



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Directie Zuid-Holland

Stralingsbelasting ten gevolge van een rivierradar

Toetsing van de theoretisch te verwachten straling van het in
VBS-Drechtsteden gebruikte type radar aan de (inter-)nationale
wet en regelgeving

Onderzoek uitgevoerd door Port Management Consultants in opdracht
van de afdeling Scheepvaartzaken (AVS) van de Directie Zuid-Holland.

Definitief 23 mei 2000

Inhoud

INLEIDING	3
ALGEMENE CONCLUSIES.....	4
STRALINGSBELASTING VAN EEN (RIVIER)RADAR POST	5
INLEIDING	5..
ALGEMEEN	5..
DE GEHANTEERDE NORMEN	5..
BEREKENING	7
INLEIDING	7..
VERTICALE SPREIDING.....	8..
PULSEREN.....	9..
ROTAREN	9..
NIET-IDEALE BUNDEL	10
CONCLUSIES VAN DE BEREKENINGEN.....	11
VOOR HET OPWARMINGSEFFECT GELDT	11
VOOR HET TWEEDE POTENTIEEL NADELIGE EFFECT GELDT:.....	11
GEBRUIKTE SYMBOLEN	12

Inleiding

Door het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland, Afdeling AVS (de Opdrachtgever) is Port Management Consultants gevraagd onderzoek te doen naar de locatie van de radarpost Heerjansdam.

De onbemande radarpost Heerjansdam bevindt zich op het terrein van de firma Monshouwer aan de Uilenvlietse Haven Oost, kadastraal Sectie A nummer 2914. Opdrachtgever heeft daartoe bij de realisatie van het verkeersbegeleidend systeem Drechtsteden een overeenkomst gesloten met de firma Monshouwer.

De firma Monshouwer is voornemens een kantoorgebouw daar ter plaatse nieuw te bouwen en heeft het opstalrecht van Opdrachtgever bij schrijven van 26 juli 1999 opgezegd Dit in verband met te verwachte hinder van de draaiende antenne voor het kantoorgebouw. De firma is bereid tot overleg over het treffen van maatregelen ter opheffing van de gevreesde hinder.

Het onderzoek moet er toe leiden, dat de Opdrachtgever op basis van heldere en eenduidige afwegingsgronden een beslissing kan nemen aangaande de uitvoering van de noodverbandoplossing dan wel de duurzame oplossing.

Opdrachtgever wenst te onderzoeken:

- 1) of en zo ja, welke afdoende maatregelen op de huidige locatie kunnen worden getroffen (noodverbandoplossing);
- 2) indien deze maatregelen worden getroffen, welke kosten hiermee zijn gemoeid;
- 3) hoe deze kosten zich verhouden tot de kosten van een mogelijk meer duurzame oplossing, namelijk de verplaatsing van de radarpost naar de overzijde van de Oude Maas op een nader te bepalen locatie in de Geertruida Agathapolder.

Dit rapport geeft inzicht in hoe de straling afkomstig van een radarantenne van het VBS-Drechtsteden zich verhoudt tot de (inter-)nationale richtlijnen voor elektromagnetische straling. NB: Alle twaalf de radarsystemen van het VBS-Drechtsteden zijn van een gelijk type met gelijk zendvermogen.

Algemene conclusies

De berekeningen zoals uitgewerkt in dit rapport leiden tot de volgende conclusies:

- 4) De berekeningen zoals uitgevoerd in dit rapport zijn geldig voor alle radars van het type Terma 18' X-band, RXTX unit 1,5 kW zoals gebruik voor, onder andere, alle 12 de radarposten van het VBS-Drechtsteden.
- 5) Het is technisch mogelijk om sectorblanking toe te passen. Hierdoor wordt de stralingsbelasting met tenminste een factor tien verminderd.
- 6) De maximaal toegestane hoeveelheid straling is 50 W/m² voor werknemers en 10 W/m² voor het publiek (INCIRP).
- 7) Er zijn twee mogelijk nadelige effecten ten gevolge een van te hoge stralingsbelasting:
 - a) Het opwarmingseffect.
 - b) Een niet nader gedefinieerd nadelig effect op de gezondheid tengevolge van pulserende straling met een puls frequentie van 100 Hz. Het ICNIRP adviseert bij het berekenen van de stralingsbelasting van pulserende straling deze voor alle zekerheid niet te middelen in de tijd.
- 5) Indien sectorblanking wordt toegepast blijft de straling op 15 meter afstand van de antenne, zoals dat het geval is bij het nieuw te realiseren kantoor van de Firma Monshouwer, tenminste een factor 25 onder de strengste norm van het ICNIRP.
- 6) Gelet op de uitkomst van de berekening van de stralingsbelasting op een afstand van 15 meter, behoeft het geen betoog dat bij een alternatieve plaatsing van de radarpost op een grotere afstand dan 15 meter, zoals aan de overzijde van de rivier, de stralingsbelasting nog minder zal zijn. Grofweg geldt dat een twee keer zo grote afstand leidt tot een vier keer zo kleine stralingsbelasting.

