

Vindkraftsprojektet (Försvaret och vindkraften): En allmän beskrivning. Version 2 ("Populärrapport")

1. Allmänt.....	2
2. Förstudie radar.....	4
3. Förstudie radiolänk.....	7
4. Huvudstudie radar	14
4.1. Blockering av signalvägarna av naturliga hinder	15
4.2 NÄRFÄLTSEFFEKTER	16
4.3. RADARMÅLYTANS VARIATION I HÖJDLED.....	16
4.4. SLUTSATSER AV HUVUDSTUDIEN	17
5. Huvudstudie radiolänk	18
5.1. BAKGRUND.....	18
5.2 GENOMFÖRANDE	19
5.3. SLUTSATSER	19
6. Förstudie marina system till havs.....	20
6.1 BAKGRUND.....	20
6.2 PROBLEMBESKRIVNING	20
6.3 GENOMFÖRANDE	21
6.4 SLUTSATSER	23
6.5 SAMMANFATTANDE BEDÖMNING	24
7. Huvudstudie signalspaning	24
7.1 ALLMÄNT	24
7.2 SLUTSATSER AV DE AKTIVITETER SOM HITTILLS HAR GENOMFÖRTS	29
8. Allmänna begrepp gemensamma för radar och radiolänk	29
9. Övrigt	32

1. Allmänt

Försvarsmakten (FM) vill med den föreliggande rapporten ge en inblick och förståelse för det samarbetsprojekt som har bedrivits angående studier om störningar orsakade av vindkraftverk på Försvarets radar, radiolänk, marinens passiva system samt FRA signalspaningsutrustning.

Syftet med rapporten är att ge en allmän populär insikt i projektet och vilka resultat studien hittills har kommit fram till utan några djuplodande teoretiska resonemang. Förhoppningen är att rapporten skall kunna förstås av envar som vill ha en inblick i de försvarsintressen som beaktas och som emellanåt kan tvinga FM att säga nej till vindkraftetableringar.

Projektledning har varit:

Projektledare: Överstelöjtnant **Hans-Björn Fischhaber** på Högkvarterets miljöavdelning i Försvarsmakten

Sekreterare/biträdande projektledare: Avdelningsdirektör **Kjell-Åke Eriksson** på kompetenscentrum Sensor och Telekom vid Försvarets materielverk.

En samverkansgrupp benämnd Sg Vind har funnits, med följande sammansättning:

Försvarsdepartementet	Petra Pfeiff
Näringsdepartementet	Magnus Blumer
Miljödepartementet	Willy Eng
Försvarsmakten Högkvarteret	Hans-Björn Fischhaber
Försvarsmakten Högkvarteret	Eywor Helmenius (adjungerad)
Försvarets materielverk	Kjell-Åke Eriksson
Försvarets forskningsanstalt	Jan-Olof Ousbäck
Boverket	Bengt Larsén
Energimyndigheten	Susann Persson
Länsstyrelsen i Skåne län	Susann Sallhed Canneroth
Varbergs kommun	Leif Håkansson
Svensk Vindkraftförening	Kjell Kuylenstierna
Vattenfall	Göran Dalén/Kenneth Averstad

Vattenfall har företrätt kraftverksföreningen (som numera motsvaras av Svensk Energi).

Energimyndigheten(EM) har finansierat projektet genom ett skriftligt avtal med Försvarsmakten. Försvarets materielverk(FMV) har bl.a. genomfört uppköp av den specialistkompetens som behövs.

Var kan det då uppstå konflikt mellan vindkraftens- och försvarets intressen? Sg Vind har beslutat att fokusera på följande områden där Försvaret har befarat konflikt:

- Radar
- Radiolänk
- Signalspaningssystem
- Marinens passiva system

Sg Vind har menat att projektet skall kallas en ”studie” och inte betecknas med det (kanske) mera omfattande begreppet ”utredning”.

En indelning har gjorts i förstudier och huvudstudier.

Förstudier

- Radar
- Radiolänk

Huvudstudier

- Radar
- Radiolänk
- Signalspaning

Tillkommande studier

- Huvudstudie signalspaning
- Förstudie marina system till havs

Förstudierna är mätningar som syftar till att få svar på frågan om FM nuvarande modeller vid bedömning av risk för konflikt med vindkraftverk ger ett tillräckligt bra svar eller inte. Förstudierna kan antingen visa att FM modeller är tillfyllest eller att modellerna måste omarbetas. De genomförda förstudierna har visat på vissa brister i de modeller som f.n. används. Därför har huvudstudierna påbörjats. Huvudstudierna syftar till att utveckla andra modeller. Under projektets gång har tillkommit ett behov av att utöka studien med en marin studie samt en signalspaningsstudie. Anledningen är den bedömda potentialen för vindkraft ute till havs.

Rapporten skall förhoppningsvis också bidra med en del pedagogiska exempel som svarar på vanligt förekommande frågor.

Rapporten behandlar alla genomförda studier inom ramen för Sg Vind: förstudie radar, förstudie radiolänk och huvudstudie radar, förstudie marina system samt huvudstudie signalspaning. Alla studier beskrivs i nutidsform trots att de är genomförda. Men nutidsformen bedöms ha en lättare prägel

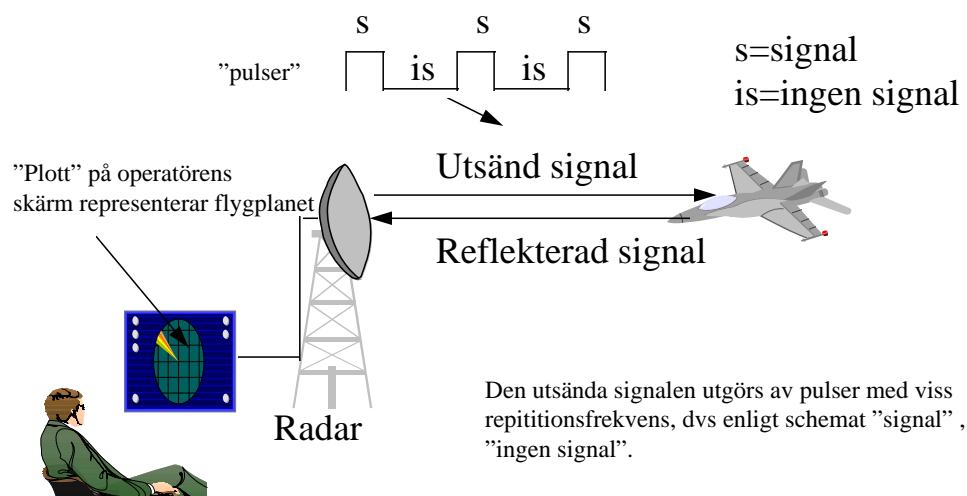
2. Förstudie radar

Bakgrund

Denna del är rubricerad som en förstudie och är avrapporterad och klar. Syftet är att se om Försvarens nuvarande metoder för att bedöma störningar från vindkraftverk är tillräckligt bra eller inte.

Radar

En radar kan enkelt beskrivas som en utrustning som detekterar föremål genom reflektion av radiovågor. Det är reflexen "reflektad signal", d.v.s. själva studsens av signalen i föremålet som ger en "plott" på skärmen hos radaroperatören. "Plotten" representerar flygplanet i illustrationen.



Den utsända signalen utgörs av pulser med viss repetitionsfrekvens, dvs enligt schemat "signal", "ingen signal".

Tidsskillnaden mellan den utsända och reflekterade signalen gör att man t.ex. kan räkna ut avståndet till flygplanet.

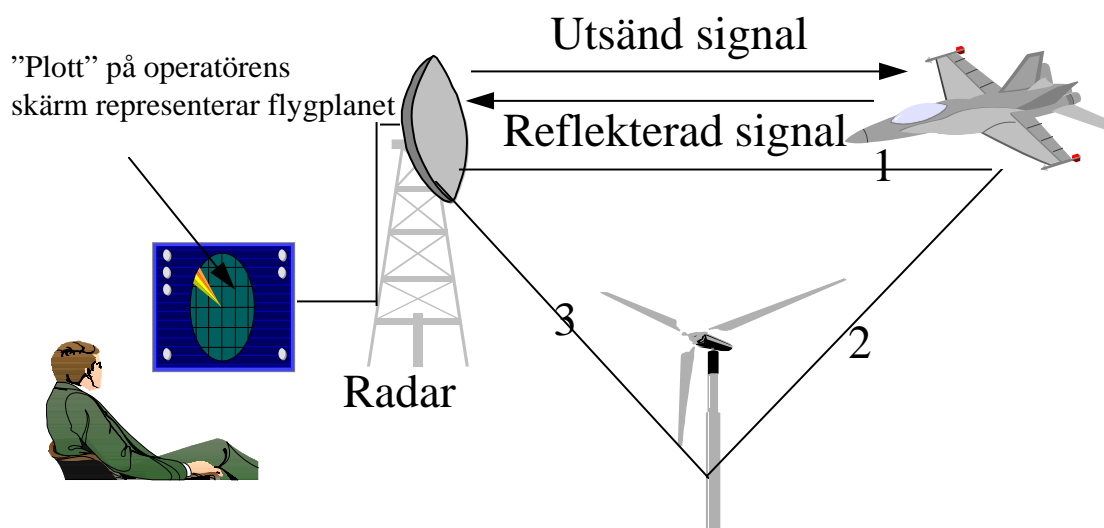
Genom att signalen utsändas som pulser kan man genom ett flertal registreringar av "plotterna" räkna ut flygplanets fart.

Fig. 2.1

Vilket problem uppstår då om vindkraftverk byggs i närheten av en radarstation?

Problemet kan illustreras med följande figur:

Vindkraft/Radar



P.g.a. tidsskillnaden mellan den reflekterade signalen och signalen 1-2-3 blir den senare en störning.

Samma problem orsakar följande reflexer, ej illustrerade:

- ***Radar-vindkraftverk-flygplan-radar***
- ***Radar-vindkraftverk-flygplan-vindkraftverk-radar***

Fig. 2.2

Genomförande av förstudien

Förstudien genomfördes på Gotland, Furilden och Näsudden. På Furilden studerades inverkan från två olika vindkraftverk och på Näsudden hur en större mängd av vindkraftverk, ca 50 st. påverkar radarn.

