

TEKNISK RAPPORT

Impulstillæg, Fase 3 – Lyttetest og sammenfatning

Udført for Miljøstyrelsen

Sagsnr.: 122-26479

TC-102058

Side 1 af 116

Hørsholm, 17. marts 2023

Akustik, støj og vibrationer

Kvalitetssikret af

Udfærdiget af

OVERSIGT

Titel	Impulsundersøgelse, Fase 3 – Lyttetest og sammenfatning
Sagsnr.	122-26479
TC-nr.	TC-102058
Kunde	Miljøstyrelsen Tolderlundsvej 5 5000 Odense C Tlf.: +45 72544000
Kontaktperson	Frank Pedersen E-mail: frape@mst.dk
Revisioner	Originalrapport
Testlokation	Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm
Vores ref.	THP/PFI/CVO/ilk

Rapporten må kun gengives i sin helhed.

Gengivelse i uddrag kræver skriftlig accept fra FORCE Technology.

Rapporten er kun gyldig med to digitale signaturer fra FORCE Technology. Rapporten forefindes som original i FORCE Technologys database og sendes som elektronisk duplikat til kunden. Den hos FORCE Technology lagrede original har forrang som dokumentation for rapportens indhold og gyldighed.

Resumé

Dette er tredje og sidste del af et projekt om det tillæg, der gives til det målte L_{Aeq} for virksomhedsstøj for den ekstra genevirkning, som impulsstøj giver anledning til.

Formålet med projektet er at skabe en ensartet praksis ved tildeling af impulstillægget i forbindelse med miljøgodkendelser og påbud samt at efterprøve og evt. justere den objektive målemetode, som er resumeret i afsnit 4.

Fase 1 var en gennemgang af den administrative praksis med forslag til forbedringer.

Fase 2 var et litteraturstudie, der undersøgte, om der var ny viden om størrelsen af det graduerede genetillæg og om administrationen af dette.

Fase 2a bestod af en opinionsundersøgelse om administration af impulstillægget blandt personer, der arbejder med ekstern støj hos miljømyndigheder og godkendte laboratorier.

Fase 3 vedrører lytteforsøg med forskellige grader af impulsers tydelighed. Formålet er at efterprøve og evt. justere den objektive målemetode, som er beskrevet i Orientering nr. 32 fra Referencelaboratoriet, og som er standardiseret nordisk og internationalt.

Der er gennemført lytteforsøg, hvor genevirkningen af impulsstøjen er sammenlignet med genevirkningen af konstant støj for at se, hvor meget højere niveauet af sidstnævnte skal være, for at genen svarer til genen af impulsstøjen. Yderligere er betydningen af impulsernes stejlhed belyst. Resultaterne af lytteforsøgene er sammenstillet med resultaterne fra de oprindelige lytteforsøg, der var grundlaget for metodens udvikling og resultaterne af finske lytteforsøg.

På baggrund af de sammenstillede data konkluderes, at det er muligt at optimere impulsmetoden, så den på alle væsentlige parametre giver en bedre tilpasning til data fra de tre lytteforsøg end den oprindelige.

I gennemsnit giver den optimerede metode 3,3 dB mindre tillæg, og specielt korrigerer den for den overvurdering af impulser med høje stejkheder, som den oprindelige metode giver anledning til. Den optimerede metode begrænser i praksis de maksimale tillæg til under 9 dB. Nogle af de stimuli, der forekom i lytte-testene, havde meget fremtrædende impulser. Tillægget for disse, beregnet med den optimerede metode, er 8,6 dB, hvilket er på linje med de subjektivt bedømte tillæg. Analyser viste, at antallet af impulser i stimuli ikke var signifikant for genen.

Den eneste forskel mellem den oprindelige metode og den optimerede metode er, at konstanterne for beregning af tydeligheden ændres, således at formlen for tydelighed, P nu er:

$$P = 1,5 \cdot \log(\text{stejlhed}/[\text{dB/s}]) + 3,5 \cdot \log(\text{niveaudifferens}/[\text{dB}])^1$$

og at der ved beregningen af, P er indført en begrænsning af stejlheden på 500 dB/s.

Det anbefales, at den optimerede impulsmetode fremover benyttes som støtte for vurdering af impulstillæg sammen med det forslag til vejledningstekst, som er angivet i afsnit 3 side 18.

En beregningsmæssig sikkerhed for, at tillægget ikke kan overstige 9 dB, kan opnås ved at begrænse niveaudifferensens indflydelse til 50 dB. Dette er dog ikke psykoakustisk begrundet.

Det foreslås, at beskrivelsen af impulsmetoden på dansk opdateres, så den i højere grad følger DS/ISO/PAS 1996-3:2022 "Objektiv metode til måling af impulsers tydelighed og tildeling af L_{Aeq} -tillæg".

¹ Konstanten til $\log(\text{stejlhed})$ er ændret fra 3, og konstanten for $\log(\text{niveaudifferens})$ er ændret fra 2.

INDHOLDSFORTEGNELSE

0	Summary in English.....	7
0.1	Background.....	7
0.2	Listening tests.....	7
0.3	Merged data.....	11
0.4	Negative adjustments and Reference noise	12
0.5	Conclusion	13
0.6	The Optimized method.....	13
1	Baggrund og formål	15
2	Sammenfatning af tidligere faser	16
2.1	Impulstillæg – DEL 1: Baggrund og administrativ praksis, 2018.....	16
2.2	Vurdering af ekstra gene fra impulsstøj – et litteraturstudie, 2021	16
2.3	Impulstillæg – Opinionsundersøgelse om administration af impulstillægget, 2021.....	17
3	Forslag til vejledningstekst.....	18
4	Resume af impulsmetoden.....	19
4.1	Definitioner	19
4.2	Måling og beregning af impulstillægget.....	19
5	Tidligere udførte lytteforsøg DK1 og FI	20
5.1	Oprindelige danske lytteforsøg, DK1	20
5.2	Finske lytteforsøg, FI	22
6	Lydeksempler til lyttetest, DK2.....	26
6.1	Valg af lydkilder.....	26
6.2	Lydoptagelser.....	26
6.3	Signalbehandling	27
6.4	Baggrundsstøj	30
6.5	Stimuli til lyttetest.....	30

6.6	Referencestøj	31
7	Fysiske målinger på stimuli.....	31
8	Lyttetest	34
8.1	Metode	34
8.2	Stimuli	36
8.3	Lyttbokse og teknisk udstyr	36
8.4	Assessorer	37
8.5	Testadministration	37
9	Resultater af lytteforsøg	38
9.1	Terminologi.....	38
9.2	Resultater for Tydelighed	39
9.3	Resultater for Gene	43
10	Sammenstilling af lytteforsøg og fysiske målinger.....	48
10.1	Tydelighed	48
10.2	Referencestøj og sammenhæng mellem ekstra gene og impulstillæg	49
10.3	Genetillæg	51
11	Referencestøjens betydning	55
11.1	Negative "tillæg"	55
11.2	Referencestøjens betydning for tillæggets størrelse	55
12	Sammenstilling af alle tre lyttetests DK1, FI og DK2	56
12.1	Konklusion på optimering	57
12.2	Den optimerede metode og de finske resultater	58
13	Diskussion	60
13.1	Resumé af hovedresultater.....	60
13.2	Diskussion.....	63
14	Konklusion.....	64
15	Referencer	65
Bilag 1	Beskrivelse af stimuli	67

Bilag 2	Simplificeret udendørs baggrundsstøj	81
Bilag 3	Resultater af fysiske målinger	83
Bilag 4	Instruktion til assessorer	88
Bilag 5	Instrumentlister	91
	Optagelser i felten	91
	Udstyr ved Lyttetest	91
Bilag 6	Individuelle bedømmelser af Tydelighed	92
	Bedømmelser pr stimulus	92
	Bedømmelser pr. assessor	97
Bilag 7	Individuelle bedømmelser af Gene	99
Bilag 8	Optimering af metoden	103
	Optimale maksimum for stejlhed	103
	Optimering af metodens konstanter	104
	Forskellige modeller for beregning af K_I	107
Bilag 9	Sammenligning af originale og optimerede metode	114
Bilag 10	Yderligere aktiviteter	115
	Kontakt til ISO	115
	Referencestøj	115
	Ny underbyggende lyttetest	115
	Niveauafhængighed af impulstillægget	116
	Tillæg baseret på maksimal tydelighed eller gennemsnit af flere impulser	116

0 Summary in English

0.1 Background

This is the third and final part of a project on the adjustment (penalty) to the measured L_{Aeq} for environmental noise for the additional annoyance caused by prominent impulses.

Phase 1 was a review of the administrative practice with suggestions for improvements.

Phase 2 was a literature study investigating new knowledge about the size of the adjustment and about its administration.

Phase 2a consisted of an opinion survey on the administration of the impulse adjustment, among authorities and people working with environmental noise and the approved laboratories (within environmental noise)

Phase 3 concerns listening tests with different degrees of prominent impulses. The purpose is to check and possibly adjust the objective measurement method, which is described in Danish and international references [2], [4], [5], [6] and [7].

0.2 Listening tests

As part of this project, a listening test DK2 (see below) was carried out. In these the annoyance of the impulsive noise is compared to the annoyance of a constant reference noise to see how much higher the level of the latter must be for the annoyance to correspond to the annoyance of the impulsive noise. Furthermore, the significance of the onset rate of the impulses for prominence and annoyance is investigated. The results of the listening tests are compared with the results from the original listening tests, DK1 which were the basis for the development of the method, [3], and the results of Finnish listening tests FI.

Based on the merged data from the three listening tests, it is concluded that it is possible to optimize the impulse method so that it provides a better fit to the data than the original, on all significant parameters.

Listening test DK1

The 34 stimuli for the listening test came mainly from real noise sources in the environment, which were recorded with binaural technique and reproduced over open headphones in the test having 17 listeners.

The sound samples (stimuli) were 30 seconds long, had onset rates of 2-667 dB/s and level differences of 1-37 dB. They were presented with L_{Aeq} levels at 40 and 60 dB.

The listeners rated prominence and annoyance. There was no reference noise. In the data processing for this report the prominence was converted to an adjustment according to the formula in the original impulse method. This listening test is reported in reference [3].

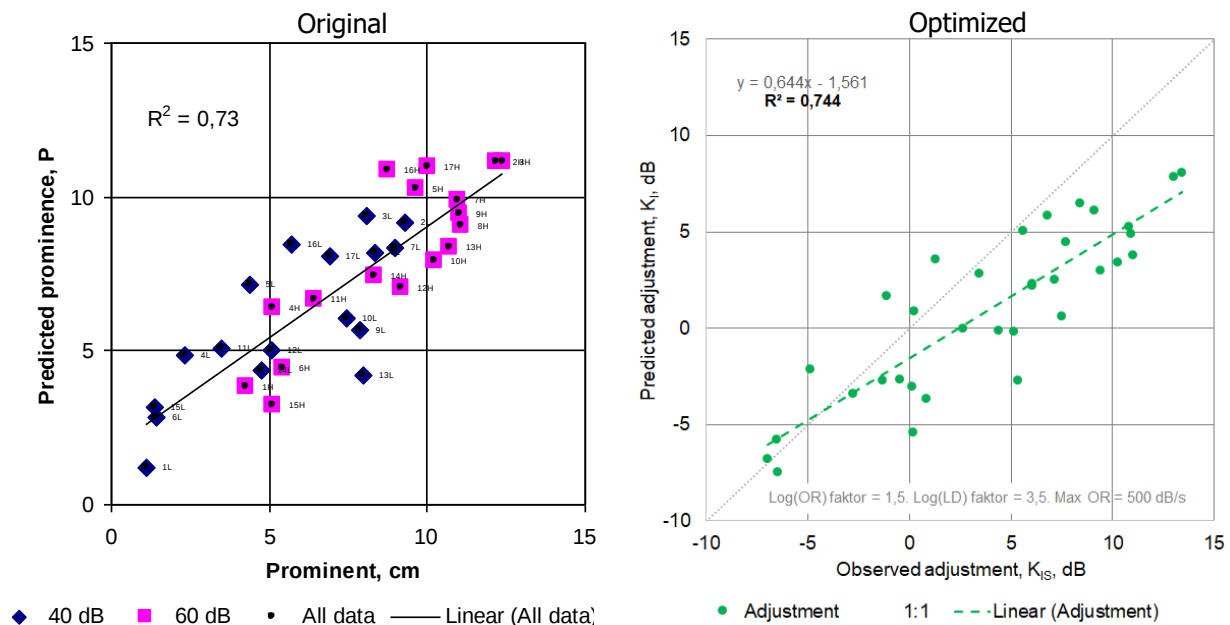


Figure 1 Results from listening test DK1. Left panel: The measured (i.e. rated by the listeners) prominence (x-axis) and the predicted prominence calculated with the impulse method (y-axis) from the original listening test. The stimulus groups were $L_{Aeq} = 40$ and 60 dB. Right panel: The "Observed" adjustments, K_{iS} , are calculated from the observed prominence and the formulas in the method. The predicted prominence is calculated with the constants for the optimised method and converted into adjustments K_i .

From the right panel in Figure 1, it is seen that the predicted adjustments are not in a perfect 1:1 relationship to the "observed", but it should be noted that the latter is not observed by comparison to a reference noise as in the FI and DK2 listening tests.

Listening test FI

The 33 stimuli for the listening test were artificially generated noise reproduced over open headphones in the test with 32 listeners.

The stimuli were 18.5 seconds long and had slopes of 5-800 dB/s and level differences of 5-40 dB. They were presented with $L_{Aeq} = 55$ dB.

The listeners rated annoyance. When compared with a stationary reference noise with the same spectrum as the impulse noise, the measured annoyance was converted into an annoyance equivalent adjustment for the impulses.

From Figure 2 it is seen that the original method overestimated the adjustments for impulsive sounds with high onset rates.

When calculated with the constants in the optimized method (lower panel) it is seen that the optimized method provides a significantly better adaptation of the calculated physical adjustments (predicted) to the subjectively measured (observed). Additionally, there is only a few stimuli where the calculated physical adjustment, K_i , deviates more than approx. 1 dB from the subjectively measured, K_{iS} . This is within the 95 % confidence intervals of the observed data.

The original method gives an $R^2 = 0.85$ increases to $R^2 = 0.93$ for the optimized method.

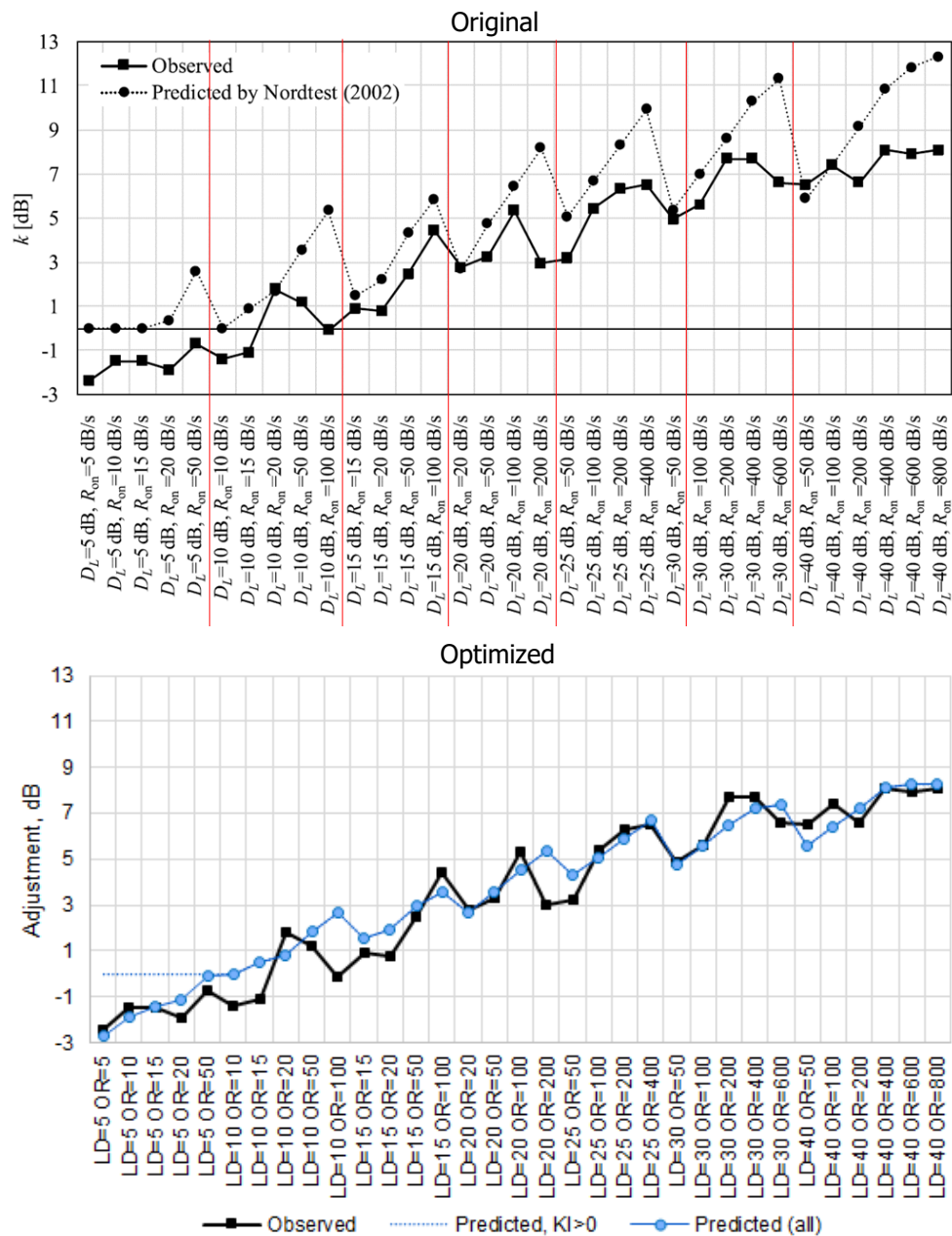


Figure 2 Results from listening test FI. Upper panel: The impulse adjustment observed in the Finnish listening test for impulses with spectrum S1 and the adjustment calculated (predicted) with NT Acou 112, [4]. Figure from [11]. The level difference classes (DL) are highlighted with red lines. Within each class, the stimuli are ordered by increasing onset rate (Ron). The 95 % confidence intervals for the observed data are approx. 2 dB. Lower panel: Same data as above, but here the predicted adjustments are calculated with the optimized method.

Listening test DK2

The 80 stimuli for the listening test all originated from real noise sources in the environment. They were recorded with artificial head technique (HATS) and measuring microphones (free field recordings). Recordings were made in distances mostly of 10 m (3-15 m), and the levels were adjusted to $L_{Aeq} = 60$ dB. The 60 dB stimuli were attenuated correspondingly to 100 m distance. The frequency dependent attenuation was calculated with Nord2000, [16] and [17]. The angle of observation was decreased by mixing the right and left channel according to [18]. Finally, the levels were adjusted to $L_{Aeq} = 40$ dB, and a recording of noise 650 m away from an 8 lanes motorway was added as background noise at a level of $L_{Aeq} = 30$ dB.

The HATS stimuli were reproduced over open headphones in the experiment to the 23 listeners. The physical measurements were made on free field recordings converted from the HATS stimuli.

The sound samples were 20 seconds long, the impulses had onset rates of 14-2670 dB/s, level differences of 0.2-44 dB. They were presented with L_{Aeq} levels of 40 and 60 dB. Level recordings of the stimuli can be seen in Bilag 1 (Annex 1) on page 67.

Listeners rated prominence and annoyance. When compared with a stationary reference noise (simplified background noise [19]), the measured annoyance was converted into a noise-equivalent adjustment for the impulses. The reference noise and the impulsive noise types did not have the same spectrum. During the data processing, 11 noise types with clearly audible tones or positive associations were excluded.

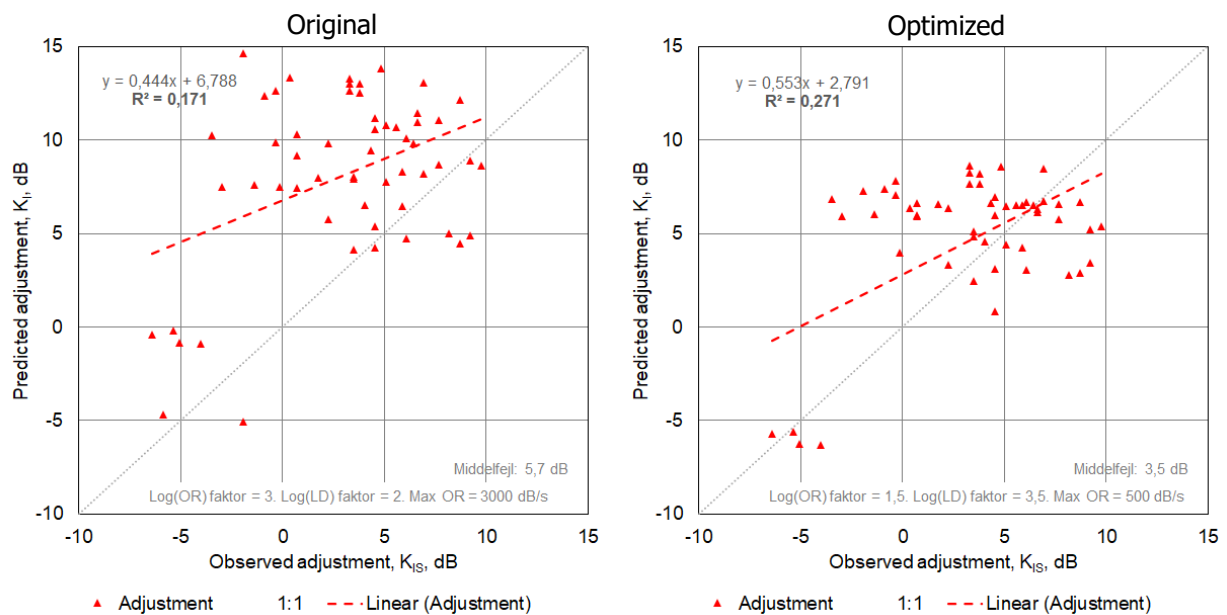


Figure 3 Results from listening test DK2. Left panel: The observed (i.e. rated by the listeners) adjustment, K_{IS} , (x-axis) and the predicted adjustment, K_I , calculated with the original impulse method (y-axis). Both stimuli groups $L_{Aeq} = 40$ and 60 dB are shown. Right panel: The predicted adjustments are calculated with the optimized method.

From Figure 3 it is seen that the R^2 between the observed and the predicted data is much less than for DK1 and FI. The main reason might be that other characteristics than the impulse prominence is contributing to the annoyance. Nevertheless, it is seen that the optimized method provides better results than the original method.

0.3 Merged data

On Figure 4 the merged data (DK1, FI and DK2) are shown with the original method to the left and the optimized method to the right.

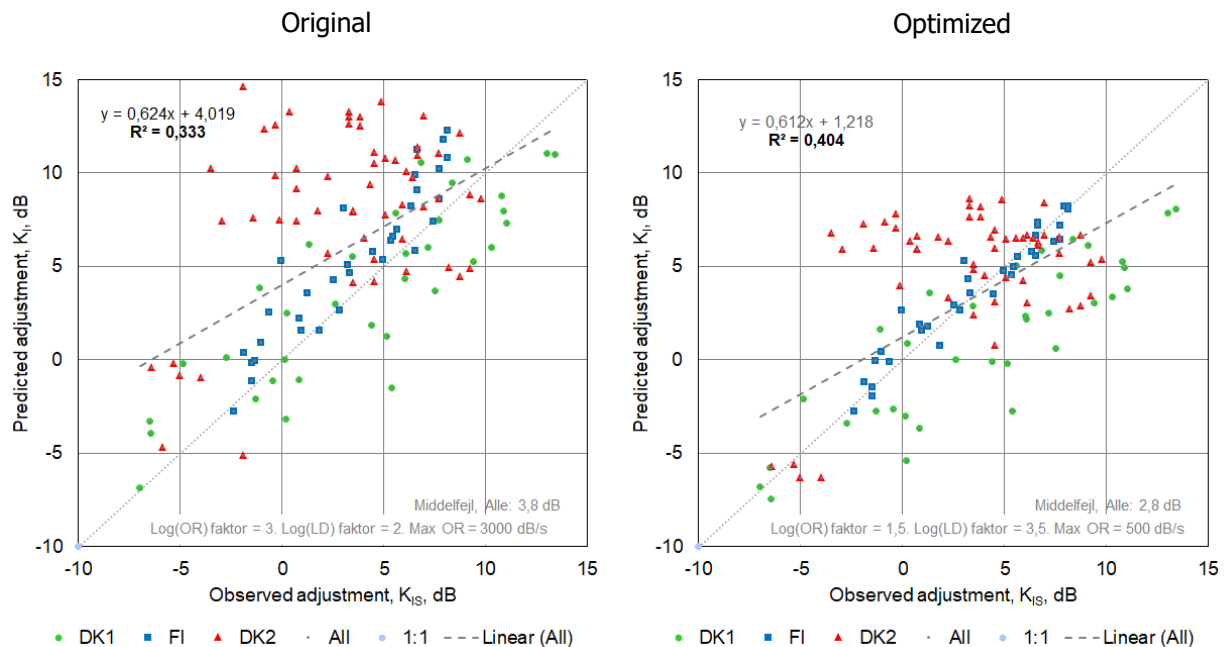


Figure 4 Results merged from listening test DK1, FI, and DK2. Left panel: The observed (i.e. rated by the listeners) adjustment, K_{IS} , (x-axis) and the predicted adjustment, K_I , calculated with the original impulse method (y-axis). Both stimuli groups $L_{Aeq} = 40$ and 60 dB are shown. Right panel: The predicted adjustments are calculated with the optimized method.

Although there are some deviations between the three data sets it is seen that the optimized method produces better results.

It is seen that there is quite good 1:1 correspondence between the observed and the predicted Finnish data. There is also a good relation between the observed and predicted data for DK1, but it is not a 1:1 relation. The data are calculated from the observed prominence as no reference noise was used in DK1. Even a combination of two “good” datasets will give a low R^2 value if the results deviate. Finally, it is seen that DK2 has far the largest deviation, but it “balances out” the high values for the calculated observed adjustments from DK1.

An R^2 of 0.4 for optimized method with the merged data is not impressive, but it is clearly better than $R^2 = 0.3$ for the original method.

A very high $R^2 = 0.93$ is obtained with the optimized method for the Finnish data which are obtained by systematically varying the level differences and onset rates without changing other noise characteristics. This indicates that the principle of the method is in accordance with the perception of the impulse annoyance and the relation between level difference and onset rate is optimized by changing the constants.

0.4 Negative adjustments and Reference noise

As seen from the graphs in the former clauses negative adjustments appear. They shall not be a part of the method but is enclosed in the analysis to benefit from the information from these data.

The negative adjustments means that there are sounds having less annoying than the reference sounds. In the Finnish test sound with slow variations like waves were less annoying than the constant reference sound. In DK2 sounds from motorways were less annoying than the simplified background noise used as reference sound. In this case the difference could be explained by a difference in loudness level for the sounds with the equal L_{Aeq} .

These observations indicate that the choice of reference sound has a direct influence on the resulting adjustment. Thorough considerations on which reference sounds to use (in general) are therefore very important.

Furthermore, it was found that the dose relationship for the Danish and Finnish reference sounds was different, see Figure 5.

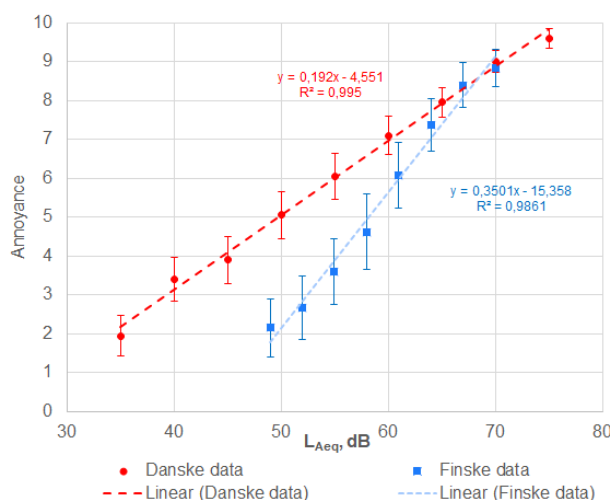


Figure 5 Dose-response curves for reference noise. DK2: The reference noise was simplified background noise, see references [19] and [23]. FI: the reference noise had the same spectrum as the impulsive noise.

It seems the dynamic range of the presented reference noise stimuli which in FI was $L_{Aeq} = 48-70$ dB and in DK2 was $L_{Aeq} = 35-75$ dB has an influence. Furthermore, the Finnish listeners were instructed to use the scale completely.

