

Vägledning vid pålning till havs - bedömning och begränsning av akustisk påverkan på fisk och marina däggdjur



Tröskelvärden för akustisk påverkan, riktlinjer för undervattensbullermodellering, rekommendation av skyddsåtgärder och genomförande av kontrollprogram



Vägledning vid pålning till havs - bedömning och begränsning av akustisk påverkan på fisk och marina däggdjur

Tröskelvärden för akustisk påverkan, riktlinjer för undervattensbullermodellering, rekommendation av skyddsåtgärder och genomförande av kontrollprogram

Den här rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten. Myndigheten ansvarar för rapportens innehåll och slutsatser.

© HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN | Datum: 2025-12-15

ISBN: 978-91-89982-12-3

Omslagsfoto: Ingvar Lagenfelt/Havs- och vattenmyndigheten. Lillgrunds vindkraftpark i Öresund.

Havs- och vattenmyndigheten | Box 11 930 | 404 39 Göteborg | www.havochvatten.se

Förord

Ett stort antal vindkraftsprojekt har under de senaste åren påbörjat sina ansökningsprocesser för tillstånd och ett antal tillstånd har lämnats. Vid anläggandet av havsbaserad vindkraft utgör pålning av fundamenten en av källorna till impulsivt buller i havet. Detta buller kan medföra negativa miljökonsekvenser för de organismer som lever i havet. Denna rapport ger vägledning kring hur dessa konsekvenser ska bedömas och hur de kan begränsas med hjälp av skyddsåtgärder.

Det har i samband med det utökade antalet ansökningar identifierats ett behov av en nationell vägledning kring hur undervattensbuller ska bedömas och regleras vid prövningen. Havs- och vattenmyndigheten har därför gett Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, i uppdrag att ta fram en underlagsrapport kring akustisk påverkan från pålning. Rapporten publicerades i februari 2025 och har titeln "Beräkning av akustisk påverkan från pålning för havsbaserad vindkraft" (Andersson et al, 2025). För fördjupad information om akustiska aspekter hänvisas till den rapporten.

Undervattensbuller är en av de belastningar på havsmiljön som identifierats inom havsmiljödirektivet. Havs- och vattenmyndigheten har under 2024–2025 genom ändring av föreskrifterna HVMFS 2012:18 uppdaterat miljökvalitetsnormerna för undervattensbuller. I och med detta finns även behov av vägledning kring bedömning av påverkan på de nya miljökvalitetsnormerna.

Det finns både kontinuerligt och impulsivt undervattensbuller och dessa orsakar olika typer av effekter på miljön. Denna rapport syftar till att utgöra ett underlag för bedömningar av de akustiska effekterna på olika organismer vid pålning, som är en impulsiv bullerkälla. Rapporten anger nivåer för undervattensbuller för olika typer av påverkan på marina organismer, som bör användas i MKB:er, ansökningar och tillstånd för havsbaserad vindkraft. När det gäller nivåer för beteendepåverkan på fisk och säl finns det idag ingen tydlig konsensus i de vetenskapliga studier som genomförts. Här ger Havs- och vattenmyndigheten rekommendationer kring tröskelvärden, som ska ses som vägledande, men med reservationen att underlaget i form av vetenskaplig litteratur i vissa fall inte är entydigt. Vidare innehåller vägledningen rekommendationer kring skyddsåtgärder. Det ges även rekommendationer för kontroll i form av mätningar och modellering av spridningen av undervattensbuller vid pålning.

Läshänvisning

Målgrupper för rapporten är både verksamhetsutövare och konsulter, som arbetar med framtagandet av MKB:er och bullerutredningar samt myndigheter (länsstyrelser, mark- och miljödomstolar med flera) som hanterar ansökningar för havsbaserad vindkraft. För ökad förståelse om rapportens innehåll bör rapporten Andersson et al (2025) läsas parallellt¹.

¹ [Beräkning av akustisk påverkan från pålning för havsbaserad vindkraft](#)

Sammanfattning

Om en vindkraftspark till havs ska anläggas med fundament som kräver pålning behöver undervattensbullret beskrivas och bedömas. Arbetet behöver anpassas för att förhindra negativ akustisk påverkan på de marina djur som nyttjar området.

Den här vägledningen går i kapitel 1 igenom vad akustisk påverkan innebär för fisk, tumlare och säl. Akustisk påverkan delas in i tre kategorier: påverkan på beteende, försämrad hörsel och fysisk skada. I tabell 1 och tabell 2 specificeras tröskelvärden för akustisk påverkan fördelade på kategori och djurgrupp.

I kapitel 2 och 3 redogörs för de direktiv och rättsliga förutsättningar som gäller för undervattenbuller. Fokus ligger på Havsmiljödirektivet, som är infört i svensk lagstiftning genom HaV:s föreskrifter (HVMFS 2012:18), och de miljökvalitetsnormer som Sverige har att förhålla sig till. Miljökvalitetsnormerna syftar till att undvika att impulsivt undervattensbuller överskrider ohållbara nivåer och är viktiga för en verksamhetsutövare att förhålla sig till.

För att i förväg kunna beräkna hur undervattensbuller orsakat av pålning av fundament för en vindkraftspark till havs kommer att utbredas och påverka omgivningen krävs modelleringar. I kapitel 4 presenteras en checklista över vad som måste framgå av en sådan bullermodellerings.

I kapitel 5 redogörs för skyddsåtgärder som kan vidtas för att minska bullret från pålning. Dessa inkluderar såväl tekniska lösningar som begränsningar i tid och föreskrivande av gränsvärden. Kapitlet avslutas med en lista på de skyddsåtgärder som HaV rekommenderar.

När ett tillstånd till en vindkraftspark ges så bör tillståndet inkludera villkor för att undvika skadlig påverkan från pålningsbuller. Dessa bör specificera gränsvärden, skyddsåtgärder och kontrollprogram. Exempel på hur sådana villkor kan skrivas ges i kapitel 6. I Kapitel 7 ges rekommendationer för hur ett kontrollprogram kan utformas gällande kontrollmetod och mätmetodik.

Enligt Havsmiljödirektivet har Sverige krav på sig att årligen rapportera förekomst av impulsivt undervattensbuller i våra havsbassänger. Mer om hur detta går till och vad som önskas från enskilda verksamhetsutövare står beskrivet i kapitel 8.

Ordlista

Definitioner av följande begrepp och enheter:

- **Effekt** – Den betydelse en påverkan får på de växt- och djurarter som berörs. Effekten kan antingen uppstå direkt eller vara av mer indirekt karaktär.
 - o *Direkt effekt* kan vara hörselförsämring på grund av exponering för höga ljudnivåer eller en skrämselreaktion där djur lämnar ett område.
 - o *Indirekt effekt* kan vara stress eller nedsatt förmåga att kommunicera, att söka föda eller att skydda sig mot predation på grund av försämrad hörsel.
- **Exponering** – En individ är exponerad för en påverkan då den befinner sig så nära och under så lång tid att en effekt kan uppstå.
- **Gränsvärde** – Ett värde som inte får överskridas.
- **Kontrollvärde** – Ett värde som används i kontrollprogram för att kontrollera så att uppmätta värden, t.ex. på ett visst avstånd, inte hamnar ovanför gränsvärden.
- **L_{p,pk}** – Zero-to-Peak Sound Pressure Level; maximal ljudtrycksnivå.
- **Mätvärde** – Värde uppmätt i fält.
- **PTS** – Permanent Threshold Shift; permanent hörselförsämring.
- **Påverkan** – En tillfällig eller permanent fysisk förändring av till exempel ljud, ljus eller struktur på en plats eller en inom en region, orsakad av en mänskligt skapad verksamhet.
- **SEL_{cum}** – Sound Exposure Level, Cumulative; kumulativ ljudexponeringsnivå.
- **SEL_{ss}** – Sound Exposure Level, Single Strike; ljudexponeringsnivå, enskilda påslag.
- **SPL** – Sound Pressure Level; ljudtrycksnivå.
- **Störning** – En kort- eller långvarig, direkt eller indirekt inverkan, i form av till exempel ljud eller ljus, med biologisk effekt på individ- eller populationsnivå.
- **Tröskelvärde** – Ett värde som syftar till att avgöra när en negativ effekt på en eller flera individer kan väntas om tröskelvärdet överskrids. Tröskelvärdena definieras med olika enheter beroende på djurgrupp.
- **TTS** – Temporary Threshold Shift; tillfällig hörselförsämring.
- **VHF** – Very High-Frequency, begreppet används vid frekvensvägning för att definiera den djurgrupp (VHF cetaceans) som hör ljud med höga frekvenser bättre, t. ex. tumlare.
- **PCW** – Phocid Carnivores in Water, begreppet används vid frekvensvägning för att definiera det frekvensspann inom vilket sälar hör bäst under vatten.