Illustrationen visar hur mätningarna genomfördes vid Furilden:

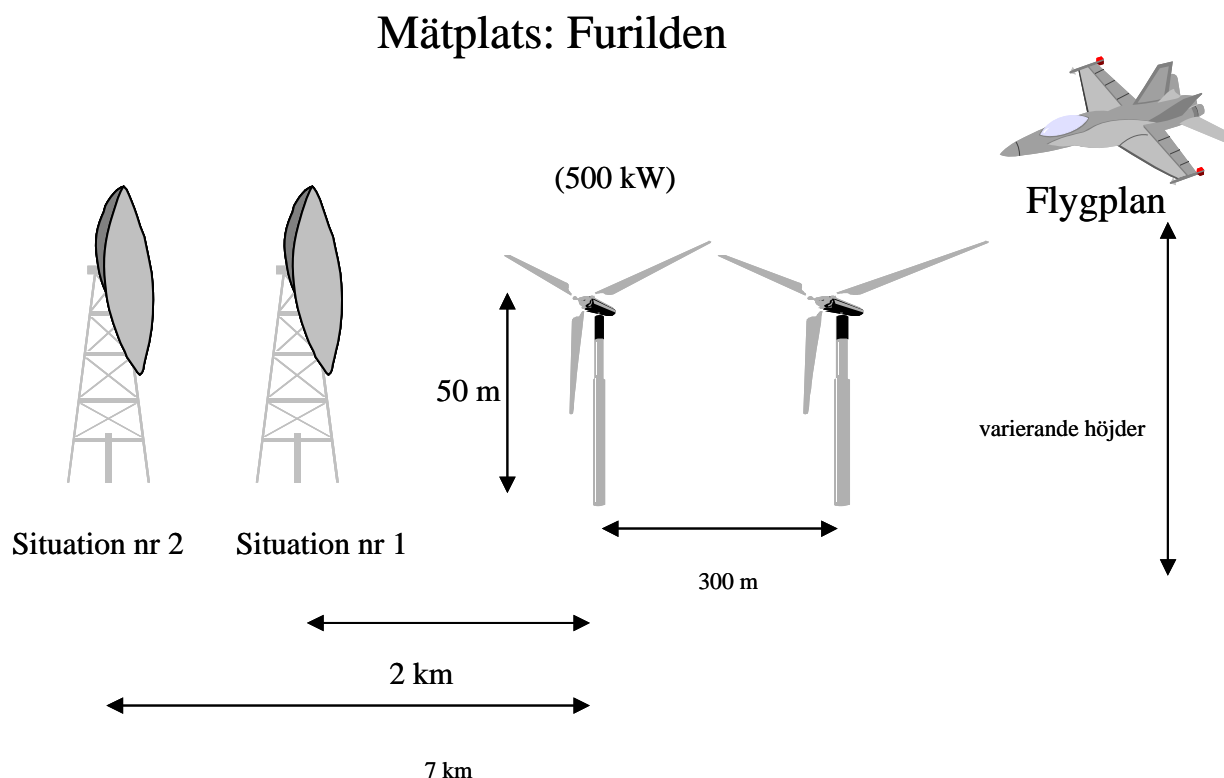


Fig 2.3

Vid Furilden användes en flyttbar radar som placerades vid två olika avstånd från de båda vindkraftverken, 2 resp 5 km. Vid mätningarna flög ett av FM inhyrt målflygplan, Lansen, över platsen på olika höjder.

Motsvarande mätningar gjordes vid Näsudden.

Provresultat

Slutsatserna kan sammanfattas på följande sätt:

- Vid mätning mot enstaka vindkraftverk (2 st) vid Furilden kunde **inget belägg** hittas för att vindkraftverk skulle försvåra radarns förmåga att upptäcka flygplanet. Detta gällde oavsett om vindkraftverken var i drift eller stillastående, d.v.s. om turbinen roterade eller inte.
- Vid mätning i ett vindkraftstätt (ca 50 st) område, Näsudden, noterades heller ingen försämring i radarns förmåga att upptäcka flygplanet. Däremot får målföljningsfunktionen ("historiken") allvarliga problem inne i området med vindkraftverk, eftersom även roterande vindkraftverk syns i radarns MTI-kanal (avser funktion som undertrycker fasta ekon, d.v.s. ekon från "orörliga" föremål) och ger upphov till ett flertal möjliga plottar.

Slutsatser av förstudie radar

Provresultaten visar att det enda noterade problemet uppstår bland en större mängd vindkraftverk, och då avser detta målföljningen, d.v.s. att kunna följa planet. Radarn kan förväxla de tidigare noteringarna av flygplanet med de roterande turbinerna på vindkraftverken. Notera att flygplanet **inte** förloras ur sikte, och att en van operatör fortfarande bör kunna följa flygplanet. Det som händer är att de roterande turbinerna ger upphov till falska ekon som kan förväxlas med ekon från flygplanet.

En konsekvens av detta är att om rotationen på turbinerna stoppas är detta en tillräcklig åtgärd för att få **en** fungerande målföljning hos radarn.

Trots de till synes positiva resultaten måste man ändå komma ihåg att slutsatserna är grundade på ett fåtal observationer, och att man därför inte bör dra alltför långtgående slutsatser. Observationerna har emellertid tjänat som ett viktigt underlag för att gå vidare i en huvudstudie.

3. Förstudie radiolänk

Bakgrund

Denna del av studien är rubricerad som en förstudie. Syftet är att se om Försvarsmaktens nuvarande metoder för att bedöma störningar från vindkraftverk på radiolänk är tillräckligt bra eller inte. I dagsläget används framtagna modeller som inte är fullständigt utvärderade, eller "validerade" om man vill använda ett finare ord.

Radiolänk?

Vad är då en radiolänk? Enkelt kan man säga att en länk är som en "kabel" i luften. Radiolänken har i alla fall precis samma ändamål som kabel och fiber, d.v.s att överföra telefonsamtal, E-post, videokonferenser, radarbilder mm. Radiolänken använder radiovågor för att överföra informationen från sändare till mottagare, se illustrationen. Det man ser när man tittar på en radiolänk är oftast antennerna, parabol, uppsatta i master. Radioänkar arbetar alltid i par. En parabol fungerar som sändare och en annan som mottagare, samt vice versa i den motsatta riktningen. Avståndet mellan sändare och mottagare kan variera mellan några få kilometer upp till flera mil. Flera radiolänkar kan sedan kopplas samman i ett nätverk, och försvaret har ett eget nät av radiolänkar, som ingår i det s.k. Försvarets Telenät, FTN.

Radiolänkförbindelse

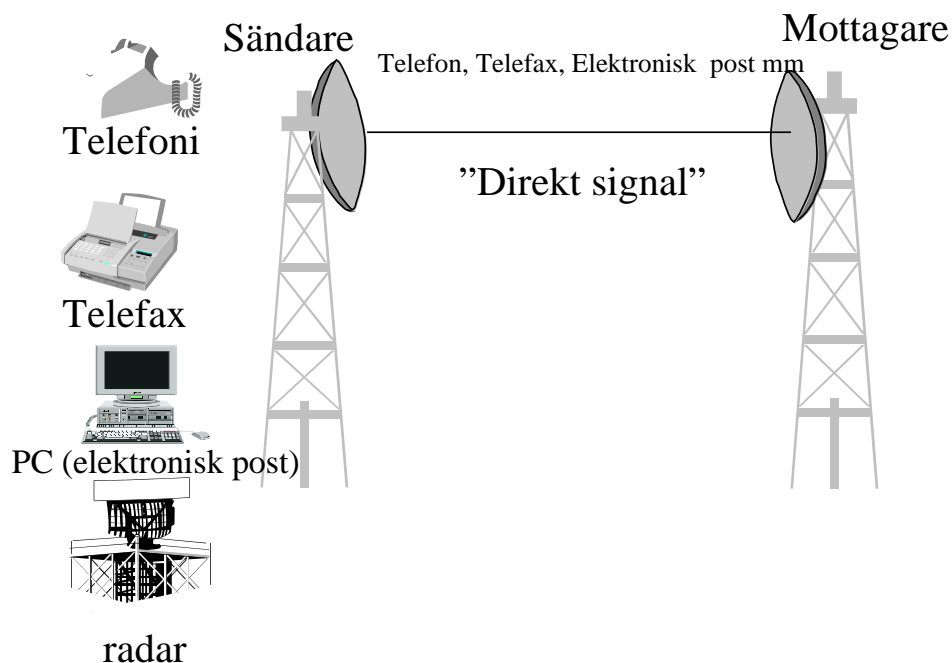


Fig. 3.1

I radiolänkförbindelsen finns flera kanaler. Det kan t.ex. pågå flera hundra eller tusen telefonsamtal samtidigt.

Civilt nyttjande av Försvarets radiolänkförbindelser

Försvarsmaktens radiolänkförbindelser har inte bara användning inom försvarsmakten utan försörjer också viktiga civila tillämpningar. Ett par viktiga exempel på detta är:

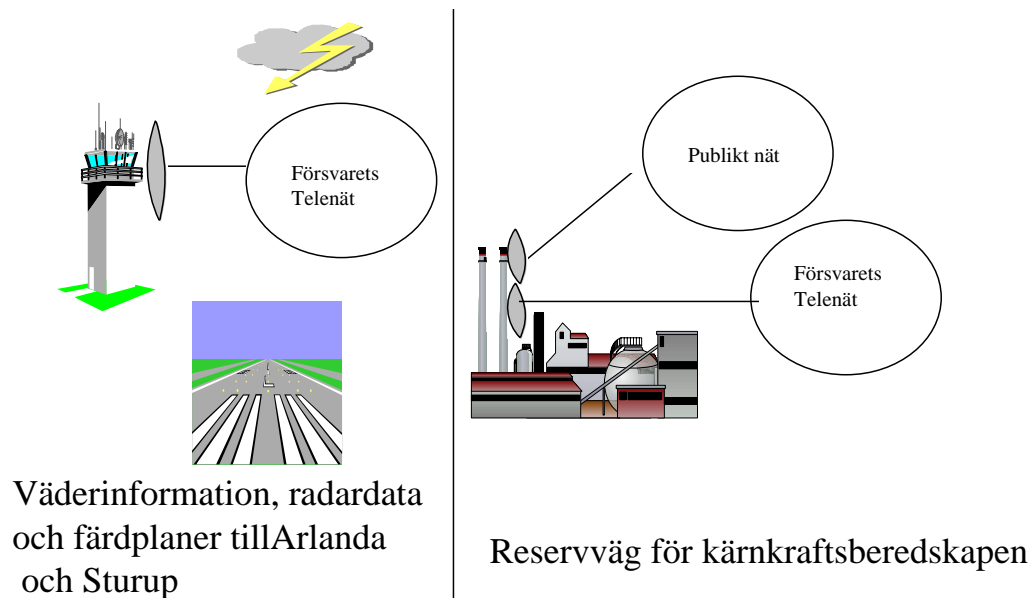


Fig. 3.2

Vari består den konflikt som kan uppstå med ett vindkraftverk

Radiovågor utbreder sig åt olika håll, även om man med olika tekniker försöker att undertrycka de delar, indirekta signaler, som inte hör till direktsignalen. Men det går inte att undertrycka dem fullständigt. De indirekta signalerna utgör inget problem så länge det inte blir några reflexer i mottagaränden, men om t.ex. ett vindkraftverk står i vägen skulle följande scenario kunna inträffa.