In merging the data, we assumed that if listeners use the same strategy for assessing the annoyance of the reference noise and of the impulsive noise, the differences in the Danish and Finnish reference curves will even out.

0.5 Conclusion

The method was optimized for:

- maximizing R^2 between observed and predicted adjustments
- minimizing the average error of the datapoints
- giving a 1:1 correspondence between the observed subjective and the predicted adjustments
- aligning the maximum subjective and the maximum predicted adjustments.

On all these parameters the optimized method performs better than the original. Especially the Finnish results indicates that the principle of the method is in accordance with the perception of the impulse annoyance and that the relation between onset rate and level difference is more in line with perception by changing the constants as in the optimized method.

A small level dependency of the adjustment was found, but a basis for complicating the method by introducing that is this is too weak.

In average, the optimized method gives 3.3 dB less adjustments than the original method and it corrects for the overestimation of impulses with high onset rates which the original method gives rise to. Practically, the optimized method limits the maximum adjustments to less than 9 dB. Some of the stimuli that appeared in the listening tests had very prominent impulses. The adjustment for these calculated with the optimized method is 8.6 dB, which is in line with the subjectively assessed adjustments. Analyses of DK1 and DK2 showed that the number of impulses in the stimuli was not significant for the annoyance in the stimuli (duration 30 and 20 seconds).

0.6 The Optimized method

The only difference between the original method and the optimized method is that the constants for calculating the prominence are changed so that the formula for prominence, P is now:

$$P = 1.5 \cdot \log(\text{onset rate}/[\text{dB/s}]) + 3.5 \cdot \log(\text{level difference}/[\text{dB}]) \text{ Note}^2$$

and that a limitation of the onset rate of 500 dB/s has been introduced in the calculation of P .

It is recommended that the optimized method be used in future as support for the assessment of impulse adjustments together with the administrative text, which is stated in italics on the next page.

A computational guarantee that the adjustment cannot exceed 9 dB can be achieved by limiting the influence of the level difference to 50 dB. However, this is not psycho-acoustically justified.

² The constant for $\log(\text{onset rate})$ is changed from 3 and the constant for $\log(\text{level difference})$ is changed from 2.

1. Definitions

Impulse event: An activity which, within a few seconds, produces one or more impulses that are so prominent that they can give rise to an adjustment.

Assessment time interval: The parts of the reference period where adjustments are given to the measured L_{Aeq} . An assessment time interval is 30 minutes, which is determined freely around the impulse events. There may be several assessment time intervals within a reference period.

Stationary noise: In this context, the continuous part of the background noise which together with any stationary noise for the activity under investigation, can mask the impulses at the point of reception ("receiver point").

Normal operating mode: Regularly occurring activities when the activity is in operation.

2. Administration

If there are no audible impulses in the reception point, no adjustment should be made. If the noise contains one or more audible impulses, an addition is given to L_{Aeq} in the assessment time intervals where the impulses occur. The adjustment is determined based on the most prominent impulse in an assessment time interval based on a normal operating state of the activity.

During the day and evening period:

- *More than one impulse event is required to give an adjustment.*
- *Door slams from cars at the activity are exempt from impulse adjustment.*

During the night period:

- *A single impulse event is enough to give an adjustment.*
- *Door slams from cars at the activity are not exempt from impulse adjustments and are treated like other impulses from the activity.*

It is recommended to determine the adjustment based on an objective measurement at the reception point, see section 3. However, the adjustment can be based on a subjective assessment of how prominent the impulses are heard at the reception point, considering both the speed and magnitude of level changes. An adjustment of 3 dB is given for impulses that are just audible³. An adjustment of 6 dB is given for clearly audible impulses⁴ and an adjustment of 9 dB for impulses that are very prominent⁵ in the overall sound image.

Subjective assessments and objective measurements of the prominence of the pulses must be performed under correct weather conditions and representative background noise conditions in the immission/calculation points. This should be stated in the measurement report.

3. The objective measurement method

...The optimized method to be inserted in the final text...

³ Just audible: There is no doubt whether there are impulses in the stationary noise if you listen for them.

⁴ Clearly audible: You immediately notice the impulses; they are characteristic for the sound when they occur.

⁵ Very prominent: The impulses are a dominant part of the noise compared to the stationary noise.

1 Baggrund og formål

I henhold til Miljøstyrelsens vejledning om ekstern støj fra virksomheder, [1], skal der gives et tillæg til det målte støjniveau, L_{Aeq} , hvis der forekommer tydeligt hørbare impulser i støjen. Tillægget gives for at tage hensyn til den ekstra gene ud over det målte støjniveau, som impulserne giver anledning til. Retningslinjerne for tildeling af 5 dB-tillægget er ikke meget specifikke, og administreres på baggrund af subjektive vurderinger, som dog kan støttes af en objektiv målemetode, jf. Orientering fra Referencelaboratoriet nr. 32, [2].

Den objektive målemetode:

- Metoden blev udviklet i et projekt for Miljøstyrelsen i 2001, [3].
- Den blev godkendt som NORDTEST-metode i 2002, [4].
- I 2014 blev metoden anvendt i en britisk standard, [5].
- 2018 kom den i en australsk standard, [6].
- 2022 udgivet som et ISO/PAS dokument, [7].

Der er mindre forskelle på beskrivelserne, men grundlæggende er det den samme metode, som i det følgende bare betegnes som "impulsmetoden".

For at skabe mere klarhed og give vejledning om tildelingen af impulstillægget har Miljøstyrelsen igangsat et projekt, som er gennemført i 3 faser (denne rapport beskriver Fase 3):

1. Gennemgang af administrativ praksis (er gennemført, [8]). Der er givet en status over gennemførte aktiviteter gennem årene, den fremherskende praksis er belyst, og der er givet forslag til forbedringer af praksis.

2. Vurdering af den ekstra gene pga. impulser (er gennemført, [9]). Den nuværende objektive målemetode giver resultater i overensstemmelse med gennemsnittet af subjektive vurderinger, hvor tydeligt impulser høres. I et litteraturstudie er det undersøgt, om der er ny viden om størrelsen af det graduerede genetillæg og om administrationen af dette.

2a. Opinionsundersøgelse (er gennemført, [10]) om administration af impulstillægget blandt personer, der arbejder med ekstern støj hos miljømyndigheder og godkendte laboratorier.

3. Lytteforsøg og vejledning. Nærværende rapport beskriver lytteforsøg (med virkeligt forekommende lyde), der belyser genevirkningen af forskellige typer af impulsstøj ved at sammenligne genevirkningen af impulsstøjen (inkl. forskellige grader af baggrundsstøj) med genevirkningen af konstant støj (forenklet konstant baggrundsstøj) for at se, hvor meget højere L_{Aeq} af sidstnævnte skal være, for at genen svarer til genen af impulsstøjen. Ud fra resultaterne af lytteforsøget er det også undersøgt, om betydningen af stejlheden skal begrænses eller nedtones. Resultaterne af lytteforsøgene er sammenstillet med resultaterne fra de oprindelige lytteforsøg, [3] og resultaterne af finske lytteforsøg til efterprøvning af impulsmetoden, [11].

Det overordnede formål med nærværende projekt er at skabe en ensartet praksis ved tildeling af genetillæg fra støjimpulser. Det har betydning ved udarbejdelse af støjrapporter til myndighedernes vurdering af virksomheders støjbelastning i forbindelse med miljøgodkendelser og påbud. Resultaterne fra de foregående faser skal sammenfattes til en metode for måling af impulser og administration af impulstillægget, og der skal gennemføres en lytte-test til kontrol af impulstillæggets størrelse.

Denne rapport vedrører Fase 3 og beskriver lytteforsøg med forskellige grader af impulser tydelighed. Formålet er at efterprøve og evt. justere den objektive målemetode, [2], som er standardiseret i Norden, [4], og internationalt, [12].

2 Sammenfatning af tidligere faser

2.1 Impulstillæg – DEL 1: Baggrund og administrativ praksis, 2018

Formålet i Fase 1 var at gennemgå den administrative praksis. Fase 1-rapporten, [8], resumerer Miljøstyrelsens vejledninger, en arbejdsrapport, orienteringer fra Referencelaboratoriet og sammenlignende målinger samt en spørgeskemaundersøgelse på Store Støjdag i 2018. Den objektive målemetode for impulsers tydelighed er også resumeret. Endelig er der foretaget en gennemgang af 21 rapporter "Miljømåling – ekstern støj" med stillingtagen til impulstillæg.

Det blev konkluderet:

- Der er grund til stærkt at anbefale brugen af den objektive målemetode til støtte for de subjektive vurderinger for tildeling af det nuværende 5 dB-tillæg.
- På længere sigt vil det være relevant at overveje et graderet tillæg.
- Subjektive bedømmelser og objektive målinger af impulsernes tydelighed skal udføres under korrekte vejrforhold og repræsentative baggrundsstøjforhold i immissions-/beregningsspunkterne. Dette bør angives i målerapporten.
- Der er behov for en mere detaljeret vejledning om tildeling af impulstillæg.
- Det er desuden konstateret, at der ikke synes at være overensstemmelse mellem laboratoriernes opfattelse af, hvad der er rimelig administrativ praksis og den definerede praksis, om at impulstillægget bør gives for hele referencetidsrummet, også hvis der kun forekommer tydeligt hørbare impulser en enkelt gang i referencetidsrummet.
- Da det ikke er nævnt eksplicit i vejledningen for ekstern støj, at impulstillægget gives for hele referencetidsrummet, vil det formodentlig være muligt at omdefinere den administrative praksis, fx som foreslået i den objektive målemetode ved tildeling af impulstillæg pr. halve time, hvis der forekommer impulser.
- Dette bør ikke ændres, uden at det er undersøgt, om det er i overensstemmelse med de gennemsnitlige forhold omkring impulsers hyppighed.

2.2 Vurdering af ekstra gene fra impulsstøj – et litteraturstudie, 2021

Formålet med Fase 2 var gennem et litteraturstudie at undersøge, om der er ny viden om størrelsen af det graderede genetillæg og om administration af dette bl.a. ud fra hyppigheden af impulsforekomster, [9].

Der blev foretaget en grundig litteratursøgning. Den fundne litteratur for både feltmålinger og laboratorieforsøg beskriver næsten udelukkende, hvordan man kvantificerer impulsiviteten, og hvor stort et tillæg der skal gives for impulsstøj.

Det blev konkluderet:

- Tillæg på op til 8-11 dB er fundet repræsentative for den ekstra gene, impulserne giver anledning til. Det svarer til den størrelse af tillæg, som den objektive målemetode NT ACOU 112/ISO PAS 1996-3 opererer med.
- En enkelt reference fra 2020, [11] med syntetiske impulser indikerer, at betydningen af stejlehed (onset rate) synes at have en øvre grænse og således gå i mætning for de stejleste flanker. Dette bør der ses nærmere på i Fase 3 i en lyttetest med praktisk forekommende impulser. Bortset fra sidstnævnte reference kan man overordnet konkludere, at når der forekommer impulser, er der i store træk enighed om tillæggets størrelse.
- Der er ikke fundet undersøgelser af den administrative praksis, dvs. hvor ofte eller i hvor stor en del af referencetidsrummet impulshændelser skal forekomme, for at de fundne tillæg skal tages i anvendelse.
- Den objektive metodes forslag om at give tillægget pr. halve time på basis af den tydeligste impuls er adopteret i ISO PAS 1996-3, [7].

- Rundspørgen fra Store Støjdag i oktober 2018 er suppleret med en analyse på tværs af alle støjkildekategorier. Denne viste, at tilbøjeligheden til at give tillæg stiger med hyppigheden af impulsforekomsterne, hvilket ikke er i overensstemmelse med den nuværende tolkning af de gældende vejledninger. Det forekommer dog rimeligt ud fra en gennemæssig vurdering at antage, at mange/hyppige forekomster af impulser er mere generende end nogle få på en dag. Om genen stiger mere, end L_{Aeq} stiger med impulsernes antal er dog uvist.

2.3 Impulstillæg – Opinionsundersøgelse om administration af impulstillægget, 2021

Efter gennemførelsen af Fase 2 var der ikke fundet viden om en hensigtsmæssig administration af impulstillægget. Det blev derfor besluttet at udnytte den ekspertise, som godkendte laboratorier, myndigheder og kommunernes miljøforvaltninger besidder ved en opinionsundersøgelse om administrationen af impulstillægget under hensyntagen til impulsernes genevirkning, [10].

Den gennemsnitlige besvarelsestid af spørgeskemaet var 39 minutter, hvilket tyder på, at der blev givet seriøse og velovervejede svar. Resultaterne af opinionsundersøgelsen er følgende:

- Tillægget bør gives i perioder (takseringstidsrum) på en halv time.
- Om dagen og aftenen skal der mere end én impulshændelse til for at udløse et tillæg.
- Om natten er en enkelt impulshændelse nok til at udløse et tillæg. – Der skal anvendes et gradueret impulstillæg. – Størrelsen af tillægget fastsættes ud fra den tydeligste impuls i takseringstidsrummet.
- Tillægget bør baseres på en objektiv måling, men en subjektiv vurdering kan anvendes. – I dag- og aftenperioden undtages bilers dørsæk fra impulstillæg.
- Om natten gives tillæg for dørsæk på lige fod med andre impulser.

Der er kom mange gode synspunkter og kommentarer, som bør tages i betragtning sammen med resultaterne af Fase 3, før der fastlægges nogen ændringer for impulstillægget.

3 Forslag til vejledningstekst

På basis af de tidligere gennemførte projektfaser er der udarbejdet følgende forslag til vejledningstekst:

1. Definitioner

Impulshændelse: En aktivitet, som indenfor få sekunder giver en eller flere impulser, der er så tydelige, at de kan udløse et tillæg.

Takseringstidsrum: De dele af referencetidsrummet, hvor der gives tillæg til det målte L_{Aeq} . Et takseringstidsrum er på 30 minutter, som fastlægges tidsmæssigt frit omkring impulshændelserne. Der kan forekomme flere takseringstidsrum indenfor et referencetidsrum.

Stationær støj: I denne sammenhæng den jævne del af baggrundsstøjen, som sammen med evt. stationær virksomhedsstøj mere eller mindre kan maskere (dvs. overdøve) impulserne i immissionspunktet.

Normal driftstilstand: Regelmæssigt forekommende aktiviteter, når virksomheden er i drift.

2. Administration

Hvis der ikke er hørbare impulser i immissionspunktet, skal der ikke gives tillæg. Hvis støjen indeholder en eller flere hørbare impulser gives et tillæg til L_{Aeq} i de takseringstidsrum, hvor impulserne forekommer. Tillægget fastsættes ud fra den tydeligste impuls i et takseringstidsrum ud fra en normal driftstilstand på virksomheden.

I dag- og aftenperioden:

- Der skal mere end én impulshændelse til for at udløse et tillæg.
- Dørmæk fra biler på virksomheden er undtaget impulstillæg.

I natperioden:

- Én enkelt impulshændelse er nok til at udløse et tillæg.
- Dørmæk fra biler på virksomheden er ikke undtaget impulstillæg og behandles på lige fod med impulser i den øvrige virksomhedsstøj.

Det anbefales at fastlægge tillægget på basis af en objektiv måling i immissionspunktet, se afsnit 3. Tillægget kan dog baseres på en subjektiv vurdering af, hvor tydeligt impulserne høres i immissionspunktet, idet man tager både hastighed og størrelse af niveauændringer i betragtning. Der gives et tillæg på 3 dB for impulser, der er netop hørbare⁶. Der gives et tillæg på 6 dB for tydeligt hørbare impulser⁷ og et tillæg på 9 dB for impulser, der er meget fremtrædende⁸ i det samlede lydbillede.

Subjektive vurderinger og objektive målinger af impulsernes tydelighed skal udføres under korrekte vejrforhold og repræsentative baggrundsstøjforhold i immissions-/beregningspunkterne. Dette bør angives i målerapporten.

3. Objektiv målemetode

Den objektive målemetode anføres her i den endelige tekst.

⁶ Netop hørbare: Man er ikke i tvivl, om der er impulser i den stationære støj, hvis man lytter efter dem.

⁷ Tydeligt hørbare: Man lægger umiddelbart mærke til impulserne, de er karakteristiske for lyd karakteren, når de forekommer.

⁸ Meget fremtrædende: Impulserne er meget fremtrædende i forhold til den stationære støj, en dominerende del af støjen.

4 Resume af impulsmetoden

4.1 Definitioner

En impuls er den bratte begyndelse af en lyd.

Ansatsen af en lyd er den del af den positive hældning af tidshistorien for det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F, L_{pAF} , hvor gradienten overstiger 10 dB/s. Der ses bort fra uregelmæssigheder (på ansatsen) kortere end 50 ms.

Niveaudifferensen, LD (Level difference) af en impuls er forskellen i dB af L_{pAF} mellem niveauet af ansatsens endepunkt og niveauet af startpunktet.

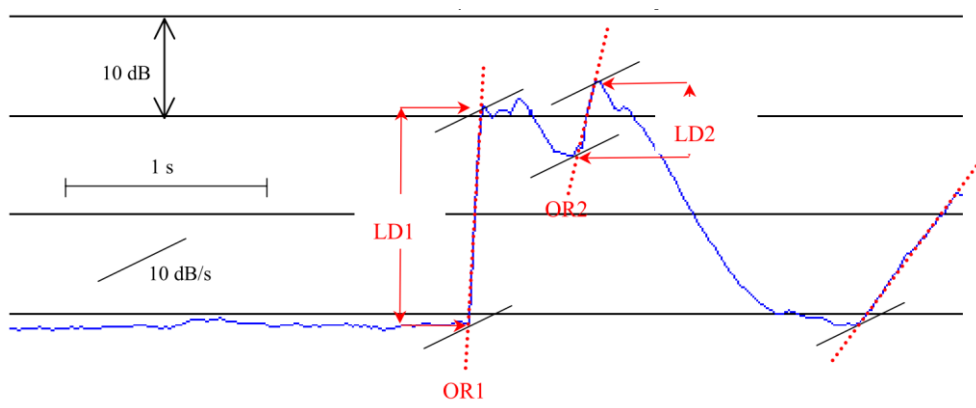
Stejlheden, OR (Onset Rate) er hældningen i dB/s af den rette linje, som giver den bedste tilnærmelse til ansatsen.

Tydeligheden P (Prominence) er et objektivi mål for, hvor tydeligt impulser i gennemsnit opfattes på baggrund af den mere jævne del af støjen, herunder baggrundsstøjen. P er ubenævnt.

Impulstillæg, K_I , er et tillæg, som gives til det målte L_{Aeq} for at tage hensyn til den ekstra gene, som impulserne giver anledning til, et geneækvivalent tillæg. Tillægget er gradueret efter impulsernes tydelighed og har enheden dB.

4.2 Måling og beregning af impulstillægget

Målingen tager udgangspunkt i en niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F, se Figur 1.



Figur 1 Tidshistorien. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Figuren illustrerer ansatsen (OR, Onset Rate) og niveaudifferensen (LD, Level Difference) for de to tydeligste impulser. Gradienter på 10 dB/s er vist med korte linjestykker.

Ifølge metoden beregnes impulsernes tydelighed, P, ud fra⁹:

$$P = 3 \cdot \log (\text{stejlhed} / [\text{dB/s}]) + 2 \cdot \log (\text{niveaudifferens} / [\text{dB}]) \quad \text{Ligning 1}$$

⁹ I en mere generel form kan formelen skrives: $P = k_1 \cdot \log (\text{stejlhed} / [\text{dB/s}]) + k_2 \cdot \log (\text{niveaudifferens} / [\text{dB}])$.

For lyde, hvor stejlheden af ansatsen overstiger 10 dB/s, bestemmes impulstillægget, K_I , ud fra den beregnede tydelighed, P , som følger:

$$K_I = 1.8 \cdot (P - 5), \text{ for } P > 5, \quad K_I = 0 \text{ for } P \leq 5 \quad \text{Ligning 2}$$

Metoden foreslår, at tillægget gives til $L_{Aeq,30min}$ på basis af den hændelse med den højeste værdi af P indenfor 30-minutters perioden.

5 Tidligere udførte lytteforsøg DK1 og FI

5.1 Oprindelige danske lytteforsøg, DK1

Impulsmetoden blev udformet i et projekt for Miljøstyrelsen i 2000. Metoden udformet på basis af litteratundersøgelser og lytteforsøg, se [3].

Lydene til lytteforsøget stammede hovedsageligt fra virkelige støjkluder i det eksterne miljø.

De fleste lydkilder var optaget med kunsthovedteknik (Brüel & Kjær HATS 4100) og blev gengivet over åbne hovedtelefoner ved forsøget.

Lydkilderne var:

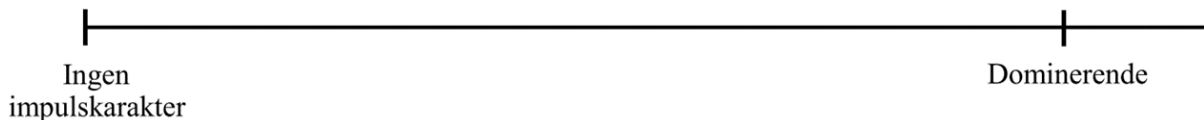
- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| – Aflæsning af sten | – Kunstig trykluft |
| – Banken og slibning | – Pneumatisk hammer |
| – Blæsning med trykluft | – Skrotplads |
| – Dieseltog (motor og trykluft) | – Slibning |
| – Dækskift | – Spuleslange |
| – Dørsmæk + biler starter | – Stenknuser |
| – Forskellige kunstige lyde | – Trykkemaskine |
| – Gaffeltruck | – Udluftning af trykluft |
| – Gasblæser | – Vindmølle |
| – Hammerslag på metal | – Øksehug i træ |
| – Indendørs banken og slibning | |

Lydeksemplerne var 30 sekunder lange. Lydene havde stejlheder på 2-667 dB/s og niveauforskelle på 1-37 dB. De blev præsenteret med L_{Aeq} -niveauer på hhv. 40 og 60 dB og med en baggrundsstøj (fjern trafikstøj) med et niveau på $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der deltog var 12 naive (dvs. ikke trænede eller eksperter) lyttere og 5 ekspertlyttere (akustikere). Gennemsnitsalderen var 40 år.

Lytterne fik defineret impulser som: "Impulslyde er lyde af kortere eller længere varighed med en pludselig start, der skiller sig ud fra det generelle støjbillede, dvs. den mere jævne del af støjen, herunder baggrundsstøjen." De blev bedt om at bedømme tydeligheden af impulserne på en 15 cm lang svarakse som vist på Figur 2.

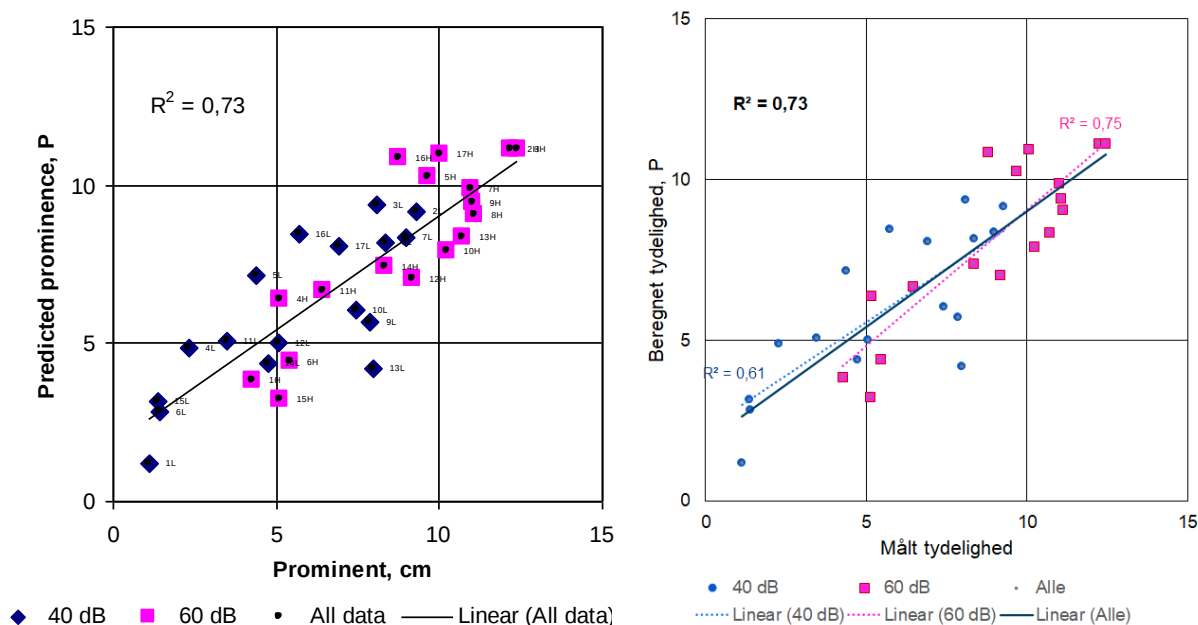
Hvor tydeligt opfatter du impulskaracteren i forhold til den øvrige støj i dette lydeksempel?



Figur 2 Den 15 cm lange svarakse for tydelighed, som blev benyttet ved de oprindelige lytteforsøg.

Lytterne blev også bedt om at vurdere genen, men det blev ved lytteforsøgene ikke forsøgt direkte at måle den ekstra gene, som impulserne gav anledning til.

Metoden blev optimeret til at give den bedst mulige sammenhæng mellem lytternes bedømmelser af tydelighed og den med metoden beregnede tydelighed, se Figur 3. Det ses, at der er god variation i data, og at der er god overensstemmelse mellem målte og beregnede tydeligheder både totalt og for hver af stimuli-grupperne med L_{Aeq} på 40 dB og 60 dB.



Figur 3 Den målte (dvs. den af lytterne bedømte) tydelighed (x-aksen) og den med impulsmetoden beregnede tydelighed (y-aksen) fra det oprindelige lytteforsøg. Til venstre den oprindelige figur fra [3]. Til højre samme data i fornyet layout med angivelse af den forklarede varians for hver af stimuli-grupperne $L_{Aeq} = 40$ og 60 dB.

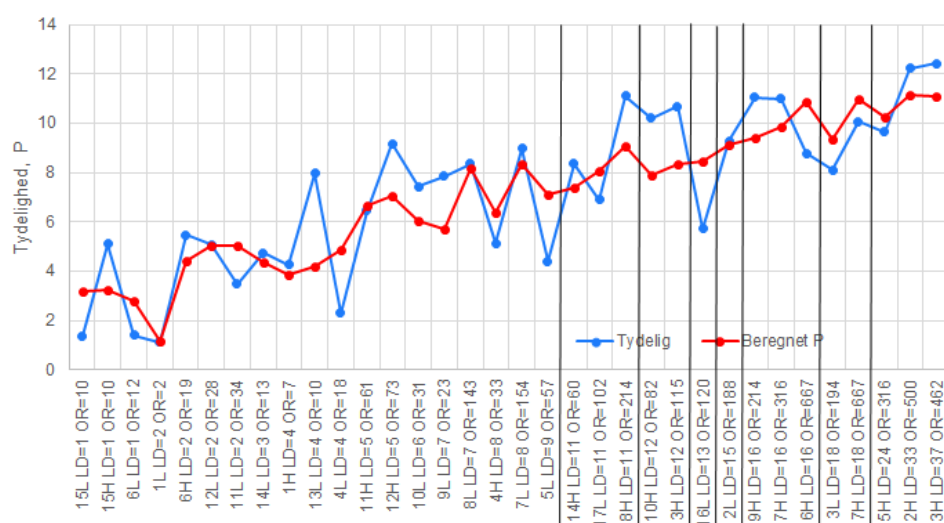
Ud fra resultater i litteraturen blev der konstrueret en ligning, der omregnede de beregnede tydeligheder til et tillæg K_i i dB til det målte L_{Aeq} af støjen (ligning 2 side 20).

Grunden til, at målemetoden ikke direkte søgte at bestemme tillægget, var en filosofi om, at impulser med samme tydelighed kunne give forskellig genevirkning alt efter konteksten (samme filosofi som for analysemetoden for hørbare toner). Her var specielt tænkt på, at genevirkningen af skudstøj (som ikke er en del af metoden) kunne være anderledes end genevirkningen fra impulser i støj fra virksomheder ved samme tydelighed af impulserne.

Metoden har, siden den blev beskrevet i en Orientering fra Referencelaboratoriet, [2], jævnligt været anvendt i praksis og ved sammenlignende støjmålinger. Det har givet anledning til en mistanke om, at tydeligheden af impulser med store stejkheder måske bliver overvurderet af metoden.