Innehåll

1	Akustisk påverkan	8
1.1.1	Beteendepåverkan	8
1.1.2	Hörselpåverkan	9
1.1.3	Fysiologisk skada	9
1.1.4	Tröskelvärden för påverkan från pålning på tumlare och säl.....	11
1.1.5	Tröskelvärden för påverkan från pålning på fisk.....	11
1.2	Fisk	
1.2.1	Beteendepåverkan	13
1.2.2	Simhastighet.....	13
1.2.3	Hörselpåverkan och fysiologisk skada.....	13
1.2.4	Fiskägg och fisklarver.....	13
1.3	Tumlare.....	14
1.3.1	Beteendepåverkan	14
1.3.2	Simhastighet.....	14
1.3.3	Hörselpåverkan	14
1.4	Säl	
1.4.1	Beteendepåverkan	15
1.4.2	Simhastighet.....	15
1.4.3	Hörselpåverkan	15
2	Havsmiljöförordningen - miljö kvalitetsnormer för impulsivt buller	16
2.1	Havsmiljöförordningen.....	16
2.2	Rättsliga utgångspunkter för att följa miljö kvalitetsnormerna för havsmiljön	16
2.3	Vad utgör miljö kvalitetsnormen god miljö status; kriterium och indikator i bilaga 2 HVMFS 2012:18	17
2.4	Miljö kvalitetsnormer i bilaga 3 HVMFS 2012:18	18
2.5	Tillämpliga miljö kvalitetsnormer vid pålning	18
2.6	Bedömning av påverkan på miljö kvalitetsnormer.....	18
3	Rättsliga förutsättningar	19
3.1	Tillämpad lagstiftning	19
4	Riktlinjer för modellering av undervattensbuller.....	20
4.1	Innehåll i modellering.....	20
4.1.1	Checklista över vad som måste framgå av en bullermodellering	20
5	Skyddsåtgärder	21

5.1	Begränsa maximala bullernivåer	22
5.1.1	Anpassa teknik	22
5.1.2	Dämpning	22
5.2	Skrämmor och observation.....	23
5.3	Anpassning av plats och tid.....	23
5.4	Rekommenderade skyddsåtgärder vid pålning.....	23
6	Villkor i tillstånd, förslag på utformning	24
6.1	Villkor kring buller	24
6.2	Villkor kring skyddsåtgärder	25
6.3	Villkor kring kontrollprogram	25
7	Kontroll av undervattensbuller	26
7.1	Kontrollprogram – hur mätning av buller genomförs	26
7.1.1	Kontrollmetod – med exempel för tumlare	26
7.1.2	Mätmetodik	26
8	Rapportering av impulsivt buller	28
8.1	Krav på internationell rapportering	28

1 Akustisk påverkan

I svenska vatten förekommer ett antal marina djurarter såsom fisk, säl och tumlare, som kan störas och skadas av pålningsbuller. Även ryggradslösa djur kan påverkas negativt av pålningsbuller, men kunskapsläget är idag för lågt för att kunna föreslå några tröskelvärden med hänsyn till dessa organismer. Avgörande för om ett djur påverkas av ljud är dess förmåga att uppfatta det. Det vill säga om ljudkällans energi ligger inom de frekvensband som djuret kan höra. Vid mycket höga ljudnivåer kan skada uppkomma oavsett om ljudet ligger inom djurets hörselspektrum eller ej. Påverkan från pålningsbuller kan delas in i tre kategorier:

- Beteendepåverkan
- Hörselpåverkan
- Fysiologisk skada (här endast för fisk i olika levnadsstadier)

Tröskelvärden används för att beskriva vid vilka ljudnivåer, såsom pålningsbuller vid installation av ett fundament för vindkraft till havs, ett djur riskerar att påverkas negativt. Nedan redovisas tröskelvärdena för beteendepåverkan och hörselpåverkan på fisk, säl och tumlare samt tröskelvärdet för då fysiologisk skada för fisk samt fiskägg och fisklarver uppkommer. Tröskelvärden är hämtade från Andersson et al (2025)². För vissa tröskelvärden finns ett intervall, vilket innebär att det finns en spridning i när en viss påverkan har noterats i vetenskapliga studier. När det finns ett intervall, med ett lägre och ett högre värde, är det viktigt att i beslut eller i underlag för MKB motivera varför ett visst tröskelvärde är mer lämpligt att använda i det specifika fallet, utifrån t.ex. vilka arter som förekommer i området eller skyddsvärda områden i närheten. Havs- och vattenmyndigheten ger i rapporten rekommendationer för vilka värden som ska användas eller hur man ska tänka kring val av värde.

1.1.1 Beteendepåverkan

Om ett djur reagerar på ljud genom att till exempel lämna ett område kan det ge olika konsekvenser beroende på vilken betydelse som området har för födoupptag eller fortplantning och hur länge djuret håller sig ifrån området efter störningen. Hur ett djur reagerar och vilken effekt det får beror på fler faktorer:

- Artens hörselförmåga och hur beroende arten är av sin hörsel för t.ex. födosök och kommunikation
- Individuell variation i beteende
- Om ljudet är impulsivt eller kontinuerligt
- Hur starkt ljudet är (dess ljudnivå)
- Förekomst av befintligt bakgrundsljud
- Områdets betydelse för arten/populationen/individen

I den här vägledningen har tröskelvärdena för beteendepåverkan satts vid den nivå där en reaktion har noterats vid vetenskapliga försök. Observera att kunskapsläget om hur dessa reaktioner kan kopplas till en påverkan på populationspåverkan är mycket låg. För påverkan på

² [Beräkning av akustisk påverkan från pålning för havsbaserad vindkraft](#)

en specifik art är det lämpligt att läsa de bakomliggande studierna för att se på relevansen för ett specifikt scenario.

1.1.2 Hörselpåverkan

Negativ påverkan på hörseln, kan även kallas hörselskada eller tröskelförskjutning, brukar kategoriseras som antingen tillfällig (Temporary Threshold Shift, TTS) eller permanent (Permanent Threshold Shift, PTS).

TTS – innebär en tillfällig hörselförsämring, orsakad av exponering för intensiva eller långvariga ljud. Försämringen beror på att en övergående negativ effekt uppstår på de sensoriska hårcellerna i innerörat och/eller deras nervändar. Detta leder till att förmågan att uppfatta ljud försämras under en period och att den nedre gränsen för att uppfatta ljud flyttas upp. Ett ljud behöver alltså bli starkare för att kunna uppfattas. Detta kallas för en tröskelförskjutning och en sådan ska vara minst 6 dB för att räknas som en TTS och sker alltid inom, eller något över, det frekvensband där det bullrande ljudet var som starkast (hade mest energi). En tillfällig tröskelförskjutning går alltid tillbaka till utgångsläget förutsatt att individen får vila från ljudet. Tillbakagången kan ske inom några minuter, till timmar eller dagar efter en exponering.

PTS – innebär en permanent hörselförsämring, orsakad av exponering för intensiva eller långvariga starka ljud. Även många fall av TTS kan leda till PTS över tid. Försämringen beror på att permanenta skador uppstår i innerörat så som döda hårceller, skador på hörselns nervfibrer eller skador på andra vävnader i hörselorganet. Dessa skador leder till att förmågan att uppfatta ljud försämras permanent och att tröskeln för att uppfatta ljud blir högre. Det blir alltså svårare att uppfatta ljud. Tröskelförskjutningen sker alltid inom, eller något över, det frekvensband där det bullrande ljudet var som starkast (hade mest energi).

Både för TTS och PTS anges tröskelvärde för när detta kan ske som ett kumulativt värde av ljudexponeringsnivån (SEL_{cum}) under en viss tid, då effekten av ett enstaka påslag inte är relevant. Det kumulativa värdet baseras på alla påslag under en hel installation av ett fundament, dock max 24 timmar ($SEL_{cum,24h}$).

1.1.3 Fysiologisk skada

En fysiologisk skada (inte kopplad till hörseln) kan endast uppstå om ett djur befinner sig mycket nära en pålningsaktivitet eller en undervattensexlosion. Ett rimligt antagande är att ryggradsdjur så som säl och tumlare, och i viss mån fisk, lämnar områden med hög människoorsakad aktivitet. Dock kan tidiga utvecklingsstadier av fisk, såsom fiskägg och fisklarver, sakna möjlighet till aktiv förflyttning och riskerar därför att skadas fysiskt eller dö. Särskilt känsliga för tryckförändringar är de djur som har luftfyllda hålrum, såsom lungor, inneröron och simblåsor. Den snabba tryckförändringen får luften i hålrummen att vibrera, vilket kan skada närliggande organ eller göra så att de luftfyllda hålrummen brister.

Auditiv frekvensvägning

Olika typer av djurarter hör ljud bäst inom olika frekvensintervall. Därför kan en artspecifik eller en hörselgruppsspecifik frekvensvägning göras vid beräkning av ljudets påverkan under en bullerutredning. En frekvensvägning innebär att det intervall av frekvensspektrumet där en specifik art hör bäst kommer att väga mer, och där de hör sämre kommer att väga mindre. Genom att beräkna vägda frekvenskurvor går det dels att få en mer korrekt bild av hur ljudet kommer att påverka de arter som berörs, dels att bestämma mer relevanta tröskelvärden för buller som ska gälla för olika arter.

Funktionella hörselgrupper

Marina djurarter kan delas in i funktionella hörselgrupper baserat på inom vilka frekvensintervall de hör ljud. För fisk finns det flera olika funktionella hörselgrupper. Vilken grupp en fiskart tillhör beror t.ex. på förekomst av simblåsa och hur den är kopplad till innerörat vilket i sin tur påverkar hur känslig hörsel som arten har. För att förenkla redovisas här endast två funktionella hörselgrupper; fiskar med bra hörsel och fiskar med mycket bra hörsel, men det är bra att känna till att det finns flera grupper.

