

PM

Riskutredning för vindkraftparken Taggen i Hanöbukten utanför Ravlunda skjutfält

Sammanfattning

Denna PM dokumenterar en utredning angående sannolikheten för rikoschetterande projektiler avfyra från Ravlunda skjutfält att träffa vindkraftparken Taggen, vilken planeras att uppföras i Hanöbukten. Av de olika typer av skjutning som förekommer med stridsvagn 122 genereras den största sannolikheten för oavsiktlig träff av Taggen vid formell inskjutning med skilspetsammunition. Sannolikheten för träff påverkas i viss omfattning av hur kraftverken ställs in vid skjutning. Beräkningarna visar att sannolikheten för minst en träff av anläggningen är mindre än 5% under dess livstid, vilken antagits till 25 år.

Förutsättningar

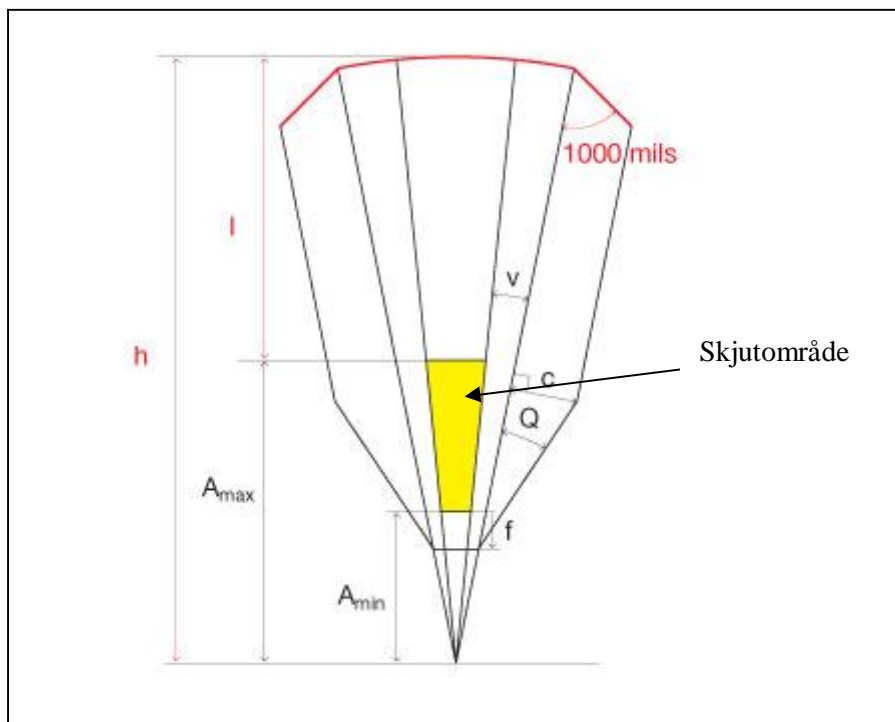
- Försvarmaktens (FM) yttrande "Riskanalys avseende skjutningar från Ravlunda skjutfält mot planerad vindkraftspark Taggen" (daterad 2008-12-22) inklusive bilagor.
- P7:s preliminära yttrande med svar till frågor framförda i samband med möte mellan FM och projektet 2009-01-26.
- Information rörande skjutplatser och riskområden från FM i kompletterande underlag 2009-09-01.
- Underlag från Vattenfall om kraftverkens och transformatorstationernas (TRAFOS) geometri samt placering.

Syfte och mål

Syftet med studien och denna PM är att de skall utgöra ett underlag för tillståndsgivande myndigheter, projektören, Försvarmakten m fl för beslut kopplade till den föreslagna vindkraftsparken Taggen och dess närhet till Ravlunda skjutfält. Målet med denna studie är att utifrån givna förutsättningar kvantifiera sannolikheten för att anläggningen träffas av rikoschetterande skilspetsammunition från övningar på skjutfältet.

