



RAPPORT

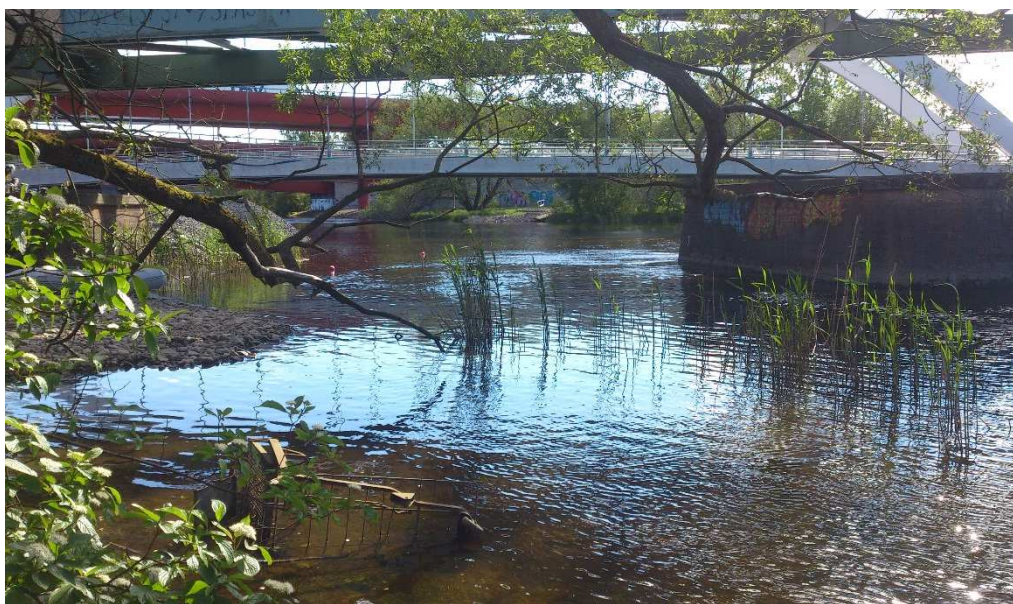
Author
Magnus Källman
Phone
010 5058444
Mobile
0701 847444
E-mail
magnus.kallman@afconsult.com
Date
2015-10-01
Project ID
703738

Recipient
Trafikverket
Kruthusgatan 17
405 33 Göteborg

Hydroakustik och markvibrationer
Mätning i och vid Säveån
Magnus Källman
Uppdragsansvarig

Hydroakustik och markvibrationer - Mätning i och vid Säveån

Trafikverket



ÅF-Infrastructure AB
Ljud & Vibrationer
Göteborg

Granskad av

Magnus Källman

Mats Hammarqvist

Kvalitetsrådgivare

ÅF-Infrastructure AB, Grafiska vägen 2, SE-401 51 Göteborg
Telefon +46 10 505 00 00. Fax +46 10 505 00 10. Säte i Stockholm. www.afconsult.com
Org.nr 556185-2103. VAT nr SE556185210301. Certifierat enligt SS-EN ISO 9001 och ISO 14001



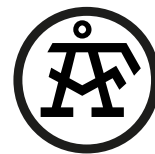
RAPPORT

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	2
Bilagor	2
Sammanfattning	3
1 Bakgrund	4
2 Uppdrag	4
3 Föreskrifter och bedömningsgrunder	4
3.1 Fiskars hörsel	5
4 Ljud i vatten	7
4.1 Ljudets spridning till vatten	7
4.2 Ljudets spridning i vatten	7
5 Mätningarnas genomförande	8
5.1 Mätpositioner	8
5.1 Pålning	13
5.1 Mätutrustning	15
6 Mätresultat	16
6.1 Uppmätta markvibrationer	20
6.2 Uppmätta partikelrörelser	20
6.2.1 Partikelhastighet	20
6.2.2 Partikelacceleration	20
7 Bedömning av miljöpåverkan på fisk i Sävåån	23
7.1 Bedömning av ljudtrycksnivå	23
7.2 Bedömning av partikelrörelse	24
8 Referenser	25

Bilagor

Appendix 1 703738 Resultat från mätningar Sävåån 2015-06-15, Version 1



Sammanfattning

Trafikverket önskar utreda om ljudnivåer från pålning påverkar fiskar (laxfiskar) i vattendrag.

I denna rapport redovisas mätningar av ljudnivå i vatten samt markvibrationer vid pålningsarbeten i direkt närhet av Sävån. Uppmätta ljudnivåer i ån presenteras och sätts i samband med i litteraturen presenterade gränsvärden för miljöpåverkan utifrån skadliga ljudnivåer på fisk.

De högsta ljudtrycksnivåerna och partikelrörelser som uppmätts i vattnet i Sävån vid pålning ligger i lågfrekvensområdet 3 – 20 Hz. Detta var ett förväntat resultat eftersom pålning ofta ger kraftiga markvibrationer i det lägre frekvensområdet. Noterbart däremot är att pålning påverkar ljudet i vattnet inom ett stort frekvensområde, upp till 1 kHz. (Här kan man spekulera i att Sävåns botten kopplar bra till vattnet.)

När man jämför uppmätta ljudtrycksnivåer respektive partikelrörelser från pålningen i position P1, 15 m till åkant, med angivna gränsvärden för fiskdöd eller dödlig skada, enligt *ASA S3/SC1.4 TR-2014*, ser man att de understiger gränsvärdena med mycket god marginal.

Uppmätta ljudtrycksnivåer understiger gränsvärdet enligt $158 << 229$ dB re 1 μ Pa (peak). Vid jämförelse av uppmätta partikelhastigheter med angivna gränsvärden för fiskdöd eller dödlig skada för ägg och larver, *ASA S3/SC1.4 TR-2014*, ser man att uppmätta värden understiger gränsvärdet enligt $0,34 << 13$ mm/s (peak).

När man bedömer risk för beteendereaktioner hos fisk orsakade av pålningsljud finns många parametrar att ta hänsyn till. Inte enbart ljudets eller partikelrörelsens nivå och varaktighet har betydelse utan dess frekvens är minst lika viktig. Från en enkel jämförelse mellan uppmätta värden och nivåer som enligt litteraturen ger beteendereaktioner hos fisk ser man att det finns risk för detta eftersom ljud och partikelrörelserna från pålning är lågfrekventa.

Vid pålning i position P1, 15 m till åkant, överskrider uppmätta ljudtrycksnivåer och partikelrörelser de i Sävån idag förekommande aktiviteter så som sightseeingbåten Paddan och godståg på bro över ån. Dessa aktiviteter förekommer ofta, flera gånger per timme under den dag vi gjorde mätningarna, men med relativt kort varaktighet. De varade några sekunder till ett par minuter. När bakgrundsnoise skulle bestämmas var det också svårt att hitta tidpunkter när ingen aktivitet hördes i ån.

Vid pålning på längre avstånd från åkanten, P2, avstånd 120 m från Sävån, uppmätts låga ljudtrycksnivåer och partikelrörelser. Dessa nivåer ligger med god marginal under de idag förekommande ljudtrycksnivåerna och partikelrörelserna i ån.



RAPPORT

1 Bakgrund

Trafikverket önskar utreda om ljudnivåer från pålning påverkar laxfiskar i vattendrag i samband med anläggningsarbeten för Västlänken.

Det finns ett flertal studier av hur fisk påverkas av ljud från fartygstrafik i hav, bl.a. EU-projekt med svensk delaktighet (SSPA Sweden AB). Hur fisk påverkas från undervattenssprängning finns också undersökt i stor omfattning (FOI m.fl.).

Vad man känner till finns lite publicerat om hur fisk påverkas av pålning och författaren till denna rapport känner inte till någon information om hur fisk i vattendrag påverkas av undervattensljud från pålning.

2 Uppdrag

I denna rapport redovisas mätningar av ljudtrycksnivå och partikelrörelse i vatten samt markvibrationer på land vid pålningsarbeten i direkt närhet av Sävåån. Uppmätta ljudtrycksnivåer och partikelrörelser i vatten jämförs med i litteraturen redovisade gränsvärden för miljöpåvekan på fisk.

Förutom undervattensljud från pålningsarbeten har även undervattensljud från tågtrafik, som passerar på bro över Sävåån, samt fartygstrafik i ån mätts upp.

För ljudtrycksnivåmätningarna användes hydrofon som placerades några meter ut i Sävåån. Analys av uppmätt data görs och presenteras i smalband respektive tersband samt totalnivå. Nivån redovisas som peak respektive ekvivalentnivå för jämförelse med tabellvärden. Vid mätning av markvibrationer och partikelrörelser användes triaxiell accelerometer.

Vi har valt att göra mätningar i Sävåån eftersom den kan antas vara representativ även för andra vattendrag kring Göteborg eller för annan mark som består av tjockare lerlager. I detta uppdrag har enbart mätningar ingått. Ingen modellering, beräkning eller uppskattning av hur markbeskaffenheten påverkar mätresultaten har gjorts. Om man i ett senare skede vill undersöka hur markbeskaffenhet, avstånd, storlek på vattendrag, pålningsenergi och vibrationsspridning påverkar ljudnivån i vatten kan insamlad mätdata utnyttjas för framtagning av beräkningsmodeller och bedömningskriterier.

Markvibrationerna registrerades i 5 positioner kring pålningsmaskinen.

Mätningarna utfördes som bemannade kontinuerliga mätningar och aktiviteter som påverkar undervattensljudnivån noterades.

3 Föreskrifter och bedömningsgrunder

Uppmätta ljudnivåer skall sättas i samband med i litteraturen presenterade gränsvärden för miljöpåvekan på fisk.

Vad författaren känner till finns mycket lite litteratur publicerad om hur fisk påverkas av pålning i vatten. Ingen information av hur fisk i vattendrag påverkas av undervattensljud från pålning har hittats vid den inledande litteratursökningen.



RAPPORT

I Tabell 1 redovisas gränsvärden för bedömning av miljöpåverkan på fisk. Denna tabell är hämtad från: ASA S3/SC1.4 TR-2014, *Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI*.

Tabell 1 Tabell hämtad från: ASA S3/SC1.4 TR-2014, *Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI*

Table 7.2 Explosions: Guidelines for explosions. Levels other than for eggs and larvae from Hubbs and Rehnitz (1952); levels for eggs and larvae from Wright and Hopky (1998). Guidelines are not provided for masking since the animals are not exposed to more than a few explosive events, and masking would not last beyond the period of exposure					
Type of Animal	Mortality and potential mortal injury	Impairment			Behavior
		Recoverable injury	TTS	Masking	
Fish: no swim bladder (particle motion detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (L) Low	NA	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish where swim bladder is not involved in hearing (particle motion detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) High (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low	NA	(N) High (I) High (F) Low
Fish where swim bladder is involved in hearing (primarily pressure detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) High (F) Low	(N) High (I) High (F) Low	NA	(N) High (I) High (F) Low
Sea turtles	229 - 234 dB peak	(N) High (I) High (F) Low	(N) High (I) High (F) Low	NA	(N) High (I) High (F) Low
Eggs and larvae	>13 mm s ⁻¹ peak velocity	(N) High (I) Low (F) Low	(N) High (I) Low (F) Low	NA	(N) High (I) Low (F) Low
Notes: peak and rms sound pressure levels dB re 1 µPa; SEL dB re 1 µPa ² ·s. All criteria are presented as sound pressure even for fish without swim bladders since no data for particle motion exist. Relative risk (high, moderate, low) is given for animals at three distances from the source defined in relative terms as near (N), intermediate (I), and far (F).					

3.1 Fiskars hörsel

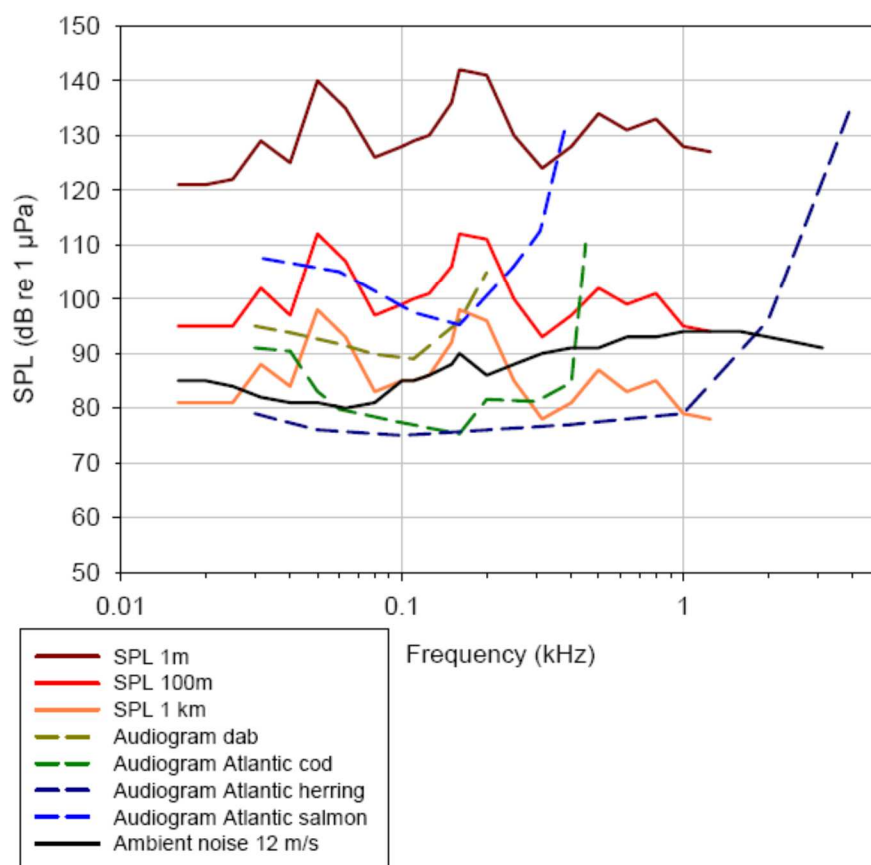
Fiskar hör bra i basregistret och deras hörseltröskel varierar starkt med arten. I Figur 1 visas hörseltröskel för fyra vanliga fiskar, sandskädda, torsk (atlantisk), sill (atlantisk), lax (atlantisk) och samtidigt jämförs deras hörseltröskel med ljudnivån från ett vindkraftverk på 1,5 MW, Thomsen m.fl. 2006. Sill som har lägst hörseltröskel och är känsligast uppfattar därför ljudet från t.ex. ett vindkraftverk på längre avstånd än lax.

Man ser en skillnad i detektionströskel även mellan närbesläktade arter, vilket troligtvis bäst förklaras av ljudnivån i de olika arternas naturliga miljö. T.ex. har den älvlekande laxen en relativt hög detektionströskel, Lena Bergström, m.fl. Fiskeriverket 2007.



RAPPORT

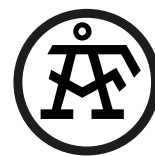
I en studie av atlantlax, som refereras till i Ulf Båmstedt, mfl VINDVAL (2009), visade fisken ett undvikande beteende då den utsattes för ljud av 10 Hz och en ljudnivå på 10-15 dB över laxens tröskelvärde. Ingen effekt upptäcktes då ljud av 150 Hz och en ljudnivå på 114 dB över tröskelvärdet skapades.



Figur 1 Hörseltröskel för sandskädda, torsk (atlantisk), sill (atlantisk) och lax (atlantisk). Hörseltröskeln jämförs med ljudnivån från ett 1,5 MW vindkraftverk från Utgrunden och bakgrunds nivå från öppet hav. Ljudnivåerna ges i tersband och ljudutbredningen har beräknats med ljudutbredningsprogram (Thomsen m.fl. 2006).

Det kan nämnas att Mathias H. Andersson, Stockholms universitet och Peter Sigray, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, har gjort en omfattande studie för hur fisk påverkas vid anläggning av vindkraftpark. De konstaterar i "Ljud från pålning av vindkraftfundament – påverkan på fiskbeteende", Naturvårdsverket 2011, att när ett fundament pålas ner i botten genereras väldigt höga ljudnivåer som potentiellt kan hindra fisk från att nå lekstränder, hitta föda eller partners. Man säger också att hur fisk reagerar på pålningsljud och vid vilka ljudnivåer en beteendereaktion kan uppstå är i stort sätt okänt i dagsläget.

Andersson och Sigray påpekar att deras studie är den första som visar en tydlig beteendereaktion hos fisk som utsätts för uppspelning av pålningsljud av hög intensitet. Resultaten visar att beteendereaktioner kan uppstå inom ett intervall av olika nivåer av ljudtryck och partikelrörelser och inte vid ett specifikt tröskelvärde. Man fann att torsk och sjötunga uppvisade tydliga beteendereaktioner redan för så moderata ljudnivåer som 140-161 dB re 1 µPa (toppvärde) och för partikelrörelser mellan $8,6 \cdot 10^{-4}$ och $6,5 \cdot 10^{-3}$ m/s² (toppvärde). Detta betyder att dessa reaktioner kan uppstå inom en relativ stor omkrets vid en pålningsaktivitet.



4 Ljud i vatten

Ljud uppkommer pga. tryckvariationer i ett medium. Vanligtvis är detta medium luft men kan även vara vatten. Vid mätning ovan vatten anges vanligtvis ljudtrycksnivån i dBA relativt 20 μ Pa och vid mätning under vatten i dB relativt 1 μ Pa. Detta innebär att mätetalen inte enkelt går att jämföra med varandra, dels pga. olika relativnivåer och dels pga. hörselorganen påverkas olika i luft och i vatten. I luft A-vägs ljudet för att återspegla människans uppfattning om ljud.