Marin djurart	Funktionell hörselgrupp	Frekvensintervall
Fisk	Fiskar med bra hörsel, ex torsk och lax	<500 Hz
	Fiskar med mycket bra hörsel, ex sill/strömming	<3000 Hz
Tumlare	Valar som hör väldigt höga frekvenser, VHF	3 kHz – 200 kHz
Säl (gråsäl, knubbsäl och vikare)	Öronlösa sälar i vatten, PCW	100 Hz – 80 kHz

För pålningsljud, som domineras av lägre frekvenser, innebär detta stora skillnader för hur torsk, säl och tumlare uppfattar ljudet och vilken effekt det kan få på respektive art. För torsk, som generellt hör just lägre frekvenser, kan det innebära att det frekvensvägda beräknade pålningsljudet fortsatt innebär en hög ljudexponeringsnivå för enkelslag jämfört med det ovägda ljudet. Däremot för säl och tumlare, som hör i högre frekvenser, kan det innebära att det frekvensvägda beräknade pålningsljudet för respektive djurart ger en något lägre ljudexponeringsnivå för enkelslag jämfört med det ovägda fallet. Exakt vilka nivåer det blir i förhållande till det ovägda ljudet beror dels på ljudets frekvensspektrum dels på vilka frekvensvägningskurvor som har använts. För ett mer specifikt exempel beräknat på en specifik puls, se Andersson et al (2025).

1.1.4 Tröskelvärden för påverkan från pålning på tumlare och säl

Ljudnivåer där tumlare och säl (gråsäl, knubbsäl och vikare) har uppvisat en beteendereaktion till påslag/buller har sammanställts i **Tabell 1**. För tumlare är ljudtrycksnivåerna (SPL) VHF-vägda, för säl är de PCW-vägda. I båda fallen är de beräknade med en integrationstid på 125 ms (millisekunder) vilket är kopplat till däggdjurs hörsel.

I tabell 1 redovisas även tröskelvärden för när en tillfällig tröskelförskjutning (TTS) och en permanent tröskelförskjutning (PTS) för tumlare och säl (gråsäl, knubbsäl och vikare) kan uppkomma. Alla ljudexponeringsnivåerna (SEL) är kumulativa för en tidsperiod om 24 timmar. För tumlare är de VHF-vägda och för säl PCW-vägda.

Havs- och vattenmyndigheten rekommenderar att tröskelvärdena i tabell 1 används vid bedömningar av akustisk påverkan på marina däggdjur från pålningsbuller. För tumlare finns det studier som påvisar en beteendereaktion till enskilda pålningslag för ljudnivåer mellan 95–115 SPL_{125ms, VHF}. Havs- och vattenmyndigheten rekommenderar att använda ett värde på samma nivå som den danska Energistyrelsen, det vill säga SPL_{125ms, VHF} 103 dB re 1 µPa.

För säl finns ett fåtal studier som påvisar en beteendereaktion till enskilda pålningslag för ljudnivåer mellan 120–138 SPL_{125ms, PCW}. Här rekommenderas att använda ett värde mittemellan det lägre och högre värdet för att beskriva beteendepåverkan, det vill säga SPL_{125ms, PCW} 129 dB re 1 µPa.

Tabell 1. Rekommenderade tröskelvärden för akustisk påverkan i form av beteendereaktion, TTS och PTS för tumlare och säl. SPL_{125ms} anger ljudtrycksnivå anpassad för däggdjur med en integrationstid på 125 milisekunder, SEL_{cum, 24h} anger kumulativ ljudexponeringsnivå för 24 timmar. VHF anger att ljudet är vägt för tumlare, PCW anger att ljudet är vägt för säl.

Tumlare	SPL _{125ms, VHF} [dB re 1 µPa]
Beteendereaktion	103
	SEL _{cum, 24h, VHF} [dB re 1 µPa ² s]
TTS	140
PTS	155
Säl	SPL _{125ms, PCW} [dB re 1 µPa]
Beteendepåverkan	129
	SEL _{cum, 24h, PCW} [dB re 1 µPa ² s]
TTS	170
PTS	185

1.1.5 Tröskelvärden för påverkan från pålning på fisk

Då olika fiskarter uppfattar ljud på olika sätt så har ett intervall av ljudnivåer där fisk har uppvisat en beteendereaktion till påslag/buller sammanställts i **Tabell 2**. Här redovisas även tröskelvärden för när en tillfällig tröskelförskjutning (TTS) samt mortalitet och skador på inre organ kan uppkomma, både för vuxna fiskar samt fiskägg och fisklarver. Ljudexponeringsnivåerna (SEL) är antingen för enskilda slag

(single strike, ss) eller kumulativa (cum) för en tidsperiod om 24 timmar. Värdena är baserade på Andersson et al (2025).

Havs- och vattenmyndigheten rekommenderar att tröskelvärdena i tabell 2 används vid bedömningar av akustisk påverkan på fisk från pålningsbuller. Vissa av tröskelvärdena för fisk anges i ett intervall. För att välja tröskelvärde och därefter bedöma påverkan på en specifik fiskart är det viktigt att också ta del av de bakomliggande studierna för att se på relevansen för ett specifikt scenario.

Ett rekommenderat tröskelvärde att utgå från för att beskriva beteendepåverkan för fisk med bra hörsel (t.ex. sill och skarpsill) är SEL_{ss} 135 dB re 1 μPa^2s . Eftersom detta är det lägre värdet i intervallet är detta ett konservativt värde. För att beskriva påverkan på lekområden eller andra känsliga områden för fisk med sämre hörsel (t.ex. torsk och lax) rekommenderas tröskelvärdet SEL_{ss} 142 dB re 1 μPa^2s .

Tabell 2. Tröskelvärdena för fisk anger ljudnivåerna för beteendeförändring, TTS, mortalitet och skador på inre organ. *Lägre* och *högre* anger lägsta och högsta värdet för ett ljudnivåintervall. För de tidiga levnadsstadierna hos fisk (ägg och larver) anges tröskelvärdena för mortalitet och skador på inre organ. Dessa anges utan intervall. $L_{p,pk}$ anger maximal ljudtrycksnivå, SEL_{ss} anger ljudexponeringsnivå för enskilda påslag, SEL_{cum} anger kumulativ ljudexponeringsnivå.

Fisk	$L_{p,pk}$ [dB re 1 μPa]		SEL_{ss} [dB re 1 μPa^2s]		SEL_{cum} [dB re 1 μPa^2s]	
	<i>Lägre</i>	<i>Högre</i>	<i>Lägre</i>	<i>Högre</i>	<i>Lägre</i>	<i>Högre</i>
Beteendepåverkan	140	161	135	157		
TTS	—	—	—	—	186	186
Mortalitet och skador på inre organ	207	213	204	217	203	219
Fiskägg och larver						
Mortalitet och skador på inre organ	217		187		207	

1.2 Fisk

I svenska vatten förekommer en stor mängd olika fiskarter med olika beteenden och behov. Detta gör det svårt att säga generellt hur fisk påverkas av undervattensbuller. Fisk delas därför ofta in i olika hörselgrupper då det både finns arter som har väldigt bra hörsel och hör ljud inom ett stort frekvensintervall och arter som har sämre hörsel och främst hör dova ljud. I Lucke et al (2024) finns en redovisning av föreslagna funktionella hörselgrupper för fisk³. Det är viktigt att ta hänsyn till just de arter som finns inom det område som berörs av en verksamhet när till exempel en MKB tas fram. Det viktigaste för att undvika långsiktiga konsekvenser på populationsnivå är att undvika

³ Lucke et al, 2024. Recommendations on bioacoustical metrics relevant for regulating exposure to anthropogenic underwater sound. J. Acoust. Soc. Am. 156 (4).

att störa under de tider som är viktiga för artens fortplantning. Lektider för fisk kan bland annat hittas genom verktyget [Lektidsportalen](#).

1.2.1 Beteendepåverkan

Bottenlevande, bentiska, fiskarter reagerar troligast med att stanna kvar och söka skydd på platsen där de befinner sig när de utsätts för pålningsbuller. Det gäller exempelvis torsk (*Gadus morhua*) och sjötunga (*Solea solea*). Medan pelagiska arter, såsom skarpsill (*Sprattus sprattus*) och makrill (*Scomber scombrus*), som simmar i den fria vattenmassan, är mer benägna att söka sig bort från området eller att ändra sitt stimbeteende⁴.

Andersson et al (2025) redovisar ett intervall av tröskelvärden som anges i tabell 2. Intervallen är baserade på en sammanställning av studier som studerat beteendepåverkan på fisk som utsatts för olika typer av impulsivt buller orsakat av människan. Tillgången på sådana studier är dock begränsad och därmed är kunskapen låg om hur påverkan på beteende ser ut. Angivna tröskelvärden ska därför ses som ett grovt mått på det intervall av ljudnivåer där man kan anta att någon form av beteendepåverkan på fisk uppkommer. Vid val av tröskelvärde bör bakomliggande studier beaktas då värdena i Tabell 2 kommer från många olika studier med olika arter och olika funktionella hörselgrupper.