Stralingsbelasting van een (rivier)radar post

Inleiding

De Firma Monshouwer heeft een gebouw gepland nabij radarpost Heerjansdam van het VBS Drechtsteden. De plannen voor de bouw zijn in grote lijnen voltooid. Hij voorziet enkele problemen in verband met de aanwezige radarmast:

- de draaiende radar werpt een storende bewegende schaduw op het gebouw en de bureaus daarbinnen;
- de radar levert voor het personeel ongezonde (elektromagnetische) straling.

Dit rapport gaat in op de vraag hoe de straling afkomstig van de Radar Heerjansdam theoretisch gezien zich verhoudt ten opzichte van de (Inter-)nationale wet- en regelgeving.

Algemeen

Algemeen kan gesteld worden dat straling afkomstig van een rivierradar in de richting van de landzijde ('eigen wal') vermeden kan worden door de radar periodiek 'uit' te zetten: "sectorblanking". Deze maatregel geeft bij de radarpost Heerjansdam hoogstwaarschijnlijk geen nadelige gevolgen voor de functionaliteit van de radar (lees: het dekkingsgebied van het VBS Drechtsteden) en is technisch gezien mogelijk.

Onderstaand wordt de berekening uitgevoerd volgens het zogenaamde 'Worst case scenario': hierin wordt gesteld dat personen of apparatuur toch (ondanks sectorblanking) vanaf korte afstand worden aangestraald door de radar. Het geldt hier een hypothetisch geval, in praktijk zal dit nooit voorkomen. Door sectorblanking wordt er geen straling afgegeven door de radar in de richting van het land.

De in bovenstaand hypothetisch scenario optredende intensiteit van de straling wordt berekend en vergeleken met de internationaal geldende normen voor straling. Uitgangspunten hierbij zijn de technische gegevens zoals bekend van het gebruikte type radar en de normstelling van het International Committee on Non Ionising Radiation Protection (ICNIRP). Dit alles voor de frequentie waarop de radar zendt (9 GHz). Tevens zal worden berekend wat de reststraling zal zijn in geval van sectorblanking

De gehanteerde normen

De internationaal gehanteerde normen, die ook door de meeste nationale overheden zijn overgenomen, of tenminste als uitgangspunt zijn genomen, zijn vastgesteld door het ICNIRP.

Het ICNIRP is een onafhankelijk internationaal orgaan welke zich actief bezig houdt met de gezondheidsrisico's van niet ioniserende straling. In 1998 heeft het ICNIRP haar normen geactualiseerd aan de tot dan bekende onderzoeksresultaten.

Het ICNIRP gaat uit van het gegeven dat het enige aangetoonde schadelijk effect van de elektromagnetische straling, met een frequentie gelijk aan die van de radar (9 GHz), zit in het opwarmen ten gevolge van deze straling die in het lijf geabsorbeerd wordt. De gehanteerde norm gaat dan ook uit van het maximale geabsorbeerde vermogen per gewichtseenheid weefsel. Deze wordt berekend over tenminste 10 gram weefsel en stelt

dat de temperatuur niet meer dan 1 graad Celsius mag oplopen tengevolge van de straling. Vervolgens heeft het ICNIRP een veiligheidsfactor tien ingebouwd voor mensen die beroepshalve bloot staan aan stralingen een factor 50 voor het algemene publiek. Dit geeft een maximale stralingsbelasting van 0,4 W/kg Specific energy Absorption Rate (SAR) voor werknemers en 0,08 W/kg SAR voor het publiek. Omgerekend naar de hoeveelheid straling per eenheid aangestraald oppervlak is dit: 50 W/m² voor werknemers en 10 W/m² voor het publiek (bron: ICNIRP).