30 dBA relativt 20 μ Pa motsvarar en tyst bakgrundsnivå i t.ex. en skog medan 60 dB relativt 1 μ Pa är en tyst bakgrundsnivå under vatten. Skillnaden beroende på referensnivå är 26 dB.

Vid redovisning av spektrum för undervattensljud är det också viktigt att ange vilken analysbandbredd som avses. I denna rapport har vi valt att redovisa mätresultaten som totalnivå, i tersband eller i smalband (1 Hz).

4.1 Ljudets spridning till vatten

Ljudets utbredning från pålning på land till vatten kan spridas via två vägar, dels via luften ner till vattnet och dels som stomljud genom marken och ut i vattnet.

Eftersom luften och vattnet har mycket olika akustisk impedans kommer den övervägande delen av det luftburna ljudet att reflekteras mot vattenytan varför endast en mycket liten del av energin kommer att orsaka undervattensljud vilket också har uppmätts vid t.ex. vindkraftverk, Uffe Degn 2000. Även teoretiska beräkningar visar detta.

Bakgrundsbruset i naturliga vatten varierar mycket både i styrka och karaktär. I öppna vatten dominerar vindvågor som alstrar ljud både vid höga och låga frekvenser, Urlick 1983.

I kustnära farvatten är det huvudsakligen frekvenserna under 100 Hz som påverkas av de lokala förhållandena som sjötilstånd, bottenpografi, bottenmaterial samt fartygstrafik, Westerberg 1996.

4.2 Ljudets spridning i vatten

På långa avstånd (avstånd $\gg$ vattendjupet) från fartyg eller havsbaserade vindkraftverk placerade på måttliga djup kan man anta en tvådimensionell spridningsmodell. Detta innebär att ljudtrycksminskningen blir 3 dB vid en fördubbling av avståndet vilket också mätningar har indikerat, Westerberg 1996.

På korta avstånd, motsvarande vattendjupet, är däremot spridningen under vatten sfärisk på liknande sätt som på land där ljudet kan breda ut sig i tre dimensioner. På korta avstånd ger därför en avståndsfördubbling en ljudtrycksminskning med 6 dB.



RAPPORT

5 Mätningarnas genomförande

Mätningarna genomfördes 2015-06-15 av Magnus Källman, Robert Ström och Michail Rinakakis, ÅF-Infrastructure AB Ljud och Vibrationer, Göteborg.

Innan mättillfället genomfördes en noggrann mätplanering och flera platsbesök gjordes. I detta förberedande arbete medverkade även Erik Olsson, ÅF.

Inför mätningarna har mätmetodik, mätplats, pålmaskinens position samt mättidpunkt diskuterats ingående mellan Mats Hammarqvist, Erik Olsson, Magnus Källman, ÅF-Infrastructure AB, och Patrik Lindberg, Sofia Berg, EnviroPlanning AB.

Mätningarna utfördes som bemannade kontinuerliga mätningar.

Tabell 2 **Mättid, mätpersonal och mätplats**

Mättid:	2015-06-15 kl 13:46 -16:22
Mätpersonal:	Magnus Källman, Robert Ström, Michail Rinakakis
Mätplats:	Säveån, Marieholm. SWEREF99 TM, 6402118, 321471
Mätposition:	MP1A, MP1B, MP2, MP3, MP4, MP5, MP6
Pålmaskin position:	P1, P2

5.1 Mätpositioner

Hydrofoner placeras 6 m respektive 8 m ut i vattendraget. Hydrofonen hängs ned från boj på någon eller ett par meters djup beroende på vattendjup. Hydrofonen monteras i ståltrådsbur med skyddsstrumpa av nylon för att minska inverkan av det strömmande vattnet på uppmätt ljudtrycksnivå. Denna metod har tidigare provats i ett flertal mätningar till havs med mycket gott resultat.



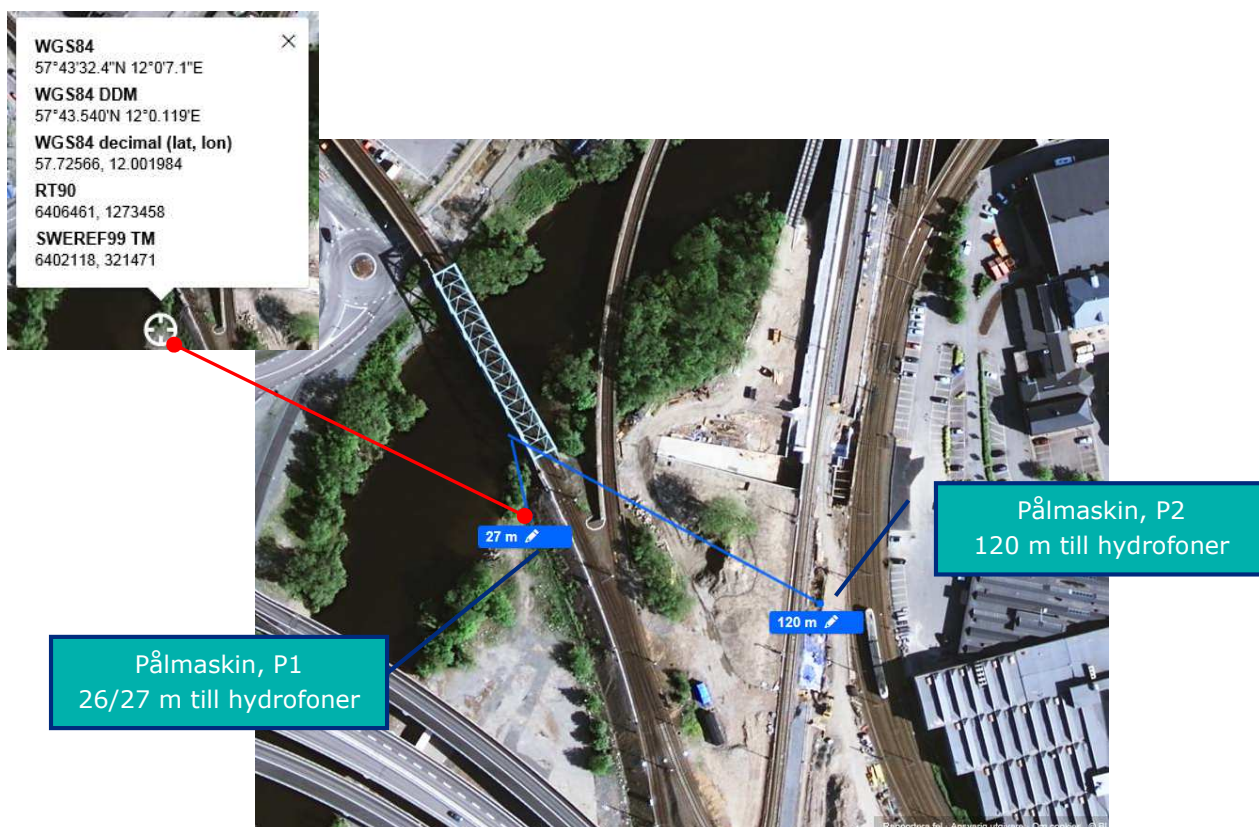
Figur 2 Hydrofon H1 med skyddsbur av kraftig ståltråd samt nylonstrumpa för att minska strömningsljudet från det strömmande vattnet i Säveån.

För att kunna relatera uppmätta ljudtrycksnivåer i vattnet med pålningsenergin genomförs samtidigt markvibrationsmätningar på 5 olika avstånd från pålningen.

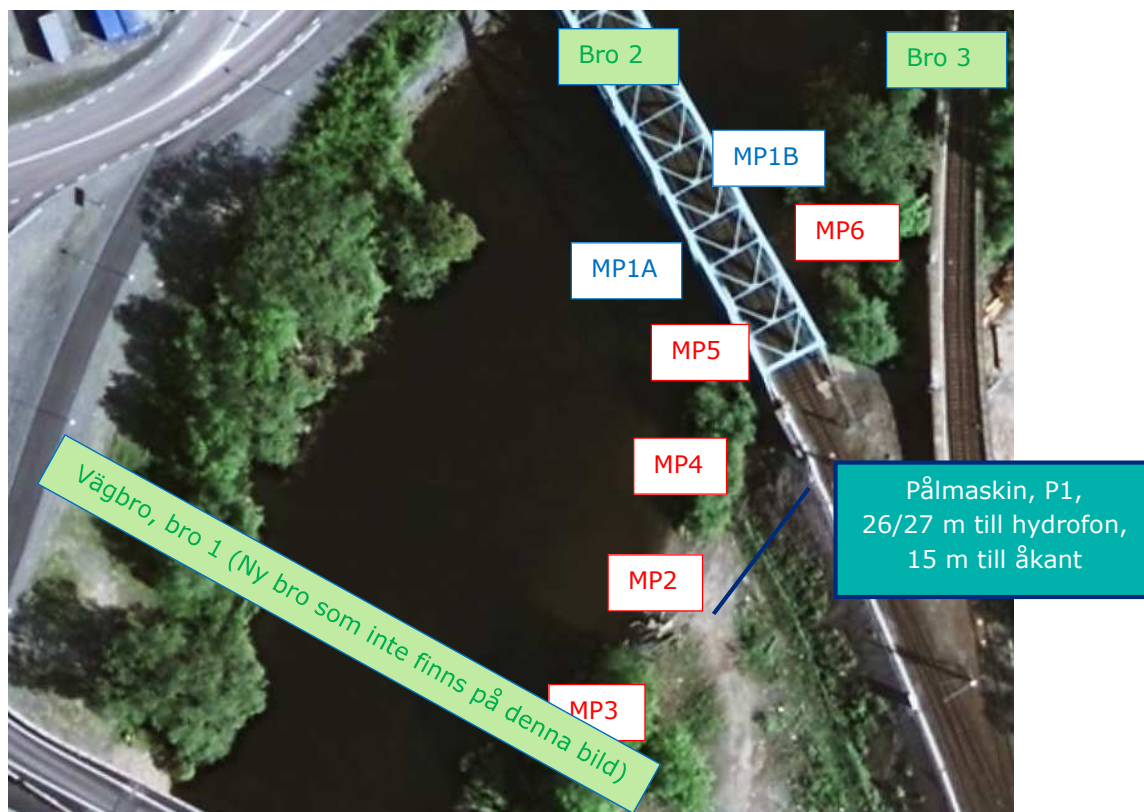


Figur 3 Markvibrationsmätningar vid Sävåån, mätposition MP2 på betongkloss samt MP4 på stålspons.

Mätplats och position valdes eftersom pålning sker nära åkant vid position P1, 26 m respektive 27 m från hydrofonpositionerna. Under mättillfället sker också pålning på ett relativt stort avstånd från ån, position P2 på 120 m från hydrofonposition, se figur nedan.



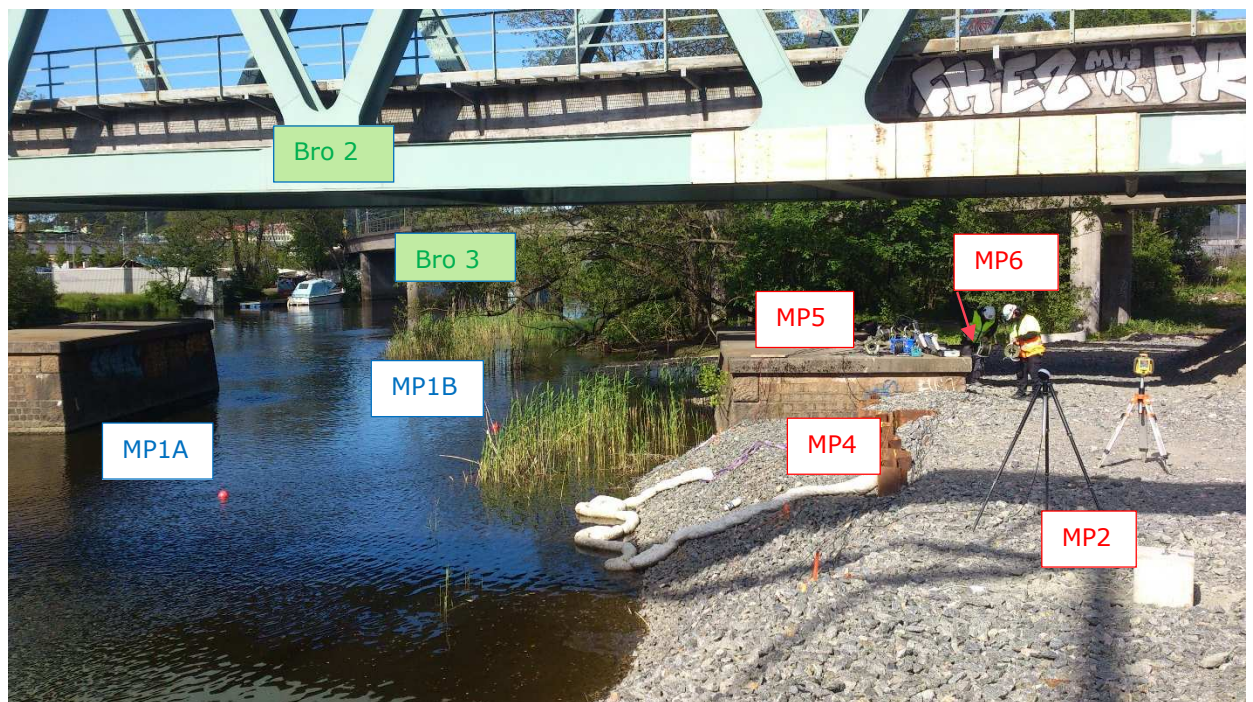
Figur 4 Pålmaskinernas avstånd till hydrofon position i Sävåån.



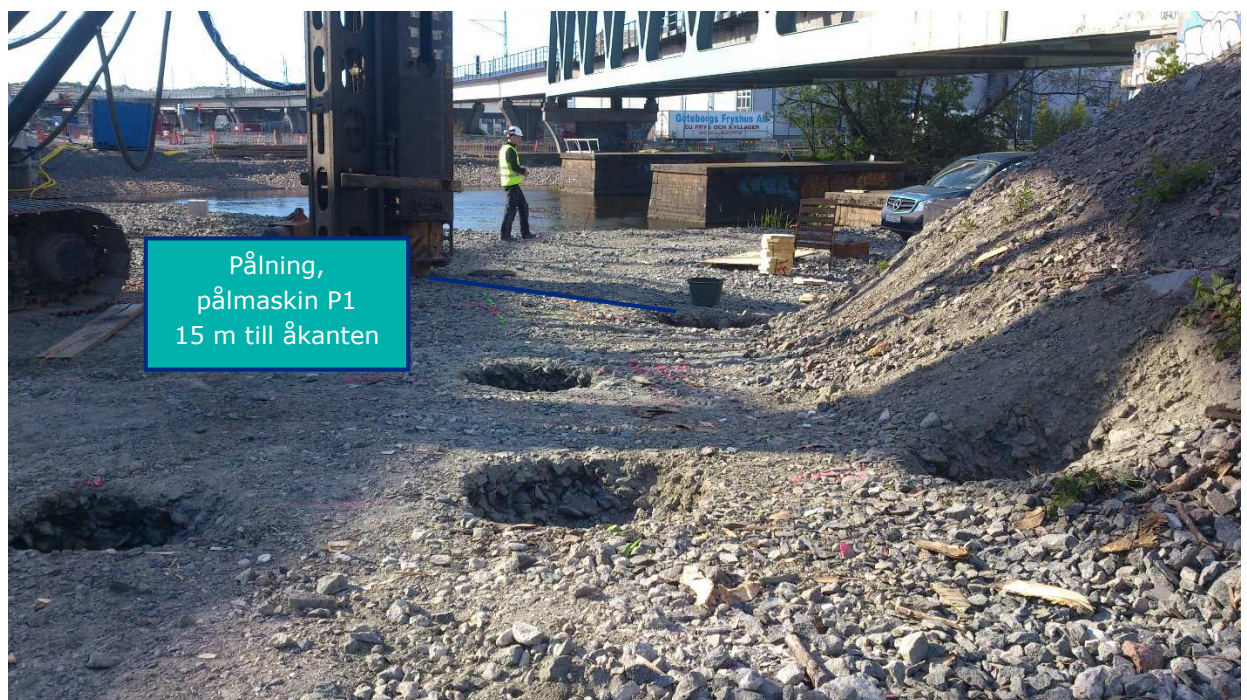
Figur 5 Mätposition, mätgivare, broar och avstånd till pålmaskin.