1.2.2 Simhastighet

Alla fiskarter reagerar inte med att lämna ett område på grund av starka ljud, så vid en bullerutredning är det värt att både beräkna risk för hörselskada från buller på arter som simmar iväg och på arter som stannar kvar på platsen. Den simhastighet som används vid modellering behöver anpassas efter de arter som berörs.

1.2.3 Hörselpåverkan och fysiologisk skada

Vilken effekt impulsivt buller kan komma att få på en fiskindivid eller en fiskpopulation, samt vilka tröskelvärden som är relevanta att använda för att beräkna detta beror dels på hur nära fisken/populationen befinner sig ljudkällan och dels på dess förmåga att höra ljud.

Tröskelvärdet för TTS i tabell 2 är baserat på studier i laboratoriemiljö och inte på ett naturligt scenario där fisken kan lämna platsen och är därför inte helt vetenskapligt underbyggt. Tröskelvärdet kan dock användas vid pålning i ett område där en stor del av en population av fisk med mycket god hörsel befinner sig.

Termen Mortalitet och skador på inre organ innefattar inte hörselskador. Att använda tröskelvärden för denna term hanteras olika i olika länder. I tabell 2 anges de tröskelvärden som används i olika sammanhang för termen.

1.2.4 Fiskägg och fisklarver

Fiskägg och fisklarver är känsliga och har generellt en hög naturlig dödlighet. De finns bara under en begränsad del av året och oftast på platser som hyser specifika förutsättningar i form av till exempel bottenmiljö eller salthalt. Det saknas ett gediget vetenskapligt underlag på vilken effekt som ljud från pålning kan ha på fiskägg och fisklarver, men de har en låg rörlighet och förväntas

⁴ För referenser se Andersson et al (2025)

inte snabbt kunna lämna ett område med höga bullernivåer. De flesta studier är gjorda i akvarium med olika typer av ljudkällor. Störst risk för skada föreligger nära ljudkällan. Tröskelvärden för akustisk påverkan anges i tabell 2.

1.3 Tumlare

Tumlare (*Phocoena Phocoena*) är den mest förekommande valen i svenska vatten och delas här in i tre populationer: Östersjö-, Bälthavs- och Nordsjöpopulationen. De tröskelvärden för hörselspåverkan som förekommer internationellt är relaterade till påverkan på individnivå, då kopplingen till populationsnivå är svår att fastställa. För en akut hotad population, såsom Östersjöpopulationen, kan en störning på individnivå även innebära en negativ effekt på populationsnivå (Havs- och vattenmyndigheten, 2021)⁵. Tumlarens möjlighet att höra ljud från omgivningen riskerar att påverkas negativt av pålningsbuller, då pålningsbuller kan överrösta dessa ljud och göra dem svåra att urskilja⁶.

1.3.1 Beteendepåverkan

Tumlaren som har ett högt energibehov reagerar gärna med att fly från störande ljud, såsom buller från pålning, vilket på individnivå kan leda till en ökad energiförbrukning samt ett minskat födointag vid flykt. Beteendepåverkan hos tumlare från påslag har observerats på avstånd upp till 20–30 km, och baserat på flera studier där tröskelvärden för beteendepåverkan har beräknats så ligger denna ljudtrycksnivå på $SPL_{125ms, VHF}$ 95–115 dB re 1 μPa , d.v.s. vägt för VHF med en integrationstid på 125 ms⁷ (tabell 1).

Havs- och vattenmyndigheten rekommenderar att tröskelvärdet $SPL_{125ms, VHF}$ 103 dB re 1 μPa används vid bedömningar av beteendepåverkan på tumlare från pålningsbuller (tabell 1).

1.3.2 Simhastighet

Genom att använda en kumulativ exponeringsmodell (Tougaard et al, 2021a)⁸ och genom att anta en konstant simhastighet på 1,5 m/s, även om det är osannolikt att en tumlare kan simma med samma hastighet under en sammanhängande lång tid, så kan risken för TTS beräknas. Genom att använda den angivna hastigheten beräknas en tumlare ta sig 750 m på 8–8,5 min.

1.3.3 Hörselpåverkan

Tumlare hör ljud i frekvenser mellan ca 1–150 kHz. Vid 1 kHz behöver ljudtrycksnivån ligga på SPL 80–90 dB re 1 μPa ovägt för att kunna uppfattas, medan vid 100 kHz kan det vara så lågt som SPL 40–50 dB re 1 μPa ovägt. Tumlarnas egna ljud för ekolokalisering ligger mellan 110–140 kHz, och varar ca 40–50 μs och upprepas mellan 1–100 gånger per sekund.

Innerörat hos tumlare är ett väldigt känsligt organ, och är bland de första organen som kommer att påverkas av ett högt ljud. Om en hörselpåverkan ska kunna ske behöver bullret befinna sig inom det frekvensintervall som tumlaren kan höra, och störst skada orsakas inom, samt strax ovan, det intervall där det bullrande ljudet är som starkast. Pålningsbuller, som har mest energi

⁵ [Åtgärdsprogram för tumlare](#)

⁶ För referenser se Andersson et al (2025)

⁷ [Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals](#)

⁸ [Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals](#)

under 1 kHz, påverkar därmed inte tumlarnas förmåga att höra sig själva utan snarare deras förmåga att höra andra ljud än sina egna. Alltså deras förmåga att höra ljud från omgivningen. Tröskelvärden för TTS ligger på $SEL_{cum,24h,VHF}$ 140 dB re 1 μPa^2s och PTS på 155 dB re 1 μPa^2s , beräknat kumulativt för en tidsperiod på 24 timmar och vägd för VHF (tabell 1).

1.4 Säl

I svenska vatten förekommer tre arter av säl. Knubbsäl (*Phoca vitulina*) (västkusten, södra Östersjön), gråsäl (*Halichoerus grypus*) (Östersjön) och vikare (*Pusa hispida botnica*) (Bottniska viken). Sälarterna har sinsemellan liknande hörselförmåga och deras hörbarhetsområde sträcker sig mellan frekvenserna 100 Hz–80 kHz. Den lägsta ovägd ljudtrycksnivån de kan höra under vatten ligger på SPL 55–65 dB re 1 μPa i frekvensintervallet 300 Hz–40 kHz. Sälar använder själva många olika typer av ljud för att kommunicera vid situationer såsom parning och revirstrider.

1.4.1 Beteendepåverkan

När beteendepåverkan på sälarna från pålningsbuller har studerats har det noterats att de ofta reagerar med att dyka långsammare och mer ytligt samt att sälarna håller sig närmare ytan. Denna typ av påverkan har setts på upp till 20–30 km från ljudkällan⁹. De ljudtrycksnivåer där denna typ av reaktion har setts ligger mellan $SPL_{125ms,PCW}$ 120–138 dB re 1 μPa , vägd för PCW och med en integrationstid på 125 ms (Southall et al, 2019¹⁰; Tougaard 2021a¹¹) (tabell 1).

Havs- och vattenmyndigheten rekommenderar att ta ett värde mittemellan det lägre och högre värdet för att beskriva beteendepåverkan på sälarna, det vill säga $SPL_{125ms, PCW}$ 129 dB re 1 μPa .

1.4.2 Simhastighet

Genom att använda en kumulativ exponeringsmodell och genom att anta en konstant simhastighet på 1,5–1,6 m/s (Tougaard, 2021a)¹², även om det är osannolikt att en säl kan simma med samma hastighet under en sammanhängande lång tid, så kan risken för TTS beräknas. Genom att använda den hastigheten beräknas en säl ta sig 750 m på 8 min.

1.4.3 Hörselpåverkan

Sälarna riskerar både TTS och PTS om de befinner sig för nära ljudkällan för impulsivt ljud, såsom pålslag. Tröskelvärden för TTS ligger på $SEL_{cum,24h,PCW}$ 170 dB re 1 μPa^2s och PTS på 185 dB re 1 μPa^2s , beräknat kumulativt för en tidsperiod på 24 timmar och frekvensvägt för PCW (tabell 1)¹³.

⁹ För referenser se Andersson et al (2025)

¹⁰ [Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects – Aquatic Mammals](#)

¹¹ [Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals](#)

¹² [Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals](#)

¹³ För referenser se Andersson et al (2025)

2 Havsmiljöförordningen - miljökvalitetsnormer för impulsivt buller

2.1 Havsmiljöförordningen

Syftet med havsmiljödirektivet (Ramdirektiv om en marin strategi, 2008/56/EG)¹⁴ är att uppnå eller upprätthålla en god miljöstatus i Europas hav. I Sverige är Havs- och vattenmyndigheten ansvarig för arbetet med direktivet enligt havsmiljöförordningen (2010:1341). Havs- och vattenmyndigheten har i enlighet med förordningen tagit fram föreskrifter om vad som kännetecknar god miljöstatus samt miljökvalitetsnormer med indikatorer för Nordsjön och Östersjön (HVMFS 2012:18)¹⁵. Miljökvalitetsnormer är styrmedel som regleras i miljöbalken som ska se till att god miljöstatus upprätthålls eller uppnås.

Det finns miljökvalitetsnormer för kontinuerligt och impulsivt undervattensbuller. I denna rapport beskriver vi nedan de normer som gäller för impulsivt undervattensbuller.

