

Rapport om mulighederne for behovsstyring til deakti- vering af hindringslys på vindmøller

Tværaministeriel arbejdsgruppe



Trafikstyrelsen

Danish Civil Aviation and Railway Authority



Resume

Hindringslys på luftfartshindringer har grundlæggende til formål at fremhæve en hindring, så en pilot i tilstrækkelig tid kan foretage nødvendig manøvrering for at undgå kollision med luftfartshindringer. Hindringslys på luftfartshindringer er ufravigelige på grund af hensyn til luftfartssikkerheden. Ændringer i brugen af hindringslys på luftfartshindringer har derfor stor betydning for brugerne af luftrummet og luftfartssikkerheden.

Blinkende hindringslys (2.000 candela¹) kan i dag være forbundet med gener for lokale borgere, hvilket kan give anledning til lokal modstand og klager over vindmølleprojekter, som kan forsinke den essentielle udbygning af vedvarende energi i Danmark. Det er særligt hindringslys om natten, der opfattes som generende.

Der findes en række forskellige luftrumsbrugere og typer af luftfartøjer, som benytter det danske luftrum. Disse har forskellige forudsætninger i deres brug af luftrummet, herunder udstyr ombord. Det har betydning for deres elektroniske synlighed og dermed betydning for, hvilke systemer der kan benyttes i forbindelse med behovsstyring af hindringslys.

Forsvarets brug af luftrummet adskiller sig markant fra den civile luftfart. På grund af Forsvarets opgaver flyver Flyvevåbnet ofte i lavere højder og højere hastigheder end tilladt for den civile luftfart. Løsning af Forsvarets opgaver forekommer døgnet rundt, men Forsvarets træningsflyvning foregår primært i dagtimerne. Det er derfor vigtigt for Forsvaret, at hindringslyset på høje luftfartshindringer er aktiveret om dagen uden behovsstyring. Da Forsvarets piloter af operative hensyn skal kunne flyve med og uden Night Vision Goggles, er det desuden vigtigt for Forsvaret, at fast, lavintensivt rødt lys (hhv. 10 og 32 candela²) forbliver tændt om natten. Det er yderligere centralt for Flyvevåbnet, at de kan få slukket for behovsstyringen – og dermed tænde for hindringslyset på vindmøllerne – efter behov.

Antallet af droneflyvninger er stigende og droner benyttes af en række forskellige aktører. Når det gælder brugen af behovsstyring i forbindelse med deaktivering af hindringslys på vindmøller, er det vigtigt at tænke droneregler og droneflyvning ind, når det gælder elektronisk synlighed og aktivering af behovsstyring.

Regler om afmærkning af luftfartshindringer implementeres i national lovgivning på baggrund af standarder og anbefalinger (SARPs) udarbejdet i ICAO. Der er ikke fælles EU-regler om afmærkning af vindmøller uden for flyvepladsers hindringsplan eller til brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer. I Danmark regulerer luftfartsloven, BL 3-10 og BL 3-11 afmærkningen af luftfartshindringer. Vindmøller afmærkes med lys. Lystype og lysintensitet er afhængig af, om der er tale om enkelt eller flere vindmøller, placering, opstillingsmønster, højde og omgivelser.

I Tyskland, Holland og Norge er det tilladt at benytte behovsstyring, mens Sverige ikke tillader brugen af behovsstyring. I Tyskland, Holland og Norge er det muligt at benytte systemer med primær og/eller sekundære radar baseret på transponder til behovsstyring. Behovsstyring er ikke tilladt i Sverige, og det forventes ikke, at det bliver tilladt i den nærmeste fremtid.

¹ Mellemintensivt lys

² 10 og 32 candela er fast, lavintensivt rødt lys, som placeres på vindmøllen afhængig af placering og højde. Se tabel 6 for mere detaljeret overblik



En række forskellige teknologiske løsninger kan benyttes til behovsstyring af hindringslys på vindmøller. De forskellige løsninger varierer i forhold til teknologimodenhed, indvirkning på luft-rumsbrugere, omkostninger, sikkerhed (både relateret til luftfartsikkerhed og driftssikkerhed), samt mitigerende tiltag, der er nødvendige for at opretholde luftfartssikkerheden.

For at kunne benytte behovsstyring skal en række tekniske specifikationer etableres. De tekniske specifikationer er udgangspunktet teknologineutrale, så fremtidige tekniske løsninger også vil kunne benyttes.

Det foreslås, at behovsstyring af hindringslys på vindmøller tillades, hvor der enten kan vælges et system med primær radar eller et system med sekundær radar baseret på transponder, så blinkende, rødt hindringslys kan slukkes om natten. Fast, lavintensivt rødt lys forbliver tændt om natten efter ønske fra Forsvaret.

De anbefalede tekniske løsninger kræver ændringer i gældende luftfartsregler og en implementeringsperiode på ca. et år.



Forord

Denne rapport er resultatet af en analyse foretaget af en tværministeriel arbejdsgruppe, ledet af Trafikstyrelsen. Analysen har haft til formål at undersøge mulighederne for radarstyret hindringslys på vindmøller og reducere de oplevede gener herved. Analysen indgår i Klimaaftalen om grøn strøm og varme af den 25. juni 2022.

Analysen er udarbejdet af en arbejdsgruppe bestående af Trafikstyrelsen, Forsvaret (Forsvarskommandoen og Flyvevåbnet), Energistyrelsen og Naviair. Arbejdsgruppen blev nedsat efter ønske fra Trafikstyrelsen på baggrund af et ønske om et inkluderende arbejde, hvor relevante myndigheder blev inddraget. Dette skyldes, at analysen har skullet tage hensyn til en række forskellige interesser, herunder den kommende udbygning af vedvarende energi, vindmølleejere- og producenter, lokale borgere og naboer til vindmøller, samt luftfartssikkerheden, luftbrugsbrugerne og den nationale sikkerhed.

Trafikstyrelsen og arbejdsgruppen har aktivt inddraget relevante interessenter i sit arbejde gennem en følgegruppe. Følgegruppen har bestået af Dansk Motorflyver Union (AOPA DMU), Dansk Industri/Brancheforeningen Dansk Luftfart (DI), DTU Wind, Erhvervsflyningens Sammenslutning (ES-DAA), Green Power Denmark, Kommunalteknisk Chefforening (KTC) og Kongelig Dansk Aeroklub (KDA).

Da Trafikstyrelsen er bevidst om andre tekniske løsninger end radarstyring, der gør det muligt at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer, belyser analysen også dette. I analysen er den generelle betegnelse for tekniske løsninger, der muliggør en deaktivering af hindringslys *behovsstyring*, mens *radarstyret hindringslys* henviser til en teknisk løsning med en primær radar, der muliggør deaktivering af hindringslys.

Analysen indeholder en kort sammenfatning af borgergener i forbindelse med vindmøller for at undersøge omfanget af lysgener fra vindmøller. Analysen beskriver det danske luftrum, de forskellige luftrumsbrugere og de forskellige behov i luftrummet. Analysen beskriver yderligere brugen af og erfaringer med behovsstyring til at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer i række nabolande.

Analysen tager udgangspunkt i hindringslys på både land- og havvindmøller. Analysen fokuserer på vindmøller på over 150 meter, da disse afmærkes med blinkende hindringslys (2.000 candela). Trafikstyrelsen kan i tilfælde stille krav om afmærkning med hindringslys på vindmøller i lavere højde, hvis de gennembryder hindringsplaner omkring lufthavne. Det vurderes dog, at disse vindmøller ikke vil kunne benytte sig af behovsstyring pga. krav til luftfartssikkerheden. De er derfor undladt fra analysen. Samtidig vurderer arbejdsgruppen, at behovsstyring af hindringslys på vindmøller i nærheden af større flyvepladser kan skabe gener for lokale borgere på grund af mere irregulær belysning.

Analysen belyser mulige tekniske løsninger til brugen af behovsstyring af hindringslys, der muliggør en deaktivering af hindringslys på vindmøller. I forlængelse heraf, opstiller analysen tekniske specifikationer til behovsstyring, som et behovsstyringssystem skal leve op til, hvis behovsstyring ønskes benyttet til deaktivering af hindringslys på vindmøller. Det gør det også muligt, at tekniske løsninger, som endnu ikke er på markedet, har mulighed for at blive benyttet, så længe de lever op til de tekniske specifikationer. Afslutningsvist kommer rapporten med en anbefaling om brugen af behovsstyring af hindringslys i Danmark med brug af enten en primær radar eller sekundær radar baseret på transponder, og under hvilke vilkår behovsstyring kan benyttes.



Begreber

Bestemmelser for Civil Luftfart (BL): Forskrifter til gennemførelse og udfyldelse af luftfartsloven svarende til bekendtgørelser.

Behovsstyring: Brug af teknisk løsning, der gør det muligt at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer efter behov.

Flight Information Region (FIR): Et nærmere afgrænset luftrum, hvor der udøves flyveinformation- og alarmeringstjeneste.

Flight Level (FL): Flight Level indikerer et luftfartøjs højde ved standard lufttryk og benyttes til at sikre vertikal separation mellem luftfartøj trods naturlige lokale variationer i atmosfærisk lufttryk.

Flyveplads: Et bestemt område på land eller vand (omfattende bygninger, installationer og udstyr) beregnet til anvendelse helt eller delvis ved landing, start og manøvrering af luftfartøjer.

Instrument Flyvning (IFR): Flyvning efter de Instrumentelle Flyveregler, hvilket vil sige navigation med instrument og under flyvekontrol af flyveleder.

Kontrolzone (CTR): Et nærmere afgrænset luftrum, oprettet omkring kontrollerede flyvepladser, der strækker sig opfra jordens eller vandets overflade til en nærmere angivet øvre grænse.

Luftfartshindring: Enhver fast eller bevægelig genstand, midlertidig såvel som permanent, eller dele heraf, der befinder sig på et område, der er beregnet til luftfartøjers manøvrering på jorden, eller gennemskærer en nærmere angivet flade, hvis formål er at beskytte luftfartøjer under flyvning.

Hindringsbegrænset flader: Flere flader, etableret omkring en flyveplads med det formål at skabe hindringsfrihed for luftfartøjers manøvrering i forbindelse med start og landinger. Der må ikke opstilles hindringer uden tilladelse fra Trafikstyrelsen.

Hindringslys: Luftfartshindringer afmærkes med lys for at signalere fare og henlede opmærksomheden over for piloter.

Nacelle: Turbinehoved på vindmølle.

Naviair: En selvstændig offentlig virksomhed, ejet af den danske stat ved Transportministeriet. Naviair leverer trafikstyring til dansk luftfart.

Terminalområde (TMA): Et nærmere afgrænset luftrum, der strækker sig op efter en given højde over jordens eller vandets overflade til en fastsat øvre grænse. Terminalområdet bruges til at dirigere ankomende og afgående flyvninger til og fra kontrolzonen ved en flyveplads.

Transponder Mandatory Zone (TMZ): Udpeget luftrum, hvor luftfartøjer skal flyve med aktiveret transponder, før de må flyve i luftrummet.

Very Low Level (VLL): Luftrum under 500 fod.

Vindmølletårn: En faststruktur på vindmøllen, hvorpå nacellen monteres.

Visuel flyvning (VFR): Flyvning efter de Visuelle Flyveregler, hvilket vil sige navigation ved at kigge ud gennem flyets ruder og orientere sig i forhold til luftfartshindringer og brug af flyveinformation.



Indhold

Resume.....	2
Forord.....	4
Baggrund for arbejdet.....	7
Udbygning af vedvarende energi	7
Borgergener og vindmøller	8
Luftfartsikkerhed i Danmark og vindmøller	12
Dansk luftrum og luftrumsbrugere	13
Dansk luftrum	13
Civile luftfartøjer og luftrumsbrugere	15
Forsvarets brug af luftrummet	20
Regulering af hindringslys på luftfartshindringer	24
ICAO.....	24
EASA	26
Danmark	26
Danske erfaringer med behovsstyret hindringslys	29
Brug af behovsstyring i nabolande	31
Tyskland	31
Holland	32
Sverige	33
Norge	34
Tekniske muligheder for behovsstyring af hindringslys	35
Primær radar	35
Passiv radar.....	38
Sekundær radar og transponder.....	40
ADS-B.....	45
FLARM	46
Selvbetjening (manuel tænding for lys)	47
Lysintensitet	47
Tekniske specifikationer	50
Anbefaling	59
Referencer.....	62



Baggrund for arbejdet

Som en del af den brede politiske aftale *Klimaftalen om grøn strøm og varme af den 25. juni 2022*³ blev det aftalt at igangsætte en analyse af mulighederne for radarstyret hindringslys på vindmøller. Til analysen er der afsat på tværs af ministerier 5 mio. kr. for perioden 2023-2024. Trafikstyrelsen fik ansvaret for at gennemføre analysen.

Hindringslys på luftfartshindringer har grundlæggende til formål at fremhæve en hindring, så en pilot i et luftfartøj i tilstrækkelig tid kan foretage nødvendig manøvrering for at undgå kollision med luftfartshindringer. Hindringslys er 'last line of defense' (allersidste advarsel/påmindelse), som advarer luftrumsbrugere mod en fare og er dermed til for at hindre kollision mellem luftfartøj og luftfartshindring. Hindringslys på luftfartshindringer er således ufravigelige på grund af luftfartsikkerheden. Det betyder også, at ændringer i brugen af hindringslys på luftfartshindringer har stor betydning for brugerne af luftrummet og luftfartssikkerheden.

Blinkende hindringslys (2.000 candela) kan i dag være forbundet med gener for lokale borgere, hvilket kan give anledning til lokal modstand og klager over vindmølleprojekter, som kan forsinke den essentielle udbygning af vedvarende energi i Danmark. VE-branchen efterspørger derfor også i høj grad tekniske løsninger, der gør det muligt at deaktivere lysene på vindmøllerne, når det er luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt, for at mindske borgernes gener.

For at sætte rammen for analysen, vil rapporten først beskrive den hidtidige og fremtidige udbygning af vindmøller i Danmark, samt kortlægge borgergener i forbindelse med vindmøller.

Hindringslys er 'last line of defense', som advarer luftrumsbrugere mod en fare og er dermed til for at hindre ulykker i luften.

Udbygning af vedvarende energi

Danmark har med klimaloven⁴ fastlagt et mål om at reducere udledningen af drivhusgasser i 2030 med 70 % i forhold til niveauet i 1990 og at Danmark skal være et klimaneutralt samfund senest i 2050. Derudover arbejder Danmark på at blive uafhængig af fossile brændstoffer. I forbindelse med klimaftalen om grøn strøm og varme⁵, er aftalepartierne enige om at sikre rammevilkår, der muliggør en firedobling af den samlede elproduktion fra solenergi og landvind frem mod 2030, samt muliggøre udbud af mindst fire gigawatt (GW) havvind til realisering senest i 2030. Der er som opfølgning herpå i april 2024 igangsat udbud af minimum seks GW ny havvind.

Den grønne omstilling og uafhængighed af kul, olie og gas kræver en markant udbygning af vedvarende energi, hvorfor kommende udbygning af vindmølleprojekter har stor betydning for de danske klimamålsætninger.

Siden 1970'erne har Danmark opstillet landvindmøller, og i 1991 blev den første havvindmøllepark bygget. I dag har Danmark ca. 4.200 landvindmøller og ca. 500 havvindmøller. Vindmøllerne står for ca. halvdelen af den danske elforsyning.⁶

Danmark arbejder derudover på at opføre to energigjer, én i Nordsøen og én ved Bornholm, der skal fungere som knudepunkter, der samler strøm fra omkringliggende havvindmølleparker og

³ S, V, SF, RV, EL, KF, DF, LA, ALT og KD

⁴ Klimaloven, lovbekendtgørelse nr. 2580 af 13/12/2021

⁵ Klimaaftale om grøn strøm og varme af 25. juni 2022

⁶ [Kapaciteten fra landvindmøller er størst mod vest - Danmarks Statistik \(dst.dk\)](https://dst.dk/nyheder/kapaciteten-fra-landvindmoller-er-storst-mod-vest)

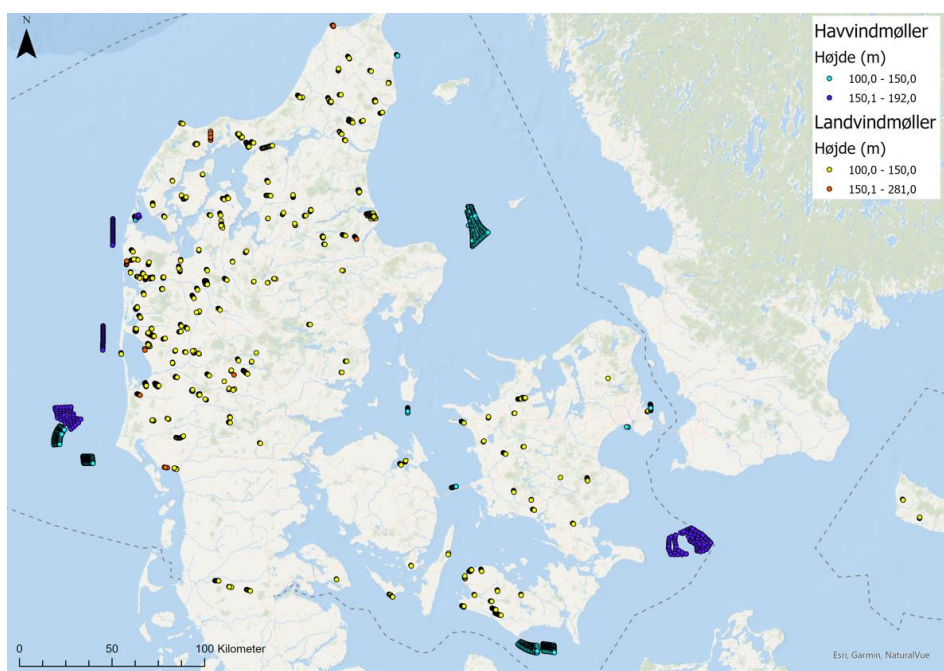


fordeler den til elnettet i Danmark og direkte til udlandet, så husstande og erhvervsliv får adgang til den grønne strøm. Energiøerne muliggør, at havvindmølleparker kan ligge længere væk fra kysten. I de kommende år vil Danmark således opleve en markant udbygning af vedvarende energi.

Ifølge Klima- Energi- og Forsyningsministeriets årlige rapport, Klimastatus- og Fremskrivning 2024⁷, som fremskriver den forventede elproduktion, forventes elproduktionen fra vindmøller stige fra 23,8 TWh i 2025 til 47,6 TWh i 2035.

Nedenstående kort giver et overblik over opførte land-og havvindmøller på dansk territorium.

Figur 1 Kort over vindmøller på 100 meter og over (Energistyrelsen)



Når det gælder opførslen af VE-projekter, herunder vindmøller, er der i mange tilfælde lokal modstand mod opsætningen. En del af modstanden skyldes borgernes oplevede gener af og bekymringer om vindmøllernes hindringslys.

Borgergener og vindmøller

Borgergener i forbindelse med vindmøller relaterer sig oftest til støj, miljøpåvirkning, solrefleksion fra møllevingerne, skyggekast, værditab på ejendom og visuelle gener. De visuelle gener dækker bl.a. over hindringslys på vindmøller. Borgernes oplevelser af gener i forbindelse med vindmøller påvirker borgernes accept af og modstand mod vindmølleprojekter.⁸ Det vil sige, jo mere borgere føler sig irriteret af faktorer som støj, landsskabsændringer og hindringslys, jo mindre accepterer de vindmøller. Det kan forhindre den nødvendige udbygning af vedvarende energi.

⁷ <https://kefm.dk/klima/klimastatus-og-fremskrivning/klimastatus-og-fremskrivning-2024>

⁸ Pohl et al. (2021)



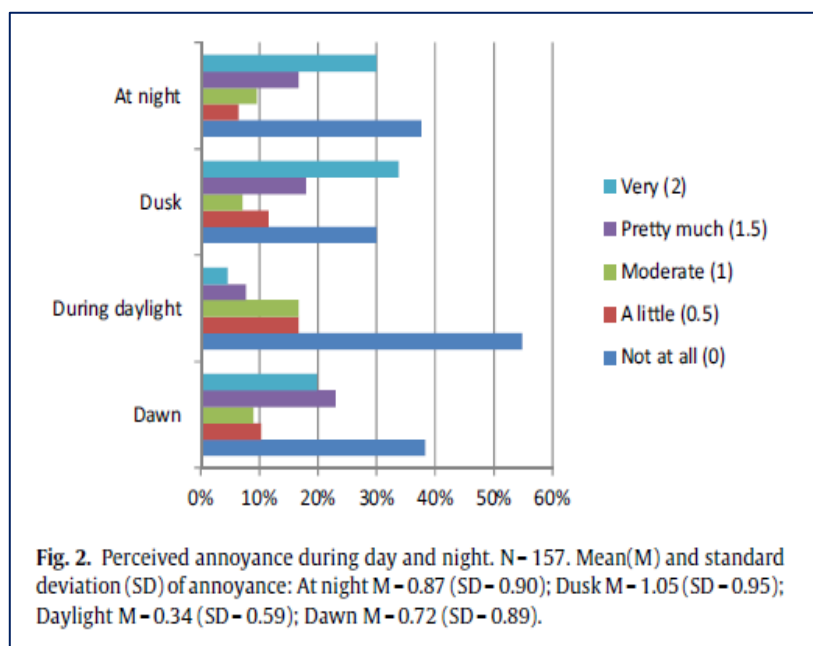
Forskning om borgergener i forhold til vindmøller er stærkt begrænset, både i Danmark og internationalt. Trafikstyrelsen har i forbindelse med analysen erfaret, at der ikke er nyere danske undersøgelser om borgergener i forbindelse med hindringslys på vindmøller, men af ældre dato kan projektet *Radar-styret lysafmærkning på det nationale testcenter for store vindmøller i Østerild (CORAL)* af Aalborg Universitet og DTU nævnes.

Projektet kortlagde, hvordan og i hvor høj grad beboere i nærheden af testcentret påvirkes af blinkene fra hindringslys, samt virkningen af radarstyret hindringslys.⁹ Det skal bemærkes, at hindringslysene ved Testcenter Østerild, som består af højintensitets blinkende hvide lys, er på lysmaster omkring vindmøllerne og ikke på selve vindmøllerne. Hindringslysene på masterne er 10 gange kraftigere end hindringslys på vindmøller.

Når det gælder opførslen af VE-projekter, herunder vindmøller, er der i mange tilfælde lokal modstand mod opsætningen. En del af modstanden skyldes borgernes oplevede gener af og bekymringer om vindmøllernes hindringslys

Forskerne fandt, at hindringslyset fra testcenteret var særligt generende, når det var mørkt, mens respondenterne var minimalt generet om dagen.¹⁰ Forskerne fandt desuden, at de adspurgte borgere anså lysglimt for at være en af de større gener ved testcentret - sammenlignet med skyggekast, støj, solrefleksion fra vinger og ændringer i landskabet. Respondenterne bemærkede også, at hindringslyset påvirkede natur- og landsskabsoplevelser generelt, spolerede nattemørket og stjernehimlen, og at lyset påvirkede deres adfærd og brugen af landskabet.

Figur 2 Borgergener fra hindringslys på luftfartshindringer – dag og nat (Rudolph et al., 2017)



Selvom hindringslysene ved Testcenter Østerild adskiller sig markant fra de generelle anvisninger om hindringslys på vindmøller, understøttes projektets konklusioner af høringsnotater fra

⁹ Projektet er bl.a. udmøntet i tre forskningsartikler: Rudolph et al. (2017), Pohl et al. (2021) og Aaen et al. (2022).

¹⁰ Rudolph et al. (2017)



Energistyrelsen i forbindelse med en række havvindmølleprojekters miljøkonsekvensvurderinger, samt af Kommunalteknisk Chefforening (KTC).¹¹

Både i forbindelse med Energistirelsens høringer om havvindmølleparker og kommuners høringer om landvindmøller, italesætter borgere en bekymring for visuelle gener.¹² En privat borger skriver f.eks. i forbindelse høring om etableringen af Omø Syd Havmøllepark: *"[...] vi er bekymrede for, om møllerne vil skabe en stor negativ påvirkning, og om vores unikke nattehimmel bliver også spoleret med lysglimt?"*.

I et andet høringssvar i forbindelse med opstilling af landvindmøller ved Bogø Inddæmningen, lyder det: *"Jeg har intet mod vindmøller men er imod opstilling af flere møller med en højde så vi skal se på de store blinkende uhyrer"*.

