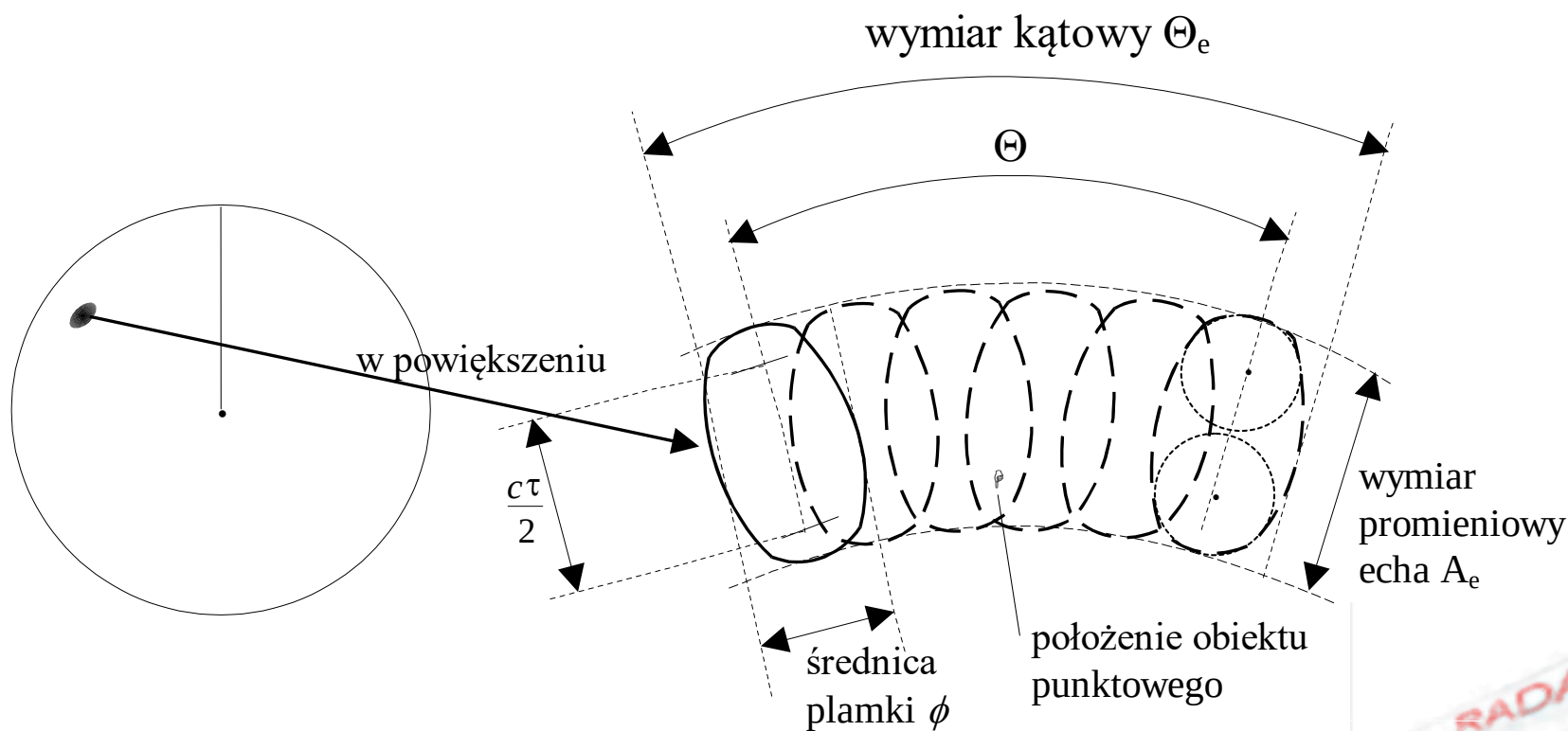


# Rozmiar kątowy

- 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 można obliczyć korzystając z następujących zależności:

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

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

gdzie :