Till den övergripande miljökvalitetsnormen god miljöstatus finns det deskriptorer med indikatorer för att fastställa vad som kännetecknar god miljöstatus inom respektive område (dessa återfinns i **bilaga 2** till HVMFS 2012:18). Vidare finns miljökvalitetsnormer med indikatorer som ska bidra till att upprätthålla god miljöstatus eller om god miljöstatus inte nås vara ett steg på vägen till att god miljöstatus kan nås (dessa finns i **bilaga 3** till HVMFS 2012:18).

Båda den övergripande normen god miljöstatus med sina indikatorer i bilaga 2 och miljökvalitetsnormerna med indikatorer i bilaga 3 är normer enligt 5 kap. 2 § första stycket 4 miljöbalken. Således ska dessa följas och en komplett MKB behöver förhålla sig till och beskriva hur verksamheten eller åtgärden påverkar och följer dessa.

2.2 Rättsliga utgångspunkter för att följa miljökvalitetsnormerna för havsmiljön

Av 5 kap. 3 § miljöbalken framgår att myndigheter och kommuner ska ansvara för att miljökvalitetsnormer följs. I förhållande till vattenförvaltningen enligt vattendirektivet har detta bland annat kommit till uttryck genom 5 kap. 4 § miljöbalken. Havsmiljönormerna är dock, såvitt framgår av lagstiftningen och förarbeten inte uttryckligen inbegripen i denna bestämmelse.

I 5 kap. 2 § 4 p miljöbalken anges att miljökvalitetsnormer ska ange de krav i övrigt på kvaliteten på miljön som följer av Sveriges medlemskap i Europeiska unionen. Samtliga havsmiljönormer är idag normer enligt denna fjärde punkt. Därmed är havsmiljönormernas tillämpning, enligt Havs- och vattenmyndighetens uppfattning, kopplad till de krav som i följer av 2 kap. miljöbalken. I syfte att följa normerna bör därför en verksamhet eller åtgärd regleras bland annat med utgångspunkt i försiktighetsprincipen och vad som är bästa möjliga teknik samt en rimlighetsavvägning enligt 2 kap.

¹⁴ [Direktiv - 2008/56 - EN - EUR-Lex](#)

¹⁵ [God miljöstatus samt miljökvalitetsnormer med indikatorer för Nordsjön och Östersjön \(HVMFS 2012:18\) - Föreskrifter - Vägledning, föreskrifter och lagar - Havs- och vattenmyndigheten](#)

Havs- och vattenmyndigheten anser att tillståndet i havsmiljön, både vad gäller det faktiska tillståndet men också det önskade tillståndet såsom det definieras av beslutade normer, kan och bör få betydelse i en prövning av verksamheter och åtgärder enligt miljöbalken.

2.3 Vad utgör miljö kvalitetsnormen god miljöstatus; kriterium och indikator i bilaga 2 HVMFS 2012:18

För att bedöma om god miljöstatus i respektive havsbassäng kan nås för deskriptorn undervattensbuller när det gäller impulsivt undervattensbuller finns följande kriterium:

D11C1: Den rumsliga fördelningen, den tidsmässiga varaktigheten och nivån av impulsiva ljudkällor från mänsklig verksamhet överskrider inte nivåer som negativt påverkar populationer av marina djur.

För detta kriterium finns följande indikator:

11.1.A: Förekomst och effekt av impulsivt undervattensljud.

För att bedöma om 11.1.A används data från övervakningsprogrammet för impulsivt undervattensbuller.

Havs- och vattenmyndigheten begär årligen in data från de myndigheter och företag som i sina verksamheter utför aktiviteter som ger upphov till impulsivt undervattensbuller. Information om typ av aktivitet, position, uppskattad källstyrka, start- och slutdatum samt förekomst av bullerdämpande åtgärder rapporteras¹⁶. Rapporteringskrav beskrivs i del 8 nedan. Bedömningen av om god miljöstatus kan nås görs idag genom att inom tumlarens livsmiljöer uppskatta andelen av bedömningsområdet som per dag och år utsätts för ljudnivåer som kan orsaka beteendeförändring hos djuren. Den påverkade andelen livsmiljöer jämförs med tröskelvärden som representerar en acceptabel störningsnivå. För att tröskelvärdet ska klaras under bedömningsperioden ska både korttidsvärdet och långtidsvärdet klaras. Verksamheter som påverkar bedömningen av aktuell indikator riskerar att bidra till och försvåra att den övergripande miljö kvalitetsnormen och målet god miljöstatus inte kan bibehållas eller nås.

Det finns två bedömningsmodeller, där den ena innehåller striktare värden. Inom Östersjötumlarens utbredningsområde tillämpas striktare tröskelvärden; där ett tydligt utbredningsområde kan definieras under perioden maj till oktober (delar av Bornholmshavet och Hanöbukten, V Gotlandshavet, och Ö Gotlandshavet).

Tröskelvärden för bedömning av god miljöstatus:

1. Korttidsvärde: En ljudnivå som anses leda till beteendeförändring överskrider inte i mer än 20 % av bedömningsområdet under någon enskild dag under bedömningsperioden. Långtidsvärde: En ljudnivå som anses leda till beteendeförändring överskrider inte i mer än 10 % av bedömningsområdet som årsmedelvärde under något år under bedömningsperioden.

¹⁶ [Impulsivt undervattensbuller - Miljöövervakning - Övervakning och uppföljning - Havs- och vattenmyndigheten](#)

2. Korttidsvärde: En ljudnivå som anses leda till beteendeförändring överskrider inte i mer än 10 % av bedömningsområdet under någon enskild dag under bedömningsperioden. Långtidsvärde: En ljudnivå som anses leda till beteendeförändring överskrider inte i mer än 5 % av bedömningsområdet som årsmedelvärde under något år under bedömningsperioden.

Läs mer i faktabladet: <https://www.havochvatten.se/planering-forvaltning-och-samverkan/havsmiljoforvaltning/bedomningen-av-havsmiljons-tillstand/faktablad-for-indikatorer/god-miljostatus/11.1a-forekomst-och-effekt-av-impulsivt-undervattensljud.html>

2.4 Miljökvalitetsnormer i bilaga 3 HVMFS 2012:18

I bilaga 3 till HVMFS 2012:18 finns miljökvalitetsnormer med indikatorer som ska syfta till att god miljöstatus kan nås. Ändringar i bilagan trädde i kraft den 1 maj 2025.

Det finns två miljökvalitetsnormer som handlar om impulsivt buller, E.2 och E.3.

E.2. Mänskliga verksamheter ska inte orsaka skadligt impulsivt ljud som kan leda till tillfällig eller permanent hörselnedsättning hos marina djur med effekt på populationsnivå. För tumlare gäller detta på individnivå. Indikatorer till miljökvalitetsnormen E.2 saknas.

E.3. Miljökvalitetsnorm: Mänskliga verksamheter ska inte orsaka impulsivt ljud som utsätter havsmiljön för bullernivåer som förhindrar att god miljöstatus kan upprätthållas eller nås. Tillhörande indikator till miljökvalitetsnormen E.3: E.3.1 Tillförsel av impulsivt undervattensljud.

2.5 Tillämpliga miljökvalitetsnormer vid pålning

Vid pålning kan det impulsiva ljudet spridas lång väg och påverka marina djur negativt. De miljökvalitetsnormer som är specificerade i HVMFS 2012:18 syftar till att det impulsiva ljudet i havet inte överskrider ohållbara nivåer samt att god miljöstatus ska nås eller upprätthållas. Påverkan på miljökvalitetsnormerna enligt både bilaga 2 och bilaga 3 samt tillhörande indikatorer är relevanta vid framtagandet av en miljökonsekvensbeskrivning för en verksamhet som inkluderar pålning i havet. Dessa är i bilaga 2: D11C1 och bilaga 3 E.2 och E3. En ansökan om tillstånd till pålning behöver därför förhålla sig till dessa miljökvalitetsnormer och indikatorer för att kunna anses komplett.

2.6 Bedömning av påverkan på miljökvalitetsnormer

Bedömningar av hur pålning kan påverka gällande miljökvalitetsnormer förutsätter att en undervattensbullermodellering genomförs och att hänsyn tas till relevanta indikatorer (se 4.1).

För att bedöma påverkan på miljökvalitetsnormen i bilaga 2, D11C1 behövs i första hand kännedom om storleken av ytan som påverkas av verksamheten. Påverkan definieras här som att tröskelvärden som leder till beteendeförändring överskrider, alternativt kan schablonvärden för effektområden angivna i 11.1A tillämpas (se faktabladet för indikatorn, länk ovan). Ytan som påverkas, som andel av havsbassängen eller utbredningsområdet, och antalet dagar aktiviteten kommer att pågå jämförs med relevanta korttids- och långtidsvärden. Det finns också ett särskilt värde (värde 2) som ska tillämpas under perioden maj till oktober i utbredningsområdet för den akut hotade Östersjöpopulationen av tumlare.

Från en verksamhetsutövers sida är det utmanande att göra bedömningen utifrån samtliga verksamheter i bedömningsområdet, vilket skulle förutsätta kännedom om alla förekommande och planerade aktiviteter. Därför utförs den samlade statusbedömningen enligt havsmiljödirektivet av Havs- och vattenmyndigheten med hjälp av den rapportering av aktiviteter som sker (se kapitel 8). En verksamhetsutövers förväntas fortfarande uppskatta sin enskilda verksamhets samlade påverkan i bedömningsområdet, genom en liknande beräkning för att försäkra att den bidrar till att miljö kvalitetsnormer följs. Denna beräkning utgör en del av miljökonsekvensbeskrivningen som myndigheter sedan använder för att göra en samlad bedömning av verksamhetens bullerpåverkan vid provning.