Energistyrelsen beskriver i forbindelse med anden offentlige høring af miljøkonsekvensrapporten for Vesterhav Syd, at mange af høringssvarene fremhæver, at *"vindmøllerne vil have stor negativ påvirkning på oplevelsen af solnedgangen over havet, som er unik for området, og at den lovpligtige lysmarkering på vindmøllerne vil have stor negativ påvirkning for oplevelsen af landskabet og horisonten om natten"*.

Høringssvarene viser, at borgernes bekymringer om hindringslys på vindmøller særligt handler om påvirkningen på landskabet og nattehimlen. Høringssvarene indikerer lige som DTU's undersøgelse, at hindringslys på vindmøller primært er til gene om natten. Samme vurdering har KTC.

I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten, har KTC bemærket, at det er hindringslyset om natten, som borgerne primært generes af og er kritiske over for. Det er derfor, ifølge KTC, kun relevant at kigge på behovsstyring af hindringslys om natten. Det skyldes, at borgerne i forbindelse med høringer om vindmølleprojekter slet ikke nævner lysgener om dagen. I tillæg hertil, har KTC bemærket, at det er en klar udfordring for kommuner, som ønsker at udbygge vedvarende energi, at borgere generes af hindringslyset.

En borger skriver i forbindelse med høring af Omø vindmøllepark, at de tidligere har spurgt om man kan "lave lys, som ikke ses nedefra og dermed kan være med til at sikre, at nattemørket ikke fuldstændigt spoles på Omø". Andre borgere efterspørger i deres høringssvar radarstyring til at slukke for lysene.

Mange af høringssvarene efterspørger også tiltag til, hvordan man kan mindske lysgenerne fra vindmøller. En borger skriver i forbindelse med høringen af Omø vindmøllepark, at de tidligere har spurgt om man kan "lave lys, som ikke ses nedefra og dermed kan være med til at sikre, at nattemørket ikke fuldstændigt spoles på Omø". Andre borgere efterspørger i deres høringssvar radarstyring til at slukke hindringslysene.¹³

I 2017 fik Testcenter Østerild dispensation fra Trafikstyrelsen til at have radarstyret hindringslys som følge af klager fra de lokale borgere. CORAL undersøgte efterfølgende virkningen af radarstyret hindringslys på borgernes gener.¹⁴ Forskerne fandt, at borgerne lagde mindre mærke til lysene, særligt i mørke, og at borgernes syn på testcentret var blevet bedre som følge af

¹¹ Sammenslutning af tekniske chefer fra kommunerne

¹² Se f.eks. Energistyrelsens høringsnotater i forbindelse med Omø Syd Havmøllepark (2018), Vesterhav Syd Havvindmøllepark (2020), Vesterhav Nord Havvindmøllepark (2020), Jammerbugt Havvindmøllepark (2019) og Aflandshage Vindmøllepark (2022)

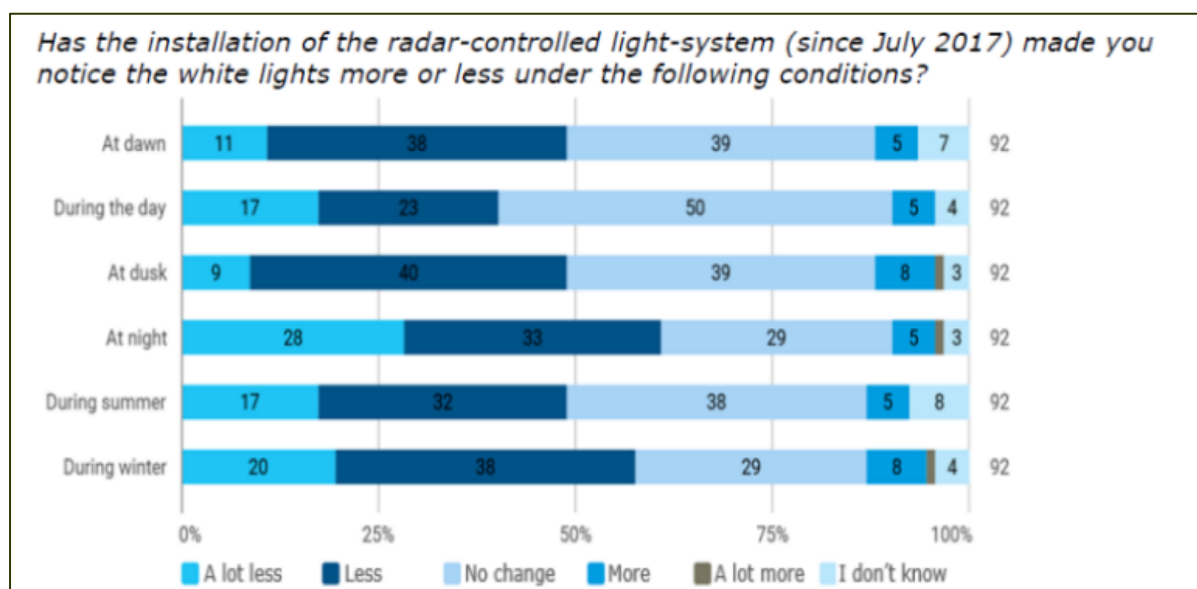
¹³ F.eks. høringssvar til Lolland Kommune i forbindelse med Bogø Inddæmning, samt høringsnotat fra Energistyrelsen i forbindelse med Frederikshavn Havvindmøllepark

¹⁴ Aaen et al. (2022)

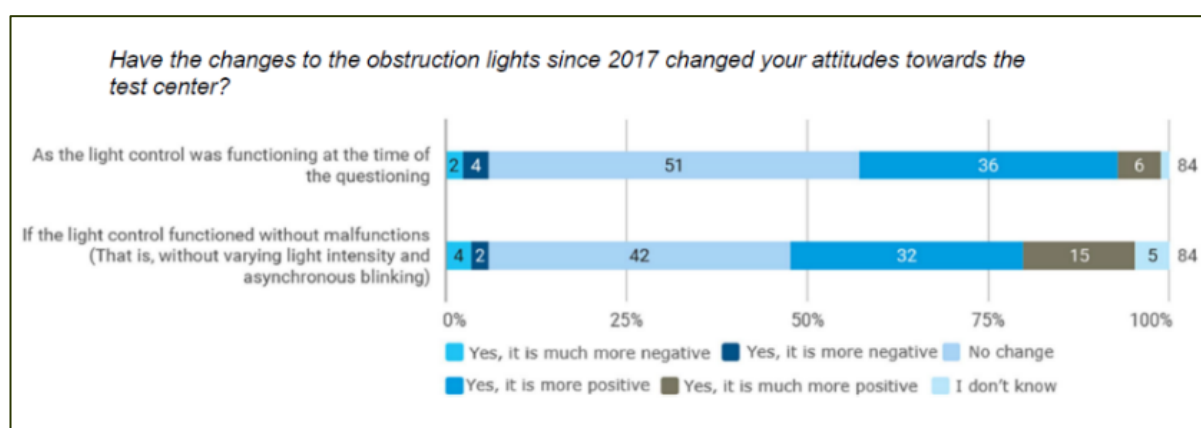


installeringen af radarstyret hindringslys (se figur 3 og 4). Radarstyret hindringslys reducerede således borgernes gener fra hindringslys. Det er dog vigtigt at bemærke, at Testcenter Østerild er en særlig case, idet det er et testcenter, hvor vindmøllerne er højere end i sædvanlige vindmølleparker på land, og at hindringslyset har en markant højere lysintensitet end i sædvanlige vindmølleparker på land og vand. Det skyldes, at afmærkningen af masterne med lys følger bestemmelserne i BL 3-10 om luftfartshindringer og ikke bestemmelserne om hindringslys på vindmøller i BL 3-11.

Figur 3 Ændringer af gener som følge af brugen af behovsstyring på hindringslys (Aaen et al., 2022)



Figur 4 Borgernes attitude før og efter installering af behovsstyring (Aaen et al., 2022)





Luftfartsikkerhed i Danmark og vindmøller

De fleste vindmøller i Danmark har en højde, hvor også en stor del af luftfarten finder sted. Vindmøller kategoriseres derfor som en luftfartshindring, da de udgør en hindring for den luftfart, der foregår i lav højde. Vindmøller er dog ikke en traditionel hindring, da en del af vindmøllen – vindmøllens vinger – er bevægelige. Det vil sige ud over, at vindmøllen udgør en fare på grund af dens højde, udgør også de bevægelige vinger en betydelig og selvstændig fare for luftfarten. Det gælder både vindmøller i det fri, men især vindmøller i nærheden af flyvepladser. Yderligere kan vindmøller have en indvirkning på kommunikation-, navigation- og overvågningssystemer, som er den del af den kritiske infrastruktur. Vindmøller kan derfor påvirke luftfartssektoren på en række forskellige områder, hvorfor der også er opstillet en række regler for markeringer af luftfartshindringer på national, europæisk og internationalt niveau, samt udarbejdet en række vejledninger for vindmølleopstillere og lufttrafikstyrings- og luftfartstjenester for at mitigere risikoen.¹⁵

Hindringslys på luftfartshindringer har, som tidligere nævnt, grundlæggende til formål at fremhæve en hindring visuelt, så en pilot i et luftfartøj i tilstrækkelig tid kan foretage de nødvendige manøvrer for at undgå kollisioner med luftfartshindringer. I oktober 2023 udkom SIG Aviation med en rapport om indvirkningen af vindmøller på sikkerheden omkring flyvepladser og luftruter, udarbejdet for den Europæiske Luftfartssikkerhedsagentur.¹⁶ Rapporten fandt, at den største risiko relateret til vindmøller og luftfart er relateret til VFR-flyvninger i lav højde, særligt i dårlige meteorologiske forhold både dag og nat. Risikoen relaterer sig for det meste til området omkring en flyveplads og dennes omgivelser. Rapporten fandt yderligere, at der er behov for at udvikle den nuværende europæiske regulatoriske ramme for at sikre yderligere sikkerhedsmargener for luftfarten i forhold til vindmøller.

Opsummering

National og international forskning om borgergener i forhold til vindmøller og forhindringslys er stærkt begrænset. Ældre studier om Testcenter Østerild viser, at hindringslys på testcenteret var særligt generende, når det var mørkt, mens borgerne i mindre grad var generet om dagen. Konklusionerne fra Testcenter Østerild støttes af høringsnotater fra Energistyrelsen i forbindelse med en række havvindmølleprojekters miljøkonsekvensvurderinger, samt af KTC. Borgere efterspørger i højere grad brug af radarstyring eller anden behovsstyring i forbindelse med høringer om etablering af vindmøller for at mindske lysforurening og gener fra hindringslys.

¹⁵ Se f.eks. EUROCONTROL Guidelines (2014)

¹⁶ SIG Aviation (2023)



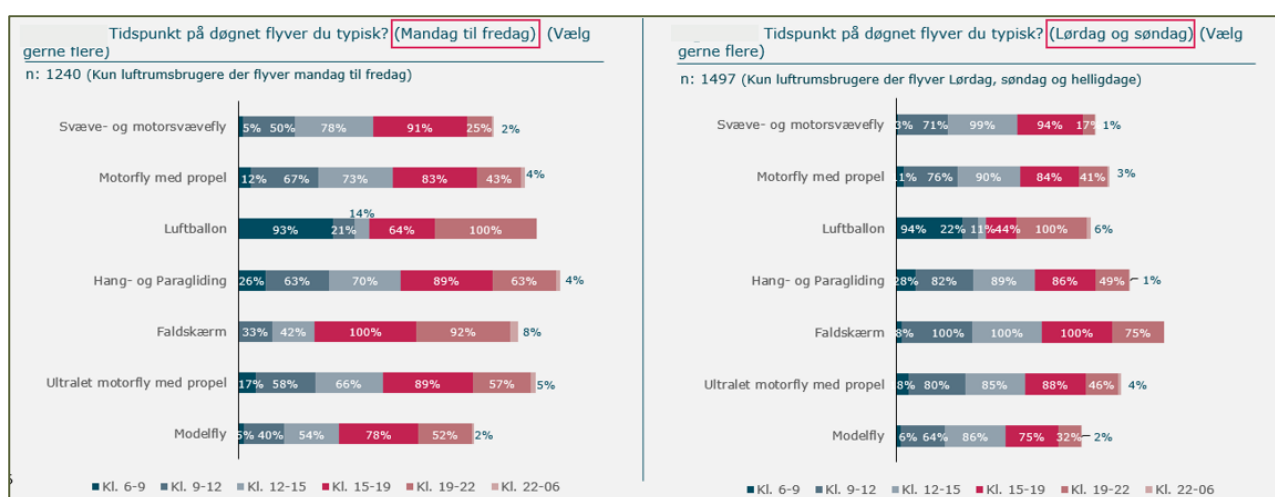
været muligt at specificere estimatet yderligere. Det er heller ikke muligt at præcisere om det er de samme fly, der flyver nat-VFR flere gange, eller om hver enkelt flyvning indikerer et fly.

Tabel 1 Antal nat-VFR og totale antal VFR-flyvninger i København FIR¹⁹ (jf. estimater fra Naviair)

Estimeret VFR-operationer i København FIR			
Vinterperiode (Jan-Feb + Okt-Dec)	2021	2022	2023
VFR i perioden 19:00-08:00	407	401	387
VFR total	5.965	5.059	4.570
Sommerperiode (Mar-Sep)	2021	2022	2023
VFR i perioden 22:00-06:00	385	361	345
VFR samlet	19.947	20.617	20.657

En kortlægning fra Moos-Bjerre²⁰, udarbejdet på vegne af Trafikstyrelsen, viser, at luftrumsbrugere flyver typisk om eftermiddagen i hverdagen, og hele dagen i weekenden.

Figur 6 Hvornår på døgnet flyver luftrumsbrugere (Moos-Bjerre, 2024)



Figuren viser, at fra mandag til fredag flyver luftrumsbrugere typisk i eftermiddagstimerne fra kl.15-19, og i weekenden flyver de hele dagen fra 9-19. Unionerne har i forbindelse med kortlægningen uddybet dette med, at det typisk er hobby/fritidsflyvning efter arbejde. Luftballonerne skiller sig som de eneste ud, da de typisk flyver i de helt tidlige timer fra 6-9, eller de sene timer fra 19-22. Det gør de fordi de skal flyve i tidspunkter hvor der er lidt eller ingen termik. Svæve- og motorsvævefly, samt nogle hang- og paraglider discipliner er afhængige af termik, og flyver derfor i tidspunkter hvor der er meget termik, typisk midt på dagen.

¹⁹ København FIR er et afgrænset luftrum, hvor der udøves flyveinformation- og alarmeringstjeneste. Luftrummet strækker sig fra Nordsøen til øst for Sjælland og fra den tyske grænse og op mod Norge.

²⁰ Moos-Bjerre A/S (2024)



Civile flyvninger skal overholde krav om minimumsflyvehøjder. VFR-flyvninger må ikke foregå over tæt bebyggede by- eller boligområder eller over udendørs forsamlinger af personer i en højde på under 300 m (1000 fod) over den højeste hindring inden for en radius af 600 m fra luftfartøjet. Uden for disse områder skal VFR-flyvning foregå i en højde som ligger på mindst 150 meter (500 fod) over jorden eller over højeste hindring inden for en radius på 150 meter.²¹ Desuden skal der i forbindelse med VFR-flyvninger være en sigtbarhed på 5 km.

Luftrumsklasse C, D og E er kontrolleret luftrum, hvilket vil sige, at der for IFR flyves med kontakt til en flyvekontrolltjeneste. VFR-flyvninger har kontakt med en flyvekontrolltjeneste i luftrumsklasse C og D, mens de har kontakt med en flyveinformationstjeneste i luftrumsklasse E. Det gør det muligt for lufttrafiktjenesten at adskille luftfartøjer eller informere de forskellige luftfartøjer om hinanden. I luftrumsklasse G er luftrummet ukontrolleret og luftfartøjer (både IFR og VFR) modtager udelukkende flyveinformationstjeneste, f.eks. trafikinformation om anden lufttrafik.

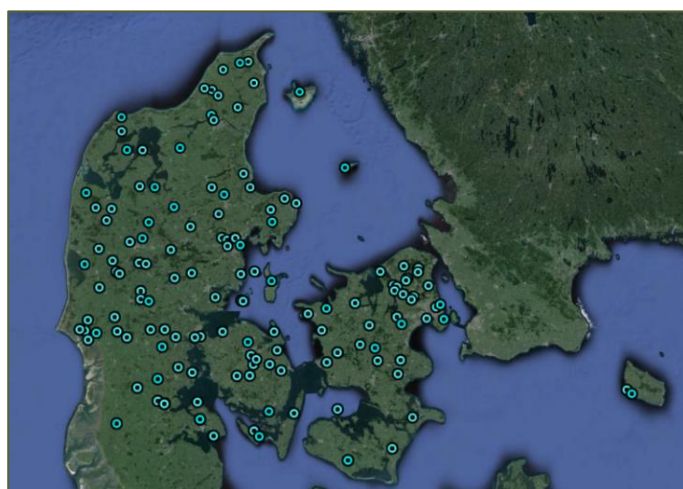
I klasse C og D er der krav om klarering, når man ønsker at flyve ind i disse luftrum. Det vil sige, at en flyveleder skal godkende, at luftfartøjer flyver ind i luftrummet. I klasse E er der kun krav om klarering for IFR-flyvninger, mens der ikke er krav om klarering i luftrumsklasse G.

I klasse C og D er der etableret Transponder Mandatory Zone (TMZ) og Radio Mandatory zone (RMZ). Det betyder, at luftfartøjer skal have transponder og tovejsradioforbindelse for at flyve i de to luftrumsklasser. I luftrumsklasse D er det dog kun gældende for IFR-flyvninger. I luftklasse E og G er der generelt hverken krav om tovejsradioforbindelse eller transponder, men for de to klasser er der krav om tovejsradioforbindelse eller transponder i flyvninger over FL95.²² Det vil sige, at i store dele af luftrummet i Danmark under FL95 er det tilladt at flyve uden transponder. Hvis et luftfartøj er udstyret med transponder, skal denne dog altid være tændt under flyvning, uagtet hvilket luftrum luftfartøjet befinder sig.²³

Civile luftfartøjer og luftrumsbrugere

Danske flyvepladser er spredt ud over hele landet og omfatter større flyvepladser, samt mindre (både offentlige og private) flyvepladser.

Figur 7 Kort over danske flyvepladser (både offentlige og private)



²¹ SERA.5005f og 5015b i SERA-forordningen (EU-gennemførselsforordning 923/2012 af den 26. september 2012)

²² Det vil sige flyvninger i en højde på 9.500 fod

²³ AIP Denmark



Flyvepladserne betjener en række forskellige luftrumsbrugere og der findes flere tusinde brugere af luftrummet. Det er f.eks. Forsvaret, HEMS²⁴, kommercielle fly, mindre motorfly, svævefly, ultralette fly, faldskærmsudspringere, luftballoner, para- og hanggliders mfl.

Det er ikke alle luftrumsbrugere eller luftfartøjer, der er registreret, men Trafikstyrelsen vurderer, at antallet af forskellige typer af luftfartøjer fordeler sig således:

Tabel 2 Oversigt over luftfartøjer i Danmark primo 2024.

Type	Antal
Store motorfly > 6 sæder ²⁵	213
Forsvaret	100
Mindre motorfly <7 sæder	611
Private helikoptere	100
Svævefly	292
Motorsvævefly (TMG)	100
Ultralette fly	216
Luftballoner	54
Hang/paragliders	625
Droneoperatører	10.042

Antallet af luftrumsbrugere fordeler sig som følgende:

Tabel 3 Oversigt over antal af danske fritids-og hobby luftrumsbrugere (Moos-Bjerre, 2024)

Union	Aktive medlemmer
Dansk Svæveflyver Union	1.300
Dansk Motorflyver Union	1.100
Dansk Ballonunion	30
Dansk Hang- og Paragliding union	550
Dansk faldskærmsunion	200
Dansk UL-flyverunion	650
Modelflyvning Danmark	5.200
I alt	9.030

I luften eksisterer "retten til at færdes frit". Det vil sige, at piloter (og andre luftrumsbrugere) har ret til at flyve frit og uden at andre mennesker kan holde øje med eller spore dem. Den frie bevægelighed i luften begrænses dog af en række national og international lovgivning og forpligtelser. De forskellige luftrumsbrugere har forskellige forudsætninger hvad angår brugen af luftrummet, herunder i forhold til udstyr ombord. Kommercielle luftfartøjer flyver IFR, har elektroniske navigationssystemer og radioforbindelser mm., og flyver sædvanligvis i større højder end andre luftrumsbrugere.

Mindre motorfly, svævefly og ultralette fly er ikke altid udstyret med elektronisk udstyr, som f.eks. radio og transponder²⁶ eller lignende, der gør dem elektronisk synlige og i stand til at kommunikere med og/eller "finde" andre fly. Det samme gør sig gældende for

²⁴ HEMS står for Helikopter Emergency Medical Service

²⁵ Typisk kommercielle fly

²⁶ Elektronisk udstyr, der når det modtager et indgående kodet signal, svarer tilbage med et signal.



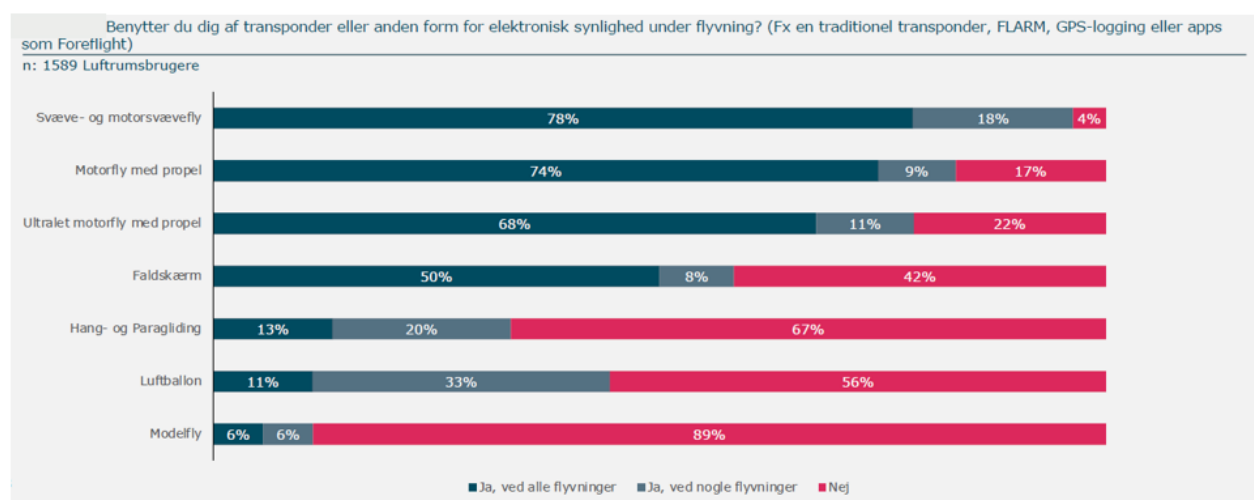
faldskærmsudspringere, hang- og paraglidere, luftballoner og andre "bløde" brugere. Luftrumsbrugere har forskellige muligheder og forudsætninger for at undgå kollisioner. Forsvaret adskiller sig helt fra den civile luftfart, og deres brug af luftrummet behandles i næste afsnit.

Kommercielle fly og en række mindre motorfly flyver IFR, men størstedelen af luftrumsbrugerne flyver VFR. Hindringslys og farveafmærkning af vindmøller har således afgørende betydning for luftrumsbrugerne og deres sikkerhed i luften. Kommercielle fly og mindre motorfly, der flyver IFR, kan flyve døgnet rundt. Mindre motorfly, der flyver VFR, har også denne mulighed, hvis vejret tillader det, da de har behov for tilstrækkelig sigtbarhed. I modsætning dertil kan svævefly, ultralette fly, faldskærmsudspringere mv. kun benytte luftrummet i dagtimerne, som følge af deres tekniske udstyr og behov for god sigtbarhed. De forskellige niveauer af udstyr og elektronisk synlighed har betydning for brugen af behovsstyring, da elektronisk synlighed sætter krav til den teknologi, der benyttes i forbindelse med behovsstyringen.

Kortlægningen fra Moos-Bjerre viser, at der er stor variation i, hvilke luftfartøjer der anvender elektronisk synlighed. Kortlægningen viser, at mindre motorfly, svævefly og ultralette fly er de luftrumsbrugere, hvor flest anvender en form for elektronisk synlighed. Modelfly, luftballon, og hang- og paraglidning er de luftrumsbrugere, hvor færrest anvender en form for elektronisk synlighed. Kortlægningen viser samtidig, at transponder er den mest anvendte form for elektronisk synlighed. Hos svæve- og motorsvævefly, og hang- og paraglidere er FLARM²⁷ det mest anvendte udstyr, men oftest vil luftballon, faldskærm, og hang- og paraglidere ikke anvende elektronisk synlighed (se figur 8 og figur 9).

