

Vindkraft och hälsoproblem

Forskningsläget gällande effekter på människor
och djur av exponering för ljudföroreningar,
kemikalier och partiklar från vindkraftverk

Författare: Helen Karlsson

Under utgivning som kapitel 9 i
Magnus Henrekson (red.),
De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?
Stockholm: Samhällsförlaget

Om författaren

Helen Karlsson är sedan 2009 anställd på Region Östergötland på avdelningen för Arbets- och miljömedicin (AMM), Universitetssjukhuset, Linköping och är adjungerad som biträdande professor i miljömedicin vid Linköpings universitet. Helen Karlsson har en examen i biologi (2002) och disputerade vid Linköpings universitet med avhandlingen *Lipoproteomics* år 2007. Därefter var hon aktiv som postdoktor i projektet "Functional genomics of inborn errors and therapeutic interventions in high density lipoprotein (HDL) metabolism". Helen Karlsson blev docent i miljömedicin år 2017. Hennes forskning fokuserar på att optimera preventiva insatser vid partikel- och kemikalieexponering, vilket kan innefatta mättekniker eller biologiska exponeringsmarkörer. Dessutom genomförs studier med proteomikteknik för att identifiera möjliga exponeringsrelaterade hälsoeffekter. Helen Karlsson är representant för Linköpings universitet i Swedish Academic Consortium on Chemical Safety (SWACCS) och styrelsemedlem i Östergötlands Luftvårdsförbund samt ingår i expertpanelen på SweNanoSafe-plattformen, KI. Hon är även jordbruksutbildad och driver ett ekologiskt jordbruk med köttproduktion och hästavel.

Biträdande professor
Helen Karlsson
Institutionen för hälsa, medicin
och vård (HMV)
Linköpings universitet
581 83 Linköping
Epost: helen.m.karlsson@liu.se
Tel: +46 73-644 23 38

Innehållsförteckning

Förord	4
Sammanfattning	5
Summary in English	6
1 Bakgrund	7
2 Hälsoeffekter av partiklar och/eller kemikalier	9
3 Hälsoeffekter av ljudföroreningar	12
3.1 Ljudföroreningar och människor	12
3.2 Ljudföroreningar och djur	13
4 Ärenden hos landets arbets och miljömedicinska kliniker	16
5 Slutsatser	17
Referenser	19

Förord

Aktiv industripolitik upplever idag en global renässans – runt om i världen sker omfattande satsningar. Politiken drivs dels av den hållbarhetsagenda som pekar på behovet av omställning mot mer hållbara produktionsmetoder, dels av en många gånger uttalad önskan om att även stärka berörda regioners och nationers konkurrenskraft.

I Sverige utmärker sig framför allt de industripolitiska satsningarna i Norrland. För Sveriges vidkommande är dessa av en aldrig tidigare skådad omfattning. Omställningen av svensk stålindustri till fossilfria produktionsmetoder kommer under lång tid att få betydande konsekvenser för miljö, konkurrenskraft, ekonomi och samhället i stort. Konsekvenserna är dock högst osäkra och satsningar är behäftade med betydande ekonomiska, tekniska och sociala risker.

Inom ramen för projektet "Samhällsekonomiska effekter av att producera fossilfritt stål i norra Sverige" har Skandinaviska Policyinstitutet publicerat tre rapporter författade av ekon.dr David Sundén. Därutöver har sju studier genomförts som på olika sätt belyser dessa osäkra konsekvenser och risker.

Föreliggande studie, författad av Helen Karlsson, biträdande professor i miljömedicin vid Linköpings universitet, är en översikt av vad som enligt vetenskapen är känt gällande möjliga effekter på människor och djur till följd av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk. En forskningsöversikt rörande denna problematik är angelägen därför att en kraftig utbyggnad av vindkraften kan bli nödvändig för att säkra den planerade stålprojektens elbehov.

Forskningsöversikten har finansierats via ett ramanslag från Marianne och Marcus Wallenbergs Stiftelse till Institutet för Näringslivsforskning.

Författaren ansvarar själv för de analyser, metodval, slutsatser och rekommendationer som presenteras i rapporten.

Stockholm i februari 2024

Magnus Henrekson
Professor och projektansvarig

Sammanfattning

Till följd av klimatförändringarna sker nu ett viktigt arbete där man strävar efter att ersätta fossila bränslen med alternativa förnybara energikällor. En av dessa energikällor som även förekommer frekvent i dagens mediala debatt i Sverige är vindkraft. Sannolikt kan detta förklaras av den pågående och omfattande etableringen av landbaserad vindkraft i kombination med det tydliga budskapet att denna etablering planeras att öka väsentligt även till havs. Det tydliga förespråkandet kan även bero på okunskap om dess eventuella negativa bieffekter. Av den anledningen har i denna forskningsöversikt vetenskaplig litteratur studerats för att undersöka vad som enligt vetenskapen är känt gällande möjliga effekter på människor och djur till följd av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk.

Sökningar har skett under maj 2023 i den biomedicinska databasen PUBMED för att garantera rapporternas kvalitet. Huvudfokus har legat på rapporter från 2020 och senare.

Litteraturgenomgången visar att det finns kunskapsluckor i vetenskaplig litteratur som begränsar möjligheten att beräkna risken för exponeringsrelaterade hälsoeffekter till följd av såväl partikel- som kemikalieexponering i relation till vindkraftverksamhet.

Gällande besvär till följd av exponering för ljudföroreningar från vindkraft kan baserat på tillgänglig litteratur konstateras att människor och djur riskerar exponeringsrelaterade negativa hälsoeffekter. Dock finns behov av mer forskning rörande mätteknik samt biologiska mekanismer bakom upplevd ohälsa. Dessutom saknas fortfarande kunskap om hur djur upplever och betar sig vid exponering och då med särskild tonvikt på marin miljö.