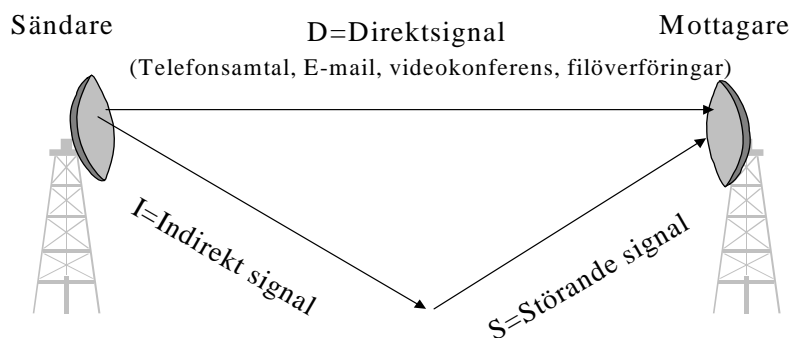


Fig. 3.3

Reflexen blir då ett störbidrag, S , som kan störa mottagaren och i värsta fall göra den helt obrukbar. Störningen kan ha olika styrka, och det som avgör om vindkraftverket tillåts eller inte är hur stark den störande signalen är i förhållande till den direkta signalen, d.v.s. kvoten D/S . I denna beräkning måste hänsyn bl.a. tas till hur kraftig reflexen blir i vindkraftverket, och detta avgörs av något som brukar kallas vindkraftverkets radarmålyta (mer om detta senare). Därutöver är t.ex. avstånd (d_1 , d_2 och d_3) och vinkeln β avgörande för störsignalens styrka. Även materialet i vindkraftverket har betydelse.

Avgörande för JA eller NEJ är m.a.o. storleken på kvoten D/S . Vilka nivåer som kan tolereras för denna kvot, d.v.s. om det blir JA eller NEJ, måste avgöras av nätägaren, d.v.s. Försvarsmakten. Rent allmänt är det bättre ju större kvoten är.

Turbinens betydelse

Är det då inte turbinen på vindkraftverket som är det stora problemet, dvs rotationen? Detta har undersökts i en "enkla" mätning 1988 vid Maglarp. Vid dessa mätningar konstaterades att skillnaden i störningarna beroende på om turbinen var stillastående och roterande var marginell. Därför har slutsatsen dragits att det stora störningsbidraget kommer från reflexerna i tornet. Men det räknas också på reflexer från turbinen, med då räknas turbinen som stillastående.

Genomförande av förstudien

I förstudien har i första hand studerats om det överhuvudtaget finns någon påverkan från vindkraftverk eller inte.

En speciell mätplats har valts ut där tre stycken radiolänkstråk har studerats: ett stråk har inverkan¹ av vindkraftverk medan de två andra radiolänkstråken i stort sett är utan inverkan.

Principbild för mätplatsen framgår nedan:

¹ Ordet "inverkan" har medvetet valts, eftersom ordet är lite mindre subjektivt än ordet "påverkan". Med inverkan menas att det i omedelbar närhet till stråket mellan parabolerna finns vindkraftverk. Det är eg. omöjligt att veta om vindkraftverken stör före några mätningar har genomförts.

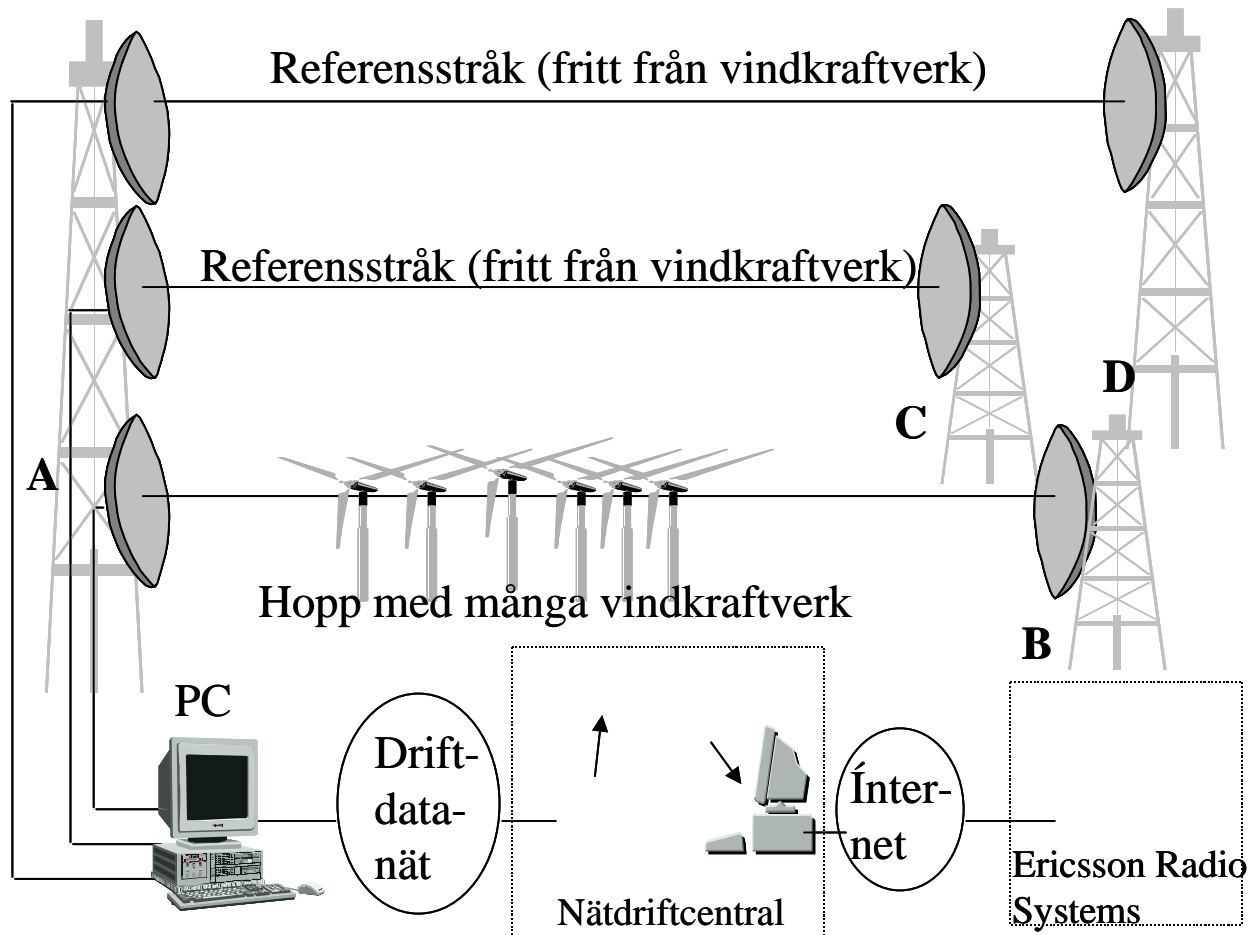


Fig 3.4

Avståndet mellan stationerna är i storleksordningen 4-5 mil på alla tre hoppen. Alla tre stråken är i frekvensområdet 2 GHz.

Vid stationsplatserna A, B och C genereras kända signaler, vilka sedan skickas till stationsplatsen D. Där mellanlagras data eller mätvärdena i en PC. Dessa data skickas sedan vidare till en av försvarsmaktens nät driftcentraler. Mätvärdena skickas sedan vidare via Internet till specialister vid Ericsson Radio Systems för utvärdering. Där analyseras skillnaden mellan genererade mätvärden vid stationsplatserna A, B och C och de mätvärden som erhållits vid stationsplatsen D. Det som beräknas är den totala avbrottstiden för varje radiolänkstråk, d.v.s. ”telefoni och datatrafik kommer inte fram”. En intressant indikation är om det skulle visa sig vara en avgörande skillnad mellan stråket A-B jämfört med stråken A-C och A-D.

Tid

Den tidsperiod som har utvärderats är i en första etapp augusti 1997 till januari 1999, d.v.s. ca 1,5 år.

Frekvensens betydelse

Olika radiolänkar kan nyttja vitt skilda frekvenser. Detta är inte rätt plats att beskriva varför man måste använda en viss frekvens för en given uppgift, men det kan konstateras att Försvarsmakten är tvungen att nyttja ett flertal olika frekvensband. Det finns skäl att förutsätta att relationen mellan den använda våglängden och den fysiska storleken på (delement i) vindkraftverket kan ha stor påverkan på störriken.

Några slutsatser från mätningar på 2 GHz

De avbrottstider som har noterats är följande:

Stråk, 2 GHz	A-B	A-C	A-D
Avbrottstider	2 tim, 39 min, 52 sek	2 min, 35 sek	3 min, 3 sek

Tabell 3.1

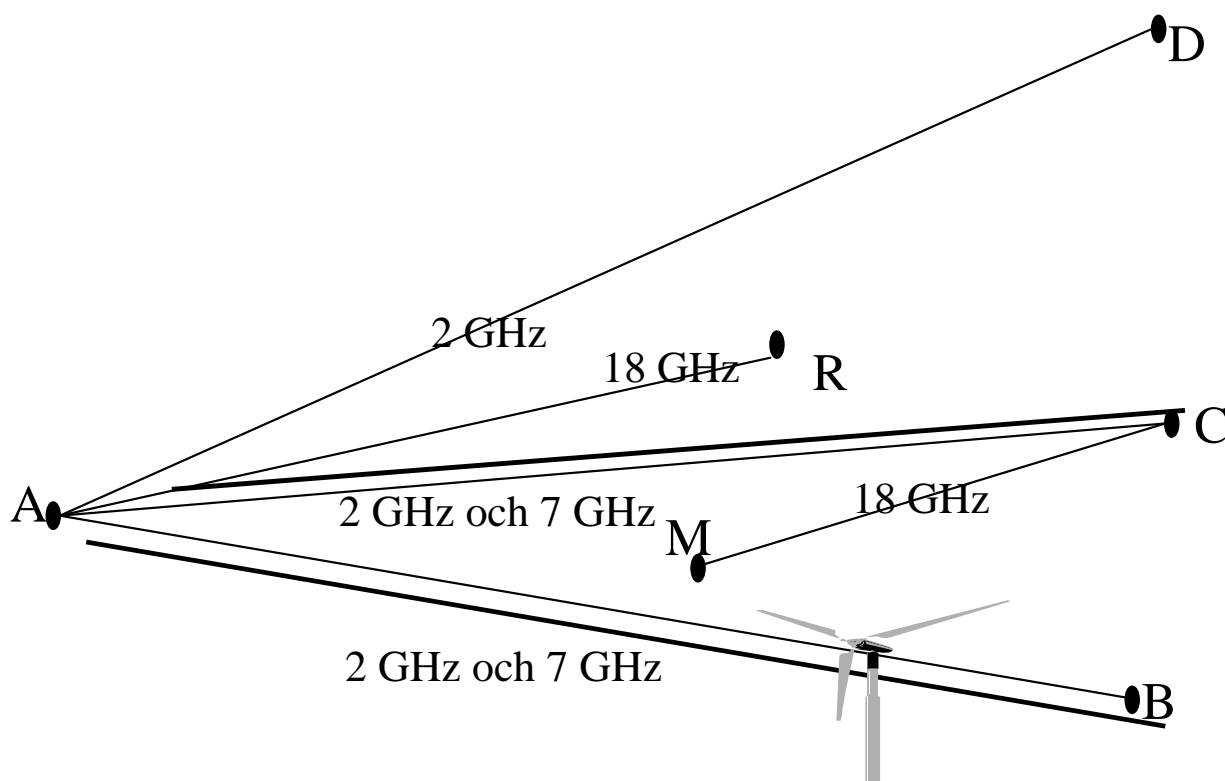
De slutsatser som har dragits av detta är följande:

- *Det kan inte uteslutas att vindkraftverk har en negativ inverkan på prestandan för radiolänk i frekvensbandet 2 GHz.*
- *Resultat måste inväntas från de kompletterande mätningarna på 7 resp 18 GHz för att få ett bättre beslutsunderlag.*

Komplettering

P.g.a. erhållna resultat har beslut fattats om att komplettera förstudien med ytterligare frekvenser, 7 och 18 GHz. Två nya radiolänkhopp har etablerats för 7 GHz och ett för 18 GHz.