Mindre motorfly, svævefly og ultralette fly er ikke altid udstyret med elektronisk udstyr, som f.eks. radio og transponder eller lignende, der gør dem elektronisk synlige og i stand til at kommunikere med og/eller "finde" andre fly.

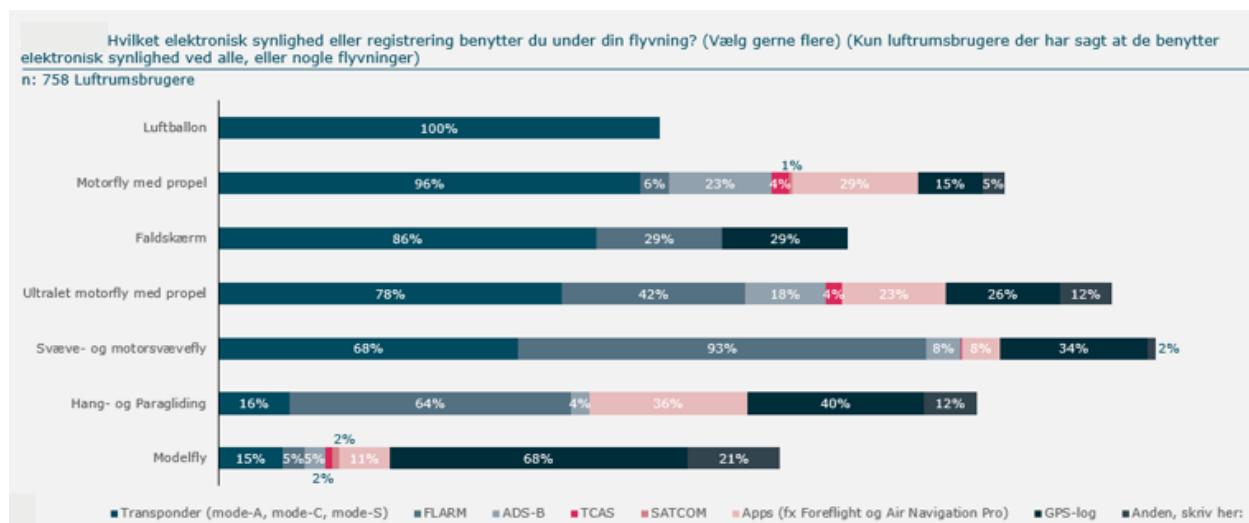
Figur 8 Elektronisk synlighed i luftrum G (Moos-Bjerre, 2024)



²⁷ FLARM står for Flight Alarm og er et anti-kollisionssystem, der benyttes af GA-flyvning, UL og droner. FLARM udsender kontinuerligt signaler med data GPS-position, højde og identifikation, hvilket opfanges af andre FLARM-udstyrede fly.

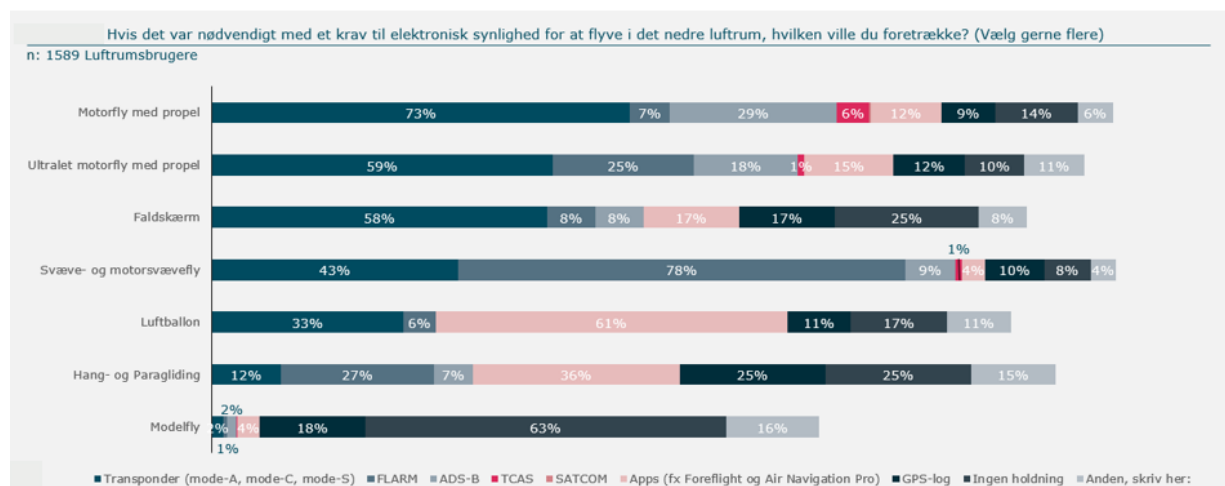


Figur 9 Hvilket udstyr benytter lufrumsbrugere i forbindelse med elektronisk synlighed



Kortlægningen fra Moos-Bjerre viser også, at hvis det var nødvendigt med et krav om elektronisk synlighed for at flyve i det laveste lufrum, dvs. under 500 fod (betegnet Very Low Level/VLL), vil størstedelen af de adspurgte lufrumsbrugere foretrække transponder. Dog vil nogle lufrumsbrugere have svært ved at imødekomme et eventuelt krav om transponder. Det gælder f.eks. modelfly, som bl.a. udfordres pga. luftfartøjets størrelse, og svævefly, som er udfordret af vægt og strøm. Derfor foretrækker disse grupper GPS-log eller FLARM.

Figur 10 Potentiel krav om elektronisk synlighed og fortrukne udstyr





På baggrund af ovenstående informationer, giver nedenstående tabel en oversigt over luftfartøjer og luftrumsbrugere i forhold til, om de flyver IFR/VFR, om de benytter elektronisk synlighed og flyver om natten.

Tabel 4: Oversigt over luftrumsbrugere/luftfartøjer og elektronisk synlighed

Type	IFR eller VFR	Elektronisk synlighed	Flyver om natten
Kommercielle fly	IFR	Ja	Ja
Forsvaret	Både IFR og VFR	Ja ²⁸	ja
Mindre motorfly	Både IFR og VFR	Ja og nej	Ja, men nat-VFR er sjældent
Private helikoptere	Både IFR og VFR	Ja	Ja
Svævefly	VFR	Ja	Nej
Ultralette fly	VFR	Ja	Nej
Luftballoner	VFR	Nej	Nej
Hang/paragliders	VFR	Nej	Nej
Faldskærmsudspringere	VFR	Nej	Nej

²⁸ Forsvaret har mulighed for at flyve med transponder slukket for at kunne operere anonymt eller "usynligt".



Forsvarets brug af luftrummet

Det danske luftrum benyttes både af Forsvaret og civil flytrafik, men den militære luftfart adskiller sig fra den civile på en række områder. For civil luftfart gælder en minimumsflyvehøjde på 500 fod over havets eller jordens overflade, samt en generel hastighedsbegrænsning på 250 knob ved flyvning i højder under FL100.²⁹

Forsvarets opgaveportefølje dækker en bred række af forskellige opgaver, som f.eks. afvisningsberedskab, anti-terroraktioner, eftersøgning- og redningsopgaver og øvelsesvirksomhed mv. Løsningen af Forsvarets opgaver kræver, at Forsvarets piloter

Løsningen af forsvarets opgaver forekommer døgnet rundt og året rundt.

er i stand til at flyve i meget lav højde, både over land og over havet. Derudover foregår militære flyvninger i mange tilfælde i hastigheder over 250 knob, der er gældende for civil luftfart. Det skyldes dels opgavernes natur og dels luftfartøjernes aerodynamiske egenskaber.³⁰ Forsvarets piloter flyver derfor ofte lavere og hurtigere end civile luftfartøjer, hvilket behovsstyring af hindringslys skal kunne håndtere.

Løsning af Forsvarets opgaver forekommer døgnet rundt og året rundt, mens Forsvarets træningsflyvning primært foregår i dagtimerne. Det er derfor vigtigt for Flyvevåbnet, at hindringslys på høje luftfartshindringer er aktiveret om dagen uden behovsstyring, hvorfor det, af hensyn til flyvevåbnets behov, anbefales, at behovsstyring til deaktivering af hindringslys kun kan være om natten. Flyvevåbnet anvender i nogle tilfælde i forbindelse med flyvning om natten lysforstærkende udstyr, Night Vision Goggles (NVG), som er følsom over for lys i spektret indenfor bølgelængderne 645-905 nanometer. NVG forstærker lys, så genstande og omgivelser kan genkendes i mørke.

Forsvarets lavflyvninger med kampfly foregår primært i den vestlige del af Jylland, hvor befolkningstætheden er lav, samt over havet. På grund af Forsvarets opgaver opererer de dog over hele landet fra Østersøen til Nordsøen.

En radars evne til at detektere et luftfartøj er bl.a. afhængig af luftfartøjets størrelse, som i radarsammenhæng kaldes Radar Cross Section (RCS).³¹ Forsvaret råder over en række forskellige fly, og nogle militære kampfly som ses lige forfra, har en meget lille RCS. Endvidere er visse kampfly konstrueret, så de i mindst mulig grad reflekterer radarsignaler, dvs. de praktisk talt er usynlige over for radarer (stealth-teknologi). Det, kombineret med høj hastighed, stiller store krav til de sensorer, der anvendes til behovsstyring af hindringslys. Forsvaret ser derfor behov for, at radaren og dennes placering tilgodeser detektion af luftfartøjer i lav højde med høj hastighed og en lille RCS.

I visse tilfælde har Flyvevåbnet behov for, at hverken radar eller transponder kan detektere flyene. Der er derfor behov for en teknisk foranstaltning ved de vindmøller, som benytter behovsstyring, der gør det muligt for Flyvevåbnet at flyve uden detektion. Med andre ord skal hindringslyset på vindmøllerne være tændt i disse tilfælde.

²⁹ SERA.6001 i SERA-forordningen

³⁰ Kampflys egenskaber kan ikke udnyttes maksimalt i hastigheder lavere end 250 knob. Kampfly flyves derfor i hastigheder mellem 300 og 500 knob, og i nogen tilfælde over 500 knob.

³¹ Radar Cross Section er en betegnelse for hvor let et mål kan detekteres ved hjælp af radar. Et RCS måles i kvadratmeter og defineres som tværnsnitarealet af en sfære som reflekterer lige så meget effekt tilbage mod radaren som målet gør.



Forsvarets behov for afmærkning af luftfartshindringer, herunder hindringslys, adskiller sig fra den civile luftfart. Det betyder også, at en eventuel ændring i regulering og brug af behovsstyring til deaktivering af hindringslys kan påvirke Forsvarets muligheder for at løse deres opgaver.

Flyvevåbnet anvender i nogle tilfælde i forbindelse med flyvning om natten lysforstærkende udstyr, Night Vision Goggles (NVG), som er følsom over for lys i spektret indenfor bølgelængderne 645-905 nanometer

Trafikstyrelsen har f.eks. i forbindelse med etableringen af vindmølleparkerne Vesterhav Nord og Syd indsat krav, om at radarstyringen af hindringslys på vindmøllerne skal deaktiveres efter krav fra Forsvaret i tilfælde af træningsflyvning, flyveøvelser eller redningsaktioner i området.

Forsvaret har tilkendegivet i forbindelse med udarbejdelsen af nærværende rapport, at der kan være behov for et fælles "aktiveringssystem", der dækker flere vindmølleparker, hvis behovsstyring af hindringslys på vindmøller bliver mere udbredt end i dag. Aktiveringssystemet skal kunne gøre det muligt for Forsvaret eksternt at aktivere hindringslysene på alle vindmøller eller vindmøller i et område, som benytter behovsstyring, inden for en relativ kort periode og efter deres behov.

I dag skal vindmøller på 100 meter og over være udstyret med bl.a. fast, lavintensivt rødt lys (hhv. 10 eller 32 candela). Ved lav sigtbarhed kan fast, lavintensivt rødt lys på 32 candela ses fra en afstand på 407 meter og ved høj sigtbarhed kan lyset ses fra en afstand på 8 km (se nedenstående tabel for flere afstande).

Tabel 5 Metrologisk sigtbarhed³²

Metrologisk sigtbarhed [Nautisk mil]	Metrologisk sigtbarhed [km]	Lys intensitet	Lysets rækkevidde [Nautisk mil]	Lysets rækkevidde [km]
0,1 nautiske mil	0,1852 km	32 cd	0,220 nautiske mil	0,407 km
0,2 nautiske mil	0,3704 km	32 cd	0,375 nautiske mil	0,695 km
0,5 nautiske mil	0,926 km	32 cd	0,710 nautiske mil	1,31 km
1 nautiske mil	1,852 km	32 cd	1,1 nautisk mil	2,04 km
2 nautisk mil	3,704 km	32 cd	1,7 nautiske mil	3,15 km
5 nautiske mil	9,26 km	32 cd	2,8 nautisk mil	5,19 km
10 nautiske mil	18,52 km	32 cd	3,6 nautiske mil	6,67 km
20 nautiske mil	37,04 km	32 cd	4,4 nautiske mil	8,15 km

Uklassificeret kan det oplyses, at fast, lavintensivt lys spiller en væsentlig rolle for flyvesikkerheden for militære flyvningen, da Forsvaret i nogle tilfælde flyver om natten uden brugen af NVG. Det skyldes, at Forsvarets piloter af operative hensyn skal kunne flyve både med og uden NVG. Samtidig flyver Forsvaret i nogle tilfælde hastigheder mellem 300-500 knob og i lav højde. Erkendelsestiden for Forsvarets piloter i den hastighed er meget begrænset. En pilot, der flyver med 500 knob ind et område, hvor der benyttes behovsstyring, vil have ca. 20 sekunder til at

³² Til brug for vurderingen af lysets rækkevidde ved en given metrologisk sigtbarhed bruges International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) anbefalinger: *R0202 (E200-2) Marine signal lights – Calculation, definition and notation of luminous range, Edition 2.1, December 2017. ANNEX A Luminous range nomographs and tables, A.1. Luminous range for night time. Figure 1 Luminous Range Diagram - Night Time.*



erkende en vindmølle og foretage en manøvre, hvis nødvendigt (under antagelse af at der er en afstand 5 km til vindmøllen).

Bibeholdelsen af fast, lavintensivt rødt lys vil dermed give Forsvarets piloter mere tid til at reagere på en luftfartshindring, hvis nødvendigt, da de vil kunne se lyset fra en længere afstand. Forsvaret kan derfor ikke acceptere at fast, lavintensivt rødt lys slukkes om natten.

Forsvaret kan heller ikke acceptere brugen af infrarødt lys frem for fast, lavintensivt rødt lys på vindmøller. Infrarødt lys kan ikke ses med det blotte øje, hvorfor ikke alle luftrumsbrugere vil kunne se det infrarøde lys. For Forsvaret betyder det, at piloter uden NVG ikke vil kunne registrere det infrarøde lys. Når Forsvaret flyver lav højde med høje hastigheder (500 knob), er erkendelsestiden for Forsvarets piloter som nævnt meget begrænset. Det vurderes derfor, at luftfartsikkerheden ikke er tilstrækkeligt sikret, hvis fast, lavintensivt rødt lys erstattes med infrarødt lys.

Arbejdsgruppen har, på baggrund af ovenstående samt begrænset kendskab til generne ved fast, lavintensivt rødt lys for borgere, overvejet muligheden for deaktivering af fast, lavintensivt rødt lys. Det bemærkes, at andre høje luftfartshindringer som kraner og høje bygninger også har fast lavintensivt rødt lys om natten. Disse er ikke være omfattet af behovsstyring. Det vurderes, at det er mest luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt at lade fast, lavintensivt rødt lys forblive tændt om natten, som absolut "last line of defense".

Forsvaret har ikke stillet krav om at bestemt udstyr benyttes til behovsstyring af hindringslys. Forsvaret har dog krævet, at hindringslys på vindmøller skal være tændt om dagen og at behovsstyring af hindringslys kan deaktiveres om natten - og hindringslyset dermed tændes - efter Forsvarets behov.

Droner og dansk dronestrategi

I sommeren 2023 blev det besluttet af Transportministeren, at der skulle udvikles en ny national dronestrategi. Antallet af droneflyvninger har over de seneste år været stigende og droner benyttes af en række forskellige aktører, som private, virksomheder og organisationer. Droner deler brugen af luftrummet med andre luftrumsbrugere og droneflyvninger har derfor betydning for brugen af luftrummet.

Formålet med strategien er at sætte rammerne for, hvordan civile droner kan anvendes i dansk luftrum, så det er luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt. Strategien er opdelt i 7 temaer: adgang til luftrummet, U-space, counter drone, safety promotion, integreret digital sagsbehandling, påvirkning af det omgivende samfund og fremtidsperspektiver. I forbindelse med udarbejdelsen af strategien har man bl.a. undersøgt og kortlagt adgangen luftrummet under 3500 fod, dvs. hvem bruger luftrummet og hvordan³³. Anvendelsen af luftrummet under 500 fod (VLL) er særligt interessant, da langt størstedelen af de øvrige luftrumsbrugere, som udgangspunkt ikke må befinde sig i dette luftrum undtagen i forbindelse med start og landing. Det vurderes derfor også, at det er i denne del af luftrummet, hvor dronerne har bedre mulighed for at operere, uden at det påvirker den øvrige generelle luftfart/ General Aviation (GA) væsentligt.

Brugen af droner kræver, at der tages stilling til brugen og organiseringen af luftrummet, herunder f.eks. etableringen af dedikerede droneluftrum med krav til elektronisk synlighed. Når det gælder behovsstyring til brug af deaktivering af hindringslys, er elektronisk synlighed særligt relevant. Droner skal ikke aktivere behovsstyringen, men de tekniske specifikationer, som

³³ Moos-Bjerre (2024), Brugeranalyse af det nedre luftrum, 15. marts 2024



opstilles i forbindelse med brugen af behovsstyring, skal tage højde for regler om droneflyvning og eventuelle krav om elektronisk synlighed afledt heraf. På den måde sikres det, at reglerne for behovsstyring og eventuelle krav om elektronisk synlighed er fremtidssikrede og i overensstemmelse.

Opsummering

Der findes en række forskellige luftrumsbrugere og typer af luftfartøjer, som benytter det danske luftrum. Disse har forskellige forudsætninger i deres brug af luftrummet, da nogle har elektroniske navigationssystemer og radioforbindelser, mens andre ikke har, da der ikke er stillet krav om disse. Det har betydning for deres elektroniske synlighed og dermed betydning for hvilken form for behovsstyring af hindringslys, der kan benyttes.

Forsvarets brug af luftrummet adskiller sig markant fra den civile luftfart. På grund af Flyvevåbnets opgaver flyver de ofte i lavere højder og højere hastigheder end tilladt for den civile luftfart. Løsning af Forsvarets opgaver forekommer døgnet rundt, men Forsvarets træningsflyvning primært foregår i dagtimerne. Det er derfor vigtigt for flyvevåbnet, at hindringslys på høje luftfartshindringer er aktiveret om dagen uden behovsstyring. Yderligere er det centralt for Flyvevåbnet, at fast, lavintensivt rødt lys fortsat er tændt om natten og at de kan få slukket for behovsstyringen – og dermed tænde for lyset på luftfartshindringer – efter behov. Forsvaret har ikke stillet krav om at bestemt udstyr benyttes til behovsstyring af hindringslys.

Antallet af droneflyvninger er stigende og droner benyttes af en række forskellige aktører. Droner deler brugen af luftrummet med andre luftrumsbrugere og droneflyvninger har derfor betydning for brugen af luftrummet. Brugen af droner kræver, at der tages stilling til brugen og organiseringen af luftrummet. Når det gælder brugen af behovsstyring i forbindelse med deaktivering af hindringslys på vindmøller, er det vigtigt at tænke droneregler og droneflyvning ind, når det gælder elektronisk synlighed og aktiveringen af behovsstyring.



Regulering af hindringslys på luftfartshindringer

Krav til hindringslys på hindringer bestemmes internationalt i ICAO og er i nationalt regi reguleret i Lov om Luftfart, samt i BL 3-10 og BL 3-11, der fastsætter de nærmere bestemmelser for luftfartshindringer og hindringsafmærkninger i Danmark. BL 3-11 fastsætter de specifikke regler for afmærkning af vindmøller.

Da der ikke er fælles harmoniserede regler i EU om afmærkning af vindmøller uden for flyvepladser indflyvningsplan, berør rapporten ikke EU-lovgivning.

ICAO

ICAO er FN's specialagentur for civil luftfart, etableret i 1944. Danmark er i 1947 tiltrådt Chicago-konventionen under ICAO, som fastligger de grundlæggende principper for international lufttransport. ICAO har 193 medlemsstater.

Chicago-konventionens artikel 37 forpligter medlemsstaterne til at sikre den højeste grad af ensartethed i regulering, standarder, procedure og organisering i relation til luftfartøjer, personale og luftveje, samt relaterede services, hvor ensartethed vil facilitere og forbedre luftnavigation. ICAO vedtager derfor løbende mindstekrav i form af anbefalinger og standarder (Standards and Recommended Practices, SARP's), der findes i en række annekser til Chicago-konventionen³⁴. "Standards" (standarder) er som udgangspunkt folkeretligt forpligtende, mens medlemsstaterne kan fravige "Recommended Practices" (anbefalinger) i deres nationale lovgivning. Lovgivningsprocessen i ICAO uddybes i tekstboks 1.

Regler om afmærkning af luftfartshindringer er fastsat i *ICAO Annex 14, Volume I, Aerodrome Designs and Operations*, der hovedsageligt består af anbefalinger. Yderligere har ICAO for at understøtte ensartethed i forbindelse med design og installation af visuelle hjælpemidler publiceret manualen *Aerodrome Design Manual – Part 4, Visual Aids* (Doc 9157).

Hindringer uden for en hindringsplan skal, ifølge Annex 14, være farvemærket og/eller belyst for at reducere fare for luftfartøj ved at indikere tilstedeværelsen af hindringen.

Behovsstyring giver muligheden for at deaktivere en hindringslys, når det via systemet kan bekræftes, at der ikke er luftfartøjer i et nærmere prædefineret område. Et sådant system kan, ifølge Annex 14, installeres på eller i nærheden af en hindring (eller gruppe af hindringer) for at mindske lyseksponeringen for lokale borgere.

I forbindelse med design og installering af et system med behovsstyring, hvor hindringslys på en hindring kan slukkes, skal det if. ICAO Doc 9157 sikres, at systemet er:

- a) uafhængig;
- b) i stand til at detektere et luftfartøj, før det flyver ind i området omkring en hindring (eller en gruppe af hindringer);
- c) i stand til at detektere et luftfartøj før et bestemt tidspunkt eller distance, der er nødvendig for, at en pilot kan genkende aktiveringen af lyset og initiere et drej, der muliggør undgåelse af hindring;
- d) i stand til at tænde lyset, hvis systemet fejler, og;

³⁴ En SARP indeholder en tekst, som relaterer sig til én, dele af eller flere af de 19 Annex'er til Chicago-konventionen, hvori de fundamentale standarder og anbefalinger inden for alle luftfartens fagområder er repræsenteret. ICAO's medlemslande er forpligtede til at forholde sig til SARP's og implementere dens indhold i national lovgivning.



- e) hvis transponderbaseret, kun anvendt, når alle berørte fly inden for et tredimensionelt volume af luftrummet eller det berørte område omkring en eller flere hindringer, er udstyret med en transponder.

Hvis der benyttes behovsstyring til at slukke hindringslyset på en eller flere hindringer, skal berørte piloter desuden underrettes gennem passende midler, som f.eks. Aeronautical Information Publication³⁵ (AIP) og VFR-kort.

Tekstboks 1: Lovgivningsprocessen i ICAO

ICAO's generalforsamling (ICAO's øverste organ) udarbejder resolutioner, vedtaget på baggrund af en konsensus-tilgang, som udgør rammerne for de næste tre år i ICAO. Efterfølgende udarbejder og vedtager ICAO-rådet (ICAO's øverste organ mellem generalforsamlinger) egentlige regler, ændring af regler eller formulering af nye regler i form af SARPs, som medlemsstaterne skal efterleve. ICAO-rådet har underliggende arbejdsgrupper, komiteer og paneller.

Udover generalforsamlingens resolutioner kan en SARP også anmodes formuleret af én medlemsstat i ICAO, medlemmer af ICAO's komiteer og tilknyttede internationale organisationer. I alle tilfælde skal initiativtageren følge en beskrevet procedure for at forslaget kan inddrages i tilblivelsen eller ændringen af en SARP.