För att bedöma påverkan på miljö kvalitetsnorm E.2 i bilaga 3, behöver nivåerna för när tillfällig och permanent hörselnedsättning uppkommer vara kända: dessa beskrivs i avsnitt 1 för tumlare (1.3) och sälar (1.4). För fisk bör man utgå från mest ljudkänsliga arten. Se avsnitt 1.1.

Vidare bör man känna till och rapportera den teknik som avses att användas vid pålningen och vilka skyddsåtgärder som kommer tillämpas; samt redovisa effekten dessa antas ge. Eftersom miljö kvalitetsnorm E.2 relaterar till populationsnivå förutom för tumlare är det nödvändigt att ha kännedom om den aktuella populationens storlek.

Bedömning av påverkan på miljö kvalitetsnorm E.3 görs genom indikatorn E.3.1. Bedömningsmetoden är i stora delar identisk med bedömning av indikatorn 11.1A, men bedömningen görs årligen jämfört med var sjätte år för 11.1A. Vidare används effektområden och inte schablonvärden för bedömningen. För mer information om hur bedömningen görs se faktabladet:

<https://www.havochvatten.se/download/18.78d8bc481964d44692f4306d/1745404414432/e-3-1-tillforsel-av-impulsivt-undervattensljud.pdf>

3 Rättsliga förutsättningar

3.1 Tillämpad lagstiftning

För att bygga vindkraftverk i vattenområden inom sjöterritoriets gräns i havet krävs såväl tillstånd enligt miljöbalken för miljöfarlig verksamhet och vattenverksamhet samt tillstyrkan från kommunen. Tillstånd för vindkraftsetablering i vatten provas normalt av mark- och miljödomstolen. För att bygga vindkraftverk ute till havs i Sveriges ekonomiska zon krävs regeringens tillstånd enligt lagen om Sveriges ekonomiska zon. I båda fallen krävs att ansökan innehåller en miljökonsekvensbeskrivning. I båda typerna av tillstånd tillämpas bland annat 2 och 5 kap. miljöbalken varför miljö kvalitetsnormerna aktualiseras. Dessutom behövs tillstånd enligt lagen (1966:314) om kontinentalsockeln (kontinentalsockellagen) för utläggande av kablar på havsbotten.

Mer information finns här:

[Vindkraft till havs - Arbete i vatten och energiproduktion - Havs- och vattenmyndigheten](#)

4 Riktlinjer för modellering av undervattensbuller

4.1 Innehåll i modellering

I miljökonsekvensbeskrivningen behöver den påverkan som uppkommer till följd av hela vindkraftparkens uppförande och drift redovisas. Om pålning väljs som anläggsmetod behöver det ljud som detta skapar beskrivas, vilket görs med hjälp av en modellering som genomförs av undervattensakustiker. Vid modelleringen av hur undervattensbullret förväntas spridas läggs ett antal parametrar in. Informationen kan komma från litteraturen, databaser eller egna mätningar. De modelleringar som görs i ett tidigt skede inför ansökan innehåller ofta uppskattningar då flera parametrar inte är kända. Närmare konstruktionsfasen är fler detaljer kända och en mer noggrann beräkning kan genomföras. Det är därför att rekommendera att en mer detaljerad modellering genomförs i detta senare skede, för att komplettera den modellering som gjordes initialt. Detta bör göras för att kunna visa att de fastställda villkoren fortsatt kan uppfyllas med den teknik och de metoder som ska användas vid anläggande av vindkraftparken.

Vid redovisningen av scenarier för akustisk påverkan på marina djur måste alla parametrar som är nödvändiga för att förstå och verifiera beräkningarna finnas med. Underlaget ska vara tydligt med vilka osäkerheter som finns. Resultaten ska vara presenterade med rätt enheter enligt ISO 18405 och 18406 så att de kan jämföras med andra studier¹⁷.

Checklistan nedan anger vad som måste framgå av en bullermodellering och kan användas av utförare av modelleringar samt av myndigheter vid samråd för att i ett tidigt skede ange vad som måste ingå i en ansökan/MKB. Syftet med checklistan är att alla modelleringar ska innehålla samma typ av information så att resultat lättare kan tolkas och jämföras med varandra.

4.1.1 Checklista över vad som måste framgå av en bullermodellering

Ljudkällan – källmodell

- Fundament: antal, diameter, material och typ
- Slaghammare: typ och storlek, om känt
- Källmodell: ljudnivå, frekvensinnehåll och frekvensupplösning
- Framtagandet av källmodell: mätdata eller extrapolering
- Källtyp: punktkälla eller flerpunktskälla, och djup
- Operationella egenskaper: antaganden om uppstartssekvens, slagenergi, slagtakt och totalt antal slag

Ljudutbredningsberäkningar

- Ljudhastighetsprofil: olika för sommar och vinter
- Batymetri: upplösning, kvalitet och osäkerheter

¹⁷ ISO, 2017a. 18405:2017 Underwater acoustics - terminology. International Organization for Standardization.

ISO, 2017b. 18406:2017 Underwater acoustics — Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving. International Organization for Standardization.

- Sedimenttyp och dess akustiska parametrar: upplösning, kvalitet och osäkerheter
- Ljudutbredningsmodell: vilken har valts och varför
- Antal radiella transekter och deras längd (se avsnitt 7.1.2)
- Horisontell upplösning
- Statistisk parameter för ljudnivån i vattenvolymen: max och median
- Frekvensupplösning: smalband (1 Hz) och tersband (för bas 10)

Dämpning

- Föreslagna tekniker, begränsning (i djup)
- Dämpning i ljudnivå (broadband) och frekvensvägt för den dämpningsmetod som antas

Biologisk påverkan

- Arter: vilka har valts för att beskriva påverkan i området
- Frekvensspann för arterna som valts
- Auditiv frekvensvägningskurva (relaterat till de funktionella hörselgrupper som arterna räknas till)
- Simhastighet och startavstånd, om det används (artspecifika, för tumlare se 1.3.2)
- Påverkan i form av TTS/PTS samt beteendepåverkan

5 Skyddsåtgärder

De skyddsåtgärder som behövs för att minska pålningens effekter i form av undervattensbuller behöver anpassas till varje projekt och område. Det ljud som genereras vid pålning består av ett brett frekvensspektrum och beroende på den teknik som används (hammartyp, slagenergi och slagsfrekvens) genereras ljud med olika styrka. Variationer i miljön påverkar ljudutbredningen, till exempel absorberas ljud mer av mjuka bottenar medan det reflekteras mer av hårda bottenar. Platsen och tiden för pålningen inverkar också på behov av skyddsåtgärder.

Skyddsåtgärder räknas antingen som primära eller sekundära. De primära syftar till åtgärder vid bullerkällan, t.ex. genom att använda en mindre bullrande teknik (t.ex. vibropiling) eller välja fundamentstyp med mindre bulleralstrande anläggningsmetoder (t.ex. gravitationsfundament). De sekundära avser metoder för att begränsa bullerspridningen, t.ex. dubbla bubbelgardiner eller hydro sound dampers. För att åstadkomma tillräcklig bullerreduktion kan flera skyddsåtgärder, såväl primära som sekundära, med fördel användas samtidigt.

En sammanställning över skyddsåtgärder och andra anpassningar gällande arbeten i vatten som orsakar buller är framtagen av Ospar med den senaste uppdateringen 2024¹⁸ (Ospar inventory of measures to mitigate the emission and environmental impact of underwater noise).

¹⁸ <https://www.ospar.org/work-areas/eiha/noise>

5.1 Begränsa maximala bullernivåer

I tillstånd för havsbaserade vindkraftverk föreskrivs som regel i bullervillkor för pålningen. Dessa beslutas från fall till fall utifrån de projektspecifika förhållandena. Pålningen kan behöva anpassas efter den teknik som används så att inte bullervillkorens fastställda värden överskrids. Till viss del kan bullermodelleringar användas för att förutspå bullernivåer och behov av skyddsåtgärder, men pålningens bullernivåer behöver kontrolleras under arbetets gång. Om ljudnivåerna under pågående arbete visas överskrida gränsvärdena så behöver arbetet anpassas (t.ex. genom att implementera ytterligare primär och/eller sekundära skyddsåtgärder).

5.1.1 Anpassa teknik

Vid pålning, bör en långsam uppstartsprocedur vidtas (mjuk uppstart). Detta kan innebära en stegvis ökning av såväl tiden mellan påslag som energin i slagen. Vanligen rekommenderas en uppstartsprocedur på 30 minuter till 1 timme, beroende på lokala förhållanden. En långsam uppstart ger djur som befinner sig inom det berörda området en möjlighet att vänja sig vid ljudet och mobila arter kan i vissa fall hinna lämna området i tid för att undvika direkta eller indirekta negativa effekter.