Tabell 3 Mätposition, mätgivare och avstånd till pålmaskin

Mätning	Mätpunkt MP	Avstånd till pålmaskin	Givare (Internt Id)	Anm
Undervattensljud Hydrofoner: 2 st	MP1A	26 m	Hydrofon (H1)	Hydrofondjup 1,0 m, vattendjup 2,2 m 8 m från åkant
	MP1B	27 m	Hydrofon (H2)	Hydrofondjup 1,4 m, vattendjup 2,4 m, 6 m från åkant (gammalt fundament)
Partikelacceleration Boj med accelerometer	MP1A	26 m	Tri-axiell accelerometer (VP294)	Bojens djup 1,4 m, vattendjup 2,2 m, 8 m från åkant
	MP1B	27 m	Tri-axiell accelerometer (VP421)	Bojens djup 1,6 m, vattendjup 2,4 m, 6 m från åkant (gammalt fundament)
Mikrofon på stativ	MP2	11 m	Mikrofon (MK 151)	Kontrollmikrofon på land
Accelerometrar: MP2-MP5	MP2	11 m	Tri-axiell accelerometer (VP216)	Accelerometer på betongkloss om 48 kg, 4 m från åkant
	MP3	23 m	Tri-axiell accelerometer (VP461)	Accelerometer på spett i strandkant 1 m från åkant
	MP4	14 m	Tri-axiell accelerometer (VP217)	Accelerometer på stålspons, 9-11 m djupa
	MP5	16 m – 24 m	Tri-axiell accelerometer (VP441, VP442, VP443)	Accelerometer på gammalt brofundament (10,5x4 m) vid åkant
	MP6	28 m	Tri-axiell accelerometer (VP221)	Accelerometer på stålspons, 9-11 m djupa



Figur 6 Mätpositioner, MP1A, MP1B, MP2, MP4, MP5, MP6.



Figur 7 Pålmaskin position P1.



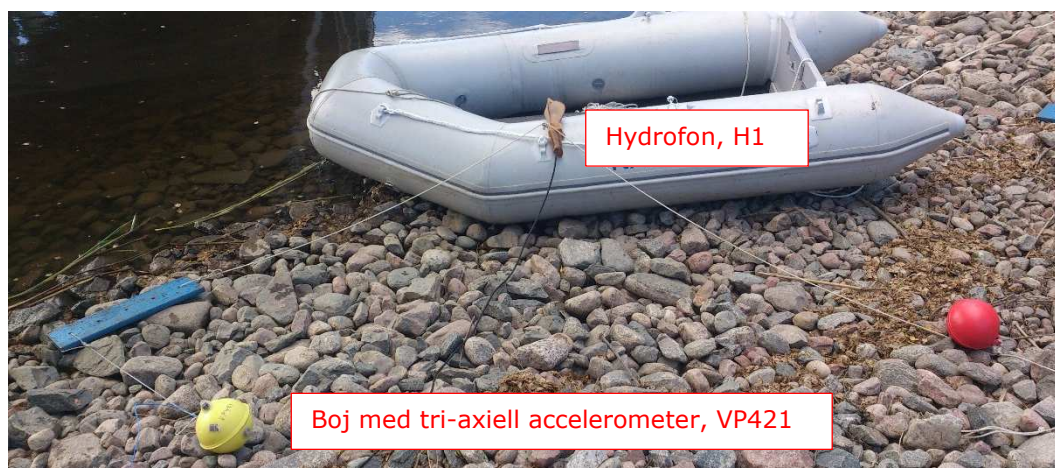
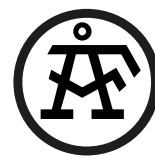
Figur 8 Mätpositioner, MP3, MP5 och MP6.



Figur 9 Mätposition MP3.



Figur 10 Mätposition MP5.



Figur 11 Mätposition hydrofon MP1B och MP1A. Hydrofon samt boj med tri-axiell accelerometer för registrering av partikelrörelser.

5.1 Pålning

Pålmaskin, P1, står 15 m från åkanten. Maskintyp är Junttan Pile Driving Rig PM23(1). Rekommenderad hammarvikt är upp till 5000 kg och maximal pållängd är 20 m. Maximal vertikal fallhöjd är 4,7 m.

Vid pålning i position P1 var hejarens vikt 4000 kg och fallhöjd 40 cm. (För jämförelse kan nämnas att för träpålar är hejarens vikt 2000 kg och nästan ingen fallhöjd alls behövs, när samma pålmaskin används.)

Den första pålen drevs genom ett makadammlager om ca 3 m. Man pålade ner till totalt ca 75 m, 5 pålar om 13,2 m samt 1 halvpåle samt stoppålning med stålspekt om ca 3 m. Man pålar inte ner till berg.

Under det övre makadamlagret finns mycket tjocka lerlager. Pålningssmaskinisten bedömde att det var ett fast lager av lera. Leran gav ungefär samma motstånd under hela pålningen ner till 75 m. Från de hydroakustiska mätningarna ser man också att ljudnivån under vattnet är relativt konstant för alla pålar under pålningsarbetet i leran.

Vid pålning i makadam för den första pålen samt vid stoppålning med stålspekt är skillnaderna tydliga gentemot pålning i lera. Man upplever betydligt högre vibrationsnivåer i marken samtidigt som ljudnivåerna i ån då också är högre.



Figur 12 Pålmaskin, P1. Maskintyp: Junttan Pile Driving Rig PM23(1).



Figur 13 De betongpålar som används vid pålning med pålmaskin i position P1.

Pålning i position P2 sker parallellt med pålningsarbetena i position P1. Pålning vid P2 har inte dokumenterats eftersom dessa mätdata enbart tagits med som generell jämförelse.



Figur 14 Pålning i position P2, arbetet sker parallellt med arbetet i position P1.



5.1 Mätutrustning

Mätutrustning som utnyttjades i uppdraget redovisas i tabell nedan.

Tabell 4 Mätinstrument.

Benämning	Fabrikat	Typ	Internbeteckning
Realtidsanalysator	Norsonic	140	AL 197
Realtidsanalysator	Norsonic	140	AL 172
Mikrofon	B&K	BNC	MK151
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP294
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP421
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP216
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP461
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP217
Accelerometer	PCB	Tri-axiell	VP221
Accelerometer	PCB	Seismisk	VP441
Accelerometer	PCB	Seismisk	VP442
Accelerometer	PCB	Seismisk	VP443
Accelerometerkalibrator	B&K		VK016
Ljudkalibrator	B&K	4231	KU048
LMS, 32-kanalmätsystem	LMS/Siemens	Scadas 310	LMS01
Hydrofon, Low frequency	Burns Electr.	CR-3 DC 40	H1*
Hydrofon, Low frequency	Burns Electr.	CR-3 DC 40	H2*

Samtliga instrumenten är kalibrerade med spårbarhet till nationella och internationella referenser enligt vår kvalitetsstandard som uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17 025. Datum för senaste kalibrering finns angiven i ÅFs kalibreringslogg. *) Hydrofon H1 och H2 är kalibrerade gentemot kalibrerad ljudnivåanalysator AL 197.

Mätnoggrannhet för realtidsanalysator enligt Klass 1 (Class 1 precision sound analyser) är +/- 1,0 dB. Hydrofon H1 och H2 har kalibrerats gentemot en realtidsanalysator vilket ger hydrofonerna en lägre mätnoggrannhet som uppskattats till +/- 3,0 dB.



RAPPORT

6 Mätresultat

Uppmätt ljudtrycksnivå i Sävveån är starkt beroende av vad som händer kring och i ån. I den valda mätpunkt är det många olika aktiviteter som förekommer; tågpassager, båttrafik, lastbilstrafik, pålning samt annan byggverksamhet. Dessutom kastades sten (knytnävsstora stenar) i ån vid ett par tillfällen.

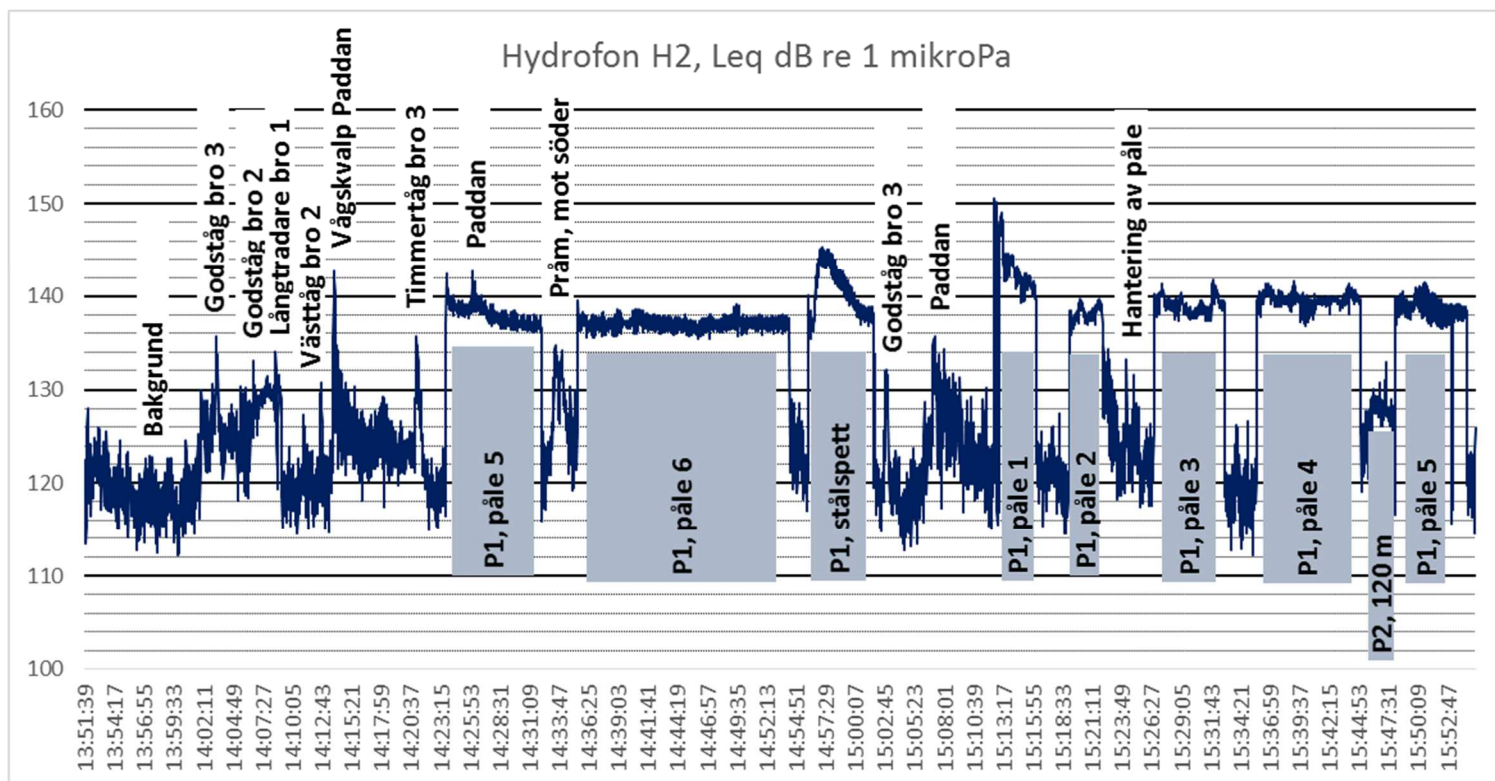
Eftersom mätningen var bemannad har de aktiviteter som pågick noterats av mätpersonal. I diagrammen i Figur 15 och Figur 16 redovisas de händelser som ger markanta utslag på ljudtrycksnivån för hydrofon H2, MP1B. Både den ekvivalenta nivån, L_{eq} , och peak nivån, L_{peak} , redovisas. Ljudtrycksnivån är ovägd och ges som dB re 1 μ Pa.

I Tabell 5 sammanställs händelser som ger markant utslag under mättiden, 2015-06-15, kl 13:51:39 till 15:55:14.

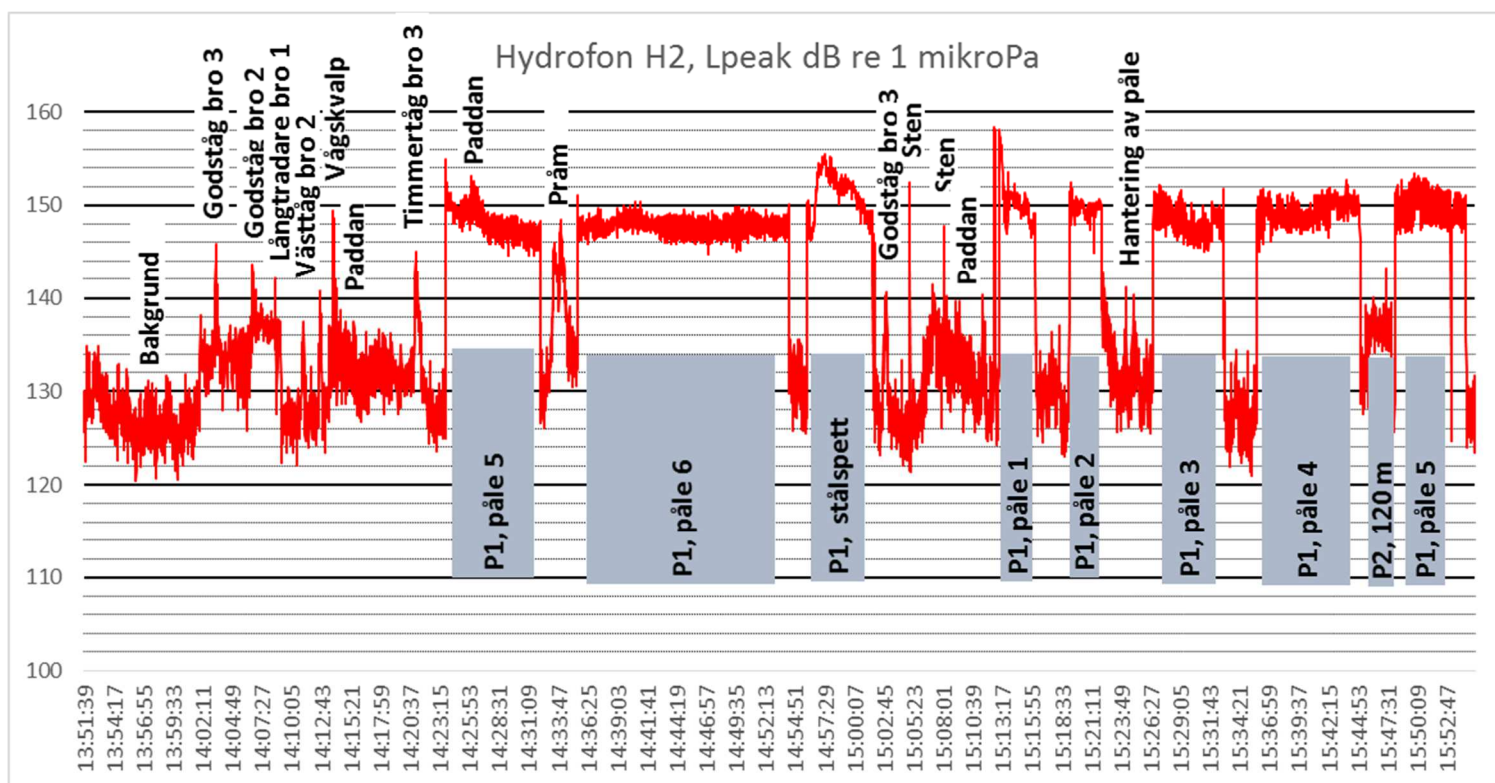
Tabell 5 Uppmätta ljudtrycksnivåer för hydrofon H2.

Händelse	L_{eq} dB re 1 μ Pa	L_{peak} dB re 1 μ Pa	Anm.
Pålning:			
Pålning, P1, Påle 5	136-143*	145-155*	*) Paddan passerar i ån
Pålning, P1, Påle 6	136-139	145-150	
Pålning, P1, Stålspekt/Stopppålning	136-146	146-156	
Pålning, P1, Påle 1	140-151*	148-158*	*) Högsta uppmätta ljudnivån
Pålning, P1, Påle 2	136-140	148-152	
Pålning, P1, Påle 3	137-142	146-152	
Pålning, P1, Påle 4	137-142	146-153	
Pålning, P2, 120 m	126-133	135-143	
Pålning, P1, Påle 5	136-142	146-154	
Övriga aktiviteter:			
Bakgrund, kl 13:55	112-120	120-128	
Godståg bro 3, kl 14:03	136	146	
Godståg bro 2, kl 14:06	134	144	
Långträdare bro 1, kl 14:08	134	142	
Västtåg bro 2, kl 14:11 och 14:12	128, 131	138, 141	
Paddan och vågskvalp, kl 14:14	143	150	
Timmertåg bro 3, kl 14:21	136	145	
Paddan, kl 14:25	143*	153*	*) Pålning pågår samtidigt
Pråm södergående, kl 14:33	135	149	
Godståg bro 3	132	141	
Sten kastas 10 m från H2, kl 15:05	-	153	
Paddan, kl 15:07-15:08	133-136	140-142	
Sten kastas 10 m från H2, kl 15:08	-	148	
Hantering av påle 3, kl 15:24	134	141	

RAPPORT



Figur 15 Ljudtrycksnivå, Leq, dB re 1 μ Pa, för hydrofon H2 i Sävåån 2015-06-15, kl 13:51:39 till 15:55:14.