- For det første skal initiativtageren stille et forslag til enten et ICAO-rådsmøde eller en komite- /panelsession.
- Hvis ICAO-rådet, komiteen eller panelet accepterer det foreslåede, oprettes et forslag til en handling.
- Dernæst behandler det relevante ICAO-organ forslaget. I langt de fleste tilfælde vil dette være Air Navigation Commission (ANC).
- ANC vurderer forslaget ud fra en teknisk tilgang og distribuerer det videre til en relevant arbejdsgruppe. Arbejdsgruppen leverer et input til ANC, som sender emnet i høring hos medlemsstaterne og de internationale organisationer.
- Afslutningsvist anbefaler ICAO-organet forslaget til ICAO-rådet, som efter en afstemning med to-tredjedele vedtager den nye SARP eller ændringen.

Proceduren for tilblivelsen eller ændringer af Annex'er gennem SARPs er langvarig. Det tager typisk to til seks år, afhængig indholdet og prioriteten af det foreliggende forslag.

³⁵ AIP er en publikation, udgivet af en stat eller efter bemyndigelse af en stat, som indeholder oplysninger om varig natur, som er af væsentlig betydning for luftfarten.



EASA

Der er ikke fælles harmoniserede regler i EU om afmærkning af vindmøller uden for flyvepladsernes hindringsbegrænsede. Der er heller ikke fælles regler om brugen af behovsstyring af hindringslys på vindmøller eller andre luftfartshindringer.

Det Europæiske Luftfartsagentur (EASA) er i de senere år blevet mere opmærksomme på problematikken vedrørende luftfartssikkerhed og vindmøller, men ikke i forhold til behovsstyring af hindringslys på luftfartshindringer. Det vurderes, at der ikke kommer fælles regler om disse inden for den nærmeste fremtid, og at det bliver svært at finde fælles fodfæste, da nogle medlemsstater allerede har implementeret eller er i gang med at implementere regler på området.

I 2023 påbegyndte EASA et arbejde for at undersøge mulighederne for at harmonisere regler om afmærkning på luftfartshindringer i EU-medlemslandene. Dette arbejde er afsluttet og det forventes ikke, at EASA i den kommende fremtid vil kigge på behovsstyring, hverken i forhold til anbefalinger eller etablering af fælles regler på området.

Der er ikke fælles harmoniserede regler i EU om afmærkning vindmøller uden for flyvepladsernes område. Der er heller ikke fælles regler om brugen af behovsstyring af hindringslys på vindmøller eller andre luftfartshindringer

Danmark

Luftfartsloven³⁶ er den grundlæggende lovgivning i Danmark, hvad angår luftfart og danner dermed rammen for al regulering af civil luftfart. Loven bemyndiger transportministeren til at fastsætte nærmere regler for den civile luftfart og denne bemyndigelse er i vidt omfang delegeret til Trafikstyrelsen. Regler om hindringer og afmærkning af samme forefindes i Luftfartsloven, samt BL 3-10 om luftfartshindringer³⁷ og BL 3-11 om luftfartsafmærkning af vindmøller.³⁸ BL 3-10 og BL 3-11 finder anvendelse i Rigsfællesskabet, hvilket også omfatter kunstige øer, installationer og anlæg i Danmarks eksklusive økonomiske zone.³⁹

Luftfartslovens § 67 a foreskriver, at hindringer med en højde på 100 meter eller mere over terræn, som ligger uden for indflyvningsplaner⁴⁰ for offentlige flyvepladser, kan kræves afmærket, hvis deres højde vurderes at frembyde fare for lufttrafikkens sikkerhed.

BL 3-10 angiver generelle krav til afmærkninger af luftfartshindringer uanset anlægstype, dog undtaget vindmøller og foreskriver bl.a., at enhver genstand med en højde over terræn eller normal vandstand (DVR90) fra 100 meter betragtes som en hindring og skal afmærkes, såfremt Trafikstyrelsen finder det nødvendigt. Enhver hindring, der gennembyder en hindringsbegrænsende flade skal afmærkes, såfremt gennembyrdningen tillades af Trafikstyrelsen. I Danmark afmærkes luftfartshindringer med farve og lys.

BL 3-11 specificerer krav om afmærkning af vindmøller, herunder lystype og lysintensitet. Vindmøllerne skal afmærkes med farven hvid (ral 7035) på vinger, nacelle og øverste 2/3 af vindmølletårnet, samt lys, som enten er lav-, middel- eller højintensiv, og eventuelt i kombination. Lystype og lysintensitet er afhængig af, om der er tale om enkelt eller flere vindmøller, placering,

³⁶ Luftfartsloven, lovbekendtgørelse nr. 118 af 31/01/2024

³⁷ BL 3-10, Bestemmelser for Civil Luftfart om luftfartshindringer, 2. udgave af 22. januar 2010.

³⁸ BL 3-11, Bestemmelser for Civil Luftfart om luftfartsafmærkning af vindmøller, 2. udgave af 28. februar 2014.

³⁹ Danmarks eksklusive økonomiske zone omfatter havområder uden for og stødende op til søterritoriet indtil en afstand af 200 sømil fra de til enhver tid gældende basislinier, jf. lov nr. 411 af 22. maj 1996 om eksklusive økonomiske zoner

⁴⁰ Indflyvningsplaner, som er godkendt af Trafikstyrelsen, består af flader etableret omkring en offentlig flyveplads med det formål at skabe hindringsfrihed for luftfartøjers manøvrering i forbindelse med start og landing.



opstillingsmønster, højde og omgivelser (se tabel 6). Den uafmærkede del af møllen må ikke overstige 120 meter. Det indebærer, at vindmøller, hvor vingerne er længere end 120 meter ikke vil kunne afmærkes med lys på nacellen i henhold til de nuværende regler. Da udviklingen på vindmøller går i retningen af større vindmøller, hvor vingerne overstiger 120 meter, skal Trafikstyrelsen se på dette fremadrettet. Dette arbejdet indgår ikke i denne rapport.

BL 3-11 giver mulighed for, at der kan gives dispensation til afmærkning af vindmøller med alternative foranstaltninger, som f.eks. radarsystem.⁴¹ Dispensation til alternative foranstaltninger er dog for nuværende kun for forsøgsvirksomhed og tidsbegrænset. Trafikstyrelsen har i de seneste år givet tre dispensationer til hindringslys på vindmøller med alternative foranstaltninger. Udover at give dispensationer til afmærkning af vindmøller med alternative foranstaltninger, kan Trafikstyrelsen desuden fastsætte tidsbegrænsede indskrænkninger af luftfarten – dog pt. kun i særlige testområder ved forsøg med alternative løsninger.⁴²

For så vidt angår luftfartshindringer på over 150 meter eller derover, skal der etableres et kontinuerligt fungerende overvågningssystem af hindringsafmærkningen.

Opsummering

Regler om afmærkning af luftfartshindringer implementeres i national lovgivning på baggrund af standarder og anbefalinger (SARPs) udarbejdet i ICAO. Der er ikke fælles EU-regler om afmærkning af vindmøller uden for flyvepladsers område eller til brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer. Regler om afmærkning af luftfartshindringer og tilladelse til brug af behovsstyring til at deaktivere hindringslys differentiere således fra land til land.

I Danmark regulerer luftfartsloven, BL 3-10 og BL 3-11 afmærkningen af luftfartshindringer, herunder vindmøller. Vindmøller skal afmærkes med farven hvid (ral 7035) på vinger, nacelle og øverste 2/3 af vindmølletårnet, samt lys, som enten er lav-, middel- eller højintensiv, og eventuelt i kombination. Lystype og lysintensitet er afhængig af, om der er tale om enkelt eller flere vindmøller, placering, opstillingsmønster, højde og omgivelser.

⁴¹ BL 3-11, pkt 12, anm. 1. Forskellige muligheder for alternative foranstaltninger uddybes i Vejledning til BL 3-11 *Bestemmelser om luftfartsafmærkning af vindmøller*, 3. udgave, juni 2021

⁴² Vejledning til BL 3-11 *Bestemmelser om luftfartsafmærkning af vindmøller*, 3. udgave, s. 14



Tabel 6 Oversigt over markering med hindringslys på vindmøller i Danmark

Vindmølle type	Placering	Højde (m)	Mølleplacering	Placering af lys	Markeringstype ⁴³	ICAO-type (tabel 6-1)	Candela
Enkeltstående vindmøller	På land	100-150		Nacelle	LIL F R	A	10
				Mellemniveau	-	-	-
	På land	150+		Nacelle	LIM FLG W (dag) LIM FLG R (nat)	A B	20.000 2.000
				Mellemniveau	LIL F R	B	32
	I vand	100-150		Nacelle	LIM FLG R	B	2.000
				Mellemniveau	-	-	-
	I vand	150+		Nacelle	LIM FLG W (dag) LIM FLG R (nat)	A B	20.000 2.000
				Mellemniveau	LIL F R	B	32
Vindmølleparker	På land	100-150	Alle	Nacelle	LIL F R	A B	20.000 2.000
				Mellemniveau	-	B	32
				På land	150+	Perimeter, hjørner og knæk	Nacelle
	Mellemniveau	LIL F R	B				32
	Inden for perimeteren		LIL F R			A	10
		Mellemniveau	-			-	-
	I vand	100-150	Perimeter, hjørner og knæk			Nacelle	LIM FLG R
				Mellemniveau	-	-	-
			Inden for perimeteren	Nacelle	LIL F R	A	10
				Mellemniveau	-	-	-
	I vand	150+	Perimeter, hjørner og knæk	Nacelle	LIM FLG W (dag) LIM FLG R (nat)	A B	20.000 2.000
				Mellemniveau	LIL F R	B	32
			Inden for perimeter	Nacelle	LIL F R	A	10
				Mellemniveau	-	-	-

⁴³ LIL = Lavintensiv lys, LIM = Mellemintensiv lys, LIH = Højintensiv lys, FLG = blinkende, F = fast, W = hvid, R = Rød.



Danske erfaringer med behovsstyret hindringslys

Trafikstyrelsen har indtil nu (2024) udstedt tre dispensationer til alternative foranstaltninger hvad angår hindringslys på vindmøller i forbindelse med forsøgsvirksomhed. Der er tale om dispensationer til testcenter Østerild (Danmarks Tekniske Universitet/DTU Wind), vindmøllepark Hillerslev/Tagmark (NRGi Wind V A/S), vindmølleparkerne Vesterhav Nord og Vesterhav Syd (Vattenfall). Alle tre dispensationer har en tidsmæssig afgrænsning. Med dispensationerne må de tre vindmølleparker benytte sig af et radarbaseret system til at deaktivere lysene på vindmøllerne mellem solnedgang og solopgang, når det er flyvesikkerhedsmæssigt forsvareligt.

Testcenter Østerild og vindmøllepark Hillerslev har haft radarstyringssystemer i brug siden hhv. 2017 og 2021, mens vindmøllepark Vesterhav Nord og Syd blev sat i drift i januar 2024. Vindmølleparken Hillerslev benytter samme radar som Testcenter Østerild. De tre dispensationer er kun gældende under forudsætning af en række vilkår, opstillet af Trafikstyrelsen, overholdes. Det gælder bl.a. tidlig afgrænsning af, hvornår behovsstyring må benyttes, sikringsområde, horisontal afstand, overvågningssystem mv. Derudover har de tre dispensationer særskilte krav pålagt som følge af den konkrete vindmølleparks placering. For Vesterhav Nord og Vesterhav Syd gælder det f.eks., at radarstyringen af hindringsbelysningen skal deaktiveres efter krav fra Forsvaret i tilfælde af f.eks. træningsflyvning, flyveøvelser eller redningsaktioner i området.

I forbindelse med denne analyse har Trafikstyrelsen været i dialog med DTU Wind om Universitetets erfaringer med behovsstyring af hindringslys ved Testcenter Østerild. Testcenter Østerild er foreløbigt den eneste vindmøllepark med radarstyring, som har driftsdata fra deres radarsystem. I Østerild er det ikke vindmøllerne, men to master i periferien af vindmøllerne, som har hindringslys.

DTU Wind benytter sig af et radarsystem, der består af en radar fra det danske selskab Terma A/S og et lyskontrollsystem fra det finske selskab Obelux Aviation Lights. Det er DTU Wind, som har det overordnede ansvar for radarsystemet.

Radarsystemet består af en primær radar, der udsender et radiosignal for at bestemme position, hastighed og retning af flyvende objekter. En primær radar fungerer ved, at radarens antenne udsender en radiobølge, og når radiobølgen rammer et objekt, f.eks. et fly, reflekteres noget af radiobølgen tilbage til radaren. Flyets position bestemmes ud fra tidsforskellen fra signalet sendes ud til radaren modtager det igen. Systemet detekterer således luftfartøjer ved deres fysiske tilstedeværelse og kræver ikke, at luftfartøjer har specifikt udstyr ombord for at kunne lokalisere det pågældende fly. Det vil sige, at radarsystemet vil kunne opfange alle luftfartøjer og eventuelt andre luftrumsbrugere i nærheden, uagtet objektets brug af teknisk udstyr, hvis objektet i luftrummet har en RCS, som radaren kan detektere.

For at kunne benytte et radarsystem til behovsstyring af hindringslys på vindmøller, er det omkringliggende område inddelt i flere zoner. Radardækningszone er den yderste zone, og er hele det areal, som radaren dækker. Dernæst kommer detektionszonen, som er den zone, hvor Trafikstyrelsen stiller krav om, at luftfartøjer skal trackes af radaren, hvis luftfartøjer flyver ind i denne zone. Den inderste zone er advarselszonen, som dækker arealet med vindmøller samt en nærmere defineret sikkerhedsafstand. For de nuværende dispensationer udgør advarselszonen 5.500 meter fra luftfartshindringerne, som radaren dækker. Når et luftfartøj detekteres i denne zone, tændes hindringslyset på masterne. Detektionszonen fungerer som en bufferzone for at sikre, at radaren har etableret en stabil sporing af luftfartøjer, før de flyver ind i advarselszonen.

I praksis fungerer systemet i forbindelse med behovsstyring af hindringslys således, at radaren, såfremt der ikke detekteres nogle objekter i luftrummet i advarselszonen, sender signal til hindringslyset om, at dette kan deaktiveres (forudsat at det er nat). Detekterer radaren et objekt i



lufttrummet i advarselszonen, eller konstateres der fejl på radaren, da vil signalet om deaktivering blive afbrudt, og hindringslyset vil dermed være aktiveret. DTU Wind har haft udfordringer med radarstyringen i forhold til interface mellem de forskellige systemer, f.eks. sammenspillet mellem radarsystem og lyssystem. DTU har løbende opdateret systemet med f.eks. teknologiske opdateringer og fiberforbindelse.

Dispensationen anfører, at hvis radarsystemet oplever fejl, skal hindringslysene tændes. DTU har oplyst, at i 2021 var hindringslysene slukket i 89-99 % af den tid, hvor hindringslysene må være slukket, mens deres data viser, at "lost track" var den primære årsag til, at hindringslyset blev tændt (75 - 96 %). "Lost track" dækker over, at radarsystemet har fulgt et objekt ind i detektionszonen og mistet objektet. Det kunne f.eks. være en fugl eller helikoptere, der landede inden for detektionszonens grænse. Hindringslysene var i få tilfælde tændt pga. "fail safe" og "zone error". "Fail safe" betyder, at radarsystemet har detekteret en fejl i systemet og dermed tændes lysene, mens "zone error" typisk fremkommer, hvis radaren mister to af sine referencepunkter.⁴⁴

DTU Wind har oplyst, at de har oplevet en positiv tilbagemelding fra lokalområdet, siden radarstyringssystemet blev installeret i 2017. DTU Wind har haft fokus på nabo-dialog og at naboerne til testcentret bliver en medspiller ift. radarstyringssystemet. Det betyder bl.a., at DTU har oplevet en interesse og nysgerrighed fra lokalområdet, når hindringslysene er tændt om aftenen. Trafikstyrelsen har i de seneste år oplevet en stor interesse for brugen af behovsstyring til deaktivering af hindringslys på vindmøller fra vindmølleejere- og opstillere, men også mange naboer til vindmøller og kommuner italesætter et ønske om muligheden for at slukke hindringslysene.

DTU har siden etableringen af Testcentret Østerild afholdt en række borgermøder. På det seneste borgermøde i foråret 2024 blev særligt udfordringen med behovsstyringssystemets respekttid, dvs. den tid, hvor hindringslyset skal være tændt efter et mistet signal, drøftet. For nuværende skal hindringslyset være tændt i 30 minutter efter et signal er blevet mistet. Det leder til gener for borgerne i nærområdet. Trafikstyrelsen er opmærksom på udfordringen med respekttiden og har haft drøftelser med Plan- og Landdistriktsstyrelsen om muligheden for at mindske respekttiden, så borgernes gener mindskes, mens luftfartssikkerheden opretholdes.

⁴⁴ Punkter, der benyttes til at holde styr på om radaranlægget over tid bliver ringere.



Brug af behovsstyring i nabolande

Regler om afmærkning af luftfartshindringer implementeres i national lovgivning på baggrund af standarder og anbefalinger (SARPs) udarbejdet i ICAO. Der er ikke fælles EU-regler om afmærkning af vindmøller uden for flyvepladsers hindringsbegrænsede flader eller til brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys på luftfartshindringer. Regler om afmærkning af luftfartshindringer og tilladelse til brug af behovsstyring til at deaktivere hindringslys er således forskellige fra land til land.

I 2022 deltog Danmark gennem Nordsøsamarbejdet⁴⁵ i "NSEC Ad Hoc Group on Alignment of lights and markings of offshore wind turbines". Arbejdsgruppen blev nedsat for at undersøge muligheden for harmonisering af bl.a. afmærkning hindringslys på vindmøller i Nordsølandene. Ad hoc-gruppens arbejde afsluttede i november 2022 på baggrund af en erkendelse om, at det ikke var muligt i regi af Nordsøsamarbejdet at harmonisere Nordsølandenes nationale regler om afmærkning af vindmøller.

Nedenstående afsnit beskriver brugen af, regler om og erfaringer med behovsstyring af hindringslys i Tyskland, Holland, Sverige og Norge.

Tyskland

I Tyskland skal luftfartshindringer over 100 meter markeres med farve og lys⁴⁶. Om natten afmærkes vindmøller med blinkende, rødt lys, men afmærkningen afhænger af højde, antal vindmøller og placering.

De tyske regler for markering af luftfartshindringer muliggør brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys⁴⁷. Vindmøllejerne har siden 2019 været forpligtet til at installere behovsstyring på vindmøller, omfattet af reglerne for afmærkning, inden 1. januar 2024⁴⁸. Ifølge det tyske Transportministerium er kravet et energipolitisk tiltag om at mindske borgergener og ikke baseret på luftfartssikkerhedsmæssige hensyn. Ifølge det tyske transportministerium er der 25.000 vindmøller i Tyskland og ca. 13.000 skal ombygges for at efterleve kravet om behovsstyring.

For at bruge behovsstyring i Tyskland skal natafmærkning leve op til alle gældende regler for natafmærkning for vindmøller. Derudover skal natafmærkningen kombineres med en permanent aktiveret infrarød markering, som kan ses af Night Vision Goggles (NVG). Som udgangspunkt er alle tekniske løsninger til behovsstyring af hindringslys tilladt, hvis det kan bevises, at minimumskravene er opfyldt⁴⁹. Systemet skal have en detektionszone med en radius på mindst 4000 meter og en højde på mindst 600 meter over luftfartshindringen.

For radarstyret eller transponderbaseret systemer er detaljerede tekniske specifikationer specificeret i de tyske regler. Specifikke krav til radar kræver f.eks., at radarsystemet kan detektere ned til 1 m² CRS, mens de tyske regler kræver, at et transponderbaseret system f.eks. kan opfange Mode A/C og Mode S.

I Tyskland er der ikke etableret Transponder Mandatory Zones⁵⁰ i forbindelse med behovsstyring af hindringslys. I stedet er der stillet krav om, at alle luftfartøjer, på nær svævefly og UL, skal

⁴⁵ Nordsøsamarbejdet består af 10 europæiske lande med fælles interesser i Nordsøen.

⁴⁶ Die Bundesregierung (2020), *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen*

⁴⁷ Die Bundesregierung (2020), *Anforderungen an die bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung (BNK)*

⁴⁸ Die Bundesregierung (2023), Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien af 2023, §9, stk. 8

⁴⁹ Dialog med det tyske Transportministerium.

⁵⁰ Udpeget luftrum, hvor luftfartøjer skal flyve med aktiveret transponder, før de må flyve i luftrummet.



have en transponder om bord, som skal være aktiveret i forbindelse med nat-VFR. Kravene er indført i forbindelse med etableringen af reglerne om brug af behovsstyring af hindringslys på vindmøller.⁵¹ Aktivering af hindringslys ved brug af FLARM kan bruges som supplement til behovsstyringssystemet, men ikke som den primære teknologi. Det er ej heller tilladt at benytte ADS-B til behovsstyring alene, men kan benyttes som valgfri funktion under Mode S. Det skyldes, at der ikke er krav om ADS-B til mindre motorfly eller til nat-VFR. Det tyske transportministerium har vurderet, at ADS-B var for omkostningstungt i forhold til et transponder krav med Mode S.

De tyske regler indeholder også en mulighed for ekstern aktivering af hindringlyset på vindmøller efter efterspørgsel fra det tyske forsvar. Ifølge det tyske transportministerium er denne mulighed dog for nuværende ikke blevet benyttet. Ethvert system til behovsstyring skal godkendes af et uafhængigt teknisk organ, som er udpeget af det tyske Transportministerium. Den lokale føderale luftfartsmyndighed skal godkende installation og drift af ethvert system, samt kontrollere om yderligere operationelle aspekter skal overvejes.

Ifølge det tyske transportministerium er et transponderbaseret system med sekundær radar den fortrukne løsning pga. prisen på en primær radar og at den anses som mere sikker. Det skyldes bl.a. den tyske topografi, der har stor variation i højden. Ifølge det tyske transportministerium har der ikke været nogle indikationer på hændelser med luftfartøjer og vindmøller på baggrund af behovsstyring af hindringslys. Det nævnes dog, at det er op til luftrumsbrugerne at indrapportere hændelser.

Holland

I Holland skal vindmøller med højde på over 45 meter og uden for en flyveplads' nærområde markeres med lys og farve.⁵² Natmærkningen af vindmøller er rødt lys, enten fast eller blinkende. Den konkrete afmærkning bestemmes ud fra vindmøllens højde og placering.

Siden 2020 har den hollandske luftfartsmyndighed tilladt brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys på vindmøller. Reglerne er endnu ikke vedtaget som formel lovgivning, men benyttes på en frivillig basis.⁵³ En tilladelse til brug af behovsstyring er ikke tidsbegrænset, men den hollandske luftfartsmyndighed har opstillet en række krav til vindmølleoperatøren i forhold til monitorering af behovsstyringssystemet for at sikre, at systemet fungerer uden problemer.

Reglerne indeholder en række generelle krav til brugen af behovsstyring, samt mere specifikke krav i forhold til om et radar- eller transponderbaseret system benyttes.⁵⁴ De generelle krav dækker både over tekniske specifikationer, som f.eks. hvornår det behovsstyrede system må benyttes, hvor mange luftfartøjer systemet skal kunne detektere samtidig, etablering af detektions- og advarselszoner, hvornår hindringslys skal aktiveres, samt monitorerings- og rapporteringskrav til operatøren. I Holland er det obligatorisk at bruge en aktiv transponder i forbindelse med VFR-flyvninger uden for dagtimerne (nat-VFR). De specifikke regler for transponderbaseret systemer til behovsstyring kræver derfor, at systemet kan detektere transponder-signalerne Mode S/ELS og Mode A/C. I Holland er det ikke tilladt at bruge et system, som kun benytter ADS-B.

⁵¹ Dialog med det tyske Transportministerium.

⁵² Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020), *Bekendmaking wijziging Informatieblad aanduiding van windturbines en windparken op het Nederlandse vasteland*, Staatscourant nr. 31428, 16 juni 2020

⁵³ Dialog med den hollandske luftfartsmyndighed.

⁵⁴ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021), *Requirements for the use of Aircraft Detection Lighting Systems on wind turbines*, version 02, 12 July 2021



I august 2023 var der to vindmølleparker som benytter behovsstyring til deaktivering af hindringslys på vindmøller – en vindmøllepark benytter et radarbaseret system, mens en anden benytter et transponderbaseret system.⁵⁵ Den hollandske luftfartsmyndighed har modtaget yderligere fem ansøgninger om brug af behovsstyring. Det er for nuværende ikke obligatorisk at benytte behovsstyring, men der er en bred konsensus i Holland (befolkning og politikere) om, at vindmølleparker bør bruge behovsstyring for at beskytte omkringliggende områder fra lysforurening. Det hollandske Økonomi- og Klimaministerium arbejder derfor i øjeblikket på en finansiel kompensation til eksisterende og fremtidige vindmølleparker, så de kan installere behovsstyring.⁵⁶ Ifølge den hollandske luftfartsmyndighed forventes mellem 10 og 15 nye ansøgninger til behovsstyring efter indføringen af kompensationen.