En schematisk illustration av den genomförda kompletteringen visas nedan och med samma beteckningar på stråken som i figur 3.4



- A-B: Stråk under inverkan av vindkraftverk
- A-C och A-D kan betraktas som referensstråk (dvs ingen inverkan från vindkraftverk)
- M-C: Stråk under inverkan av vindkraftverk
- A-R: Referensstråk utan inverkan av vindkraftverk

Fig 3.5

Tid för kompletterande mätningar

Tiden för kompletteringen har pågått mellan oktober 1999 och november 2000. Av vissa skäl har 1999 uteslutits ur analysen och därför analyseras bara år 2000.

Några resultat från kompletteringen

Följande avbrottstider har noterats:

Avbrottstider för 2 GHz under år 2000.

Stråk, 2 GHz	A-B	A-C	A-D
Avbrottstider	2 tim, 12 min, 31 sek	39 min, 1 sek	8 min, 27 sek

Tab 3.2

Avbrottstider för 7 GHz under år 2000

Stråk, 7 GHz	A-B	A-C
Avbrottstider	5 tim, 46 min, 24 sek	30 min, 36 sek

Tab 3.3

För 18 GHz har inga avbrottstider noterats. Innebörden av detta är inte helt enkel att tolka, men en möjlig tolkning är att det inte har funnits några vindkraftverk tillräckligt nära stråket M-C för att några reflexer skall kunna uppstå.

Känsligheten för vindkraftverkens placering blir större ju högre frekvenser man mäter på. Vid den aktuella mätplatsen måste etableras förhållanden som innebär att reflexer verkligen uppstår från vindkraftverken. På mätplatsen är det begränsat med möjligheterna att variera stråkriktningarna och erhålla en situation som precis ger de reflexer man eftersträvar att få, och denna svårighet ökar dessutom med ökad frekvens.

Slutsatser

Den generella slutsats som har dragits av förstudie radiolänk är följande:

- *Inverkan av vindkraftverk ger längre avbrottstider för radiolänk i frekvensbandet 2-10 GHz.*

4. Huvudstudie radar

Huvudstudie Radar påbörjades under 1998 och avslutades under 1999. Syftet med studien var att modifiera de teoretiska modeller som bland annat har legat till grund för de remiss-bedömningar som Försvarsmakten genomför samt att genomföra mätningar mot riktiga vindkraftverk samt skalmodeller. Mätningar genomfördes under våren 1999 mot vindkraftverk i Varbergsområdet.

Bakgrund

De gamla modellerna, som utvecklades under ett pressat tidsschema 1988, innehöll ett antal förenklingar som har visat sig kunna påverka störberäkningarna. Förenklingarna innebär att man alltid räknar på ett "generaliserat värsta fall". Förstudie Radar visade att de gamla modellerna troligen var alltför stränga, även om mätningarna endast gjordes på ett fåtal fall.

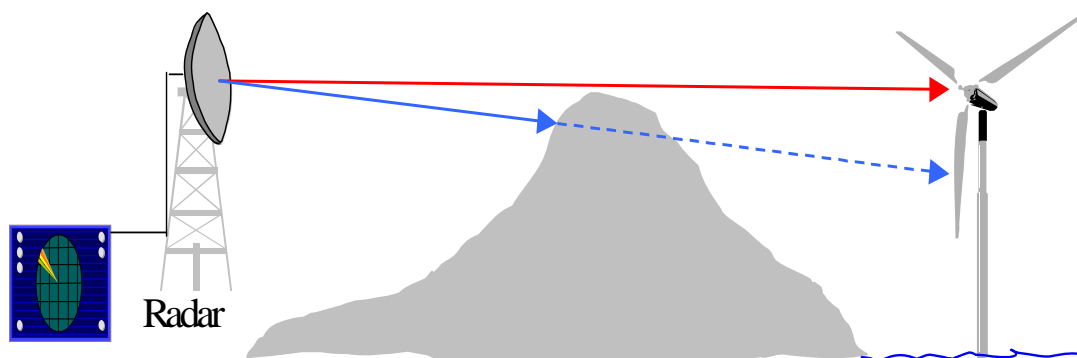
Därför beslutades att genomföra en huvudstudie för att förfina de gamla modellerna. Framför allt gäller detta vindkraftverks radarmålyta. Radarmålytan, som även definieras i kapitel 4, beskriver hur en radarsignal som träffar ett vindkraftverk reflekteras i olika riktningar.

Studien har visat att de tre viktigaste effekter som har tillförts modellerna är:

- Blockering av signalvägarna av naturliga hinder, berg et c.
- Radarmålytans variation i höjddled
- Närfältseffekter, d v s avståndet mellan radarn och vindkraftverket är oftast så kort att de gamla modellerna för radarmålytan blir onoggranna

4.1. Blockering av signalvägarna av naturliga hinder

Radarsystem arbetar med signaler vars våglängd är av centimeterstorlek. Detta medför att signalerna endast kan gå fram där det är fri sikt. Finns det ett hinder i siktlinjen, exempelvis i form av ett berg eller dylikt stoppas radarsignalen. Se figur 4.1.

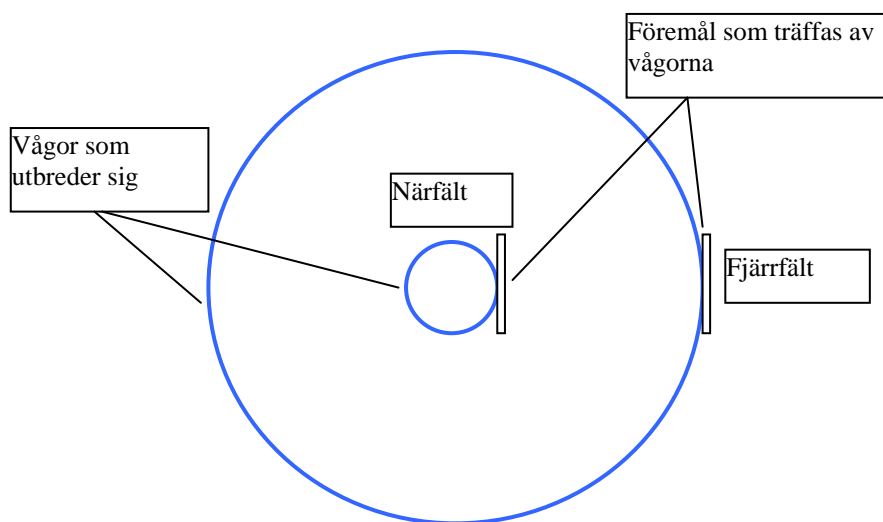


Figur 4.1

På samma sätt förutsätter de gamla modellerna att avståndet mellan radarn och vindkraftverket är så stort att kraftverket träffas av plana vågor från radarn. För typiska dimensioner på vindkraftverk medför detta avstånd på 10-tals mil. Eftersom de avstånd som är aktuella vid remissbedömningar är betydligt kortare, måste en modifiering av radarmålytan göras. En metod att göra en sådan modifiering har utarbetats i den nu genomförda studien. Resultatet visar att radarmålytan reduceras relativt kraftigt, typiskt en faktor 10-100 ggr.

4.2 Närfältseffekter

De formler som användes i de gamla modellerna för att beräkna vindkraftverks radarmålyta förutsätter att avståndet mellan radarn och kraftverken är tillräckligt stort. Man kan jämföra detta med att kasta en sten i en spegelblank sjö. Det bildas då ringar på vattnet som breder ut sig över ytan. Då de har brett ut sig tillräckligt långt har de så stor diameter att de uppfattas som plana vågor för ett litet föremål på ytan. Se figur 4.2. Man kan uppfatta det som att hela vågfronten träffar föremålet samtidigt.



Figur 4.2

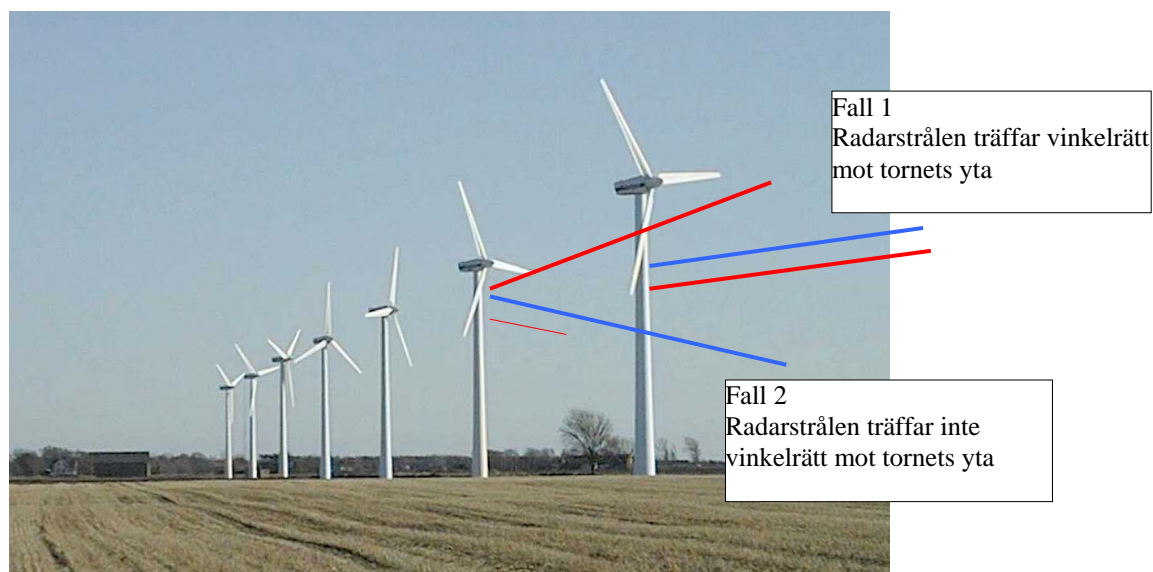
På samma sätt förutsätter de gamla modellerna att avståndet mellan radarn och vindkraftverket är så stort att kraftverket träffas av plana vågor från radarn. För typiska dimensioner på vindkraftverk medför detta avstånd på 10-tals mil. Eftersom de avstånd som är aktuella vid remissbedömningar är betydligt kortare, måste en modifiering av radarmålytan göras. En metod att göra en sådan modifiering har utarbetats i den nu genomförda studien. Resultatet visar att radarmålytan reduceras relativt kraftigt, typiskt en faktor 10-100 ggr.