Daar bovenstaande berekening geldt voor het opwarmingseffect van de straling wordt de signaalsterkte berekend over een bepaalde tijdseenheid (6 minuten).

Naast het opwarmingseffect van de straling wordt er sporadisch in de literatuur gerept over een effect dat optreedt door pulserende straling (zoals dat voorkomt bij radars). Hierover zijn geen eenduidige onderzoeksresultaten beschikbaar. Waarschijnlijk kan er een negatief effect voor de gezondheid optreden indien het pulserende signaal met een bepaalde frequentie pulseert. Er wordt gesproken over een puls-frequentie rond de 100 Hz (Bij de radar is er sprake van een puls-frequentie van 2000 Hz). Het ICNIRP raadt aan om bij pulserende signalen de signaalsterkte niet over de tijd te middelen. In de conclusies zal aan deze extra strenge eis aandacht worden besteed.

Berekening

Inleiding

De straling ten gevolge van een rivierradar is onderstaand op een vereenvoudigde manier berekend. Bij de berekeningen wordt ingegaan of er op enige plaats in de bundel van de radar sprake is van een signaal dat boven de normen uitgaat.

De gehanteerde berekeningsmethode is als volgt opgezet.

- 1) *Verticale spreiding:* In het beschouwde gebied kan worden uitgegaan van een horizontaal evenwijdige bundel van 5,6 meter breed (breedte van de antenne). Voor wat betreft de horizontale bundelvorming bevindt het te beschouwen terrein zich namelijk nog in het nabijheidsgebied. Verticaal heeft de bundel een breedte van 19 graden. Op een afstand r heeft het vermogen zich uitgesmeerd over het front van die bundel op die afstand. Dit geeft een maximaal piekvermogen dat zeer korte tijd aanhoudt, in de bundel.
- 2) *Pulseren:* Het radarvermogen wordt in pulsen uitgezonden. Het vermogen in de puls heet piekvermogen. Door over de tijd te middelen wordt het gemiddeld uitgezonden vermogen berekend. Dit geeft het gemiddeld uitgezonden vermogen, in de bundel.
- 3) *Roteren:* Voorts wordt er rekening mee gehouden dat de gerichte radarbundel om een verticale as gedraaid wordt om een volledig beeld van de omgeving te krijgen. Hierdoor zal het in 2) berekende signaal slechts een deel van de tijd een plaats p aanstralen. Door het gemiddeld uitgezonden vermogen te vermenigvuldigen met de fractie van de tijd dat een punt p zich in de bundel bevindt krijg je het gemiddeld uitgezonden vermogen in de tijd op één plaats.
- 4) *Niet ideale bundel:* De radarbundel is geïdealiseerd, in die zin dat de berekeningen aannemen dat binnen de bundel een constante energie is en buiten de bundel niets. Hiervoor kan nog worden gecorrigeerd.

Alvorens in te gaan op de berekening zelf is het goed om enkele begrippen te definiëren:

Niet ioniserende straling: De straling welke afkomstig is van een radar is niet ioniserend. Dat houdt in dat deze straling, in tegenstelling tot ioniserende straling, niet in staat is om moleculaire bindingen te verbreken. Ofwel, de straling van een radar is niet in staat om genetisch materiaal te veranderen.

Continue straling: Het in de tijd, nagenoeg met constant vermogen uitzenden van een (elektromagnetisch-)signaal.

Pulserend signaal: Het periodiek in de tijd uitzenden van een signaal. Tussen deze perioden wordt er niet uitgezonden.