Holland har positiv erfaring med behovsstyring til deaktivering af hindringslyset på vindmøllerne, men der pågår pt. drøftelser om brugen af A/C transponder-signaler i forbindelse med behovsstyring. Det skyldes, at det hollandske forsvar på den ene side kræver, at systemerne kan detektere A/C signaler, da flyvevåbnet til tider flyver uden night vision-goggles og slukker for Mode S transponder. På den anden side benytter den civile kommercielle luftfartstrafik i høj højde A/C signaler, hvilket kan få behovsstyringssystemer til at tænde unødvendigt.

I Holland er der nogle områder, hvor behovsstyring ikke er tilladt. Det skyldes Forsvarets behov for træningsområder, hvor de kan flyve uden NVG.⁵⁷

Sverige

I Sverige skal luftfartshindringer placeret uden for en flyveplads' hindringsflader og med en højde på 45 meter eller højere markeres. Vindmøller med en højde på 45 meter eller højere afmærkes med hvid farve og lys.⁵⁸

Den svenske luftfartsmyndighed har mulighed for at dispensere for de gældende regler, hvis dispensationsansøgeren kan sikre, at en alternativ foranstaltning for hindringslys opretholder luftfartsikkerheden på tilsvarende niveau. Transportstyrelsen har tidligere givet dispensationer til at anvende behovsstyret hindringslys på vindmøller, men har ikke imødekommet nye ansøgninger siden 2013.⁵⁹ Det skyldes, at Transportstyrelsen har tilgodeset Forsvarsmaktens position på området. Forsvarsmaktens fraråder brugen af samtlige former for behovsstyring af hindringslys på grund af luftfartsikkerheds- og driftsmæssige årsager, risiko for spredning af informationer om statens sikkerhed, samt bekymring for potentiel indvirkning på totalforsvarets militære del.

Sverige har siden 1978 tilladt fælles brug af lufrummet, hvilket indebærer, at civil og militær luftfart operer i de samme områder for at udnytte brugen af svensk lufrum optimalt. Det vil sige, at det svenske luftvåben opererer i alle højder over hele det svenske territorium. På baggrund af ovenstående, vurderer Transportstyrelsen, at det ikke er muligt at benytte radarsystemer eller andre tekniske løsninger til at slukke hindringslyset på vindmøllerne.

Ifølge Transportstyrelsen vil den fremtidige udvikling med hindringslys på vindmøller i Sverige omhandle lysintensiteten på hindringslys og ikke brugen af behovsstyring. Det skyldes, at Transportstyrelsen ikke forventer, at Forsvarsmakten vil ændre position i den nærmeste fremtid. Samtidig oplever Transportstyrelsen et stigende pres fra den svenske vindenergibranche om at

⁵⁵ Dialog med den hollandske luftfartsmyndighed.

⁵⁶ Dialog med den hollandske luftfartsmyndighed.

⁵⁷ Dialog med den hollandske luftfartsmyndighed.

⁵⁸ Transportstyrelsen (2020), *Föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten och om flyghinderanmälan*

⁵⁹ Dialog med Transportstyrelsen.



mindske lysgenerne fra luftfartshindringer. Transportstyrelsen undersøger derfor muligheden for at justere på hindringslysets lysintensitet, så der stilles krav om middel-intensivt lys på vindmøller frem for høj-intensivt lys.⁶⁰ I Sverige skal vindmøller med højde mellem 45-150 meter markeres med farvemærkning og hhv. middel-intensivt, mens vindmøller med totalhøjde over 150 meter med farveafmærkning og højintensivt.⁶¹ Til sammenligning skal vindmøller med totalhøjde mellem 100-150 meter markeres med farveafmærkning og to lavintensive faste røde hindringslys (10 eller 32 candela), mens vindmøller med totalhøjde over 150 meter med farveafmærkning og blinkende hvidt og rødt lys hhv. dag og nat (hhv. 20.000 og 2.000 candela).⁶²

Norge

De norske regler for luftfartshindringer foreskriver, at alle luftfartshindringer med højde på 60 meter eller mere skal markeres.⁶³ Vindmøller skal afmærkes med både farve og lys.

De norske regler muliggør brugen af anden alternativ afmærkning end det som fremgår af forskriften. Brugen af anden afmærkning skal leve op til de norske krav om afmærkning af luftfartshindringer og skal godkendes af den norske luftfartsmyndighed, Luftfartstilsyn. I januar 2024 trådte nye norske regler i kraft om afmærkning af luftfartshindringer, hvilket bl.a. indeholder specificering af krav til systemer, der kan benyttes til behovsstyring af hindringslys og krav til ejere af luftfartshindringer. Med de nye regler kan Luftfartstilsynet godkende ansøgninger til behovsstyring af hindringslys med systemer, der benytter primær radar og sekundær radar. Behovsstyringssystemet skal altså både kunne detektere luftfartøjer med og uden transponder. Det betyder også, at der ikke er etableret transponderkrav i Norge. Det er ikke tilladt at benytte Mode S til brugen af behovsstyring. Det skyldes ifølge Luftfartstilsynet et ønske om at sikre nogle luftfartøjers usynlighed i forbindelse med deres operationer. Brugen af ADS-B er tilladt som supplement til behovsstyringssystemet, men der er ikke krav om at have ADS-B-modtager ombord. Luftfartstilsynet har sat forskellige krav til de forskellige systemer i forhold til detektionsafstand fra hindring, mens alle systemer skal detektere luftfartøjer fra 100 fod over terræn til 2000 fod over højeste luftfartshindring. De nye regler sætter desuden en række krav til ejeren af luftfartshindringen med et system til behovsstyring. Det skal bl.a. dokumenteres, at systemet til behovsstyring ikke har en negativ indvirkning på luftfarten eller luftfartens systemer, der skal foretages testflyvning, samt sikre, at systemet tænder hindringslysene, hvis en fejl detekteres.

Opsummering

I Tyskland, Holland og Norge er det tilladt at benytte behovsstyring, mens Sverige ikke tillader brugen af behovsstyring. I Tyskland, Holland og Norge er det muligt at benytte systemer med primær og/eller sekundære radarer til behovsstyring. I Holland og Tyskland er der etableret transponderkrav i forbindelse med behovsstyring. ADS-B er ikke tilladt som primært detektionssystem, men kan benyttes som supplement. Behovsstyring er ikke tilladt i Sverige og det forventes ikke, at det bliver tilladt i den nærmeste fremtid. I stedet vil Sverige se på lysintensitet på luftfartshindringer.

⁶⁰ Dialog med Transportstyrelsen

⁶¹ Transportstyrelsen (2020), *Föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten och om flyghinderanmälan*

⁶² Trafikstyrelsen (2014), *Bestemmelser for Civil Luftfart, BL 3-11 om luftfartsafmærkning af vindmøller*

⁶³ Luftfartstilsynet (2024), *Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder*



Tekniske muligheder for behovsstyring af hindringslys

Kommende afsnit beskriver en række forskellige systemer, der muliggør brugen af behovsstyring til at deaktivere hindringslys på vindmøller. Afsnittet tager kun udgangspunkt i allerede eksisterende tekniske muligheder. Afsnittet tager således ikke højde for mulige fremtidige løsninger. De forskellige løsninger varierer i forhold til teknologimodenhed, indvirkning på luftrumsbrugere, omkostninger, sikkerhed (både relateret til luftfartsikkerhed og driftssikkerhed), samt mitigerende tiltag, der er nødvendige for at opretholde luftfartssikkerheden.

Konsulentvirksomheden Airsight har, på vegne af Trafikstyrelsen, udarbejdet en teknisk rapport i forbindelse med arbejdsgruppens arbejde.⁶⁴ Den tekniske rapport beskriver forskellige tekniske løsninger, deres påvirkning på luftrumsbrugere, samt fordele og ulemper ved de forskellige løsninger og deres safety-niveau vurderes.

Arbejdsgruppen undersøgte under udarbejdelsen af denne rapport muligheden for at kortlægge de områder, hvor relevante myndigheder med stor sandsynlighed ville udstede en godkendelse af brugen af behovsstyring til hindringslys, samt de områder, hvor det ikke vil kunne accepteres. Argumentet var, at en sådan oversigt ville give et bedre overblik for myndigheder, vindmølleoperatører mv. i forhold til brugen af behovsstyring. Oversigten ville samtidig mindske myndighedernes sagsbehandling af behovstyret lysafmærkning. Efterfølgende har arbejdsgruppen vurderet, at der er intet til hinder for implementeringen af behovsstyring på alle vindmøller i Danmark - på nær vindmøller i en flyveplads' indflyvningsplaner - hvis der samtidig stilles krav om, at behovsstyring af hindringslys kan deaktiveres efter krav fra Forsvaret i tilfælde af f.eks. træningsflyvning, flyveøvelser eller redningsaktioner i området.

Arbejdsgruppen vurderer, at det er luftfartsikkerhedsmæssigt uforsvarligt, at luftfartshindringer i indflyvningsplaner deaktiveres. Desuden er luftfartstrafikken i disse områder så høj, at det vurderes, at brugen af behovsstyring af hindringslysene på vindmøller i nærheden vil betyde, at lyset er mere tændt end slukket og gøre belysningen mere irregulær i forhold til den nuværende situation, hvor lysene blinker med et bestemt tidsinterval.

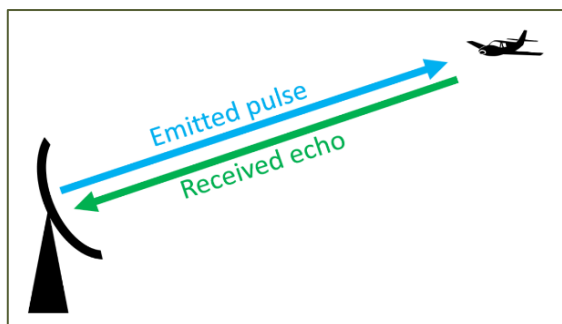
Det er vigtigt at understrege, at de tekniske løsninger muliggør, at behovsstyring er en mulighed, men ikke at blinkende hindringslys (2.000 candela) på vindmøller er slukket som standard. Denne skelnen er vigtig ud fra et luftfartssikkerhedsmæssigt perspektiv.

Primær radar

Der findes forskellige typer af radarsystemer, som kan benyttes til behovsstyring. Den mest udbredte behovsstyringsmodel benytter en primær radar, som er et kendt system fra både civil og militær.

En primær radar er en konventionel radar sensor, der fungerer ved, at en radarantenne udsender elektromagnetiske bølger. Når de elektromagnetiske bølger rammer et objekt, f.eks. et luftfartøj, reflekteres noget af bølgerne tilbage til radaren. Luftfartøjets position bestemmes ud fra tidsforskellen fra signalet sendes ud til radaren modtager det igen. Systemet detekterer således objekter ved deres fysiske tilstedeværelse og kræver ikke, at f.eks. luftfartøjer har specifikt udstyr ombord for at kunne blive lokaliseret. Det vil sige, at systemet vil kunne opfange alle luftfartøjer og andre luftrumsbrugere i nærheden, uagtet brugen af teknisk udstyr, hvis objektet i luftrummet har en RCS som radaren kan detektere.

⁶⁴ Airsight (2024). *Danish Civil Aviation and Railway Authority: Aircraft Detection Lighting System (ADLS) study*, 16. April 2024. Rapporten er vedlagt som bilag.



Figur 11 Detektion af fly med primær radar (Skybrary, 2024)

Et behovsstyringssystem med primær radar består af en eller flere radarer i vindmølleparkens område og et lyssystem. Rundt om systemet er en detektions- og advarselszone etableret. Når systemet har detekteret et luftfartøj i advarselszonen, sender radaren et signal til lyssystemet, som tænder lysene. Hindringslyset deaktiveres igen, når luftfartøjet er fløjet ud af advarselszonen og radaren ikke længere kan detektere luftfartøjet. Det betyder også, at den primære radar konstant scanner området for luftfartøjer.

Et behovsstyringssystem med primær radar koster minimum 1 mio. euro (dvs. 7,5 mio. danske kr.). Hertil kommer en årlig driftsomkostning, som vurderes til at være på cirka 200.000 danske kr.⁶⁵ Hele omkostningen for systemet ligger hos vindmølleoperatøren. Der er ingen omkostninger relateret til luftrumsbrugerne i forbindelse med brugen af et primært radarsystem.

Fordele og ulemper

Et behovsstyringssystem med primær radar har en række fordele og ulemper. Det er et robust system, som har været brugt til detektion af luftfartøjer en årrække, men også i forbindelse med behovsstyring af hindringslys. Radarer er underlagt omfattende typegodkendelsestandarder.⁶⁶

Et behovsstyringssystem med primær radar er et uafhængigt system. Det vil sige, at systemet ikke er afhængigt af udstyr ombord luftfartøjer eller luftrumsbrugere. Systemet kan dermed detektere alle luftfartøjer og andre luftrumsbrugere i nærheden, uagtet brugen af teknisk udstyr, hvis objektet i luftrummet har en RCS som radaren kan detektere. Et behovsstyringssystem med primær radar kan præcist bestemme et luftfartøjs lokation på det vandrette plan.

Jævnfør den tekniske rapport fra Airsight, har en primær radar har dog også en række ulemper. Afhængigt af system, antal af radarantenner og positionering relativt til vindmølleparken, kan radardækning- og detektionen påvirkes af en række faktorer.⁶⁷ Det gælder f.eks. refleksioner fra terrænhøjde, bygninger og vejret (regn, sne og skyer), som kan give radarforstyrrelser, eller radarsignalet vertikale spredning kan begrænses af antennens vinkling, hvilket kan mindske radarens dækning. Desuden kan detektionen af eventuelle luftfartøjer i lav højde bag vindmølleparken blive influeret af skyggedannelse og refleksion af selve vindmøllens elementer (tårn, rotor, nacelle).⁶⁸ Der kan også være udfordringer med om radaren kan detektere luftfartøjer og luftrumsbrugere med en meget lille RCS eller tildelingen af frekvenser som kan benyttes, da der trængsel om frekvensbånd.⁶⁹ Samtidig kan droner med en vis RCS-størrelse også udfordre systemet. For har dronerne en stor nok RCS, vil disse også kunne blive detekteret.

Ifølge Airsight er det nødvendigt, at systemet har den nødvendige signalfiltrering, så stationære objekter, biler eller lignende, samt fugle ikke identificeres som relevante mål for radarens

⁶⁵ Estimat fra DTU Wind

⁶⁶ EUROCONTROL: Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas (SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01), EUROCONTROL: Specification for ATM Surveillance System Performance (EUROCONTROL-SPEC-147), ICAO: Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management. Doc 4444 ATM/501, fifteenth edition Amendment 5 2007 og ICAO: Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume 1.

⁶⁷ Airsight (2024)

⁶⁸ Airsight (2024)

⁶⁹ Airsight (2024)



detektion og dermed ikke aktivere hindringslyset. Yderligere skal det sikres, at radarantennen positioneres korrekt, så hele dækningszonen for radaren er sikret.

Et behovsstyringssystem med primær radar er installation- og omkostningstung. Systemet kræver on-site certificering og systeminfrastruktur, så som radar-tårne.⁷⁰

Krav til behovsstyringssystemet

Da et behovsstyringssystem med primær radar består af en radar og et lyssystem, er den primære risici, hvad angår luftfartssikkerheden, selve systemet. Det er derfor centralt at opstille en række krav i forbindelse med brugen af primær radar til behovsstyring.

Airsight opstiller tre tiltag, som skal etableres i forbindelse med behovsstyring: luftrumsbrugere skal informeres om brugen af behovsstyring, permanent infrarødt lys skal installeres ved vindmølleparken og hindringslysene skal kunne aktiveres eksternt.

Det er nødvendigt at sikre, at luftrumsbrugere er informeret om brugen af behovsstyring, f.eks. via AIP. På den måde kan luftrumsbrugerne være opmærksom på den potentielle fare vindmølleparken/behovsstyringen udgør og eventuel omlægge deres flyvninger.⁷¹ Luftrumsbrugerne skal have tid til at reagere på aktiveringen af hindringslysene, hvorfor radarens horisontale og vertikale detektionszone skal specificeres.

Da nogle luftrumsbrugere benytter sig af NVG, hvilket forstærker lyset, eller har en lille RCS (f.eks. Forsvarets kampfly eller balloner), skal der på vindmøllerne installeres infrarødt lys. Det sikrer, at luftrumsbrugere kan nå at reagere på det infrarøde lys før de når radarens detektionszone og hindringslysene aktiveres. Det skal desuden være muligt at aktivere hindringslysene eksternt.

Arbejdsgruppen finder derudover, at det er nødvendigt at specificere radarens horisontale og vertikale detektionsdækning (hvor langt fra radaren og op til hvilken højde skal radaren detektere), samt at det er nødvendigt at sikre, at et tilstrækkeligt antal af radarer opstilles og de er i den korrekte position. Det sikrer, at behovsstyringssystemets dækningsområde er tilstrækkeligt.

Da vindmøller udgør en fare for luftrumsbrugerne og at behovsstyring af hindringslysene slukker for hindringslysene, som er en markering af en luftfartshindring, skal behovsstyringssystemet desuden være et fail-safe system. Det vil sige, at hvis der er en fejl i systemet, vil hindringlysene på vindmøllerne automatisk tændes. Behovsstyringssystemet skal derfor konstant scanne dens systemer for at sikre, at det fungerer optimalt.

Da behovsstyringssystemet kan bestå af forskellige delelementer - leveret af forskellige leverandører - skal der være en klar ansvarsfordeling for systemet, så det til enhver tid er tydeligt, hvem der har det overordnede ansvar. Det overordnede ansvar for behovsstyringssystemet vil tilfalde vindmølleoperatøren.

Vurdering

Det vurderes, at et behovsstyringssystem med en primær radar er en realistisk model for behovsstyring af hindringslys på vindmøller i Danmark. Systemet benyttes allerede i et begrænset omfang i Danmark, da Trafikstyrelsen har givet dispensation til brugen af behovsstyring med radar i tre tilfælde.

Systemet vil kunne implementeres direkte i allerede gældende regler, hvor systemet gøres til en standard og ikke kun dispensation til forsøgsvirksomhed, så vindmølleoperatører i forbindelse

⁷⁰ Airsight (2024)

⁷¹ Airsight (2024)



med deres ansøgning om etablering af vindmøller, samtidig kan søge om behovsstyring. Det kan overvejes om systemet bør gøres til en standard og ikke kun i forbindelse med forsøgsvirksomhed, så vindmølleoperatører i forbindelse med deres ansøgning om etablering af vindmøller, samtidig kan søge om behovsstyring.

Et behovsstyringssystem med primær radar er omkostningstung for vindmølleoperatører, men hverken staten eller luftrumsbrugerne har en omkostning i forbindelse med brugen af systemet. Systemet har en begrænset påvirkning på luftrumsbrugerne, da radarsystemet ikke begrænser deres brug af luftrummet og de skal heller ikke investere i nyt udstyr for at kunne detekteres.

Passiv radar

En passiv radar har ikke sin egen antenne, men benytter i stedet refleksioner og dopplereffekten⁷² fra andre antenner fra f.eks. mobil-, tv- og radiostationer i området for at bestemme positionen af et luftfartøj i radarens detektionszone.⁷³ Radaren benytter mindst tre antenner i dens dækningszone og bestemmer et luftfartøjs position ved at analysere reflekterede baggrundssignaler fra luftfartøjet og et referencesignal fra andre objekter, som udsender elektromagnetiske bølger.

Tidsforskellen af det reflekterede signal og dopplereffekten fra luftfartøjets bevægelser analyseres. Efter etableringen af det transmitterede signal, korreleres signalet med modtagne ekkoer. Et behovsstyringssystem med passiv radar er uafhængig af udstyr ombord luftfartøjet. Det kan således detektere alle luftfartøjer og andre luftrumsbrugere i nærheden, uagtet brugen af teknisk udstyr, hvis objektet i luftrummet har en RCS som radaren kan detektere.

Fordele og ulemper

Et passivt radarsystem har en række fordele og ulemper jævnfør Airsights rapport.⁷⁴ Radarsystemet er et uafhængigt system, hvilket vil sige, at det ikke er afhængigt af udstyr ombord luftfartøjer eller luftrumsbrugere. Systemet kan detektere alle objekter ned til en valgt RCS (f.eks. 1 m²) og luftfartøjer uden transponder. Et behovsstyringssystem med en passiv radar kan præcist bestemme et luftfartøjs position. Systemet er ikke et aktivt radarsystem, hvilket betyder, at det ikke har behov for tildelingen af frekvenser som f.eks. ved en primær radar.⁷⁵

En passiv radar er, i modsætning til en primær radar, ikke et standardiseret detektionssystem. Systemet er meget komplekst, hvorfor selve installationsprocessen, herunder positioneringen af antenner og finjusteringen af systemet, også er meget kompliceret. Det betyder også, at et behovsstyringssystem med passiv radar er omkostningstung. Omkostningen ligger på vindmølleoperatøren.

Et passivt radarsystem har, som en primær radar, udfordringer med radardækning- og detektionen, men kun i forhold til distinktionen mellem luftfartøjer og andre objekter (f.eks. lastbiler og fugleflokke).⁷⁶

En passiv radar er afhængig af andre antenner, da den ikke selv har en. Det vil sige, hvis antenneinfrastrukturen, som radaren benytter, omstruktureres eller tages ned, skal hele det passive radarsystem sættes op igen i forhold til tilgængeligheden af antenner. Systemet benytter desuden dopplereffekten til at bestemme luftfartøjets position. Det betyder, at systemet er

⁷² Dopplereffekt er betegnelsen for det fænomen, hvor frekvensen af bølger varierer afhængigt af kildens og modtagerens hastigheder i forhold til det medie, som bølgerne bevæger sig i.

⁷³ Airsight (2024)

⁷⁴ Airsight (2024)

⁷⁵ Airsight (2024)

⁷⁶ Airsight (2024)



afhængig af objekter i bevægelse, hvilket ikke altid er tilfældet – f.eks. kan helikoptere være svære for systemet at detektere.

Ifølge Airsight er det ikke muligt at udføre et fuldstændig integritetstjek af systemet.⁷⁷ Det betyder, at selvom det vil være muligt at kontrollere tilgængeligheden af antenner i området konstant, er dette en garanti for, at systemet pålideligt vil detektere luftfartøjer i detektionszonen. Dette vil skulle sikres ved brug af et kendt objekt i bevægelse i nærheden af antennerne som benyttes.

Krav til behovsstyringssystemet

Da et behovsstyringssystem med passiv består af en radar og et lyssystem, er den primære risici hvad angår luftfartssikkerheden selve systemet. Det er derfor centralt at opstille en række krav i forbindelse med brugen af primær radar til behovsstyring. Det gælder som ved primær radar, at lufrumsbrugere skal informeres om brugen af behovsstyring, permanent infrarødt lys skal installeres ved vindmølleparken og hindringslysene skal kunne aktiveres eksternt.

Det er nødvendigt at sikre, at lufrumsbrugere er informeret om brugen af behovsstyring. På den måde kan lufrumsbrugerne være opmærksom på den potentielle fare vindmølleparken/behovsstyringen udgør og eventuel omlægge deres flyvninger⁷⁸. Det kan f.eks. være i AIP. Lufrumsbrugerne skal have tid til at reagere på aktiveringen af hindringslysene, hvorfor radarens horisontale og vertikale detektionszone skal specificeres.

Da nogle lufrumsbrugere benytter sig af NVG, hvilket forstærker lyset, eller har en lille RCS (f.eks. Forsvarets kampfly) skal der på vindmøllerne installeres infrarødt lys. Det sikrer, at lufrumsbrugere kan nå at reagere på det infrarøde lys før de når radarens detektionszone og hindringslysene aktiveres. Det skal desuden være muligt at aktivere hindringslysene eksternt.

Det skal sikres, at et tilstrækkeligt antal af radarer opstilles og de er i den korrekte position. Det sikrer, at behovsstyringssystemets dækningsområde er tilstrækkeligt.

Da vindmøller udgør en fare for lufrumsbrugerne og at behovsstyring af hindringslysene slukker for hindringslysene, som er en markering af en luftfartshindring, skal behovsstyringssystemet være et fail-safe system. Det vil sige, at hvis en fejl detekteres i systemet, skal hindringlysene på vindmøllerne automatisk tændes. Behovsstyringssystemet skal derfor konstant scanne dens systemer.