Genom att välja mindre bulleralstrande teknik eller genom anpassa den teknik som valts för att anlägga fundament för vindkraftverk till havs går det att minska risken för att överskrida rekommenderade tröskelvärden för buller. Det finns olika typer av fundament, där anläggandet antingen innebär pålning av pålar med mindre dimensioner (pinnpiles) eller ingen pålning alls, till exempel gravitationsfundament, sucktionbuckets eller flytande fundament. Det finns även alternativa tekniker för att försänka pålar eller fundament som är framtagna för att minska bulleralstrandet, dessa fungerar genom till exempel borring, skruvning eller tryck. En teknik för att försänka pålar i sandiga botten är vibropiling som genom vibrationer får pålarna att sjunka ner i botten.

5.1.2 Dämpning

Bulldämpande tekniker såsom dubbla eller enkla bubbelgardiner (Big bubble curtain), isolerande fodral (isolated casings) och nät med ljuddämpande elastiska ballonger och skumelement (hydro sound dampers), har använts vid anläggning av många vindkraftsprojekt och har en reducerande effekt på mellan 7-18 dB beroende på lokala förutsättningar. Beroende på den teknik som väljs behöver den anpassas till varje enskilt projekts utformning och förutsättningar.

De olika teknikerna för dämpning är effektiva vid olika frekvenser, men generellt är dämpningen som högst över 250 Hz (Bellmann et al, 2020)¹⁹, se Andersson et al (2025) för fördjupning. Detta gör att det är främst säl och tumlare som skyddas när dessa tekniker används då deras hörsel är optimerad för ljud i det högre frekvensspannet jämfört med de flesta fiskarter, som ofta hör allra bäst under 250 Hz.

19

5.2 Skrämmor och observation

En skyddsåtgärd som kan användas före pålningen startas är att använda akustiska skrämmor (på engelska ADD, Acoustic Deterrent Device). Dessa ska då startas före den mjuka uppstarten. Skrämmorna kan vara anpassade för tumlare, sälar eller fiskar, beroende på vilka djurarter som befinner sig i det aktuella området. Skrämmorna fungerar genom att alstra störande ljud vilket ska få individer som befinner sig inom berört närområde inför en pålning att lämna det innan arbetet påbörjas. Det är viktigt att välja rätt typ av skrämma så att inte en onödigt stor skrämseleffekt uppkommer. Akustiska skrämmor kan kombineras med att i realtid visuellt observera att alla individer har lämnat närområdet (inom en radie av 750 m från ljudkällan) innan bulleralstrande arbete påbörjas. Observation av tumlare är svårt och väderberoende och kan därför inte utgöra en garanti för att individer inte finns i närheten.

5.3 Anpassning av plats och tid

Beroende på årstid är olika djurarter olika känsliga för störning (ekologisk känslighet), såsom buller. Den typ av störning som anses ha störst effekt på populationsnivå är djurartens möjlighet att föröka sig. Det är därför viktigt att först och främst undvika störning i ett område som utgör ett viktigt lek- och parningsområde eller har en stor betydelse för en arts möjlighet att hitta föda eller att föda upp sina ungar. Till detta kommer att störning bör undvikas under de tider på året som är viktiga för till exempel lek, uppfödning av kutar, utveckling av fiskägg eller fiskyngel eller pälsbyte för berörda djurarter. Det är därför viktigt att en noggrann undersökning genomförs i det område där en vindkraftpark är tänkt att anläggas av vilka djurarter som använder sig av området och när, samt vilken roll området spelar för dem.

5.4 Rekommenderade skyddsåtgärder vid pålning

Om vindkraftsfundament ska anläggas genom pålning behövs ofta en kombination av fler skyddsåtgärder för att begränsa miljöpåverkan. Vilka åtgärder som ska vidtas för respektive projekt behöver bedömas separat eftersom omständigheterna varierar. Nedan punkter är att se som generella rekommendationer kring skyddsåtgärder i syfte att begränsa negativ påverkan till följd av buller från pålning.

- Begränsning av maximal tillåten bullernivå genom att föreskriva gränsvärden (baserade på tröskelvärden för relevanta arter utifrån lokala förhållanden).
- Mjuk uppstart följt av ramp-up. Pålningen inleds med låg hammarenergi följt av gradvis ökning av energin. Rekommenderad tid för mjukstartproceduren är minst 30 min.
- Bullerdämpning (t.ex. dubbla bubbelgardiner, HSD eller en kombination)
- Tidsanpassning (utifrån lokala biologiska förhållanden)
- Kontroll, mätning av ljud utifrån uppsatt kontrollprogram, och eventuell anpassning av pålningen utifrån mätningarna.

6 Villkor i tillstånd, förslag på utformning

6.1 Villkor kring buller

Hur villkor formulerats för att reglera undervattensbuller från pålning i tillstånd har bakåt i tiden varierat. Dels har de ljudnivåer som angetts varierat, dels har de enheter som satts varierat.

För att skapa en större enhetlighet rekommenderar Havs- och vattenmyndigheten att formulera villkoret utifrån vad man vill förhindra genom villkoret, dvs, vilken biologisk effekt man vill förhindra. Verksamhetsutövaren och tillsynsmyndigheten kan sedan vid framtagandet av kontrollprogrammet besluta om vilka kontrollvärden som ska gälla.

Tumlare

Nedan visas ett exempel på en sådan villkorsskrivning, anpassat för att förhindra uppkomsten av TTS hos tumlare:

Anläggningsarbetena ska inte exponera tumlare för nivåer av undervattensbuller högre än:

140 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ $SEL_{cum,VHF,24h}$

Tumlare ska inte anses exponerade för nivåer av undervattensbuller högre än det ovan angivna värdet om kontroll i enlighet med det slutligt fastställda kontrollprogrammet för verksamheten visar att värdet inte överskrids. Kontroll av undervattensbuller ska ske genom en kombination av modellering och mätning och förfarande ska fastställas slutligt i kontrollprogrammet.

Fisk

Akustisk påverkan på fisk från pålning har historiskt inte reglerats i tillstånd genom villkor med bestämda gränsvärden. Däremot är det vanligt att tillstånd för verksamheter så som pålning idag begränsas i tid för att undvika störningar under lektider om lekområden kan påverkas. När det gäller fisk är därför lokaliseringen avgörande för vilka villkor som behövs.

Om det är överlapp mellan påverkansområde och lekområde för fisk behövs, enligt Havs- och vattenmyndigheten, hänsyn tas till detta genom anpassningar av tiden och/eller villkor med fastställda bullernivåer som inte får överskridas. När det gäller fisklek är det beteendepåverkan som bör undvikas då det kan påverka lekens framgång om fisken skräms iväg. Här måste man dock vara medveten om att tröskelvärdena för akustisk påverkan på beteende för fisk (se tabell 2) anges i intervall, baserat på att resultaten från vetenskapliga studier inte är entydiga, det är därför svårt att föreslå generella gränsvärden som är lämpade att föreskriva i villkor.

Exempel på villkorsformulering anpassat för att förhindra uppkomsten av beteendepåverkan på fisk inom ett lekområde för strömming (förutsätter att lekområdet är definierat i ansökan):

Under perioden mars-juni (lektid för strömming) får bullernivåerna inte överskrida SEL_{ss} 135 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ inom lekområdet för strömming.

6.2 Villkor kring skyddsåtgärder

Nedan ges exempel på villkor kring mjuk uppstart (inklusive ramp-up) och dämpning.

Pålning ska inledas med mjuk igångsättning varefter styrkan i hammarslagen successivt ska trappas upp, så kallad ramp-up. Varaktigheten av perioden med ramp-up får som utgångspunkt inte vara kortare än 30 minuter.

Verksamhetsutövaren ska, som del av skyddsplanen för pålningsarbeten, redovisa hur perioden med ramp-up tillsammans med eventuella ytterligare skyddsåtgärder bäst kan anpassas för att undvika påverkan på tumlare och fisk. Länsstyrelsen får meddela undantag från detta krav.

Beroende på den slutliga skyddsplanen för detta arbete och utformningen av skyddsåtgärder, kan en kortare period med ramp-up än 30 minuter vara möjlig. Skyddsplanen för pålningsarbeten ska ges in till Länsstyrelsen senast tre (3) månader innan pålningsarbeten påbörjas.

Vid pålning ska ljuddämpande utrustning med en prestanda som motsvarar dubbel bubbelgardin (Double Big Bubble Curtain, DBBC) och Hydro Sound Damper (HSD) användas. Alternativa tekniker med motsvarande funktion kan användas efter medgivande från Länsstyrelsen.

6.3 Villkor kring kontrollprogram

Nedan ges exempel på hur ett villkor kring kontrollprogram kan se ut.

Kontrollprogram för verksamheten ska finnas för anläggnings-, drifts och avvecklingsskede. Kontrollprogrammet ska upprättas efter samråd med Länsstyrelsen, Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten. Av kontrollprogrammet ska framgå hur kontroll av verksamheten ska ske, med angivande av mätmetod, mätfrekvens, utvärderingsmetod och beskrivning av hur rapporteringen ska gå till. Av kontrollprogrammet ska även de rutiner som krävs enligt villkoren i detta tillstånd framgå.

Förslag till ett kontrollprogram ska lämnas till Länsstyrelsen senast tre (3) månader innan anläggningsarbetena inleds, innan anläggningen tas i drift och innan anläggningen ska avvecklas. Kontrollprogrammet kan samordnas med eventuella övriga kontrollprogram som verksamhetsutövaren omfattas av med avseende på uppförande och drift av vindkraftsparken. Kontrollprogrammet ska hållas aktuellt.