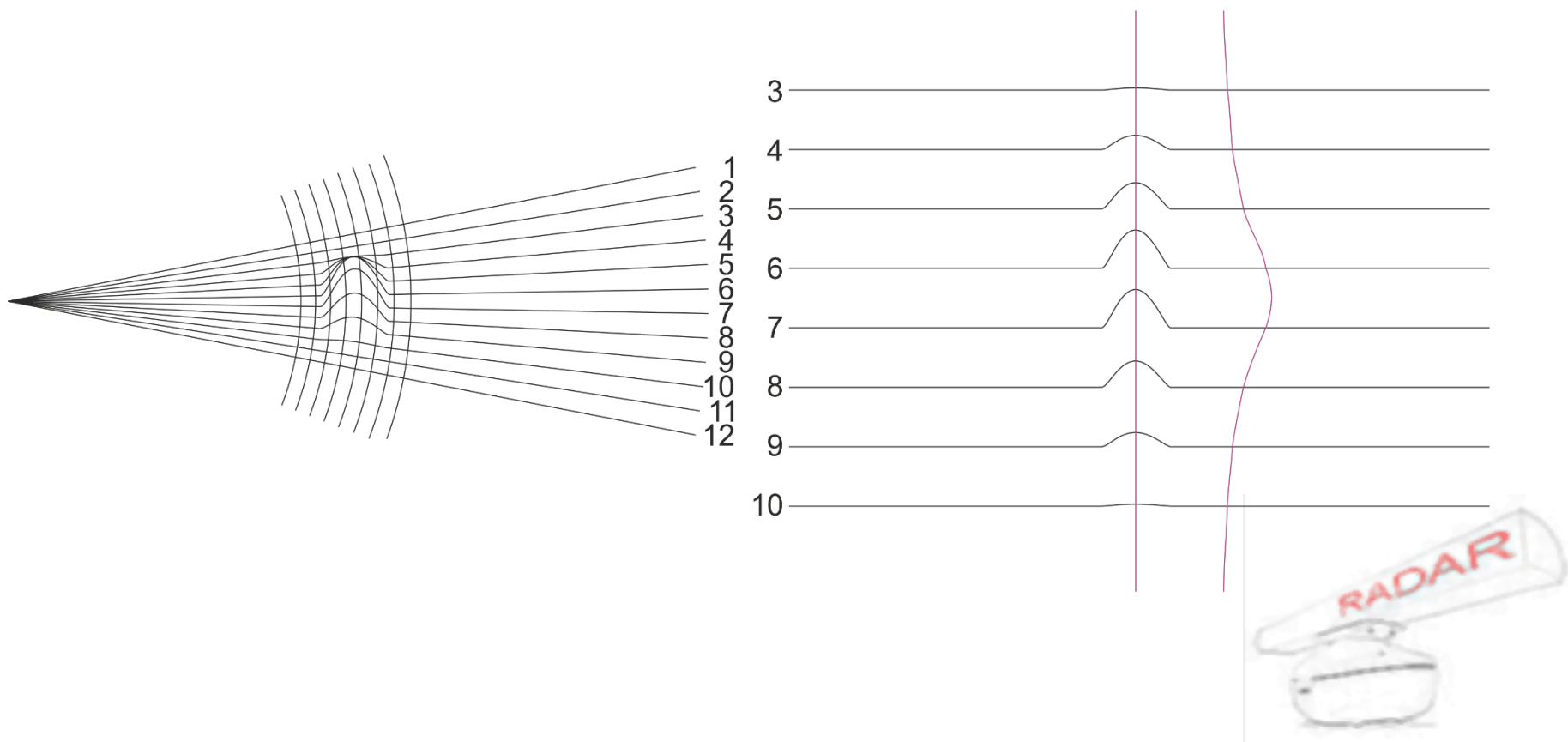
$A_e$  - wymiar promieniowy echa,

$\Theta_e$  - wymiar kątowy echa ,

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



# Kształt echa



# Liczba impulsów trafiających w obiekt

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

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

gdzie:

$\Theta$  [°],  
 $f_p$  [Hz],  
 $n$  [obr/min]



# Zmiana rozmiaru kąтового echa

- 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 kątowa pomiędzy dwoma impulsami sondującymi ( $\aleph$ ) wynosi:

$$\aleph = \frac{6 * n}{f_p} [^\circ]$$

zmniejszenie szerokości - **pulsacja** echa z tego tytułu wyniesie  $\aleph$ .



Koniec