Bakgrund

Vid skjutfält generellt finns ett område som benämns skjutområde. Inom detta område förväntas skotten hamna, givet att hänsyn tas till vapensystemets spridning i längs- och sidled. Dessutom finns ett område bortom skjutområdet där det finns en låg, men inte försumbar, sannolikhet att skott kan hamna, exempelvis genom rikoschetter. Detta område benämns riskområde och dess borte gräns är markerad med en röd linje i Figur 1.



Figur 1. Exempel på skjutområde (markerat fält) och riskområde (yttre linjen).

Vid Ravlunda skjutfält används flera olika ammunitionstyper varav en liten andel utgörs av pilammunition. Pilammunition briserar ej utan är pansarbrytande genom att pilen med sin höga energi "trycker" sig genom pansaret och "förbrukas" samtidigt som hålet i pansaret fördjupas. Ammunitionen kan förenklat liknas vid ett järnspett som skjuts iväg med hög hastighet.

För flertalet ammunitionstyper kommer Taggen att vara placerad bortom riskområdesgränsen. Vid användande av skarp pilammunition till stridsvagn 122 blir både skjut- och riskområdena väsentligt mycket längre jämfört med övriga skjutövningar vid Ravlunda, varvid utökade riskområden behöver användas. Taggen är till stor del placerad mellan skjutområdets och det utökade riskområdets borte gräns, vilket medför att anläggningen kan träffas vid sådana övningar. Utökade riskområden finns redovisade tillsammans med det ordinarie riskområdet i bilaga 2 i FM:s yttrande, vilket nyanseras ytterligare i FM:s kompletterande underlag.

Vid Ravlunda skjutfält sker både tilläpplad och formell skjutning. Vid tilläpplad skjutning (stridsskjutning) avges skotten med fri eldgivning samtidigt som stridsvagnarna är i rörelse. Syfte är att efterlikna verklig strid, varvid det inte är möjligt att förena dessa övningar med fångvallar bakom målen. Övningarna sker vid det område som benämns skjutplats 3 i FM:s kompletterande underlag.

Den andra typen av skjutning benämns formell kontrollskjutning och sker med två olika syften vilka finns tydligt redovisade i FM:s yttrande:

- förevisning
- inskjutning av ammunitionsspecifika koefficienter

Inskjutning sker idag vid de områden som kallas skjutplats 1 och 2. Var förevisnings-skjutning sker framgår inte av underlaget. Enligt FM:s yttrande är sannolikheten för träff väsentligt mycket lägre vid förevisningsskjutning än vid inskjutning.

I FM:s yttrande ingår bilagan "Underlag för bedömning avseende placering av vindkraftverk vid Taggen" vilken är framtagen av Försvarets Materialverk (FMV). I bilagan föreslås ett tillvägagångssätt för att ge ett grovt underlag för att bedöma förutsättningarna för aktuell placering av vindkraftparken Taggen. Därifrån hämtas indata till sannolikhets, beräkningsförutsättningar samt de kartskisser som redovisar hur stor del av riskområdet som området med vindkraftverk upptar. Beräkningsmodellen har senare förfinats av konteramiral Torsten Lindh som även utfört beräkningarna av träffsannolikheten. Den förfinade beräkningsmodellen beskrivs översiktligt i denna PM.

Vid framtagandet av FMV:s beräkningsgång förutsattes att övningsammunition och därmed ej skarp ammunition användes vid samtliga tillämpade övningar. Motivet till detta var att övningsammunitionen har en god banöverensstämmelse med skarp ammunition upp till 1500 meter samt är betydligt billigare. Behovet av att använda skarp ammunition till denna typ av övning bedömdes därmed vara obefintligt. Skjutområdet och riskområdet för övningsammunitionen är väsentligt mycket kortare än motsvarande områden för skarp pilammunition. Beräkningsgången som presenteras i FM:s yttrande avser därför enbart de formella skjutningarna. Något behov av tillämpad övning i samband med förberedelse inför internationell insats påtalas ej i FMV:s beräkningsgång.