Figur 16 Ljudtrycksnivå, Lpeak, dB re 1 μ Pa, för hydrofon H2 i Sävåån 2015-06-15, kl 13:51:39 till 15:55:14



RAPPORT

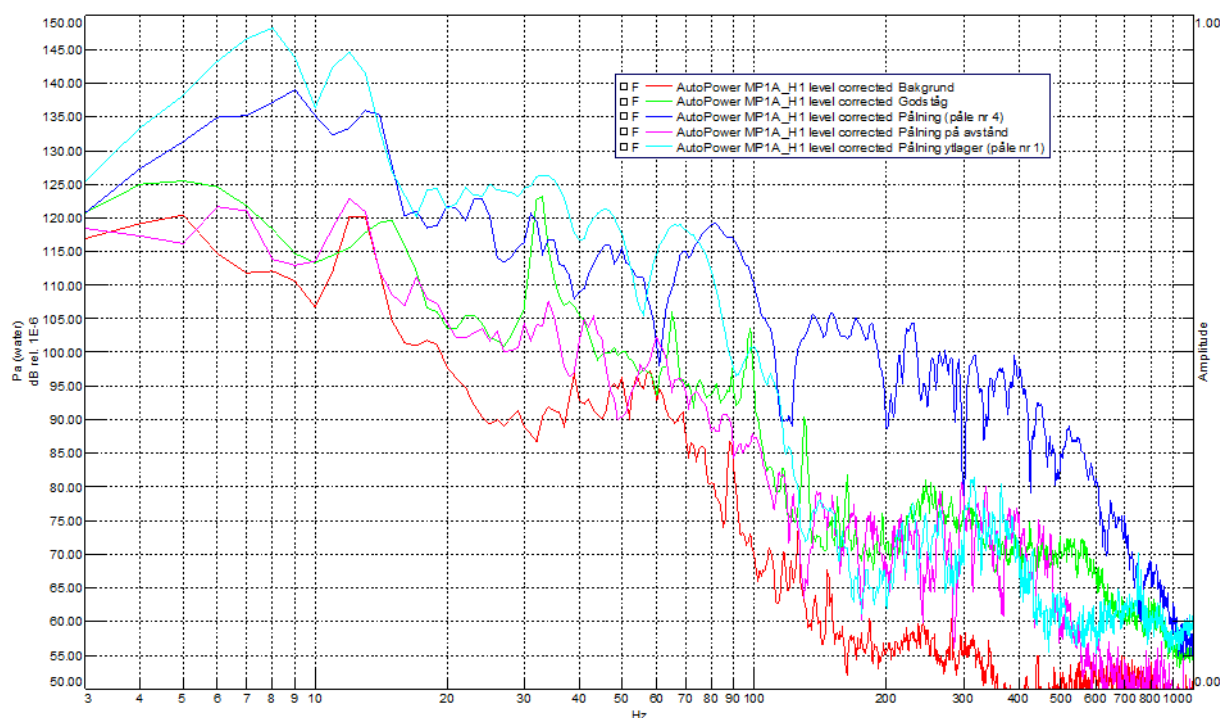
Från tidsdiagram i Figur 15 och Figur 16 syns att det pågår en mängd aktiviteter i Sävåån som ger upphov till olika undervattensljud. I Figur 17 jämförs ljudtrycksnivån (peak, smalband) för MP1A, hydrofon H1, för olika aktiviteter:

- Bakgrund, kl 13:55
- Godståg på bro 2, kl 14:06
- Pålning på avstånd i position P2
- Pålning, position P1, i ytlager, påle nr 1
- Pålning, position P1, i lerlager, påle nr 4

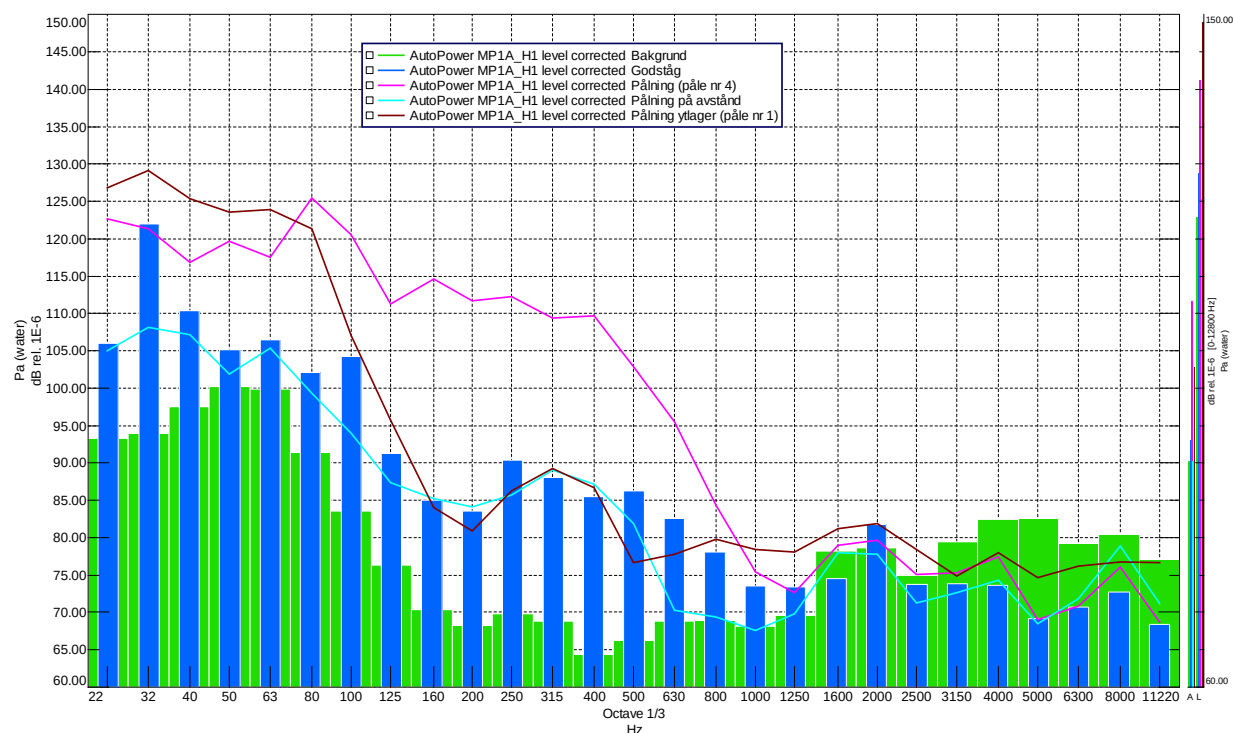
När man skall välja lämplig tidpunkt för att bestämma en ljudtrycksnivå som kan betraktas som bakgrunds-nivå är det svårt att hitta en tidpunkt som är helt ostörd. Vi har valt en tidpunkt vid kl 13:55.

Det är tydligt att alla aktiviteter påverkar ljudtrycksnivån i vattnet och att nivån för alla frekvenser upp till ca 1 kHz påverkas. Även om ljudet är bredbandigt så ser man att de högsta nivåerna finns vid de låga frekvenserna. Ljudets frekvensinnehåll skiljer sig också åt tydligt mellan pålning i ytlager (makadam) och pålning i djupare lerlager.

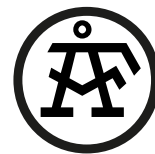
Vid pålning i position P1 ökar ljudtrycksnivån med upp till 40-50 dB jämfört med bakgrunds-nivån. Som högst är uppmätt ljudtrycksnivå 148 dB re 1 μ Pa (peak, smalband) för pålning i ytlager, se Figur 17.



Figur 17 Ljudtrycksnivå hydrofon H1 i MP1A (peak, smalband 3 till 1000 Hz, ovägt). Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



Figur 18 Ljudtrycksnivå hydrofon H1 i MP1A (peak, tersband 25 Hz till 10000 Hz, ovägt). Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



6.1 Uppmätta markvibrationer

Mätningar av markvibrationer genomfördes i MP2 till MP6 som ligger 11 m till 28 m från pålning i position P1. Om man i senare skede vill undersöka hur markbeskaffenhet, avstånd, storlek på vattendrag och pålningsenergi påverkar ljud och vibrationsspridning bör insamlad mätdata kunna analyseras vidare och utnyttjas för framtagning av beräkningsmodeller och bedömningskriterier.

De högsta vibrationsnivåerna noterades vid frekvenser om 3 till 20 Hz. Detta motsvarar också frekvenserna för de högsta ljudnivåerna i Sävåån.

Den vibrationsmät punkt som vid en översiktlig titt på data ser ut att bäst koppla till ljud och partikelrörelser i vattnet för alla frekvenser upp till 1 kHz är MP 5 där accelerometer limmades på befintligt "gammalt" brobetongfundament (10,5x4 m) som ligger vid åkanten. Övriga vibrationsmät punkter ser också ut att ge en bra koppling till ljud i vatten i det lägre frekvensområdet. För lite högre frekvenser, ca 100 – 1000 Hz, har val av vibrationsmät punkt stor betydelse om man vill jämför med hur vibrationer kopplar till ljud i vatten.

Uppmätta markvibrationer för alla mät punkter, MP2 till MP6, redovisas i Appendix 1.

6.2 Uppmätta partikelrörelser

Partikelrörelse mättes med tri-axiell accelerometer som fästs på mätboj i mät punkt MP1A respektive MP1B. Bojen var förankrad med en tunn elastisk lina i en tyngd på botten. Bojen har ungefär neutral buoyancy, dvs. den hade en minimal flytkraft.

Partikelrörelsen mättes som acceleration i x, y, z riktning. Total acceleration beräknas enligt $acc_{total} = (acc_x^2 + acc_y^2 + acc_z^2)^{1/2}$ och presenteras i diagramform i Appendix 1.

6.2.1 Partikelhastighet

I Figur 19 och Figur 20 presenteras partikelrörelsen uttryckt som hastighet (peak, smalband) som funktion av frekvens för de båda mät positionerna MP1A och MP1B.

Den högsta partikelhastigheten som mättes upp, för MP1A vid pålning i ytlager i P1 påle nr 1, är 0,340 mm/s (peak, smalband).

Den högsta partikelhastigheten som mättes upp, för MP1B vid pålning i lerlager P1 påle nr 4, är 0,335 mm/s (peak, smalband).

Mätningarna visar att de högsta partikelhastigheterna finns under 20 Hz.

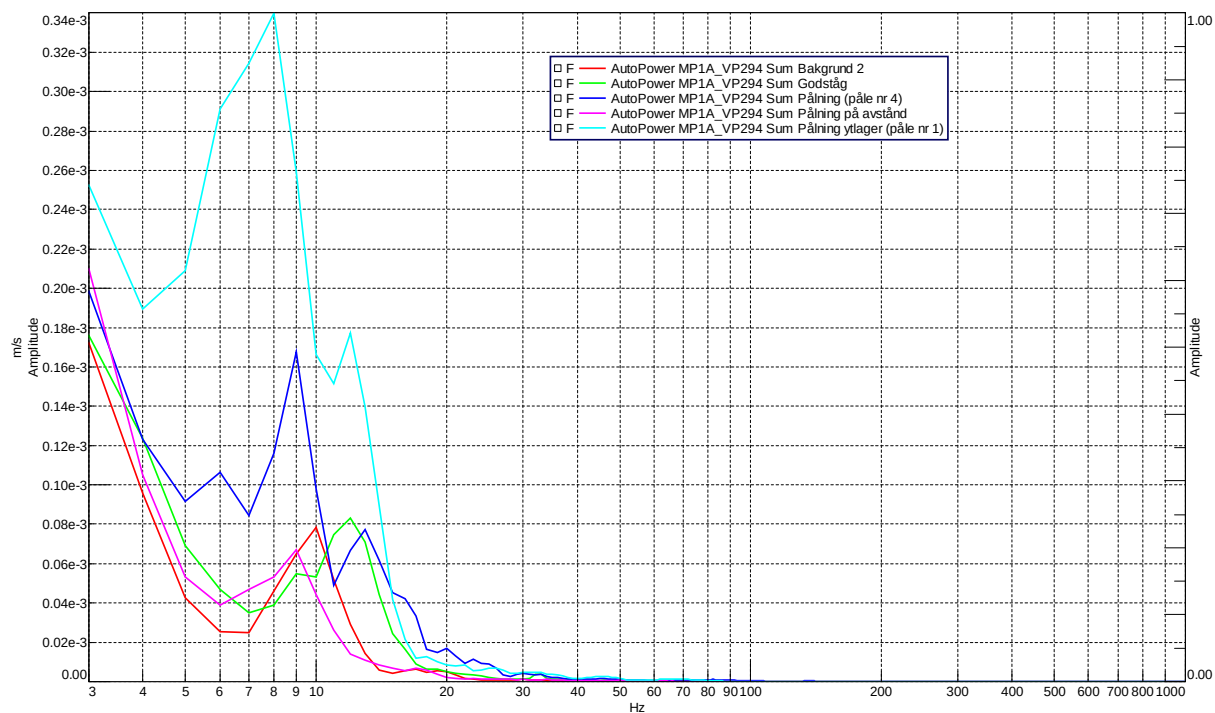
6.2.2 Partikelacceleration

I Figur 21 nedan presenteras partikelaccelerationen som funktion av frekvens i mät punkt MP1A. I Figur 21 syns tydligt att både pålning i lera påverkar partikelaccelerationsnivån även för högre frekvenser, upp till ca 1 kHz.

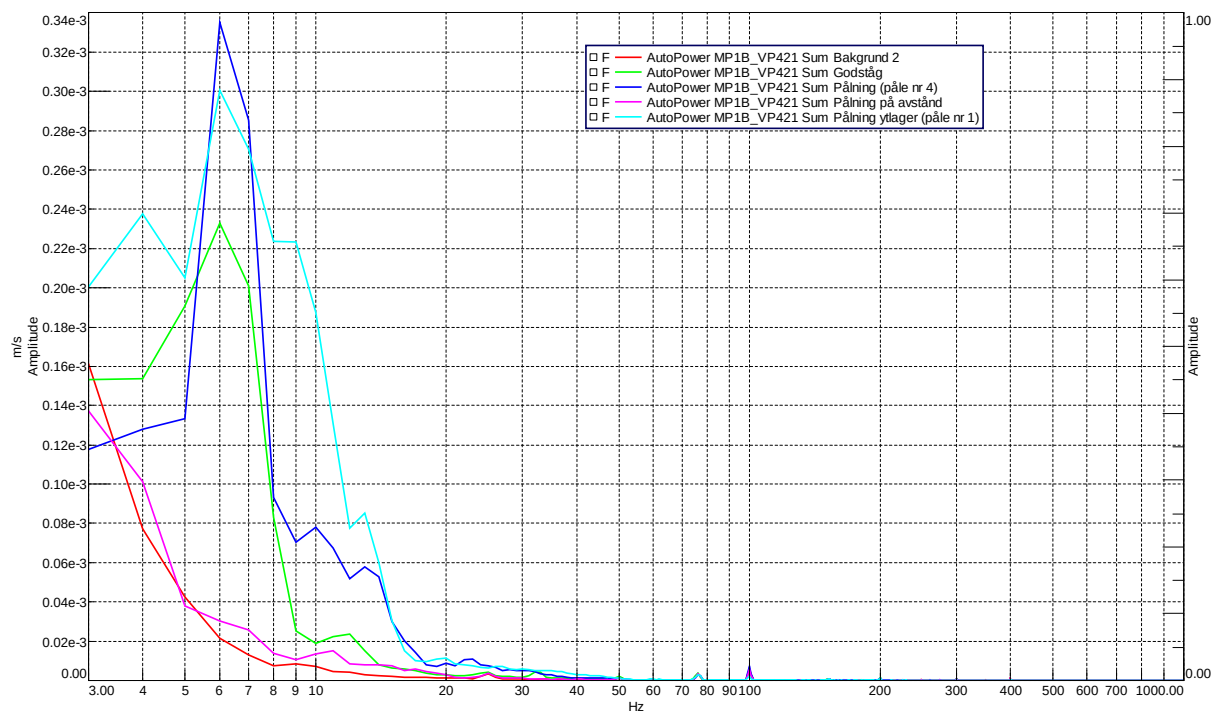
Även passage av godståg på bro 2 påverkar partikelaccelerationen. Pålning på avstånd, vid P2, ger ingen tydlig påverkan på partikelaccelerationen.

I Figur 22 visas den högsta partikelacceleration som mättes upp, position MP1A och pålning i ytlagret P1 påle nr 1, är 0,017 m/s² (peak, smalband).

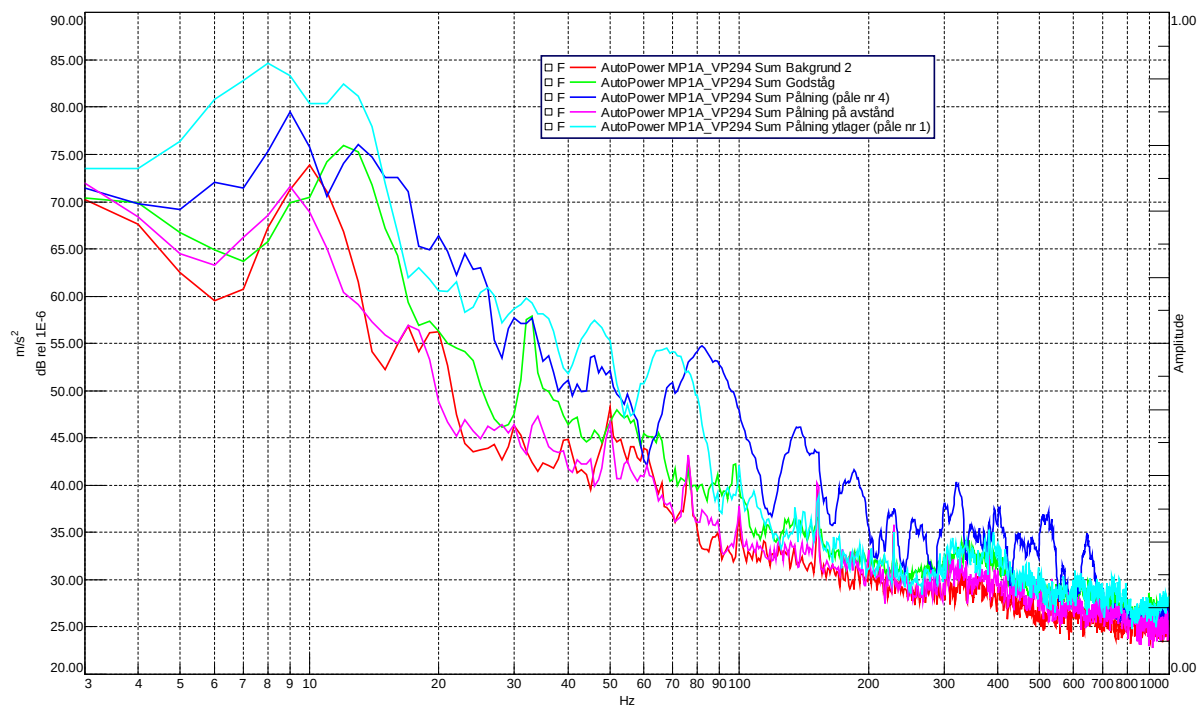
Den högsta partikelhastigheten som mättes upp, position MP1B, pålning i lerlager P1 påle nr 4, är 0,013 m/s² (peak, smalband).