For at se nærmere på det er de samme baggrundsdata som i Figur 3 også vist i Figur 4, hvor de er sorteret i 1 dB-klasser med stigende niveaudifferens. Hvis der er flere samples i hver klasse, er de ordnet efter stigende stejkhed.

Det ses af Figur 4, at der i dette datamateriale ikke er noget, der tyder på, at de beregnede tydeligheder generelt ligger højere end de bedømte for de højeste stejkheder. Det skal dog bemærkes, at der kun er otte stimuli med stejkheder større end 200 dB/s, hvoraf den stejleste har 667 dB/s.



Figur 4 Målte (bedømt af lytterne) og beregnede tydeligheder af lydeksempler med niveaudifferencer opdelt i 1 dB-klasser med stigende stejkhed indenfor hver klasse. Samme baggrundsdata som i Figur 3. De lodrette streger tydeliggør de mest relevante niveaudifferensklasser. LD angiver niveaudifferensen i dB, og OR angiver stejkheden i dB/s.

5.2 Finske lytteforsøg, FI

Impulsmetoden, Nordtest NT Acou 112, [4], er testet ved lytteforsøg i Finland. På Turku Universitet blev der i 2018 i forbindelse med ISO-standardisering af metoden, [7], udført en undersøgelse med det formål at bestemme, hvordan impulstillægget afhænger af niveaudifferensen og stejkheden samt at sammenligne de opnåede resultater med de tillæg som NT Acou 112 beregner. Forsøget er rapporteret i [11].

Lydene var kunstigt genereret og bestod af et sæt referencyde og et sæt impulslyde. Referencydene bestod af kontinuert bredbåndet støj ved forskellige niveauer og med et frekvensspektrum, som skulle være egnet til gengivelse som maskerende støj i kontorer. Spektret af referencestøjen kan ses i Figur 5.

Der blev testet impulslyde med to forskellige spektre, S1 og S2, se Figur 5. Ligesom i artiklen vil vi koncentrere os om impulslydene med spektrum S1, da spektret S2 ligger meget langt fra spektre, der sædvanligvis forekommer i ekstern støj fra virksomheder.

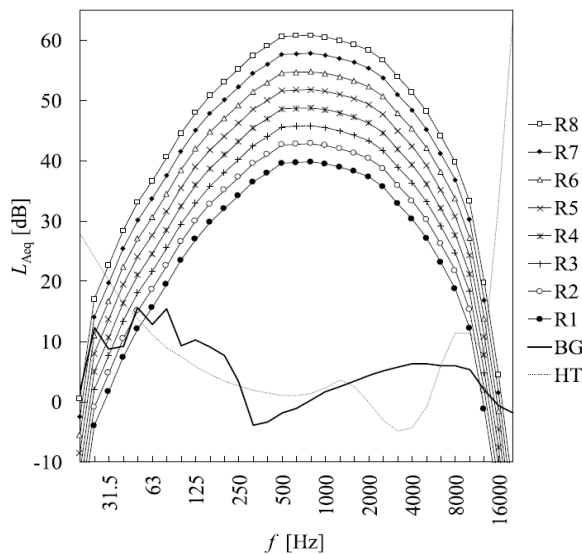


Fig. 2. The A-weighted equivalent SPL, L_{Aeq} , as a function of frequency, f , for the reference sounds (R1 – R8), the background noise level in the experimental room (BG), and the standardized hearing threshold (HT) according to ISO 389-7 [23].

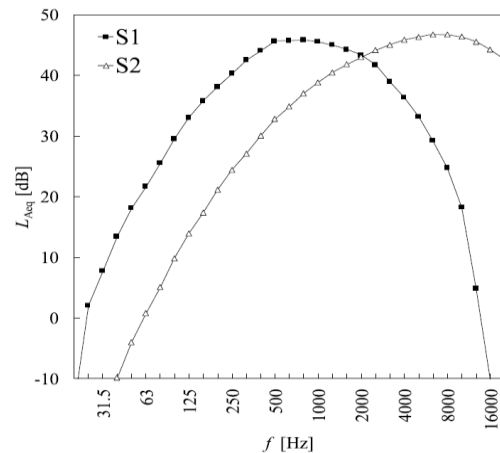
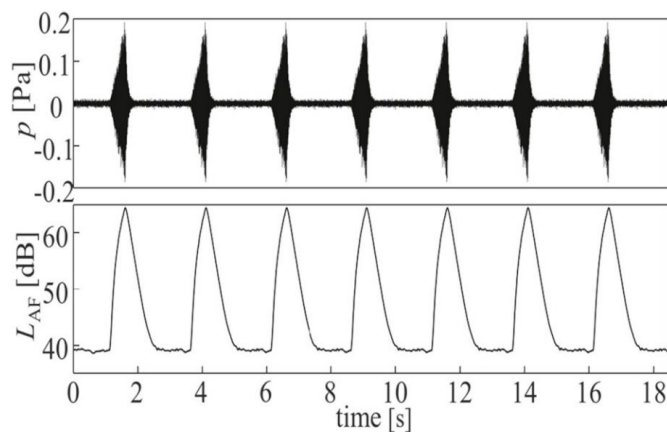


Fig. 3. The A-weighted equivalent SPL, L_{Aeq} , as a function of frequency, f , for spectra S1 and S2. Both spectra are presented at the overall level of $L_{Aeq} = 55$ dB.

Figur 5 *Figurer med spektre af referencestøj (til venstre) og impulsstøjtyperne (til højre) fra den finske artikel, [11]. Impulsstøj S1 har samme spektrum som referencestøjen, og spektrum S2 er hvid støj.*

Impulslydene var også kunstigt frembragt ud fra bredbåndet støj og bestod af to komponenter: En kontinuert baggrundslyd (spektrum S1) og syv impulser med en periodetid på 2,5 sekunder og med enten spektrum S1 eller S2. Baggrundslyden blev løbende præsenteret bag impulserne, se Figur 6.



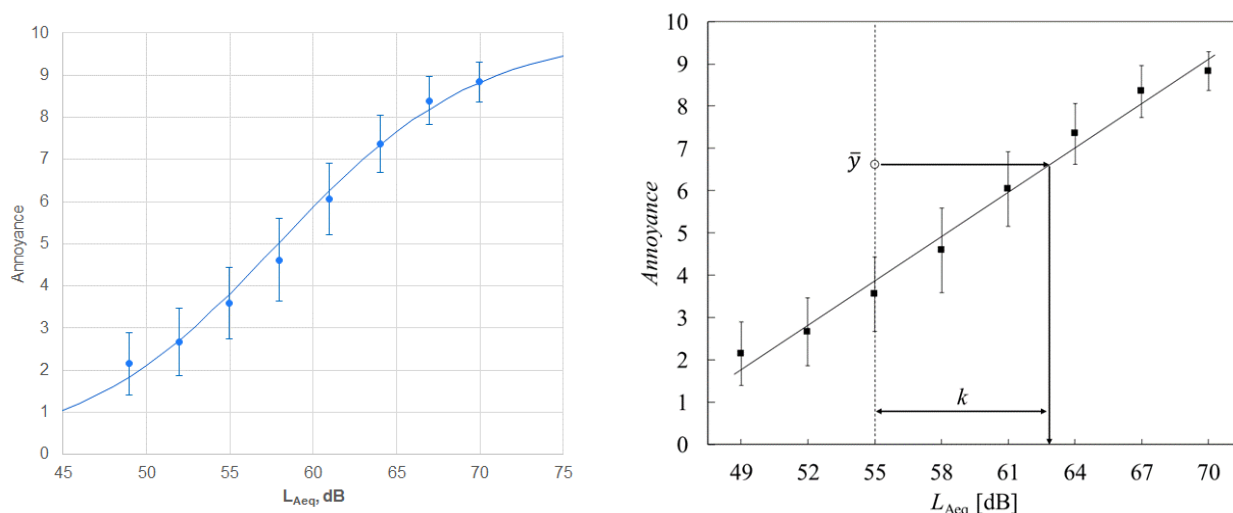
Figur 6 *Eksempel på lydtryk (øverst) og A-vægtet lydtrykniveau med tidsvægtning F for en impuls med niveaudifferens på 25 dB og en stejlehed på 50 dB/s. Fra den finske artikel, [11].*

Alle impulslyde blev præsenteret på et samlet niveau på 55 dB L_{Aeq} . SPL for baggrundslyden under den impulsive lyd varierede for at opretholde SPL på 55 dB L_{Aeq} .

Lydende var 18,5 sekunder lange og impulserne havde stejleheder på 5-800 dB/s og niveauforskelle på 5-40 dB.

De 32 lyttere havde en gennemsnitsalder på 29 år, normal hørelse (indenfor 20 dB) og vil betegnes som naive lyttere.

Lytterne bedømte genevirkningen af impulslydene og genen af kontinuerlige, ikke impulsagtige referencelyde med forskellige L_{Aeq} -niveauer. Ved sammenligning af genevirkningen af impulslydene og referencelydene kunne den geneækvivalente størrelse af impulstillægget i dB bestemmes. Metoden er nærmere beskrevet i afsnit 10.2.



Figur 7 Bedømmelserne af referencelydene. Punkterne viser middelværdierne. De lodrette streger angiver 95 % konfidensintervallerne. Til højre ses figuren fra den finske artikel Den fuldt optrukne linje viser den lineære tilpasning til referencelydenes gennemsnitlige gener. Linjens ligning er $y = 0,350 \cdot x - 15,367$, og andelen af forklaret varians, R^2 er 0,986. Til venstre ses en logistisk tilpasning til de samme data. Det ses, at den logistiske tilpasning er en smule bedre ($R^2 = 0,990$).

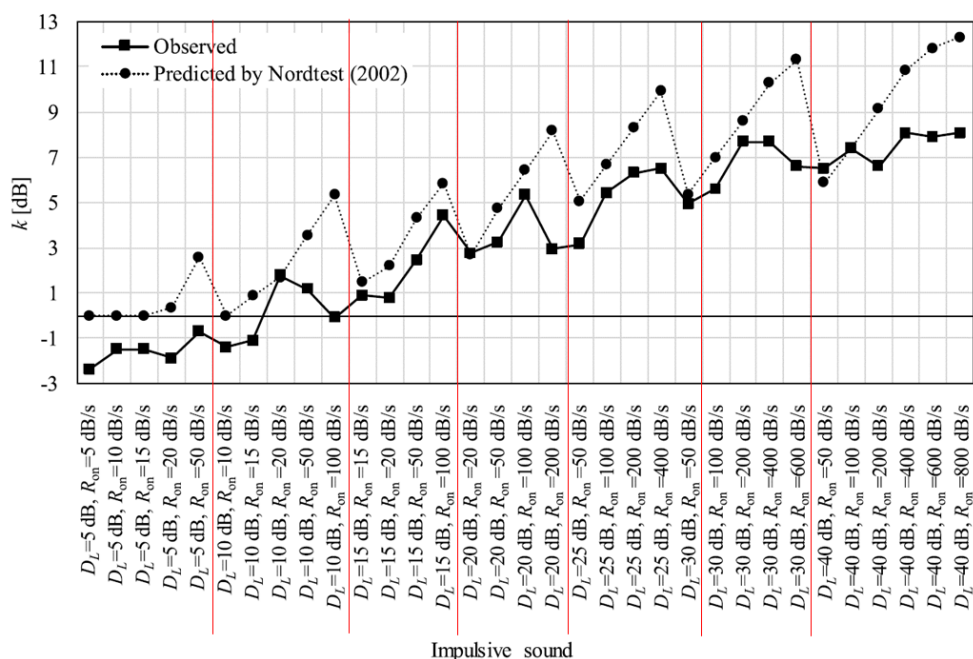
Lytterne var instrueret i at bedømme genevirkningen af lydeksemplerne på en 11 trins skala som defineret i den tekniske specifikation ISO/TS 15666, [13]. Skalaværdien 10 var mærket som "Ekstremt" og skalaværdien 0 med "Slet ikke". Deltagerne blev instrueret i at bruge den fulde skala og forsøge at gøre deres svar så konsistente som muligt. Man kan undre sig lidt over, at lytterne skulle bruge hele skalaen, når der var verbale labels på. Det er jo ikke sikkert, at nogen eksempler i testen blev opfattet som ekstremt generende. Hvis dette skulle have givet en bias, skønnes det, at det måske kunne give en overvurdering af de mest generende lydeksempler.

Der blev brugt åbne hovedtelefoner ved forsøget.

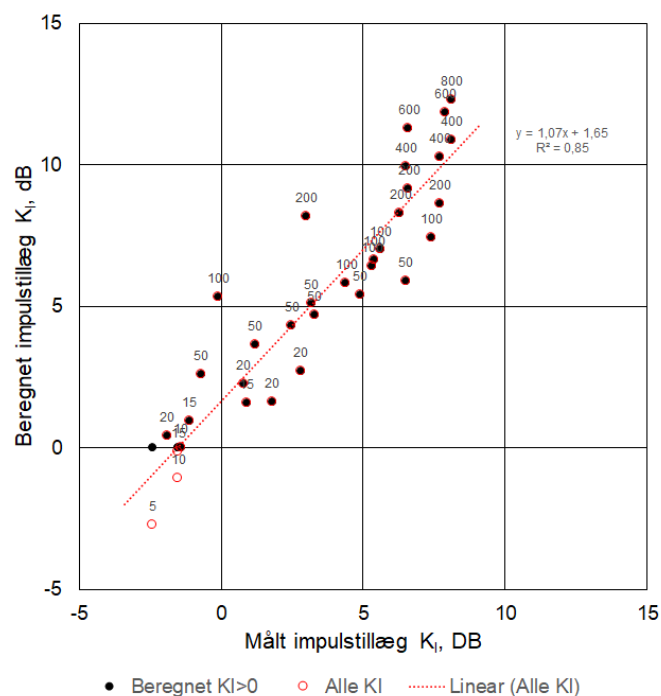
Det blev konstateret, at genevirkningen af impulserne afhang af deres spektrum. Resultaterne var forskellige for spektrene S1 og S2, hvor S2 var det mest generende. Der blev henvist til en anden artikel, der beskrev, at der var forskellig "pleasantness" af lyde med forskellige spektre, [14].

I artiklen nævnes, at de kunstige lyde gør det muligt at variere niveaudifferens og stejlhed på en systematisk måde, men det nævnes også, at det er en svaghed i forhold til en test med virkeligt forekommende lyde. Der er også en bemærkning om, at genkendelsen af lyde kan påvirke genevirkningen ud over styrke og lyd karakter.

Resultaterne for impulslydene med spektrum S1 er vist på Figur 8.



Figur 8 Det ved den finske lyttetest observerede impulsstillæg (observed) for impulser med spektrum S1 og det med NT Acou 112 beregnede (predicted) tillæg. Figur fra [11]. Niveaudifferensklasserne (D_L) er tydeliggjort med røde linjer. Indenfor hver klasse er støjhæderne ordnet efter stigende støjhed (R_{on}). Sammenlign med Figur 33 side 59.



Figur 9 Samme data som Figur 8 vist med de målte (Observed) og beregnede (Predicted) impulsstillæg. Mærkatene på punkterne angiver støjhæderne i dB/s for den aktuelle stimulus. De beregnede impulsstillæg er beregnet efter impulsmetoden med faktoren for støjhæden = 3 og faktoren for niveaudifferensen = 2. Det ses, at de punkter med høje støjhæder afviger mest. Andelen af forklaret varians $R^2 = 0,85$.

Resultaterne viser en tydelig variation i bedømmelserne af de forskellige stimuli. Der ses også en sammenhæng mellem niveaudifferens og stejlhed på den ene side og tillæggene på den anden side. Det ses, at der er en rimelig god overensstemmelse mellem de observerede tillæg og de tillæg, der beregnes med impulsmetoden for stejlheder op til 50-200 dB/s (afhængig af niveaudifferencen).

Ved højere stejlheder synes impulsmetoden at overvurdere tillæggets størrelse. Det medfører også, at impulsmetoden finder tillæg op til 12 dB, mens de observerede tillæg alle er mindre end 8 dB.

Endelig bemærkes, at der også forekom negative tillæg for niveaudifferencer på 5 eller 10 dB og for stejlheder <100 dB/s. De fleste af de negative tillæg var ikke statistisk signifikante. Forfatterne til artiklen bemærkede, at "svage og langsomme" impulser kan være forbundet med lyde, som ikke opfattes generende, såsom fredelige bølger på kysten eller vindstød (i modsætning til den konstante referencestøj).

Man kan så måske antage, at hvis man havde brugt de "fredelige bølger" som referencelyd, ville alle tillæg være positive og 2-3 dB større.

Den overvurdering, som er set ved impulser med høje stejlheder, kan korrigeres ved at optimere impulsmetodens konstanter, og man kan opnå en meget fin tilpasning mellem de målte og de beregnede impulstillæg. Se mere om dette i afsnit 12.2.

6 Lydeksempler til lyttetest, DK2

6.1 Valg af lydkilder

Ved den nye lyttetest, DK2, skulle der foretages bedømmelser af lydeksemplesernes genevirkning og impulsernes tydelighed. Der var derfor behov for lydeksempler (stimuli) ved forskellige niveauer og med forskellige grader af tydelighed af de impulser der forekommer. Endvidere blev det tilstræbt at der var variation i impulsernes, antal, stejlhed, niveaudifferens, maksimalniveauer og spektre. Lydeksemplerne er valgt, så der både er lyde, der normalt anses for impulsive, og lyde, som normalt ikke anses for at tilhøre denne kategori.

Der blev lagt vægt på, at de lydeksempler, der indgik i lyttetesten, repræsenterede realistiske lyde i det eksterne miljø optaget eller simuleret i realistiske afstande i forhold til nabo-problematikker. Lydkilderne er valgt, så de så vidt muligt er repræsentative for ekstern støj fra virksomheder i forhold til Referencelaboratoriets erfaringer og i forhold til de lydkilder, der blev nævnt i forbindelse med opinionsundersøgelsen, [10].

De benyttede lyde skulle ved lyttetesten præsenteres sammen med baggrundsstøj.

Det mest relevante område for L_{Aeq} -værdier udendørs er 30-70 dB med eller uden 5 dB-tillæg for impulser. Det er ved lyttetesten valgt at præsentere lydene ved to L_{Aeq} -niveauer: 60 dB, H, og 40 dB, L, som skal repræsentere afstande på hhv. 100 m og 10 m.

6.2 Lydoptagelser

Der blev foretaget lydoptagelser af forskellige virkelige lydkilder med mere eller mindre impulsagtig lyd. Optagelserne er foretaget med en måleopstilling som vist på Figur 10. Der er optagelser både med kunsthovedteknik, HATS (Head And Torso Simulator) dvs. binaurale optagelser til aflytning på hovedtelefoner og med to målemikrofoner til stereoafspilning på højttalere og målebrug. Kunsthovedteknikken afspillet over hovedtelefoner giver en 3D lydgengivelse, som gør det muligt lokalisere lydkilder og baggrundsstøj. Lytterne kan på denne måde identificere de aktuelle støjkluder ved retningen foruden ved deres spektrale og temporale karakteristika.



Figur 10 Sækkevogn med HATS, målemikrofoner og harddiskoptager. Billedet til højre viser optagelserne under kørsel med en gummiged.

De fleste lyde er optaget på ca. 10 m afstand med følgende undtagelser: gummihjuls læsser 8-15 m, skateboards og løbehjul 5-10 m, sten skovles 3 m og er, som det fremgår af det følgende, også redigeret, så de kan høres på en simuleret afstand på 100 m.

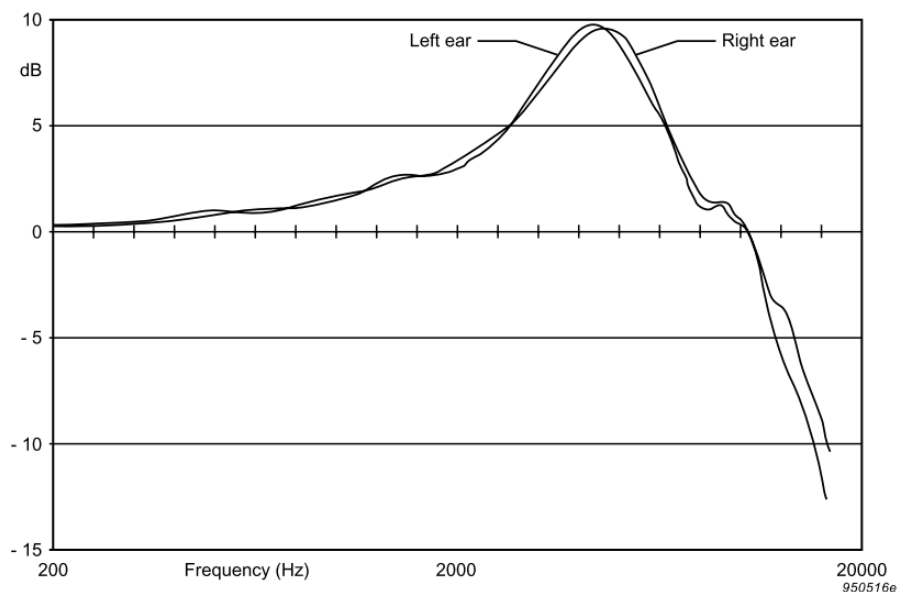
Optagelserne er foretaget med 32 bitsopløsning og 48 kHz samplingsfrekvens i fire kanaler. I Bilag 5 er angivet en instrumentliste over det benyttede udstyr.

6.3 Signalbehandling

De 20 sekunder lange stimuli til lyttetesten er produceret fra udvalgte HATS-optagelser ved at fjerne passager med uvedkommende lyde og lange pauser. For nogle af kilderne er der valgt udsnit med forskelligt antal impulshændelser med det formål at belyse, hvilken indflydelse hyppigheden af impulsforekomsten har på genevirkningen.

Lydredigeringen blev udført med 32 bitsopløsning og en samplingsfrekvens på 48 kHz.

HATS-optagelser giver en frekvensbetoning som vist på Figur 11 i forhold til et frit lydfelt.



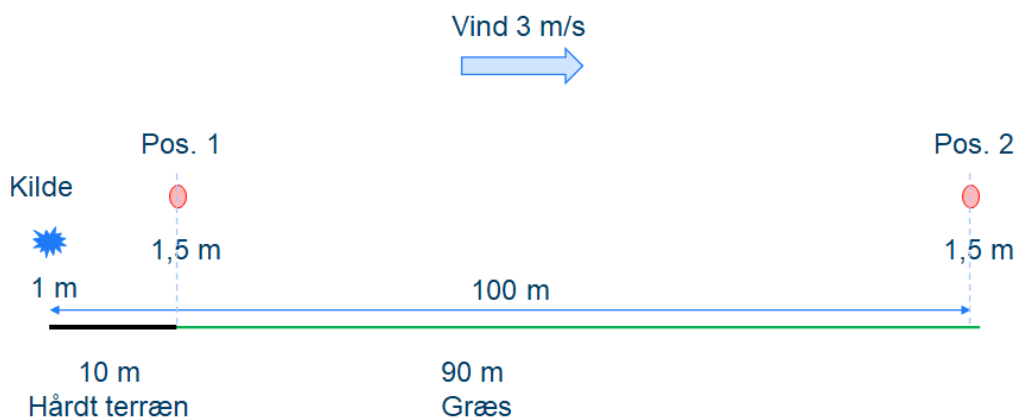
Figur 11 HATS frekvensbetoning i forhold til frit felt, [15].

Da målingerne skal relatere sig til frit felt (med målemikrofoner), blev en kopi af de færdigredigerede HATS-stimuli frekvensvægtet med den inverse HATS-frekvenskurve. Alle fysiske målinger er foretaget på disse frit-feltskopier.

De fleste lyde er optaget i en afstand på 8-15 m. Disse lyde kaldes 10 m stimuli. Niveauet af fritfeltskopierne er justeret til $L_{Aeq} = 60$ dB, og samme justeringer er foretaget på HATS-versionerne.

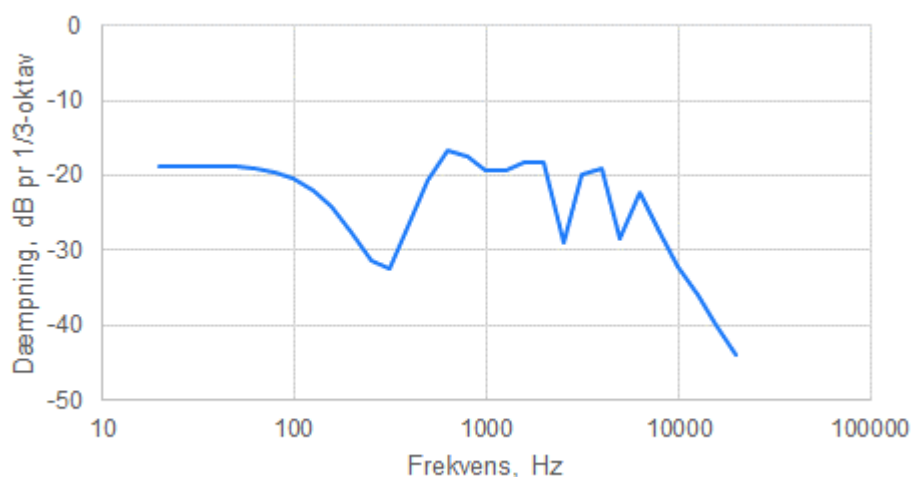
De originale 10 m lyde havde maksimalniveauer på $L_{pAmaxF} = 40-90$ dB. Efter justeringen til $L_{Aeq} = 60$ dB var maksimalniveauerne $L_{pAmaxF} = 60-80$ dB.

Bortset fra stimuli med lyserød støj og vejstøj (som var optaget i afstandene 49 m og 158 m), blev de niveaujusterede 10 m HATS-stimuli frekvensvægtet med forskellen mellem 10 m (optageafstanden) og en afstand på 100 m. Beregningen af dæmpningen blev udført med Nord2000, [16], [17] efter en kilde- og udbredelsesgeometri som vist på Figur 12.



Figur 12 Geometrien for beregning af forskellen i lydtrykniveau mellem optageafstanden (position 1) og den simulerede større afstand (position 2).

Dæmpningen blev beregnet ved midling over lidt forskellige placeringer af position 1 og 2. Den resulterende dæmpning er vist på Figur 13. Det ses, at dæmpningen for det meste ligger omkring 20 dB.



Figur 13 Forskellen mellem lydtrykniveau i 10 m afstand (midlet over et antal lidt forskellige positioner) og lydtrykniveauet i 100 m afstand beregnet med Nord2000.

Frekvens, Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Forskel, dB	-18,7	-18,7	-18,7	-18,7	-19,0	-19,6	-20,5	-21,9	-24,2	-27,6	-31,4	-32,5	-26,3	-20,6	-16,6
Frekvens, Hz	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
Forskel, dB	-17,5	-19,4	-19,4	-18,2	-18,2	-29,0	-19,9	-19,0	-28,5	-22,4	-27,7	-32,2	-36,0	-40,0	-44,0

Tabel 1 Forskellen mellem lydtrykniveau i 10 m afstand (midlet over et antal lidt forskellige positioner) og lydtrykniveauet i 100 m afstand beregnet med Nord2000.

De bevægelige lydkilder flyttede sig under optagelserne i en vinkel på op til 45° (set fra "lytteren") i 10 m afstand. Den samme flytning giver en mindre vinkel, ca. 5 grader i afstanden 100 m. Ifølge [18] svarer denne vinkel til en niveauforskel mellem venstre og højre på ca. 2 dB. Derfor blev hver kanal for stimuli svarende til 100 m mikset med den modsatte kanal i forholdet 100/80.

Efter ovenstående signalbehandling blev niveauet af de tilsvarende 100 m fritfeltskopier justeret til $L_{Aeq} = 40$ dB, og tilsvarende niveaujusteringer blev foretaget på HATS-versionerne.

6.4 Baggrundsstøj

10 m lydene med fritfelt $L_{Aeq} = 60$ dB optrådte med den baggrundsstøj, der forekom naturligt ved optagelserne. Den havde lidt forskellige niveauer for de forskellige stimuli, men var dog altid mindre end 50 dB(A), se niveauregistreringerne i Bilag 1.

Til 100 m lydene blev der tilføjet en konstant baggrundsstøj med et fritfeltsniveau på $L_{Aeq} = 30$ dB. Baggrundsstøjen var optaget om aftenen i et åbent landskab 650 m fra Vestmotorvejen i Greve. Der var udvalgt 20 sekunder uden hørbare enkeltkilder. Formålet med baggrundsstøjen var:

- delvist at maskere impulserne,
- at give en kontekst og skabe den rette "atmosfære",
- at virke som "referenceniveau" for vurderingen af impulserne.

6.5 Stimuli til lyttetest

Som nævnt består stimuli af 20 sekunder lange redigerede lydoptagelser af virkelige støjkluder med varierende impulsindhold. Alle lydeksempler begynder og slutter blødt med fade-in og fade-out tider på 1 sekund.