Försiktighetsprincipen är ett redskap för att hantera risker. Även om de indikationer som finns beskrivna i vetenskapen i nuläget inte är entydiga, kan det vara läge att överväga om försiktighetsprincipen bör tillämpas givet det rådande kunskapsläget.

Summary in English

As a result of climate change, important work is being done to replace fossil fuels with alternative renewable energy sources. One of these energy sources that appears frequently in the current media debate in Sweden is wind power. This can likely be explained by the ongoing and extensive establishment of land-based wind power in combination with the clear message that wind power establishment is planned to increase significantly also at sea. However, the strong advocacy of wind power can also be due to ignorance of some of its side effects. For this reason, scientific literature has been surveyed to investigate what is known regarding potentially harmful effects on humans and animals of exposure to noise pollution, chemicals, and particles from wind turbines.

The biomedical database PUBMED was searched in May 2023 to ensure the quality of the reports. The main focus was on published research since 2020.

The literature review shows that there are knowledge gaps in the scientific literature that limit the possibility of calculating the risk of exposure-related health effects due to both particle and chemical exposure in relation to wind power activities.

With regard to problems resulting from exposure to noise pollution from wind power, the available literature shows that humans and animals risk exposure-related negative health effects. However, there is a need for more research on measurement techniques and biological mechanisms behind perceived ill health. In addition, there is still a lack of knowledge about how animals experience and behave during exposure, with particular emphasis on the marine environment.

The precautionary principle is a tool for managing risks. Although the indications described in the scientific literature are currently not conclusive, it may be appropriate to consider whether the precautionary principle should be applied given the current state of knowledge.

1 Bakgrund

Till följd av klimatförändringarna sker nu ett viktigt arbete där man strävar efter att ersätta fossila bränslen med alternativa förnybara energikällor. I det här skedet är det oerhört viktigt att man med ett tvärvetenskapligt angreppssätt studerar de nya energikällornas för- och nackdelar i relation till samhällsekonomi såväl som risk för miljö- och hälsopåverkan. Det är även viktigt att hela livscykeln hos den nya energikällan inkluderas i analysen. Tyvärr saknas idag av olika skäl vetenskapligt baserade konsekvensanalyser för flera av dessa alternativa energikällor, vilket har givit utrymme för motstridig information från olika aktörer. Detta har i sin tur resulterat i debatter i media där man använder sig av starka värdeord såsom "sant" och "falskt", vilket är synnerligen olyckligt och förvillande för dem som saknar detaljkunskaper på de specifika ämnesområdena.

En av de energikällor som förekommer frekvent i medial debatt i Sverige idag är vindkraft. Sannolikt kan detta förklaras av den pågående och omfattande etableringen av landbaserad vindkraft i kombination med det tydliga budskapet att vindkraftsetableringen planeras att öka väsentligt även till havs (Declaration of Energy Ministers 2022). Vid stora omställningar i samhället är det oundvikligt att befolkningen påverkas, vilket av naturliga skäl initierar reflektioner av olika slag. Då är det särskilt viktigt att den information som presenteras bygger på saklig grund.

Denna kunskapssammanställning kommer att fokusera på att studera vad forskningen säger i relation till de nyckelfrågor som har lyfts i media och som har ställts till våra universitet eller arbets- och miljömedicinska kliniker. Dessa är:

- Hur ska vi tolka budskapet när vindindustrin anger att låga halter av partiklar eroderar från rotorbladen under drift (Svensk Vind 2023), medan vetenskaplig litteratur beskriver problem med erosion som leder till energi/ekonomiska förluster samt höga underhållskostnader för vindkraftsbolagen?
- Finns det risk för spridning av fritt bisfenol A (BPA) alternativt epoxi/BPA-partiklar från rotorblad i drift i sådana koncentrationer att det kan påverka hälsan hos människor och djur?
- Kan per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS), som kan användas vid ytbehandling av rotorblad, erodera vid drift och därmed förekomma i koncentrationer som kan påverka hälsan hos människor och djur?
- Kan ljudföroreningar från vindkraftverk påverka livsvillkor och hälsa hos människor och djur?

Ovanstående frågor förtjänar väl underbyggda svar då dagens rotorblad till stor del innehåller epoxy och BPA (EpoxyEU 2015) samt då Europeiska myndigheten för livsmedels-säkerhet (EFSA), baserat på ny kunskap, rekommenderat en historiskt kraftig sänkning av tolerabelt dagligt intag (TDI) av bisfenol A (BPA) (EFSA 2023). Dessutom även mot bakgrund av Europeiska kemikaliemyndighetens (ECHA) nya föreslagna direktiv gällande användning av PFAS (ECHA 2023), där man förespråkar ett förbud mot användning av hela PFAS-familjen på grund av att de är långlivade och kan påverka hälsan negativt.

Däremot kommer inte möjliga hälsoeffekter i relation till återvinning, destruktion eller lagring av rotorblad att beröras här då information om hur detta i praktiken går till idag är svårtillgänglig och då processen fortfarande är under utveckling (Vestas 2023; Siemens Gamesa 2022). Dock finns en aktuell uppdatering i ämnet i två rapporter publicerade av Miljöstyrelsen i Danmark (Miljöstyrelsen 2023). I en experimentell studie har man undersökt om PFAS-ämnen och BPA kan läcka ut från rotorblad som ligger på deponi och i en studie har man beräknat mängder av kompositavfall från danska vindkraftverk samt undersökt vilka möjligheter som finns för hantering av detta avfall i Danmark och övriga närliggande EU-länder. Kort summerat konstaterar de baserat på sina resultat att det inte kan uteslutas att PFAS-ämnen och BPA kan läcka ut från rotorblad till spillvatten vid deponering, att 85–90 % av materialet i ett vindkraftverk återvinns i dag samt att hantering av kompositmaterialet är problemet som behöver lösas. De efterfrågar därför en dialog med branschen.