4.3. Radarmålytans variation i höjled

Radarmålytan hos ett vindkraftverk (speciellt tornet som är dominerande) har ett starkt vinkelberoende. Detta kan jämföras med en reflex av solen i en spegel, "solkatt". En liten rörelse av spegeln flyttar "solkattens" läge på väggen mycket. Man kan titta in i spegeln om man vinklar den så att "solkatten" inte träffar ögat

men blir helt blind om man vinklar den så att "solkatten" träffar ögat. Solljuset är samlat inom ett litet vinkelområde

Även för radarsignaler samlas den reflekterade signalen, "solkatten", inom ett mycket litet vinkelområde. Detta medför att även mycket små vinkeländringar kan medföra stora variationer i radarmålyta. Se figur 4.3.



Figur 4.3

I fall 1 träffar radarstrålen vinkelrätt mot tornets yta och man får en kraftig reflex tillbaka. I fall 2 träffar radarstrålen snett mot tornets yta och man får en mycket liten reflex tillbaka.

För ett vindkrafttorn med en höjd av 50 m är huvuddelen av radarreflexen samlad inom en vinkel på ca 0.02 grader. Utanför denna vinkel minskar radarreflexen (målytan) kraftigt. Detta ställer höga krav på att det geografiska läget för vindkraftverket är väl känt. Det är framförallt höjdläget som är viktigt. Ett felaktig höjdläge på 5 –10 m kan ge en felaktig radarmålyta på kanske 100 ggr eller mer om avståndet mellan radar och vindkraftverket är 3 km.

4.4. Slutsatser av huvudstudien

Studien har visat att den tidigare utvecklade modellen för vindkraftverks radarmålyta innehöll betydande förenklingar som medförde att en för stor radarmålyta oftast användes vid remissbedömningarna (störzoner). Dock bör påpekas att fall kan förekomma då geometrin är sådan att målytevärden av samma storleksordning som den tidigare modellen gav, uppträder. Eftersom mycket höga radarmålytevärden endast förekommer inom mycket smala vinkel-intervall är det

mycket viktigt att den faktiska geometrin är väl känd, framförallt vindkraftverkets exakta position.

Studien visar vidare att typiska målytor för vindkraftverk ligger i storleksordningen mellan 100-1000 m². Naturligtvis kan även både lägre som högre målytevärden förekomma. Detta stämmer också väl överens med Förstudie Radar.

De mätningar som genomförts, både mot riktiga vindkraftverk och skalmodeller, uppvisar god överensstämmelse med den teoretiska modellen.

Sammanfattningsvis kan konstateras att Försvarsmaktens bedömningar bör kunna bli generösare, men kräver samtidigt en bättre precision i lägesangivelsen för vindkraftverken i de ansökningshandlingar som kommer Försvarsmakten och FMV tillhanda. Det är lätt att inse att en så exakt lägesangivelse som möjligt också medför en generösare bedömning. Om den exakta positionen inte är känd räknas t.ex. med vinkelrätt infall, vilket enligt ovan ger en överskattning av störningen. En exakt lägesangivelse torde bara i undantagsfall innebära att infallet blir vinkelrätt.

5. Huvudstudie radiolänk

5.1. Bakgrund

Huvudstudie radiolänk innebär att man förfinar de nuvarande modellerna för hur man skall beräkna den som kvot som betecknas D/S (internationell säger man CIR-värde) i figur 3. Uttryckt i ord kallar man denna kvot för signal- till störförhållande, eftersom det är en kvot mellan en ”nyttosignal” och en ”störsignal”. Men hjälp av de resultat som tagits fram i huvudstudie radar, främst modellerna för radarmålyta, har en anpassning gjorts till radiolänkfallet.

De viktigaste hänsynstagandena är att man tar hänsyn till terrängen, på i princip samma sätt som för huvudstudie radar, se illustrationen i fig. 4.1. För radiolänk skulle en motsvarande illustration se ut på följande sätt:

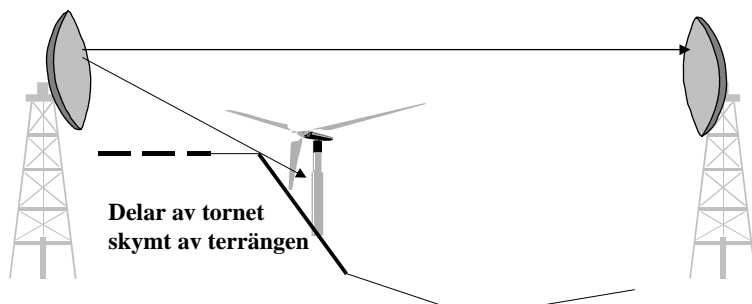


Fig. 5.1

Reflexen blir helt enkelt mindre kraftig eftersom det endast räknas på det som reflekteras från den "synliga" delen av vindkraftverket, d.v.s. inte hela vindkraftverket.

Dessutom används den s.k. närfältsapproximationen (till viss del förklarad i avsnittet 4.2). Någon mer utförlig förklaring görs inte här.

5.2 Genomförande

Genomförande av huvudstudien har bestått i att ta fram ett beräkningsobjekt där de beskrivna förändringarna då är aspekter som numera ingår i själva beräkningsmodellen.

5.3. Slutsatser

Slutsatsen är att den kvot, d.v.s. D/S som är avgörande har förbättrats. Det kan betyda två saker. Dels att den direkta signalen D är starkare, vilket den av lättförklarliga skäl inte har blivit, och dels att den störande signalen har blivit svagare. Förklaringen är m.a.o. att den störande signalen, som härrör från reflexen i vindkraftverket har blivit svagare. Detta beror då på att det, enligt fig. 5.1. bara räknas på den reflex som uppstår i den "synliga" delen av vindkraftverket.

6. Förstudie marina system till havs

6.1 Bakgrund

Undervattensfarkoster utgör, i kombination med landets långa kustremsa och många skärgårdar, det idag största "gömda" spaningshotet mot Sverige. Detektions- och identifikations-möjligheterna av dessa typer av farkoster baseras idag uteslutande på hydroakustiska och elektromagnetiska sensorsystem placerade i vattnet. Dessa system är mycket känsliga och kan komma att störas genom den ökande mängden havsbaserad vindkraft i Svenska vatten. Man skulle t ex kunna skapa döva zoner i närheten av vindkraftverk eller vindkraftsparker där främmande makts undervattensfarkoster lugnt skulle kunna gömma sig och operera ostört utan risk för upptäckt.

Denna förstudie syftar därför till att utreda hur starka hydroakustiska och elektromagnetiska störningar ett vindkraftsverk kan generera och hur dessa påverkar prestandan på Försvarsmaktens marina passiva spaningssystem.

6.2 Problembeskrivning

Det nya Svenska försvaret bygger bla på en utökad och mer yttäckande övervakning av Östersjön. För den kontinuerliga sjöövervakningen används en kombination av radar, signalspaning och passiva undervattenssensorer eftersom sensorsystemen kompletterar varandra.

De undervattenssystem som kan komma att störas av vindkraftverk är:

- Fasta undervattenssystem bestyckade med hydroakustiska långbasantennor och elektromagnetiska sensorer. Långbasantennorna ska fungera för både passiv lyssning på stora avstånd och lågfrekvent aktiv spaning där ytfartyg med sändare samverkar med antennen.
- Örlogsfartyg med släpad passiv mottagarantenn, sk TAS (Towed Array Sonar).
- Utlägningsbara system som ska kunna fällas i ett område där spanings- eller övervakningsinsatsen snabbt behöver höjas.
- Undervattensfarkoster, ubåt eller obemannade system, som bär sensorsystem.

Den största risken är att den akustiska och elektromagnetiska nivån i vattnet höjs så mycket att upptäckten av undervattensmål förvärras i det ökade brus som uppstår p.g.a. bullret från vindkraftverken. Moderna undervattensfarkoster blir

dessutom allt tystare, vilket gör att de också lättare kan dölja sig i de olika former av störningar som förekommer i Östersjön.

Se illustration nedan som visar hur bruset från omgivande vindkraftverk stör och försvårar upptäckten av undervattensfarkosten.

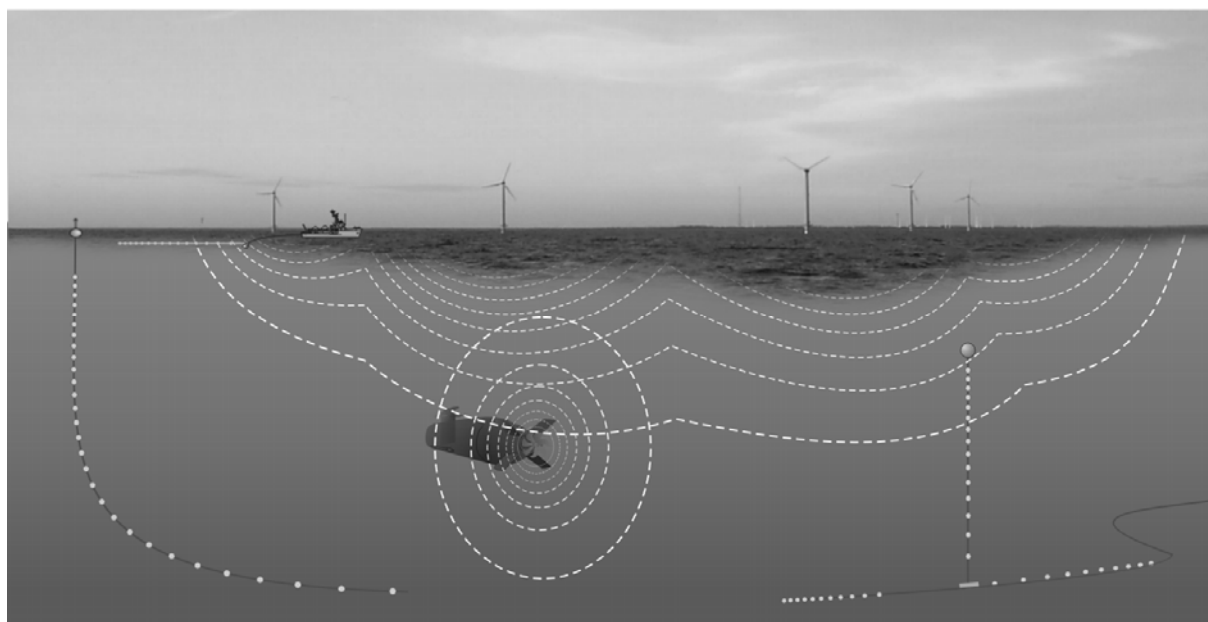


Fig 6.1

6.3 Genomförande

En fältmätning utfördes 22-23 augusti 2000 vid vindkraftparken vid Bockstigen, Gotland för att studera de hydroakustiska och elektromagnetiska fält som skapas av ett typiska havsbaserat vindkraftverk. Parken består av fem vindkraftverk byggda cirka fem km från land och på ett vattendjup av cirka 6 m. På land vid Näsudden finns ytterligare ett hundratal vindkraftverk i drift. Verken på Bockstigen är av typ Wind Word och har vardera en kapacitet på 500 kW. Vid drift (med vindhastighet över ca 6 m/s) roterar propellern med 30 varv per minut.