Da behovsstyringssystemet kan bestå af forskellige delelementer - leveret af forskellige leverandører - skal der være en klar ansvarsfordeling for systemet, så det til enhver tid er tydeligt, hvem der har det overordnede ansvar. Det overordnede ansvar for behovsstyringssystemet vil tilfalde vindmølleoperatøren.

Vurdering

Det vurderes, at et passivt radarsystem ikke er en realistisk model for behovsstyring af hindringslyset, da det er svært at sikre systemets integritet. Det skyldes, at systemet er afhængigt af radarsignaler fra andre antenner i nærheden, hvilket sætter store krav til overvågningen af nærområdet. Hvis antennerne fjernes, virker systemet ikke. Desuden er systemet kompleks, omkostningstungt og ikke standardiseret, hvilket gør det svært at vurdere systemets kvalitet.

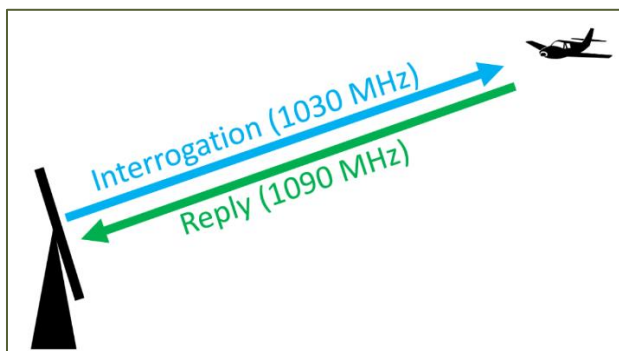
⁷⁷ Airsight (2024)

⁷⁸ Airsight (2024)



Sekundær radar og transponder

Udover primær og passive radarer eksisterer også en sekundær radar (SSR). Denne benytter en transponder for at kunne detektere luftfartøjer i dens nærområde. En transponder er et elektronisk udstyr monteret i luftfartøjet, der når det modtager et indgående radarsignal, svarer tilbage med et signal.



Figur 12 Detektion af fly med sekundær radar og transponder (Skybrary)

I praksis fungerer et behovsstyringssystem med SSR og transponder ved, at en sekundær radar udsender et signal, som luftfartøjets transponder opfanger og sender kodede signaler tilbage til radaren. I modsætning til et system med en primær radar, hvor radaren konstant scanner området for luftfartøjer, aktiveres en sekundær radar kun, når et luftfartøj detekteres i nærheden af radaren. Via de kodede signaler fra luftfartøjets transponder kan radaren på jorden bestemme luftfartøjets afstand, hastighed og højde.

Ud fra hvilket mode transponderen opererer i (Mode A/C, Mode S), jo mere detaljerede oplysninger sender luftfartøjets transponder tilbage til radaren. Mode A/C er et ældre system, der sender identifikationskode (Mode A) og højde (Mode C). Mode S udsender oplysninger om højde, status og call sign. Yderligere information kan sendes efter anmodning fra SSR-radaren. Det gælder f.eks. mode S ELS og mode S EHS mv. Mode S muliggør brugen af Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), som er et overvågningssystem, der gør det muligt for luftfartøjer at sende og modtage informationer om luftfartøjets positioner, men er baseret på GNSS⁷⁹ i stedet for radar. Systemet vil også kunne benyttes til at detektere FLARM.

Transponderer er blevet produceret siden 1950'erne og er underlagt omfattende typegodkendelsesstandards.⁸⁰ Der er en række krav til design og teknisk implementering af transpondere for at sikre et acceptabelt niveau af pålidelighed (f.eks. krav til robusthed). En transponder koster fra ca. 15.000 kr. og op til 70.000 kr., afhængig af hvilken type transponder.

Et behovsstyringssystem med transponder kan benytte signalstyrke (enkelt modtager) og/eller multilateration, MLAT, (flere modtagere). Begge systemer er passive og er afhængige af, at luftfartøjer har udstyr ombord.

Et behovsstyringssystem, der benytter signalstyrke, kræver færre modtagere, har et robust detektionssystem og kan give en ordentlig identifikation af luftfartøjer. Systemet kan dog ikke give en præcis lokalisering af et luftfartøjs position. Et behovsstyringssystem med MLAT kræver flere modtagere, samt en mere intensiv konfigurationsanalyse og optimering for at sikre en tilstrækkelig dækning, sammenlignet med et behovsstyringssystem med signalstyrke. I modsætning giver MLAT en mere præcis determinering af luftfartøjers positioner. Et behovsstyringssystem med signalstyrke er mindre omkostningstungt i forhold til et behovsstyringssystem med MLAT.

Et behovsstyringssystem, der benytter signalstyrke, bruger en enkelt modtager i vindmølleparken til at modtage alle tilgængelige transponder-signaler (Mode A/C, Mode S mv.). Ved at evaluere signalstyrken af indkomne signaler, kan afstanden til luftfartøjet bestemmes - dog ikke

⁷⁹ Globalt navigationssatellitssystem, f.eks. amerikanske GPS og europæiske Galileo

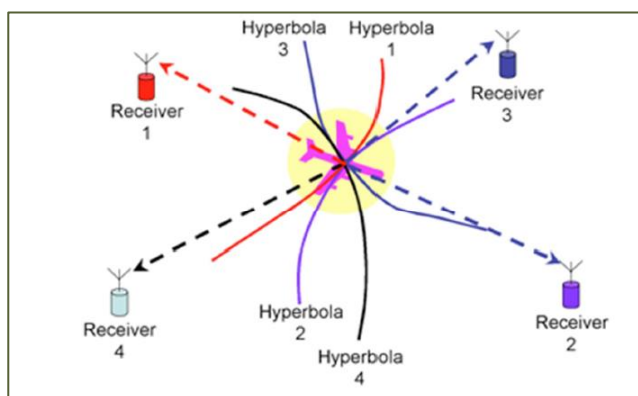
⁸⁰ F.eks. ICAO Annex 10 Amendment 73-77, „Comparison for SSR Mode S System“, EUROCAE ED-73E, „Minimum Operations Performance Specifications for Secondary Surveillance Radar Transponders“, EUROCAE ED-115, „Minimum Operations Performance Specifications for Light Aviation Secondary Surveillance Radar Transponders“



den præcise lokation. Med en enkelt transponder-modtager med en 1090 MHz antenne og line-of-sight relateret dækning, kan ordentlig jorddækning sikres.

Et behovsstyringssystem, der benytter MLAT, bestemmer et luftfartøjs position ved at bruge metodologien Time Difference of Arrival (TDOA). Det betyder, at systemet benytter et netværk af modtagere på kendte lokationer. Et signal fra transponder vil blive modtaget af de forskellige modtagere på forskellige tidspunkter, da afstanden mellem luftfartøjet og modtagere differentiere. Ved at sammenligne TDOA, kan luftfartøjets position bestemmes. MLAT kan benytte alle tilgængelige transponder-signaler på 1090 MHz (Mode A/C, Mode S, ADS-B mv.).

MLAT benyttes typisk af luftfarttrafiktjenester og luft- og jordovervågningssystemer. Disse systemer benytter "active interrogation" ved, at ekstra antenner sender signaler på 1030 MHz for at optimere luftfartøjers position. Behovsstyring med transponder og MLAT gør ikke brug af dette, da der er stor belastning på frekvenserne 1030 MHz og 1090 MHz⁸¹. Det gør bestemmelsen af luftfartøjets position er mere kompleks. For at sikre tilstrækkeligt dækning i forbindelse med brugen af MLAT, er det nødvendigt at sikre, at systemet bruger nok modtagere. Hvis ikke, kan systemet ikke bestemme luftfartøjets afstand og i værste fald slet ikke detektere luftfartøjet.



Figur 13 Behovsstyringssystem med sekundær radar, transponder og MLAT

Et behovsstyringssystem med SSR og transponder kræver, at luftrumsbrugerne har en transponder for at være elektronisk synlige for systemet. Behovsstyringssystemet vil derfor have en indvirkning på luftrumsbrugerne, da

Da MLAT skal benytte flere modtagere, er systemet mere omkostningstungt end et behovsstyringssystem med signalstyrke. Samtidig er et behovsstyringssystem med MLAT mere krævende hvad angår installering mv.

Fordele og ulemper

Et behovsstyringssystem med SSR-radar og transponder har en række fordele og ulemper, uagtet om et system med signalstyrke eller MLAT benyttes. Begge systemer er passive, de er begge afhængige af, at luftfartøjer har udstyr ombord og begge systemer kræver en dybdegående viden om processering af transponder-signaler.

Systemets radardækning- og detektion kan, som en primær radar, påvirkes af en række faktorer. Det gælder f.eks. refleksioner fra terrænhøjde, bygninger og vejret (regn, sne og skyer), som kan give radarforstyrrelser, eller radarsignalet vertikale spredning kan begrænses af antennens vinkling, hvilket kan mindske radarens dækning.

Et behovsstyringssystem, der benytter signalstyrke, kræver færre modtagere, har et robust detektionssystem og kan give en ordentlig identifikation af luftfartøjer.⁸² Systemet kan dog ikke give en præcis lokalisering af et luftfartøjs position. Systemet benytter konservative estimater i forbindelse med vurderingen af signalstyrke, hvilket kan medføre falsk positive advarsler i systemet og dermed få hindringslyset til at tænde.

⁸¹ Airsight (2024)

⁸² Airsight (2024)



Et behovsstyringssystem med MLAT kræver flere modtagere, samt en mere intensiv konfigurationsanalyse og optimering for at sikre en tilstrækkelig dækning, sammenlignet med et behovsstyringssystem med signalstyrke.⁸³ I modsætning giver MLAT en mere præcis determinering af luftfartøjers positioner. Dette er dog ifølge Airsight kun muligt, hvis "active interrogation" er til-ladt. Et behovsstyringssystem med signalstyrke er mindre omkostningstungt i forhold til et be-hovsstyringssystem med MLAT.

Da behovsstyringssystemet består af to dele, en sekundær radar og transponder, er systemet afhængig af, at luftfartøjer har en aktiv transponder ombord, dvs. luftrumsbrugerne skal være elektronisk synlige. Hvis et luftfartøj ikke har en aktiv transponder ombord, vil systemet ikke kunne detektere luftfartøjet, og luftfartøjet uden transponder vil således være usynligt.

Et transpondersystem til behovsstyring af hindringslys på vindmøller medfører derfor en række tekniske udfordringer, som skal håndteres, før brugen er luftfartsikkerhedsmæssigt forsvarligt. I modsætning til et system med primær radar, er det ikke kun selve systemet med SSR, der udgør en risiko, men også luftfartøjets transponder. Der kan f.eks. opstå transponder-fejl, så en transponder på luftfartøj ikke udsender signaler eller der kan være en risiko for, at transponde-ren ikke er aktiveret. Det vil sige, at selvom en eventuel vindmølleoperatør lever op til de luft-fartssikkerhedsmæssige krav, som opstilles, udgør luftfartøjet og pilotens adfærd en risiko. Ri-sikoen for en transponder-fejl er dog meget lille. Det er desuden for nuværende kun krav om transponder til kommercielle luftfartøj og luftfartøj, der flyver i luftrumsklasse C og D.

Krav til behovsstyringssystemet

En række tekniske specifikationer skal specificeres, hvis en sekundær radar og transponder skal benyttes til behovsstyring. Det er f.eks. nødvendigt at specificere radarens horisontale og verti-kale detektionsdækning (hvor langt fra radaren og op til hvilken højde skal radaren detektere), samt hvad radaren skal detektere (hvilke signaler skal radaren modtage, f.eks. Mode A/C, Mode S mv.). Desuden skal der som med primær og passive radarsystemer installeres permanent infrarødt lys, systemet skal kunne aktiveres eksternt, luftrumsbrugerne skal informeres om bru-gen af behovsstyring med SSR og transponder. og systemet skal være fail-safe, så hindringslyset tændes, hvis en systemfejl detekteres.

Da behovsstyringssystem med sekundær radar og transponder kræver, at luftrumsbrugerne har transponder, er det nødvendigt enten at etablere et transponderkrav eller Transponder Man-datory Zones rundt om vindmøllerne. Det skyldes, at der i Danmark pt. kun er krav om trans-ponder til kommercielle luftfartøj og luftfartøj, der flyver i luftrumsklasse C og D⁸⁴. Det betyder, at en række luftrumsbrugere og en stor del af de fly, som flyver i nærheden af vindmøller, ikke har transponder. Etablering af mange TMZ'er vil gøre flyvning i luftrummet mere komplekst for luftfartøjer der flyver uden transponder, da disse derved vil blive tvunget til at flyve udenom TMZ'erne.

Udformningen af et eventuelt transponderkrav kan være forskellig afhængig af, hvad man øn-sker at opnå. Det vil f.eks. være muligt at stille et generelt krav om, at alle luftfartøjer i Dan-marks skal have en transponder. Det er et nyt og indgribende tiltag for luftrumsbrugere, der flyver i luftrumsklasse G, som derfor også forventes at få en meget negativ modtagelse. Det skyldes bl.a., at i luften eksisterer "retten til at færdes." Det vil sige, at piloter (og andre luft-rumsbrugere) har ret til at flyve frit og uden at andre mennesker kan holde øje med eller sporer dem. Derudover har en stor del af danske luftrumsbrugere (svævefly, UL-fly, luftballoner,

⁸³ Airsight (2024)

⁸⁴ I luftrumsklasse D gælder transponderkrav kun over FL95 (dvs. ca. 9.500 fod).

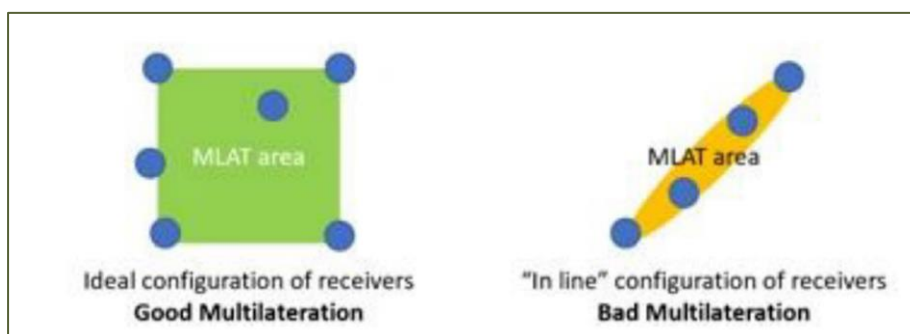


faldskærmsspringere og hang- og paraglidere) ikke har mulighed for at få en transponder, da de ikke nødvendigvis har det nødvendige tekniske udstyr eller strøm ombord.

Et alternativ vil være at etablere et krav om transponder for nat-VFR. Det betyder, at det kun er de luftrumsbrugere, der ønsker at flyve VFR om natten, som vil være omfattet af kravet, da hindringslys på vindmøllerne vil være tændt om dagen. Et sådan krav vil være langt mindre indgribende over for luftrumsbrugerne end et generelt transponderkrav. For det første har alle fly, der flyver IFR sandsynligvis en transponder, selvom dette ikke er et lovkrav. For det andet er det meget få mindre motorfly, der flyver nat-VFR. Det skyldes, at vejrforholdene og sigtbarheden skal være helt optimale. For det tredje benytter luftrumsbrugere, som ikke har transponder, f.eks. svævefly, ultralette fly, faldskærmsudspringere mv. kun luftrummet i dagtimerne, som følge af deres tekniske forudsætninger og behov for god sigtbarhed⁸⁵. Udfordringen med brug af transponder til behovsstyring er at sikre, at luftfartøjets transponder er tændt under flyvning.

Udover et transponderkrav, kunne man overveje at etablere Transponder Mandatory Zones (TMZ) rundt om vindmølleparker. TMZ'er er udpeget luftrum, hvor luftfartøjer skal have bestemt udstyr før de må flyve i luftrummet. De kan etableres med eller uden tilhørende kontrolleret luftrum. Helt konkret betyder etableringen af TMZ'er i forbindelse med behovsstyring af hindringslys på vindmøller, at der i en radius af x-antal km rundt om vindmøllen etableres en zone, hvor fly kun må flyve ind i zonen, hvis de har en transponder. På den måde kan det sikres, at kun luftfartøjer med transponder flyver omkring vindmøller. Etableringen af TMZ'er kan dog være uhensigtsmæssig i takt med at udbygningen af vindmøller stiger. Det kan lede til, at Danmark vil være overdækket med TMZ'er, hvilket vil kunne lede til safety-relaterede udfordringer, da piloter ikke nødvendigvis vil kunne gennemskue, hvornår de flyver i en TMZ, og hvornår de ikke gør. Samtidig kan det have en indskrænkende effekt på flyvepladser og luftrumsbrugere i nærheden af vindmøllerne.

Når det gælder behovsstyring med transponder, der benytter MLAT, skal det bestemmes, hvorvidt 'active interrogation' skal tillades. Hvis ikke dette kan tillades, kan systemet ikke detektere Mode A/C og heller give en præcis bestemmelse af luftfartøjets position. For at sikre tilstrækkeligt dækning i forbindelse med brugen af MLAT, er det desuden nødvendigt at sikre, at systemet bruger nok modtagere og disse har en korrekt position. Hvis ikke, kan systemet ikke bestemme luftfartøjets afstand og i værste fald slet ikke detektere luftfartøjet.



Figur 14 Overblik over konfiguration af MLAT

⁸⁵ Bemærkning fra KDA til følgegruppemøde



Vurdering

Det vurderes, at et behovsstyringssystem med SSR-radar og transponder er en mulig løsningsmodel for behovsstyring af vindmøller i Danmark. Systemet benyttes i en række andre lande, herunder Tyskland og Holland. Hvis systemet skal benyttes i Danmark, skal der enten indføres et transponderkrav eller etableres Transponder Mandatory Zones rundt om vindmølleparker, ellers vil systemet ikke virke.

Systemet vil have en påvirkning luftrumsbrugerne i forhold til elektronisk synlighed og mulig, men et transponderkrav kan udformes på sådan en måde, så færrest luftrumsbrugere påvirkes. Det vil primært være vindmølleopstillerne, som vil bære den økonomiske omkostning ved et transponderbaseret system. Luftrumsbrugere vil også en omkostning forbundet med løsningen, men denne vil være markant mindre end vindmølleopstillernes.

Det vurderes, at behovsstyring med SSR-radar og transponder, der benytter multilateration ikke er muligt. Det skyldes, at systemet ikke vil kunne benytte 'active interrogation' som følge af belastning på de relevante MHz-frekvenser. Samtidig skal systemet kunne benytte 'active interrogation' for at kunne detektere fly med Mode A/C. Mode A/C skal kunne detektere, da ikke alle luftfartøjer flyver med Mode S.

Det vurderes, at etableringen af TMZ'er rundt om vindmøller vil være uhensigtsmæssig pga. den markante udbygning af vindmøller som vil ske i de kommende år. I takt med, at flere vindmøller sættes op og flere vindmølleoperatører potentiel vil vælge behovsstyring med et transpondersystem, jo flere TMZ'er vil blive etableret i Danmark. Det kan lede til, at Danmark vil være overdækket med TMZ'er, hvilket vil kunne lede til safety-relaterede udfordringer, da piloter ikke nødvendigvis vil kunne gennemskue, hvornår de flyver i en TMZ, og hvornår de ikke gør. Alt i alt vil denne løsning være til både stor gene for en stor del af luftrumsbrugerne. Derudover vil risikoen for misforståelser og brugen/ikke brugen af transponder være forøget, hvorfor sikkerheden vil mindskes.

Behovsstyring med SSR og transponder vil kræve ændringer i gældende regler. Derudover er der behov for en implementeringsperiode, så luftrumsbrugerne har tid til at anskaffe og installere en transponder.



ADS-B

Et nyere system, der minder om et behovsstyringssystem med sekundær radar og transponder, er ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). ADS-B er et overvågningssystem, der gør det muligt for luftfartøjer at sende og modtage informationer om flypositioner. ADS-B er et passivt system og fungerer på samme måde som et transpondersystem, men er baseret på GPS i stedet for radar.

Når det gælder ADS-B, kan der skelnes mellem to forskellige funktioner: ADS-B Out og ADS-B In. Luftfartøjer udsender med en ADS-B Out (transmitter) ombord informationer om sig selv (identifikation, nuværende position, højde og hastighed). Ved ADS-B In modtages informationer. ADS-B Out fungerer uden ADS-B In, mens ADS-B In kan ikke fungere uden ADS-B Out. ADS-B nytter sig af ombordinformationer fra avanceret navigationssystem (kommercielle fly) eller en integreret GNSS-modtager (GA- og mindre luftfartøjer).

I forbindelse med behovsstyring af hindringslys på vindmøller vil brugen af ADS-B fungere på samme måde som et system med sekundær radar og transponder. Luftfartøjets ADS-B Out udsender relevante informationer som opfanges af en installeret ADS-B In ved vindmøllerne. Når luftfartøjets signaler opfanges, tændes hindringslysene på vindmøllerne. Systemet kræver derfor, at luftrumsbrugerne har aktiv ADS-B-udstyr ombord.

For et behovsstyringssystem med ADS-B er kun en enkelt modtager inden for vindmølleparkens område nødvendig for at sikre tilstrækkelig dækning. Installationsomkostningen af systemet er lav. For vindmølleoperatører er en behovsstyring med ADS-B løsning billigere, da det tekniske system som skal installeres ved vindmøllerne, er billigere end både primær og sekundær radar. For luftrumsbrugerne vil en ADS-B løsning have en betydelig større omkostning. En relativ enkel ADS-B Out koster fra ca. 25.000 kr., mens en relativ enkel ADS-B In/Out koster fra omkring 43.000 kr.

ADS-L er en simplere version af ADS-B, som er kompatibel med billigere tekniske enheder og mobiltelefoner. ADS-L kan benyttes af en række luftrumsbrugere, der ikke benytter certificeret udstyr.

Fordele/ulemper

Et behovsstyringssystem med ADS-B har en række fordele og ulemper. Systemet er passivt, er afhængig af udstyr ombord luftfartøjer, kan sikre ordentligt identificering af relevant trafik og har lave installationsomkostninger.

Da behovsstyringssystemet består af to dele, en ADS-B Out og ADS-B In, er systemet afhængig af, at luftfartøjer har en aktiv ADS-B ombord. Hvis et luftfartøj ikke har en aktiv transponder ombord, vil den ikke være elektronisk synlig for systemet og luftfartøjet vil ikke kunne detekteres. Det gælder bl.a. at Forsvarets luftfartøjer ikke benytter ADS-B, hvorfor disse ikke vil kunne detekteres.

ADS-B til behovsstyring af hindringslys på vindmøller medfører en række tekniske udfordringer, som skal håndteres, før brugen er luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt. Både ADS-B In-modtager ved vindmølleparken og ADS-B Out-afsenderen i luftfartøjer udgør en risiko. F.eks. kan navigationssystemer, som GNSS, jammes eller udsættes for spoofing⁸⁶. Det vil sige, at selvom en eventuel vindmølleoperatør lever op til de luftfartssikkerhedsmæssige krav, som opstilles, udgør flyet og pilotens adfærd en risiko. Desuden er der for nuværende ikke krav om ADS-B i luftrum

⁸⁶ Når nogen eller noget forgiver sig for at være én, de ikke er, for at få adgang til systemer, data mv.



G. Der vil derfor skulle opstilles en række tiltag i forbindelse med brugen af ADS-B til behovsstyring.

For at sikre nøjagtig bestemmelse af luftfartøjers position, skal systemet leve op et vist niveau af nøjagtighed, integritet og design. Desuden er robustheden og safety af systemet afhængigt af ADS-B udstyret ombord luftfartøjet. Det er derfor nødvendigt at sikre et vist niveau af kvalitet i anvendte systemer, hvorfor allerede accepteret designsikkerhed for certificerede transponder bør også gælde for ADS-B.

Krav til behovsstyringssystemet

For at kunne benytte ADS-B til behovsstyring, skal systemet leve op til de samme tekniske specifikationer som et behovsstyringssystem med transponder (detektions- og advarselszoner, radarens horisontale og vertikale detektionsdækning mv.). Derudover skal der som med primær og passive radarsystemer installeres infrarødt lys, så luftrumsbrugere kan benytte NVG, hindringslysene skal eksternt aktiveres, luftrumsbrugerne skal informeres om brugen af behovsstyring og systemet skal være fail-safe, så det tændes, hvis en systemfejl detekteres.

Et behovsstyringssystem med ADS-B nødvendiggør et krav om, at relevante luftfartøjer har en ADS-B ombord. I dag er det dog kun kommercielle fly, der har ADS-B. Der skal derfor stilles krav om ADS-B i luftfartøjer, medmindre systemet benyttes som supplement til SSR-og transpondersystem. Kravet kan stilles et generelt krav eller kun i forbindelse med nat-VFR. ADS-B kan dog ikke installeres i alle typer af luftfartøjer, som flyver omkring vindmøllerne, da en række luftfartøjer ikke har det rette tekniske udstyr til at understøtte ADS-B.