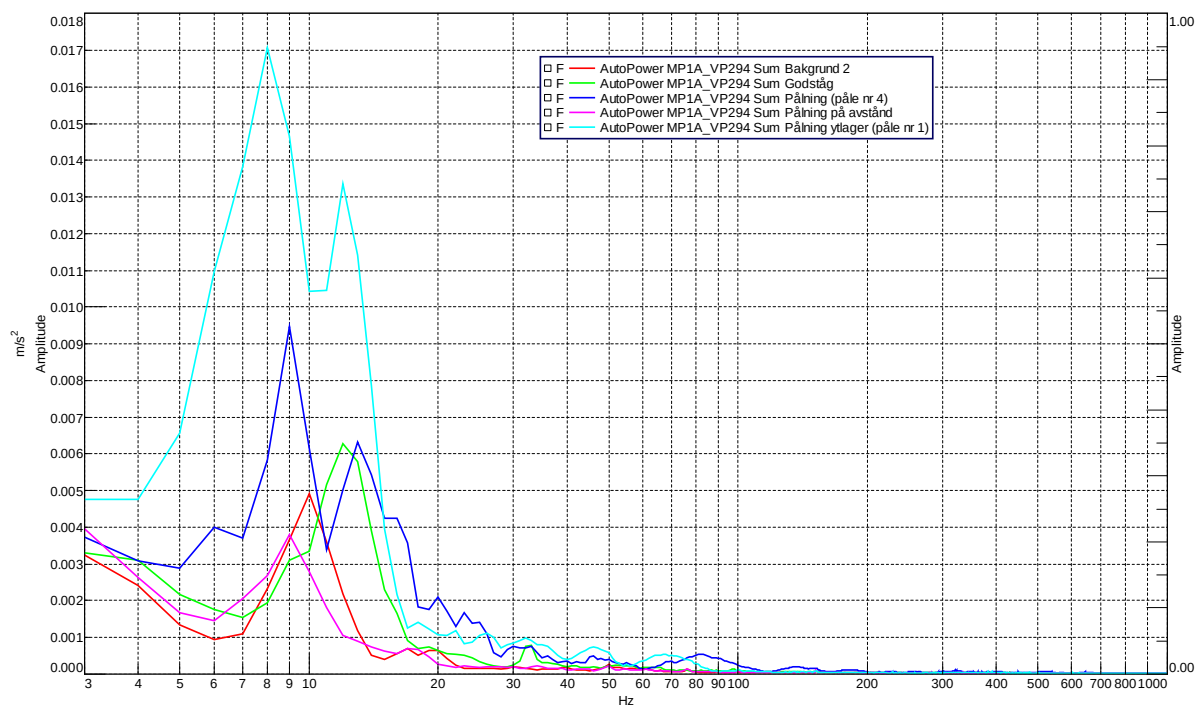
Figur 19 Partikelrörelse uttryckt som partikelhastighet i MP1A. Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



Figur 20 Partikelrörelse uttryckt som partikelhastighet i MP1B. Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



Figur 21 Partikelacceleration i MP1A - logskala. Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



Figur 22 Partikelacceleration i MP1A. Bakgrund, Godståg bro 2, kl 14:06, pålning på avstånd P2 samt pålning i P1. Vid P1 visas pålning i ytlager, påle nr 1, samt pålning i lerlager, påle nr 4.



RAPPORT

7 Bedömning av miljöpåverkan på fisk i Sävån

Vad författaren känner till finns mycket lite publicerat om hur fisk påverkas av pålning i vatten. Ingen information av hur fisk i vattendrag påverkas av undervattensljud från pålning har hittats vid den inledande litteratursökningen.

Högsta ljudtrycksnivåer och partikelrörelser i vattnet i Sävån vid pålning mättes upp i lågfrekvensområdet 3 – 20 Hz. Detta var ett förväntat resultat eftersom pålning ofta ger kraftiga markvibrationer i det lägre frekvensområdet. Noterbart däremot är att pålning påverkar ljudet i vattnet inom ett stort frekvensområde, upp till 1 kHz. (Här kan man spekulera i att Sävåns botten kopplar bra till vattnet.)

Vid pålning i position P1, 15 m till åkant, överskrider uppmätta ljudtrycksnivåer och partikelrörelser de i Sävån idag förekommande aktiviteterna så som sightseeingbåten Paddan och godståg på bro över Sävån. Dessa aktiviteter förekommer ofta, flera gånger per timme under den dag vi gjorde mätningarna, men med relativt kort varaktighet, de varade några sekunder till ett par minuter. När bakgrundsnyvån efteråt skulle bestämmas från mätningarna var det också svårt att hitta tidpunkter när ingen aktivitet hördes/förekom i ån.

Vid pålning på längre avstånd från åkanten, i P2 på avstånd 120 m från Sävån, uppmättes låga ljudtrycksnivåer och partikelrörelser. Dessa nivåer ligger med god marginal under de idag förekommande ljud och partikelrörelser från aktiviteter så som sightseeingbåten Paddan och godståg.

När man jämför uppmätta ljudtrycksnivåer respektive partikelrörelser från pålningen med angivna gränsvärden för fiskdöd eller dödlig skada, enligt ASA S3/SC1.4 TR-2014, ser man att de understiger gränsvärdena med mycket god marginal.

När man bedömer risk för beteenderekationer hos fisk orsakade av pålningsljud finns många parametrar att ta hänsyn till. Inte enbart ljudets eller partikelrörelsens nivå och varaktighet har betydelse utan dess frekvens är minst lika viktig. Från en enkel jämförelse mellan uppmätta värden och nivåer som enligt litteraturen ger beteenderekationer hos fisk, kapitel 7.1 och 7.2, ser man att det finns risk för detta eftersom ljud och partikelrörelserna från pålning är lågfrekventa.

7.1 Bedömning av ljudtrycksnivå

I denna studie uppmättes den högsta ljudtrycksnivån L_{peak} 158 dB re 1 μ Pa, vid pålning i position P1, 15 m till åkant, i ytlagret som består av makadam med ungefärlig tjocklek av 3 m. Vid övrig pålning i lerlagren ner till 75 m uppmättes ungefär 5 dB lägre ljudtrycksnivåer. Som jämförelse är högsta uppmätta ljudtrycksnivåer från Paddan, pråm och godståg L_{peak} 144-150 dB re 1 μ Pa.

Enligt Mathias H. Andersson, Stockholms universitet, och Peter Sigray, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), ger ljudtrycksnivåer inom L_{peak} 140-161 dB re 1 μ Pa beteenderekationer hos torsk och sjötunga, dvs. de fiskar som ingick i deras studie.

Ljudets frekvens har också stor betydelse och i en studie, som refereras till i Ulf Båmstedt, mfl VINDVAL (2009), av atlantlax visade fisken ett undvikande beteende då den utsattes för ljud av 10 Hz och en effekt på 10-15 dB över laxens tröskelvärde. Vid ljud av högre frekvenser var den betydligt mindre känslig.



De högsta ljudtrycksnivåerna uppmättes för frekvenser mellan 3 - 20 Hz vilket är i det frekvensområde som atlantlax uppgavs vara känslig. Vid 30 Hz har atlantlax ett hörseltröskelvärde på 108 dB re 1 μ Pa (tersband) avläst ur Figur 1 och (för pålning i ytlager) är högsta uppmätta ljudtrycksnivån vid 30 Hz 128 dB re 1 μ Pa (tersband). Vid 8 Hz är uppmätt ljudtrycksnivå som högst 148 dB re 1 μ Pa (peak, smalband) för pålning i ytlager, avläst ur Figur 17. Uppmätta ljudtrycksnivåer är alltså 20 - 40 dB över atlantlaxens hörtröskelvärde vid 8 - 30 Hz.

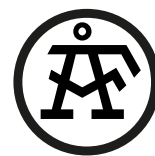
När man jämför de uppmätta ljudtrycksnivåerna med angivna gränsvärden för död eller dödlig skada, enligt *ASA S3/SC1.4 TR-2014*, ser man att de understiger gränsvärdet med mycket god marginal (158 << 229 dB re 1 μ Pa peak).

7.2 Bedömning av partikelrörelse

Högst uppmätt partikelhastighet är 0,340 mm/s (peak, smalband) och motsvarande partikelacceleration är 0,017 m/s² (peak, smalband). De högsta partikelrörelserna uppkommer vid pålning i ytlagret. Vid pålning i de underliggande lerlagren uppmättes lägre partikelrörelser.

De i denna studie uppmätta partikelrörelser ligger enligt Mathias H. Andersson, Stockholms universitet, och Peter Sigray, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), över det område om $8,6 \cdot 10^{-4}$ - $6,5 \cdot 10^{-3}$ m/s² (toppvärde) som ger beteendereaktion hos torsk och sjötunga.

När man jämför de uppmätta partikelhastigheterna med angivna gränsvärden för död eller dödlig skada för ägg och larver, enligt *ASA S3/SC1.4 TR-2014*, ser man att de understiger gränsvärdet med mycket god marginal (0,34 << 13 mm/s peak).



8 Referenser

Arthur N. Popper et al., (2014). ASA S3/SC1.4 TR-2014, Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI, ASA Press, Registered with ANSI on 20 April 2014

Källman, M. (2011). Sweco Environment AB, Undervattensljudmätning - Vindplats Göteborg. ÅF Infrastructure AB, Ljud och Vibrationer, Göteborg

Ljud från pålning av vindkraftfundament – påverkan på fiskbeteende
Mathias H. Andersson och Peter Sigray, NATURVÅRDSVERKET rapport 6437, ISBN 978-91-620-6437-2, ISSN 0282-7298, Juli 2011

DATA SHEET, Junttan Pile Driving Rig PN 23, 05/2011

Ulf Båmstedt, Stefan Larsson och Åsa Stenman, Umeå Marina Forskningsstation, Carin Magnhagen, Sveriges Lantbruksuniversitet, Peter Sigray, Försvarets Forskningsinstitut (2009). Effekter av undervattensljud från havsbaserade vindkraftverk på fisk från Bottniska viken, NATURVÅRDSVERKET rapport 5924 mars 2009,

Lena Bergström, Håkan Westerberg, Hans Olofsson, Thomas Axenrot, Mattias Sköld (2007). Revidering av kunskapsläget för vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden. ISSN 1404-8590, Fiskeriverket 2007

Frank Thomsen, Karin Lüdemann, Rudolf Kafemann, Werner Piper (Juli 06 2006). Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish COWRIE Ltd

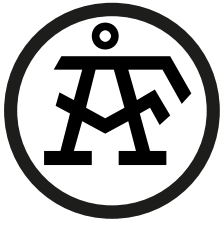
Lindell, H. (2003). Utgrunden – Havsbaserad Vindkraftspark. Mätning av undervattensbuller. Göteborg. Ingemansson Technology AB.

Degn, Uffe (2000). Havvindmøller – VVM, Ödegaard & Danneskiold-Samsøe A/S, rapport 00.792 rev 1

Westerberg, H. 1996. Ljud och vibrationsmätningar vid broar, Fiskeriverket Kustlaboratoriet

Finnveden, Svante (1988). Vindkraft – buller. Undervattensbuller. Transmission av buller från vindkraftverk till ljud i vatten. Underlagsmaterial till SOU 1988:32. Bostadsdepartementet, vindkraftsutredning rapport 4, Avd:3. Acc-nr:3/88/LC

Urick, J. Robert 1983. Principles of underwater sound, 3rd edition. McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-066087-5

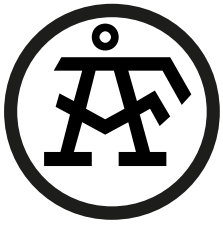


magnus.kallman@afconsult.com
703738/Ver 1.0

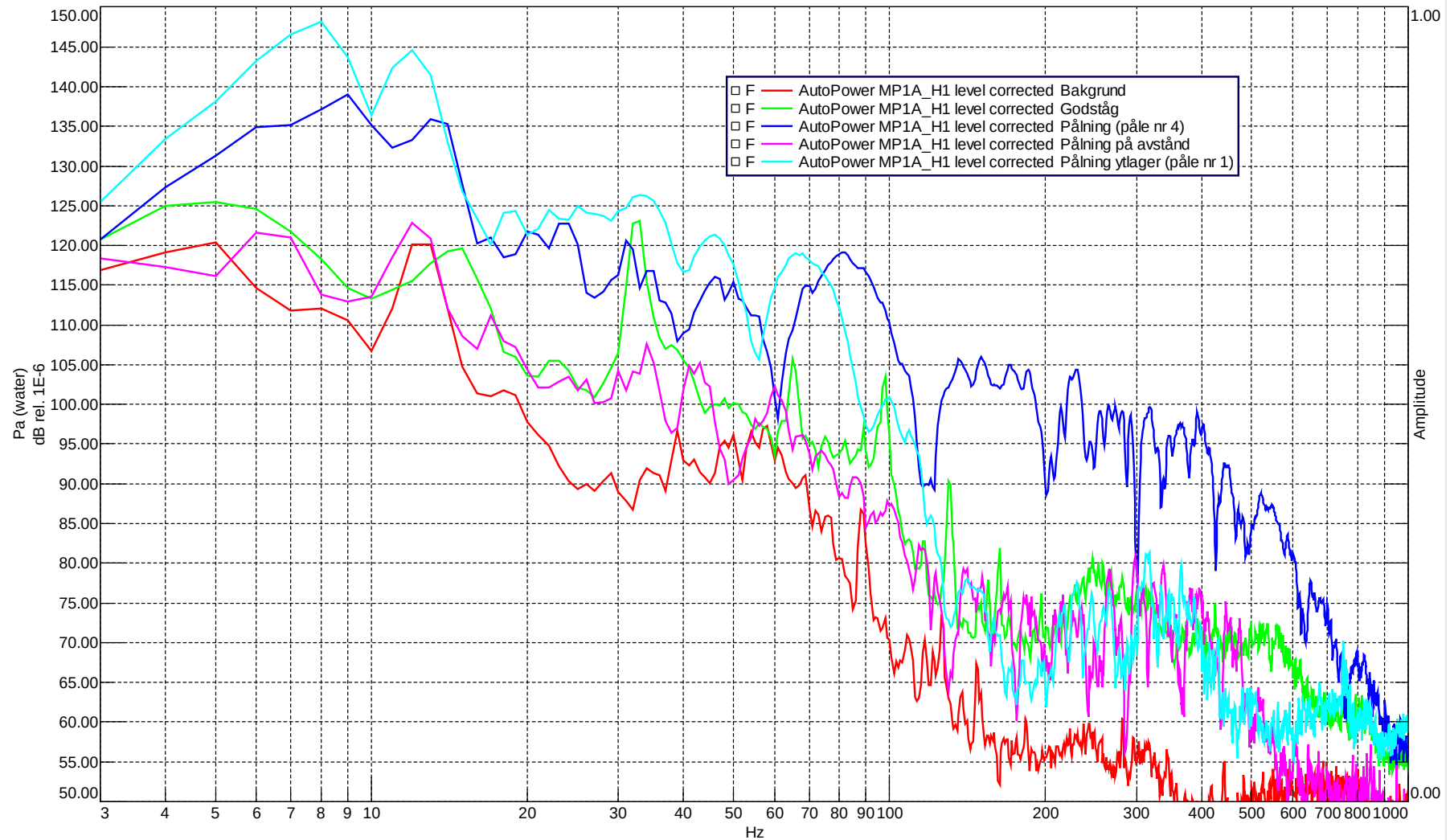
Resultat från mätningar Säveån 2015-06-15