Stimuli svarende til 10 m afstand (fritfelt $L_{Aeq} = 60$ dB) benævnes med et nummer efterfulgt af et H (højt niveau) og stimuli svarende til 100 m afstand (fritfelt $L_{Aeq} = 40$ dB) benævnes med et nummer efterfulgt af et L (lavt niveau). Nummereringen stiger med stigende P-værdi for H-stimuli. De tilsvarende L-stimuli får samme numre, og det passer også nogenlunde, at P-værdien stiger for dem.

De lydkilder, der indgår i stimuli, er listet i Tabel 2.

P<5 for 60 dB(A) stimuli	5<P<10 for 60 dB(A) stimuli	10<P for 60 dB(A) stimuli
Referencestøj Lyserød støj Gummiged, motor Motorvej 49 m Motorvej 158 m	Gummiged skraber med skovl Vinkelsliber Skramlende trådvogne Kompressor start stop Sten smides i container Sten rasler i trillebør Gummiged ryster jord af skovl Trykluft og luftudslip Slagnøgle Kollision af trådvogne	Bump på affaldsspand Dørsmæk bil Sten køres i trillebør Bump på stålrampe Flasker køres i plastcontainer Sten skovles Metalrør smides Slag på metal Flasker rasler i plastcontainer Løbehjul på rampe Slag på træskaft Skraben på skovl Flasker smides i plastcontainer Banken på skovl Smæk med containerlåg Skateboards Slag på metalstang Slag på sten

Tabel 2 Lydkilder der indgår i stimuli ordnet i tre grupper efter tydelighed, P , for 60 dB(A) stimuli. For 40 dB(A) stimuli rykker flere af kilderne ned mod lavere P -værdier.

6.6 Referencestøj

Den geneækvivalente niveautillæg (til det målte L_{Aeq}) for impulsernes genevirkning findes ved at sammenligne genevirkningen af impulsstøjen med niveauet af konstant støj (referencestøj) med samme genevirkning, se mere i afsnit 10.2.

Som referencestøj er benyttet en simplificeret/forenklet udendørs baggrundsstøj, som består af lyserød støj med konstant niveau, der er frekvensvægtet, så den har samme spektrum som gennemsnitlig trafikstøj målt 25-60 m fra veje i byer, forstæder og landsbyer. Se nærmere i Bilag 2.

Referencestøjen optræder ved niveauerne $L_{Aeq} = 35, 40, 45, \dots 75$ dB, så det er muligt at konstruere en dosis-responskurve mellem gene og støjniveau. Genevirkningen af alle referencestimuli blev bedømt to gange af hver assessor.

7 Fysiske målinger på stimuli

Målingerne på stimuli er udført med analyseprogrammerne NoiseLab Capture 4.0.4 og NoiseLab Batch 4.1.

Målingerne er alle udført på HATS-stimuli, som er korrigeret til frit felt, se afsnit 6.3. Målinger af niveauer (L_{Aeq} , L_{AmaxF} , L_{A01F} ...) er foretaget både på venstre og højre kanal, og resultaterne er angivet som middelværdien af de to kanaler.

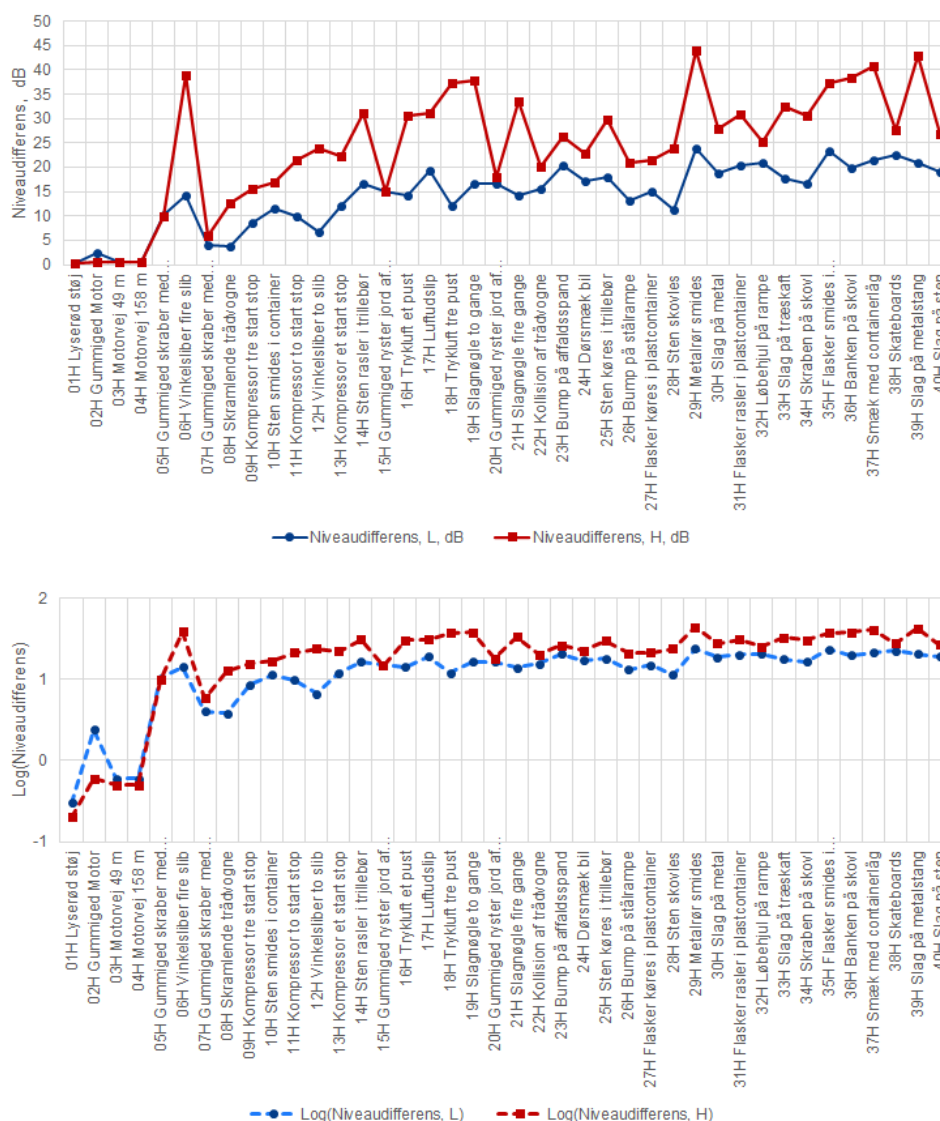
Målingerne af impulsegenskaberne, stejlhed (onset rate, OR), niveauforskel (level difference, LD), tydelighed (P) og genetillæg (K_I) er ligeledes foretaget separat på venstre og højre kanal, men her er resultaterne givet for den kanal med den højeste tydelighed, P , af impulserne. Ved målingerne er det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F samlet med 10 ms. Målemetoden for impulsegenskaberne er beskrevet i referencerne [2] og [4].

Der er også angivet P-værdier for middelværdien af de fem tydeligste impulser. Hvis der er færre end fem, er middelværdien angivet for det aktuelle antal impulser for den pågældende kilde.

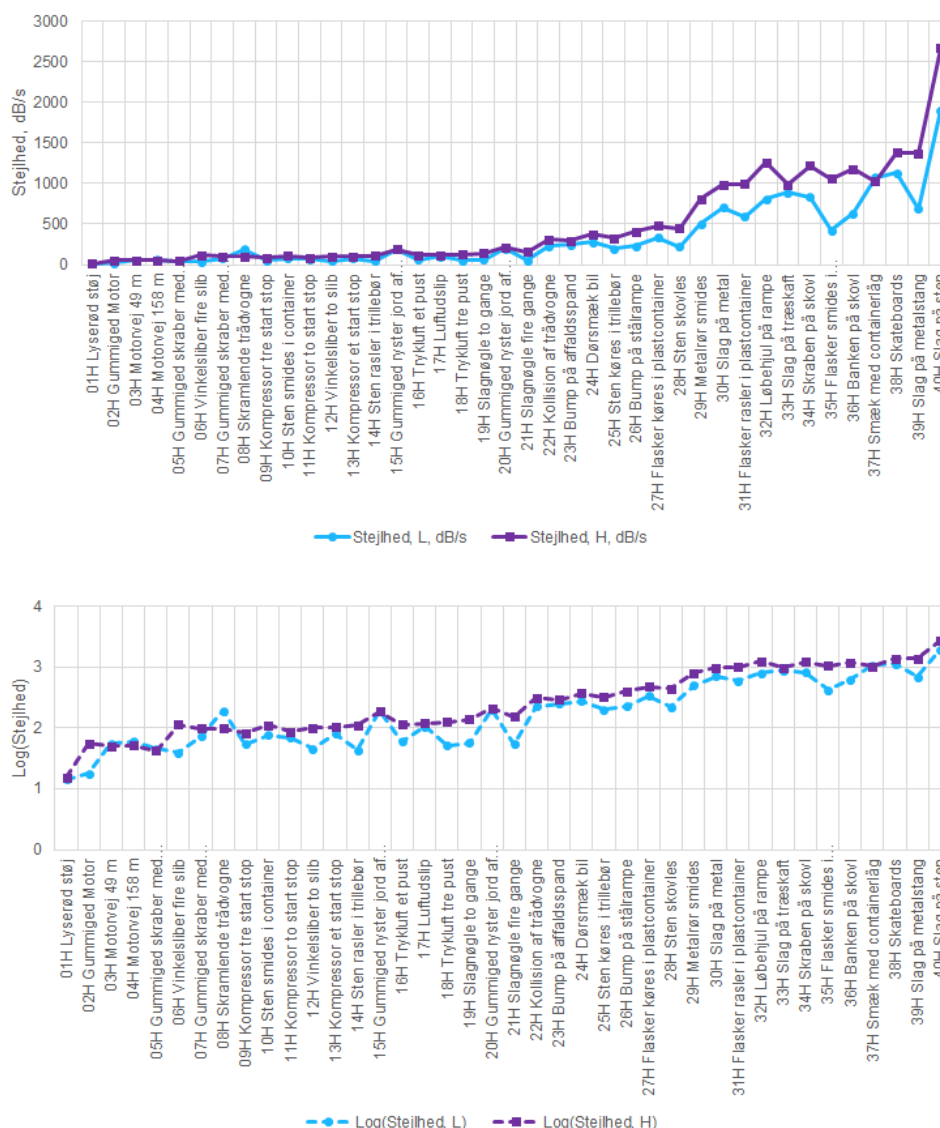
Her er det værd at bemærke, at ved automatiserede målinger kan man komme til at indregne svage impulser, som fx kunne stamme fra baggrundsstøjen, i gennemsnittet, hvis man ikke passer på.

Beskrivelser af stimuli er angivet i Bilag 1, og resultaterne af de fysiske målinger er angivet i Bilag 3, hvor også sammenhængen mellem nummereringen af stimuli og de tilsvarende lydkilder fremgår.

Figur 14 og Figur 15 giver et overblik over niveaudifferenser og stejkheder. Det ses, at generelt er både niveaudifferenser og stejkheder større for H-stimuli end for L-stimuli. Det ses også, at de kontinuerte støjtyper uden impulser, stimuli 1-4 ligger væsentlig lavere end resten af stimuli på begge parametre med et par enkelte undtagelser for stejkheden.



Figur 14 Niveaudifferenser for stimuli til lyttetesten. Øverst: Niveaudifferenser i dB. Nederst: Logaritmen til niveaudifferenserne som indgår i beregningen af tydeligheden P . Rækkefølgen af stimuli er angivet efter stigende tydelighed for H-stimuli.



Figur 15 Stejlheder for stimuli til lyttetesten. Øverst: Stejlheder i dB/s. Nederst: Logaritmen til stejlhederne som indgår i beregningen af tydeligheden P . Rækkefølgen af stimuli er angivet efter stigende tydelighed for H-stimuli.

8 Lyttetest

8.1 Metode

Lyttetesten blev udført efter principperne beskrevet i [19], "Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise". Lyttetests af genevirkning anses for at kunne belyse den relative gene af forskellige stimuli under ens forhold.

Før selve testen skulle assessorerne (lytterne) gennemgå en "Familiarization", hvor de blev gjort bekendt med karakteren af de lyde, som indgik i testen. Lytterne blev her præsenteret for 14 eksempler på stimuli, der forekom i testen. Eksemplerne var udvalgt, så de repræsenterede spændvidden af testen med hensyn til niveauer og impulsernes tydelighed.

I første halvdel af selve testen blev lytterne bedt om at bedømme genevirkningen af lyden som helhed. I anden del af testen skulle de bedømme impulsernes tydelighed.

For at kunne kvantificere den ekstra genevirkning af impulserne indeholdt testen også referencestimuli i form af forenklet baggrundsstøj (trafikstøj, uden impulser, se afsnit 6.6) ved forskellige niveauer. Ved at sammenligne genevirkningen af impulsstøjen med forskellige niveauer af referencestøjen kan man se, hvor meget højere L_{Aeq} af referencestøjen skal være, for at genen svarer til den ekstra gene af impulserne, se afsnit 10.2.

Ved lyttetesten blev brugt en geneskala, som er standardiseret for socioakustiske undersøgelser i felten, jf. [13], se Figur 16.



Figur 16 Svarskala til bedømmelse af genevirkning. Ved databehandlingen er brugt en bagvedliggende 0-10 skala for genegraden.

Da konteksten ved en lyttetest er anderledes end ved socio-akustiske undersøgelser, hvor borgerne typisk udspørges i eget hjem, kan man ikke antage, at den absolutte brug af skalaen er den samme i de to tilfælde. Det er i testsituationen svært at tage hensyn til indvirkningen af kontekstafhængige variable som lokaliteten, personens holdninger og aktivitet, frygt for værditab af ejendom, tidspunkt på døgnet m.m.

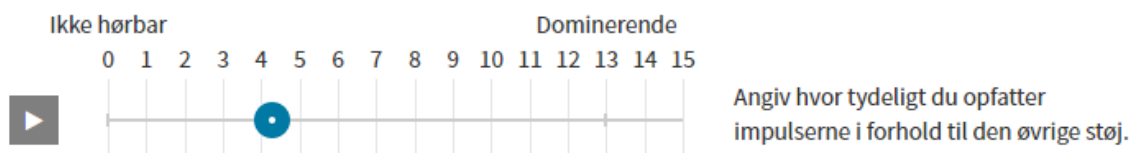
For alligevel at skabe en kontekst for lytterne blev de bedt om at forestille sig, at de slappede af udendørs fx i en have, på en terrasse eller i en park, mens de hørte lydeksemplerne. De skulle bedømme genen ud fra, at støjen fortsatte på samme måde hele dagen.

Instruktionen var tilgængelig under hele testen som et PowerPoint-show på samme computer, som testen blev afviklet fra. Instruktionen kan ses i Bilag 4. Vejledningen for skalabruget var ud over PowerPoint-instruktionen angivet på et papir opsat i lytteboksen.

Assessorerne skulle også bedømme impulsernes tydelighed. De blev gjort opmærksomme på, at de skulle angive, hvordan de umiddelbart ville opfatte lyden, som den forekommer udendørs.

Skalaen for bedømmelse af tydelighed ses på Figur 17.

Tydelighed



Figur 17 Skala for bedømmelse af impulsernes tydelighed.

Lytterne blev instrueret i at bruge skalaen som følger:

- 0 Hvis du ikke hører impulser
- 0-5 Svagt hørbare impulser
- 5 Hvis impulserne netop er så tydelige, at du umiddelbart vil lægge mærke til dem
- 5-10 Impulser der er fremtrædende i det samlede lydbillede
- 10-15 Impulser der er dominerende i det samlede lydbillede.

Der var desuden lydeksempler med ekstern virksomhedsstøj med impulser med forskellig tydelighed til illustration af skalaen, se Bilag 4.

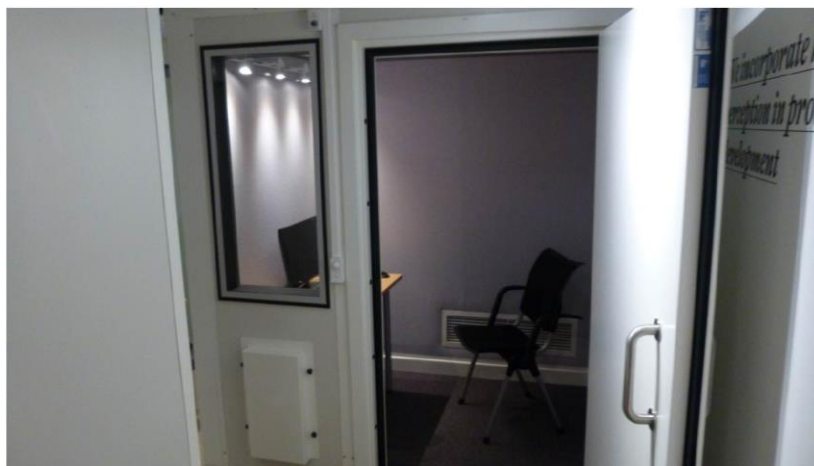
Målingerne blev udført som en dobbelt-blindtest, hvor alle stimuli, inklusive referencestimuli, var randomiserede individuelt for alle assessorer i begge testrunder.

8.2 Stimuli

Stimuli bestod af lydeksempler af 20 sekunders varighed med varierende grader af impulsindhold. Lyttetestens stimuli er nærmere beskrevet i afsnit 6. Stimuli blev afspillet med 32 bit og 48 kHz undtagen referencestøjen og motorvejsstøjen, som blev afspillet med 16 bit og 44,1 kHz.

Stimuli blev afspillet med et kalibreret niveau på åbne hovedtelefoner.

8.3 Lyttebokse og teknisk udstyr



Figur 18 Den ene af de to lyttebokse, som blev benyttet til testen.

Lyttetesten blev afviklet i SenseLab's to lyttebokse hver på 4,7 m³, som er placeret i et separat rum i kælderen ved siden af SenseLab's lytterum. Lokaltiteterne er placeret, så de stort set er uforstyrrede af baggrundsstøj. Baggrundsstøjen i lytteboksene med lyset tændt og 25 % ventilation er typisk omkring 10-12 dB(A).

I Bilag 5 er angivet en instrumentliste over det benyttede udstyr.

8.4 Assessorer

Ideelt set bør man ved bedømmelse af støjgene (som er en subjektiv attribut) benytte utrænede lyttere, som er repræsentative for målgruppen. I dette tilfælde ville det være borgere, der bor eller færdes i nærheden af virksomheder. Derimod bør man bruge trænede lyttere, der forstår attributterne og er vant til at bedømme lyd, når der er tale om bedømmelse af perceptuelle og objektive attributter som impulsernes tydelighed. Vi har i denne test valgt at bruge normalthørende lyttere fra SenseLab's trænede panel suppleret med personer fra FORCE's akustikafdeling.

I alt deltog 23 assessorer i lyttetesten, 17 trænede lyttere fra panelet og 6 akustikere. Deltagernes alder var mellem 19 og 63 år med et gennemsnit på 38 år fordelt på 20 mandlige og 3 kvindelige lyttere.

Syv assessorer blev udelukket i henhold til efterscreening af testresultaterne for tydelighed, fordi de angav impulser i de kontinuerte støjtyper, se afsnit 9.2.

Resultaterne for gene inkluderer alle 23 assessorer.

8.5 Testadministration

Testen blev afviklet ved hjælp af lyttetestsoftwaren SenseLabOnline 5.0.0. Softwaren administrerer individuel randomisering og præsentation af stimuli samt opsamling af lytternes bedømmelser.

Testen havde følgende forløb:

1. Instruktion om bedømmelse af gene
Familiarization/Orienteringsrunde: 14 stimuli som præsenterede de lydstyrker og impulstydigheder som forekom i selve testen
2. Bedømmelse af genevirkning på 98 stimuli (inkl. referencestimuli med gentagelse)
3. Pause og instruktion i bedømmelse af tydelighed med lydeksempler som ikke var med i testen
4. Bedømmelse af tydelighed på 80 stimuli.

Lytterne blev opfordret til at holde pauser, når de trængte til det.

Hele testen blev afviklet på omkring 1,5 time pr. assessor i perioden december 2022 til januar 2023.

9 Resultater af lytteforsøg

Lytterne skulle bedømme attributterne Tydelighed og Gene for lydene.

Tydelighed er en defineret og objektiv attribut. Ideelt set skal lytterne fungere som objektive måleinstrumenter, der angiver, i hvor høj grad denne attribut høres. Assessorerne skal objektivt bedømme den perceptuelle opfattelse af Tydelighed. Det kræver, at lytterne forstår attributten, er trænet i at bedømme den og forstår brugen af bedømmelsesskalaen. Lytterne, som deltog i testen, har stor generel erfaring i at bedømme lyd på skalaer og bruge SenseLabOnline. De var ikke trænet specifikt i bedømmelse af Tydelighed, men instruktionen indeholdt lydeksempler (fra den oprindelige lytte-test, DK1) til illustration af attributten. Der forventes normalt en høj grad af konsensus af assessorernes bedømmelser.

Gene er en subjektiv attribut i den forstand, at lytternes egen baggrund og præferencer kommer til udtryk i deres bedømmelser. Lytterne bedømmer subjektivt, hvor generende de synes lyden er. Der er ikke nogen objektive kriterier i bedømmelsen, men verbale mærkater på skalaen er vejledende for skalabrug. Mærkatene for Gene er udviklet efter en særlig procedure, som medvirker til en ensartet skalabrug, [20]. Der forventes ikke nødvendigvis konsensus af assessorernes bedømmelser, selv om det som regel forekommer.

9.1 Terminologi

Resultaterne af lytternes bedømmelser af Tydelighed og Gene (og deraf fundne impulstillæg) skal sammenstilles med de tilsvarende størrelser beregnet ud fra fysiske målinger. Derfor er der behov for en terminologi, som skelner mellem de to sæt af resultater. Ud over dette er der yderligere defineret tre begreber.

Perceptuel tydelighed, P_p

Resultaterne af en perceptuel måling, dvs. af lytternes (objektive) bedømmelser af Tydelighed.

Fysiske tydelighed, P

Den beregnede tydelighed, P , ud fra fysiske målinger af niveaudifferens, LD i dB, og stejlhed, OR i dB/s.

Subjektivt impulstillæg, K_{Is}

Det tillæg som beregnes ud fra resultaterne af en subjektiv måling, dvs. af lytternes (subjektive) bedømmelser af gene kombineret med dosis-responskurven af referencestøjen (se afsnit 10.2).

Fysisk impulstillæg, K_I

Det beregnede tillæg, K_I , ud fra den fysiske tydelighed, P .

L-stimuli

Stimuli med et niveau, $L_{Aeq} = 40$ dB.

H-stimuli

Stimuli med et niveau, $L_{Aeq} = 60$ dB.

Stimuli med impulskaraktierika

Som det fremgår af afsnit 9.3, er der stimuli, hvor andre karakteristika end impulser er fremtrædende og kan give anledning til gener. Det gælder stimuli med gummiged, vinkelsliber og kompressor. Desuden er der stimuli med lyde, som i andre sammenhænge vides at give mindre gene pga. positive associationer, dvs. løbehjul og skateboards. Hvis de nævnte stimuli udelades, vil det betyde, at der både i L- og H-gruppen er 29 stimuli, hvis genevirkning skønnes hovedsageligt at være bestemt af støjens niveau og dens impulskaraktierika. Disse stimuli kaldes stimuli med impulskaraktierika. Det vil fremgå af sammenhængen, om de ikke impulsholdige kontinuerte lyde medtages i denne gruppe.

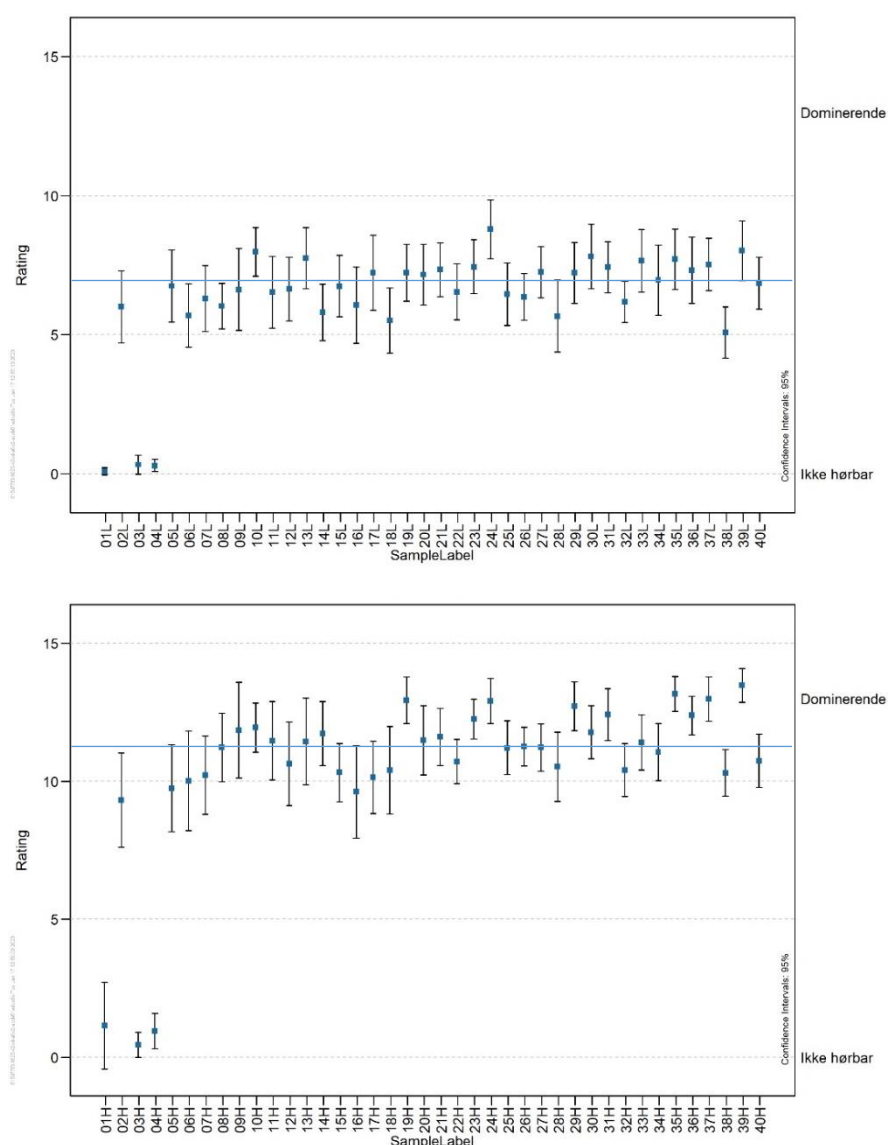
9.2 Resultater for Tydelighed

Ved testen af Tydelighed blev assessorerne præsenteret for alle stimuli, L-stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB og H-stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB, blandet i tilfældig rækkefølge.

Attributten Tydelighed er en objektiv attribut, som bør bedømmes af assessorer, der er trænet specifikt i denne. Bedømmelserne blev foretaget af 6 akustikere og 17 lyttere fra SenseLab's ekspertpanel.

Deltagerne var ikke trænete i brugen af attributten, men der var en grundig instruktion med lydeksempler, se Bilag 4.

De gennemsnitlige resultater for bedømmelserne fremgår af Figur 19.



Figur 19 Middelverdier og 95 % konfidensintervaller for bedømmelserne fra 23 assessorer af Tydelighed på en 0-15 skala. Øverst: L-stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB. Nederst: H-stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB. Middelverdierne af de impulsholdige støjtyper (dvs. undtagen stimuli 1-4) er angivet med en blå vandret linje. Stimuli er nummereret efter stigende P-værdi.

Nummereringen af stimuli er foretaget ud fra de fysiske målinger, således at stigende nummer svarer til højere værdi af den beregnede tydelighed P for H-stimuli. Stigningen med P for L-stimuli er i store træk tilsvarende, se Bilag 3. I de to foregående lyttetests den oprindelige, DK1, se afsnit 5.1, og de finske lytteforsøg, FI, se afsnit 5.2, var der en tydelig (om ikke perfekt) sammenhæng mellem lytternes bedømmelser og de beregnede værdier. Bedømmelserne steg generelt med stigende P værdi.

En sådan sammenhæng ses ikke på Figur 19 hverken for L- eller H stimuli, hvilket kan undre. Der er ikke den store variation i bedømmelserne, og konfidensintervallerne taget i betragtning afviger kun ca. en tredjedel signifikant fra middelværdien af alle bedømmelser som vist på Figur 19. For L-stimuli ses, at bedømmelserne samler sig på midten af skalaen, hvilket kan være et tegn på assessorernes usikkerhed.