Denna riskanalys fokuserar därav på formell skjutning för inskjutning av avfyrningsvinklar. Detta sker något enstaka år då beslut tas att stridvagnar ska användas vid en internationell insats och det detta år är förbandet P 7 som då är aktuellt (det sker en rotation mellan tre olika förband, förutom P 7 även P 4 och I 19). Ett sådant år avfyras omkring 100 skott.

Antaganden

- Sannolikheten för träff av Taggen förknippad med förevisningsskjutning är låg då endast 3 % av skotten som avlossas (cirka 15 / år) förväntas missa förevisningsmålet¹ och medföra rikoschett. Endast enstaka projektil kan förväntas missa förevisningsmålet under vindkraftparkens livslängd (25 år). Med detta som bakgrund utreds inte förevisningens bidrag ytterligare i denna PM.
- Samtliga avlossade skott vid inskjutning antas rikoschettera antingen mot mark eller mot vatten¹.
- 50% av skotten rikoschetterar mot mark och 50% mot vatten.
- Vid tillämpade övningar används inte skarp ammunition.
- Den ekonomiska livslängden för anläggningen antas vara 25 år och under denna period antas 5 st internationella insatser som föranleder inskjutning ske. Dessa fördelas likformigt på de tre olika skjutfält varav Ravlunda utgör ett. Vid varje sådan inskjutning avlossas omkring 100 skott och detta leder till att omkring 200 skott kan antas avlossas från Ravlunda under Taggens livslängd.
- Rotorbladen på vindkraftverken antas alltid vara pitchade vid skjutstillfällena.

¹ Försvarmaktens (FM) yttrande "Riskanalys avseende skjutningar från Ravlunda skjutfält mot planerad vindkraftspark Taggen" (daterad 2008-12-22)

Geometrisk förutsättning

- Vindkraftverk
 - Totalt antal kraftverk: 83 st (av typen 3,6 MW)
 - Torndiameter: 5 m
 - Tornhöjd: 90 m
 - Rotorbladens längd: 52 m
 - Bladbredd: max 4 m. Vingspetsen är cirka 1 m bred. Area uppskattas som: $A_{\text{blad}} = 52 \cdot (1+4) / 2 = 130 \text{ m}^2$.
 - Antal rotorblad per kraftverk: 3
 - Rotordiameter 107 m
 - Vid pitchade blad, d v s vinklade med minsta exponerade yta mot skjutriktningen, reduceras exponerad area av rotorblad till ca 1/3
 - Maskinhus
 - Höjd: 4,23 m
 - Bredd: 4,2 m
 - Djup: 13,2 m
- TRAFO
 - Höjd: 20 m
 - Bredd: 30 m
 - Djup: 25 m