7 Kontroll av undervattensbuller

7.1 Kontrollprogram – hur mätning av buller genomförs

I tillstånd för havsbaserad vindkraft föreskrivs alltid att ett kontrollprogram ska upprättas i syfte att kontrollera att de uppsatta villkoren efterlevs. Eftersom villkor om undervattensbuller som regel föreskrivs i tillstånden ska kontrollprogrammet även innehålla kontroll av undervattensbuller. I tillståndet brukar det dock inte anges i detalj hur denna kontroll ska genomföras.

Utifrån Andersson et al (2025) följer här rekommendationer kring kontrollmetod och mätmetodik. I detta exempel används tumlaren som djurart. Metoden kan användas även för fisk och säl, med artanpassade parametrar.

7.1.1 Kontrollmetod – med exempel för tumlare

1. I bullerutredningen i MKB:n görs en modellering (se avsnitt 4.1) av mottagen $SEL_{ss,VHF}$ för en simmande tumlare (med en viss simhastighet och ett startavstånd) för ett specifikt pålningsscenario med en antagen ljudutbredning. Resultatet räknas sedan om till ett $SEL_{cum,VHF}$, som jämförs med det satta tröskelvärdet för TTS för tumlare.
2. Givet att $SEL_{cum,VHF}$ håller sig under eller tangerar tröskelvärdet, görs en beräkning för $SEL_{ss,VHF}$ vid en stationär punkt på ett avstånd av 750 m från fundamentet, för det specifika pålningsscenariot. Detta värde kallas för kontrollvärde och om den faktiska pålningen håller sig under detta värde kommer tröskelvärdet sannolikt inte att överskridas.
3. I kontrollprogrammet mäts och beräknas $SEL_{ss,VHF}$ vid en stationär punkt på ett avstånd av 750 m från fundamentet. Dessa värden kallas för mätvärden och jämförs sedan med det beräknade kontrollvärdet.
4. Kontrollvärden kan uppdateras efter att mätningar av den faktiska ljudutbredningen i området har gjorts. Detta är för att syftet med kontrollvärden är att spegla att tröskelvärdet för ett flyende djur inte överskrids.

Kontrollmätningar av ljudexponeringsnivån SEL_{ss} bör ske på 750 meter från fundamentet, vilket är i enlighet med ISO-standarden. Överskrids inte kontrollvärdena så anses villkoret följas.

7.1.2 Mätmetodik

Mätningar av ljudtrycket bör täcka frekvensområdet 20 Hz – 20 kHz och utföras med en mottagare som är omnidirektionell och har en känslighet som varierar mindre än 2 dB över det intressanta frekvensområdet. Hydrofonen bör kalibreras innan mätningen.

Risken att mäta oönskade ljudkällor bör minimeras genom att se över mätuppställningen för att i största möjliga mån undvika t.ex. strömnings- och våginducerat buller, mekaniskt buller orsakat av rigguppställningen eller elektriskt buller från mätinstrumentet.

Mätningar bör ske i transekter med minst tre olika mätpunkter från pålningsplatsen, t.ex.: 750 m, 1500 m och 3000 m för att verifiera ljudutbredningsberäkningarna. Det är viktigt att inkludera mätningar vid referensavståndet 750 m. Transekten bör ligga i den riktningen där bottensediment och batymetri varierar minst.

Hydrofonerna ska i djupled placeras i enlighet med antaget djup i modelleringen för att kunna verifiera den, men helst ska detta utföras i den nedre halvan av vattendjupet. Mätningarna kan med fördel göras på flera olika djup.

Mätningarna bör ske före och efter pålningsarbete för att få en uppskattning av bakgrundsnivån. Mätningar under pålningsarbetet bör också ske, men omfattningen av mätningarna beslutas i kontrollprogrammet.

Det finns följande två ISO-standarder som bör tillämpas för att mätningarna ska ske på likvärdigt sätt med andra mätningar, och därmed kunna jämföras.

ISO 18406:2017: Underwater acoustics – Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving.

Terminologin bör följa standarden

ISO 18405:2017: Underwater acoustics – terminology

Exempel:

I ett tillstånd för en vindkraftspark har det i villkor föreskrivits att anläggningsarbetena inte ska exponera tumlare för nivåer av undervattensbuller högre än 140 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ $\text{SEL}_{\text{cum,VHF},24\text{h}}$.

En undervattensbullermodellering gjordes i MKB:n som visade att tumlare inte kommer utsättas för bullernivåer överskridande det kumulativa värdet 140 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$, dvs tröskelvärdet då TTS uppstår, om nivån för varje enskilt slag inte överskrider 119 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ $\text{SEL}_{\text{ss,VHF}}$ vid 750 meter.

Inför pålningsarbetena görs en ny modellering för att verifiera den tidigare beräknade nivån vid varje enskilt slag (detta värde kallas kontrollvärde). Den nya modelleringen innehåller mer detaljerad information eftersom projektet nu gjort sin detaljprojektering och flera parametrar är kända.

Vid genomförandet av pålningen genomförs mätningar enligt mätmetodiken ovan för att kontrollera att mätvärdena (de som mäts i fält) inte överskrider kontrollvärdet (i detta fall 119 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ $\text{SEL}_{\text{ss,VHF}}$).

Detaljerna kring utformningen av kontrollprogrammet diskuteras mellan verksamhetsutövaren och de myndigheter som är angivna i villkoret, vanligtvis Länsstyrelsen, men ibland ingår även Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten i samrådskretsen.

I kontrollprogrammet anges hur och när uppmätta nivåer ska rapporteras och vad ska ske om ett överskridande uppmäts vid pålningen. Vidare ska det i kontrollprogrammet förtydligas vad som menas med ett överskridande, det vill säga om det är acceptabelt med ett visst överskridande eller om samtliga mätvärden måste ligga under det kontrollvärde som tagits fram.

8 Rapportering av impulsivt buller

8.1 Krav på internationell rapportering

I havsmiljödirektivet, som är implementerat i svensk lagstiftning genom havsmiljöförordningen, anges det att övervakning av havets miljötillstånd ska ske. En aspekt som ska övervakas, enligt direktivet, är impulsivt undervattensbuller. Ansvaret för insamling och rapportering och av bullerdata ligger på Havs- och vattenmyndigheten. I arbetet behöver dock myndigheten stöd från tillsynsmyndigheter i att få in den data som krävs. En förfrågan om hjälp med inrapportering och leverans av uppgifter om buller från respektive tillsynsmyndighet kommer då skickas ut i god tid inför den årliga rapporteringen. HaV genomför rapportering av impulsiva bullerdata från föregående år i slutet av september varje år. Det finns särskild rapporteringsmall som Havs- och vattenmyndigheten använder och tillhandahåller de som rapporterar data.

HaV kommer att begära in data från tillsynsmyndigheterna med stöd av 11 § i havsmiljöförordningen: *Havs- och vattenmyndigheten och de övriga myndigheter under regeringen som ansvarar för frågor som har betydelse för havsmiljön ska samverka för en effektiv havsmiljöförvaltning. Om Havs- och vattenmyndigheten begär det, ska de andra myndigheterna ge in underlag som de har och som Havs- och vattenmyndigheten behöver för att fullgöra sina uppgifter enligt denna förordning. Detta gäller dock inte universitet och högskolor.*

Följande ska övervakas och bedömas:

- Rumslig fördelning, tidsmässig varaktighet och ljudstyrka av impulsiva ljudkällor

Ices, Internationella havsforskningsrådet, koordinerar på uppdrag av Ospar och Helcom ett internationellt register för impulsivt undervattensbuller och ett visualiseringsverktyg, dit länder årligen ska rapportera in data om genomförda aktiviteter inom specifika kategorier.

Havs- och vattenmyndigheten rapporterar data från föregående år till Ices bullerregister en gång per år i september. Data samlas in för hela Sveriges havsområde.

På Havs- och vattenmyndighetens hemsida finns mer information om vilken information som behöver samlas in och hur man går till väga för att rapportera:

<https://www.havochvatten.se/rapportering-impulsivt-undervattensbuller>

Vägledning vid pålning till havs - bedömning och begränsning av akustisk påverkan på fisk och marina däggdjur

Tröskelvärden för akustisk påverkan, riktlinjer för undervattensbullermodellering, rekommendation av skyddsåtgärder och genomförande av kontrollprogram

Vid anläggandet av havsbaserad vindkraft utgör pålning av fundamenten en av källorna till impulsivt buller i havet. Detta buller kan medföra negativa miljökonsekvenser för de organismer som lever i havet. Denna rapport ger vägledning kring hur dessa konsekvenser ska bedömas och hur de kan begränsas med hjälp av skyddsåtgärder.

Målgrupper för rapporten är både verksamhetsutövare och konsulter, som arbetar med framtagandet av MKB:er och bullerutredningar samt myndigheter (länsstyrelser, kommuner, mark- och miljödomstolar med flera) som hanterar ansökningar för havsbaserad vindkraft.

För fördjupad information om akustiska aspekter och för ökad förståelse om vägledningens innehåll hänvisas till rapporten "Beräkning av akustisk påverkan från pålning för havsbaserad vindkraft" av Andersson et al (2025). Rapporten publicerades i februari 2025 och har på uppdrag av HaV tagits fram av Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI.