

Bothnia Offshore Sigma

Tilläggs-PM om undervattensakustik

1 Inledning

Undervattensbuller från pålning av vindparken Bothnia Offshore Sigma utreddes, 2024, av Sweco på uppdrag av Statkraft. Detta PM är ett tillägg till den rapporten. Utöver vad som står i detta PM görs inga ändringar gentemot den ursprungliga rapporten.

Buller från pålning med stor monopile i Östersjön utreddes i tidigare rapport, med fyra olika scenarier:

- Utan åtgärd
- Med Hydrosound Damper (HSD)
- Med en produkt som heter PULSE som tillverkaren IQIP utlovade 6 dB förbättring
- Med stor dubbel bubbelridå (DBBC). Vattendjupen varierar kring 40 till 70 meter.

Det har kommit kommentarer från Statkraft på de antagna förbättringsåtgärderna. Det har upptäckts att botten är hårdare än vad tidigare var tänkt, vilket innebär att produkten PULSE ej antas kunna användas. Därmed utgår PULSE och utreds ej.

Den förbättring som tillskrivits en stor dubbel bubbelridå, som tidigare använts, kan ha varit något åt det optimistiska hållet. Metoden för att bestämma källstyrka gjordes genom att spektrum för pålning och spektrum för insatsdämpning av stor dubbel bubbelridå togs från det som presenterats inom ramen för ett forskningsprojekt det tyska Institut für technische und angewandte Physik (ITAP) genomfört, där det studerats undervattensljud från pålning offshore över många år. En sammanfattning av studiens slutsatser finns i rapporten "*Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values*" av Michael Bellmann, Adrian May, Torben Wendt, Stephan Gerlach, Patrick Remmers och Jana Brinkmann (2020).

Spektrum för insatsdämpningen drogs av spektrumet för ljudkällan, vilket resulterade i en uppskattad förbättring på cirka 24 dB. Denna metod har använts av flera andra konsulter i liknande utredningar, ofta med antaganden om större vattendjup än vad som är aktuellt i detta fall.

I delar av den tidigare nämnda rapporten av Bellmann et al. sammanfattas de förväntade förbättringarna med dubbel bubbelridå (DBBC) som ofta lägre än vad denna metod antyder. Förbättringens storlek påverkas av flera faktorer såsom vattendjup, ljudkällans spektrala innehåll, luftflödet genom bubbelridån samt andra lokala förhållanden.

Det finns därför anledning att göra ett mer konservativt worst case-antagande om vilken förbättring som kan uppnås med DBBC. De beräknade

skyddsavstånden ses därför över med nytt antagande om ljudkällan, så att ljudnivån ska överskattas snarare än underskattas.

I en tabell sammanfattar Bellmann et al de uppnådda förbättringarna som följande:

2025-10-15

Ver 1

Uppdragsnummer: 30069090
Uppdrag: Bothnia Offshore Sigma

Figur 1 Tabell med insatsdämpningar av olika typer av bubbelridåer, från Bellman et al, 2020

Broadband insertion loss	
Systemkonfiguration	Δ SEL [dB]
Single Big Bubble Curtain - BBC ($> 0,3 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $< 25 \text{ m}$)	$11 \leq 14 \leq 15$
Double Big Bubble Curtain - DBBC ($> 0,3 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $< 25 \text{ m}$)	$14 \leq 17 \leq 18$
Single Big Bubble Curtain - BBC ($> 0,3 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $\sim 30 \text{ m}$)	$8 \leq 11 \leq 14$
Single Big Bubble Curtain - BBC ($> 0,3 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $\sim 40 \text{ m}$)	$7 \leq 9 \leq 11$
Double Big Bubble Curtain - DBBC ($> 0,3 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $\sim 40 \text{ m}$)	$8 \leq 11 \leq 13$
Double Big Bubble Curtain - DBBC ($> 0,4 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $\sim 40 \text{ m}$)	$12 \leq 15 \leq 18$
Double Big Bubble Curtain - DBBC ($> 0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$, water depth $> 40 \text{ m}$)	$\sim 15 - 16$

Förbättringar på 12 till 18 dB har uppnåtts i vatten runt 40 meters djup med ett luftflöde på över $0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{min} \cdot \text{m}}$. Förbättringar kring 15 till 16 dB har uppnåtts i djup överstigande 40 meter, med luftflöde på $0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{min} \cdot \text{m}}$.

En väldigt konservativ bedömning vore att välja en insatsdämpning på 12 dB för avståndsbedömningen.

Det är ovanligt att bubbelridåer används på djup över 40 meter, men de har, enligt Bellman et al, använts på djup på 70 meter i både Nordsjön och Östersjön, dock utan att förbättringen har uppmätts och utvärderats (2020).

I rapporten "Development of Noise Mitigation Measures in Offshore Wind Farm Construction" av Sven Kischinski och Karin Lüdemann, från tyska Bundesamt für Naturschutz, 2013, nämns dock att bästa resultat från dubbel bubbelridå uppnås när avståndet mellan de båda ridåerna är minst tre gånger vattendjupet, vilket de behöver vara för att fungera som två separata bubbelridåer. Med optimalt avstånd uppmätte de förbättringen till 17 dB av den ekvivalenta ljudnivån och 21 dB av toppnivån.

För de aktuella djupen i detta fall innebär detta att avståndet mellan den inre och yttre bubbelridån på de aktuella djupen i det här fallet kan uppgå till cirka 210 meter.

2 Beräkning

För att uppnå den konservativa uppskattningen 12 dB insatsdämpning, men ändå behålla det spektrala utseendet av förbättringen görs, på liknande sätt som i den tidigare rapporten för Sigma. Spektrumet för insatsdämpningen med stor dubbel bubbelridå dras av från källspektrumet, men insatsdämpningen skalas ned så att den totala förbättringen inte blir bättre än 12 dB.

På så vis finns det ett spektrum att använda för att även räkna ut en frekvensviktad ljudnivå för sälar, PCW. Skillnaden mellan oviktad ljudkälla och PCW-viktad ljudnivå blir 22 dB med detta antagande om DBBC.

Resultterande källstyrkor visas nedan:

Tabell 1 Antagna källstyrkor

Källstyrkor (antagen ljudnivå på 1 m avstånd)	Oviktat dB	PCW-viktat dB
Odämpat fall 100% slagstyrka	228	209
Med Hydro Sound Damper	219	194
Med Dubbel Bubbleridå	216	194

2.1 Ljudnivå på 750 meters avstånd

En förenklad beräkning av spridning görs för att bedöma ljudnivån på 750 meters avstånd från ljudkällan. Endast geometrisk spridning bedöms.

Geometrisk spridning av ljud i hav är främst beroende av djupet. Om en ljudkälla är som en helt fri punktkälla i vattnet så kommer ljudet spridas som en sfär tills det når ytan och botten och alltså spridas med $20\log(r)$. Därefter övergår det gradvis till cylindrisk spridning och sprids på långa avstånd som $10\log(r)$. Övergången är gradvis och beror i verkligheten bland annat på storleken på ljudkällan och mjukheten på botten. En enkel blandmodell¹ för medellånga avstånd är att anta en spridning med $15\log(r)$.

På 750 meter antas ljudet då avta med $15\log(750) = 43$ dB.

Tabell 2 Ljudnivåer på 750 m avstånd

Ljudnivåer SPL_{rms} (antagen ljudnivå på 750 m avstånd)	Oviktat dB	PCW-viktat dB
Odämpat fall 100% slagstyrka	185	166
Med Hydro Sound Damper	176	151
Med DBBC	173	151

¹ Ursprungskällan är: H.W. Marsh & M. Schulkin, "Colossus II Shallow-Water Acoustic Propagation Studies," USL Report No. 550, 1 juni 1962.

3 Resultat

I det här avsnittet presenteras uppdateringar av de beräknade påverkansavstånden för de olika riktvärdena som utvärderas samt ljudnivåer i Natura 2000-områden.

I den ursprungliga rapporten presenteras alla påverkansavstånd under en (1) kilometer påverkansavstånd som "<1 km" och så görs även här.

Siffrorna i tabellerna är presenterade som dBsea-värde / 15log-värde, där

- dBsea = tidigare beräknat resultat
- 15log = ny beräkning med antagen avståndsdämpning 15log(avstånd)

Vid kumulativ ljudpåverkan har detta räknats ut med avseende på avståndet, enligt metod beskriven i tidigare rapport.

3.1 Beräknade påverkansavstånd – Strömning och skarpsill

Tabell 3 Norra delen av Sigma, beräknade skyddsavstånd för strömning och skarpsill

Riktvärde	Typ av påverkan	Längsta avstånd (kilometer) riktvärdet överskrids (km) dBsea / 15log		
		Odämpad	HSD	DBBC
SEL _{cum} 186	TTS: Tillfällig hörselskada	90,4 / 92,6	25,5 / 30,9	- / 18,6
SEL _{cum} 203	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	4,9 / 6,0	<1 / <1	<1 / <1
L _{peak} 206	TTS: Tillfällig hörselskada	1,2 / <1	<1 / <1	<1 / <1
L _{peak} 207	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	<1 / <1	<1 / <1	<1 / <1

Tabell 4 Sigma söder, beräknade skyddsavstånd för strömning och skarpsill

Riktvärde	Typ av påverkan	Längsta avstånd (kilometer) riktvärdet överskrids (km) dBsea / 15log		
		Odämpad	HSD	DBBC
SEL _{cum} 186	TTS: Tillfällig hörselskada	103,2 / 92,6	25,7 / 30,9	- / 18,6
SEL _{cum} 203	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	3,0 / 6,0	<1 / <1	- / <1
L _{peak} 206	TTS: Tillfällig hörselskada	1,1 / <1	<1 / <1	- / <1
L _{peak} 207	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	<1 / <1	<1 / <1	- / <1

3.2 Beräknade påverkansavstånd – Säl

Tabell 5 Norra delen av Sigma, beräknade skyddsavstånd för säl

Riktvärde	Typ av påverkan	Längsta avstånd (kilometer) riktvärdet överskrids (km) dBsea / 15log		
		Odämpad	HSD	DBBC
SEL _{cum,PCW} 170	TTS: Tillfällig hörselskada	43,9 / 67,9	3,0 / 4,5	- / 4,5
L _{peak} 212	TTS: Tillfällig hörselskada	<1 / <1	<1 / <1	- / <1
SEL _{cum,PCW} 185	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	3,0 / 3,3	<1 / <1	- / <1
L _{peak} 218	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	<1 / <1	<1 / <1	- / <1

Uppdragsnummer: 30069090
Uppdrag: Bothnia Offshore Sigma

Tabell 6 Sigma söder, beräknade skyddsavstånd för säl

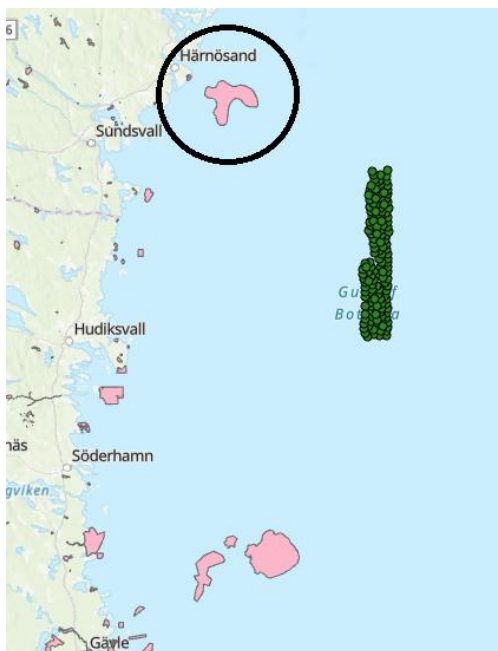
Riktvärde	Typ av påverkan	Längsta avstånd (kilometer) riktvärdet överskrids (km) dBsea / 15log		
		Odämpad	HSD	DBBC
SEL _{cum,PCW} 170	TTS: Tillfällig hörselskada	51,0 / 67,9	2,8 / 4,5	- / 4,5
L _{peak} 212	TTS: Tillfällig hörselskada	<1 / <1	<1 / <1	- / <1
SEL _{cum,PCW} 185	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	3,0 / 3,3	<1 / <1	- / <1
L _{peak} 218	PTS: Permanent eller återhämtningsbar skada	<1 / <1	<1 / <1	- / <1

3.3 Ljudnivåer i Natura 2000-områden från Sigma

3.3.1 Vänta Litets grund

Närmaste Natura 2000-områden med utpekad fisk är Vänta Litets grund, som är cirka 50 kilometer från den norra delen av Sigma. Fisk utvärderas enligt oviktade ljudnivåer.

Figur 2 Natura 2000-området Vänta Litets grund – cirka 50 kilometer från norra delen av Sigma. Cirka 100 kilometer från södra delen av Sigma



Tabell 7 Beräknade ljudnivåer i Vänta Litets Grund från pålning

	Odämpat	Med HSD	Med DBBC
SPL	159	151	147
SPL _{PCW}	136	123	125
L _{peak}	182	174	170
SEL _{CUM}	197*	189*	185
SEL _{CUM,PCW}	174**	161	163

*Riktvärde SEL_{CUM} 186 dB för TTS gällande fisk med simblåsa överskrids

**Riktvärde SEL_{CUM,PCW} 170 dB för TTS gällande säl överskrids

Riktvärde för TTS riskerar att överskridas med den studerade pålningsmetoden om inte dubbel bubbelridå används, alternativt annan metod för pålning, såsom exempelvis jacket-fundament.