Det ses også, at konfidensintervallerne for de forskellige stimuli er ret forskellige, så der er altså større usikkerhed ved nogle stimuli end ved andre.

I Bilag 6 ses assessorerne individuelle bedømmelser af tydelighed. Af afsnit 0 ses, at der er mange stimuli med stor "uenighed" blandt assessorerne. Der er også stimuli med rimelig overensstemmelse mellem assessorerne, men hvor enkelte assessors bedømmelser afviger væsentligt fra de øvrige. Da Tydelighed er en objektiv attribut, vil man forvente, at bedømmelserne af hver stimulus vil være uden de store afvigelser mellem trænede assessorer.

I Bilag 6 afsnit 0 fremgår, at den forventede stigende tendens af bedømmelserne med stigende P-værdi kun anes svagt for enkelte assessorer.

Man skal jo ikke forkaste resultater, fordi de ikke stemmer med ens forventninger, men resultaterne afviger alligevel så meget fra de to tidligere lytteforsøg, at der er grund til at overveje udelukkelse af assessorer eller stimuli. Dette skal i så fald ske efter objektive og rimelige kriterier.

Ved en gennemgang af de individuelle bedømmelser blev det besluttet at udelukke syv assessorer, der havde bedømmelser af tydelighed større end 2,5 for lydeksemplerne med veje og lyserød støj, hvor der slet ikke forekommer impulser. Dette reducerer antallet af assessorer til 17. Denne gruppe kaldes "de kvalificerede assessorer".

Man kunne også overveje at udelukke stimuli, som var for svære at bedømme, dvs. som gav stor spredning i bedømmelserne. Standardafvigelserne for de forskellige stimuli varierede mellem 0,3 og 4,4. Det blev derfor besluttet forsøgsvist at udelukke kilder med en spredning på over 3.

De kilder, der herved blev udelukket, var:

- Gummiged (undtagen stimuli 15 og 20 med meget tydelige impulser)
- Vinkelsliber
- Kompressor
- Trykluft
- Luftudslip
- Sten skovles
- Skramlende trådvogne
- Sten rasler i trillebør.

Det er kilder dels med "bløde" ansatser og dels med nogen varighed. Dvs. lyde som passer med definitionen "Impulslyd er den bratte begyndelse af lyde med kortere eller længere varighed", men som ikke rigtig passer, hvis man tolker impulser som lyde med kort varighed.

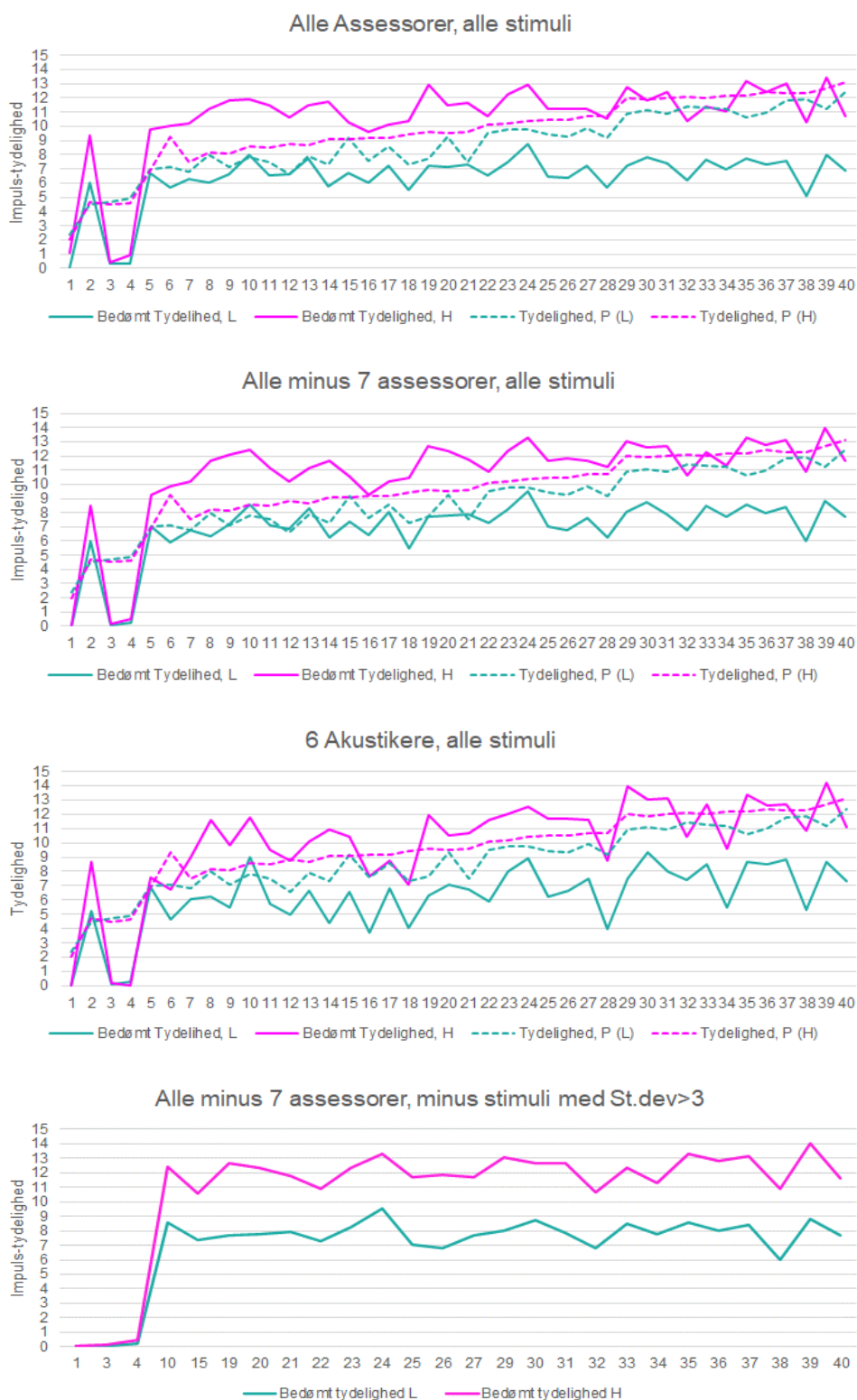
Figur 20 viser resultaterne af forskellige udelukkelse. Der anes en svag stigning i kurveforløbets hældning ved udelukkelse af assessorer, der ikke bedømte impulsindholdet af kontinuert støj, veje og lyserød støj, lavt.

Det ses også, at hældningen øges, hvis man kun medtager bedømmelser fra akustikere. Det antages, at akustikerne har en bedre forståelse for impulsbegrebet i sammenhæng med ekstern støj fra virksomheder. Forskellen mellem akustikernes og de øvrige assessors bedømmelser tolkes derfor som utilstrækkelig forståelse af definitionen af impulslyde og/eller træning i attributten Tydelighed for de øvrige assessorer.

Endelig ses det, at det ikke betyder noget at udelukke stimuli med stor spredning på bedømmelserne.

Ud fra ovenstående konkluderes, at selv om der er indicier på utilstrækkelig træning af panelets eksperter, vil det være for specielt at basere resultaterne på bedømmelser fra kun 6 akustikere.

Resultaterne for Tydelighed baseres derfor på de 17 kvalificerede assessorer, der ikke havde fejlbedømt tydeligheden af impulser i de kontinuerte støjtyper.



Figur 20 Bedømt tydeligheder for L og H stimuli (Fuldt optrukne linjer) og de beregnede tydeligheder (punkterede linjer). Øverst: med alle assessorer, dernæst kun med de kvalificerede assessorer. Næstnederst: Resultater kun for akustikere. Nederst: Kun resultater for kilder med en spredning på bedømmelserne under 3.

Det må konkluderes, at der har været nogen usikkerhed om, hvorledes attributten Tydelighed skulle bedømmes. Debriefingen og efterfølgende samtaler med enkelte assessorer har vist:

- I instruktionen var en impuls defineret som: Impulslyd er den bratte begyndelse af lyde med kortere eller længere varighed. Definitionens anden del mht. varigheden skabte forvirring hos nogle. Andre havde ikke forstået, at definitionen kun gjaldt den bratte begyndelse af en lyd. Nogle assessorer har tolket en impuls som en kortvarig transient, der både stiger og falder. En impuls er defineret som en (brat) stigende niveauændring, der ikke behøver at falde i niveau efterfølgende.
- Det var ikke klart for alle, at der ved bedømmelsen skulle tages hensyn til, både hvor meget impulsen hørtes over den kontinuerede del af støjen (den opfattede niveaudifferens), og hvor brat ansatsen hørtes, således at "bløde impulser", dvs. impulslyde der hørtes med en mere gradvis stigning i styrken, skulle bedømmes som mindre tydelige.
- I nogen udstrækning har man bedømt impulser som tydelige, hvis man kunne høre impulserne uden en graderet forestilling om, hvor meget man ville lægge mærke til dem, eller hvor påtrængende man ville opfatte dem, hvis de forekom i det eksterne miljø.
- Måske har nogle lyttere overfortolket begrebet tydelighed sådan, at de i højere grad har bedømt, om impulserne kunne detekteres frem for at bedømme den definerede tydelighed.
- Testen føltes lang, og bedømmelserne af Tydelighed blev foretaget efter bedømmelserne af gene. Det kan derfor ikke udelukkes, at træthed har mindsket koncentrationen om den faktiske opgave om at bedømme tydeligheden.
- Der var forskellig opfattelse af, om de svage biplyde, der hørtes, når gummigeden bakkede, skulle betragtes som impulser.

Sammenfattende må det konstateres, at bortset fra nogle få stimuli gav denne lyttetest ikke meget forskel på bedømmelserne af de forskellige stimuli i hver af grupperne L og H. Der sås heller ikke en tydelig sammenhæng mellem den bedømte tydelighed og den med målemetoden beregnede tydelighed, som var tilfældet i de to tidligere lyttetests, DK1 og FI, se afsnittene 5.1 og 5.2. De mulige årsager er angivet ovenfor. De anførte årsager giver dog ikke mulighed for at udelukke bestemte assessorer.

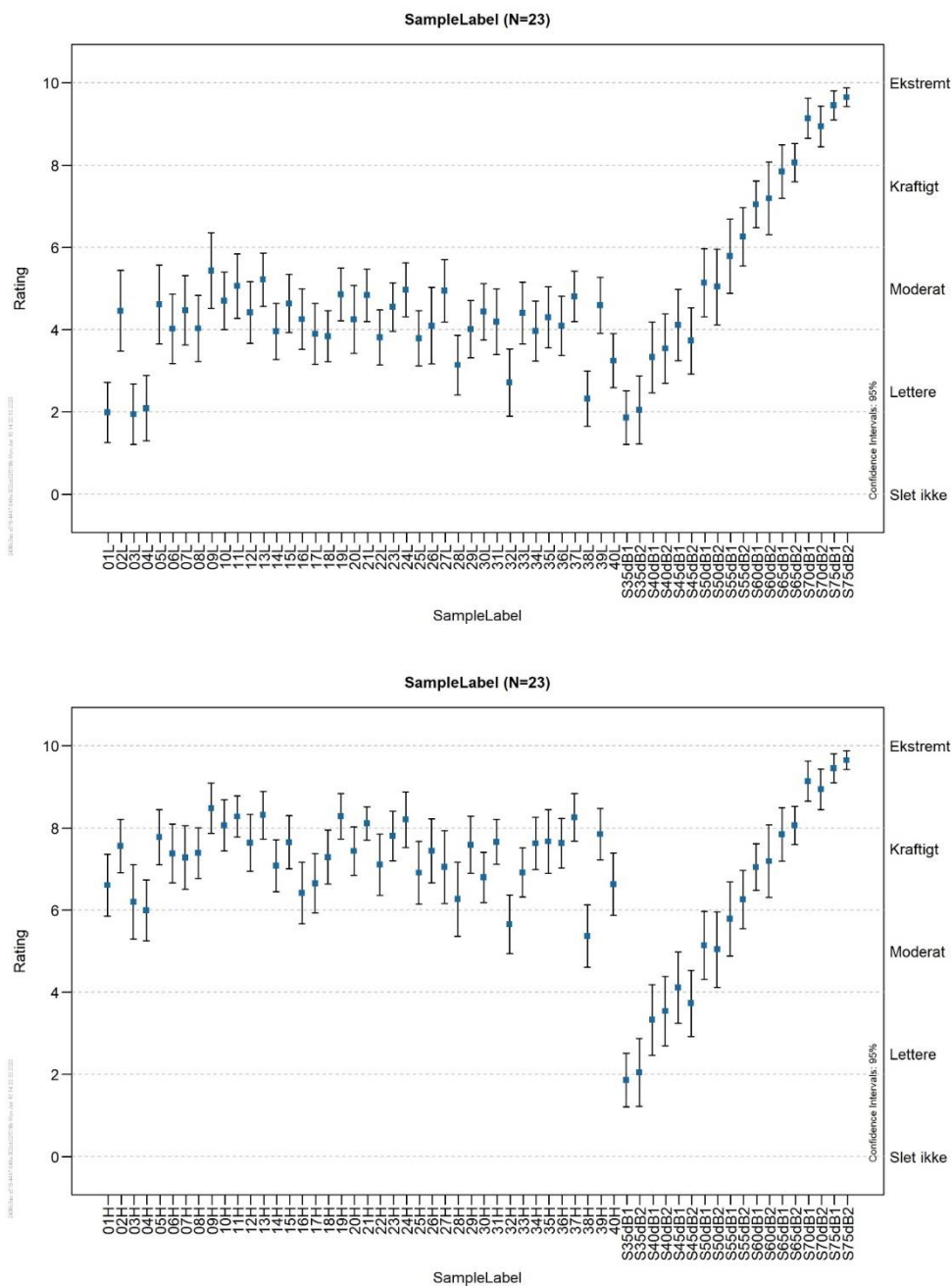
Selv om det måske bliver vanskeligt at konkludere noget om målemetoden ud fra resultater af Tydelig fra lyttetesten, når de har så lille variation, vil vi gå videre med resultaterne for tydelighed baseret på de 17 kvalificerede assessorer, der ikke havde fejlbedømt tydeligheden af impulser i de kontinuerede støjtyper.

9.3 Resultater for Gene

Deltagerne blev bedt om at bedømme genen af lydeksemplerne som helhed med udgangspunkt i, at lyden forekom hele dagen udendørs, der hvor deltagerne opholdt sig. Der var altså ikke specielt fokus på impulser i denne første del af testen.

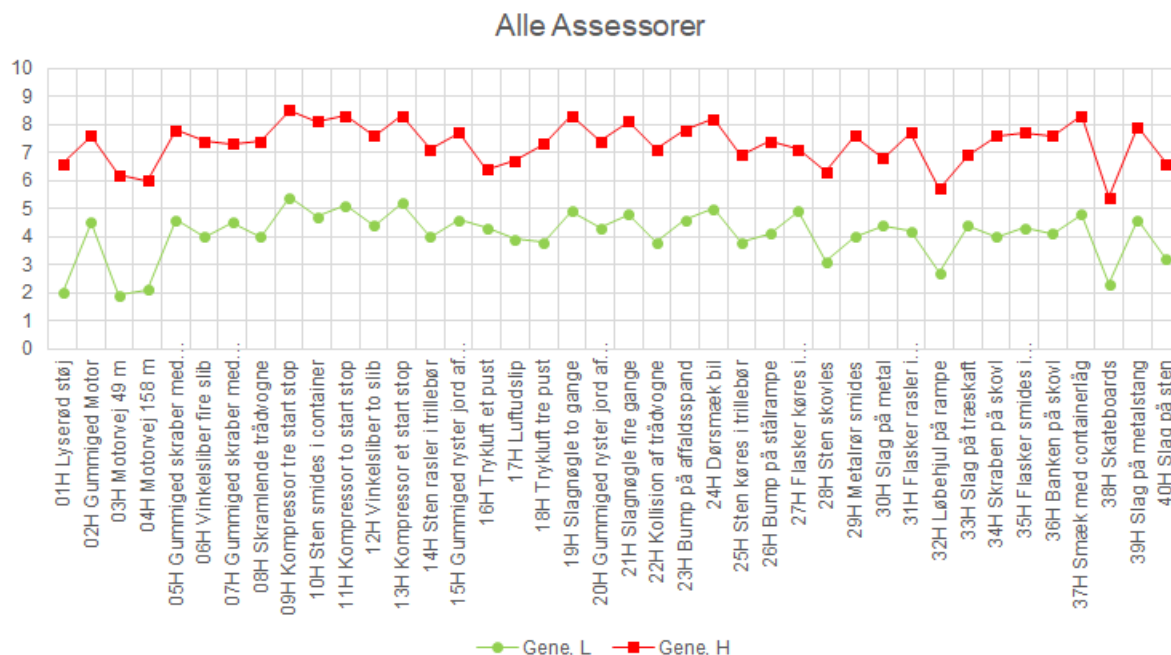
De individuelle bedømmelser af gene kan ses i Bilag 7. Alle assessorer har angivet en stigende gene med stigende niveauer af referencestøjen, hvilket er et godt tegn. Det ses, at de forskellige assessorer bedømmer genen meget forskelligt, men da det er en subjektiv attribut, er dette acceptabelt, og det giver ikke grundlag for at udelukke assessorer.

De gennemsnitlige resultater og 95 % konfidensintervaller for bedømmelserne af Gene fremgår af Figur 21.



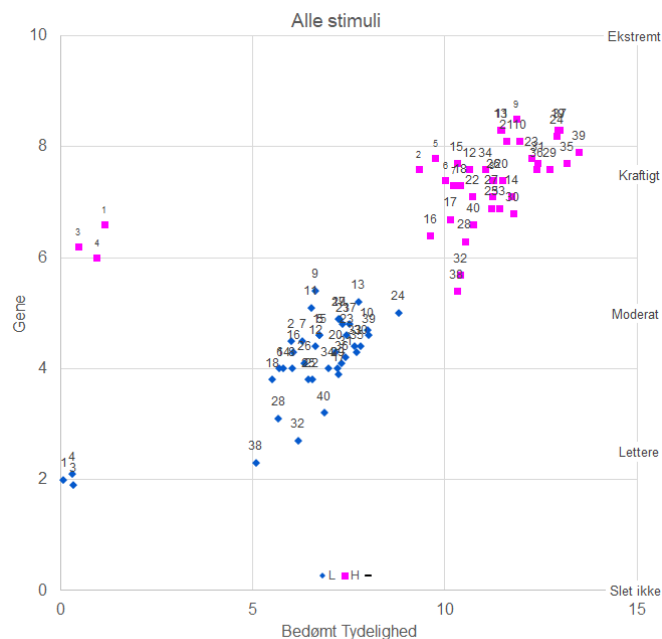
Figur 21 Middelverdier og 95 % konfidensintervaller for bedømmelserne fra 23 assessorer af Gene på en 0-10 skala. Øverst: L-stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB. Nederst: H-stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB. Stimuli er nummereret efter stigende P-værdi.

Figur 22 viser bedømmelserne af Gene for både L- og H-stimuli. Samme data som i Figur 21 blot uden referencestimuli.



Figur 22 Middelværdier af bedømmelserne fra 23 assessorer af Gene på en 0-10 skala for L-stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB og H-stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB. Stimuli er nummereret efter stigende P-værdi.

Da alle stimuli i henholdsvis L- og H-gruppen har samme A-vægtede lydtrykniveau, L_{Aeq} , skulle man forvente en stigning i Gene med stigende P-værdi, forudsat at P-værdien i tilstrækkelig grad er et udtryk for den opfattede tydelighed af impulserne og dermed også genen.



Figur 23 Data for alle stimuli. X-aksen: Middelværdier af bedømt Tydelighed på 0-15 skala. Y-aksen: Middelværdier af bedømt Gene. Til højre er vist geneaksens labels. Numrene på punkterne er stimulusnummeret. L-stimuli er blå. H-stimuli er pink. Andelen af forklaret varians, R^2 , indenfor hver af grupperne uden stimuli 1-4 er: L: $R^2 = 0,35$. H: $R^2 = 0,32$.

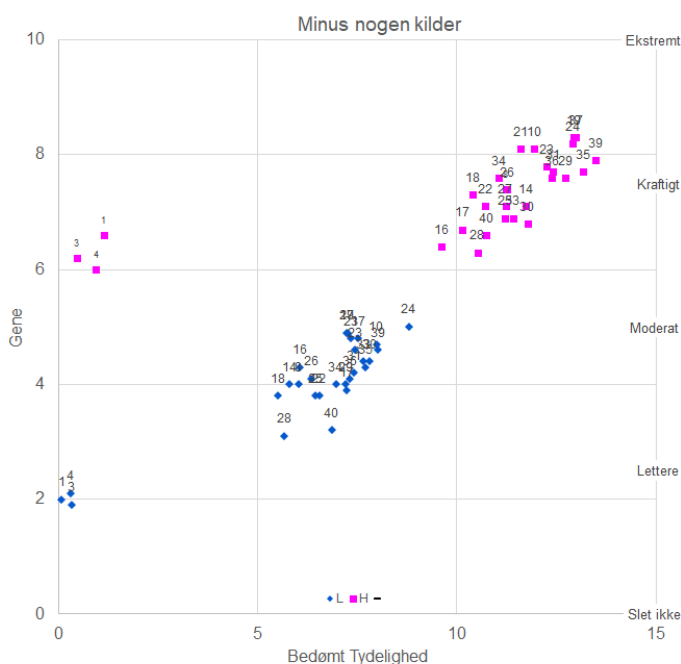
Figur 23 viser sammenhængen mellem den bedømte Tydelighed og Gene. Det ses, at genen er størst for H-gruppen og mindst for L-gruppen. Desuden ses, at for L-gruppen ($L_{Aeq} = 40$ dB) er vejstøj og lyserød støj bedømt til en genegrad på ca. 2, og alle andre støjtyper har en højere gene. I H-gruppen er vejstøj og lyserød støj bedømt til en genegrad på lidt over 6, mens alle andre bedømmelser, bortset fra stimuli 32 og 38, ligger højere. Stimuli 32 og 38 er bedømt til at have en lavere gene end vejstøjen.

Når man lytter til stimuli, og når man ser på niveauregistreringerne i Bilag 1, kan det undre, at stimuli 32 og 38 (løbehjul og skateboards) både i L- og H-gruppen ligger så lavt i Gene sammenlignet med nabonumrene. Det kan tydeligt høres, at det er skateboards og lignende, og der forekommer også børnestemmer. Måske påvirker det genebedømmelsen, at man kan høre, at det er børn, der leger, frem for at det er de mere værktøjsrelaterede støjtyper. Fra Lydlandskabsmålinger er det kendt, at menneskestemmer/menneskelig aktivitet i almindelighed opfattes som noget positivt.

En ting er, at genkendelse af støjklenderne kan påvirke geneopfattelsen, en anden ting er, at der i nogle stimuli forekommer andre karakteristika, fx tydelige toner, brum og hvin, lavfrekvent indhold, frekvens- og amplitudemodulation, som også kan bidrage til støjgenen. Dette er mest udpræget for følgende kilder:

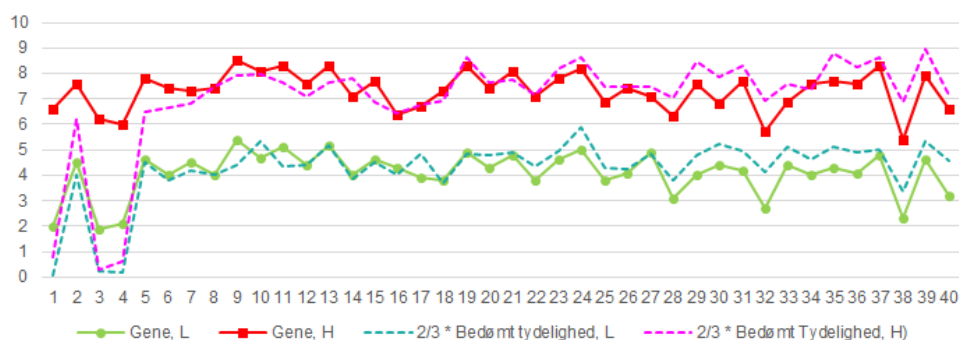
- Gummiged: Motorlyden, kraftig frekvens- og amplitudemoduleret lavfrekvent brummetone
- Vinkelsliber: Varierende hyletone fra motor/gear. "Ubehagelig" skærellyd.
- Kompressor: Kraftig brumme/tonelyd

Figur 24 viser sammenhængen mellem bedømt Tydelighed og bedømt Gene, når ovennævnte lydkilder, i alt 11 stimuli, er udeladt i hver af grupperne L og H.



Figur 24 Samme data som Figur 23, men data for gummiged, vinkelsliber, kompressor og løbehjul/skateboards er udeladt. X-aksen: Middelværdier af bedømt Tydelighed på 0-15 skala. Y-aksen: Middelværdier af bedømt Gene. Til højre er vist geneaksens labels. Numrene på punkterne er stimulusnummeret. L-stimuli er blå. H-stimuli er pink. Andelen af forklaret varians, R^2 , indenfor hver af grupperne uden stimuli 1-4 er: L: $R^2 = 0,45$. H: $R^2 = 0,61$.

Der ses en bedre sammenhæng mellem bedømt Tydelighed og Gene, og andelen af forklaret varians indenfor grupperne L og H er steget væsentligt, når der kun medtages stimuli, hvor impulserne er den mest fremtrædende af de generende karakteristika.



Figur 25 Sammenligning af bedømmelserne af gene og tydelighed. Data er baseret på middelværdien for alle assessorer. Geneskalaen er fra 0-10. Skalaen for tydelighed er 0-15. For sammenligningens skyld er data for Tydelighed ganget med $10/15 = 2/3$.

Figur 25 sammenstiller bedømmelserne af Gene og bedømmelserne af Tydelighed. Det ses, at de to sæt bedømmelser i meget høj grad har samme forløb, især når det tages i betragtning, at de ikke impulsholdige kilder alene i kraft af deres niveau har en grund-gene, som tydeligheden ikke har. Man kan konstatere, at graden af gene grundlæggende følger graden af tydelighed. Selv om bedømmelserne af Gene og Tydelighed er sket i hver deres afdeling af lytteforsøget, tyder dette på en høj grad af konsistens i lytternes bedømmelser.

Sammenfattende må det siges, at det ser ud til, at det giver mening at koncentrere undersøgelsen af genevirkningen om de impulsdominerede stimuli, dvs. hvor andre generende karakteristika end impulser ikke er fremtrædende. Dvs. at stimuli med gummiged, vinkelsliber og kompressor udelades. Endvidere udelades stimuli med lyde, som i andre sammenhænge vides at have positive associationer, dvs. løbehjul og skateboards.

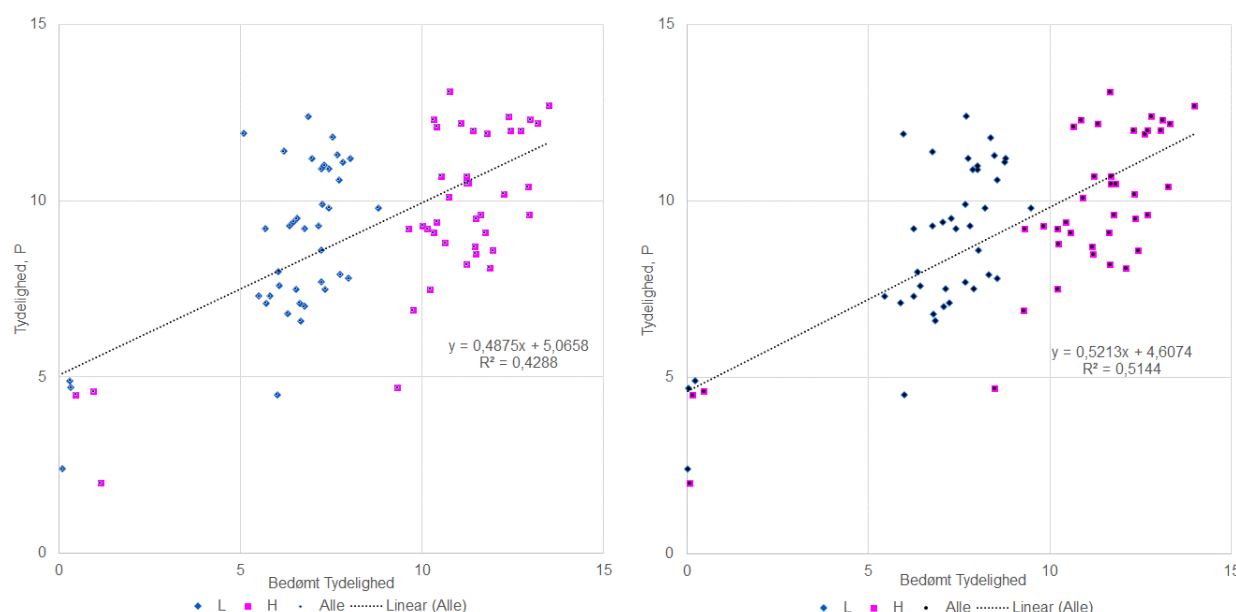
Hvis de nævnte stimuli udelades, vil det betyde, at 11 af de 40 stimuli i hver gruppe (L og H) udelades, så vi har 29 stimuli i hver gruppe, hvis genevirkning skønnes hovedsageligt at være bestemt af støjens niveau og impulskaraktistika.

