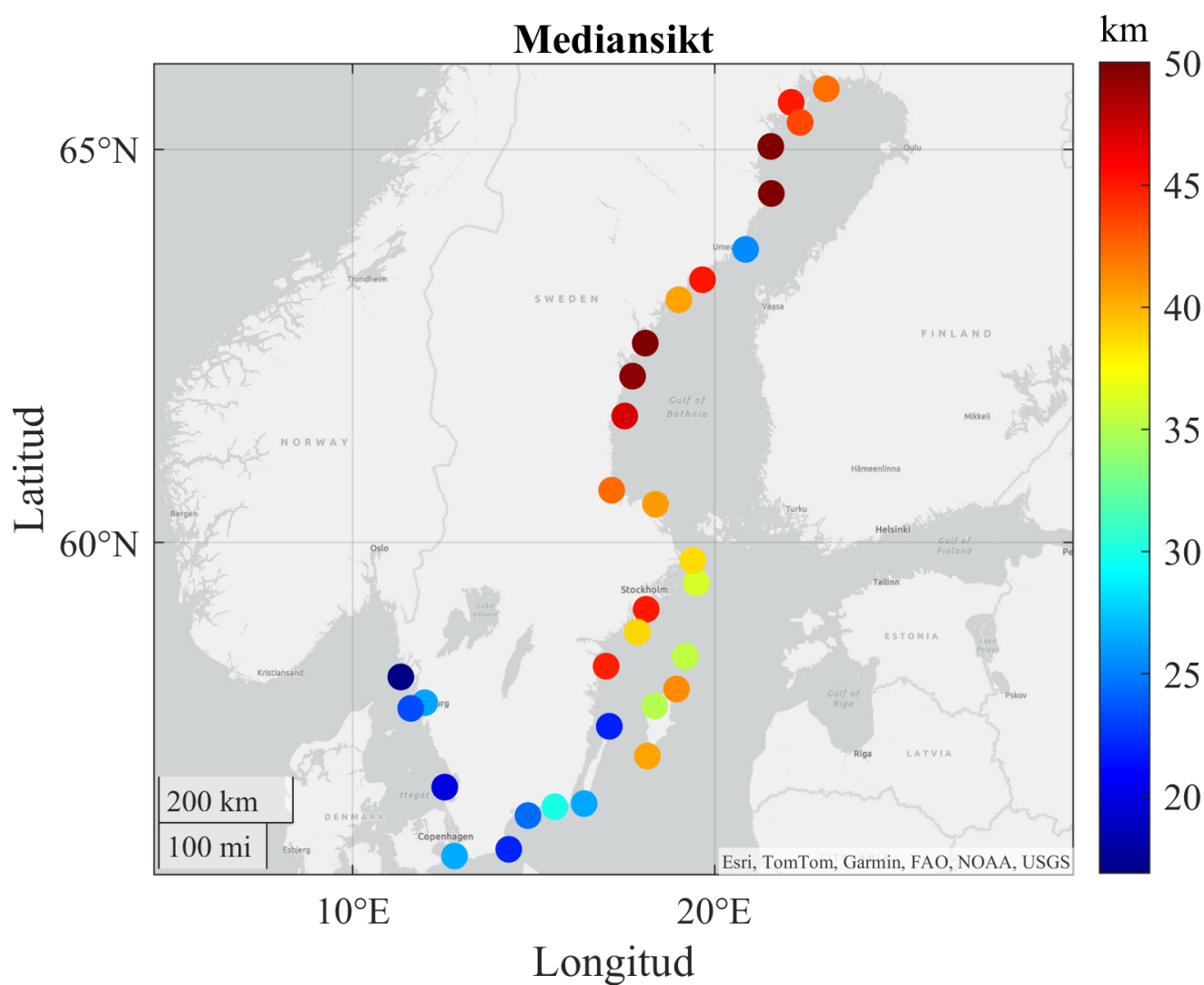


MATTIAS RAHM



Mattias Rahm

Siktstatistik i svensk kustmiljö

Titel	Siktstatistik i svensk kustmiljö
Title	Visibility statistics in Swedish littoral environment
Rapportnr/Report no	FOI-R--5694--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2024
Antal sidor/Pages	22
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E51526
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Telekrig

Bild/Cover: FOI

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Visuell sikt är ett mått på koncentration av aerosol och nederbördspartiklar i atmosfären. Kunskap om siktnivåer över tid och dess variationer beroende på geografi, årstid och tid på dygnet är därmed en viktig pusselbit för att förstå atmosfärsinducerade begränsningar för användningen av elektrooptiska system. Visuell sikt mäts av SMHI på ett flertal platser längs den svenska kusten, och dessa mätningar har genomförts under lång tid. Det finns därmed ett bra underlag för att beskriva sikten och dess variationer längs den svenska kusten.

Denna rapport redovisar en analys som har gjorts av siktdata för alla siktmätare i kustmiljö som är aktiva inom SMHI:s markobservationsnät. Baserat på mediansikt kunde en geografisk uppdelning av mätdata göras: Västkusten och södra Östersjön, norra och mellersta Östersjön samt Bottniska viken. Analysen visar att det kan förväntas vara kortare siktsträckor på Västkusten och i södra Östersjön än i norra Östersjön och längs Bottniska viken. För alla områden gäller att höst och vinter har kortare siktsträckor än vår och sommar. Dygnsvariation kan ses vår och sommarmånader med lägre frekvens av god sikt och högre frekvens av nedsatt sikt på dagen än på natten. Förekomst av kraftigt nedsatt sikt, vilket kan relateras till dimma eller kraftigt snöfall förekommer i 1-3 % av tiden längs hela kusten med bara små variationer beroende på geografi och årstid.

Resultaten av denna analys ger en bild av hur ofta Försvarmakten kan förvänta sig god respektive nedsatt sikt längs Sveriges kust. Data kan också användas för att ge en statistisk prestandabeskrivning av både operativa och framtida EO-system för marin miljö.

Arbetet är utfört inom ”3-D Lidar för långa avstånd 23-25”, ett projekt inom samlingsbeställningen AT.9220424 Sensorer och signaturanpassning FOI 2024.

Nyckelord: Optik, Sikt, Lidar, Marin miljö, Kust, Aerosol, Nederbörd

Summary

Visibility is a measure of aerosol and hydrometeor concentration in the atmosphere. Statistics of visibility is therefore important information when understanding atmosphere induced degrading effects on electro-optical systems. It is measured on several sites along the Swedish coastline, and measurements have been performed during a long time. There is thus a good database of information to perform a statistical analysis on visibility and its variations on the Swedish coast.

This report concerns an analysis of visibility using all visibility meters along the coastline included in the SMHIs measurement network. Based on median visibility it was possible to group the measurement sites based on geographical location: the West coast and southern Baltic Sea, the north and middle Baltic Sea, and the Gulf of Bothnia. Data shows that visibility is lower on the West coast and the southern Baltic Sea than in the other regions. In all regions, there is lower visibility during fall and winter than during spring and summer. Diurnal variation is present during spring and summer, with lower occurrence of good visibility and higher occurrence of reduced visibility during night than during day. Significantly reduced visibility, induced by either fog or falling snow, occurs in 1-3 % of the time along the entire coast, with only minor variation due to geography and season.