De akustiska signalerna mättes med 4 st. hydrofoner på 50, 200, 400 och 1000 meters avstånd från de 5 vindkraftverken vid Bockstigen 1, se illustration nedan. De elektriska fälten mättes på avstånden 150m resp. 350 m och de magnetiska fälten på avstånden 200 m och 400 m från vindkraftverken.

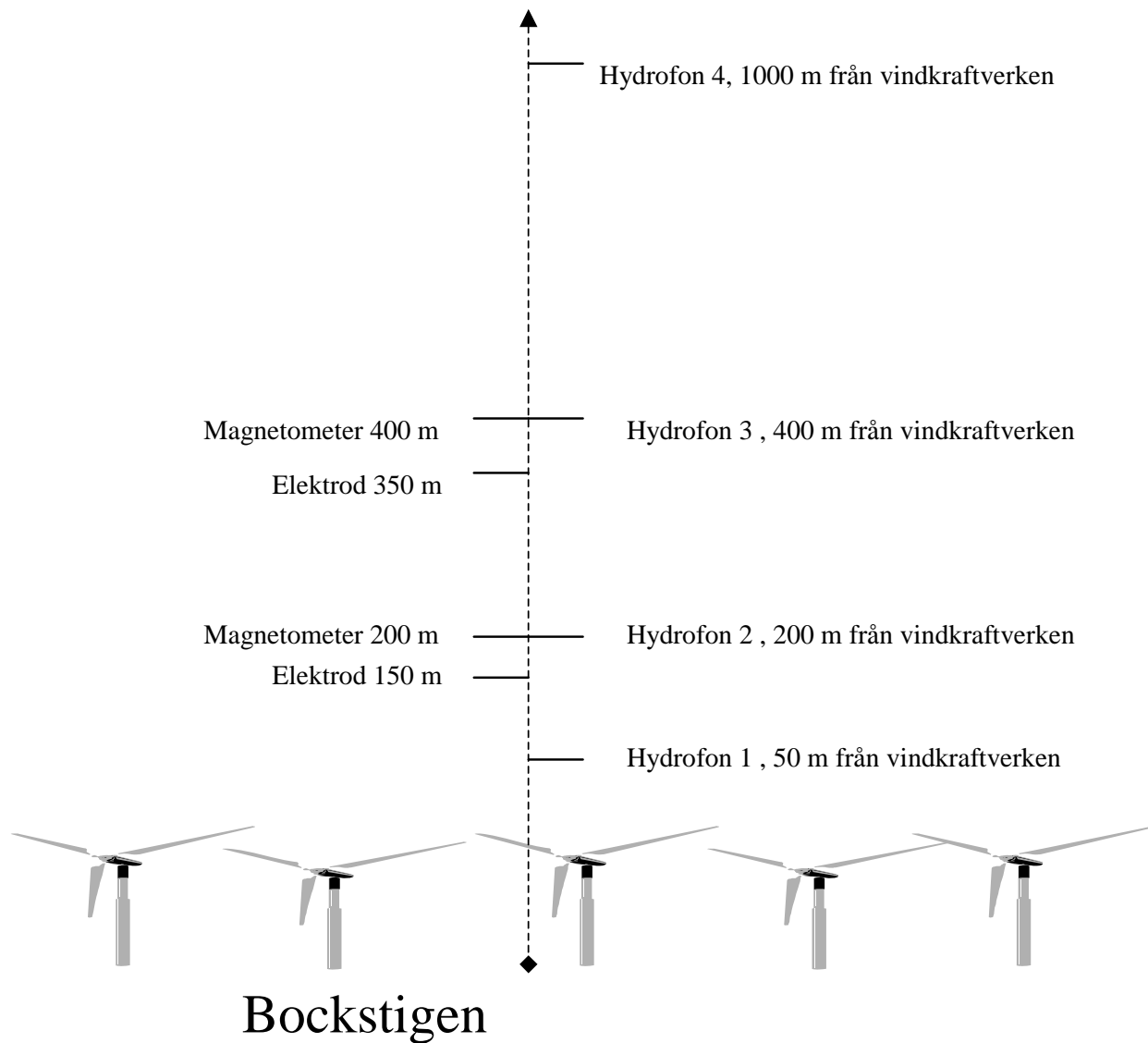


Fig 6.2

Hydrofonerna var i samtliga fall arrangerade två meter över botten. Mätdata är filtrerat 2-1000 Hz.

Det elektromagnetiska fältet studerades på samma sätt på två olika avstånd, ca. 200 och 400 meter från vindkraftverken .

Registreringar har utförts dels med verket igång dels vid ett stillastående verk samt också när Bockstigen's alla fem verk var stillastående.

6.4 Slutsatser

Hydroakustik.

Vindkraftverket vid Bockstigen genererar toner i frekvensområdet upp till 500 Hz som är tydligt urskiljbara på avstånd över 400 meter. Det är osäkert hur mycket den uppmätta akustiska bakgrundsbrusnivån är påverkad av kraftverken i närheten, d.v.s. de fyra övriga på Bockstigen samt hundratalet landbaserade på Näsudden

Mätningen är starkt begränsad till ett drifttillstånd vid låg vindstyrka och därmed låg uteffekt på kraftverken. Spridningsbilden kan se annorlunda ut vid andra vindstyrkor och vindriktningar.

Den miljö de havsbaserade kraftverken är byggda i spelar troligen en avgörande roll för hur mycket ljud som strålar ut i vattnat. Om verket är nedborrat i berg, förankrat i morän, anlagt på berg eller lera inverkar med all sannolikhet på ljudbilden. Likaså inverkar havsbottnens topografi och beskaffenhet med avseende på bottensedimenten.

Det finns idag bara enstaka hydroakustiska mätningar som är utförda vid andra typer av kraftverk. En försiktig jämförelse mellan dessa resultat antyder att störningsfältet kan se olika ut beroende på konstruktionen. Hur störningsbilden ser ut för större kraftverk och ”vindkraftverksskogar” anlagda till havs är okänt.

Elektromagnetik

De fält som kan störa ut elektromagnetisk sensorutrustning är huvudsakligen av växelfältskaraktär (AC). Detta gör att likspänningsfält (DC) ifrån högspänningskablar inte utgör ett direkt störningshot mot dessa anläggningar. Den direkta påverkan kommer däremot från roterande rörliga delar i växellådor och generatorer, men även från transformatorer vilka höjer spänningen till effektfördelaktiga transportnivåer. Detta innebär att framtida vindkraftverk av den typ bl.a. ABB tillverkar (Windmill), med förbättrade och ett nedskuret antal mekaniska detaljer, kan tänkas vara bättre lämpade för havsbaserad kraftproduktion även nära militärt känsliga områden.

De mätningar som gjordes vid det relativt lilla kraftverket Bockstigen 1 påvisar att besvärliga växelfält i frekvensintervallet 0.01 - 10 Hz påträffas runt kraftverken på ett avstånd upp till 1 km. Det ska dock understrykas att detta avstånd växer om man utnyttjar avancerad signalbehandling såsom referensfiltering, vilken dock kräver fler sensorer och en mycket större mätinsats. Man ska också komma ihåg att det finns mätinstrument med mycket högre precision än vad som användes under den aktuella mätkampjen. Det uppmätta avståndet kan alltså ses som en

typisk undre gräns inom vilken påverkan och eventuellt utstörning av elektromagnetisk sensorutrustning kan ske.

På samma sätt som för de akustiska störningarna vet man inte heller om den låga vindhastigheten (och därmed effekten) påverkar den utstrålade elektromagnetiska energin. Vidare kan man inte uttala sig generellt om alla typer av vindkraftverk, eftersom alla har olika design och skiftande tekniska lösningar.

Sammanfattningsvis förhåller det sig så idag att ett generellt uttalande om skyddstånd blir ospecifikt och för en noggrannare karaktärisering är det uppenbart att fler och mer spridda mätningar görs både i fält och i laboratorie.

6.5 Sammanfattande Bedömning

Förstudie Marina System har visat att havsbaserade vindkraftverk genererar hydroakustiska och elektromagnetiska störningar. Det är däremot fortfarande oklart om sådana störningar kan bli så pass stora att de kan komma att påverka prestanda på Försvarsmaktens marina passiva spaningsystem. Därför föreslås att:

- Kompletterande mätningar görs i syfte att upprätta en kontinuerlig databas för framtida modellering.
- Dessa mätningar är representativa för olika fall av ex. vindstyrka, fundament, berggrund, generatortyper, osv...
- Försvarsmakten i ett tidigt skede går in tillsammans med vindkraftsföretag och tillverkare för att påverka och ev. styra utvecklingen av tysta och lågstrålade vindkraftverk

7. Huvudstudie signalspaning

7.1 Allmänt

Bakgrund

Det har konstaterats att den stora potentialen för vindkraftverk finns ute till havs och därmed har också signalspaningssystemen kommit i fokus. Det nuvarande sättet att i ett remissärende bedöma konfliktrisen mellan vindkraftverk och en signalspaningsstation illustreras i nedanstående figur.