10 Sammenstilling af lytteforsøg og fysiske målinger

10.1 Tydelighed

I dette afsnit sammenstilles middelværdierne af den perceptuelle tydelighed, P_p , med tydeligheden beregnet med målemetoden, den fysiske tydelighed, P , for de bedømte stimuli. Som nævnt i afsnit 9.2 skulle man som ved de tidligere forsøg, DK1 og FI, forvente en tydelig sammenhæng mellem perceptuelle og fysiske tydeligheder.

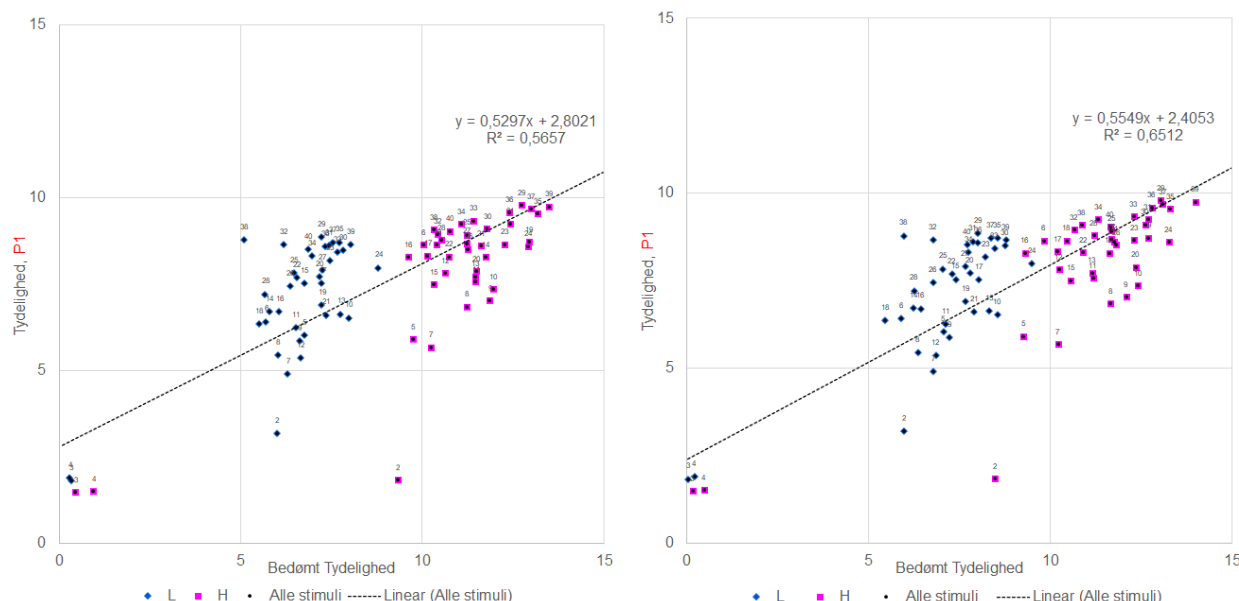
Figur 26 viser sammenhængen mellem bedømte og fysisk beregnede tydeligheder. Der ses en sammenhæng, men den er ikke imponerende. Andelen af forklaret varians for hele datasættet (L- og H-data samlet) er 0,43 med alle assessorer og 0,51 ved udeladelse af 7 ikke kvalificerede assessorer. I de oprindelige lytteforsøg, DK1 var $R^2 = 0,73$ og i de fiske lytteforsøg, FI, var $R^2 = 0,85$ (for genetillægget) – altså væsentlig bedre, se afsnit 5.1 og 5.2.



Figur 26 *X-aksen: Perceptuelt bedømt tydelighed. Y-aksen: Fysisk tydelighed, P , beregnet med målemetoden. Venstre figur med alle assessorer, højre figur med alle på nær de 7 ikke kvalificerede assessorer, der bedømte impulser på ikke impulsholdige stimuli, se afsnit 9.2.*

Hvis konstanterne i beregningen af Tydelighed optimeres¹⁰, bliver resultaterne som vist på Figur 27.

¹⁰ Se mere om dette i afsnit 12.1 og 12.2. Optimeringen består af ændringer i ligning 1 i afsnit 4.2, så konstanterne ændres fra $k_1 = 3$ og $k_2 = 2$ til $k_1 = 1,5$ og $k_2 = 3,5$ med en begrænsning af stejlheden på 500 dB/s.



Figur 27 X-aksen: Perceptuelt bedømt tydelighed. Y-aksen: Fysisk tydelighed, P1, beregnet med ændrede konstanter i målemetoden, se teksten. Venstre figur med alle assessorer, højre figur med alle på nær de 7 ikke kvalificerede assessorer (se afsnit 9.2). Over hvert punkt er stimulusnummeret vist.

Det ses, at andelen af forklaret varians stiger ved optimeringen, og for data kun med de kvalificerede assessorer bliver $R^2 = 0,65$, hvilket nærmer sig noget acceptabelt. Hvis man yderligere udelader stimuli med en spredning på bedømmelserne større end 3, se Figur 20 (herunder gummigeden, stimulus 2, som ligner en outlier på Figur 27), bliver $R^2 = 0,76$.

Det konkluderes, at hvis metodens konstanter optimeres som angivet i afsnit 12.1, forbedres sammenhængen mellem den bedømte og den beregnede tydelighed. Som det fremgår af afsnit 12.2, gør det ikke sammenhængen i data fra den oprindelige lyttetest, DK1, ringere.

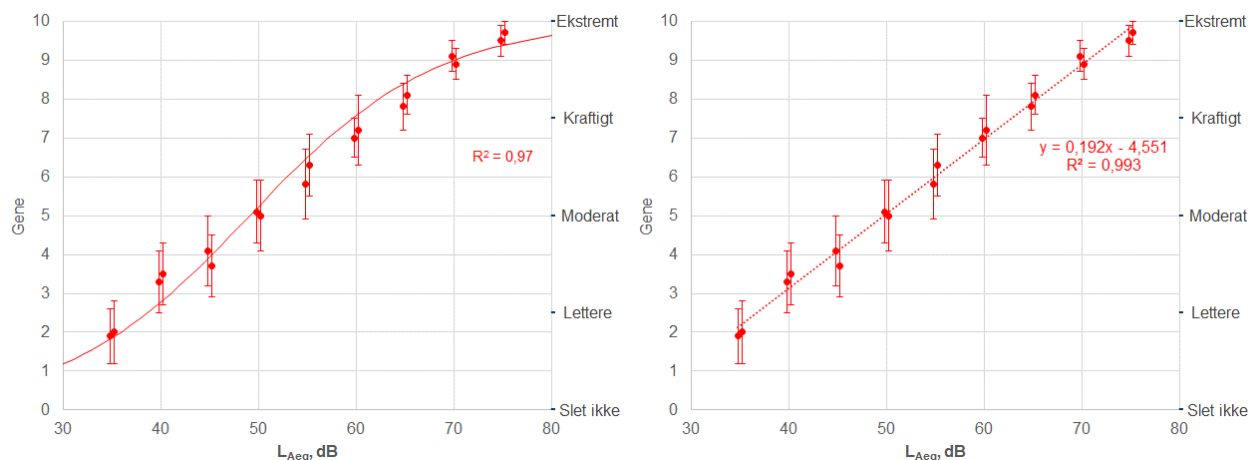
10.2 Referencestøj og sammenhæng mellem ekstra gene og impulstillæg

Impulstillægget skal svare til den ekstra gene, impulserne giver anledning til, ud over genen fra støj med samme støjniveau L_{Aeq} uden impulser.

For at finde sammenhængen mellem den skala, som bruges til bedømmelse af Gene, se Figur 16, og den tilsvarende ændring i lydtrykniveau (L_{Aeq}) er der inkluderet en stationær referencestøj med forskellige niveauer i lyttetesten, se afsnit 6.6 og Bilag 2.

Stimuli med forskellige niveauer af referencestøjen ($L_{Aeq} = 35, 40 \dots 75$ dB) forekom tilfældigt blandt de øvrige stimuli. Hvert niveau af referencestøjen er bedømt to gange af hver assessor. Resultatet af bedømmelserne ses på Figur 28. Der ses en meget fin sammenhæng mellem støjniveau og gene med forholdsvis små konfidensintervaller.

Ud fra lytternes bedømmelser af genen af referencestøjen kan der konstrueres en dosis-responskurve mellem lydtrykniveau og gene. Over et stort område af støjniveauer vil man forvente en s-formet dosis-respons-sammenhæng mellem støjniveau og gene som vist med den logistiske kurve på venstre figur. Genen fra støjen er nul ved meget lave lydniveauer, og genen vil gå i mætning på 10 ved meget høje niveauer, og så repræsenterer kurven der imellem en overgang mellem disse yderpunkter.



Figur 28 Gene af referencestøjen. Punkterne angiver middelværdier og 95 % konfidensintervaller for lytternes bedømmelser. X-aksen er det fysisk målte niveau af referencestøjen. De to bedømmelser af samme niveau er forskudt vandret lidt fra hinanden. Konfidensintervallerne bliver, når de to bedømmelser midles, kun 0,7 gange de viste konfidensintervaller. På venstre figur er vist en logistisk regression. På højre figur er vist en lineær regression.

I det begrænsede interval af niveauer, vi opererer i, ses det af højre figur, at data tilnærmes lidt bedre med en lineær regression. Den på figuren viste ligning kan bruges til at beregne sammenhængen mellem geneskalaen og det tilsvarende støjniveau. Ud fra generesponsen kan vi finde det geneækvivalente lydtrykniveau, L_{ea} (equivalent annoyance) af referencestøjen.

Impulstillægget, K_I , for en impulslyd er antallet af decibel, der skal lægges til lydtrykniveauet for en referencelyd med samme niveau (L_{Aeq}), så referencelyden ville blive opfattet lige så generende som den impulsive lyd.

Ud fra ligningen på Figur 28 kan det geneækvivalente lydtrykniveau, L_{ea} , findes af:

$$L_{ea} = \frac{Gene + 4,551}{0,192} \quad \text{Ligning 3}$$

Impulstillægget, K_I kan findes af:

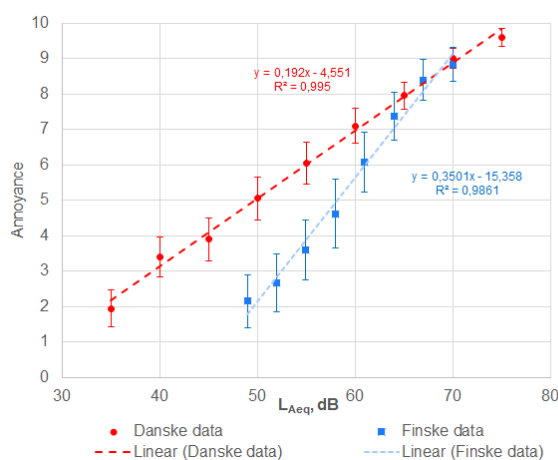
$$K_I = L_{ea} - L_{Aeq} \quad \text{Ligning 4}$$

hvor L_{Aeq} er det fysiske niveau af impulsstøjen.

Forudsætningen er dog, at impulserne er den gennemæssigt mest fremtrædende forskel mellem referencestøjen og stimuli med impulser.

Da referencestøjens dosis-responskurve er grundlaget for beregningen af impulstillæggets størrelse, betyder det, at hvis der var valgt en referencestøj med en anden dosis-responskurve ville det give en anden størrelse af impulstillægget.

På Figur 29 er de danske, DK2, og finske, FI, bedømmelser af referencestøj sammenlignet. I det danske lytteforsøg deltog 23 personer, i det finske lytteforsøg deltog 32 personer. Hvis spredningen er den samme i de to forsøg, ville man se finske konfidensintervaller, der var lidt mindre end de danske. De er tværtimod større, hvilket viser, at spredningen på bedømmelserne af referencestøjen i det finske forsøg er lidt større end i det danske.



Figur 29 Genen af referencestøjen for henholdsvis den danske, DK2, og finske undersøgelse, FI. Punkterne angiver middelværdierne af bedømmelserne.

Ved sammenligningen af de to referencekurver skal man tage følgende forskelle i betragtning:

- Begge forsøg brugte kontinuert støj som referencestøj, men spektrene var forskellige.
- Ved det finske forsøg havde referencestøjen samme spektrum som impulsstøjen, mens spektrene for referencestøj og impulsstøj var forskellige i DK2.
- De finske lyttere var instrueret i at bruge hele skalaen.
- Niveauområdet for den finske referencestøj var 48-70 dB, mens det i det nærværende forsøg, DK2, var 35-75 dB.
- Der kan være kulturelle forskelle i, hvordan man graduerer genen.

Den væsentligste forskel i denne sammenhæng er linjernes hældning, der er direkte bestemmende for, hvor store impulstillæg der beregnes, jf. ligning 4. Hvis fx genen af en impulsholdig lyd er en genegrad større end referencestøjen med samme L_{Aeq} -værdi, svarer det med den danske referencelinje til et tillæg på 5,2 dB, mens det med den finske referencelinje svarer til et tillæg på 2,8 dB.

Hvis vi antager, at de danske og finske lyttere har brugt gene-skalaen på samme måde for referencestøjen som for impulsstøjen, burde forskellen mellem den danske og finske referencekurve dog ikke give anledning til forskel i det beregnede impulstillæg.

10.3 Genetillæg

Ved hjælp af metoden, som er beskrevet i afsnit 10.2, kan resultaterne for gene i DK2-testen omregnes til det tilsvarende subjektive genetillæg, K_{IS} , for impulser. Resultater for dette for både L- og H-stimuli kan ses på Figur 30 sammen med de fysisk beregnede tillæg, K_I .

Det ses, at de subjektive tillæg har størrelser fra -8 til 12 dB, hvis alle stimuli medtages. Hvis kun stimuli med impulskaraktier medtages, varierer det subjektive tillæg fra -4 til 10 dB. De negative "tillæg" kommenteres i afsnit 11.

For stimuli med impulskaraktier er de subjektive tillæg i gennemsnit 5,7 dB for L-stimuli og 2,2 dB for H-stimuli. Dvs. at de subjektive tillæg er større for L-stimuli end for H-stimuli. For $L_{Aeq} = 40$ dB synes impulstillægget i gennemsnit at være 3,5 dB højere end ved $L_{Aeq} = 60$ dB.

Undersøgelser fra 1990'erne af skudstøj, [21] og [22], indikerer, at der synes at være en niveaufafhængighed af impulstillægget, så tillæg på 10 dB er relevante ved lave niveauer, mens tillægget ved højere niveauer snarere bør være 5 dB.

Det vurderes, at grundlaget for at overveje et niveaufafhængigt impulstillæg er for spinkelt. Det vil desuden komplicere målemetoden, bl.a. fordi tillægget så skal være mindre for de nærmeste naboer end for naboer længere væk fra en virksomhed.

Det ses også af Figur 30, at det fysiske tillæg er mindst for L-gruppen af stimuli. Det skyldes bl.a. at niveau-differensen er mindre på grund af baggrundsstøjen.

De fysiske tillæg beregnet efter impulsmetoden stiger fra venstre mod højre. En tilsvarende stigning ses ikke for de subjektive tillæg. På den øverste graf er alle stimuli medtaget. På den mellemste graf er kun stimuli med impulskaraktierika medtaget. Heller ikke for disse ses en stigning i tillægget fra venstre mod højre.

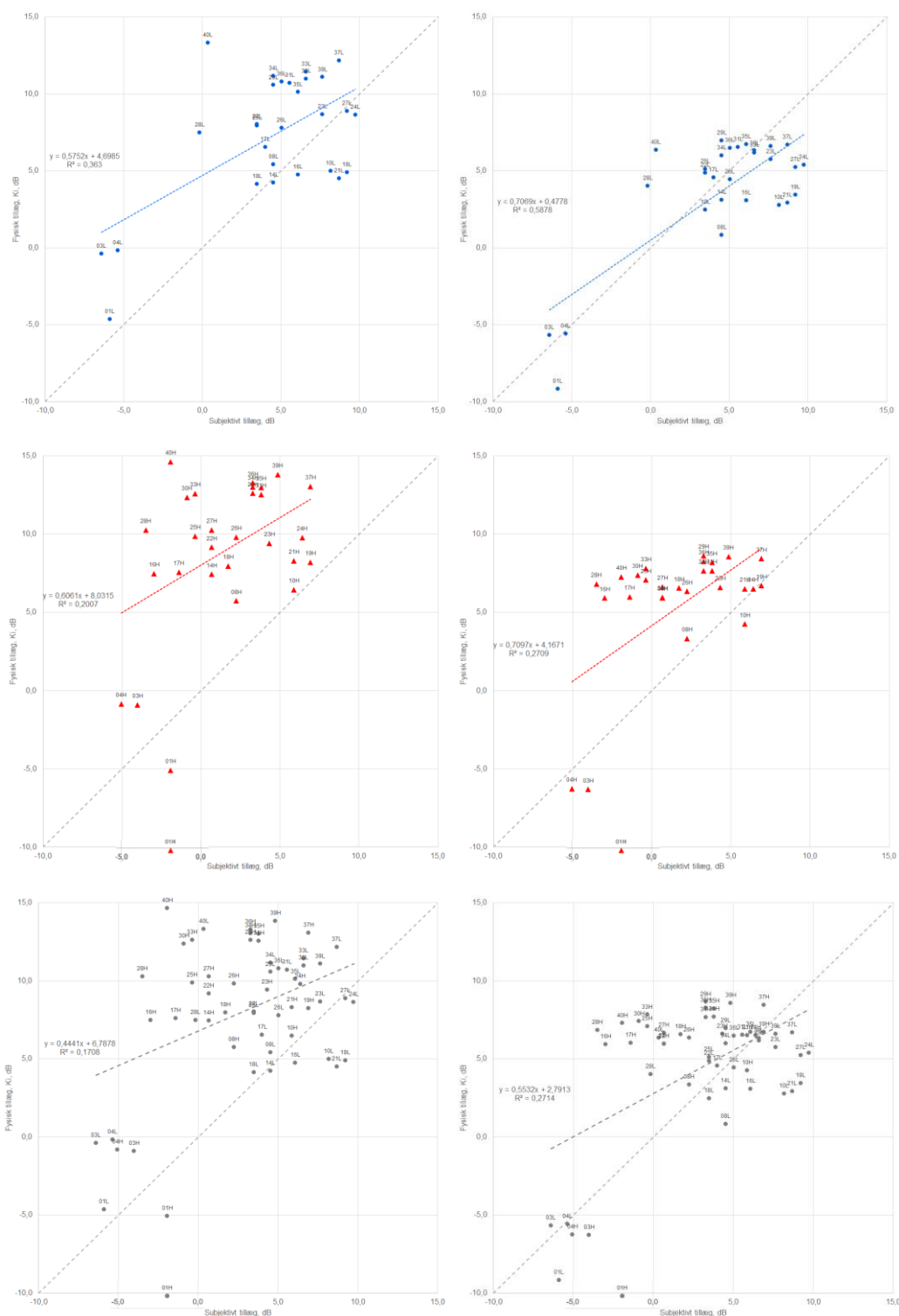
Den nederste graf viser de samme subjektive tillæg som i den mellemste graf, men her kombineret med fysiske tillæg beregnet med konstanter fra den optimerede metode, se afsnit 0 og 12.1. Det giver en bedre overensstemmelse mellem subjektive og fysisk bestemte tillæg, men der ses ikke samme variation i de fysiske tillæg som i de subjektivt bestemte tillæg.



Figur 30 Fuldt optrukne kurver: Genetillæg beregnet ud fra bedømmelserne af Gene, som angivet i afsnit 10.2. På den mellemste og nederste graf er kun stimuli med impulskaraktistika medtaget. Punkterede kurver: Genetillæg, K_i , beregnet ud fra fysiske målinger af stejlehed, OR og niveau-differens, LD, dog uden begrænsningen $k_i > 0$. På øverste og mellemste figur er de fysiske tillæg beregnet ud fra impulsmetodens konstanter (faktor for OR: 3, faktor for LD: 2, se afsnit 4.2). På nederste figur er beregnet med optimerede konstanter (faktor for OR: 1,5, faktor for LD: 3,5 og begrænsning af stejlehed til 500 dB/s, se afsnit 12.1).

På Figur 31 ses samme data som på Figur 30, således at de fysiske tillæg er angivet som funktion af de subjektive tillæg. Andelen af forklaret varians, R^2 , er ikke imponerende høj for lytteforsøgets resultater, men det ses, at for hver af stimuligrupperne L, H og Alle, er andelen af forklaret varians bedre med konstanterne for den optimerede metode (figurerne i højre side) end med impulsmetodens nuværende konstanter (figurerne til venstre). Der opnås også en bedre overensstemmelse mellem de maksimale subjektivt bestemte tillæg og de fysisk beregnede tillæg.

Hvis man ser bort fra den nævnte niveauafhængighed af de subjektivt bestemte tillæg ved at trække det halve af den gennemsnitlige forskel mellem L- og H-stimuli på 3,5 dB fra L-stimuli og lægge den til H-stimuli, stiger andelen af forklaret varians, R^2 , i Alle-gruppen fra 0,27 til 0,41.



Figur 31 X-aksen: Subjektivt tillæg, dvs. genetillæg beregnet ud fra bedømmelserne af Gene, som angivet i afsnit 10.2. Y-aksen: Fysisk tillæg, K_t, beregnet ud fra fysiske målinger af stejlhed, OR og niveaudifferens, LD, dog uden begrænsningen $k_t > 0$. I graferne til venstre er det fysiske tillæg beregnet ud fra impulsmetodens konstanter (faktor for OR: 3, faktor for LD: 2, se afsnit 4.2). I graferne til højre er konstanterne fra den optimerede metode (faktor for OR: 1,5, faktor for LD: 3,5 og begrænsning af stejlhed til 500 dB/s, se afsnit 12.112.2). Figuren viser kun stimuli med impulsdomineret gene. Øverst: L-stimuli. Mellemst: H-stimuli. Nederst: Alle.

Det er undersøgt, om antallet af impulser har betydning. Regressionsanalyser, hvor maksimalværdien for stejlhed var sat til 500 dB/s, viste, at denne variabel ikke var signifikant i analysen. Tilføjelsen af impulsantallet øgede heller ikke andelen af forklaret varians (justeret R^2).

Vi kan således konkludere, at for 20 sekunder lange stimuli har antallet af impulser ikke betydning for Gene. Det skal i den forbindelse bemærkes, at niveauerne af stimuli i hver af grupperne var de samme. Når der er flere impulser, betyder det, at niveauet justeres ned. Hvis impulserne er dominerende, betyder dobbelt så mange impulser, at fx maksimalniveauet af impulserne i lytteforsøget bliver 3 dB mindre for at få samme L_{Aeq} . I virkelighedens verden justerer man sædvanligvis ikke impulserne ned, når der bliver flere. Men her betyder flere dominerende impulser højere L_{Aeq} og dermed antageligvis højere gene, alene af den grund.

11 Referencestøjens betydning

11.1 Negative "tillæg"

Det kan måske umiddelbart synes mærkeligt, at der både ved nærværende, DK2, og det finske lytteforsøg optræder negative "tillæg". Forklaringen på dette er, at genetillægget jo findes ved en sammenligning med en referencestøj med samme niveau som den testede støj. Dvs. at hvis den testede støj er mindre generende end referencestøjen ved samme niveau, resulterer dette i et negativt tillæg.

En uformel lytning på referencestøjen (simplificeret baggrundsstøj, se Bilag 2) sammenlignet med stimuli med vejtrafik på en motorvej (nr. 03H og 04H) indikerer, at hørestyrken for disse stimuli med $L_{Aeq} = 60$ dB passer bedre med referencestøjen ved $L_{Aeq} = 55$ dB end ved 60 dB. Dette understøttes af, at en måling af hørestyrkeniveauet (Loudness level i phon) viser, at hørestyrkeniveauet er næsten det samme for referencestøjen ved 55 dB som for de to vejtrafikstimuli ved 60 dB. Det svarer til et negativt genetillæg på ca. 5 dB, som også testen viser, se fx Figur 30. Da begge støjtyper er kontinuerte og stationære kan forklaringen på dette kun være, at de har forskellige spektre.

11.2 Referencestøjens betydning for tillæggets størrelse

Ud fra ovenstående må det konkluderes, at hvis man havde brugt motorvejsstøjen som reference i stedet for den simplificerede baggrundsstøj, må man antage, at genetillæggene ville blive noget i retning af 5 dB større, end figuren viser. Og hvis man havde brugt behagelige, afslappende bølgyde som referencelyd, var man måske kommet frem til endnu større tillæg. Det forudsætter dog, at hældningen af referencekurven er den samme for bølgydene som for den simplificerede baggrundsstøj.

Som det blev bemærket i afsnit 10.2 medførte en anden hældning af den finske referencekurve end af den danske, at den samme ændring i genegrad gav en anden størrelse af tillægget. De finske lyttere var instrueret i at bruge hele skalaen til stimuli mellem $L_{Aeq} = 48$ og 70 dB. Hvis de var blevet præsenteret for referencelyde med niveauforskelle fra 35 og 75 dB, som de danske, og hvis de havde fulgt instruktionen på samme måde, må man antage at hældningen af den finske referencekurve ville have været den samme som den danske, se Figur 29.

Ud fra ovenstående betragtninger kunne det være fristende at foretage omregninger mellem de forskellige referencelyde og de forskellige referencekurver. Selv om de nævnte antagelser virker rimelige, understøttes de ikke direkte af forsøgsresultaterne.

Det kan dog konkluderes, at valg af referencestøj, dynamikområdet for denne og instruktionen til lytterne har indflydelse på, hvilke størrelser af de geneækivalente tillæg man kommer frem til.

12 Sammenstilling af alle tre lyttetests DK1, FI og DK2

For at få den bedste metode i forhold til de tilgængelige data sammenstilles resultaterne fra den oprindelige danske lyttetest, DK1 – se afsnit 5.1, den finske, FI – se afsnit 5.2 og den i afsnit 6-10 beskrevne lyttetest, DK2.

Det finske forsøg har ikke data for Tydelighed, så derfor foretages sammenstillingen af de tre metoder på basis af de beregnede subjektive impulstillæg.

De oprindelige danske lytteforsøg, DK1, byggede på lyde, der hovedsageligt stammede fra binaurale optagelser (konverteret fra stereooptagelser) af virkelige støjkilder i det eksterne miljø. DK1 inkluderede ikke en referencestøj, som gør det muligt at beregne det subjektive tillæg efter samme principper som for de to andre lyttetests. Derfor beregnes tillæggene nu ud fra den bedømte perceptuelle tydelighed for hver stimulus med konstanterne fra den originale impulsmetode.

DK1 bidrager med i alt 17 stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB (gruppe L) og 17 stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB (gruppe H), i alt 34 stimuli.

Den finske undersøgelse, FI, er baseret på kunstige lyde, hvor man systematisk varierer stejlhed og niveau-difference for impulserne og dernæst finder det subjektive tillæg ved at sammenligne med en konstant referencestøj med samme spektrum som impulslydene, men uden impulser. FI bidrager med data fra i alt 33 stimuli ved $L_{Aeq} = 55$ dB.

De nærværende lytteforsøg, DK2, er udført med binaurale optagelser (HATS) af lyde fra virkelige lydkilder i det eksterne miljø. De fysiske analyser er udført på disse optagelser korrigeret til frit felt. Da optagelserne stammer fra virkelige støjkilder, har andre variable, fx indhold af tydeligt hørbare toner og lydets spektrum samt lytternes holdninger til lydkilderne også indflydelse på genevirkningen. Stimuli med tydeligt hørbare toner er derfor udeladt. Lydkilder, der ud fra andre undersøgelser antages at give positive associationer (løbehjul og skateboards), er også udeladt. Analyserne i det følgende baserer sig på i alt 29 stimuli ved $L_{Aeq} = 40$ dB (gruppe L) og 29 stimuli ved $L_{Aeq} = 60$ dB (gruppe H) i alt 58 stimuli.