3.3.2 Agön-Kråkön

Närmaste Natura 2000-område med utpekad gråsäl är Agön-Kråkön, som är cirka 90 kilometer från den norra delen av Sigma. Gråsäl utvärderas enligt PCW-viktade ljudnivåer.

Figur 3 Natura 2000-området Agön-Kråkön – cirka 94 kilometer från södra delen av Sigma



Tabell 8 Beräknade ljudnivåer i Agön-Kråkön från pålning

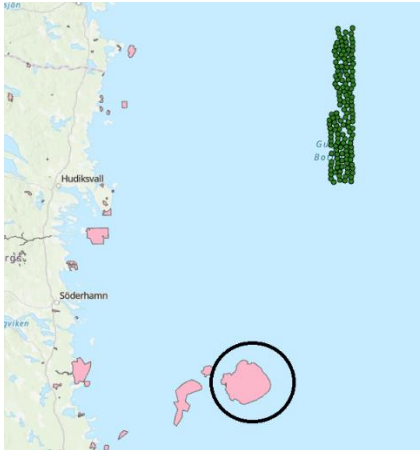
	Odämpat	Med HSD	Med DBBC
SEL _{SS}	147	136	135
SPL _{PCW,SS}	123	111	113
L _{peak}	170	159	158
SEL _{CUM}	185	174	173
SEL _{CUM,PCW}	161	149	151

Inga ljudnivåer beräknas överskrida aktuella riktvärden.

3.3.3 Finngrundet

Söder om Sigma finns även Natura 2000-området Finngrundet, som beskrivs som att eventuellt kunna vara relevant för både fiskliv och sälars jakt på fisk.

Figur 4 Natura 2000-området Finngrundet - cirka 82 kilometer från södra delen av Sigma



Tabell 9 Beräknade ljudnivåer i Finngrundet från pålning

	Odämpat	Med HSD	Med DBBC
SEL _{ss}	148	137	136
SEL _{PCW,ss}	124	112	114
L _{peak}	171	160	159
SEL _{cum}	186	175	174
SEL _{cum,PCW}	162	150	152

Inga ljudnivåer som ger upphov till skada på säl beräknas överskridas. Vid odämpat fall beräknas riktvärde för TTS för fisk, SEL_{cum} 186 dB, tangeras men ej överskridas.

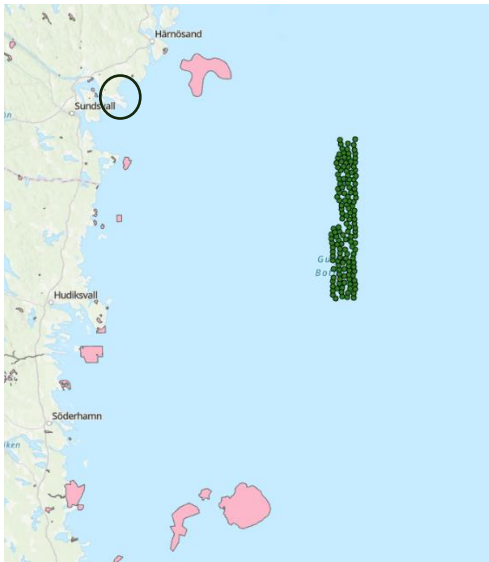
3.3.4 Gran

Området Gran, rakt väster om Sigma, är utpekad för säl.

Ver 1

Figur 5 Natura 2000-området Gran - cirka 90 kilometer från Sigma

Uppdragsnummer: 30069090
Uppdrag: Bothnia Offshore Sigma



Tabell 10 Beräknade ljudnivåer i Gran från pålning

	Odämpat	Med HSD	Med DBBC
SEL _{SS}	151	141	139
SPL _{PCW,SS}	127	115	115
L _{peak}	174	164	162
SEL _{CUM}	189*	179	177
SEL _{CUM,PCW}	165	155	153

*Riktvärde SEL_{cum} 186 dB för TTS gällande fisk med simblåsa överskrids.

Inga ljudnivåer som ger upphov till skada på säl beräknas överskridas.
Riktvärde för TTS på fiskar med simblåsa beräknas kunna överskridas om ingen dämpning av ljudkällan görs.