Möjliga effekter på ekosystemen studeras delvis här men ett nytt intressant arbete publicerat i *Nature* (Galparsoro m.fl. 2022) belyser att det finns risk för att den planerade utbyggnaden av energiproduktion från havsvind kan leda till betydande miljöpåverkan. Man understryker att studier av ekologiska risker för marina ekosystem till följd av elproduktion från vind är lägligt och viktigt både för branschen och för miljön.

2 Hälsoeffekter av partiklar och/eller kemikalier

Vid en sökning i den biomedicinska databasen PUBMED (PUBMED) finns till skillnad från ljudföroreningar, som diskuteras nedan, inga träffar på studier av hälsoeffekter på varken människor eller djur som kan härledas till exponering för partiklar eller kemikalier från vindkraftverk. Dock beskriver en översiktsartikel (Freiberg m.fl. 2018) studier av hälsoeffekter hos yrkesverksamma inom vindindustrin, vilka innefattar irritation i hud samt luftvägar till följd av exponering för främst epoxy och styrener vid sidan av ljudföroreningar och olycksrisker.

Frånvaron av rapporter i sökningen ovan var väntad då hälsoeffekter till följd av exponering för partiklar och/eller kemikalier är svårbedömda, om de inte är yrkesrelaterade, eftersom både människor och djur exponeras för en mängd olika miljöföroreningar från olika källor dagligen. Det kan även ta lång tid innan eventuell sjukdom utvecklas och då är sannolikheten stor att symptomen beror på summan av alla exponeringar, vilket ytterligare minskar möjligheten att spåra en specifik källa. Av den anledningen arbetar man preventivt i samhället genom att kontinuerligt mäta halter av ämnen i luft, jord eller vatten för att kontrollera att man inte överskrider angivna gränsvärden. Gränsvärden baseras på resultat från vetenskapliga studier och uppdateras kontinuerligt. Som exempel kan nämnas regelverket för utomhusluftens kvalitet (Naturvårdsverket 1). Det finns miljökvalitetsnormer (MKN) för kvävedioxid/kväveoxider, svaveldioxid, bly, partiklar (PM10/PM2.5), marknära ozon, bensen, kolmonoxid, arsenik, kadmium, nickel och bens(a)pyren då man vet att exponering för dessa ämnen kan leda till ökad risk för ohälsa. De flesta normerna är så kallade gränsvärdesnormer som ska följas, medan några är så kallade målsättningsnormer som ska eftersträvas. Mätningar samt moduleringar sker kontinuerligt i landets kommuner för att kunna säkerställa att miljökvalitetsnormerna inte överskrids.

Ett ytterligare viktigt initiativ där man arbetar preventivt är Sveriges handlingsplan för plast (Regeringen 2022). I Fokusområde 3 med titeln *Giftfria och cirkulära kretslopp av plast och plastprodukter* ingår punkt 3.5 *Minskad förorening av mikroplaster i miljön* där Naturvårdsverket utreder hur miljöövervakningen kan utvecklas för att också omfatta kartläggning av mikroplaster. Naturvårdsverket ska, i ett uppdrag som ska redovisas

våren 2024, redovisa metoder och kostnader för att över tid kunna få en bild och följa spridning och exponering av mikroplaster i Sverige.

Mikroplaster i miljön är ett forskningsområde som är högaktuellt. Typ av plast, storlek, samt vad plasten innehåller eller bär på sin yta har avgörande betydelse för exponeringsrelaterad hälsorisk. För den som är intresserad summerar Bajt (2021), baserat på tidigare studier, hur nedbrytning av plast i miljön kan resultera i mikroplaster som sedan kan tas upp av levande organismer. Här diskuteras även hälsorisker med att kemikalier förekommande i mikroplaster eller som sitter på mikroplasternas yta frisätts efter intag. Intressant är att frisättning av kemikalier från mikroplast i en experimentell human mag/tarm-modell nyligen har studerats (Peters m.fl. 2022). Där skriver de att baserat på detta samt andras arbete kan man dra slutsatsen att mikroplaster bör betraktas som en potentiell källa till mänsklig exponering för kemikalier som har hormonstörande effekt.

Att mikroplast kan tas upp av människor bekräftas av bland andra Leslie m.fl. (2022). De har identifierat och kvantifierat plastpartiklar i människors blod. En annan studie är Horvatits m.fl. (2022). De finner närvaro av mikroplaster i levern hos individer med skrupulever men inte hos individer med en frisk lever. Man kan dock inte dra några slutsatser om huruvida mikroplast bidragit till leversjukdom eller om leversjukdomen möjliggjort ackumulering av mikroplast.

För att kunna göra en liknande bedömning av möjliga risker med spridning av partiklar/mikroplast eller kemikalier från vindkraftverk är det helt avgörande att utforska *om* det finns en spridning och, om så är fallet, *hur* omfattande den är.

Följdfrågan blir då om det finns vetenskapliga artiklar som har gjort mätningar/moduleringar/analyser av erosionsprodukter från vindkraftverk som kan ligga till grund för bedömning av risk för ohälsa hos djur och människor?

Vid sökning i PUBMED på "microplastics wind turbines" återfanns en fallstudie som relaterar till en havsbaserad vindkraftpark i Kina (Wang m.fl. 2018). Här har man påvisat närvaro av mikroplast i ytvatten och i sediment i och utanför vindkraftsparken. De konstaterar att mikroplasthalten i parkområdet är lägre än halterna precis utanför samt att halterna utanför är högre än vad som beskrivits från andra kustområden i världen. Dessutom noteras i studien att det inte kan uteslutas att vindkraftsparken som sådan kan påverka flöden och underlätta bortförsl av partiklar. Som uppföljare studerades sedan karaktär och fördelning av mikroplast i ytsediment i thailändska havsområden med syfte att lära sig mera om miljörisker relaterade till mikroplaster i marina ekosystem (Wang m.fl. 2020).

Vid en sökning i PUBMED med sökorden "particle emissions wind turbines" kan en av fem funna artiklar relateras till vindkraftverksamhet med titeln "Elektrifiering på landsbygden med förnybara energiresurser och dess miljökonsekvensbedömning" (Kamal m.fl. 2022). Med hjälp av en genomförbarhetsanalys visar studien att det är kostnadseffektivt att använda ett hybridenergisystem vid nyetablering men det finns inga publikationer där man

praktiskt har utfört kartläggning av utsläpp som inkluderar mätningar/insamling/analys av partiklar i luft, mossor, vatten eller sediment från områden med vindkraftsverksamhet. Det kan bero på att det är utforskat men inte publicerat på grund av avsaknad av signifikanta mätresultat eller på att det faktiskt inte gjorts. Vid sökning på "chemical emissions wind turbines" får man nio träffar där forskarna i de träffar som berör vindkraft simulerar eller diskuterar reduktion av växthusgaser samt påverkan på klimatet jämfört med förbränning av fossila bränslen. De diskuterar även här hur man ska kombinera vindkraft med planerbara energikällor för att stabilisera elnätet (Keith m.fl. 2004; Baird m.fl. 2021).

Ändras sökorden i PUBMED till "erosion wind turbines" resulterar det i sex arbeten som är relaterade till vindkraftverk. Här beskrivs bland annat regnrelaterade erosionsproblem (Cortes m.fl. 2017; Ibrahim m.fl. 2020), samt i två översikter, orsaker till problem med rotorbladens hållbarhet (Mishnaevsky 2022) och atmosfäriska drivkrafter för erosion (Pryor m.fl. 2022), vilka bekräftar att erosion är ett väsentligt problem för branschen. Baserat på publikationer om erosion samt sökning på ytbehandling av rotorblad framgår att arbete pågår med att lösa erosionsproblemen genom att just ytbehandla rotorbladen eller genom att utveckla metoder för att reparera verken på plats. För information om detta får man söka i Google på "surface treatment wind turbine blades" eller "onsite reparation wind turbine blades".

Kemikalier som kan finnas i ytbehandlingsprodukter för rotorblad är bland andra PFAS-ämnen (Ameduri 2018). Vid en sökning i PUBMED på "PFAS wind turbines" får man endast Ameduri som träff relaterad till vindkraftverksamhet. Nästa omdiskuterade kemikalie är BPA som är en viktig beståndsdel i majoriteten av dagens rotorblad (EpoxyEU 2015) och vid en sökning på "Bisphenol A wind turbines" så resulterar det i två träffar. En artikel som beskriver hudbesvär vid arbete med epoxy i vindindustrin (Christiansen m.fl. 2022) samt en artikel som föreslår ett övergångsmetallkatalyserat protokoll för återvinning av polymerbyggstenen bisfenol A och intakta fibrer från epoxikompositerna som alternativ till dagens deponier (Ahrens m.fl. 2023).

3 Hälsoeffekter av ljudföroreningar

Buller är den påverkan på miljön som berör flest människor i Sverige. På kort sikt kan buller leda till bland annat koncentrationssvårigheter och sömnstörningar. På längre sikt kan risken för exempelvis hjärt- och kärlsjukdomar öka. Naturvårdsverket vägleder om hur buller utomhus bör hanteras och vid vilka ljudnivåer man bör vidta åtgärder (Naturvårdsverket 2). Verket har också tagit fram en särskild informativ och detaljerad vägledning för buller i relation till vindkraftsverksamhet (Naturvårdsverket 2020). Tyvärr har det visat sig att det förekommer att boende i närheten av vindkraftsverksamhet upplever besvär av ljudföroreningar trots att beräkningar och åtgärder gjorts för att förhindra detta. Det har man även observerat på landets arbets- och miljömedicinska kliniker där den dominerande typen av besvär som man sökt för om man bor i närheten av vindkraftsverksamhet är just besvär av ljudföroreningar.

För att få en översikt över de senaste åren gällande vad vetenskapen säger om effekter av ljudföroreningar på människor och djur i relation till vindkraft så görs här sökningarna i PUBMED.

3.1 Ljudföroreningar och människor

van Kamp m.fl. (2021) konstaterar i en forskningsöversikt att ett klart samband mellan ljud genererade av vindturbiner och hälsoeffekter inte kan påvisas, men de konstaterar samtidigt att långvarig irritation i sig kan ha betydelse för hälsan. De föreslår att om de berörda involveras tidigt i etableringsprocessen så kan oro/irritation reduceras och därmed den negativa upplevelsen av ljudföroreningarna. En ytterligare översikt (Teneler 2023) summerar arbeten mellan 2010 och 2020 och kommer i stället fram till att kunskapen om och attityden till vindkraftverk kan förvandlas till irritation och symptom om de audiovisuella effekterna av turbinerna begränsar vardagslivets aktiviteter.

Om vi tittar på experimentella studier så har Dunbar m.fl. (2022) genomfört en laboratoriestudie där en typ av EEG mätningar gjorts när försökspersoner exponerats för ljud från trafik eller vindkraftverk i sömnen. Personerna exponerades i tre minuter för tre olika ljudnivåer (33, 38 och 43 dBA). Man såg skillnader i respons på ljudpåslag där delta-, theta- och beta-aktivitet var signifikant lägre vid exponering för vindkraftsljud medan alpha-aktivitet i de lägre ljudfrekvenserna 33 och 38 dBA var signifikant högre vid expo-

nering för vindkraftsljud jämfört med trafikljud. I studien konstateras att spektralanalyser visar subtila effekter av buller på sömnen och att elektroencefalogramförändringar efter vindkraftsbuller och vägtrafikbuller varierar beroende på ljudtrycksnivåer. Dock behövs fler studier för att kunna dra slutsatser om sömnkvalitet och om det påverkar hur man fungerar dagen efter. En annan ny studie har simulerat infraljud från vindturbiner och exponerat ljudkänsliga men annars friska vuxna i 72 timmar för att studera möjliga hälsoeffekter (Marshall m.fl. 2023) men här visade inte försökspersonerna några mätbara tecken på så kallat vindturbinsyndrom (yrsel, sömnstörning, trötthet).

I ytterligare en ny studie har man studerat om stokastiskt och modulerat vindkraftsinfraljud påverkar människans mentala prestationsförmåga jämfört med stabila signaler utan modulering (Malecki m.fl. 2023). Studien fann inga signifikanta skillnader i testresultat eller i antalet rapporterade känslor och besvär efter exponering under olika exponeringsstillstånd när män och kvinnor analyserades var för sig, men efter en djupgående statistisk analys fann forskarna däremot ett signifikant samband mellan välbefinnande före exponering och rapporterade klagomål efter exponering. Ytterligare en studie som indikerar att exponerade kan uppleva besvär av lågfrekvent ljud är Chiu m.fl. (2021). Den studien finner negativa effekter på hjärtslagsvariation, vilket är en stressmarkör, hos boende nära vindkraftverksamhet.

Det finns även svensk forskning (Smith m.fl. 2020) där man gjort en laboratoriesömnstudie bland individer som bor nära vindkraftverk och bland individer som inte gör det. Här används metoderna polysomnografi, elektrokardiografi och (mätning av) salivkortisol i kombination med frågeformulär. Här visade resultaten att en enda natts vindturbinljudsexponering ((WTN) förkortade REM-sömnen men att inga effekter av WTN på andra uppmätta fysiologiska utfall kunde upptäckas, inkluderat autonom aktivering, upphetsningar, uppvaknanden, salivkortisol, sömnstartsfördröjning, sömntid eller djupsömn. Man konkluderar att amplitudmodulerad kontinuerlig WTN kan påverka självbedömd sömnkvalitet samt vissa fysiologiska aspekter av sömn. För framtiden efterfrågas liknande studier utanför laboratoriet som genomförs under en lägre tidsperiod.

3.2 Ljutföroreningar och djur

Rörande exponering för landbaserad vindkraft så har en studie av grävlingar (Agnew m.fl. 2016) baserat på hårkortisolmätningar funnit att vindturbiner orsakar kronisk stress hos de grävlingar som bor inom en radie på en kilometer jämfört med grävlingar som bor mer än tio kilometer från vindturbiner. Forskarna bedömer att effekten sannolikt är ljudrelaterad (Agnew m.fl. 2016). I en senare studie har japanska lövgrodor av hankön studerats (Park m.fl. 2022). Resultaten visar att grodor som samlats in från risfält med vindkraft uppvisade en snabbare kommunikationshastighet och högre salivkoncentration

av stresshormonet kortikosteron. Dessa grodor hade också ett sämre medfött immunförsvar än grodor i områden utan vindkraft.

I en ytterligare studie från 2022 har Gomez-Catusus m.fl. (2022) studerat hur ljud från vindturbiner påverkar vokalisering hos en hotad buskstämpstättning. Resultaten visade förändrat läte hos exponerade individer, vilket resulterat i att forskarna rekommenderar att framtida vindenergiprojekt måste innehålla finskaliga bullerbedömningar för att kvantifiera konsekvenserna av kronisk bullerexponering. Gällande effekter på fågelliv har Husby m.fl. (2022) noterat att vindkraft och högspänningsledningar får örnugglor att lämna sina territorier. Här har man dock inte kunnat skilja på bygg- och driftfas. De konkluderar att noggranna undersökningar behövs för att upptäcka eventuell förekomst av örnuggla nära alla typer av byggnadsarbeten.

Mot bakgrund av den omfattande etablering av havsbaserad vindkraft som är planerad är det intressant att ta del av vad som är känt om effekter av ljudföroreningar i marina miljöer. Mooney m.fl. (2020) utvärderar kunskapsläget gällande akustiska effekter av vindkraft till havs på fiskeresurser. De finner att det för vissa aktiviteter runt etablering av vindkraftsparkar finns en liten mängd tillgängliga data som gör det möjligt för intressenter att utvärdera effekterna för åtminstone vissa djurarter. Men data saknas fortfarande för de flesta arters populationer och livsstadier.

Vid specifika studier av hälsoeffekter har Solick m.fl. (2021) konstaterat att fladdermöss söker sig till havsbaserade turbiner, vilket innebär att kollisionsrisken kan öka. På liknande sätt har Pollock m.fl. (2021) studerat risker för olika populationer och åldersklasser av havssulor till följd av havsvindkraftsparkar i södra Nordsjön. De finner att södra Nordsjön är av särskild betydelse när det gäller de potentiella kollisionsriskerna med havsbaserade turbiner för havssulor under höstvandringsperioden varje år. En ytterligare intressant studie är av lommar i tyska Nordsjön. Man såg att utbredningen och förekomsten av lommar förändrades avsevärt från perioden före till perioden efter byggnation av havsbaserade turbiner. Tätheten av lommar reducerades avsevärt på avstånd upp till 9–12 km från turbinerna och i stället ansamlades de i stora kluster på långt avstånd från det bebyggda området (Garthe m.fl. 2023).

En ny översikt (Chahouri m.fl. 2022) tar upp ämnet marina ljudföroreningar (inklusive från vindkraft) och understryker vikten av att ta hänsyn till marina däggdjur, fiskarter och ryggradslösa djur, genom att kontrollera utvecklingen på ett hållbart sätt genom miljö- och bullerstrategier med målet att bevara marint och mänskligt liv. I ett annat arbete har man konstaterat att det finns hälso- och beteendeeffekter på vattenlevande djur vid pålning av fundament (van der Knaap m.fl. 2022). På grund av upptäckter som dessa föreslås i en översiktsartikel i stället flytande vindkraftverk för att reducera negativa effekter på marina arter och habitat (Maxwell 2022).

Genom studier av vad som händer i havet har Cresci m.fl. (2023) studerat om riktad rörelse av fisklarver till havs påverkas av lågfrekvent kontinuerligt ljud från havsbaserade vindkraftverk. Exponeringen påverkade inte rutinmässiga och maximala simhastigheter eller larvernas vändningsbeteende, men de exponerade larverna orienterade sig mot källan till lågfrekvent ljud och partikelrörelse medan kontrollarverna orienterade sig mot nordväst.

En annan intressant studie är Puig-Pons m.fl. (2021). De har studerat hur blåfenad tonfisk i bur reagerar vid exponering för driftljud från fartyg och vindkraftsparker till havs. Vid exponering för ljud från vindkraft tolkades tonfiskens rörelse som undvikande. Man konstaterar att beteendeförändringar i samband med buller är svåra att observera, särskilt i halvfria förhållanden; det presenterade tillvägagångssättet erbjöd således möjligheten att koppla mänsklig aktivitet med möjliga effekter på en given marin art, vilket gjorde det möjligt att uppnå ett mer realistiskt scenario för att bedöma effekterna av undervattensbuller på marina djur.

En ytterligare hälsoeffekt, som strikt sett ligger utanför denna kunskapssammanställning men som i likhet med effekter av ljudföroreningar är möjlig att direkt relatera till vindkraftverksamhet, är skador och död till följd av att insekter och fåglar kolliderar med verkens rotorblad. Mera om detta kan återfinnas i Choi m.fl. (2020) och Voigt (2021).

4 Ärenden hos landets arbets och miljö-medicinska kliniker

När det gäller arbetsmiljö i relation till vindkraftverksamhet så har nedanstående ärenden beskrivits av landets kliniker:

- Besvär relaterade till damm, isocyanat-exponering, buller, arbete på hög höjd, belastningsskada, vibrationsskada och annan skada.

Gällande ej yrkesrelaterade besvär i relation till vindkraftverksamhet kan följande utläsas:

- Telefonsamtal där berörda individer oroar sig för risker med partikel, kemikalie- eller bullerföroreningar.
- Konkreta ärenden där man störs av redan etablerade vindturbiner domineras av problem till följd av ljudföroreningar.

Sammanfattningsvis kan en ökning ses av främst telefonsamtal och mejl med frågeställningar som beskriver befolkningens oro inför nyetablering av vindkraftverksamhet både på land och till havs. Man efterfrågar regelverk samt redan erhållen kunskap från individer, myndigheter och vårdgivare med erfarenheter från vindkraftrelaterade verksamheter.

5 Slutsatser

Vad gäller partiklar, kemikalier och dessas hälsorisker kan inte den genomgång av den vetenskapliga medicinska litteraturen som gjorts här ge något entydigt svar. Litteraturgenomgången indikerar att erosion från turbinerna är ett problem för branschen, men den bidrar inte med information om vad eller hur mycket som eroderar, vilket innebär att bedömningen av möjliga hälsorisker blir osäker även om vissa av kemikalierna och deras negativa hälsoeffekter är kända. Detta kan och bör undersökas, förslagsvis i samarbete mellan branschen och forskare. Om branschen väger rotorbladen före och rengör och väger dem efter användning samt om besiktning utförs vid underhåll bör en uppskattning av erosionens omfattning kunna erhållas. Detta kan koordineras med insamling och analys av partiklar och kemikalieanalyser i miljöer med vindkraftverksamhet. Detta kan göras effektivt med metoder som finns etablerade hos flera av landets forskarlag.

En ytterligare fråga som behöver utredas innan eventuella hälsorisker hos människor och djur kan bedömas är vilka kemikalier som kan lakas ut både i naturen och i magtarmkanalen hos levande organismer. Vid sidan av fältstudier kan dessa försök göras på malda rotorblad i laboratorier med redan tillgänglig teknik. Att utreda dessa nyckelfrågor skulle vara till stor hjälp för branschen i det fortsatta miljö, hälso- och säkerhetsarbetet (EHS) såväl som för berörda i samhället. Då vindkraften är i en expansiv fas både när det gäller antalet verk och deras storlek finns även fördelar med att eventuella erosionsprodukter identifieras tidigt då de sedan kan ingå som markörer för vindkraftsverksamhet i befintliga eller kommande långtidsmätningar i vår yttre miljö.

Ett antal publikationer gällande ljudföroreningar från vindkraftsverksamhet i relation till människor och djur kan återfinnas i PUBMED, men genomgången lämnar många frågetecken. Baserat på den litteraturgenomgång som redovisats här finns ett flertal studier som dokumenterar ljudrelaterade besvär från vindkraftsverksamhet hos både djur och människor. Frågan är dock oerhört komplex då många faktorer såsom val av mätmetod, verkens storlek, topografi, väder, vind eller byggkonstruktion på bostaden kan påverka ljudexponeringsrelaterade upplevda effekter. Hur man som exponerad upplever ljudstörningen kan förstärkas av en känsla av hjälplöshet och påverkas av individuella skillnader i känslighet. Gemensamt för människor och djur ser ut att vara irritation och stress där vissa av djuren uppvisar ett flyktbeteende och andra stannar i habitatet med förhöjda nivåer av mätbar stress eller stressbeteenden. Drabbade människor upplever dessutom en rad olika symptom som ännu ej kan bekräftas till fullo med hjälp av de medicinska kontroller som används vid exponering för trafik- eller flygbuller.

Då vindkraft är en förhållandevis ny form av exponering för buller, partiklar och kemikalier är det viktigt att vara ödmjuk i frågan både gällande mättekniker och möjliga förklaringsmekanismer för upplevd ohälsa. Förutom mer klinisk forskning kan optimering av mätmetoder eller eventuellt nya mätmetoder för bedömning av vindkraftsrelaterade ljudföreningar vara aktuellt, särskilt för lågfrekvent ljud. Dessutom saknas fortfarande information om artspecifika exponeringsrelaterade effekter hos djur och då särskilt i marina miljöer.

Det är svårt att dra slutsatser när tillgänglig vetenskaplig information fortfarande är så begränsad. Men det går inte att undgå att fråga sig om inte risken finns att fler landlevande arter än grävlingar kan uppvisa liknande symptom av stress som beskrivits ovan vid exponering för ljud från vindturbiner? Hur kommer djuren att må i längden om de stannar i sina revir eller kommer många av dem att byta habitat? Vilka problem kan en förflyttning föra med sig för ekosystemen och djurens förmåga att finna föda eller interagera? I marina miljöer är kunskapen ytterligare begränsad men även här finns oroande tecken på potentiellt negativa effekter. Vad blir till exempel effekten av att exponerade torsklarver rör sig mot källan till lågfrekvent ljud och partikelrörelse medan ej exponerade torsklarver rör sig mot nordväst? Vad händer om torsklarvers naturliga spridningsmönster förändras? Det är även angeläget att undersöka om undvikande beteende som man tyckt sig se både på land och i havet förekommer generellt samt vad detta i förlängningen kan innebära.

Försiktighetsprincipen är ett redskap för att hantera risker. Den innebär att om en viss politik eller en viss åtgärd kan utgöra fara för allmänheten eller miljön och om forskarvärlden ännu inte är enig i frågan, bör politiken eller åtgärden inte genomföras. Försiktighetsprincipen får endast åberopas om det finns en potentiell risk och får inte användas för att motivera godtyckliga beslut (Försiktighetsprincipen 2023). Kanske borde vi fråga oss om de indikationer som finns beskrivna i vetenskapen, vilka i nuläget inte är entydiga, i kombination med den stora okunskap som vi fortfarande har är tillräckligt för att överväga att tillämpa försiktighetsprincipen tills vidare?

Referenser

- Agnew, R. C. N., Smith, V. J. & Fowkes, R. C. (2016), "Wind turbines cause chronic stress in badgers (MELES MELES) in Great Britain". *Journal of Wildlife Diseases* 52(3), 459–467. <https://doi.org/10.7589/2015-09-231>
- Ahrens, A., m.fl. (2023), "Catalytic disconnection of C-O bonds in epoxy resins and composites". *Nature*, ahead of print. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05944-6>
- Ameduri, B. (2018), "Fluoropolymers: The right material for the right applications". *Chemistry Europe* 24(71), 18830–18841. <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/chem.201802708>
- Baird, Z. S., m.fl. (2021), "Comparison of the most likely low-emission electricity production systems in Estonia". *PLoS One* 16(12), e0261780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261780>
- Bajt, O. (2021), "From plastics to microplastics and organisms". *FEBS Open Bio* 11(4), 954–966. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13120>
- Chahouri, A., Elouahmani, N. & Ouchene, H. (2022), "Recent progress in marine noise pollution: A thorough review". *Chemosphere* 291(2), 132983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132983>
- Chiu, C.-H., m.fl. (2021), "Effects of low-frequency noise from wind turbines on heart rate variability in healthy individuals". *Scientific Reports* 11(1), 17817. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97107-8>
- Choi, D. Y., Witting, T. W. & Kluever, B. M. (2020), "An evaluation of bird and bat mortality at wind turbines in the Northeastern United States". *PLoS One* 15(8), e0238034. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0238034>
- Christiansen, A. G., m.fl. (2022), "Prevalence of skin sensitization and dermatitis among epoxy-exposed workers in the wind turbine industry". *British Journal of Dermatology* 187(6), 988–996. <https://doi.org/10.1111/bjd.21830>
- Cortes, E., m.fl. (2017), "On the material characterisation of wind turbine blade coatings: The effect of interphase coating–laminate adhesion on rain erosion performance". *Materials* 10(10), 1146. <https://doi.org/10.3390/ma10101146>
- Cresci, A., m.fl. (2023), "Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae are attracted by low-frequency noise simulating that of operating offshore wind farms". *Communications Biology* 6(1), 353. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04728-y>

- Declaration of Energy Ministers (2022), https://en.kefm.dk/Media/637975454923038956/Declaration%20of%20Energy%20Ministers_310822.pdf
- Dunbar, C., m.fl. (2022), "EEG Power spectral responses to wind farm compared with road traffic noise during sleep: A laboratory study". *Journal of Sleep Research* 31(3), e13517. <https://doi.org/10.1111/jsr.13517>
- EFSA (2023), <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/bisphenol>
- EpoxyEU (2015), https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/07/epoxy_erc_bpa_whitepapers_wind-energy-2.pdf
- EU-ECHA (2023), https://echa.europa.eu/sv/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas?gclid=Cj0KCQjwwtWgBhDhARIsAEMcxeA_m9PqsaF42srxVBsBlns1Et1cmZ67vkUM-guWDAWVM6qsuY_Ng5G8aAjt_EALw_wcB
- Freiberg, A., m.fl. (2018), "Health effects of wind turbines in working environments – A scoping review". *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 44(4), 351–369. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3711>
- Försiktighetsprincipen, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM:precautionary_principle
- Galparsoro, I., m.fl. (2022), "Reviewing the ecological impacts of offshore wind farms". *NPJ Ocean Sustainability* 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s44183-022-00003-5>
- Garthe, S., m.fl. (2023), "Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern". *Scientific Reports* 13, 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- Gomez-Catasus, J., m.fl. (2022), "Wind farm noise shifts vocalizations of a threatened shrub-steppe passerine". *Environmental Pollution* 303, 119144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119144>
- Horvatits, T., m.fl. (2022), "Microplastics detected in cirrhotic liver tissue". *eBioMedicine* 82, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147>
- Husby, M. och Pearson, M. (2022), "Wind farms and powerlines have negative effects on territory occupancy in Eurasian eagle owls (*bubo bubo*).". *Animals (Basel)*, 12(9), 1089.
- Ibrahim, M. E. och Medraj, M. (2020), "Water droplet erosion of wind turbine blades: Mechanics, testing, modeling and future perspectives". *Materials* 13(1), 157. <https://doi.org/10.3390/ma13010157>
- Kamal, M., m.fl. (2022), "Rural electrification using renewable energy resources and its environmental impact assessment". *Environmental Science and Pollution Research* 29, 86562–86579. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22001-3>

- Keith, D. W., m.fl. (2004), "The influence of large-scale wind power on global climate". *PNAS* 101(46) 16115-16120. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406930101>
- Leslie, H. A., m.fl. (2022), "Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood". *Environment International* 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Malecki, P., m.fl. (2023), "Does stochastic and modulated wind turbine infrasound affect human mental performance compared to steady signals without modulation? Results of a pilot study". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(3), 2223. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032223>
- Marshall, N. S., m.fl. (2023), "The health effects of 72 hours of simulated wind turbine infrasound: A double-blind randomized crossover study in noise-sensitive, healthy adults". *Environmental Health Perspectives* 131(3), 37012. <https://doi.org/10.1289/EHP10757>
- Maxwell, S. M., m.fl. (2022), "Potential impacts of floating wind turbine technology for marine species and habitats". *Journal of Environmental Management* 307, 114577. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114577>
- Miljöstyrelsen (2023), <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2023/apr/oeget-sporbarhed-paa-haandteringen-af-affald-fra-vindmoellevinger/>
- Mishnaevsky, L. (2022), "Root causes and mechanisms of failure of wind turbine blades: Overview". *Materials* 15(9), 2959. <https://doi.org/10.3390/ma15092959>
- Mooney, T. A., Andersson, M. H., & Stanley, J. (2020), "Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources: An evolving source and varied effects across a wind farm's lifetime". *Oceanography* 33(4), 82–95. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.408>
- Naturvårdsverket 1, <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/>
- Naturvårdsverket 2, <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/buller/>
- Naturvårdsverket (2020), "Vägledning om buller från vindkraftverk". <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/vagledning/vindkraft/vagledning-om-buller-fran-vindkraftverk.pdf>
- Park, J.-K. & Do, Y. (2022), "Wind turbine noise behaviorally and physiologically changes male frogs". *Biology* 11(4), 516. <https://doi.org/10.3390/biology11040516>
- Peters, R., m.fl. (2022), "Release and intestinal translocation of chemicals associated with microplastics in an in vitro human gastrointestinal digestion model". *Microplastics and Nanoplastics* 2, 3. <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00022-y>

- Pollock, C. J., m.fl. (2021), "Risks to different populations and age classes of gannets from impacts of offshore wind farms in the southern North Sea". *Marine Environmental Research* 171, 105457. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105457>
- Pryor, S. C., m. fl. (2022), "Atmospheric drivers of wind turbine blade leading edge erosion: Review and recommendations for future research". *Energies* 15(22), 8553. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/22/8553>
- PUBMED, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Puig-Pons, V., m.fl. (2021), "Monitoring of caged bluefin tuna reactions to ship and offshore wind farm operational noises". *Sensors* 21(21), 6998. <https://doi.org/10.3390/s21216998>
- Regeringen (2022), "Sveriges handlingsplan för plast – en del av den cirkulära ekonomin". <https://www.regeringen.se/rapporter/2022/02/sveriges-handlingsplan-for-plast/>
- Siemens Gamesa (2022), "Commanding circularity: Siemens Gamesa announces RecyclableBlade for onshore wind power projects". <https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2022/09/092222-siemens-gamesa-press-release-onshore-recyclable-blade>
- Smith, M. G., m.fl. (2020), "A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: Results of the polysomnographic WiTNES study". *Sleep* 43(9), 46. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa046>
- Solick, D. I. & Newman, C. M. (2021), "Oceanic records of North American bats and implications for offshore wind energy development in the United States". *Ecology and Evolution* 11(21), 14433–14447. <https://doi.org/10.1002/ece3.8175>
- Svensk Vind (2023), <https://svenskvindenergi.org/fakta/mikroplaster-fran-vindkraftverk>
- Teneler, A. A. & Hassoy, H. (2023), "Health effects of wind turbines: A review of the literature between 2010–2020". *International Journal of Environmental Health Research* 33(2), 143–157. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2010671>
- van Kamp, I. & van den Berg, F. (2021), "Health effects related to wind turbine sound: An update". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(17), 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>
- van der Knaap, I., m.fl. (2022), "Effects of pile driving sound on local movement of free-ranging Atlantic cod in the Belgian North Sea". *Environmental Pollution* 300, 118913. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118913>
- Wang, T., m.fl. (2018), "Microplastics in a wind farm area: A case study at the Rudong offshore wind farm, Yellow Sea, China". *Marine Pollution Bulletin* 128, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.050>

- Wang, T., m.fl. (2020), "Occurrence and distribution of microplastics in surface sediments from the Gulf of Thailand". *Marine Pollution Bulletin* 152, 110916.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110916>
- Vestas (2023), "Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades".
<https://www.vestas.com/en/media/company-news/2023/vestas-unveils-circularity-solution-to-end-landfill-for-c3710818>
- Voigt, C. C. (2021), "Insect fatalities at wind turbines as biodiversity sinks". *Conservation Science and Practice* 3(5), e366. <https://doi.org/10.1111/csp2.366>