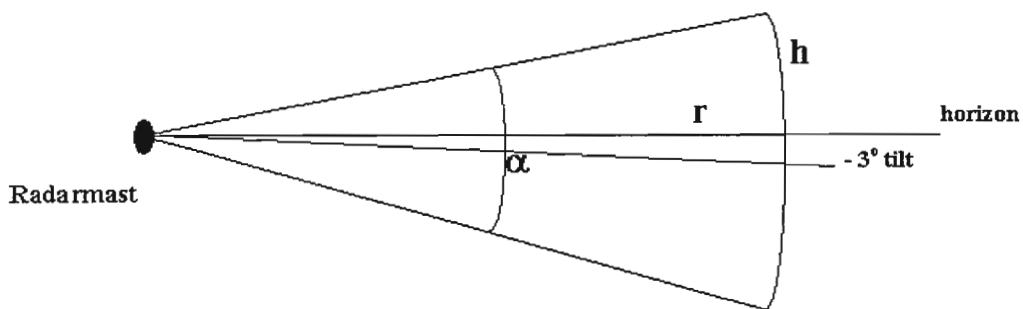
Verticale spreiding

De verticale spreiding, α , van de radarbundel is 19 graden. Op een afstand r van het hart van de radar is de hoogte van de bundel te berekenen (zie ook Figuur 1). De figuur laat tevens zien dat het gehele antennepatroon 3 graden naar beneden is "getilt". Dat wordt gedaan om op wat grotere afstand beter te detecteren (antenne staat hoger dan de scheepvaart).

h = hoogte van de radarbundel op afstand r (straal van de boog)

r = afstand tot de radarmast

α = verticale spreidingshoek van de radarbundel



Figuur 1: Verticale spreiding van de radarbundel

Er geldt:

$$h = \alpha * r = 0,33 * r, \text{ waarin } \alpha (19^\circ = 0,3316 \text{ rad}) \text{ uitgedrukt wordt in radialen.}$$

Horizontaal is er vrijwel geen spreiding en is de bundel, 5,6 meter breed. Het totale oppervlak van de bundel, A , op afstand r van het hart van de radar is dus:

$$A = b * h = 1,87 * r \quad [m^2]$$

Het piekvermogen is 1500 Watt. Dus de stralingsintensiteit is qua piekvermogen:

$$P_{\text{piek}} = \frac{802}{r} \quad \left[\frac{\text{Watt}}{m^2} \right]$$

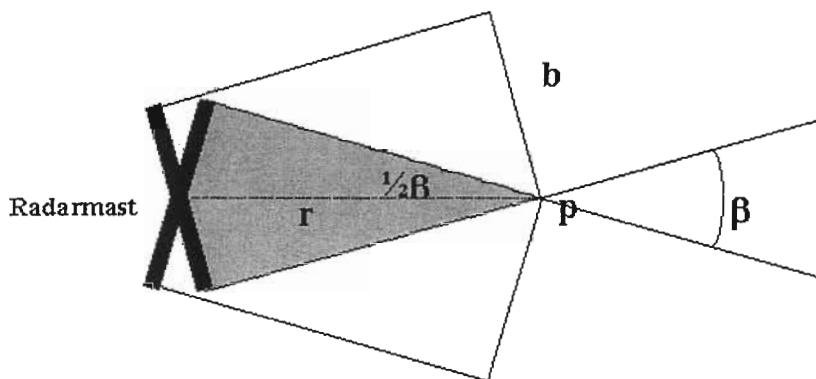
Pulseren

De radar zendt elke 500 μs één puls uit van 50 ns. Het gemiddelde signaal in de bundel is dus 10.000 keer zo klein als het piekvermogen.

$$P_{\text{gemiddeld in de bundel}} = \frac{0,08}{r} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Roteren

Het gemiddelde signaal op één plaats in de tijd is lager dan het gemiddelde signaal in de bundel. Immers, de bundel scant een hele cirkel. Een, nagenoeg, stilstaand object zal dus gemiddeld een zwakker signaal ontvangen dan het signaal in de bundel.



Figuur 2: Zenderhoek waarbinnen punt p wordt aangestraald.

Bij een afstand r tot de zender en een breedte b van de zendantenne (=bundelbreedte) is er een maximale hoek β waarbinnen punt p nog juist wordt aangestraald.

De sinus van de helft van deze hoek is de halve bundelbreedte ($\frac{1}{2}b$) gedeeld door de afstand (r). Voor kleine hoeken geldt dat de sinus (in radialen) van de hoek ongeveer gelijk is aan de hoek. (voorbeeld $\sin(0,5)=0,48$, waarbij 0,5 radiaal ongeveer 30 graden is). Deze vereenvoudiging maakt het eenvoudig om te berekenen wat de fractie f van de tijd is dat het punt p op afstand r zich in de radar bundel bevindt.

$$f = \frac{\beta}{2 * \pi} = \frac{2 * \arcsin\left(\frac{b}{2 * r}\right)}{2 * \pi} \approx \frac{b}{2 * \pi * r}$$

Voor een punt op r meter van de radar mast geldt nu dat het gemiddeld signaal in de tijd is:

$$P_{\text{gemiddeld in de tijd}} = \frac{0,08}{r} * \frac{b}{2 * \pi * r} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Dus voor de minimum afstand tussen het kantoor en de radarmast van vijftien meter is het gemiddeld vermogen in de tijd:

$$P_{\text{gemiddeld in de tijd}} = 0,0003 \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Niet-ideale bundel.