The analysis shows when the Swedish armed forces can expect both good and degraded visibility along the Swedish coastline. The results can also be input to statistical performance models of electro-optical systems of interest for the armed forces.

Keywords: Optics, Visibility, Lidar, Maritime, Coast, Aerosol, Precipitation

Innehåll

1	Inledning	7
2	Atmosfärspartiklar och koppling till sikt.....	8
3	Mätmetoder	9
4	Datakällor	10
5	Resultat	12
	5.1 Mediansikt och indelning av geografiska områden	12
	5.2 Stationsbaserad månads- och dygnsvariation	13
	5.3 Områdesbaserad siktstatistik	16
6	Sammanfattning och diskussion	20
7	Slutsatser och framtida arbete	21
	Referenser.....	22

1 Inledning

Sikt är ett begrepp som många känner till. Inom meteorologi är det sträckan mellan observatör och ett objekt där objektet precis kan ses. Det är inte ett objektivt koncept då den sträckan är beroende av både ljusförhållanden och en observatörs syn. World Meteorological Organization (WMO) definierar istället sikt (eng. Meteorological optical range) som den utbredningssträcka som behövs för att reducera intensiteten i en kollimerad lob från en glödlampa med en färgtemperatur om 2700 K till 5 % av dess ursprungliga värde, som den uppfattas av ett mänskligt öga. Gränsen på 5 % har uppkommit då det är ungefär den lägsta kontrast som det mänskliga ögat kan uppfatta. Det mänskliga ögat är som känsligast vid 550 nm varför 5 % transmission vid 550 nm används för att skatta sikt. För våglängder runt 550 nm har atmosfärens gassammansättning liten påverkan på transmissionen. Det dominerande bidraget kommer från absorption och spridning från atmosfärspartiklar (aerosoler och nederbörd). Därför blir siktmätning ett mått på koncentrationen av aerosoler och nederbördspartiklar i atmosfären.

Militära operationer i svensk kustmiljö kännetecknas av långa siktlinjer i jämförelse med markoperationer i nordisk terräng. Det gör att reducerad sikt kan få stor betydelse för användandet av elektrooptiska (EO) system. Försvarsmaktens marina och amfibiska enheter använder i dagsläget ett antal EO-system. Exempel är visuella och infraröda (IR) kameror, laseravståndsmätare, laserdesignatorer för målutpekning och laservarnare. Ytterligare EO-system som 3D-lidarer och hyperspektrala kameror är under utveckling och kan komma att spela en viktig roll för spaning och måldetektion.^{1,2} FOI har tidigare gjort ett antal studier där påverkan från aerosoler och nederbörd undersökts för lidarsystem, laserbaserad frirymdskommunikation och laservarnare.³⁻⁶ Under 1970- och 1980-talen genomförde FOA långtidsmätningar av transmission där flera våglängder undersöktes.^{7,8} Ingen av de genomförda mätningarna låg dock i direkt anslutning till kusten.

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) driver ett nätverk av stationer för observationer av meteorologiska parametrar och delar data fritt. Ett antal av dessa stationer registrerar sikt. Denna rapport redovisar en sammanställning av siktstatistik för svensk kustmiljö baserad på observationsdata från SMHI. Syftet med sammanställningen är att få svar på hur frekvent det kan förväntas vara nedsatt sikt längs de olika delarna av Sveriges kustlinje. Denna information kan dels hjälpa till att adressera den generellt ställda frågan om känslighet hos EO-system i marin miljö, dels kan informationen användas som underlag i prestandamodeller för specifika EO-system.

Avsnitt 2 ger en överblick av aerosoler, dimma och nederbörd. I avsnitt 3 redovisas de mätmetoder som används för att mäta sikt. Avsnitt 4 beskriver den data som ligger till grund för statistiken, och i avsnitt 5 redovisas resultat. Avsnitt 6 och 7 innehåller diskussion om data och slutsatser.

2 Atmosfärspartiklar och koppling till sikt

Aerosoler är luftburna partiklar i fast eller vätskefas med partikeldiametrar i storleksområdet ett fåtal nanometer till ett antal tiotal mikrometer.⁹ Aerosolkoncentration i luften och dess fördelning på olika partikelstorlekar beskrivs med vad som kallas en partikelstorleksdistribution (PSD) som anger antal partiklar per volymenhet som en funktion av partikelstorleken. Optisk strålning dämpas genom att den absorberas av och sprids mot partiklarna. Koncentrationen av partiklar i olika storlekar kommer att styra hur kraftigt olika optiska våglängdsband påverkas. Till exempel påverkar partiklar med storlekar mindre än 1 µm typiskt våglängder i det visuella bandet (0,4 µm–0,7 µm) mer än våglängder i det långvågsinfraröda bandet (8 µm–12 µm).

Dimma inträffar när luftfuktigheten når sin mättnadspunkt (100 % relativ luftfuktighet) och fukten kondenserar på de aerosoler som finns i luften, med kraftig storleksökning av partiklarna som följd.¹⁰ För att kallas dimma skall den visuella sikten understiga 1 km, medan siktsträckor i intervallet 1 km till 10 km kallas för dis. Det är skillnader i antalet droppar per volymenhet som avgör om det är dimma eller dis. Storleksfördelningen för dimdroppar ligger i intervallet 1 µm–20 µm med variationer beroende på om det är tex. strålningsdimma eller advektionsdimma, eller om det är nybildad eller en fullt utvecklad dimma. Även dimma har en våglängdsberoende påverkan på optisk strålning. Dimdropparnas PSD kommer att styra vilka våglängder som dämpas kraftigast.

Regn och snö har i jämförelse med aerosoler och dimma stora droppar och flingor. Dämpningen kan vara kraftig,¹¹ men våglängdsberoendet är mycket svagare än för aerosol och dimma.

Dämpningen av optisk strålning på grund av atmosfärspartiklar analyseras ofta med Beer's lag,

$$\frac{I(R)}{I_0} = e^{-\sigma R}. \quad (1)$$

I ekvation (1) är $I(R)$ den optiska intensiteten (W/m^2) efter en utbredningssträcka R (km), I_0 är den initiala optiska intensiteten och σ är extinktionskoefficienten (km^{-1}). Extinktionskoefficienten är ett mått på hur kraftigt en optisk våglängd dämpas vid utbredning i atmosfären och är summan av bidragen från absorption och spridning. Om PSD:n och partiklarnas brytningsindex är kända kan σ beräknas.¹² För aerosoler och dimma har σ ett tydligt våglängdsberoende, vilket saknas för regn och snö. Om σ är beräknad för 550 nm kan ekvation (1) användas för att relatera visuell sikt till extinktionskoefficienten, vilket kallas Koschmieders relation:

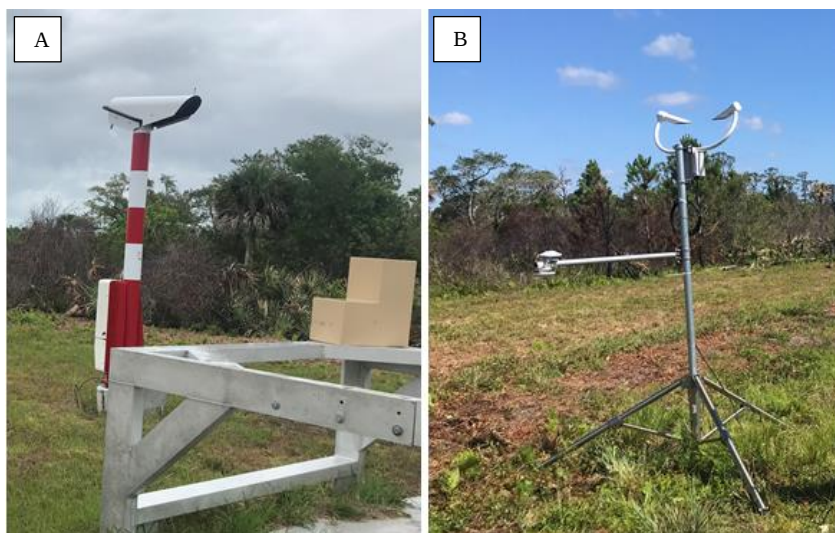
$$R_{sikt} = \frac{3}{\sigma_{550}}. \quad (2)$$

I ekvation (2) är R_{sikt} siktsträckan och σ_{550} är extinktionskoefficienten för 550 nm. Faktorn i täljaren kommer från att $\ln 0,05 = -3$, vilket kopplar till 5 % transmission i enlighet med WMO.

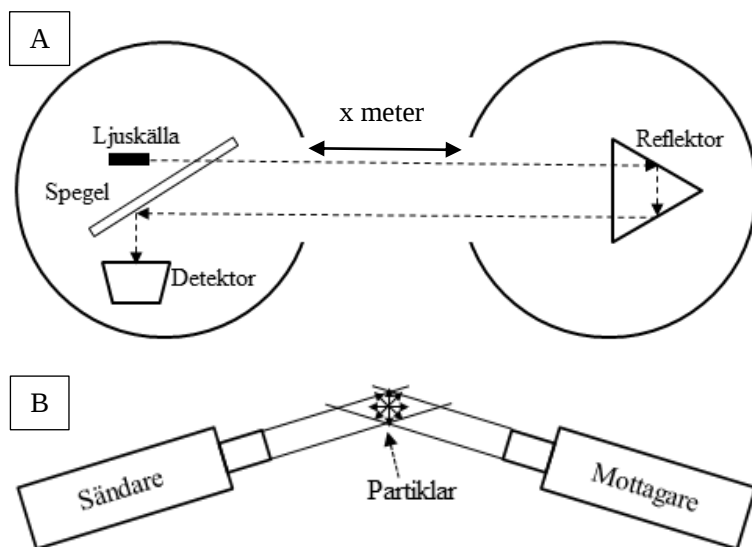
Det finns ett antal analytiska modeller som beskriver storleksfördelningar för olika typer av aerosol, dimma, regn och snö.^{13–15} Framförallt modellerna för aerosol och dimma är designade för att använda visuell sikt som indata för att sätta den totala partikelkoncentrationen per volymenhet. Dessa modeller kan användas för att skatta påverkan i andra våglängdsband än det visuella givet att sikten är känd. Det är dock viktigt att notera att påverkan i dessa våglängdsband kommer med en osäkerhet som beror på hur väl den analytiska modellens PSD stämmer överens med den verkliga.

3 Mätmetoder

Ursprungligen skattades siktsträcka av en mänsklig observatör men numera används automatiserade instrument. De vanligaste är transmissiometrar och nefelometrar, se Figur 1 och Figur 2. En transmissiometer mäter hur mycket optisk effekt som återstår efter utbredning en given sträcka. En nefelometer mäter hur mycket optisk effekt som sprids i en given spridningsvinkel, från vilken dämpningen kan relateras. De nefelometrar som används i SMHI:s markstationsnät (som diskuteras i avsnitt 4) har 50 km som längsta mätbara sikt. När antalet partiklar är för lågt i nefelometerns mätvolym blir den spridda optiska intensiteten för låg för att kunna beräkna en tillförlitlig siktsträcka.



Figur 1: Exempel på siktmätare. A visar ena delen av en transmissiometer och B visar en nefelometer. Foto: FOI.



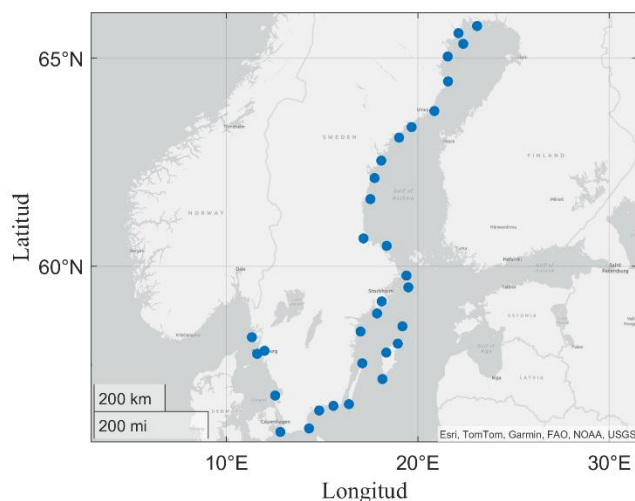
Figur 2: A - Funktionsprincip för transmissiometer, B - funktionsprincip för nefelometer. Bild: FOI.

4 Datakällor

Källa till siktdata är SMHI:s markstationsnät.ⁱ I oktober 2023 fanns 146 aktiva stationer försedda med siktmätare. På dessa stationer registreras sikten som momentanvärde från en nefelometer gång per timme. Från listan med aktiva stationer försedda med siktmätare har stationer som ligger i direkt anslutning till kusten valts ut. Totalt finns data från 32 lämpliga stationer. Dessa listas från norr till söder i Tabell 1 och visas på karta i Figur 3.

Tabell 1: Lista med använda mätstationer, från norr till söder.

#	Stationsnamn	#	Stationsnamn
1	Storön	17	Landsort
2	Luleå-Kallax Flygplats	18	Gotska Sandön
3	Rödkallen	19	Harstena
4	Pite-Rönnskär	20	Måseskär
5	Bjuröklubb	21	Fårösund
6	Holmön	22	Göteborg
7	Järnasklubb	23	Visby Flygplats
8	Skagsudde	24	Vinga
9	Lungö	25	Ölands norra udde
10	Brämön	26	Hoburg
11	Kuggören	27	Hallands Väderö
12	Gävle	28	Ölands södra udde
13	Örskär	29	Karlskrona-Söderstjerna
14	Söderarm	30	Hanö
15	Svenska Högarna	31	Skillinge
16	Berga	32	Falsterbo