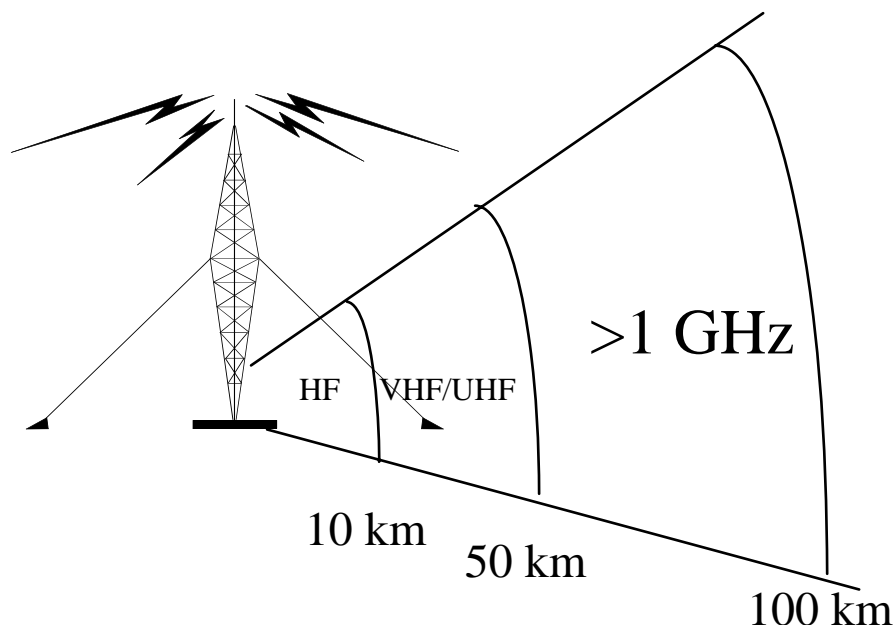


Fig 7.1

För de högre signalspaningsfrekvenserna (GHz =Giga Hertz) är förbudsområdet en halvcirkel med radien 100 km, d.v.s. **inget** vindkraftverk kommer idag att tillåtas bli byggt inom denna zon. Då signalspaningsstationerna i stor utsträckning finns vid kusterna inses att signalspaningsstationerna har en märkbar påverkan på vindkraftverken ute till havs, d.v.s zon om ca 200 km * 100 km.

I huvudsak kan sägas att vindkraftverk ger upphov till tre typer av problem för signalspaningen nämligen:

- 1) Fel vid riktningbestämning, s.k. pejlfel (d.v.s. att man helt enkelt misstar sig på riktningen)
- 2) Tar signalbehandlingskapacitet och ger ev. upphov till falskmål (eftersom signalspaningsstationen också analyserar reflexerna från vindkraftverken)
- 3) Försämrar förmågan att upptäcka verkliga mål i riktningar till vindkraftverken (eftersom reflexerna från dessa kan blandas med signalen från en riktigt sändare, t.ex. bakom vindkraftverken)

Vad är en signalspaning och en signalspaningsstation

Signalspaning (SIS) sker med **kommunikationssignalspaning** (KOS) mot tele- och datakommunikation via radio och nätverk (s.k. informationsbärande signaler) samt med **teknisk signalspaning** (TES) mot andra signaler, t.ex. radar. Syftet med signalspaningen är att:

- 1) bestämma riktning och position för förekommande sändare
- 2) ta fram sändningens informationsinnehåll.
- 3) Avslöja förekommande sändare (Vad är det t.ex. för typ av sändare? Vem- och eller vilka sänder osv)

Signalspaning bedrivs både mot militära och civila mål för att inhämta underrättelser som bl.a hjälper oss att hävda vår nationella integritet, upptäcka illegal verksamhet och vid behov stödja flyg- och sjöräddning. För att åstadkomma detta krävs vanligtvis att flera kustnära signalspaningsstationer samverkar i en kedja varvid en främmande sändarens position kan bestämmas med en teknik som kallas kryssspejling.

Problem

Den konflikt som kan uppstå när man etablerar vindkraftverk kan illustreras med följande figur:

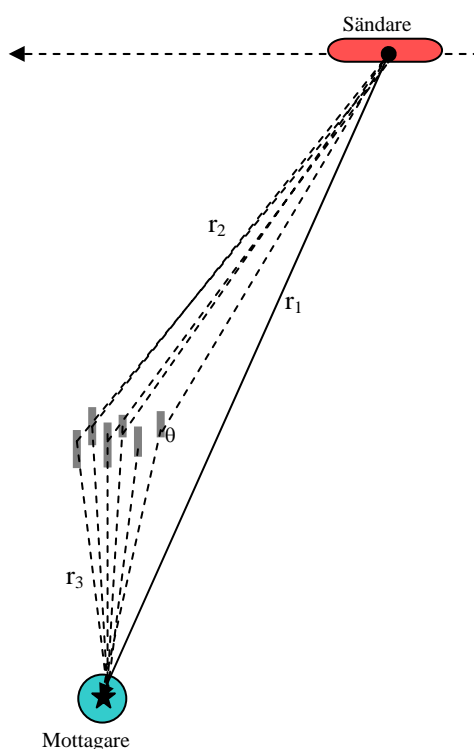


Fig 7.2

Man kan tänka sig ett fartyg med en sändare ombord som rör sig i pilens kursriktning. Signalspaningsstationen i cirkeln (betecknad "mottagare" i figuren) kan ha en eller flera mottagare. Vindkraftverken kommer att reflektera delar av signalen som således går olika signalvägar mellan sändaren och mottagaren, något som kallas flervägsutbredning eller multipath. Den signal man i praktiken är intresserad av är ju den som är markerad r_1 i figuren. De andra signalerna som träffar mottagarna utgör bara oskyldiga reflexer från vindkraftverken.

En vanlig radiosändare utsänder signal i alla riktningar. Vissa signalspaningsstationer (KOS) ser normalt både den direkta signalen och den i vindkraftverken reflekterade signalen samtidigt, vilket gör det svårt att noggrant bestämma riktningen till radiosändaren. För KOS stationer gäller i praktiken att tillse att skyddsavståndet är tillräckligt för acceptabelt pejlfejl. *(Modern digital mångkanalpejl kan dock förbättra situationen genom störundertryckning av felbidraget från vindkraftriktningen och således möjliggöra att riktningbestämning kan ske i andra riktningar med hög noggrannhet. Investeringar i denna teknik är dock än så länge relativt dyrbar.)*

Om sändaren däremot är t.ex. en radar så avsöker denna horisonten vanligtvis cirkulärt med riktad antenn, d.v.s. radarns antenn roterar. En TES station mäter därför in separat både signaler från radarn såväl som reflekterade signaler från vindkraftverken. Undantaget är då sändaren befinner sig bakom vindkraftverken. Det allvarligaste problemet med de "falskmål" som reflexerna från vindkraftverken ger upphov till är att de kan tolkas som riktiga sändare, ofta med förvrängd identitet, vilka i sin tur rapporteras vidare in i Försvarsmaktens lednings- och informationssystem för att ingå i någon skarp lägesbild och beslut om insatser. Att helt enkelt blockera mottagning i riktningar med vindkraftverk är tyvärr inte någon bra lösning då detta också skulle förhindrar upptäckt av mål bakom (och hitom) vindkraftverken. Önskar man inte så långa skyddsavstånd att man helt kan bortse från reflexer måste man därför söka andra lösningar att i signalbehandlingen känna igen och plocka bort reflexer, d.v.s. att man försöker känna igen reflexerna och tidigt undertrycka dem i signalspaningsstationens s.k. signalbehandling.

Resultatet av genomförd verksamhet beskrivs i FOI rapporten "Direction finding error due to scattering from wind mills, analysis and computations", FOA-R—00-01522-616—SE, May 2000, ISSN 1104-9154. Den av FOI utvecklade modellen beräknar det totala pejlfelet för ett skyddsobjekt, medför en mer realistisk kompromiss och flexiblare bedömning än tidigare definierade skyddsavstånd, se

figur 7.1. Den nya modellen ger främst möjlighet att minska det absoluta skyddsavståndet 50 km på VHF/UHF men förutsätter ändå att etablerings-ansökningar som berör ett specifikt skyddsobjekt prövas successivt. Det man måste tänka på då man får ett kortare skyddsavstånd är att återmatningen -om vad som verkligen blivit byggt av vindkraftverken- måste bli bättre. I annat fall kan vindkraftverk som inte blivit byggda stoppa andra planerade vindkraftverk. T.v. använder FRA en enklare modell framtagen i MS Excel. Försvarsmakten måste först beställa den datorstödda modell som FOI tagit fram.

Teknisk signalspaning (TES) (för att lokalisera t.ex. en radar) förekommer både som manuell TES och automatisk TES. Manuell TES innebär naturligen att det är manuell analys av signalspaningsinformation medan autotes är en datoriserad analys.

Den studie som FRA genomfört med SaabTech AB som underleverantör under åren 2002 – 2003 studerade i första hand effekterna på AutoTES, även om påverkan på manuell TES också beaktats.

Samarbetet med SaabTech AB har varit mycket konstruktivt, väl dokumenterat, leveranser enligt tidsplan och med en stabil och väl fungerande mjukvara som resultat. Proven visade att modifieringarna fungerar väl i de flesta fall, ca 90% av alla reflexer kunde härledas till vindkraftverken. 10% av reflexerna från vindkraftverken var då fortfarande inte möjliga att härleda till vindkraftverken. Modifieringen har, som en bonuseffekt, också påverkat systemets övriga prestanda på ett positivt sätt genom att andra typer av felaktiga mätningar indikeras.

Några av de kvarstående problem är att:

- a) Vissa reflexer ca 10 % återstår i vindkraftssektorn (se ovan) utan att kunna igenkännas som "oskyldiga" reflexer från vindkraftverk, men kunde heller inte eller kopplas samman med äkta sändare. Operatören måste därför i dessa fall göra en manuell kontroll. Möjligheterna till förbättring och automatisering återstår därför vid serieinförande av programvaran.
- b) Signalbehandlingen kan dölja andra sändare bakom vindkraftsparken. Genom samverkan med annan stationsplats kan problemet lösas.

Resultaten finns mer detaljerat beskrivna i rapporten "Vindkraftens effekter på signalspaning" FRA H 13920:6168/03, vilken omfattar en öppen och en hemlig del.

7.2 Sammanfattande bedömning

Principen att FRA som tidigare måste ge samråd i varje enskilt fall gällande etableringar av vindkraft gäller fortfarande. Studien har resulterat i nya modeller för hinderprovning av TES och KOS som innebär möjlighet till minskade skyddsavstånd och som kan tas i bruk under nedanstående förutsättningar.

Efter beslut om serieinförande av reflexhårdad AutoTES, eller motsvarande förmåga, i FM rörliga signalspaningsförband gäller för kuststräckorna Västkusten, Norra Gotland/Västervik – Uppland och Norrlandskusten att förbudszonen vid krigsgrupperingsplatser kan minskas från nuvarande ca 200 km * 100 km till ca 20 km * 10 km. Därigenom behöver en procentuellt mycket mindre andel av respektive kuststräckor skyddas.

FRA svarar i fred för signalspaning i södra delen av Östersjön, d.v.s från Skånes sydkust, Blekingekusten och Gotlands östkust. För att minska förbudszonerna i södra Östersjön gällande teknisk signalspaning erfordras en större investeringar i form av fem nya AutoTES-utrustningar, avsedda för FRA. Kostnaden för erforderliga investeringar bedöms i dagsläget (2004) uppgå till ca 75 Mkr. Men även efter genomförda investeringar föreligger behov av vissa, men mer begränsade skyddade sektorer, vid FRA fasta stationer för teknisk signalspaning.

För att också minska störpåverkan på FRA kommunikationssignalspaning i södra Östersjön behövs sannolikt ytterligare ca 40 MSEK till anskaffning av ny typ av pejl.

8. Allmänna begrepp gemensamma för radar och radiolänk

Här nedan förklaras några av de begrepp som är gemensamma i både radar- och radiolänkstudien. Syftet är att förklara några vanliga begrepp som ofta förekommer samt att också besvara några av de vanligare frågeställningarna.

Terrängen

Vilken betydelse har terrängen? I de modeller FM hittills har använt och till viss del fortfarande använder tas ingen hänsyn till topografin. Modellerna är s.k. frirymdsmodeller. Man bortser helt från omgivningens påverkan. Problemet illustreras med radiolänk, men det skiljer principiellt inget om det är en radar som används.

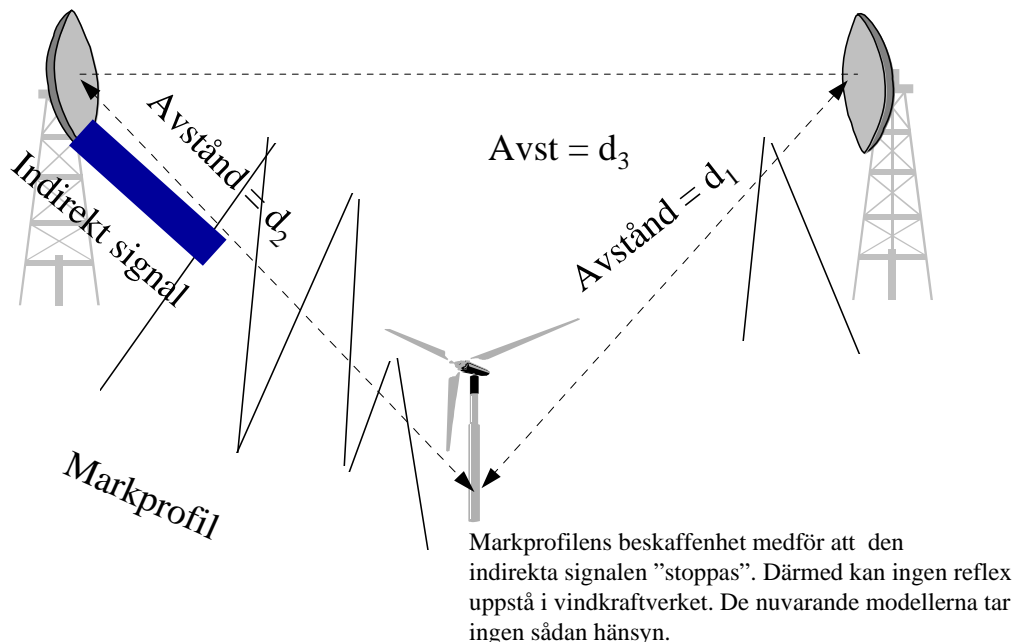
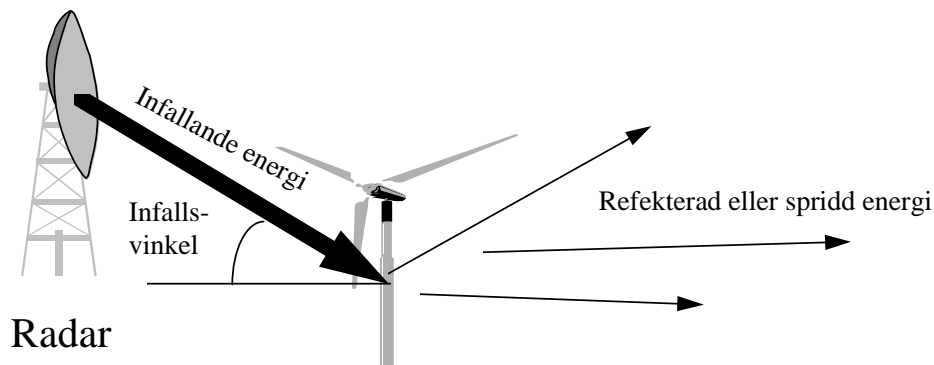


Fig 8.1

I ovanstående fall kan ganska lätt konstateras att vindkraftverket knappast ger några störande reflexer i mottagaren. Markprofilen är så beskaffad att den "stoppas" den indirekta signalen, d.v.s. förhindrar att det uppstår någon reflex i vindkraftverket. De nuvarande modellerna tar ingen hänsyn till detta.

Radarmålytan

Vad är radarmålyta? Radarmålytans mer exakta definition är begreppsmässigt ganska svår. Det är sannolikt bättre med en illustration för att skapa en förståelse för begreppet. Här nedan illustreras begreppet för radar. Men resonemanget är analogt om det är radiolänk som åsyftas.



Signalen från radarn träffar vindkraftverket. En viss del av energin upptas av vindkraftverket. En viss del sprids. Den "spridda" energin är därför alltid mindre än den "infallande" energin.

Radarmålytan är ett mått på detta förhållande.

En stor radarmålyta innebär då att mera energi reflekteras. Rent allmänt är en mindre radarmålyta att föredra, i alla fall om syftet är att öka sannolikheten för att en tilltänkt vindkraft-etablering skall kunna godkännas.

Fig 8.2

Om man med en radar skickar en puls i riktning mot ett mål, t.ex ett flygplan, så kommer den del av pulsens energi som träffar målet att reflekteras i alla riktningar. En del av den energi som reflekteras i målet kommer tillbaka till radarn. Förhållandet mellan den utsända och reflekterade effekten är ett mått på målets radarmålyta i riktning mot radarn. Beroende på hur mycket energi som reflekteras från målet i olika riktningar kan målet sägas ha olika radarmålyta i olika riktningar.

Även ett vindkraftverk har olika radarmålyta i olika riktningar. Den radarmålytan används för att beräkna storleken på störningar från vindkraftverk för både radiolänk och radar.

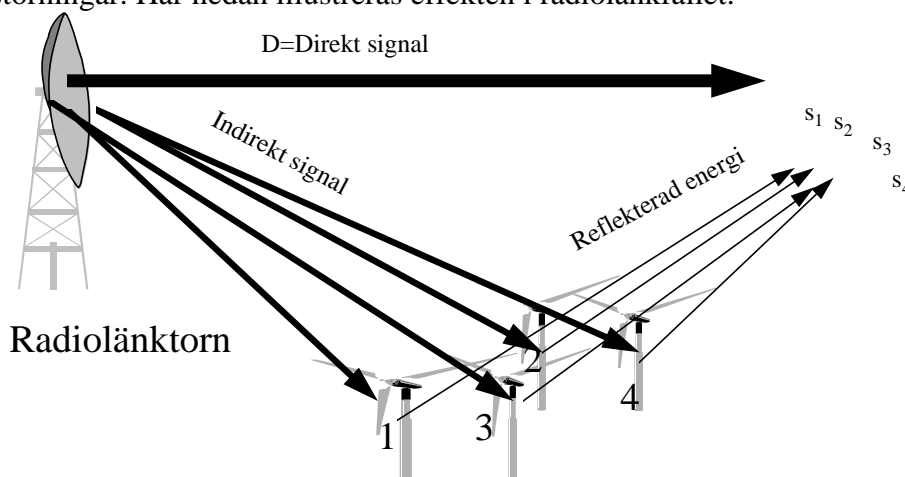
Vad är det då som avgör radarmålytans storlek? Framför allt följande:

- Vindkraftverkets storlek
- Vindkraftverkets form
- Materialet i vindkraftverket
- Våglängden/frekvensen hos den infallande energin
- Infallsvinkeln

Grupper av vindkraftverk

En fråga som ofta uppstår är hur det kan bli avslag på ytterligare ett verk i ett redan vindkrafttätt område. Detta kan enkelt förklaras med begreppet radarmålyta.

Varje enskilt vindkraftverk har en radarmålyta, dvs ger upphov till vissa reflektioner av spridd energi. Energin träffar till viss del alla vindkraftverk. Därmed ger vart och ett av vindkraftverken en störande signal i mottagaränden. Principen är helt enkelt: Ju fler vindkraftverk desto fler reflexer och därmed störningar. Här nedan illustreras effekten i radiolänkfallet.



Den indirekta signalen ger upphov till en reflex i varje enskilt vindkraftverk.

Varje reflex blir ett bidrag till den störning som uppstår i mottagaren.

Styrkan av varje enskilt störningsbidrag beror av vindkraftverkets radarmålyta.

Kvoten D/S avgör om det blir ja eller nej.

I ovanstående fall blir kvoten $D/(s_1+s_2+s_3+s_4)$. Om denna beräkning ger NEJ kanske i stället beräkningen $D/(s_1+s_2+s_3)$ kan ge JA. Dvs om vindkraftverk **nr 4** i gruppen **tas bort** kan gruppen med tre vindkraftverk accepteras.

Fig 8.3

9. Övrigt

De genomförda studierna innebär att betydelsefulla mål har uppnåtts, men inte några slutgiltiga mål. Det har funnits begränsat med resurser till studierna och det finns flera aspekter på de genomförda studierna som kunde vara nog så intressanta att studera djupare. Studierna har inte genomförts i någon uttalad ambition att resultaten skulle medföra någon generösare bedömning från Försvarsmakten vid ev. konflikt med ett vindkraftsintresse, även om förhoppningen varit att det skulle bli så.

Men frågan om Försvarsmaktens, som ett resultat av studierna, kommer att göra generösare- eller mindre generösa bedömningar är en i sig komplicerad fråga som inte låter sig besvaras med ett entydigt ja eller nej. Det är emellertid ingen analys denna rapport avser att göra, men svaret lär sannolikt bara kunna ges efter en längre tid, och då på främst statistiska grunder.

Studierna har främst resulterat i en avsevärt ökad kunskap om den störproblematik som vindkraftverk, och även andra typer av hinder, ger på de olika system som studerats. Därutöver har också, genom samarbetet i Sg Vind, en ökad förståelse uppstått om vad det är som Försvarsmakten egentligen uttalar sig om när det uppstår en konflikt med ett vindkraftsintresse.

Försvarsmakten är beredd att föra en vidare diskussion i den typ av frågor som denna rapport berör. Några exempel på frågeställningar, där det enligt Försvarsmaktens bedömning kan finnas anledning till studier är t.ex.

- Utredningar om ”flygande radar”, PS 890
- Fortsatta utredningar om radar
- Fortsatta utredningar om marina system under havsytan