Når data er sammenstillet, er udgangspunktet for de videre analyser følgende variable:

- Subjektivt impulstillæg, K_{IS} , dvs. det tillæg som beregnes ud fra resultaterne af lyttetesten.
- Den fysiske tydelighed, P , der beregnes ud fra målinger af stejlhed (OR) og niveaudifferens (LD):

$$P = k_1 \times \log(OR) + k_2 \times \log(LD)$$
, jf. ligning 1 side 19.
- Fysisk impulstillæg, K_I , der beregnes ud fra $K_I = 1,8 \times (P-5)$. Ved analyserne ses bort fra begrænsningen om, at $K_I > 0$ for også at kunne udnytte den information, der er fra stimuli med negative tillæg.

Resultatet af sammenstillingen skal optimere konstanterne k_1 og k_2 , så:

- 1) variansen af det subjektive tillæg forklares bedst muligt af det fysiske beregnede tillæg, dvs. størst mulig R^2 ,
- 2) den gennemsnitlige forskel, fejlen, mellem det subjektive tillæg og det fysiske tillæg bliver så lille som mulig,
- 3) de maksimale værdier af de subjektive tillæg svarer bedst muligt til de maksimale værdier af de fysiske tillæg.

Det er valgt at optimere konstanterne i forhold til den fysiske tydelighed, P . Da der som nævnt ovenfor i analysen er regnet med en entydig sammenhæng mellem, P , og det fysiske tillæg, K_I , kunne konstanterne i princippet lige så godt optimeres direkte i forhold til det fysiske tillæg.

Da støjgener ikke alene afhænger af lydens karakteristika, men også af konteksten (områdetype, tid på døgnet, arbejde, fritid...) og de personer (holdninger, støjfølsomhed...) der er udsat for støjen følger heraf, at relationen mellem impulsernes tydelighed og den gene, de giver anledning til, også afhænger af sidstnævnte faktorer. Det er derfor højst tænkeligt, at relationen mellem impulsernes tydelighed og genen er en anden, hvis der fx er tale om arbejdspladsstøj eller støj fra skydning.

Den relation, vi i det følgende forudsætter mellem tydelighed og støjgene, relaterer sig til ekstern støj fra virksomheder.

12.1 Konklusion på optimering

I Bilag 8 er optimeringen af metoden ud fra de tre datasæt beskrevet i detaljer. Der er hovedsagelig brugt regressionsanalyser til optimeringen. I processen er det søgt, at:

- maksimere R^2 mellem subjektive og fysiske tillæg,
- minimere den gennemsnitlige fejl af datapunkterne,
- give en 1:1 sammenhæng mellem subjektive og fysiske tillæg,
- skabe overensstemmelse mellem de maksimale subjektive og de maksimale fysiske tillæg.

I dette afsnit angives de resultater, som optimeringen førte til.

Ifølge ligning 1 side 19 beregnes den fysiske tydelighed af impulserne ud fra formlen

$$P = k_1 \cdot \log(\text{stejlhed}/[\text{dB/s}]) + K_2 \cdot \log(\text{niveaudifferens}/[\text{dB}])$$

I impulsmetoden er konstanterne $k_1 = 3$ og $k_2 = 2$.

Impulstillægget, K_I , findes ud fra den beregnede tydelighed, P , ifølge ligning 2 side 20:

$$K_I = 1.8 \cdot (P - 5), \text{ for } P > 5, \quad K_I = 0 \text{ for } P \leq 5$$

I analyserne er der indtil videre set bort fra begrænsningen om, at $K_I > 0$. Denne begrænsning skal dog forblive i metoden. Når der i analyserne forekommer negative "tillæg", er det et tegn på, at nogle af de testede stimuli opfattes som mindre generende end referencyden. Det giver derfor stadig mening at inkludere dem i optimeringen af metoden for også at udnytte den information, der ligger i de negative tillæg.

Den angivne sammenhæng mellem P og K_I (ligning 2) er optimeret til støj fra virksomheder i det eksterne miljø. Denne sammenhæng kan tænkes at være anderledes for fx skudstøj eller arbejdspladsstøj.

Ud fra analyserne på de sammenstillede data fra de tre lytteforsøg DK1, FI og DK2 er der fundet en optimering.

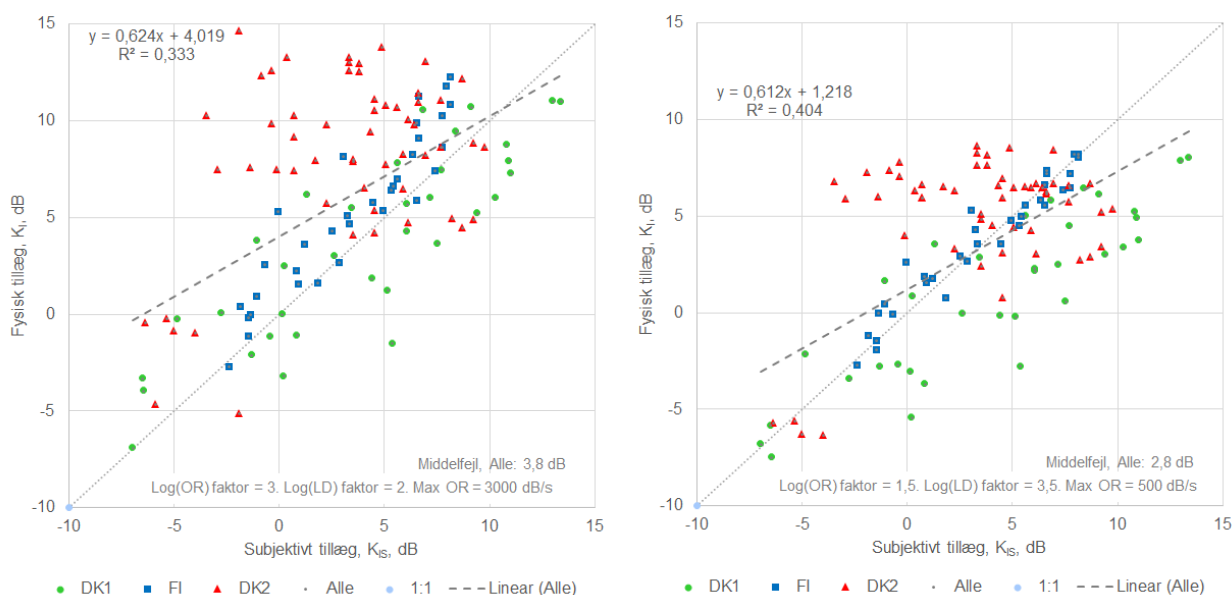
I den optimerede metode er konstanterne $k_1 = 1,5$ og $k_2 = 3,5$ suppleret med den begrænsning, at den maksimale stejlhed er sat til 500 dB/s.

Med denne optimering opnås, at:

- 1) variansen af det subjektive tillæg forklares bedre med de optimerede konstanter end med impulsmetodens nuværende konstanter. R^2 stiger fra 0,33 til 0,4,
- 2) den gennemsnitlige forskel mellem det fundne subjektive tillæg og det beregnede fysiske tillæg bliver mindre med de optimerede konstanter. Den gennemsnitlige fejl falder fra 3,8 til 2,7 dB,
- 3) der er bedre overensstemmelse mellem de maksimale subjektive tillæg $\text{Max } K_{IS}$ og de maksimale fysiske tillæg K_I . I de to lytteforsøg, DK2 og FI, hvor de maksimale værdier af de subjektive tillæg er målt direkte, var $\text{Max } K_{IS}$ 8,1 og 9,7 dB. Den optimerede metode giver tilsvarende $\text{Max } K_I$ på 8,2 og 8,6 dB mens den nuværende metode giver 12,3 og 14,6 dB, altså er den optimerede metode bedst.

Det skal bemærkes, at en R^2 -værdi på 0,4 mellem K_{IS} og K_S for de sammenstillede data ikke er særlig tilfredsstillende. Det skal dog bemærkes, at med den optimerede metode er $R^2 = 0,74$ for DK1 og $R^2 = 0,93$ for FI. Sidstnævnte er ret højt og viser, at metoden grundlæggende er sund, og at det er muligt at finde konstanter, som giver en god balance mellem betydningen af stejlheden og niveaudifferencen.

På Figur 32 er den oprindelige impulsmetode sammenlignet med den optimerede metode. Det ses, at for DK2 og FI er der en væsentlig bedre sammenhæng mellem de maksimale subjektive tillæg og de maksimale fysiske tillæg med den optimerede metode.



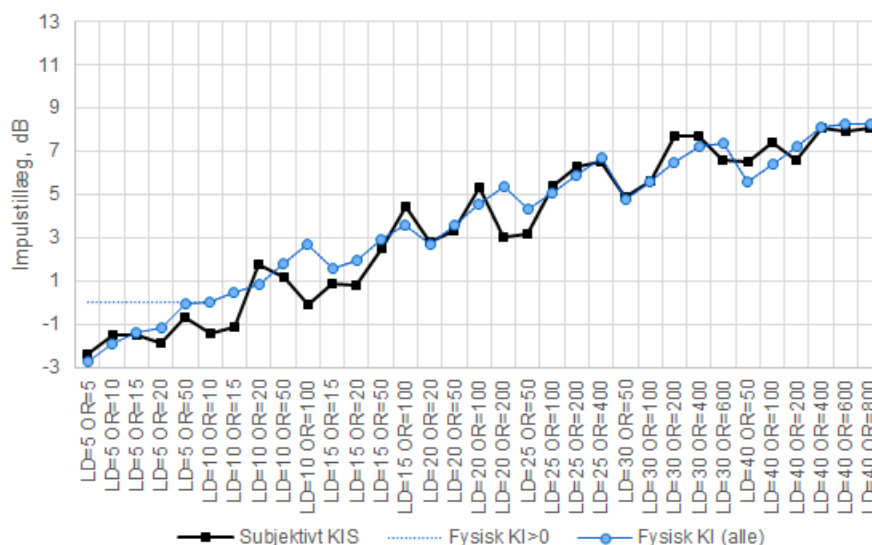
Figur 32 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). I figuren til venstre er det fysiske tillæg beregnet med konstanterne $k_1 = 3$ og $k_2 = 2$. I figuren til højre er det fysiske tillæg beregnet med de optimerede konstanter, $k_1 = 1,5$ og $k_2 = 3,5$ suppleret med en begrænsning, at den maksimale stejlhed er begrænset til 500 dB/s.

Den optimerede metode korrigerer således for den overvurdering af impulser med høje stejlheder, som den oprindelige metode giver anledning til, og den begrænser i praksis de maksimale tillæg til under 9 dB.

Hvis der ønskes en beregningsmæssig sikkerhed for, at tillægget ikke kan overstige 9 dB, kan niveaudifferensen begrænses til 50 dB. Dette synes der dog ikke at være psykoakustisk belæg for.

12.2 Den optimerede metode og de finske resultater

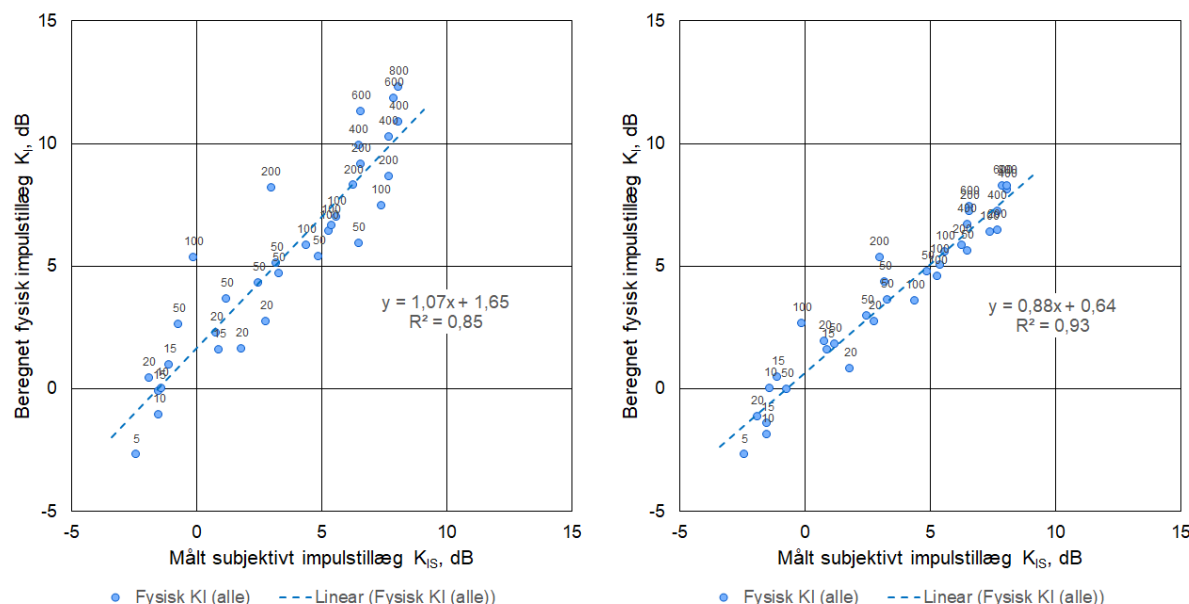
Som det fremgår af afsnit 5.2, viser det finske lytteforsøg, FI, at stimuli med høje stejlheder overvurderes med impulsmetoden, som den er. I dette afsnit vises resultaterne, når det fysiske tillæg er beregnet med den optimerede metode. På Figur 33 ses resultatet, hvis man ændrer konstanterne i beregningen af tydeligheden P til $k_1 = 1,5$ for stejlheden og $k_2 = 3,5$ for niveaudifferensen (jf. ligning 1 side 19) og desuden indfører en begrænsning på 500 dB/s for stejlheden. Afsnit 0 indikerede, at stejlheder på 300-500 dB/s syntes optimale for det samlede datasæt. Iteration med forskellige stejlheder har vist, at 500 dB/s bedst passede i forhold til de finske data.



Figur 33 Det ved den finske lyttetest observerede impulsstillæg, for impulser med spektrum S1 og de med optimerede konstanter ($K_1 = 1,5$ for stejlheden og $k_2 = 3,5$ for niveaudifferensen) beregnede impulsstillæg. Der er desuden indført en begrænsning, så stejlheder større end 500 dB/s sættes lig med 500 dB/s. Sammenlign med Figur 8 side 25.

Ved sammenligning med Figur 8 side 25 ses, at den optimerede metode giver en væsentlig bedre tilpasning af de beregnede fysiske tillæg (predicted) til de subjektivt målte (observed), og der vil kun være et par stimuli, hvor det beregnede fysiske tillæg, K_i , afviger mere end ca. 1 dB fra det subjektivt målte, K_{IS} .

Af Figur 34 fremgår, at andelen af forklaret varians stiger med den optimerede metode, og at der også er god sammenhæng mellem de maksimale værdier af de subjektive og de fysiske impulsstillæg.



Figur 34 Målte, K_{IS} , og beregnede impulsstillæg, K_i . Tallene over punkterne angiver stejlheden for den pågældende stimulus. På venstre figur er impulsstillæg beregnet efter impulsmetoden med faktoren for stejlheden $k_1 = 3$ og faktoren for niveaudifferensen $K_2 = 2$. På højre figur er vist den optimerede metode med $k_1 = 1,5$ og $K_2 = 3,5$. Andelen af forklaret varians, R^2 , stiger fra 0,85 til 0,93.

Når der kan opnås så fin en tilpasning, tyder det på, at metodens princip om at kombinere log(OR) og log (LD) er grundlæggende rigtig.

Det er valgt at lægge vægt på det finske forsøg, fordi det er en systematisk måling af effekten af stejlhed og niveaudifferens, uden at forskelle i lydkarakteren eller genkendelse af lydkilderne bag stimuli kan påvirke neopfattelsen.

Den finske fremgangsmåde giver klare fordele på den ene side, men på den anden side er det en svaghed, at den ikke er udført med virkeligt forekommende lyde.

13 Diskussion

13.1 Resumé af hovedresultater

Ud fra en række analyser af de tilgængelige data er der fundet en optimering af impulsmetoden. I det følgende omtales den eksisterende metode som "den oprindelige metode" og den foreslåede, ændrede metode som "den optimerede metode".

I metoden beregnes den fysiske tydelighed, P , af:

$$P = k_1 \cdot \log(\text{stejlhed}/[\text{dB/s}]) + k_2 \cdot \log(\text{niveaudifferens}/[\text{dB}])$$

Den eneste forskel mellem den oprindelige metode og den optimerede metode er, at:

- konstanten k_1 er ændret fra 3 til 1,5,
- konstanten k_2 er ændret fra 2 til 3,5,
- der er indført en begrænsning af stejlheden på 500 dB/s.

Baggrunden for ændringen er tre lyttforsøg: DK1, FI og DK2.

DK1

De 34 stimuli til lyttforsøget stammede hovedsageligt fra virkelige støjkluder i det eksterne miljø, som var optaget med kunsthovedteknik og blev gengivet over åbne hovedtelefoner ved forsøget med 17 lyttere.

Lydeksemplerne var 30 sekunder lange, lydende havde stejlheder på 2-667 dB/s og niveauforskelle på 1-37 dB. De blev præsenteret med L_{Aeq} -niveauer på hhv. 40 og 60 dB.

Lytterne bedømte Tydelighed og Gene. Der var ingen referencestøj, men tydeligheden blev omregnet til et genetillæg efter impulsmetodens formel.

	DK1	Optimeret metode	Oprindelig metode
Andel af forklaret varians, R^2	0,75	0,74	0,73
Gennemsnitlig fejl på testens stimuli	2,4 dB	3,5 dB	2,5 dB
Fejl på de maksimale tillæg, $\text{Max } K_I - \text{Max } K_{IS}$	-1,4 dB	-5,3 dB	-2,3 dB

Tabel 3 DK1. Sammenfatning af analyser på testens data for relationen mellem subjektive tillæg K_{IS} og fysisk beregnede tillæg K_I .

Det ses af Tabel 3, at når de fysiske tillæg beregnes med de konstanter, der er fundet specifikt for DK1, fås den bedste tilpasning til data.

Den forklarede varians er dog ikke nævneværdigt mindre for den optimerede metode, end den var for DK1-dataene, og den er næsten den samme for den oprindelige og den optimerede metode.

Den gennemsnitlige fejl på stimuli og fejlen på de maksimale tillæg er størst for den optimerede metode. Det skal erindres, at disse ikke er målt direkte, men er beregnet ud fra de bedømte tydeligheder. Derfor bør disse data tages med et vist forbehold.

FI

De 33 stimuli til lytteforsøget var kunstigt genereret støj, som blev gengivet over åbne hovedtelefoner ved forsøget med 32 lyttere.

Lydeksemplerne var 18,5 sekunder lange og havde stejkheder på 5-800 dB/s og niveauforskelle på 5-40 dB. De blev præsenteret med $L_{Aeq} = 55$ dB.

Lytterne bedømte Gene. Ved sammenligning med en ikke impulsholdig referencestøj med samme spektrum som impulsstøjen blev den målte gene omsat til et geneækvivalent tillæg for impulserne.

	FI	Optimeret metode	Oprindelig metode
Andel af forklaret varians, R^2	0,93	0,93	0,85
Gennemsnitlig fejl på testens stimuli	0,7 dB	0,7 dB	2 dB
Fejl på de maksimale tillæg, Max K_I – Max K_{IS}	-1,1 dB	0,1 dB	4,2 dB

Tabel 4 FI. Sammenfatning af analyser på testens data for relationen mellem subjektive tillæg K_{IS} og fysisk beregnede tillæg K_I .

Det ses, at den forklarede varians er den samme for den optimerede metode, som når tillægget beregnes med konstanterne for FI, og begge er væsentligt bedre end for den oprindelige metode.

Den gennemsnitlige fejl på stimuli er med den optimerede metode og fejlen på de maksimale tillæg klart mindst med den optimerede metode i forhold til den oprindelige metode. Den oprindelige metode kan overvurdere tillægget K_I med op til 4,2 dB.

DK2

De 80 stimuli til lytteforsøget stammede alle fra virkelige støjkluder i det eksterne miljø, som var optaget med kunsthovedteknik og blev gengivet over åbne hovedtelefoner ved forsøget med 23 lyttere.

Lydeksemplerne var 20 sekunder lange. Lydene havde stejkheder på 14-2670 dB/s og niveauforskelle på 0,2-44 dB. De blev præsenteret med L_{Aeq} -niveauer på hhv. 40 og 60 dB.

Lytterne bedømte Tydelighed og Gene. Ved sammenligning med en ikke impulsholdig referencestøj, simplificeret baggrundsstøj, blev den målte gene omsat til et geneækvivalent tillæg for impulserne. Referencestøjen og de impulsholdige støjtyper havde ikke samme spektrum. Ved databehandlingen blev 11 støjtyper med tydeligt hørbare toner eller positive associationer udelukket.

	DK2	Optimeret metode	Oprindelig metode
Andel af forklaret varians, R^2	0,3	0,27	0,17
Gennemsnitlig fejl på testens stimuli	2,8 dB	3,5 dB	5,7 dB
Fejl på de maksimale tillæg, Max K_I – Max K_{IS}	-4,5 dB	-1,1 dB	4,9 dB

Tabel 5 DK2. Sammenfatning af analyser på testens data for relationen mellem subjektive tillæg K_{IS} og fysisk beregnede tillæg K_I .

Det ses, at den forklarede varians generelt er ringe for DK2. Når tillægget beregnes med konstanterne for DK2, forklarer modellen kun 30 % af variationen. Det bliver en smule ringere med den optimerede metode, mens den er helt ubrugelig med den oprindelige metode.

Den gennemsnitlige fejl på stimuli er med den optimerede metode væsentlig mindre end med den oprindelige metode. Fejlen på de maksimale tillæg er klart mindst med den optimerede metode i forhold til den oprindelige metode. Den oprindelige metode kan overvurdere tillægget K_I med op til 4,2 dB.

Referencestøj

Dosis-responskurven for referencestøjen bruges til at omregne gene-responsen af impulsstøjen til et impulstillæg. Forskellige dosis-responskurver fører til forskellige omsætninger mellem geneskalaen og impulstillæggets størrelse. Variationsområdet for referencestøjens niveauer sammen med instruktionen for skalabrug har betydning for referencekurven.

Hvis vi antager, at de danske og finske lytterne har brugt gene-skalaen på samme måde for referencestøjen som for impulsstøjen, burde forskellen mellem den danske og finske referencekurve ikke give anledning til systematiske forskel i de beregnede impulstillæg.

I både de finske og danske (DK2) lytteforsøg forekom negative tillæg for nogle stimuli. Det betyder, at disse stimuli er mindre generende end referencestøjen. I DK2 viste det sig, at motorvejsstøjen var mindre generende end referencestøjen. Dette kunne forklares ved, at hørestyrkeniveauet (Loudness level) var tilsvarende mindre for motorvejsstøjen med samme niveau som referencestøjen. Dette viser, at typen af referencestøj har indflydelse på størrelsen af de tillæg, man kommer frem til.

(Det skal bemærkes, at en analyse af DK2 med hørestyrkeniveau i stedet for lydtrykniveauer ikke generelt viste en forbedring af lyttetestens resultater.)

Niveaufafhængighed

Det er i testen DK2 fundet, at de subjektive impulstillæg er 3,5 dB større ved $L_{Aeq} = 40$ dB end ved $L_{Aeq} = 60$ dB.

Undersøgelser fra 1990'erne af skudstøj, [21] og [22], indikerer også, at der synes at være en niveaufafhængighed af impulstillægget, så tillæg på 10 dB er relevante ved lave niveauer, mens tillægget ved højere niveauer snarere bør være 5 dB.

Det vurderes, at grundlaget for at komplicere målemetoden med et niveaufafhængigt impulstillæg for virksomhedsstøj er for spinkelt.

Sammenstillede stimuli

Når data fra forskellige tests, som hver for sig kan have en høj andel af forklaret varians, sammenstilles vil den samlede andel af forklaret varians falde, hvis sammenhængen mellem de uafhængige og den afhængige variable ikke er den samme i de sammenstillede tests.

Der ses af Tabel 6, at R^2 for de sammenstillede data kun er 0,4 for den optimerede metode. Det er dog bedre end de 0,33, som gælder for den oprindelige metode.

	Alle	Optimeret metode	Oprindelig metode
Andel af forklaret varians, R^2	0,4	0,4	0,33
Gennemsnitlig fejl på testens stimuli	2,7 dB	2,8 dB	3,8 dB
Fejl på de maksimale tillæg (FI og DK2), Max K_I – Max K_{IS}	-2,7 dB	-1,1	4,9

Tabel 6 Alle. Sammenfatning af analyser på testens data for relationen mellem subjektive tillæg K_{IS} og fysisk beregnede tillæg K_I .

Den gennemsnitlige fejl på stimuli er med den optimerede metode væsentlig mindre end med den oprindelige metode.

Hvis vi vælger at lægge mindre vægt på de tillæg, der er beregnet indirekte i DK1-testen og kun ser på en sammenstilling af FI og DK2, ser vi af Tabel 6, at den største fejl af det fysiske tillæg i forhold til det subjektive med den optimerede metode kun er på -1,1 dB, mens det for den oprindelige metode er en overvurdering på 4,9 dB.

13.2 Diskussion

DK1 og FI viser, at der kan opnås en høj andel af forklaret varians mellem det subjektive og fysiske tillæg.

Dette ses som en bekræftelse på, at metodens grundlæggende princip om at beregne tydeligheden og tillægget ud fra $\log(OR)$ og $\log(LD)$ er fornuftig.

Når der ikke opnås den samme høje andel af forklaret varians for DK2, antages det, at årsagen er, at andre generende karakteristika som tydeligt hørbare toner, skærende og ru lyde, genkendelse af støjkluder og forskelle i spektre påvirker genebedømmelserne. Selv om det ikke giver systematisk bedre resultater at basere analyserne på hørstyrkeniveau (i Phon) i stedet for lydtrykniveauer, er der et par eksempler på, at forskelle i hørstyrkeniveauer for stimuli med samme L_{Aeq} kan forklare noget.

I relation til en optimering af metodens konstanter for $\log(OR)$ og $\log(LD)$ er det valgt at lægge vægt på det finske forsøg, fordi det er en systematisk måling af effekten af stejlhed og niveaudifferens, uden at forskelle i lydkarakteren eller genkendelse af lydkilderne bag stimuli kan påvirke geneopfattelsen.

Selv om den senest udførte lyttetest, DK2, ikke bidrager væsentligt til at præcisere metoden, giver den optimerede metode bedre overensstemmelse med de her fundne resultater end den originale metode.

Den optimerede metodes bestemmelse af impulstillægget giver generelt bedre overensstemmelse med de subjektivt bestemte impulstillæg end den originale metode:

- 1) Andelen forklaret varians er bedre med den optimerede metode
- 2) Den gennemsnitlige forskel mellem de fundne subjektive tillæg og de beregnede fysiske tillæg er mindre med den optimerede metode.
- 3) Der er bedre overensstemmelse mellem de maksimale subjektive tillæg og de maksimale fysiske tillæg.

Den optimerede metode korrigerer for den overvurdering af impulser med høje stejlheder som den oprindelige metode giver anledning til og den begrænser i praksis de maksimale tillæg til under 9 dB.

I Bilag 9 er tillæggene, K_I , for den originale og den optimerede metode sammenlignet. Den optimerede model giver i gennemsnit 3,3 dB mindre tillæg, men op til 7 dB mindre tillæg forekommer

14 Konklusion

På baggrund af sammenstillede data fra de originale danske lytteforsøg, DK1, [3], finske lytteforsøg, FI, [14], og de i denne rapport beskrevne lytteforsøg, DK2, konkluderes, at det er muligt at optimere impulsmetoden, så den giver en bedre tilpasning til data fra lytteforsøgene.

I gennemsnit giver den optimerede metode 3,3 dB mindre tillæg end den oprindelige metode, og specielt korrigerer den optimerede metode for den overvurdering af impulser med høje stejlheder, som den oprindelige metode giver anledning til. Endelig begrænser den optimerede metode i praksis de maksimale tillæg til under 9 dB. De største impulstillæg, K_1 , der er beregnet med den optimerede metode for alle stimuli i de nævnte lytteforsøg, er 8,6 dB.

Selv om planen om, at den senest udførte lytteforsøg, DK2, skulle bidrage væsentligt til præcisering af metoden ikke helt er lykkedes, er det alligevel opnået at den optimerede impulsmetode på alle væsentlige parametre bedre tilpasning til data fra de tre lytteforsøg, DK1, FI og DK2 end den originale metode.

En analyse af antallet af impulser i de 20 sekunder lange stimuli i DK2 viste, at antallet ikke havde signifikant betydning. Dette blev også konkluderet i DK1. I virkelighedens verden betyder flere impulser højere L_{Aeq} og dermed antageligt højere gene, alene af den grund. Det er måske forklaringen på, at antallet af impulser ikke har betydning for impulstillægget. Denne konklusion gælder for stimuli af en varighed på 20 sekunder. Om konklusionen om antallet af impulser kan overføres til impulshændelser i det virkelige liv er uvist.