Lang niet alle vermogen komt in de gewenste richting (de bundel) terecht. De bundel is in werkelijkheid breder (het vermogen loopt af vanaf het centrum). Daardoor is het vermogen in de bundel zelf lager, maar aan de andere kant is er ook sprake van vermogen bezijden de ideale bundel. Berekend kan worden, dat op grote afstand (buiten het nabijheidveld) minder dan 20% van het vermogen in de bundel terecht komt. Vermoedelijk is dat in de situatie Krabbepolder (dichterbij de antenne) ca 40%.

Anderzijds is het vermogen in het centrum van de bundel groter dan aan de randen. Per definitie is het verschil tussen de intensiteit in het centrum en aan de randen niet groter dan een factor 2 (het verschil tussen het midden en de randen).

De conclusie is verantwoord dat er geen correctie behoeft te worden toegepast voor het niet ideaal zijn van de bundelvorm. Als er al correctie nodig is, zal die gunstig uitvallen: het actuele vermogen zal lager zijn dan berekend.

Conclusies van de berekeningen

Uit deze berekeningen vallen de volgende conclusies te trekken (de algemene conclusies zijn te vinden in het begin van dit document):

Voor het opwarmingseffect geldt

- 1) De strengste norm van het ICNIRP voor het opwarmingseffect is 10 W/m^2

Zonder sectorblanking:

- 1) De maximaal optredende straling ten gevolge van het direct aangestraald worden door de radar op een afstand van 15 meter van de antenne is gemiddeld over de tijd $0,0003 \text{ W/m}^2$. (in geval van GEEN sectorblanking!)
- 2) Doordat er sectorblanking wordt toegepast zal deze waarde binnen het kantoorgebouw in de praktijk nooit worden bereikt.
- 3) Op de dichtstbijzijnde locatie in het gebouw, 15 meter van de radarmast, is de straling in de bundel lager zijn dan de norm.
- 4) De stralingsbelasting blijft een factor 30.000 onder de norm, zonder sectorblanking.

Met sectorblanking:

- 1) Naast de gerichte radarbundel komt er sterk verzwakte straling vrij in andere richtingen, bijvoorbeeld de eindlussen. De sterkte hiervan is maximaal 10% van de hoofdbundel.
- 2) De stralingsbelasting blijft een factor 300.000 onder de norm, in geval van sectorblanking.
- 3) Het bij de berekeningen uitgaan van een ideale bundelvorm werkt enigszins verzwarend op de normen. (in de praktijk zal de stralingsbelasting lager uitvallen)

Voor het tweede potentieel nadelige effect geldt:

- 1) Het signaal mag niet gemiddeld worden in de tijd (ICNIRP).
- 2) Indien gewerkt wordt met sectorblanking blijft de stralingsbelasting een factor 8 onder de strengste norm (INCIRP).
- 3) Indien niet wordt gewerkt met sectorblanking is het signaal afkomstig van de radar $802/r \text{ [W/m}^2]$, waarbij r de afstand tot de antennemast is. Op 15 meter bedraagt de stralingsbelasting 53 W/m^2 . Dat is hoger dan de norm.

Gebruikte symbolen

Symbool	eenheid	betekenis
α	[rad]	verticale spreidingshoek van de radarbundel, uitgedrukt in radialen
A	[m ²]	(aangestraald) oppervlak
β	[rad]	hoek, uitgedrukt in radialen
b	[m]	bundel breedte (is idealitair gelijk aan de lengte van de antenne)
f		fractie, deel van
g	[10 ⁹]	giga
h	[m]	bundel hoogte
k	[10 ³]	kilo
p		punt
P	[W/m ²]	uitgezonden vermogen per vierkante meter aangestraald oppervlak ter plaatse p op afstand r
r	[m]	afstand, radius