ADS-B er ikke særlig udbredt i Danmark. Derfor skal der både etableres krav om ADS-B ombord luftfartøjer i forbindelse med nat-VFR, samt behov for en implementeringsperiode, hvor luftrumsbrugere kan få købt og installeret ADS-B.

Vurdering

ADS-B er et kendt system i forbindelse med bestemmelse af luftfartøjers position, men kvaliteten af systemet afhænger af ADS-B udstyret ombord luftfartøjer. Det vurderes derfor, at systemet ikke tilstrækkeligt sikrer luftfartsikkerheden, hvorfor det ikke kan benyttes som primært system til behovsstyring. Det vurderes, at ADS-B kan benyttes som et supplement til et SSR-og transpondersystem.

FLARM

FLARM (Flight ALARM) er et anti-kollisionssystem, som installeres i luftfartøjer, der hører under kategorien "almindelig luftfart" (General Aviation/GA). Det vil sige privat/hobbyflyvning, f.eks. særligt svævefly og UL-fly.

FLARM fungerer ved, at systemet kontinuerligt udregner og udsender informationer om position, højde og identifikationsdata til omkringliggende luftfartøjer. Samtidig modtager luftfartøjets FLARM disse informationer fra andre luftfartøjer. I praksis beregner en algoritme, baseret på en risikomodel, kollisionrisici ved hvert enkelt fly i nærheden. Ombord luftfartøjet installeres en boks med lysdioder eller en skærm, som alarmerer piloten, når andre luftfartøjer er tæt på, samt viser hvilken position de har. Systemet gør det dermed muligt for piloterne at manøvrere for at undgå kollision. FLARM kan også opfange signaler fra andre systemer, så brugen af FLARM til behovsstyring af hindringslys vil kunne kombineres med f.eks. transponder eller/og ADS-B. FLARM er ikke et certificeret system, hvilket vil sige, at systemets drifts- og luftfartssikkerhed ikke er vurderet.



FLARM er et meget udbredt system, både i Danmark og udlandet. Ifølge virksomheden bag FLARM, FLARM®, er mere end 60.000 GA-luftfartøjer og droner på verdensplan udstyret med FLARM⁸⁷.

Behovsstyring med FLARM vil i praksis fungere ved, at en FLARM-modtager installeres ved vindmøllerne, så når et luftfartøj er i nærheden, vil luftfartøjets FLARM alarmerer piloten. FLARM er dog ikke et system som er udviklet til behovsstyring og det er ej heller testet om systemet vil kunne bruges selvstændigt. Der vil derfor være behov for at se nærmere på dette forhold. FLARM kan benyttes som et supplement til et behovsstyringssystem med transponder.

Vurdering

Det vurderes, at FLARM ikke kan benyttes som det primære system til behovsstyring af hindringslys på vindmøller, men at FLARM kan inkorporeres/være et supplement til f.eks. et behovsstyringssystem med transponder. Det vil gøre det muligt for disse behovsstyringssystemer også at detektere lufrumsbrugere, der benytter FLARM, hvilket kan højne luftfartsikkerheden omkring vindmøller.

Selvbetjening (manuel tænding for lys)

Selvbetjening skal som løsning forstås som en manuel tænding for lys, når et luftfartøj nærmer sig vindmøller. Det vil sige, at det ikke er et system som de ovennævnte tekniske løsninger.

Selvbetjening benyttes i dag på en række mindre, danske flyvepladser om natten, hvor en pilot taster på sendeknappen der aktiverer flyradioens sender (Push-To-Talk, PTT), hvorefter lyset på landingsbanen tændes og piloten kan lande. Systemet gør det muligt, at lyset på flyvepladsen kun er aktivt, når det er nødvendigt. Det kan tænkes, at en lignende løsning vil kunne benyttes i forbindelse med behovsstyring af vindmøller. Systemet er kun udbredt i begrænset omfang, når det gælder flyvepladser og systemet benyttes for nuværende ikke til behovsstyring af hindringslys på vindmøller.

Systemet er ikke kunne benyttes som last line of defence, hvis en pilot er disorienteret og/eller har mistet overblik over hvor de flyver. Drift- og luftfartsikkerhed i forbindelse med behovsstyring af hindringslys på vindmøller er usikkert.

Vurdering

Det vurderes, at selvbetjening med manuel tænding for lyset ikke er en realistisk løsning. Systemet er ikke førhen blevet benyttet til behovsstyring af hindringslys og drift- og luftfartsikkerheden i forhold til benyttelse til behovsstyring af hindringslys på vindmøller er usikkert.

Lysintensitet

Udover ovenstående tekniske løsninger som behovsstyring af lysafmærkninger eller manuel tænding af lys, vil det også være oplagt at undersøge muligheden for at ændre på lysintensiteten fra hindringslys og vinklen af denne i forhold til at mindske borgergener.

ICAO Annex 14 og BL 3-10 sætter krav og anbefalinger til den mindste målte lysintensitet i en række forskellige vertikale vinkler relativt til det horisontale plan. Opfylder hindringslys disse minima til målt lysintensitet, er hindringslyset i overensstemmelse med reglerne. Det vurderes, at kravene fra Annex 14 og BL 3-10 giver mulighed for, at lys uden for de angivne vertikale

⁸⁷ jf. FLARM®, <https://www.flarm.com/en/>



vinkler kan "blokeres" uden at bryde reglerne. Det betyder, at det vil være muligt at nedadrettet lys, der generer nærmiljøet, i et vidst omfang kan blokeres.

Dette kan dog give udfordringer i vejr, hvor sigtbarheden er dårlig, da lysets således vil kunne sprede sig mere end ønsket. Dermed kan denne løsning skabe andre lysgener for lokale borgere, samt skabe farlige situationer for luftrumsbrugere.

Vurdering

Det vurderes, at ændringer af vinkler i forhold til lysintensitet ikke er en realistisk løsning. Løsningen er meget teoretisk, vejret kan udfordre løsningen, og løsningen er ikke holdbar til højere luftfartshindringer.



Opsummering

En række forskellige teknologiske løsninger kan benyttes til behovsstyring af hindringslys på vindmøller.

Primær radar er en robust og velkendt teknologi. Den giver en god detektion af luftfartøjer og er uafhængig af udstyr ombord luftfartøjer. Dækningen af systemet kan være begrænset af en række faktorer, så som skyggedannelse og radarforstyrrelser. Systemet kræver en høj installationsindsat og har høje omkostninger. Tilgængelighed af frekvenser er begrænset og systemet kan have miljømæssige konsekvenser i forhold til udsendelse af elektromagnetiske bølger.

Passiv radar er en kompleks og relativ ny teknologi, der benytter refleksioner og dopplereffekten fra andre antenner fra f.eks. mobil-, tv- og radiostationer i området til at bestemme positionen af et luftfartøj. Der er ingen certificeringsspecifikationer tilgængelige for systemet. Detektion af luftfartøjer er uafhængig af udstyr ombord. Systemet kræver en høj installationsindsat og har høje omkostninger. Tilgængeligheden af "baggrundsølger" fra andre antenner skal sikres.

Sekundær radar og transponder med signalstyrke er en robust teknologi, der benytter signaler fra transponderer ombord luftfartøjer til at bestemme luftfartøjets position. Detektionsniveauet er godt. Installations- og systemomkostninger er lave, men systemet forudsætter et transponderkrav til relevante luftrumsbrugere.

SSR- og transpondersystem med MLAT er en velkendt teknologi i forbindelse med overvågning luftfartrafikstyring, men bestemmelsen af luftfartøjs positioner er kompleks, hvis ikke 'active interrogation' kan benyttes. Afhængig af antallet og den konfiguration af systemet kan detektion af relevante luftfartøjer påvirkes af en række faktorer. Implementering af systemet kræver en høj installationsindsats, men har lavere omkostninger end en primær radar system. Systemet forudsætter et transponderkrav til relevante luftrumsbrugere.

ADS-B er en velkendt teknologi i forbindelse med overvågning luftfartrafikstyring. Detektionen af luftfartøjer er acceptabelt, men afhænger i høj grad af det anvendte system. Bestemmelsen af luftfartøjs position er præcis. Systemet kræver, at der er ADS-B ombord luftfartøjer, og behovsstyringssystemets robusthed og safety er afhængig af teknologien ombord. Omkostningen for udstyret kan variere, særligt i forhold til at sikre et høj nok kvalitet. Der eksisterer en simpel version af ADS-B, kaldt ADS-L.

FLARM er et anti-kollisionssystem, som benyttes i forbindelse med GA-flyvninger. FLARM er et udbredt system, både i Danmark og udlandet. FLARM er ikke et system udviklet til behovsstyring og det er heller ikke testet om systemet vil kunne bruges selvstændigt. FLARM kan installeres som supplement til et behovsstyringssystem med transponder.

Selvbetjening er en løsning, hvor der tændes manuelt for lyst, når et luftfartøj nærmer sig vindmøller. Systemet er kun udbredt i begrænset omfang, når det gælder flyvepladser og systemet benyttes for nuværende ikke til behovsstyring af hindringslys på vindmøller.

Ændring af vinkel af lys og lysintensitet handler om, at lys uden for angivne vertikale vinkler kan "blokeres" uden at bryde reglerne. Det muliggør, at nedadrettet lys, der generer nærmiljøet, i et vidst omfang kan blokeres.



Tekniske specifikationer

En række tekniske specifikationer skal være på plads, før behovsstyring af hindringslys på vindmøller, og eventuelt andre luftfartshindringer, kan benyttes. Andre luftfartshindringer, som f.eks. master og skorstene, har dog også andre problemstillinger i forbindelse med afmærkning og behovsstyring, hvilket ikke er berørt i denne rapport. Behovsstyring af disse skal derfor behandles særskilt.

Ovenstående afsnit om tekniske muligheder beskrev en række forskellige systemer, der muliggør brugen af behovsstyring til deaktivering af hindringslys på vindmøller. De forskellige løsninger varierer i forhold til teknologimodenhed, indvirkning på luftrumsbrugere, omkostninger, sikkerhed, samt mitigerende tiltag nødvendig for at opretholde luftfartsikkerheden. Afsnittet beskrev kun allerede eksisterende tekniske løsninger. Det er sandsynligt at nye tekniske løsninger til brug af behovsstyring af hindringslys vil blive udviklet i fremtiden. Det er derfor centralt, at tekniske specifikationer i forbindelse med brugen af behovsstyring er teknologineutrale, så et hvert system som lever op til kravene, kan benyttes til behovsstyring af hindringslys på vindmøller. Dette er dog ikke ensbetydende med, at de jævnfør eventuelle danske regler må benyttes til behovsstyring.

De tekniske specifikationer tager udgangspunkt i vindmøller med en højde på over 150 meter, da disse markeres med blinkende hindringslys om natten. Brugen af behovsstyring medfører ikke, at slukket hindringslys er en standard, men at behovsstyring er en mulighed til deaktivering af hindringslys.

Generelle specifikationer

1. Brugen af behovsstyring skal kun finde sted i nattetimerne (fra solnedgang til solopgang)

Det skal være muligt at benytte et behovsstyringssystem til at deaktivere af hindringslys på vindmøller, når det er luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt.

Behovsstyring må kun benyttes i nattetimer, da Forsvaret kræver, at hindringslys er tændt om dagen. Desuden er det primært lysglimt om natten, der generer borgere i lokalområdet og færrest luftrumsbrugere påvirkes af behovsstyring om natten.

Der er ikke krav om, at et bestemt system skal vælges til behovsstyring, men systemet skal leve op til de tekniske specifikationer stillet og skal godkendes af den nationale luftfartsmyndighed.

2. Det er ikke tilladt at benytte behovsstyring uden godkendelse fra den nationale luftfartsmyndighed

Brugen af behovsstyring til deaktivering af hindringslys på luftfarthindringer har betydning for luftfartsikkerheden. Derfor er en tilladelse fra den nationale luftfartsmyndighed om brugen af behovsstyring nødvendigt. Det er først, når man har fået tilladelse, at behovsstyring må benyttes. Den nationale luftfartsmyndighed skal vurdere ansøgningen ud fra et luftfartssikkerhedsmæssigt perspektiv i forhold til om behovsstyring kan bruges sikkert.

3. Luftfartshindringen skal udstyres med fast, lavintensivt rødt lys

Hindringslys på luftfartshindringer har grundlæggende til formål at fremhæve en hindring, så en pilot i et luftfartøj i tilstrækkelig tid kan foretage nødvendig manøvrering for at undgå kollision med luftfartshindringer. Hindringslys på luftfartshindringer er således



ufravigelige på grund af luftfartsikkerheden. Det betyder også, at ændringer i brugen af hindringslys på luftfartshindringer har stor betydning for brugerne af luftrummet og luftfartssikkerheden.

Fast, lavintensivt rødt lys vil fortsat være tændt efter ønske fra Forsvaret. Det gælder bl.a., at radarer ikke nødvendigvis kan detektere nogle af Forsvarets kampfly, hvis de enten har en lille RCS eller ikke flyver med transponder. Der er derfor behov for lys, som kan fungere som last line of defence og advare mod en potentiel fare.

Det betyder, at brugen af behovsstyring ikke fuldstændigt slukker for hindringslyset på vindmøllen, men kraftigt reducere mængden af lys tændt. Rødt lys er blødere for øjnene end hvidt lys. Desuden har fast, lavintensivt rødt lys en meget lav candela, som ikke kan ses fra lang afstand.⁸⁸

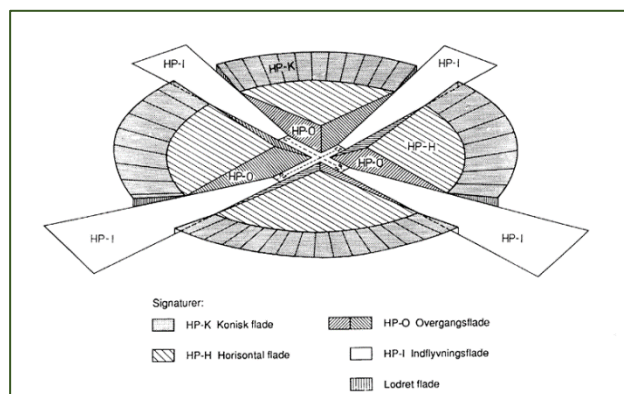
Fastholdelsen af fast, lavintensivt rødt lys på vindmøller nødvendiggør ikke brugen af infrarødt lys.

Det faste, lavintensive røde lys skal være synlig fra alle sider, hvilket gør det lettere for piloter at adskille lyset fra andre jordbaserede lys. Det betyder, at piloter vil kunne detektere en luftfartshindring, når behovsstyrings benyttes.

4. Behovsstyringssystemets advarselszone skal ligge uden for en flyveplads' hindringsbegrænsede flade (indflyvningsflade, udflyvningsflade, indre horisontale flade og koniske flade jf. ICAO Annex 14, vol. I, kap. 4).

Behovsstyringssystemets advarselszone skal ligge uden for de hindringsbegrænsede flader omkring en flyveplads. Det gælder en flyveplads' indflyvningsflade, udflyvningsflade, indre horisontale flade og koniske flade.

Hindringsbegrænsede flader eksisterer enten i forlængelse af en bane eller som hindringsbegrænsede flader tæt på en flyveplads. Inden for disse flader flyver luftfartøjer af natur i en lav højde enten på grund af start eller landing. Hindringslys er et vigtigt navigationselement i disse områder.



Figur 15 Hindringsbegrænsede flader (Trafikstyrelsen)

Luftfartstrafikken er i disse områder høj, hvis ikke konstant, hvorfor brugen af behovsstyring af hindringslysene på vindmøller i nærheden vil betyde, at lyset kan være mere tændt end slukket og gøre belysningen mere irregulær i forhold til den nuværende

⁸⁸ Se tabel 6, side 21.



situation, hvor lysene blinker med en bestemt frekvens. Det vurderes, at behovsstyring af hindringslys på vindmøller i disse områder i stedet vil skabe gener for lokale borgere på grund af mere irregulær belysning.

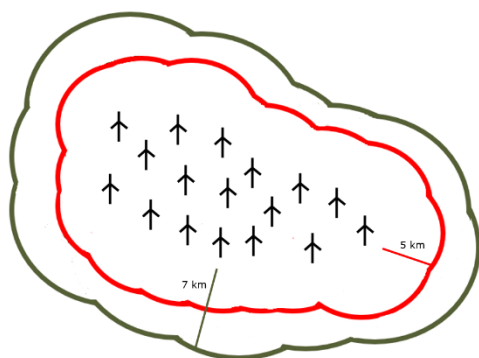


Figur 16 Hindringsbegrænsede flader ved Københavns Lufthavn

5. Behovsstyringssystemet skal mindst indeholde:

- En radardækningszone, som er hele det areal radaren dækker.
- En detektionszone, som kan detektere luftfartøjer mindst 7 kilometer fra vindmøllerne i en vertikal højde mellem 300 fod over jorden og 2000 fod over luftfartshindring
- en advarselszone, som kan detektere luftfartøjer mindst 5 kilometer fra vindmøllerne i en vertikal højde mellem 300 fod over jorden og 2000 fod over luftfartshindring

For at kunne benytte behovsstyring til deaktivering af hindringslys, er der behov for at etablere en zone rundt om vindmølleparken, hvor hindringslys tændes, hvis et luftfartøj detekteres. Derfor skal ethvert behovsstyringssystem have en radardækningszone, en detektionszone og en advarselszone.



Figur 17 Visualisering af afstandszone

Radardækningszone er den yderste zone, og er hele det areal, som radaren dækker. Detektionszonen er den zone, hvor behovsstyringssystemet skal tracke luftfartøjer, hvis disse flyver ind i detektionszonen. Detektionszonen fungerer som en bufferzone for at



sikre, at radaren har etableret en stabil sporing af luftfartøjet, før det flyver ind i advarselszonen. Advarselszonen er den inderste zone og dækker arealet med vindmøller samt en defineret sikkerhedsafstand. Når luftfartøjer detekteres i advarselszonen, tændes hindringslyset.

Detektionszonen er større end advarselszonen og skal være mindst 7 kilometer i radius. Der er ikke nogen maksimumstørrelse på detektionszonen, så længe at systemet fungerer korrekt. Det gør det muligt, at et behovsstyringssystem kan dække flere vindmølleparker.

Afstanden mellem advarselszonen og luftfartshindringen er meget vigtig, da denne afstand sikrer, at piloter har den nødvendige tid til at observere hindringslys og dermed udføre de nødvendige manøvrer i tide.

Afstandene baserer sig på gældende minimumskrav for sigtbarhed for VFR-flyvninger. Denne er på 5 km. Det er yderligere nødvendigt at have luftrumsbrugernes reaktionstid og hastighed for øje. Flyvehastighed består både af flyets egen hastighed tillagt evt. medvind og er ofte flere hundrede kilometer i timen. Ved en afstand på 5 km vil der med en flyvehastighed på f.eks. 300 knob være ca. 31 sekunder til kollision med vindmøllen, såfremt der ikke undviges i tide. I den korte periode skal systemet detektere, at et fly er på vej, lyset skal tændes og piloten skal erkende, at der er et lys og dermed en forhindring, samt træffe en beslutning om hvordan forhindringen undviges – enten ved at ændre flyvekursen så der flyves udenom vindmøllerne eller ved at øge flyvehøjden, så vindmøllerne kan overflyves.

Behovsstyringssystemet skal kunne detektere luftfartøjer i højde mellem 300 fod over jorden og 2000 fod over luftfartshindringen. Højden på 300 fod er lavere end minima kriterium for FL i mørke. Højdebegrænsningen på 2000 fod er sat på baggrund af, at behovsstyringssystemet er for luftfartøjer, der flyver VFR i relativ lav højde.

6. Behovsstyringssystemet skal kunne detektere mindst 50 luftfartøjer eller flere, hvis luftfartsmyndigheden finder det relevant, i detektionszonen på samme tid

Behovsstyringssystemet skal kunne detektere mindst 50 luftfartøjer i detektionszonen på samme tid. Det sikrer, at systemet under alle omstændigheder er i stand til effektivt at overvåge detekterede luftfartøjer og at disse ikke forsvinder på grund af mangel på systemets kapacitet. 50 luftfartøjer er minimumskrav og der er ikke krav om et maksimum, da antallet af luftfartøjer i luftrummet vil være begrænset som følge af risiko for kollisioner mellem luftfartøjer.

7. Hindringslys på vindmøller kan deaktiveres, når behovsstyringssystemet:

- a. Aktivt kan bekræfte, at der ikke forefindes relevante luftfartøjer i advarselszonen
- b. Behovsstyringssystemets integritet er garanteret

Alle luftfartøjer, der udfører flyvninger i henhold til nat-VFR er relevante fly. Når et behovsstyringssystem aktivt kan bekræfte, at der ikke er luftfartøjer i nærheden af vindmølle, kan hindringslysene deaktiveres. Flere forskellige behovsstyringssystemer, som f.eks. radar eller transponder, kan benyttes til deaktivering af hindringslys.

Behovsstyringssystemets integritet garanteres ved kontinuerlig selvdiagnostisering og fail-safe tiltag.

8. Hvis behovsstyringssystemet detekterer et luftfartøj i advarselszonen, skal hindringslysene tændes.



- a. Hindringslysene er tændt mindst 1 minut efter et luftfartøj har forladt advarselszonen igen

Hindringslyset på vindmølle skal tændes, når behovsstyringssystemet detekterer et luftfartøj i advarselszonen. Tændingen af hindringslyset skal automatisk og med det samme.

Hindringslyset skal være tændt i en tidsperiode efter, at et luftfartøj har forladt advarselszonen igen. Det indikerer luftfartshindringen og skal sikre, at piloten kan navigere væk fra hindringslyset. Tidsperioden er sat til mindst 1 minut som følge af den gennemsnitlige hastighed af luftfartøj.

9. Hvis behovsstyringssystemet mister signalet af et luftfartøj i advarselszonen på grund af en ukendt årsag, skal lyset være tændt i mindst 5 minutter

Hvis behovsstyringssystemet mister signalet af luftfartøj, som det tidligere har sporet, på grund af ukendte faktorer, skal lyset på hindringslyset tændes i mindst 5 minutter. Det er for at sikre, at en pilot har blevet advaret om en luftfartshindring i området.

10. Strømforsyningen til behovsstyringssystemet skal monitoreres

Behovsstyringssystemet skal have en strømforsyning for at fungere korrekt. Gennem kontinuerlig monitorering er behovsstyringssystemets integritet garanteret. Systemets software skal generere regelmæssigt testsignal og når sådan et testsignal ikke kan genereres, skal fail-safe systemet aktiveres og hindringslyset kan derved ikke deaktiveres. Det er derfor nødvendigt med en nødstrømsforsyning.

11. Behovsstyringssystemet skal udføre en selvdiagnose af systemets integritet mindst én gang hver 24. time.

Der kan være situationer, hvor der er perioder af tid, hvor der ikke vil være luftfartøjer i detektionszonen. Det kan f.eks. være i områder, hvor der er lav luftfartstrafik eller en vejr-situation, der umuliggør VFR-flyvning. Det kan medføre perioder, hvor behovsstyringssystemet ikke vil blive aktiveret. For at sikre systemets integritet og korrekte funktion, er der derfor behov for, at behovsstyringssystemet udfører en selvdiagnose mindst én gang hver 24. time. Selv-diagnose mindst én gang hver 24. time sikrer at defekter eller fejl i systemet bliver detekteret inden for en rimelig tidsramme.

12. Når behovsstyringssystemet detekterer en defekt, fejl eller funktionsfejl i et system eller komponent, skal hindringslysene være tændt.

Behovsstyringssystemet skal være indbygget med et fail-safe system. Det vil sige, at når systemet detekterer en defekt, fejl eller funktionsfejl i et system eller komponent, tændes hindringslysene automatisk og med det samme. Det sikrer, at hindringslysene altid er synlige for piloter. Kun når det er demonstreret at behovsstyringssystemet igen fungerer korrekt, kan hindringslyset igen deaktiveres.

13. Behovsstyringssystemet skal kunne deaktiveres eksternt, når nødvendigt.

Det er nødvendigt, at behovsstyringssystemet kan deaktiveres eksternt, når nødvendigt. Det skyldes, at der kan være situationer, hvor Forsvaret har behov for at hindringslysene er tændt, f.eks. i forbindelse med træning eller operationelle opgaver, eller i nødsituationer.