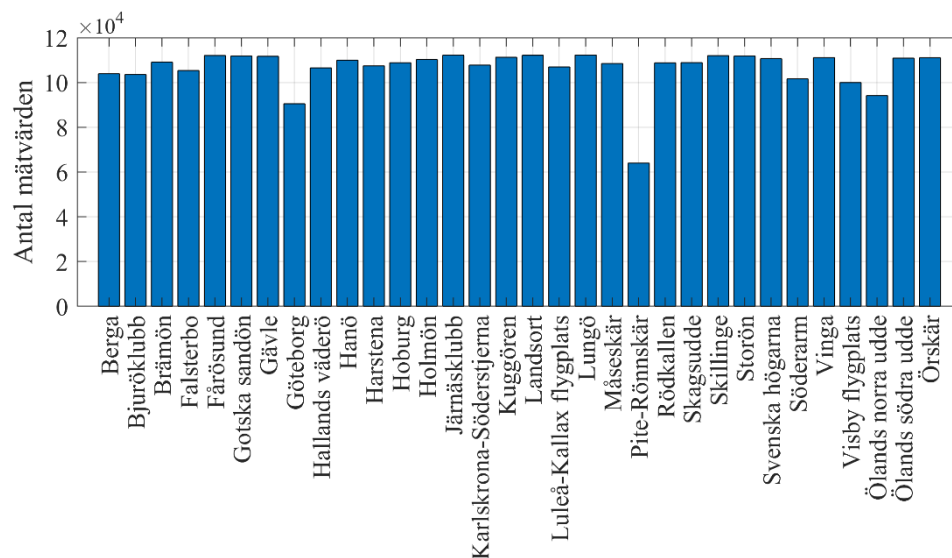


Figur 3: Stationer från SMHI:s markstationsnät som används för siktstatistik.

Siktdata från de 32 stationerna registrerade mellan 2010-08-01 och 2023-07-01 laddades ned från SMHI. Startdatum valdes som den tidpunkt då SMHI började med en automatisk kvalitetskontroll av data. Antal mätvärden under den aktuella tiden, efter bortfiltrering av mätvärden som inte var kvalitetsgodkända, visas per station i Figur 4. Pite-Rönnskär sticker

ⁱ <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer>.

ut med ett jämförelsevis lågt antal mätvärden. Orsaken till detta är att siktdata saknas efter januari 2018.



Figur 4: Kvalitetsgodkända datapunkter från respektive mätstation sedan 2010-08-01.

5 Resultat

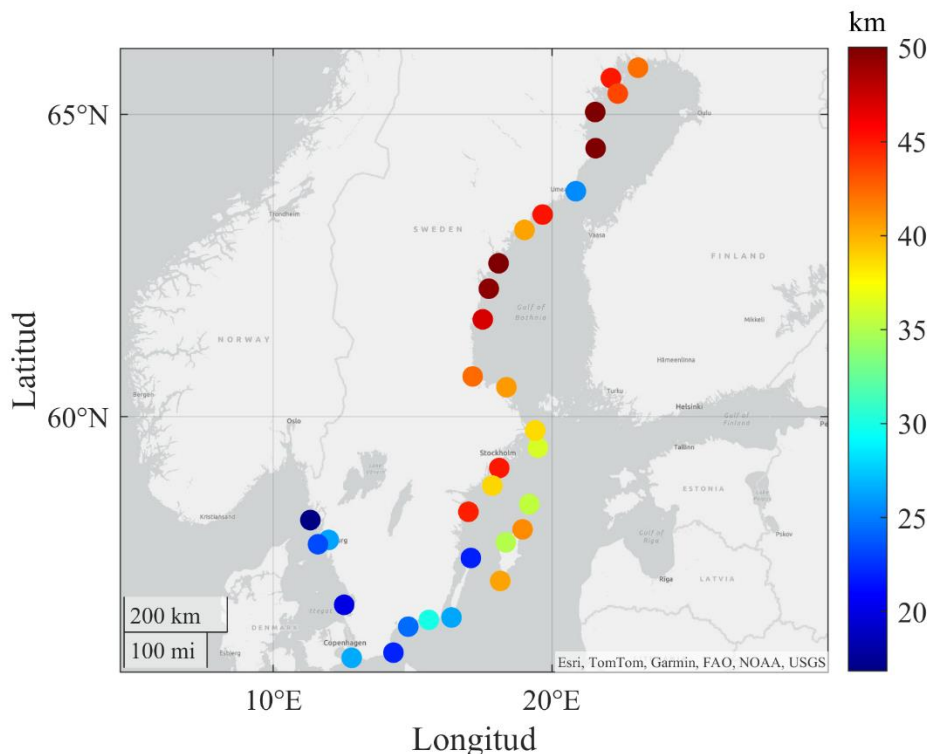
En nefelometer ger endast mått på siktsträckan, inte information om begränsningar av den är orsakad av aerosol, dimma eller nederbörd. Därför används i detta arbete termen nedsatt sikt, vilket i princip kan bero på aerosollast, dimma eller nederbörd.

Vi bearbetning av data har ett antal siktnivåer definierats:

1. $R_{sikt} \geq 25$ km, klassas som god sikt.
2. $R_{sikt} \leq 10$ km, klassas som nedsatt sikt
3. $R_{sikt} \leq 1$ km, klassas som kraftigt nedsatt sikt.

5.1 Mediansikt och indelning av geografiska områden

Mediansikten per mätstation för hela datasetet visas i Figur 5. I figuren ses att lägst sikt fås på västkusten och i södra östersjön med ett medianvärde på sikten som är under 30 km. Längst är sikten i Bottniska viken, med medianvärden på sikten som närmar sig 50 km. En mätstation, Holmön öster om Umeå, sticker ut med ett medianvärde på sikt som är i nivå med vad som återfinns på Västkusten och i södra Östersjön. Mellersta och norra Östersjön tenderar att vara ett intermediärt område vad gäller mediansikt. Sikten är längre än på Västkusten och i södra Östersjön men kortare än i Bottniska viken.

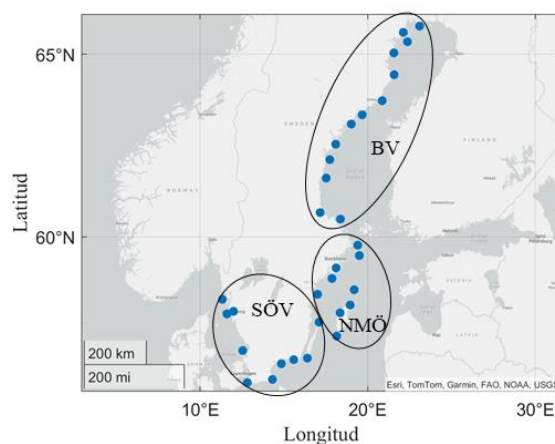


Figur 5: Mediansikt för de kustnära stationerna baserat på data från 2010-08-01 till 2023-07-01.

Baserat på mediansikten i Figur 5 kan 3 olika områden identifieras:

1. Södra Östersjön och Västkusten (SÖV)
2. Norra och mellersta Östersjön (NMÖ)
3. Bottniska viken (BV).

Områdena visas på karta i Figur 6 och de ingående mätstationerna listas i Tabell 2.



Figur 6: Indelning av mätstationer i representativa områden. SÖV står för södra Östersjön och Västkusten, NMÖ står för norra och mellersta Östersjön och BV står för Bottnicka viken.

Tabell 2: Mätstationerna uppdelade i olika områden, södra Östersjön och Västkusten (SÖV), norra och mellersta Östersjön (NMÖ) och Bottnicka viken (BV).