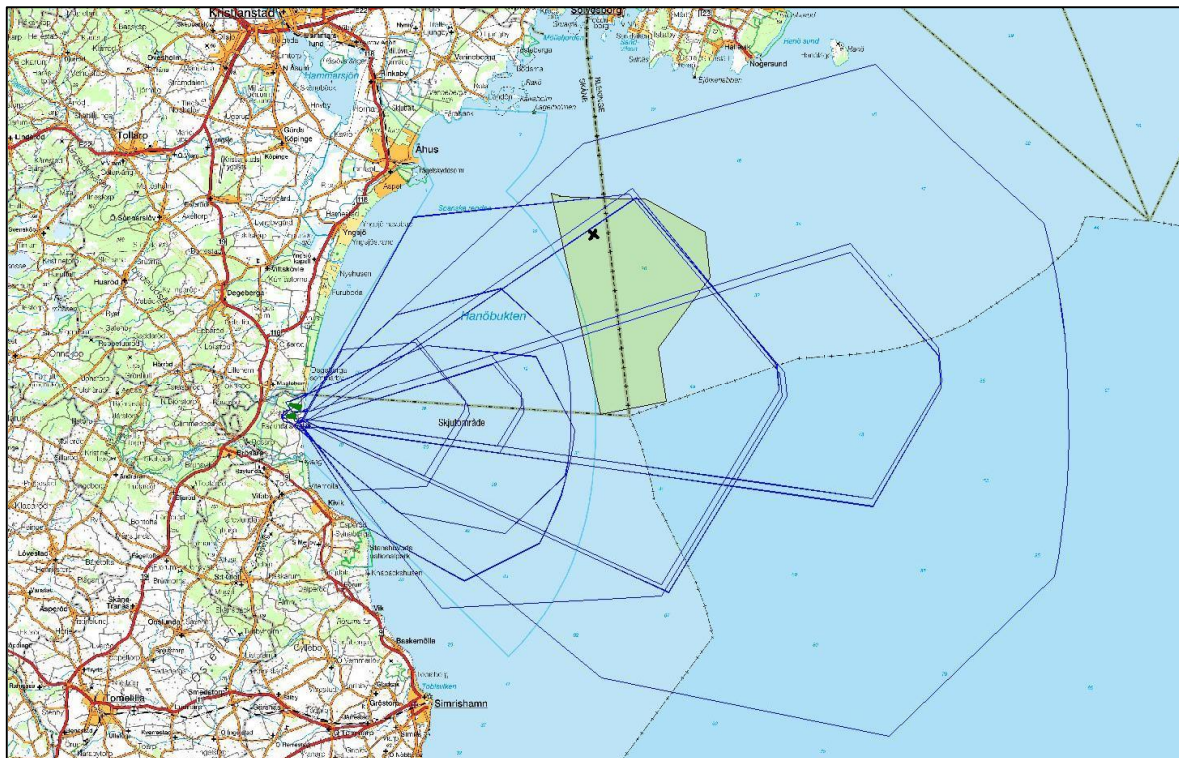
Genomförande

Beräkningarna utförs i tre steg.

1. Först uppskattas riskområdenas respektive delareor, antal torn och förväntat antal nedslag i dessa.
2. Därefter beräknas den så kallade bestrukna arean för de olika konfigurationerna av vindkraftverken.
3. Slutligen vägs de två tidigare momenten samman i en beräkning av sannolikheten för träff vid olika konfigurationer av anläggningen.

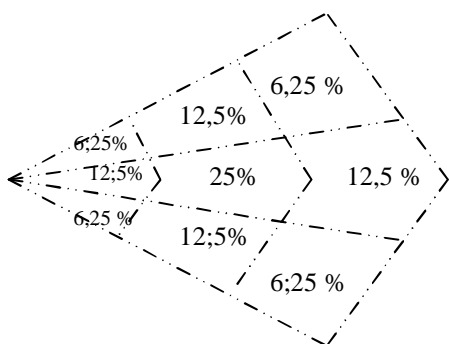
Riskområden och förväntat antal nedslag

Taggens tänkta placering redovisas i Figur 2.