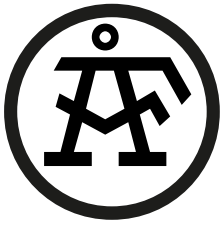
Appendix till ÅF-rapport 703738

Version 1.0

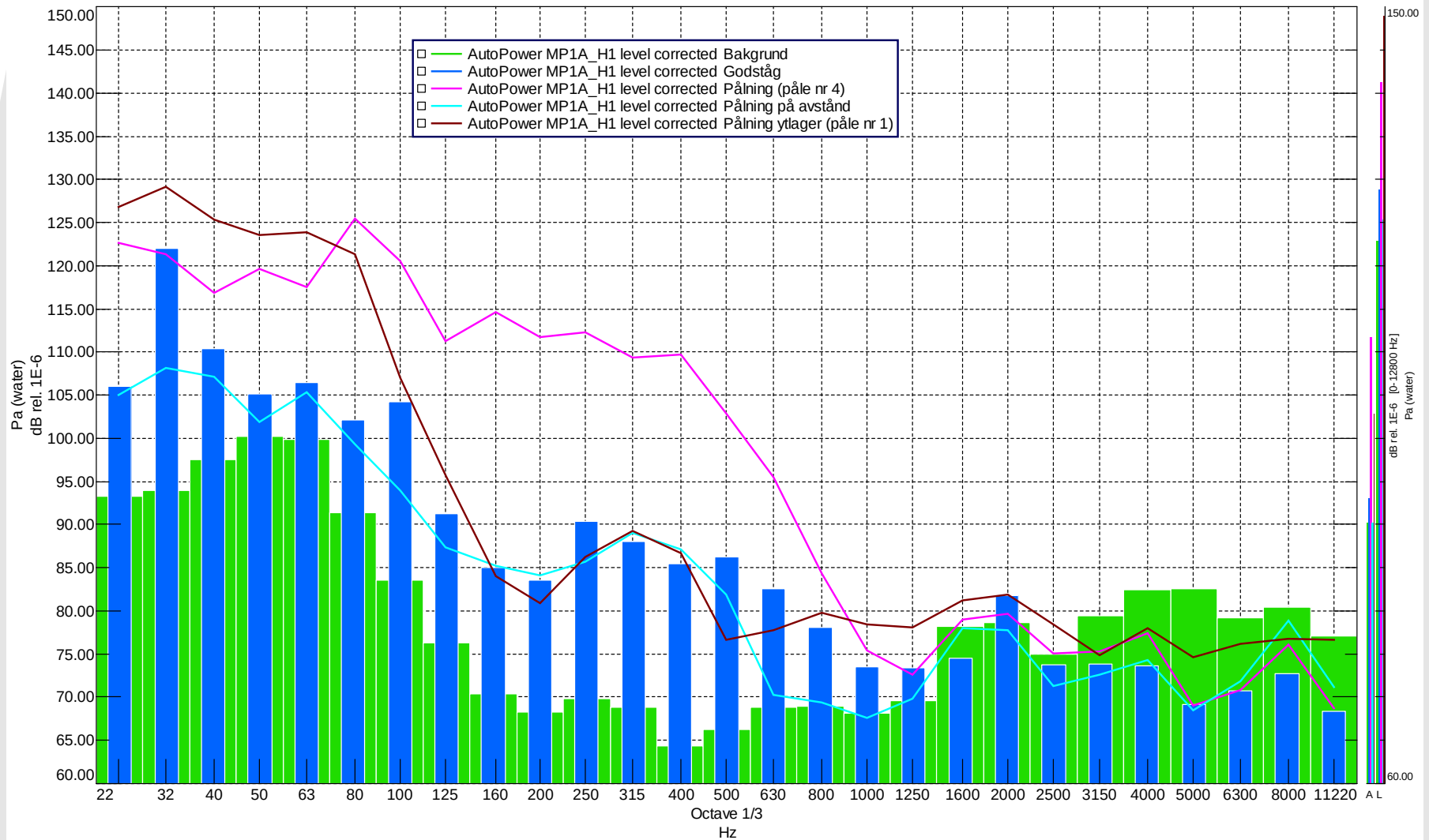


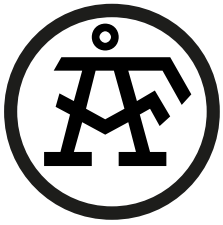
Hydrofon H1 (MP1A, smalband, ovägt, toppvärde)



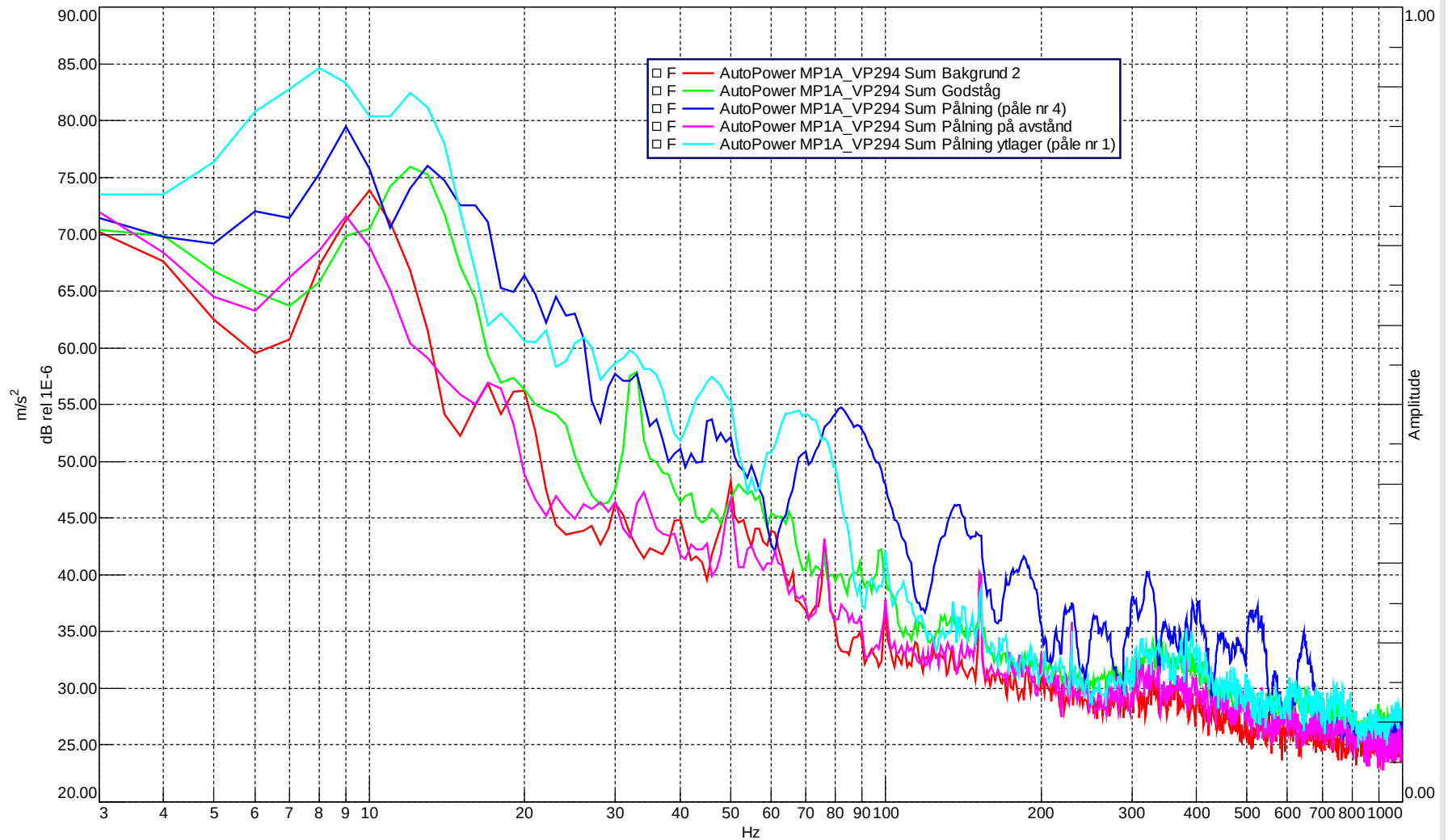


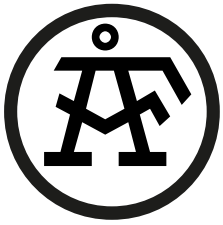
Hydrofon H1 (MP1A, tersband, ovägt, toppvärde)



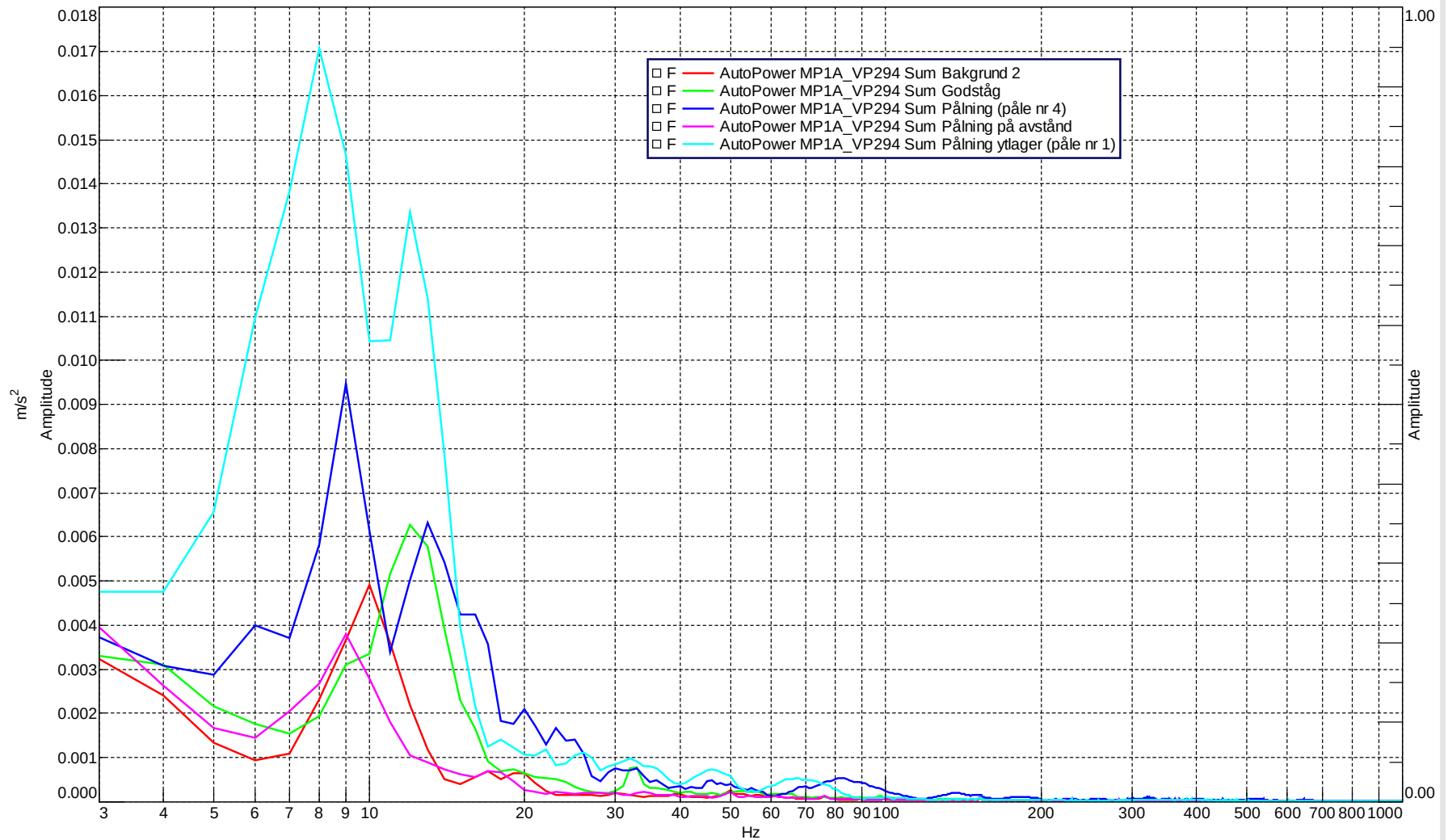


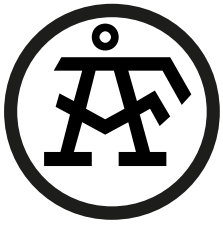
VP294 (MP1A, partikelacceleration, smalband, toppvärde)



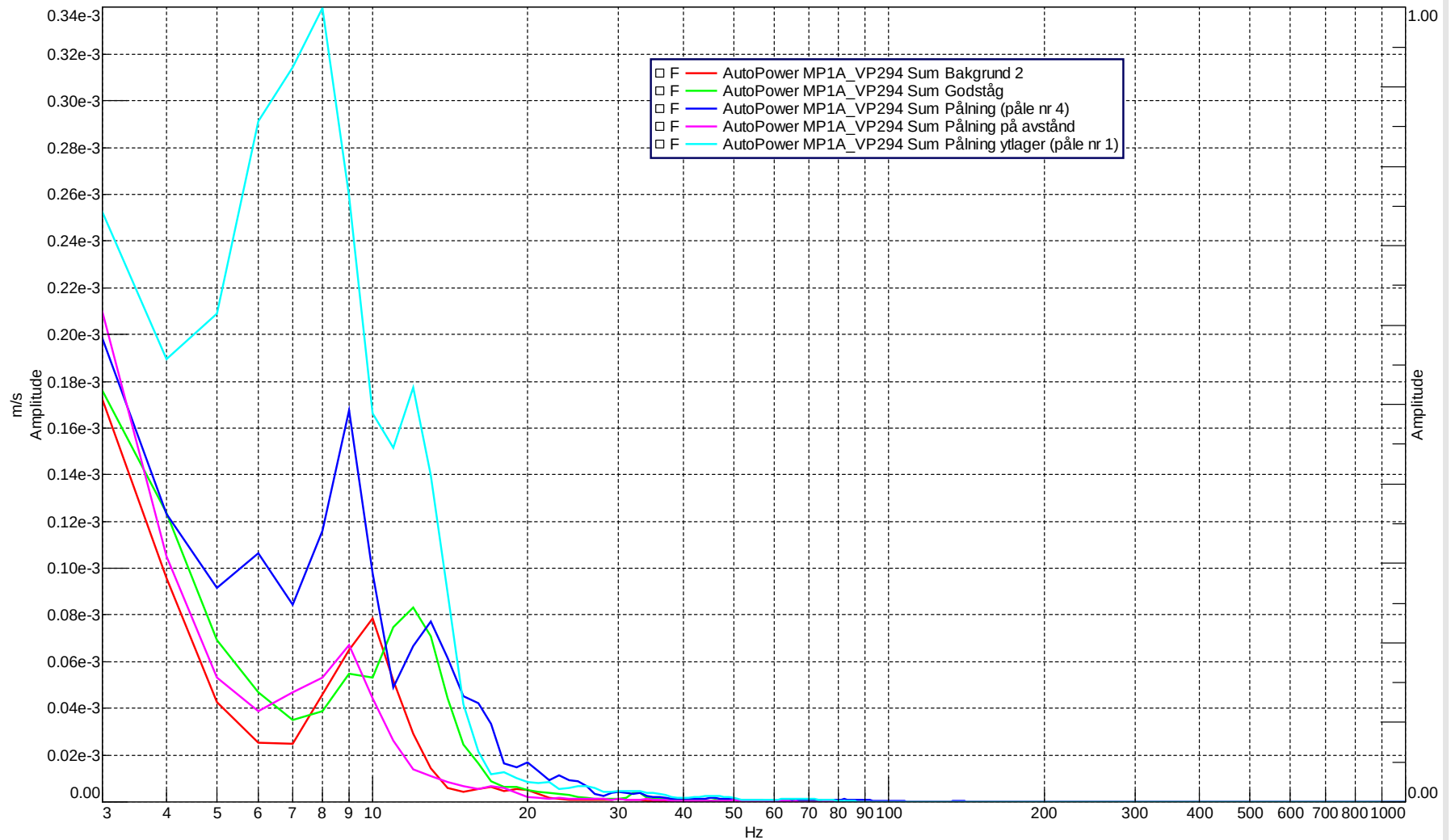


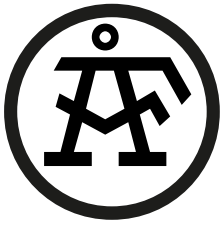
VP294 (MP1A, partikelacceleration, smalband, toppvärde)



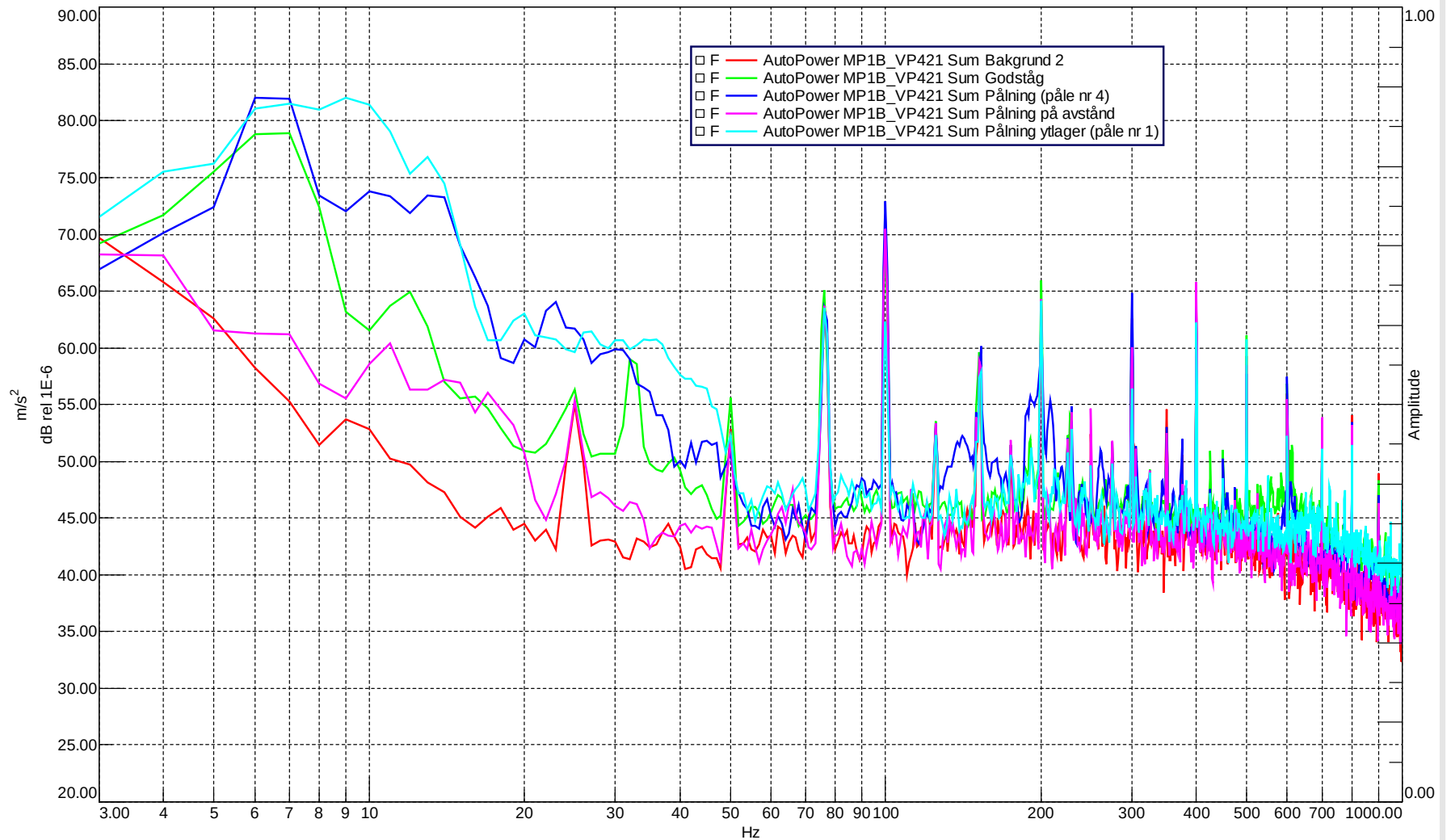


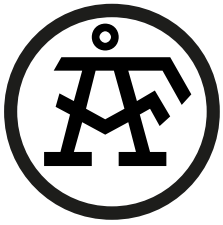
VP294 (MP1A, partikelhastighet, smalband, toppvärde)



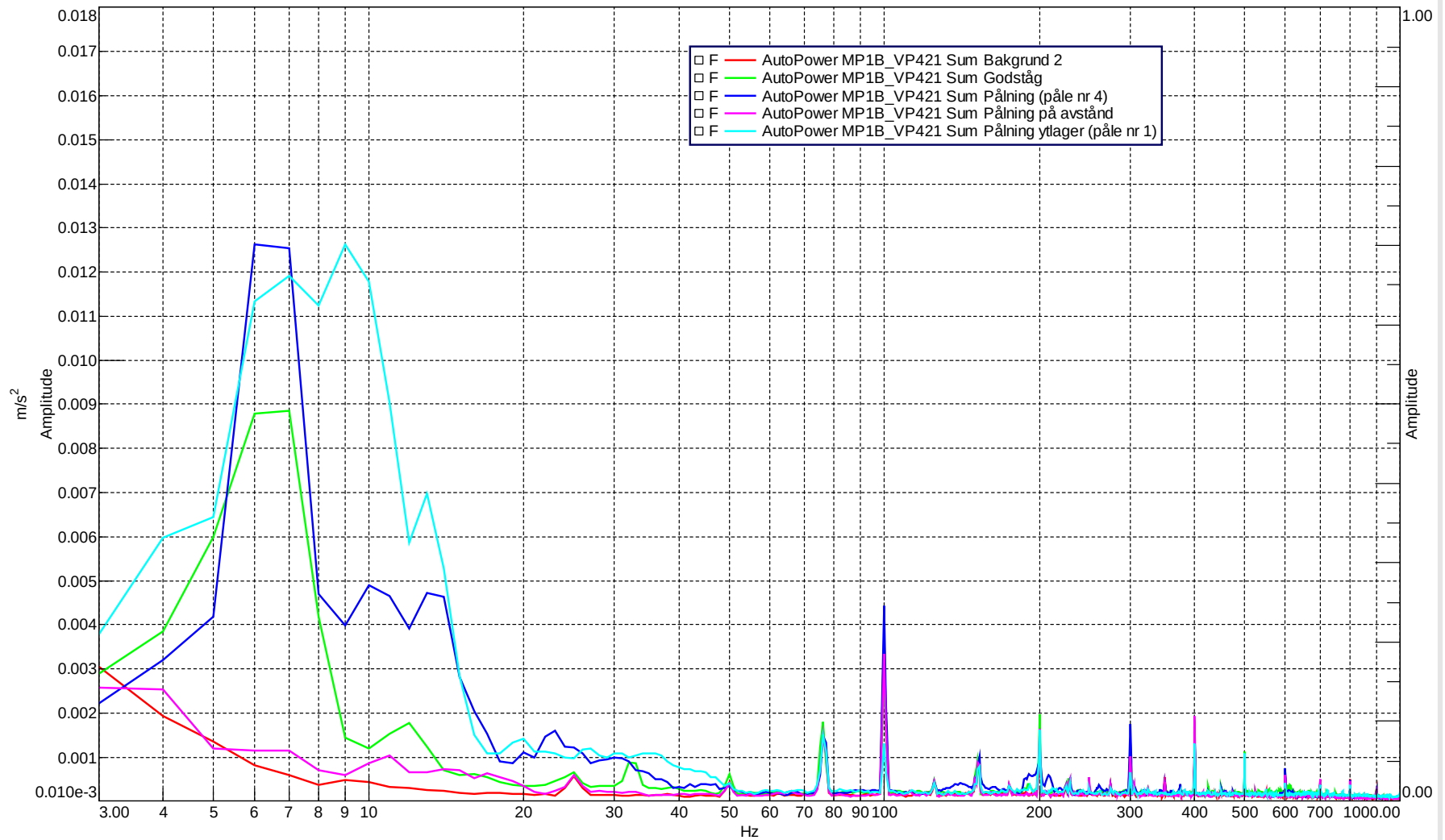


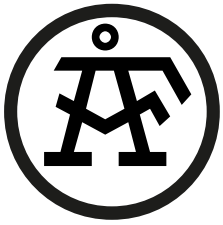
VP421 (MP1B, partikelacceleration, smalband, toppvärde)



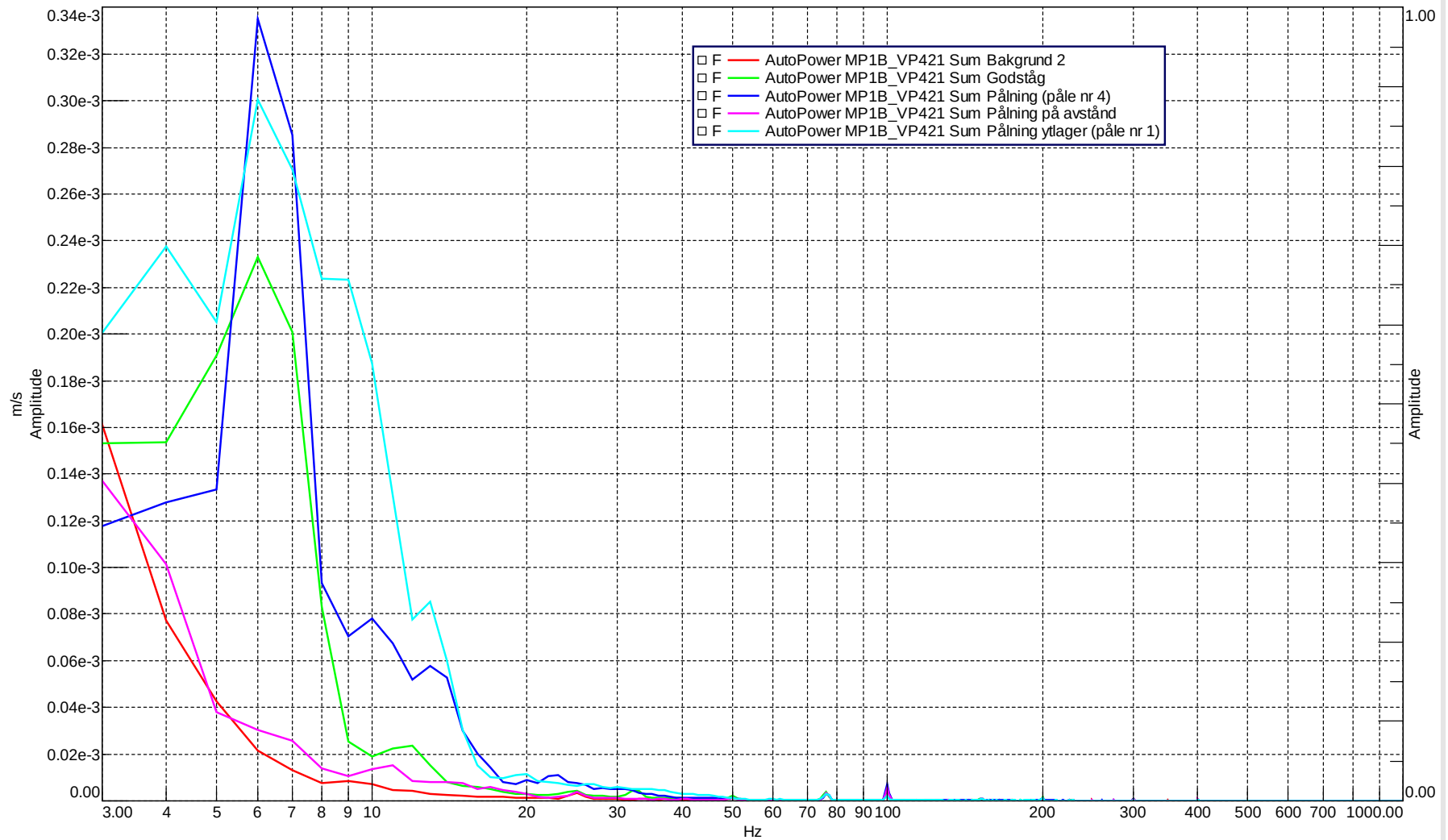


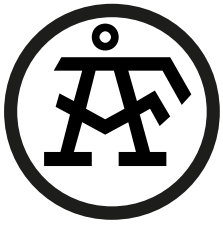
VP421 (MP1B, partikelacceleration, smalband, toppvärde)



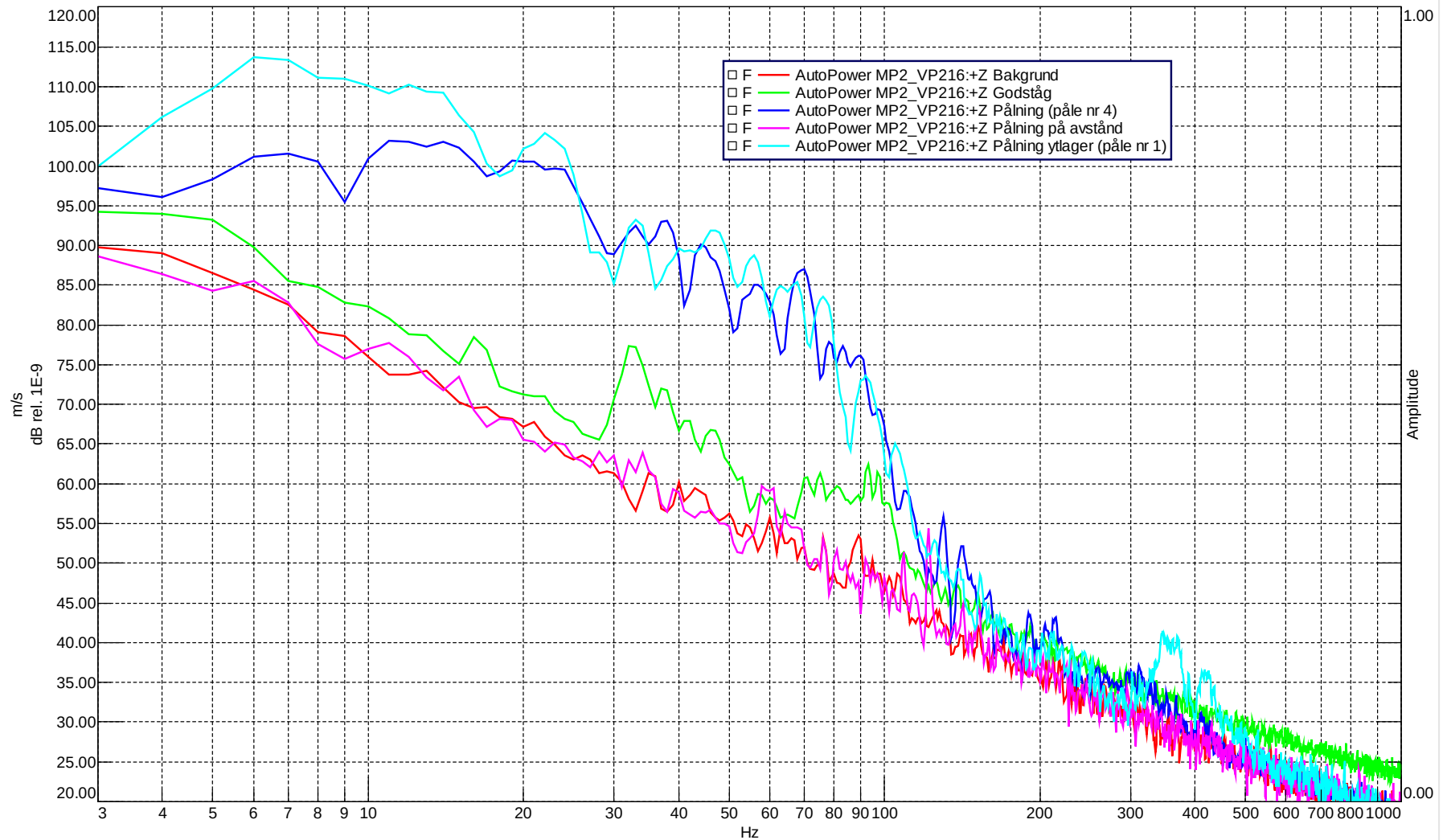


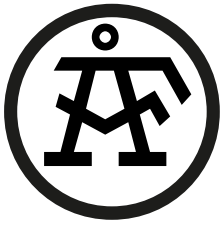
VP421 (MP1B, partikelhastighet, smalband, toppvärde)



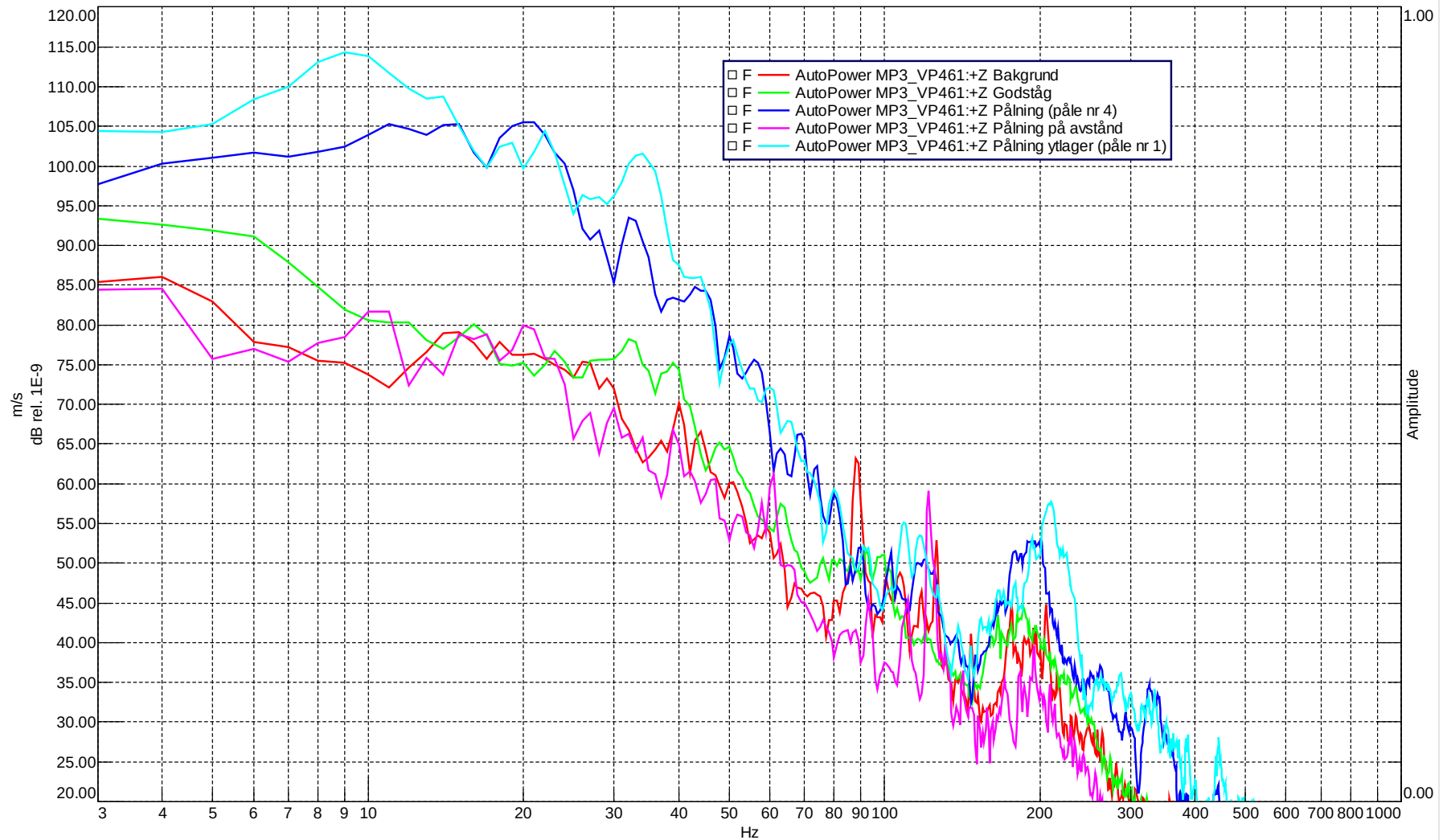


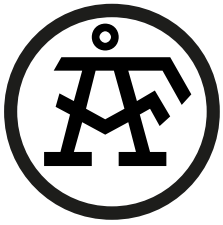
VP216 (MP2, vertikal vibrationsnivå, smalband, toppvärde)



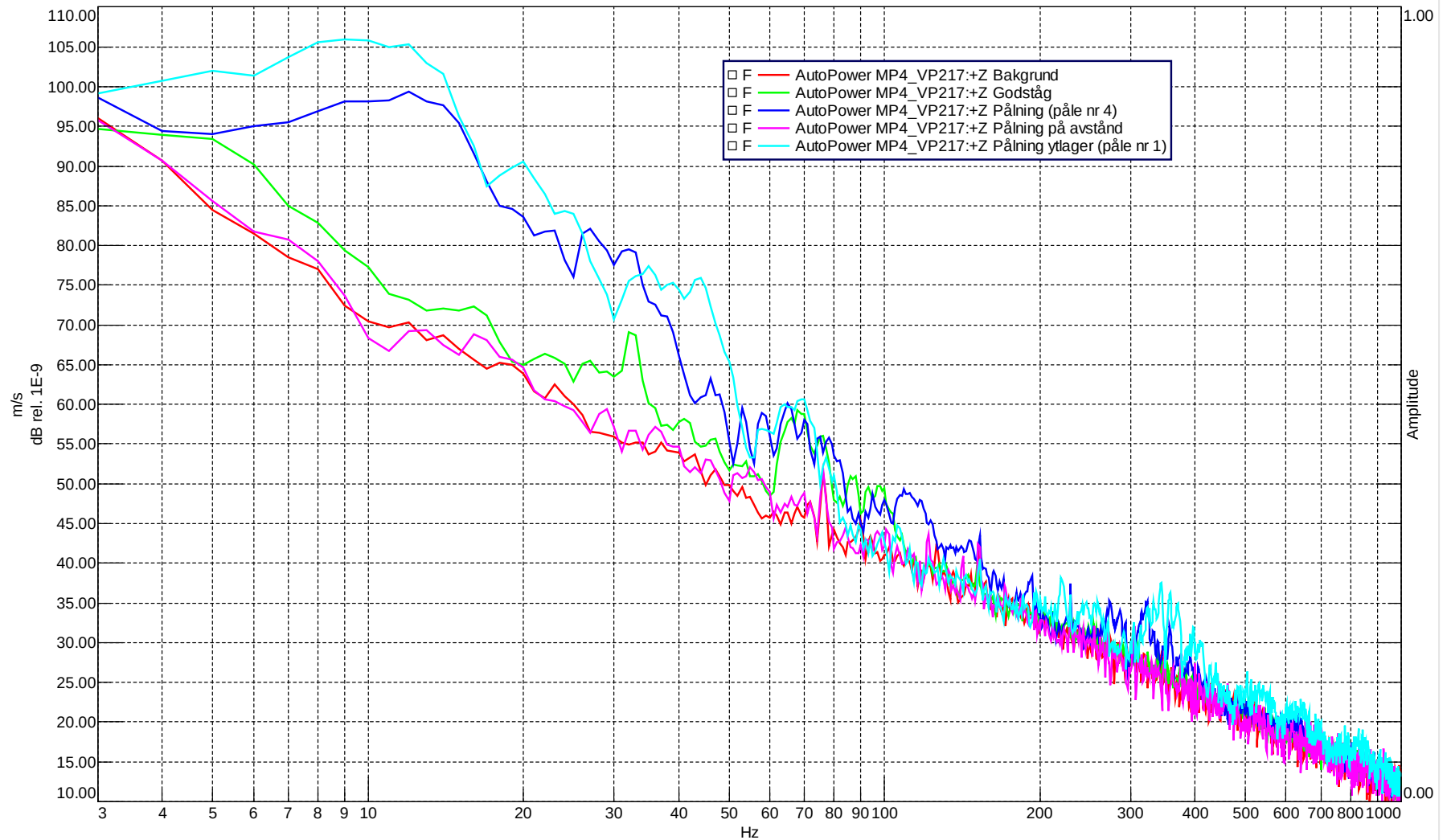


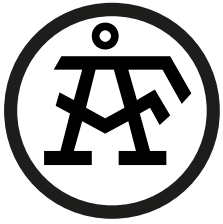
VP461 (MP3, vertikal vibrationsnivå, smalband, toppvärde)



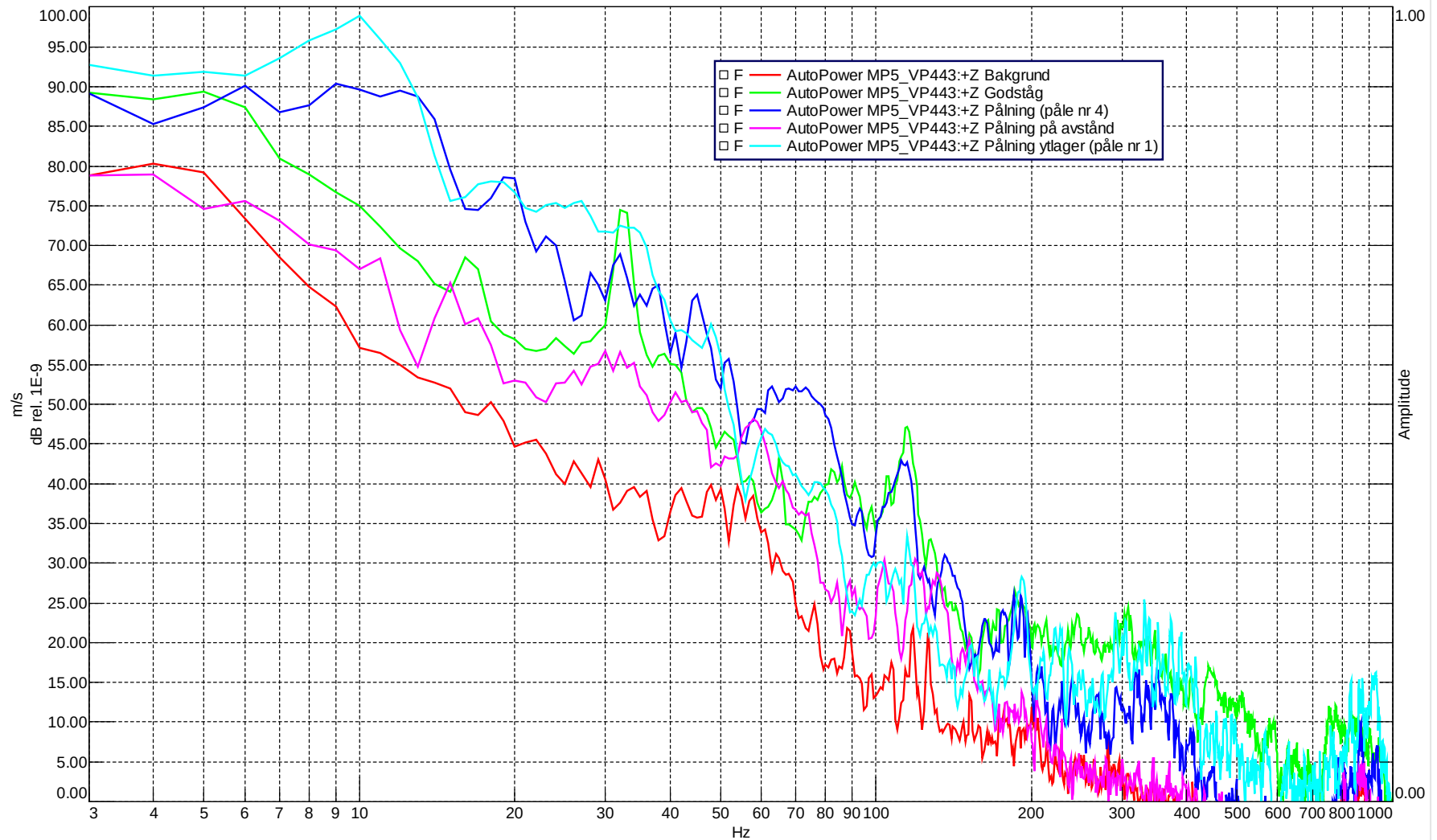


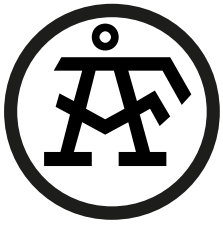
VP217 (MP4, vertikal vibrationsnivå, smalband, toppvärde)



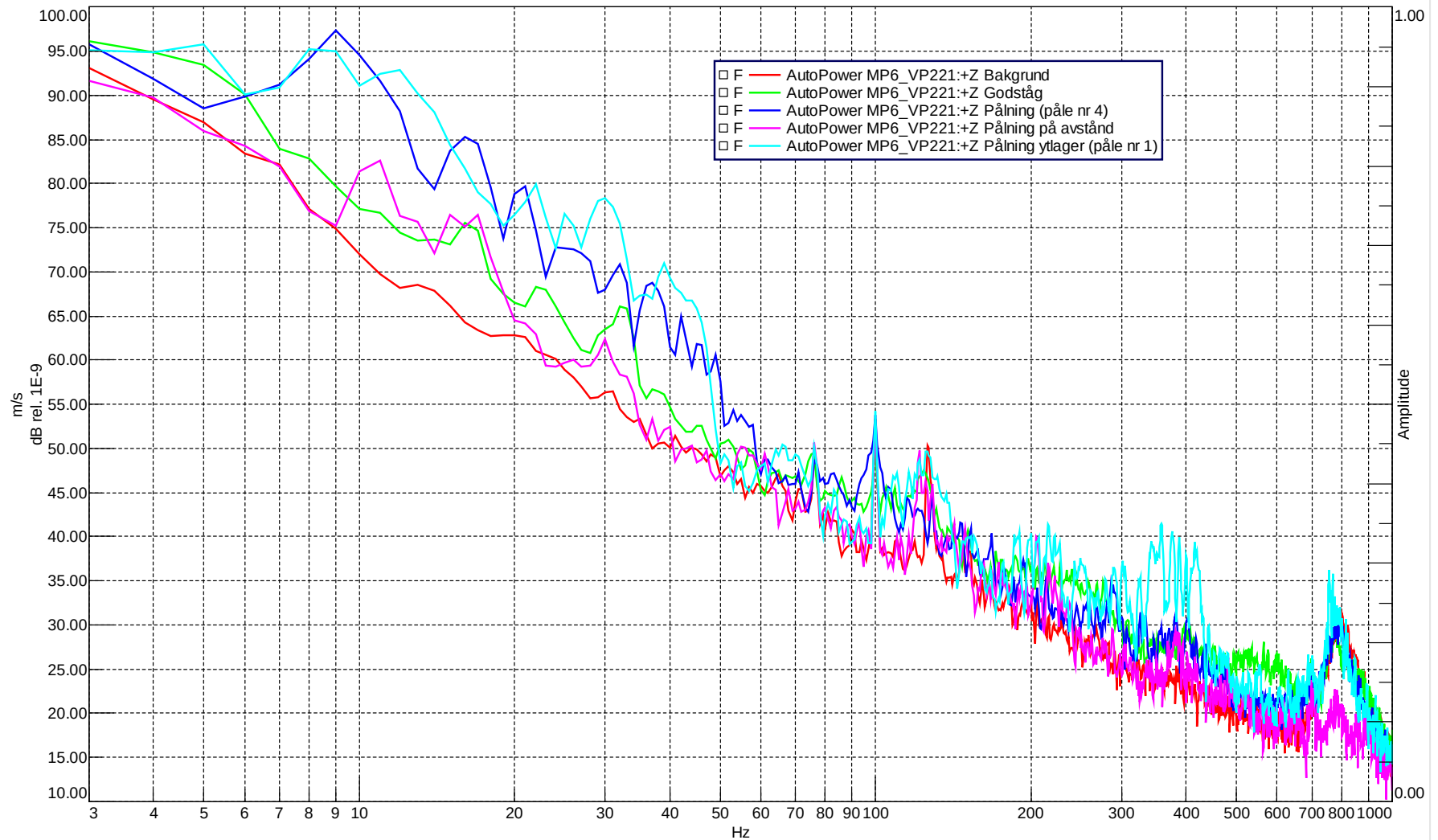


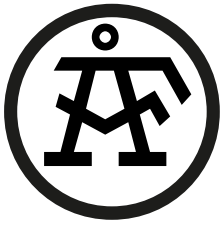
VP443 (MP5, vertikal vibrationsnivå, smalband, toppvärde)



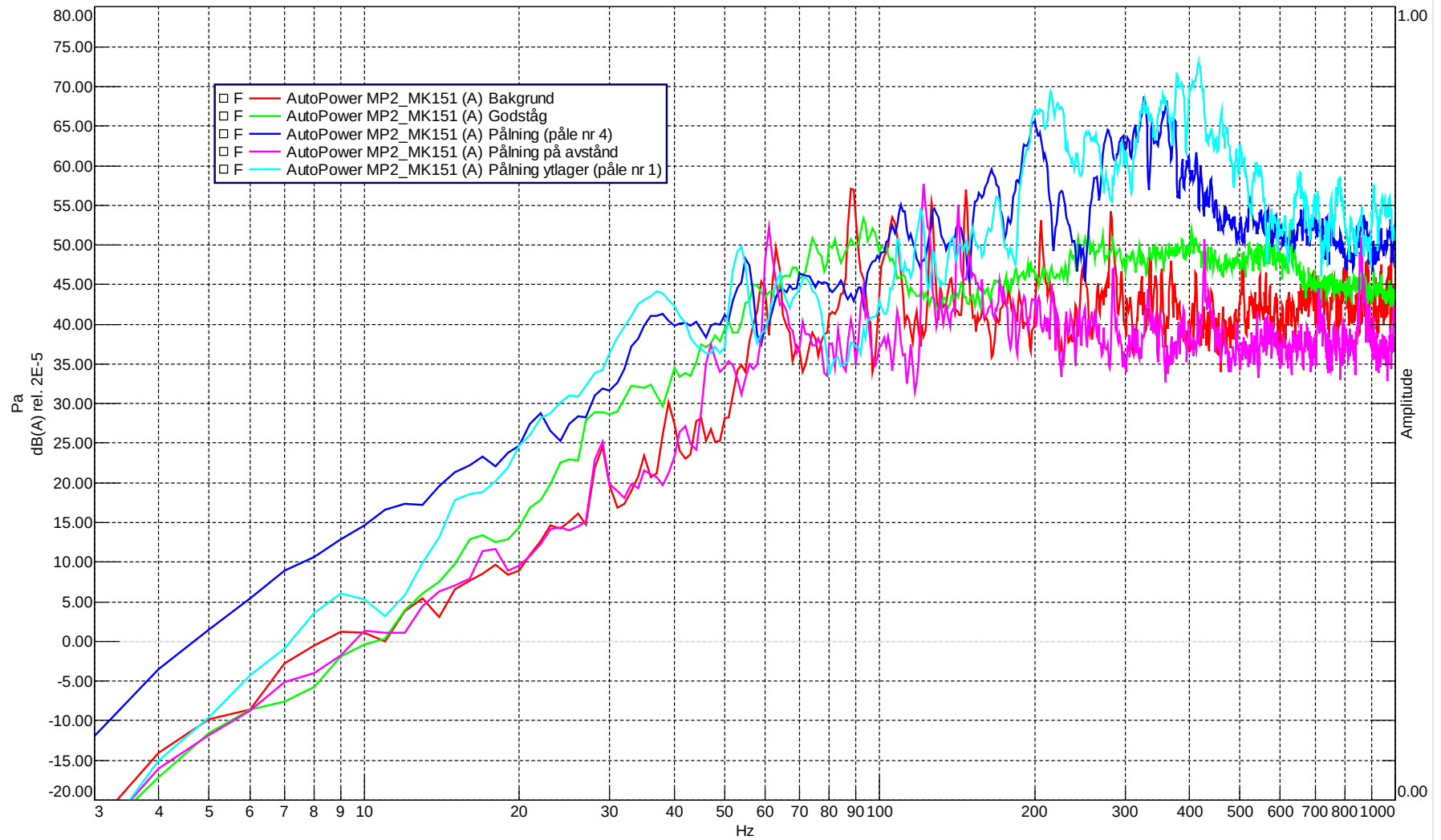


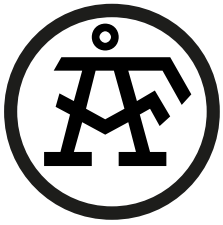
VP221 (MP6, vertikal vibrationsnivå, smalband, toppvärde)





MK151 (a-vägd)





MK151 (linjär)