14. I forbindelse med stk. 14, skal der etableres et fælles aktiveringssystem, der muliggør en ekstern deaktivering af behovsstyring på alle vindmøller eller vindmøller i et område, der benytter behovsstyring

Forsvaret kræver i forbindelse med brugen af behovsstyring i Danmark, at der etableres et fælles aktiveringssystem for vindmøller med behovsstyring. På den måde kan Forsvaret have en indgang til deaktiveringen af behovsstyringen, så hindringslyset på vindmøllerne tændes på flere vindmølleparker efter behov.

Naviair har ikke en funktion, der kan udsende transponder-signaler, som muliggør en fælles aktivering af SSR-radarer. Derfor skal der etableres et system ved behovsstyringssystemet/vindmøllerne, som er døgnmandet, hvor Forsvaret kan kontakte personalet. Designet af dette system skal dog undersøges nærmere i forbindelse med regeludarbejdelsen.

15. Den nationale luftfartsmyndighed kan give tilladelse til brugen af behovsstyring, hvis vindmølleoperatør kan demonstrere den korrekte funktion af følgende systemfunktioner:

- a. En kontrol af alle systemkomponenter
- b. Detektion af fly
- c. Selvdiagnose, der løbende kontrollerer systemets integritet
- d. Registrering af systemstatus, herunder signaler fra detektorer, aktiveringskommandoer, status for kommunikationssystemer, status for kommunikationssystemer, status for kontrolenheden og status for hindringslys i en periode på 30 dage
- e. Interface til styring af lysanlæg

Det er nødvendigt, at vindmølleoperatøren kan demonstrere over for den nationale luftfartsmyndighed, at behovsstyringssystemet fungerer, som det skal.

16. En ansøgning om brugen af behovsstyring skal mindst indeholde følgende informationer:

- a. En beskrivelse af placering, koordinater, maksimale højde, diagrammer og type af vindmøller
- b. Beskrivelse af behovsstyringssystem, herunder relevant dokumentation for systemkvalitet
- c. Placering og koordinator for behovsstyringssystemet, herunder søkort, rækkevidde, detektionszone og advarselszone
- d. Om nødvendigt aeronautiske undersøgelser, jf. stk. 5
- e. Validering, herunder flyvetest, der viser at systemet registrerer fly i detektions- og advarselszonen korrekt og at hindringslyset er tændt, når et luftfartøj er i advarselszonen
 - i. Flyvetest skal mindst indeholde flyvemønstre i flere højder og retninger 360° grader rundt om vindmølle for at sikre den korrekte funktion af behovsstyringssystemet
- f. Beskrivelse af "fail safe" foranstaltninger i behovsstyringssystemet
- g. Omtale af vindmølleoperatør og den person, der er ansvarlig for brugen af behovsstyringssystemet
- h. Beskrivelse af styring, inspektion og vedligeholdelse af behovsstyringssystemet
- i. Erklæring om at detektionsdata kun vil blive brugt til brugen af behovsstyringssystemet.



Det er nødvendigt at vindmølleoperatøren fremsender den relevante information til den nationale luftfartsmyndighed, så denne kan vurdere lokation for brugen af behovsstyringssystemet og systemet, samt fail-safe foranstaltninger. På den måde kan luftfartsmyndigheden sikre, at luftfartsikkerheden ikke kompromitteres ved brug af behovsstyring.

17. Udover oplysninger fremsendt under stk. 16, skal vindmølleoperatør i ansøgning yderligere vedlægges information om:

- a. Vurdering af forstyrrelser på radaren i behovsstyringssystemet af en uafhængig ekspert
- b. Hensigtsbrev fra Trafikstyrelsen eller Styrelsen for dataforsyning og infrastruktur om at give tilladelse til brug af en frekvens til behovsstyringssystemet

Radaren er den elementære del af behovsstyring med radar. Det er derfor nødvendigt, at der foretages en vurdering af hindringer i det nærliggende område, som kan have betydning for radarens dækning. Det skyldes, at hindringer kan føre til blinde vinkler i radarsystemet, hvilket vil medføre, at behovsstyringssystemet ikke fungerer optimalt. Det skal bl.a. undersøges hvorvidt signaler fra radaren ikke interfererer med andre transmitterende installationer.

Da et radarsystem beror på transmitterede signaler på bestemte frekvenser, er det nødvendigt, at den nødvendige kapacitet er tilgængelig. Vindmølleoperatøren skal således udover stk. 17 fremsende hensigtsbrev om tilladelse til brug af frekvens til behovsstyringssystem eller selve tilladelsen.

Hvis man ønsker at benytte en primær radar, skal man have en frekvenstilladelse fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur. Hvis man ønsker at benytte en sekundær radar, skal man have en frekvenstilladelse fra Trafikstyrelsen.

18. Vindmølleoperatør skal monitorere det omkringliggende område rundt om vindmølle for udvikling som kan påvirke systemet detektionsevner

Det er nødvendigt, at vindmølleoperatøren monitorerer området omkring behovsstyringssystemet for at sikre systemets fortsatte funktion. Det skyldes, at tilladelsen fra den nationale luftfartsmyndighed beror sig på, at behovsstyringssystemet fungerer efter hensigten. Udvikling i det omkringliggende område, f.eks. nye luftfartshindringer, kan have negativ indvirkning på systemets funktionalitet. Det er særligt relevant for et radarbaseret behovsstyringssystem.

19. Vindmølleoperatør skal sikre den korrekte funktion af behovsstyringssystemet uagtet ændringer i landskabet rundt om vindmølle

Når en vindmølleoperatør bliver bekendt med ændringer i det omkringliggende landskab, skal vindmølleoperatøren foretage foranstaltninger, der enten forhindre eller mitigerer indvirkningen af udviklingen på behovsstyringssystemet.

Hvis vindmølleoperatør er usikker på indvirkningen af udvikling på behovsstyringssystemet, skal vindmølleoperatøren demonstrere, at systemet fortsat fungerer efter hensigten og er i overensstemmelse med tilladelsen fra den nationale luftfartsmyndighed. I værste tilfælde, hvor luftfartsikkerheden kompromitteres, kan det være nødvendigt, at brugen af behovsstyringssystemet stoppes.



20. Behovsstyringssystemet skal indeholde en log med detektionsdata, aktivering og systemstatus for de sidste 12 måneder.

Et behovsstyringssystem indeholder kompleks software, der kontrollerer alle systemets funktioner. En del af dette system er en hukommelsesfunktion, der gemmer hvad systemet har gjort i fortiden og hvordan systemet har fungeret. Det er nødvendigt, at behovsstyringssystemet logger all data og gemmer dette i systemet, således kan benyttes senere hen.

21. Periodisk inspektion af behovsstyringssystemet skal udføres i henhold til producents eller leverandørens instruktioner for at sikre, at systemet er i pålidelig stand.

Vindmøller er komplekse installationer og systemer, hvilket kræver regulære inspektioner. Det er derfor nødvendigt, at vindmølleoperatøren udfører periodiske inspektioner ud fra den vejledning, der er modtaget fra behovsstyringssystemets producent. På den måde sikres, at behovsstyringssystemet har en pålidelig tilstand på alle tidspunkter. Administration, inspektion og vedligeholdelse af behovsstyringssystemet dokumenteres.

22. Som en del af vedligeholdelse, vindmølleoperatøren skal inspicere behovsstyringssystemet hver 6. måned.

For at sikre behovsstyringssystemets kontinuerlige funktionalitet, skal vindmølleoperatøren inspicere systemet hver 6. måned.

23. Rapporter om inspektioner jf. punkt 21 og 22 skal sendes til den nationale luftfartsmyndighed på en gang årligt. Operatøren skal gemme rapporterne i mindst 2 år.

Når vindmølleoperatøren har inspiceret behovsstyringssystemet, skal vindmølleoperatøren udarbejde rapporter om inspektion resultater. Disse skal sendes til den nationale luftfartsmyndighed

Som udgangspunkt vil alle behovsstyringssystemer kunne bruges, hvis de kan godkendes af den nationale luftfartsmyndighed. Udover de generelle specifikationer til behovsstyring, skal der foreløbigt yderligere etableres særskilte tekniske specifikationer i forhold til om et radar- eller transpondersystem benyttes.

Specifikke specifikationer for behovsstyring med radarsystem

24. Udover de generelle specifikationer, skal et behovsstyringssystem, hvis et radarbaseret system benyttes, i detektions-og advarselszone kunne detektere et luftfartøj med RCS på 1 m² og fart på mindst 500 knob.

Et behovsstyringssystem med radar detekterer objekter ud fra deres størrelse. Der findes mange forskellige typer af luftfartøjer, der flyver i forskellige hastigheder. Det er derfor nødvendigt, at behovsstyringssystemet kan detektere luftfartøjer med en RCS på 1 m². Det skal sikre, at selv de mindste luftfartøjer bliver detekteret. Samtidig skal systemet kunne detektere luftfartøjer i høj fart.

I dag eksisterer der droner med størrelse som er svarende til en RCS på 1m² eller større. Det betyder, at radaren vil kunne detektere disse. Det er derfor nødvendigt at tage stilling



til hvordan droner skal håndteres i forhold til behovsstyring, da systemet ikke skal kunne detektere dronerne.

Specifikke specifikationer for behovsstyring med SSR og transponder

25. Et transpondersystem må benyttes til behovsstyring af hindringslys, hvis følgende signaler kan detekteres:

- a. Mode A/C
- b. Mode S/ELS
- c. ADS-B
- d. ADS-L

Et behovsstyringssystem med SSR-radar og transponder, skal kunne detektere Mode A/C, Mode S, ADS-B og ADS-L.

Systemet skal kunne detektere Mode A/C, da systemet dermed tilgodeser luftfartøjer som kun benytter Mode A/C. Systemet skal yderligere detektere Mode S, da Mode S er obligatorisk i forbindelse med VFR-flyvninger.

Udover Mode A/C og Mode S, eksisterer andre systemer, der gør luftfartøjer og luftrumsbrugere elektronisk synlige. Det gælder f.eks. ADS-B og ADS-L. Systemet skal derfor også kunne detektere disse.

26. Aktiv interrogation af transponder og intervention i lufttrafikstyringssystemer på vegne af behovsstyringssystemet er ikke tilladt.

Det er ikke tilladt at behovsstyringssystemet aktivt benytter aktiv interrogation af transponder eller intervenere i lufttrafikstyringssystemer. Den nationale lufttrafikstyringsmyndighed har ingen rolle eller ansvar i forbindelse med brugen af behovsstyringssystemer og brugen af behovsstyringssystemer må ikke intervenere i lufttrafikstyringssystemer.

Udover tekniske specifikationer til behovsstyringssystemet er det nødvendigt at opstille et transponderkrav i forbindelse med nat-VFR. Det skyldes, at en sekundær radar ikke kan detektere luftfartøjer, hvis disse ikke er elektronisk synlige.

27. Luftfartøjer, som ønsker at flyve nat-VFR, skal være udstyret med en transponder.

Det er nødvendigt at stille krav om transponder for at behovsstyring med SSR og transponder kan benyttes til deaktivering af hindringslys på vindmøller. Da hindringslys om natten er det mest generende, stilles der krav om transponder i forbindelse med nat-VFR. Få luftrumsbrugere flyver om natten, så et transponderkrav til nat-VFR påvirker færreste luftrumsbrugere. Luftfartøjer skal flyve med en aktiveret transponder, hvis de har en ombord.



Anbefaling

Analysen har haft til formål at belyse, hvilke tekniske løsninger muliggør brugen af behovsstyring af hindringslys på vindmøller og under hvilke vilkår. Flere forskellige tekniske løsninger muliggør behovsstyring af hindringslys på vindmøller.

Arbejdsgruppen vurderer, at behovsstyring af hindringslys på vindmøller i Danmark for nuværende er mulig med følgende løsningsmodel:

- Behovsstyring af hindringslys på vindmøller tillades, så blinkende lys (2.000 candela) om natten slukkes.
- Behovsstyring af hindringslys på vindmøller er kun tilladt om natten.
- Fast, lavintensivt rødt lys (hhv. 10 og 32 candela) på vindmøller forbliver tændt om natten.
- Behovsstyring kan ikke benyttes inden for en flyveplads' hindringsbegrænsede flader.
- Der skal opstilles en række teknologineutrale tekniske specifikationer i forbindelse med brugen af behovsstyring, så som detektions- og advarselszone (hhv. 7 km og 5 km), fail-safe system, overvågningssystem mv.
- Til behovsstyring af hindringslys kan enten et primært radarsystem eller et system med transponder benyttes.
- Et behovsstyringssystem med sekundær radar og transponder skal kunne detektere Mode A/C, Mode S, ADS-B, og ADS-L, samt eventuelt fremtidige løsninger for elektronisk synlighed.
- Der skal etableres krav om transponder i forbindelse med VFR-flyvninger om natten i luftrumsklasse G i hele København FIR.
- Det skal være muligt at aktivere hindringslysene på vindmøllerne eksternt og der skal etableres et fælles aktiveringssystem, der gør det muligt for Forsvaret at aktivere hindringslys på vindmøller efter behov.

I de nuværende regler kan Trafikstyrelsen i særlige tilfælde dispensere fra bestemmelserne i BL 3-11 og give mulighed for at afmærke vindmøller med alternative foranstaltninger i midlertidig forsøgsvirksomhed. Arbejdsgruppen forslår med ovenstående løsningsmodel, at de nuværende regler om brug af alternative foranstaltninger om hindringslys ændres, så det er muligt at benytte et behovsstyringssystem til at deaktivere af hindringslys på vindmøller, når det er luftfartssikkerhedsmæssigt forsvarligt. Det er vigtigt at understrege, at løsningsmodellen muliggør, at behovsstyring til deaktivering af hindringslys kan blive en standard, men ikke at hindringslysene på vindmøllerne er slukket som standard. Det vil sige, at udgangspunktet for hindringslys fortsat er, at de er tændte.

Ovenstående løsningsmodel gør det muligt at deaktivere hindringslyset på vindmøller på over 150 meter, som i dag er udstyret med, blinkende rødt lys (2000 candela) om natten. Få luft-rumsbrugere vil blive påvirket af brugen af behovsstyring om natten. Det skyldes, at få luft-rumsbrugere flyver om natten.

Deaktiveringen af lavintensivt lys om natten med behovsstyring har været overvejet, men grundet ønske fra Forsvaret, har dette ikke være muligt. Fast, lavintensivt lys spiller en væsentlig rolle for flyvesikkerheden for militære flyvningen og Forsvarets piloter skal af operative hensyn kunne flyve både med og uden NVG. Derudover flyver Forsvarets kampfly ofte i høj hastighed og lav højde. Arbejdsgruppen har ikke evidens for, om lavintensive faste lys udgør en gene for lokale borgere. Samtidig bemærkes det, at andre høje luftfartshindringer som kraner og høje



bygninger også har fast lavintensivt rødt lys, der ikke vil være omfattet af en behovsstyring. Fast, lavintensivt lys (10 og 32 candela) forbliver derfor tændt om natten, som absolut "last line of defense".

Under udarbejdelsen af analysen, undersøgte arbejdsgruppen muligheden for at kortlægge de områder, hvor det vurderes sandsynligt, at Trafikstyrelsen vil kunne udstede en tilladelse til brug af behovsstyring, samt områder hvor det ikke vil kunne accepteres. Argumentet var, at en sådan oversigt vil give et bedre overblik over hvor vindmøller vil kunne opstilles og få tilladelse til behovsstyring. Arbejdsgruppen vurderer dog, at der er intet til hinder for brugen af behovsstyring på alle vindmøller i hele Danmark, på nær vindmøller inden for en flyveplads' hindringsbe-grænsede flader. Inden for disse flader flyver luftfartøjer af natur i en lav højde enten på grund af start eller landing og hindringer er et vigtigt navigationselement i disse områder. Arbejdsgruppen vurderer derfor, at det ikke er luftfartsikkerhedsmæssigt forsvarligt at benytte behovsstyring inden for disse flader. Luftfartstrafikken er desuden i disse områder meget høj, hvis ikke konstant, hvilket kan medføre gener af hindringslys, som hyppigt tændes og slukkes i et irregulært interval, hvilke kan opleves som generende for naboerne.

Det kan tænkes, at behovsstyring kan benyttes på andre luftfartshindringer end vindmøller (f.eks. telemaster og skorstene), men det ligger uden for denne analyses ramme. Dette betyder, at eventuelle udfordringer og problemstillinger vedrørende andre luftfartshindringer i forhold til behovsstyring ikke er berørt i rapporten. Vurderingen af, om behovsstyring af andre luftfartshindringer end vindmøller kan tillades, skal derfor behandles særskilt og vurderes fra sag til sag.

Arbejdsgruppen vurderer, at der for nuværende er to tekniske løsninger, der muliggør en deaktivering af hindringslys på vindmøller: primær radar og sekundær radar med transponder.

Behovsstyring med brug af en primær radar kræver ikke, at luftrumsbrugere har specifikt udstyr ombord, mens der med behovsstyring med sekundær radar og transponder skal stilles krav til luftrumsbrugere om elektronisk synlighed. Det er nødvendigt at stille krav om transponder i forbindelse med VFR-flyvninger om natten. Arbejdsgruppen foreslår i den forbindelse, at et behovsstyringssystem med SSR og transponder udover transponder-signaler, kan detektere ADS-B og ADS-L. På den måde kan systemet detektere en bred gruppe af luftrumsbrugere, der måtte flyve i døgnets mørke periode.

Et transponderkrav har en indvirkning på luftrumsbrugerne og deres adgang til luftrummet. Arbejdsgruppen vurderer dog, at et transponderkrav til nat-VFR påvirker ganske få luftrumsbrugere. Det skyldes, at det er fåtallet af luftrumsbrugere der flyver nat-VFR, som i forvejen ikke har transponder. Arbejdsgruppen vurderer, at det er maksimalt 50-100, som skal anskaffe transponder, der i dag allerede ikke har det nødvendige udstyr.

Udover ovenstående skal der opstilles en række tekniske specifikationer i forbindelse med brugen af behovsstyring, så som detektions- og advarselszone, fail-safe system, overvågningssystem mv.

Det skal være muligt eksternt at aktivere hindringslysene på vindmøllerne. Der skal desuden etableres et fælles aktiveringssystem for vindmøller med behovsstyring efter krav fra Forsvaret. På den måde kan Forsvaret have en indgang til deaktiveringen af behovsstyringen, så hindringslyset på vindmøllerne tændes på flere vindmølleparker efter behov. Dette skal aftales nærmere i forbindelse udarbejdelsen af regler.



De forskellige tekniske løsninger varierer i omkostninger i forhold til installation og drift. Omkostningen varierer også i forhold til hvor meget af omkostningen tilfalder vindmølleoperatøren og luftrumsbrugerne.

Løsningsmodellen kræver ændringer af varierende grad i eksisterende regelsæt. Det skyldes, at modellen både har indvirkning på regelsæt om afmærkning af luftfartshindringer, dansk luftrum og udstyr ombord luftfartøjer. Desuden er der behov for en implementeringsperiode, så luftrumsbrugere kan anskaffe sig det nødvendige udstyr.



Referencer

- Aaen, Sarah Bjørn, Ivar Lyhne, David Phillipp Rudolph, Helle Nedergaard Nielsen, Laura Tolnov Clausen og Julie Kirch Kirkegaard (2022). "Do demand-based obstruction lights on wind turbines increase community annoyance? Evidence from a Danish case". *Renewable Energy*, vol. 192: 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.127>
- Die Bundesregierung (2020a). *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen*. Verwaltungsvorschriften im internet. https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_24042020_LF15.htm
- Die Bundesregierung (2020b). *Anforderungen an die bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung (BNK)*. Verwaltungsvorschriften im internet. <https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/BMVI-LF15-20200424-KF-001-A006.htm>
- Die Bundesregierung (2023). *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien*. Gesetze-im-internet. https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html
- Energistyrelsen (2018). *Høringsnotat – Omø Syd Havmøllepark: Høringsnotat for offentlig høring af VVM-redegørelse for Omø Syd Havmøllepark*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/hoeringsnotat_-_omoe_syd_havmoellerpark_juli_2018.pdf
- Energistyrelsen (2019). *Høringsnotat – Jammerland Bugt havvindmøllepark: Notat vedrørende offentlig høring af miljøkonsekvensrapporten for Jammerland Bugt*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/hoeringsnotat_-_borgere_og_foreninger.pdf
- Energistyrelsen (2020). *Høringsnotat til 2. offentlig høring over miljøkonsekvensrapport for Vesterhav Nord Havvindmøllepark*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/hoeringsnotat_vesterhav_nord.pdf
- Energistyrelsen (2020). *Høringsnotat til 2. offentlig høring over miljøkonsekvensrapport for Vesterhav Syd Havvindmøllepark*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/hoeringsnotat_vesterhav_syd.pdf
- Energistyrelsen (2022). *Høringsnotat - Aflandshage Vindmøllepark (borgere og foreninger), november 2022 Notat vedrørende offentlig høring af miljøkonsekvensrapporten for Aflandshage Vindmøllepark*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/hoeringsnotat_borgere_og_foreninger_nov_2022.pdf
- Eurocontrol Guidelines (2014). *How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines Surveillance Sensors*. Version 1.2, 9. September 2014. Eurocontrol. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-guidelines-assessing-potential-impact-wind-turbines-surveillance-sensors>.
- ICAO (2021). *Aerodrome Design Manual Part 4 – Visual Aids Amendment*, Doc 9157, Fifth Edition.
- ICAO (2022). *Annex 14, Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations*, Ninth Edition, July
- ICAO (1944). *Chicago-konventionen*, doc 7300. https://www.icao.int/publications/Documents/7300_orig.pdf
- Klimaloven (2021). Bekendtgørelse af lov om klima, jf. lovbekendtgørelse nr. 2580 af 13/12/2021
- Luftfartsloven (2024). Bekendtgørelse af lov om luftfart, jf. lovbekendtgørelse nr. 118 af 31/01/24.



- Luftfartstilsynet (2024). *Forskrift om rapportering, registrering og merking av luftfartshinder*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-07-15-980>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020). *Bekendmaking wijziging Informatieblad aanduiding van windturbines en windparken op het Nederlandse vasteland*, Staatscourant nr. 31428, 16 juni 2020. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2986a99a-a4c4-471b-ad49-cf57ee154b3c/pdf>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021). *Requirements for the use of Aircraft Detection Lighting Systems on wind turbines*, version 02, 12 July 2021. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-10/Requirements-use-Aircraft-Detection-Lighting-Systems-NL-July-2022.pdf>
- Moos-Bjerre (2024). *Brugeranalyse af det nedre luftrum*. 15. marts 2024
- Pohl, Johannes, David Rudolph, Ivar Lyhne, Niels-Erik Clausen, Sara Bjørn Aaen, Gundula Hübner, Lone Kørnøv og Julie K. Kirkegaard (2021). "Annoyance of residents induced by wind turbine obstruction lights: A cross-country comparison of impact factors". *Energy Policy*, vol. 156, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112437>
- Regeringen (2023). *Finanslov for finanslovsåret 2023*. <https://fm.dk/media/27179/fl23a28.pdf>
- Regeringen (2022). *Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022 – et grønnere og sikrere Danmark*, 25. juni 2022. <https://www.regeringen.dk/media/11470/klimaaftale-om-groen-stroem-og-varme.pdf>
- Rudolph, David, Julie Kirkegaard, Ivar Lyhne, Niels-Erik Clausen og Lone Kørnøv (2017). "Spoiled darkness? Sense of place and annoyance over obstruction lights from the world's largest wind turbine test centre in Denmark", *Energy Research & Social Science*, vol. 25, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.12.024>
- SERA-forordningen, Kommissionens gennemførelsesforordning (EU) nr. 923/2012 af 26. september 2012 om fælles regler for luftrummet og operationelle bestemmelser vedrørende luftfartstjenester og -procedurer og om ændring af gennemførelsesforordning (EF) nr. 1035/2011 og forordning (EF) nr. 1265/2007, (EF) nr. 1794/2006, (EF) nr. 730/2006, (EF) nr. 1033/2006 og (EU) nr. 255/2010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX:32012R0923>
- SIG Aviation (2023). *Safety impact of wind turbines in the vicinity of aerodromes and air routes*, 23. Oktober 2023.
- Trafikstyrelsen (2010). *BL 3-10: Bestemmelser om luftfartshindringer*, den 22. januar 2010
- Trafikstyrelsen (2014). *BL 3-11: Bestemmelser om luftfartsafmærkning af vindmøller*, den 28. oktober 2014
- Trafikstyrelsen (2021). *Vejledning til BL 3-11 Bestemmelser om luftfartsafmærkning af vindmøller*, 3. udgave. juni 2021
- Transportstyrelsen (2020). *Föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten och om flyghinderanmälan*. https://transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202020_88k.pdf