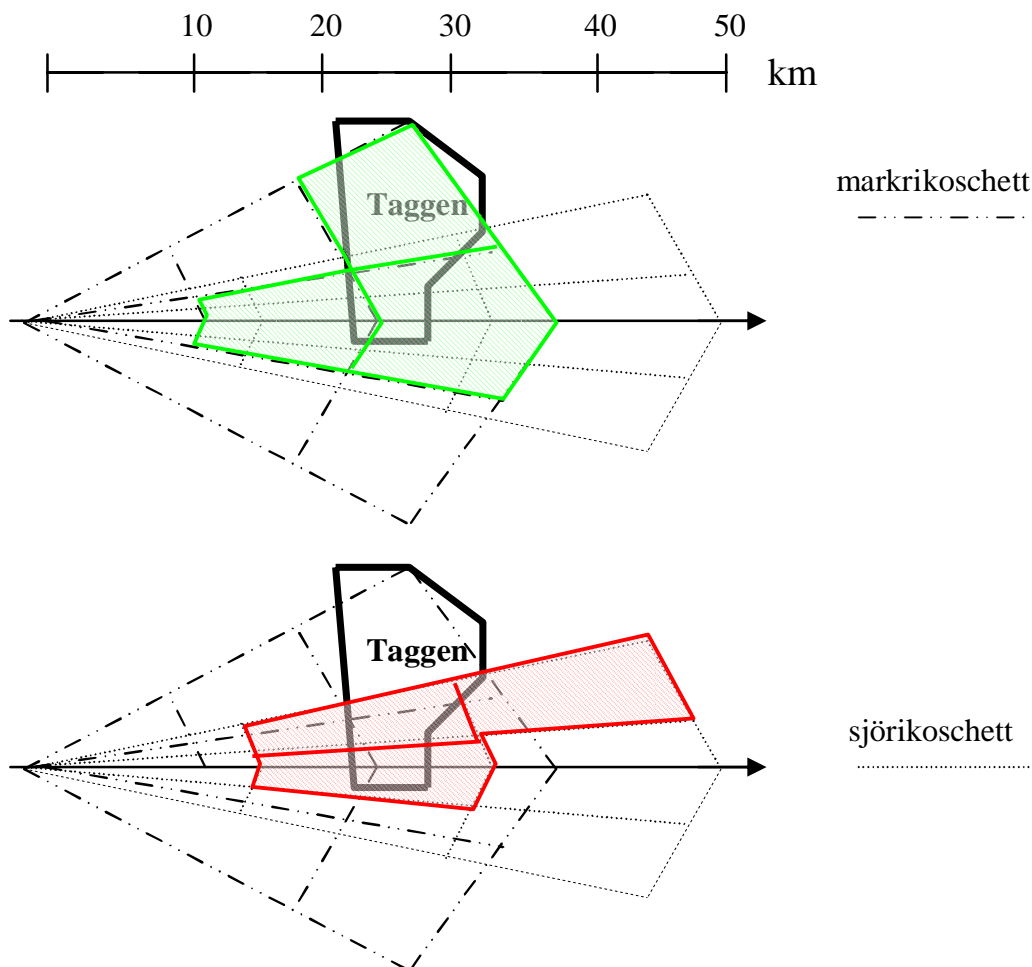
Figur 2. Taggenområdets placering i förhållande till Ravlundas riskområden. Krysset markerar det område där två alternativa placeringar för TRAFO har beskrivits.

Det ligger i definitionen av begreppet riskområde att alla skott slår ner inom detta område, samtidigt som det är osannolikt att nedslagen är jämnt fördelade över området. Det finns anledning att förvänta sig att fördelningen av nedslag är glesare i ytterkanterna och tätare i mitten. En fördelning av nedslagen enligt Figur 3 nedan antas. Inom de nio delsektorerna antas (förenklat) nedslagen ha jämn spridning över ytan.



Figur 3. Antagen fördelning av nedslagen i riskområdet.

Riskområdenas respektive areor har beräknats genom mätning i ett förstort kartunderlag enligt nedan.



Figur 4. Riskområden som antas påverka Taggen för mark- och sjörikoschett.

För respektive delområde bestäms antalet kraftverk och antalet nedslag för mark- respektive sjörikoschetter beräknas med utgångspunkt i:

- Riskområdenas och deras delsektors geografiska utsträckning.
- Nedslagens fördelning över delsektorerna.
- Taggens yta inom riskområdets olika delsektorer.
- Antagandet att vindkraftverken är jämnt fördelade över Taggens yta.

Bestruken area – träffyta

Maskinhusen med rotorerna är vridbara för att kunna anpassas efter rådande vindriktning, och därför studeras två olika positioner principiellt. Ena positionen är att kraftverkens samtliga rotorblad exponeras, se frontläge i Figur 5. Den andra positionen utgår från att rotorbladen är placerade i skjutriktningen, se sidoläge i Figur 5. Den sistnämnda positionen medför att en större yta på maskinhuset exponeras, medan rotorbladens exponering minskar.

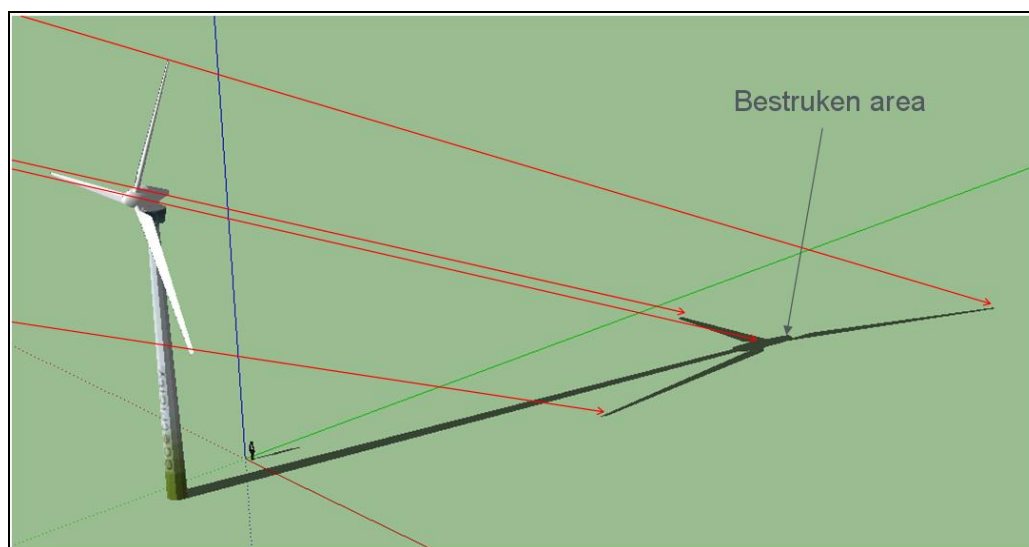
Dessutom finns möjlighet att pitcha (vinkla) rotorbladen. Det medför att exponerad area i frontläge reduceras. I följande beräkningar antas rotorbladen vara pitchade, vilket

gör att det är en förutsättning att man pitchar rotorbladen vid skjutning för att dessa resultat skall vara giltiga.



Figur 5. Bilder för tydliggörande av vindkraftverkets exponering. Till vänster: frontläge (rotoraxel i skjutriktningen). Till höger: sidoläge (rotoraxel tvärs skjutriktningen).

Ett skott som träffar den vertikala målarean hos ett mål skulle, om målet inte fångar upp projektilen, slå ner i ett område bakom målet. Detta område benämns bestruken area, se Figur 6 nedan. Utifrån vindkraftverkens geometri och nedslagsvinkeln 10 grader kan på så sätt bestrukna areor beräknas.



Figur 6. Principiell skiss över bestruken area för ett vindkraftverk.

Beräkning av sannolikhet för träff av Taggen

Om en projektil slår ner stokastiskt inom ett område som är 1 kvadratkilometer och det där finns ett mål med bestruken area 1000 kvm utgör den bestrukna arean $1000/1000000 = 1/1000$ av nedslagsområdet. Sannolikheten att träffa är 0,001 eller 1 promille. Sannolikheten att skottet inte träffar är då 0,999. Om man skjuter 2 skott är sannolikheten att inget av skotten träffar $0,999^2$. Skjuter man n skott är sannolikheten att inget träffar $0,999^n$ och sannolikheten att minst ett skott träffar är $1 - 0,999^n$. Beräkningen av sannolikhet för träff bygger på denna princip.

Genom att sammanställa ovan nämnda data för riskområdesdelar, antalet nedslag, områdesareor, bestruckna areor, antalet vindkraftverk och antalet nedslag inom respektive riskområdesdel har sannolikheten för träff / ingen träff beräknats.

Sammanfattning av resultaten



Sannolikheterna för att det inte blir någon träff i någon av de olika delkomponenterna i vindkraftparken redovisas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Sannolikhet för träff av anläggningens delkomponenter.

| Anläggningsdel | Sannolikhet för ingen träff på 200 skott [%] | Sannolikhet för minst en träff på 200 skott [%] |
|---|--|---|
| Torn | 96,43 | 3,57 |
| Rotorblad (rotoraxel i skjutriktningen) | 98,97 | 1,03 |
| Rotorblad (rotoraxel tvärs skjutriktningen) | 99,41 | 0,59 |
| Maskinhus (rotoraxel i skjutriktningen) | 99,78 | 0,22 |
| Maskinhus (rotoraxel tvärs skjutriktningen) | 99,48 | 0,52 |
| Transformatorstation (TRAFO) | 99,86 | 0,14 |

Dessa resultat kan vägas samman i olika konstellationer för att beräkna sannolikheter för oskadad träff av hela anläggningen då vindkraftverken står med olika vinklar mot skottriiktningen. Beräkningen har utförts genom att multiplicera de ingående delkomponenternas respektive sannolikhet för ingen träff. Transformatorstationen behandlas som ett separat scenario från vindkraftverken. Resultaten redovisas i Tabell 2 nedan.

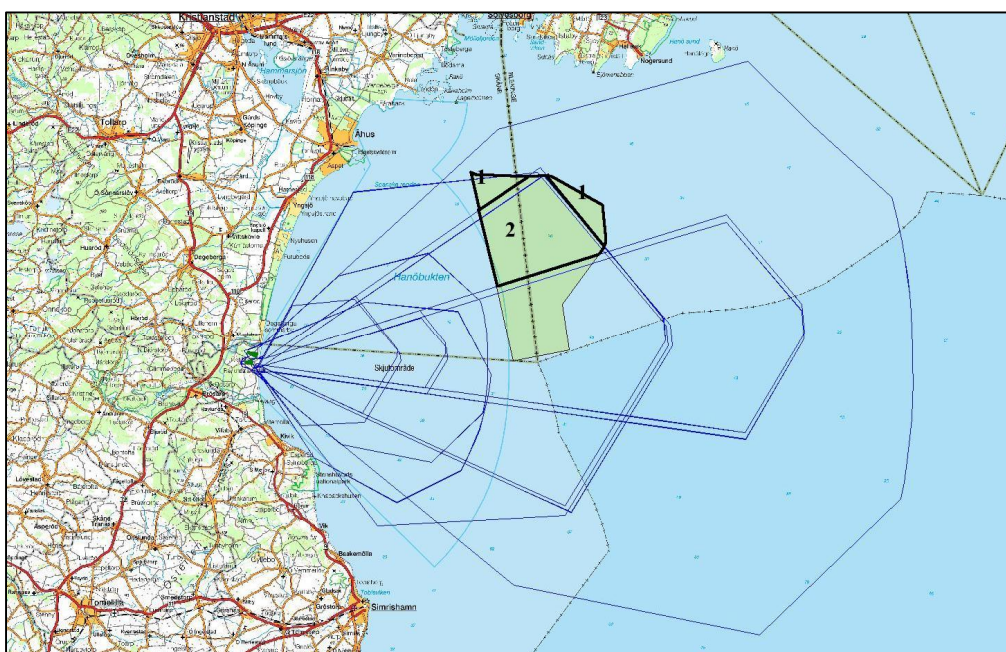
Tabell 2: Sannolikhet för träff av anläggningen.

| | Scenario | Sannolikhet för ingen träff på 200 skott [%] | Sannolikhet för minst en träff på 200 skott [%] |
|---|--|--|---|
|  | Vindkraftverk med rotoraxeln i skjutriktningen | 95,23 | 4,77 |
|  | Vindkraftverk med rotoraxeln tvärs skjutriktningen | 95,36 | 4,64 |
| | TRAFO | 99,86 | 0,14 |

Det finns möjlighet att skaffa bättre underlag för att avgöra hur stor andel av pilarna som rikoschetterar, vilket i nuläget konservativt har ansatts till 100% enligt FM:s yttrande. Detta bedöms vara förknippat med kostnader i miljonklass². I ett första läge föreslås att en känslighetsanalys genomförs för att studera parametrarnas påverkan på slutresultatet.

Risken till följd av formell skjutning vid förberedelse inför internationell insats kan reduceras avsevärt genom att vindkraftverken stoppas och blad samt maskinhus orienteras så att träffytan minimeras.

Ytterligare potential till riskreducering är möjlig genom att anordna avfyrningsplatser vid inskjutning så att risken för rikoschett reduceras samt att överlapp mellan riskområde och Taggens placering minimeras.



Figur 7. Indelning av Taggens område i delar med lägre sannolikhet för träff vid inskjutning. I områdena numrerade med 1 finns ej risk för träff i samband med inskjutning. I område 2 är sannolikheten lägre att ett kraftverk blir träffat då endast projektiler som rikoschetterar mot mark kan träffa.

Vad gäller TRAFÖ går det att minska sannolikheten ytterligare genom att skymma den med kraftverkstorn. En möjlighet är även att placera TRAFÖ utanför riskområdet för inskjutning, men inom det område som tillstånd har ansökts för (se Figur 7).

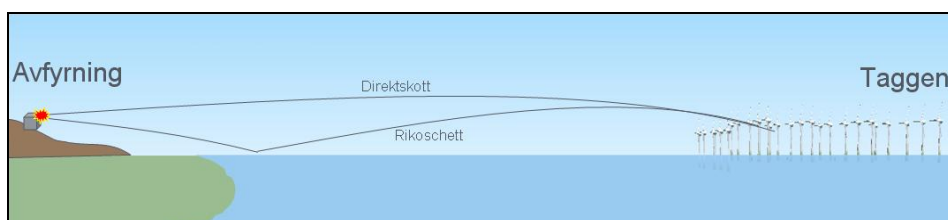
Osäkerheter

Under utredningen har information som kan komma att påverka riskbilden, men som inte framgår av FM:s yttrande observerats.

- Det är oklart om de 100 skott som angivits vara nödvändiga vid förberedelse till internationell insats avser enbart formell skjutning eller både formell och tillämplig skjutning.

² Muntlig uppgift, grov bedömning, Per Cederberg vid FOI.

- Sannolikheten för rikoschett har konservativt ansatts till 100% enligt FM:s yttrande. Inskjutning sker under kontrollerade former vid särskilt anordnade platser, varför motsvarande förutsättningar som vid förevisningsskjutning bör vara möjliga att anordna. Det bör innebära möjlighet att reducera sannolikheten för rikoschett väsentligt.
- Enligt FMV kan man inte helt utesluta risken för att skott avfyrate mot mål som är belägna högre än skjutplatsen kan komma att gå direkt mot Taggen. Med utgångspunkt i utgångshastigheten och luftmotståndet för sådana avfyrate skott kan en numerisk integration ge en indikation på en ungefärlig nedslagsvinkel då ett sådant skott skulle kunna träffa Taggen. En sådan beräkning ger att nedslagsvinkeln blir omkring 10 grader, vilket precis motsvarar det värde som antagits i de tidigare beräkningarna för rikoschetterande skott. Därmed kan de tidigare sannolikhetsberäkningarna även anses tillämpliga för sådana skott som går direkt mot Taggen, se Figur 8 nedan.



Figur 8. Principskiss över direktskott och rikoschetterande skott som går mot Taggen. Nedslagsvinkeln kan antas bli snarlik i båda fallen.

- Vid förberedelse inför internationell insats finns muntlig uppgift om att övning sker med skarp pilammunition. Denna typ av skjutning tas ej upp i FM:s yttrande och kan medföra en ökad riskexponering av Taggen utöver den formella skjutning som analyserats i denna PM.

Slutsatser

Sannolikheten att vindkraftparken Taggen kommer att träffas av minst en projektil under sin ekonomiska livslängd beräknas bli mindre än 5%. Motsvarande sannolikhet att TRAFÖ ska träffas beräknas bli mindre än 1‰.

I de beräkningar som har utförts har genomgående konservativa skattningar gjorts vilket innebär att sannolikheten för träff bör ha överskattats. Dock finns osäkerheter i förutsättningar och underlag som bedöms ha en icke obetydlig inverkan när Taggens placering ur risksynpunkt har bedömts.

Stockholm 2010-04-27

WSP Brand & Risk

Johan Lundin
Tekn dr, Brandingenjör

Torsten Lindh
Konteramiral

Joakim Almén
Civilingenjör Riskhantering, Brandingenjör

Henrik Mistander
Civilingenjör Riskhantering, Brandingenjör