SÖV	NMÖ	BV
Måseskär	Söderarm	Storön
Göteborg	Svenska Högarna	Luleå-Kallax flygplats
Vinga	Berga	Rödkallen
Ölands norra udde	Landsort	Pite-Rönnskär
Hallands Väderö	Gotska Sandön	Bjuröklubb
Ölands södra udde	Harstena	Holmön
Karlskrona-Söderstjerna	Fårösund	Järnäsklubb
Hanö	Visby Flygplats	Skagsudde
Skillinge	Hoburg	Lungö
Falsterbo		Brämön
		Kuggören
		Gävle
		Örskär

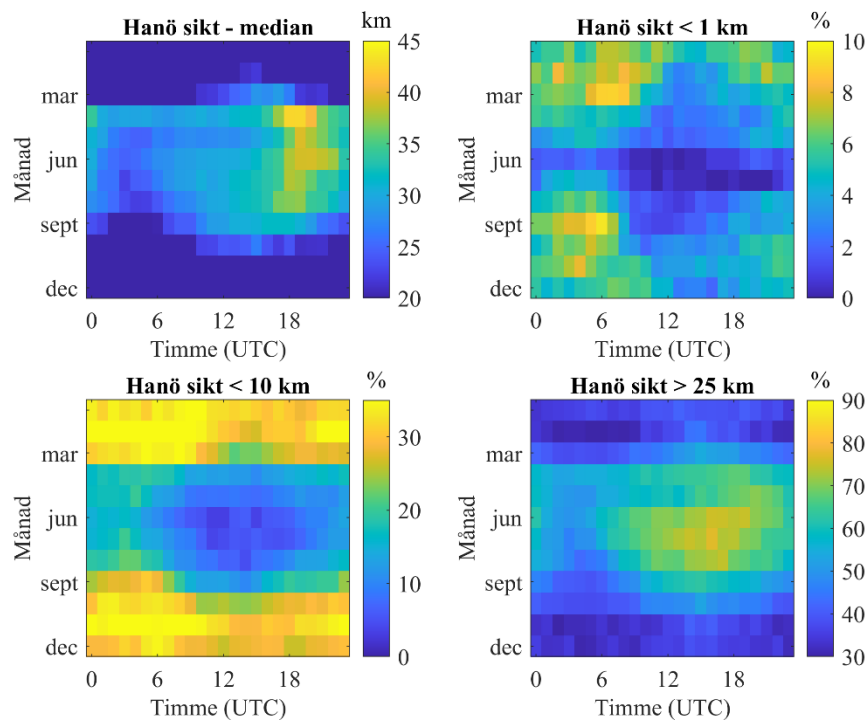
5.2 Stationsbaserad månads- och dygnsvariation

Medianvärde av sikt ger indikation på de generella siktnivåerna, men ger inte information om dygns- och månadsvariationer. Exempel på dygns- och månadsvariationer visas i Figur 7–Figur 9 som visar statistik för Hanö, Fårösund och Rödkallen. Hanö ligger i södra Östersjön, Fårösund på norra Gotland, och Rödkallen ligger utanför Piteå i Bottnicka viken. Stationerna är valda för att ge ett exempel från varje område i Tabell 2. Figuren visar mediansikt och frekvensen för sikt under 1 km, under 10 km och över 25 km som funktion av månad och tid på dygnet.

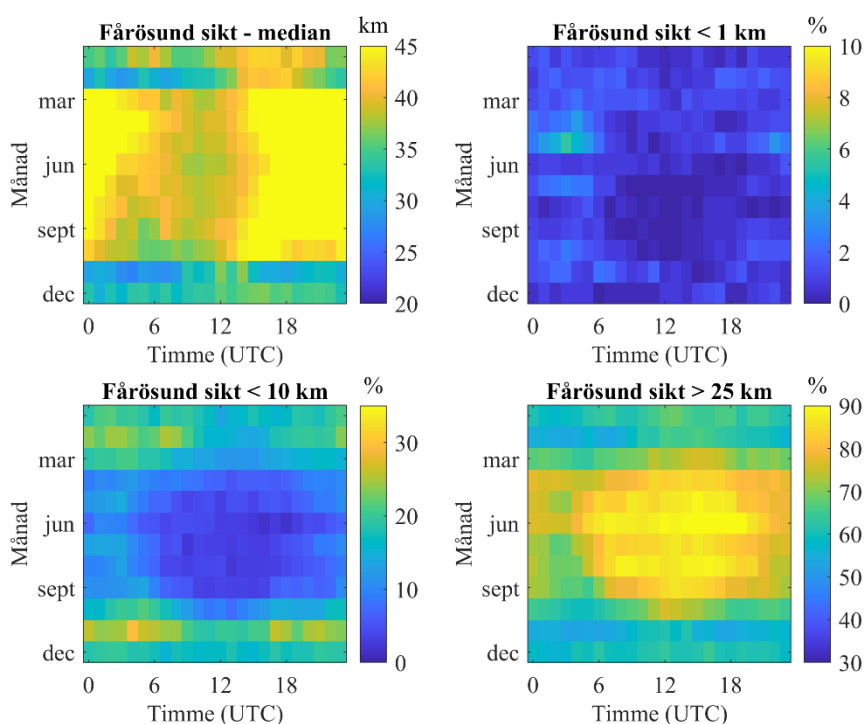
Hanö (Figur 7) är en ö öster om Sölvesborg i Blekinge. Här är mediansikten tydligt kortare under perioden oktober–mars än under april–september. Mediansikten är under 20 km under i princip alla dygnets timmar. Vår och sommarmånaderna kännetecknas av en dygnsvariation med längst sikt under eftermiddagarna och kortast sikt nattetid. På eftermiddagarna är sikten runt 40 km och på natten som lägst runt 25 km.

Frekvensen av tillfällen med begränsad sikt visar ett omvänt förhållande. Frekvensen är som högst natt och morgon september till mars. Under denna period kan nedsatt sikt ($R_{sikt} \leq 10$ km) förväntas i drygt 30 % av tiden och kraftigt nedsatt sikt ($R_{sikt} \leq 1$ km) i knappt 10 % av tiden. April–augusti är den period där frekvensen av nedsatt sikt är som lägst. Under denna period finns en dygnsvariation med lägst frekvens dagtid och högre nattetid. Förekomsten av nedsatt sikt är ungefär 10 % dagtid och 20% nattetid. Kraftigt nedsatt sikt kan förväntas i ca 1 % dagtid och knappt 4 % av tiden nattetid.

God sikt ($R_{sikt} \geq 25$ km) förekommer betydligt oftare än nedsatt sikt. November–februari är sikten längre god i ca 35 % av tiden. Mars till oktober är sikten som längst på eftermiddagen med god sikt i ca 80 % av tiden. Nattetid är det god sikt i ungefär 45 % av tiden.



Figur 7: Siktstatistik från Hanö i södra Östersjön.

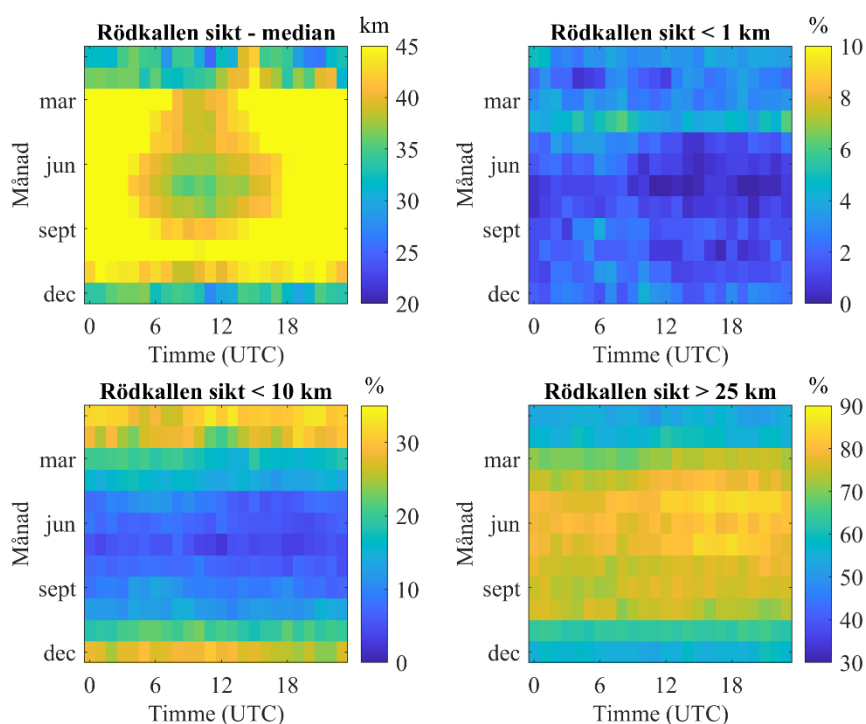


Figur 8: Siktstatistik från Fårösund på norra Gotland.

Mediansikten i Fårösund på norra Gotland, Figur 8, uppvisar liknande månads- och dygnsvariation som den i Hanö, med lägre mediansikt november till februari och en tydlig dygnsvariation resterande månader. Dock är mediansikten i Fårösund betydligt högre än på Hanö. November–februari är mediansikten runt 30 km. Mars–oktober är sikten som kortast dygnets första halva med siktsträckor runt 35 km. Eftermiddag och kväll kännetecknas dessa månader av siktsträckor som är längre än 45 km.

Förekomsten av nedsatt sikt är lägre i Fårösund än på Hanö. Oktober till mars är det nedsatt sikt i ca 20 % av tiden. I april–september kan dygnsvariation ses med lägre frekvens dagtid än nattetid. På natten är sikten under 10 km i ca 10 % av tiden och på dagen i ca 3 %. Det finns ingen tydlig dygnsvariation i förekomsten av kraftigt nedsatt sikt. Generellt är frekvensen av kraftigt nedsatt sikt under 2 %.

God sikt förekommer betydligt oftare än nedsatt sikt. November–februari är sikten längre än 25 km i ca 60 % av tiden. Mars till oktober är sikten som längst på dagen med god sikt i ca 90 % av tiden. Nattetid är det god sikt i ungefär 70 % av tiden.



Figur 9 Siktstatistik från Rödkallen utanför Piteå.

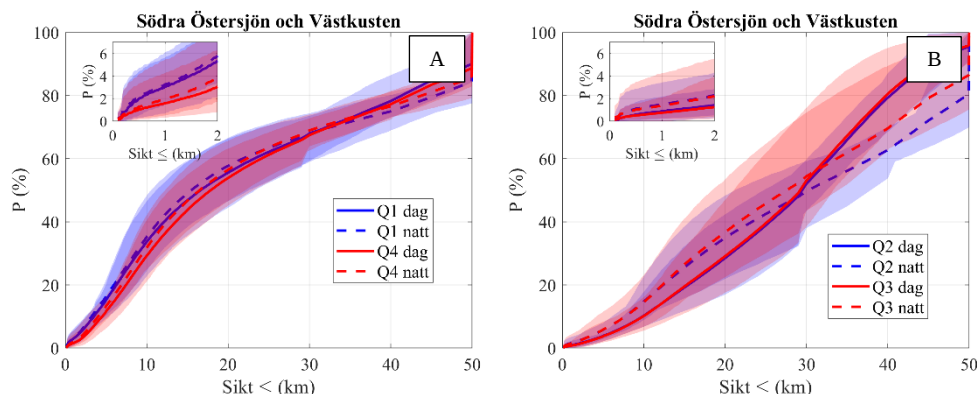
Mediansikten på Rödkallen öster om Piteå, Figur 9, uppvisar liknande månads- och dygnsvariation som den i Fårösund. Mediansikten är kortare november–februari, ca 35 km, och uppvisar dygnsvariationer i mars–oktober. Under perioden med dygnsvariation är mediansikten som kortast på förmiddagarna och längre under eftermiddag och natt (> 45 km).

Förekomsten av nedsatt sikt är högre vintertid på Rödkallen än i Fårösund. Sikten är under 10 km i ca 30 % av tiden. Vår, sommar och höst är frekvensen 10 %, med mycket lite dygnsvariation. Förekomsten av kraftigt nedsatt sikt är lite högre på Rödkallen än i Fårösund. Vintertid är frekvensen ca 4 %. Sommar och höst är den frekvensen någon %-enhet lägre.

Förekomsten av god sikt är 85 % dagtid och 80 % nattetid under perioden mars-oktober. I perioden november till februari är förekomsten ca 65 %.

5.3 Områdesbaserad siktstatistik

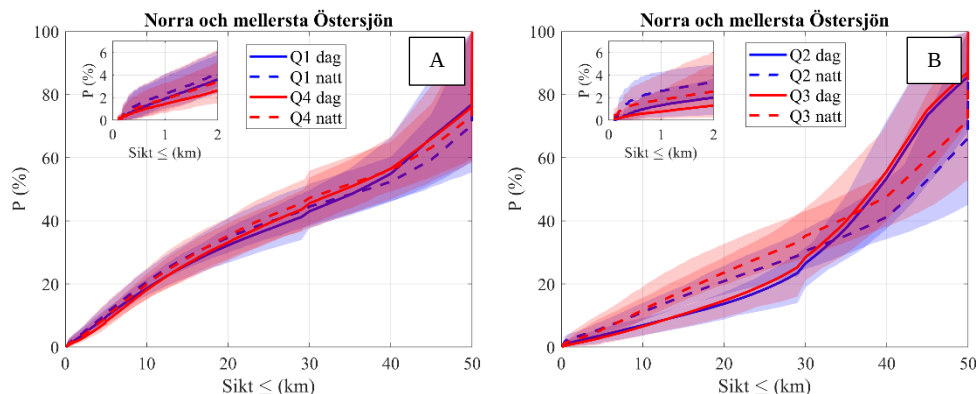
De stationsbundna data i avsnitt 5.2 kan användas för att skapa statistik för de områden som definieras i avsnitt 5.1. För att ta fram siktstatistik för de identifierade områdena har först en kumulativ distributionsfunktion för sikten beräknats baserat på kvartal (Q1–Q4) och dag/natt för varje stations siktdata. I analysen har Q1 satts som januari-mars, Q2 som april-juni, Q3 som juli-september och Q4 som oktober-december. Vidare har dagtid ansatts till 06:00–17:59 och natt till 18:00–05:59. För varje område har sedan ett medelvärde av de kumulativa distributionsfunktionerna beräknats. Dessa visas i Figur 10–Figur 12. I figurerna har förutom medeldistributionerna även max och min-värden plottats som skuggningar i samma färg som medelvärdet för att indikera spridningen mellan olika stationer i området. Det skall noteras att data från Holmön i området Bottniska viken signifikant avviker från övriga stationer i området, vilket bland annat är tydligt i Figur 5. Därför har Holmön inte inkluderats i siktstatistiken i Figur 12.



Figur 10: Kumulativa sannolikhetsfördelningar för visuell sikt södra Östersjön och västkusten. I A visas Q1 och Q4 och i B visas Q2 och Q3.

Figur 10 visar kumulativ siktdistribution för södra Östersjön och Västkusten. Här har Q1 och Q4 högst frekvens av nedsatt sikt med siktsträckor som är 10 km eller kortare i ca 35 % av tiden i Q1 och i ca 30 % av tiden i Q4. Natt har en lite högre frekvens av nedsatt sikt än dag. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker i 3 % av tiden i Q1 och i 2 % av tiden i Q4. Skillnaden mellan dag och natt är här försumbar. Förekomsten av god sikt är ungefär 40 % dagtid i Q1 och Q4 och ungefär 35 % nattetid.

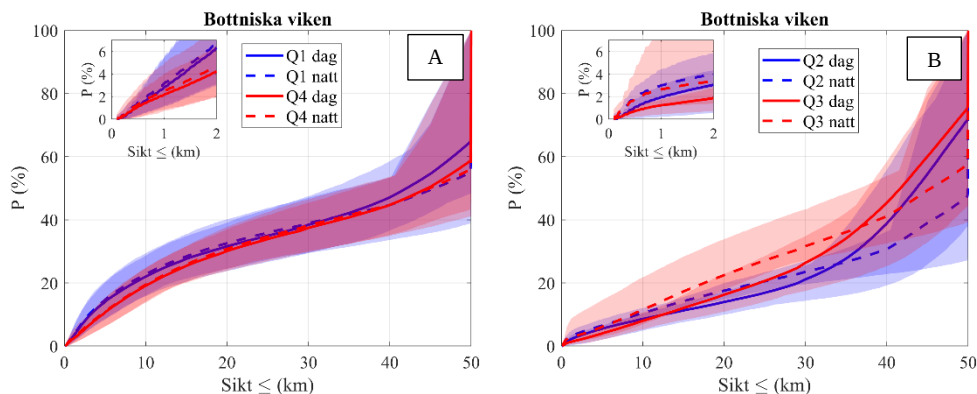
I Q2 och Q3 är frekvensen av siktsträckor 10 km eller kortare 10 % på dagen och runt 15 % på natten. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker ungefär 1-2 % tiden, med en något förhöjd frekvens nattetid. I Q2 och Q3 är sikten god i 60 % av tiden dagtid och i 55 % av tiden nattetid.



Figur 11: Kumulativa sannolikhetsfördelningar för visuell sikt i norra och mellersta Östersjön. I A visas Q1 och Q4 och i B visas Q2 och Q3.

Figur 11 visar kumulativ siktdistribution för norra och mellersta Östersjön. Här har Q1 och Q4 högst frekvens av nedsatt sikt med siktsträckor som är 10 km eller kortare i 20 % av tiden. Skillnaden mellan dag och natt är försumbar för Q1 och Q4. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker i 2 % av tiden både dag och natt. Det är god sikt i ungefär 60-65 % av tiden, med liten skillnad mellan dag och natt.

I Q2 och Q3 är frekvensen av siktsträckor 10 km eller kortare 5 % på dagen och runt 10 % på natten. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker i 1 % tiden dagtid och 2 % nattetid. I Q2 och Q3 är sikten god i 80 % av tiden dagtid och i 75 % av tiden nattetid.



Figur 12: Kumulativa sannolikhetsfördelningar för visuell sikt i Bottniska viken. I A visas Q1 och Q4 och i B visas Q2 och Q3.

Figur 12 visar kumulativ distribution av sikt för Bottniska viken. Här har Q1 och Q4 högst frekvens av nedsatt sikt med siktsträckor som är 10 km eller kortare i 20 % av tiden. Här är skillnaden mellan dag och natt försumbar. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker i 3 % av tiden både dag och natt för Q1 och 2 % för Q4. Skillnaden mellan dag och natt är här försumbar. Det är god sikt i ungefär 65 % av tiden i Q1 och Q4, med liten skillnad mellan dag och natt.

I Q2 och Q3 är frekvensen av siktsträckor 10 km eller kortare 10 %, med liten dygnsvariation. Kraftigt nedsatt sikt med siktsträckor på 1 km eller kortare sker i 2-3 % av tiden. En viss skillnad mellan dag och natt är synbar i data, med högre frekvens av nedsatt sikt på natten än på dagen. I Q2 och Q3 är sikten god i 85 % respektive 80 % av tiden dagtid och i 80 % respektive 75 % av tiden nattetid.

Tabell 3 visar en sammanfattning av den områdesbaserade siktstatistiken. För god sikt och nedsatt sikt är frekvensen avrundad till närmsta 5-tal medan ökad noggrannhet har behållits för frekvensen av kraftigt nedsatt sikt.

Tabell 3: Sammanfattning av siktstatistik baserat på geografiskt område, södra Östersjön och Västkusten (SÖV), norra och mellersta Östersjön (NMÖ) och Bottniska viken (BV).

			God sikt	Nedsatt sikt	Kraftigt nedsatt sikt
SÖV	Q1	Dag	40 %	35 %	3 %
		Natt	35 %	35 %	3 %
	Q2	Dag	60 %	10 %	1 %
		Natt	55 %	15 %	2 %
	Q3	Dag	60 %	10 %	1 %
		Natt	55 %	15 %	2 %
	Q4	Dag	40 %	30 %	2 %
		Natt	35 %	30 %	2 %
NMÖ	Q1	Dag	65 %	20 %	2 %
		Natt	60 %	20 %	2 %
	Q2	Dag	80 %	5 %	1 %
		Natt	75 %	10 %	2 %
	Q3	Dag	80 %	5 %	1 %
		Natt	70 %	10 %	2 %
	Q4	Dag	60 %	20 %	2 %
		Natt	60 %	20 %	2 %
BV	Q1	Dag	65 %	20 %	3 %
		Natt	65 %	20 %	3 %
	Q2	Dag	85 %	10 %	2 %
		Natt	80 %	10 %	3 %
	Q3	Dag	80 %	10 %	2 %
		Natt	75 %	10 %	3 %
	Q4	Dag	65 %	20 %	2 %
		Natt	65 %	20 %	2 %

6 Sammanfattning och diskussion

Siktdata i svensk kustmiljö från perioden 2010–2023 har analyserats. Data visar på tydliga variationer baserat på geografi, årstid och tid på dygnet. Den geografiska variationen föranledde en gruppering av mätstationer i tre geografiska områden: Västkusten och södra Östersjön (SÖV), norra och mellersta Östersjön (NMÖ) och Bottniska viken (BV).

I SÖV är det god sikt (i rapporten definierat som en sikt på 25 km eller längre) i 40 % av tiden dagtid höst och vintermånaderna (Q4 och Q1) och i 60 % vår och sommarmånaderna (Q2 och Q3). Motsvarande siffra för NMÖ och BV är 60-65 % respektive 80-85 %. Natttid är generellt förekomsten av god sikt ca. 5 % lägre än dagtid.

Den sämre sikten i SÖV slår igenom även för förekomsten av nedsatt sikt (definierad som en sikt på 10 km eller kortare). Det är nedsatt sikt i 30-35 % av tiden dagtid under Q1 och Q4 i SÖV. Motsvarande siffror för NMÖ och BV är 20 %. Under Q2 och Q3 är det nedsatt sikt i SÖV i 10 % av tiden under dagen och i 15 % av tiden under natten. Motsvarande siffror för NMÖ och BV är 5 respektive 10 % under dagen och 10 % på natten. Kraftigt nedsatt sikt (i rapporten definierad som sikt på 1 km eller kortare) förekommer i 1-3 % av tiden i alla geografiska områden.

Skillnaden mellan NMÖ och BV är mindre än skillnaden relativt SÖV. Framförallt är det god sikt i lite högre grad under vår och sommarmånaderna i BV än i NMÖ.

Tydliga dygnsvariationer kan ses i alla geografiska områden under Q2 och Q3. Det är en effekt av soluppvärmning under dagen och avkylning under natten, vilket kommer orsaka dygnsvariationer i den relativa luftfuktigheten. Den relativa luftfuktigheten påverkar i sin tur storleken på aerosoler genom vattenadsorption. Denna dygnsvariation är mindre under Q1 och Q4, vilket kopplar till mindre soluppvärmning denna period.

Sikt som den mäts med automatiserade instrument blir ett mått på partikelkoncentrationen (aerosol och nederbörd) i luften på den plats instrumentet är placerat. Det går inte att avgöra om en kraftigt nedsatt sikt är på grund av dimma eller nederbörd. Det är dock rimligt att anta att i BV under vintermånaderna är snöfall en starkt bidragande orsak till de tillfällen då sikten är nedsatt.

En siktmätning ger information om transmission i det visuella bandet. Om man har kunskap om hur storleksfördelningen på luftens partiklar kan dock siktmätningen användas för att sätta det totala antalet partiklar per volymenhet och beräkna transmission och spridning vid andra våglängder beräknas. På så sätt kan prestanda för EO-system som opererar utanför det visuella bandet skattas. En sådan översättning kommer med osäkerheter om hur den verkliga partikelstorleksfördelningen förhåller sig till de analytiska modellernas fördelningar.

Statistik som presenterats i denna rapport kan användas i prestandamodeller för Försvarmaktens marina EO-system och på så sätt skapa förståelse för hur räckvidder på dessa kan variera över dygn, årstid och plats.

7 Slutsatser och framtida arbete

Denna rapport beskriver en analys av siktmätningar längs Sveriges kust. Data visar att sikten längs Västkusten och i södra Östersjön är betydligt kortare än i norra och mellersta Östersjön och längs kusten i Bottniska viken. Detta gäller både för förekomst av god och nedsatt sikt. Förekomst av kraftigt nedsatt sikt, vilket typiskt beror på dimma eller kraftigt snöfall, förekommer i 1-3 % av tiden oavsett geografi eller årstid.

En fortsättning på detta arbete som skulle kunna ge viktig kunskap till Försvarmakten och FMV är att kombinera den framtagna statistiken med aerosolmodeller, för att på så sätt kunna skatta spridning och transmission även för våglängder utanför det synliga bandet. Detta skulle kunna användas till statistiska prestandabeskrivningar av både operativa och framtida EO-system för Försvarmaktens marina och amfibiska plattformar. Denna typ av modeller, där antaganden görs om atmosfärens aerosolinnehåll för att kunna skatta prestanda i andra våglängdsband än det visuella behöver verifieras med mätningar för att förstå den spridning i resultat som kan förväntas komma av aerosolgissningarna.

En annan viktig fortsättning är att göra motsvarande statistiska analys men basera den på mätstationer relevanta för markstridsförband.

Referenser

- [1] Jonsson, P., Allard, L., Axelsson, M., Henriksson, M., Holmberg, M., Ovren, H., Rahm, M., Tulldahl, M. and Sjökvist, L., "Avbildande fotonräknande lasersensorer - Slutrapport för perioden 2020-2022," FOI-R--5392--SE, FOI, Linköping, Sweden.
- [2] Eriksson, J., Axelsson, M., Gustafsson, D., Bergström, D., Berneland, J., Brännlund, C., Forsman, A., Hamrell, H., Håkansson, V., Levin, B., Rideg, J., Svedbrand, D., Svensson, T., Wadströmer, N., Brorsson, A., Hollmann, L. and Valldor, E., "Avancerade spaningssensorer 2021-2023 - Slutrapport," FOI-R--5553--SE, FOI, Linköping, Sweden (2024).
- [3] Rahm, M., Jonsson, P. and Henriksson, M., "Laser attenuation in falling snow correlated with measurements of snow particle size distribution," *Optical Engineering* **60**(9) (2021).
- [4] Rahm, M., Kullander, F., Björck, M. and Sjökvist, L., "Turbulence and transmission effects on laser beam propagation in the SWIR and LWIR bands," *Proc. SPIE* **12731**(127310G), 17 (2023).
- [5] Brattgård, D., Rahm, M. and Henriksson, M., "Wavelength-dependent extinction statistics based on long-term aerosol size distribution measurements," *Proc. SPIE* **13194**(1319409) (2024).
- [6] Rahm, M., "Laserspridning mot aerosoler och dess påverkan på laservarnarfunktion," FOI-R--5674--SE, FOI, Linköping, Sweden (2024).
- [7] Nilsson, B., "Analyses of the atmospheric extinction in the 0.5 - 14 micrometer region," FOA Report C 30396-E1,E3 (1986).
- [8] Nilsson, B., "Model of the relation between aerosol extinction and meteorological parameters," *Atmospheric Environment* **28**(5) (1994).
- [9] Pöschl, U., "Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects," *Angew. Chem. Int. Ed.* **44**(46), 7520–7540 (2005).
- [10] Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S. C., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., Müller, M. D., Pagowski, M., Hansen, B., Ellrod, G., Jacobs, W., Toth, G. and Cober, S. G., "Fog research: A review of past achievements and future perspectives," *Pure and Applied Geophysics* **164**, 1121–1159 (2007).
- [11] Peckhaus, A., Becker, P., Pargmann, C., Hall, T. and Duschek, F., "Extinction of high-power laser radiation under adverse weather conditions," *Appl. Opt.* (2023).
- [12] Bohren, C. F. and Huffman, D. R., [Absorption and Scattering of Light by Small Particles], John Wiley & Sons, Inc. (1983).
- [13] Shettle, E. P. and Fenn, R. W., "Models for the Aerosols of the Lower Atmosphere and the Effects of Humidity Variations on Their Optical Properties," Air Force geophysics Lab. (1979).
- [14] Marshall, J. S. and W. Palmer., "The distribution of raindrops with size," *J. Meteorol.*, 165–166 (1948).
- [15] Sekhon, R. S. and Srivastava, R. C., "Snow Size Spectra and Radar Reflectivity," *Journal of the Atmospheric Sciences* **27**(2), 299–307 (1970).