Forskellen mellem den oprindelige metode og den optimerede metode er, at konstanterne for beregning af tydeligheden ændres, således at formlen for tydelighed, P , nu er:

$$P = 1,5 \cdot \log(\text{stejlhed}/[\text{dB/s}]) + 3,5 \cdot \log(\text{niveaudifferens}/[\text{dB}])^{11}$$

og at der ved beregningen af P er indført en begrænsning af stejlheden på 500 dB/s.

Det anbefales, at den optimerede impulsmetode fremover benyttes som støtte for vurdering af impulstillæg sammen med det forslag til vejledningstekst, som er angivet i afsnit 3.

Hvis der ønskes en beregningsmæssig sikkerhed for, at tillægget ikke kan overstige 9 dB, kan der indføres en begrænsning på 50 dB for niveaudifferensens indflydelse. Dette er dog ikke psykoakustisk begrundet.

Det foreslås, at beskrivelsen på dansk af impulsmetoden, [2], opdateres, så den i højere grad følger DS/ISO/PAS 1996-3:2022, [7].

I Bilag 10 er givet forslag til aktiviteter, der kan udbygge grundlaget for en optimeret metode.

¹¹ Konstanten til $\log(\text{stejlhed})$ er ændret fra 3 og konstanten for $\log(\text{niveaudifferens})$ er ændret fra 2.

15 Referencer

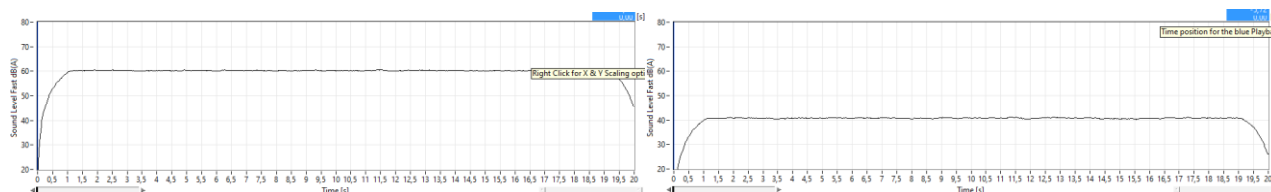
- [1] Miljøstyrelsen, "Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 5 1984 Ekstern støj fra virksomheder," 1984.
- [2] T. H. Pedersen, "Objektiv målemetode for impulsers tydelighed og forslag til bestemmelse af genetillæggets størrelse. Orientering nr. 32.," *Orienter. fra Miljøstyrelsens Ref. støjmålinger*, no. 32, 2001.
- [3] T. H. Pedersen, "Impulsstøj - Objektiv målemetode for impulsers tydelighed og for tildeling af impulstillæg. Arbejdsrapport nr. 1," *Miljøstyrelsen*, 2001.
- [4] Nordtest, "NT ACOU 112 ACOUSTICS: Prominence of Impulsive Sounds and for Adjustment of LAeq," *Nordtest*, 2002.
- [5] British Standard, "BS 4142:2014 Methods for rating and assessing industrial and commercial sound," *Br. Stand.*, 2014.
- [6] Australian Standard, "AS 1055:2018 Acoustics - Description and measurement of environmental noise," *Aust. Stand.*, 2018.
- [7] ISO International Standardisation Organisation, "DS/ISO/PAS 1996-3:2022 Akustik – Måling , beskrivelse og vurdering af ekstern støj – Del 3 : Objektiv metode til måling af impulsers tydelighed og tildeling af LAeq -tillæg," *ISO Int. Stand. Organ.*, 2022.
- [8] T. H. Pedersen and P. Finne, "Impulstillæg - Del 1: Baggrund og administrativ praksis," *FORCE Technol.*, 2018.
- [9] T. H. Pedersen, P. Finne, J. E. Laursen, and L. S. Søndergaard, "Vurdering af ekstra gene fra impulsstøj - et litteraturstudie.," *FORCE Technol.*, 2021.
- [10] T. H. Pedersen and P. Finne, "Impulstillæg Opinionsundersøgelse om administration af impulstillægget," *FORCE Technol.*, 2021.
- [11] V. Rajala and V. Hongisto, "Annoyance penalty of impulsive noise – The effect of impulse onset," *Build. Environ.*, vol. 168, no. 106539, 2020.
- [12] D. Manvell and T. H. Pedersen, "The Development of ISO / PAS 1996-3 on Impulsive Sound Prominence," in *Euronoise 2021*, 2021, pp. 1–11.
- [13] ISO - International Organization for Standardization), "DS/ISO/TS 15666:2021 Akustik – Vurdering af støjgener ved hjælp af sociologiske og socio-akustiske undersøgelser Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys," *ISO - Int. Organ. Stand.*, 2021.
- [14] V. Hongisto, D. Oliva, and L. Rekola, "Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises—Implications for speech masking design," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 137, no. 3, pp. 1344–1355, 2015.
- [15] Brüel & Kjær, "Sound Quality Head and Torso Simulator Type 4100 & 4100 D Sound Quality Head and Torso Simulator Type 4100 , 4100 D." p. 31, 2001.
- [16] B. Plovsing, "Proposal for Nordtest Method: Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation," *Delta Acoust. Vib.*, 2014.
- [17] B. Plovsing and E. Thysell, "Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation. Amendments to Report AV1106/07 revised 2014 Performed for Vejdirektoratet," *FORCE Technol.*, 2019.
- [18] H. Lee and F. Rumsey, "Level and time panning of phantom images for musical sources," *AES J. Audio Eng. Soc.*, vol. 61, no. 12, pp. 978–988, 2013.
- [19] T. H. Pedersen and R. S. H. Skov, "Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise," *FORCE Technol.*, 2020.
- [20] P. Kvist and T. H. Pedersen, "Translation into Danish of the questions and modifiers of socio-acoustic surveys," in *Euronoise 2006*, 2006, p. 6.

- [21] J. Vos, "On the level-dependent penalty for impulse sound," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 88, no. 2, pp. 883–893, 1990.
- [22] J. Vos and G. F. Smoorenburg, "Penalty for impulse noise, derived from annoyance ratings for impulse and road-traffic sounds," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 77, no. 1, pp. 193–201, 1985.
- [23] T. H. Pedersen, T. Gadegaard, K. Kjems, and U. Skov, "White paper on external warning sounds for electric cars - Recommendations and guidelines," 2011.
- [24] S. v Hünerbein, A. King, J. Hargreaves, A. Moorhouse, C. Plack, and T. H. Pedersen, "Perception of Noise from Large Wind Turbines (EFP-06-project)," *Univ. Salford, Acoust. Res. Cent. UK*, 2011.
- [25] B. Rasmussen, R. S. H. Skov, and T. H. Pedersen, "Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj," *BUILD Aalborg Univ.*, 2020.
- [26] P. Finne and T. H. Pedersen, "Fiskebækbroen. Støj fra dilatationsfuger," *FORCE Technol.*, 2022.
- [27] T. H. Pedersen and P. Finne, "Måle- og integrationstider for kortvarige, lavfrekvente støj- hændelser. Del 2 & 3: Lyttetests og forslag," *FORCE Technol.*, 2022.
- [28] T. H. Pedersen, P. Finne, and M. B. Hansen, "Prominence of impulses from road bridge expansion joints," in *Euronoise*, 2018.

Bilag 1 Beskrivelse af stimuli

I dette bilag beskrives de færdige stimuli, som blev bedømt i lyttetesten. I afsnit 7 er beskrevet, hvilken lyd-redigering og signalbehandling, der er brugt for at komme fra de rå HATS-optagelser og de færdige stimuli.

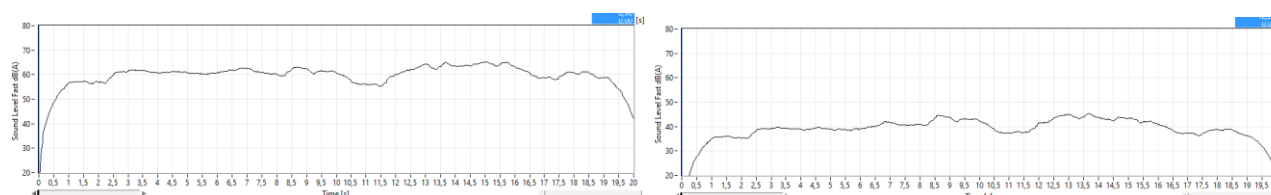
01 Lyserød støj



Figur 35 01 Lyserød støj, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tids-vægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Støjen består af konstant lyserød støj.

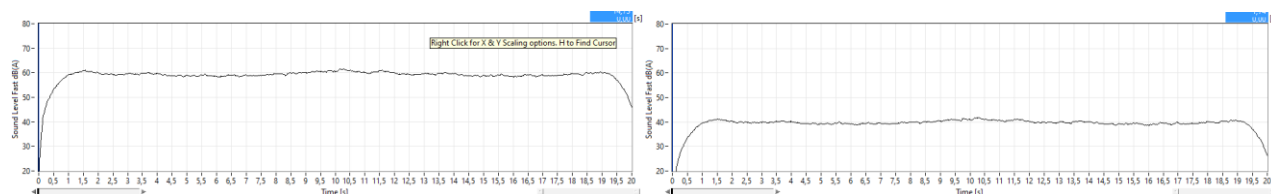
02 Gummiged Motor



Figur 36 02 Gummiged motor, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gummigedens motor med varierende omdrejningstal og belastning. Der er ingen skrabelyde, men der høres svage biplyde fra bakalarmen sidst i lydeksemplet.

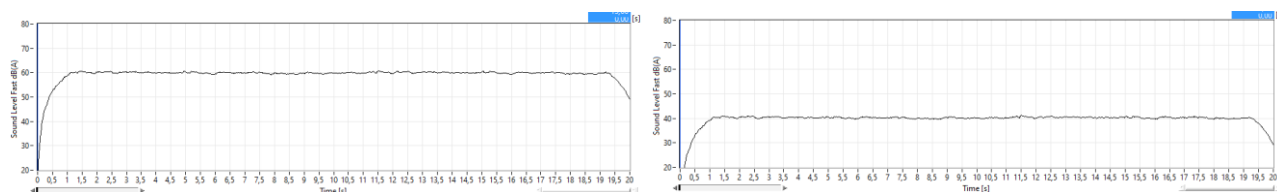
03 Motorvej 49 m



Figur 37 03 Motorvej 49 m, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Motorvejen ved Fiskebækbroen optaget i 49 m afstand. Lyden er en konstant brusen uden hørbare enkeltkøretøjer.

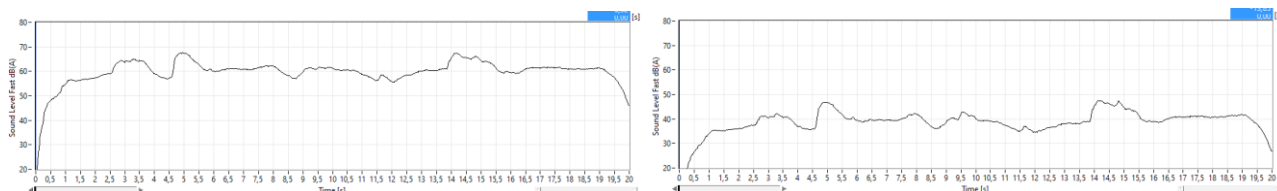
04 Motorvej 158 m



Figur 38 04 Motorvej 158 m, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Motorvejen ved Fiskebækbroen optaget i 158 m afstand. Lyden er en konstant brusen uden hørbare enkeltkøretøjer.

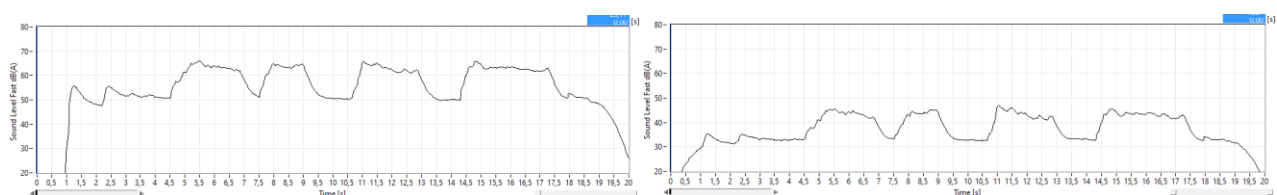
05 Gummiged skrabes med skovl a



Figur 39 05 Gummiged skrabes med skovl a, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gummigedens motor høres med varierende omdrejningstal og belastning. Tre gange er der skrabelyde fra skovlen. Skrabelydene er tydelige, men de starter ikke brat. Af og til høres svage biplyde fra bakalarmen.

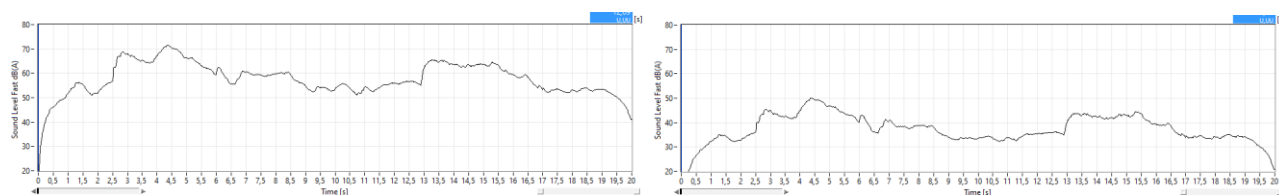
06 Vinkelsliber fire slib



Figur 40 06 Vinkelsliber fire slib, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Vinkelsliberens elektromotor med en hyletone høres. Fire gange går slibeskiven i indgreb med emnet. Slibelydene er dominerende, men de starter ikke brat.

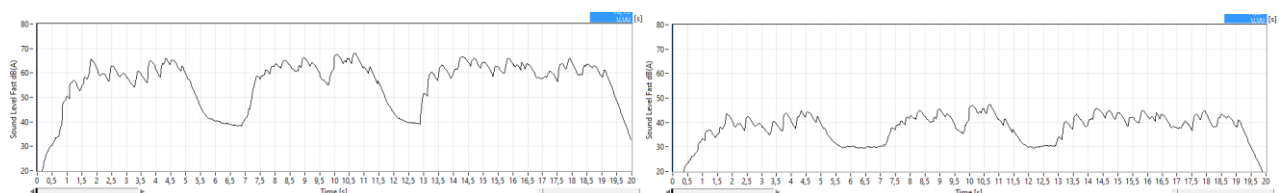
07 Gummiged skrabes med skovl b



Figur 41 07 Gummiged skrabes med skovl b, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gummigedens motor høres med varierende omdrejningstal og belastning. To gange er der skrabelyde fra skovlen, som sættes lidt hårdere i, end 05 Gummiged skrabes med skovl a. Af og til høres svage biplyde fra bakalarmen.

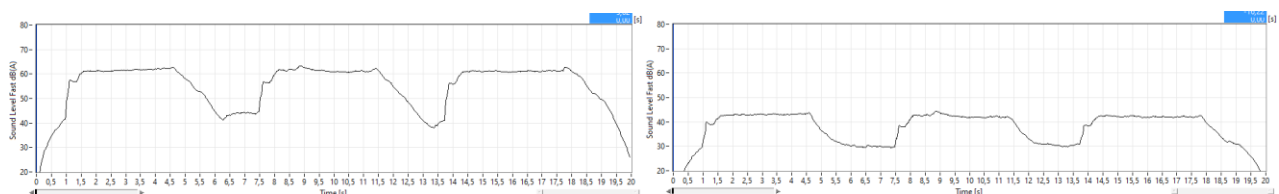
08 Skramlende trådvogne



Figur 42 08 Skramlende trådvogne, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gentagne skramlelyde fra trådvogne i tre grupper af lyde. Impulserne er fremtrædende, men de maskeres delvist af raslen fra den foregående impuls, så starten af hver impuls ikke opfattes så tydeligt.

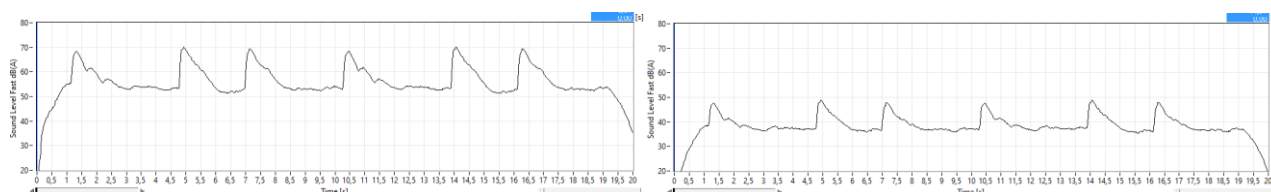
09 Kompressor tre start stop



Figur 43 09 Kompressor tre start stop, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Kompressoren starter og stopper tre gange. Ved hvert stop høres luftudstrømning, som starter brat. Der er altså to forskellige lyde at bedømme: Kompressor start og luftudslippet.

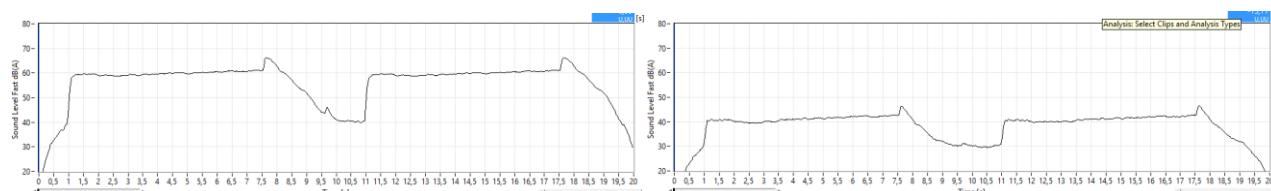
10 Sten smides i container



Figur 44 10 Sten smides i container, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres seks bump fra ikke helt små sten, der smides i en container. Baggrundsstøj fra trafik høres som en del af lydbilledet.

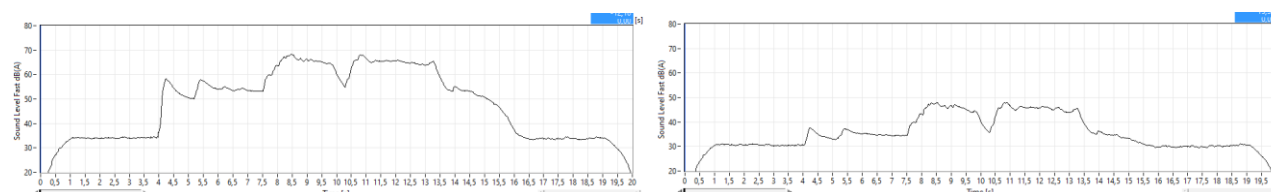
11 Kompressor to start stop



Figur 45 11 Kompressor to start stop, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Kompressoren starter og stopper to gange. Ved hvert stop høres luftudstrømning.

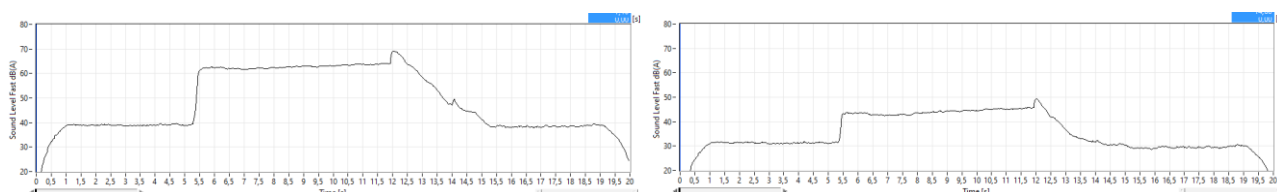
12 Vinkelsliber to slib



Figur 46 12 Vinkelsliber to slib, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Vinkelsliberens elektromotor med en hyletone høres. To gange går slibeskiven i indgreb med emnet.

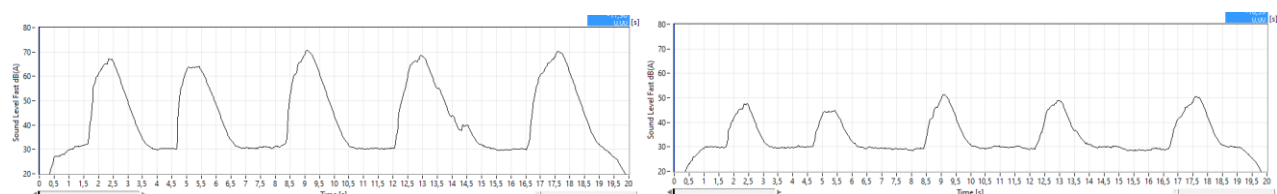
13 Kompressor et start stop



Figur 47 13 Kompressor et start stop, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Kompressoren starter og stopper. Ved stoppet høres luftudstrømning.

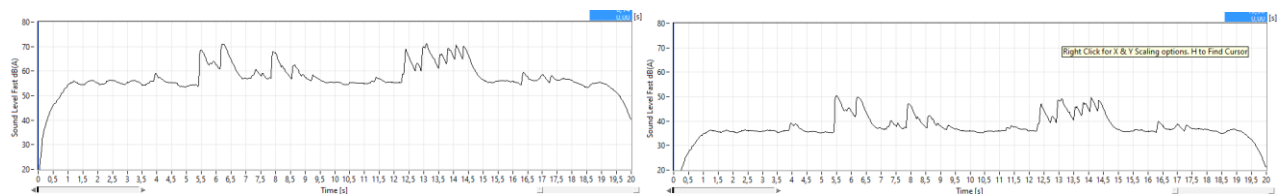
14 Sten rasler i trillebør



Figur 48 14 Sten rasler i trillebør, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der er fem hændelser med raslende sten i en trillebør.

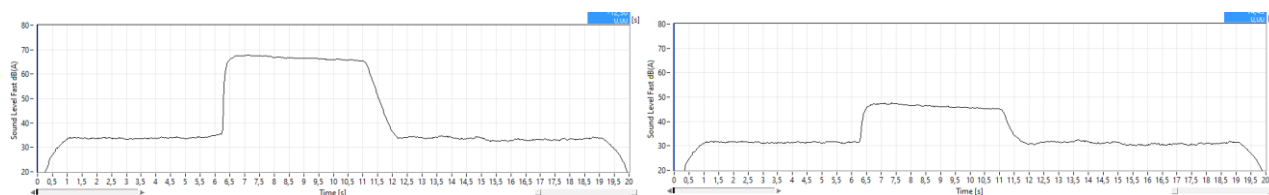
15 Gummiged ryster jord af skovl b



Figur 49 15 Gummiged ryster jord af skovl b, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gummigedens motor høres med varierende omdrejningstal og belastning. To gange ryster den jord af skovlen, med gentagne impulser til følge. Af og til høres svage biplyde fra bakalarmen.

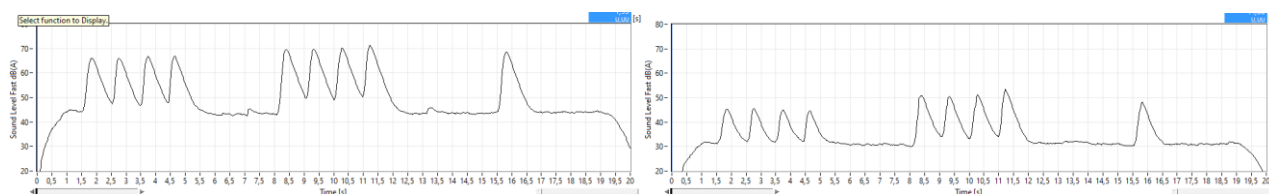
16 Trykluft et pust



Figur 50 16 Trykluft et pust, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres en langstrakt susende lyd af trykluft, der slippes ud.

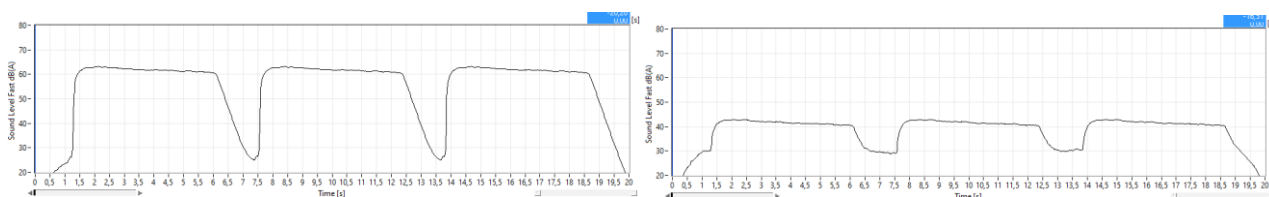
17 Luftudslip



Figur 51 17 Luftudslip, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres 9 pumpelyde i form af korte pust fra en luftpumpe.

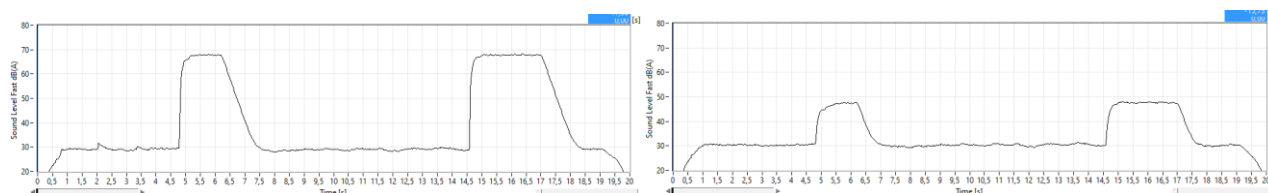
18 Trykluft tre pust



Figur 52 18 Trykluft tre pust, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres tre langstrakte susende lyde af trykluft, der slippes ud.

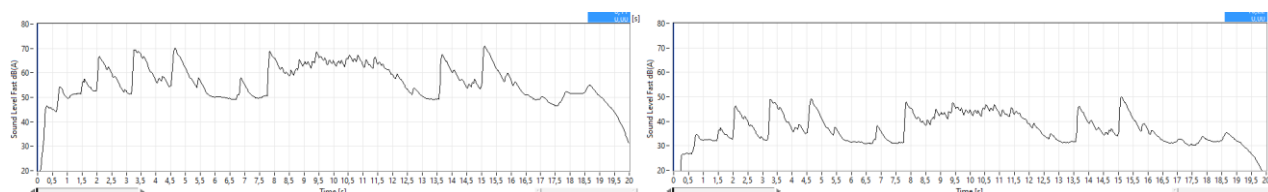
19 Slagnøgle to gange



Figur 53 19 Slagnøgle to gange, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Lyden af en elektrisk slagnøgle høres to gange. Hver gang består af mange impulser i hurtig rækkefølge.

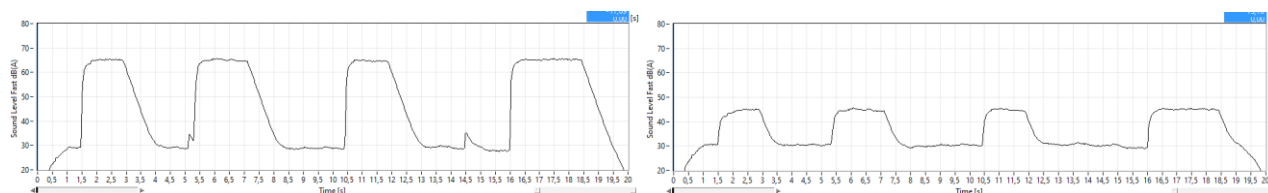
20 Gummiged ryster jord af skovl a



Figur 54 20 Gummiged ryster jord af skovl a, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Gummigedens motor høres med varierende omdrejningstal og belastning. T0-20 gange gange ryster den jord af skovlen, med impulser til følge. Af og til høres meget svage biplyde fra bakalarmen.

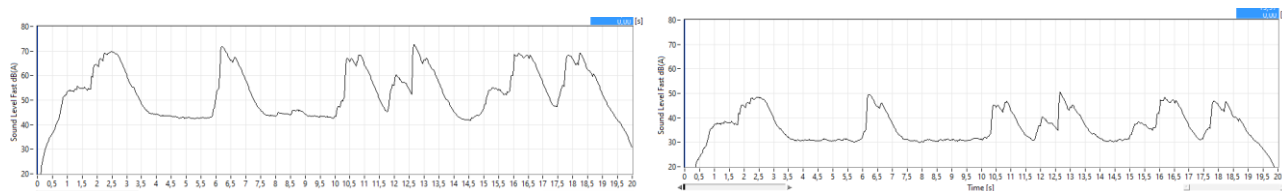
21 Slagnøgle fire gange



Figur 55 21 Slagnøgle fire gange, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtryk-niveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Lyden af en elektrisk slagnøgle høres fire gange. Hver gang består af mange impulser i hurtig rækkefølge.

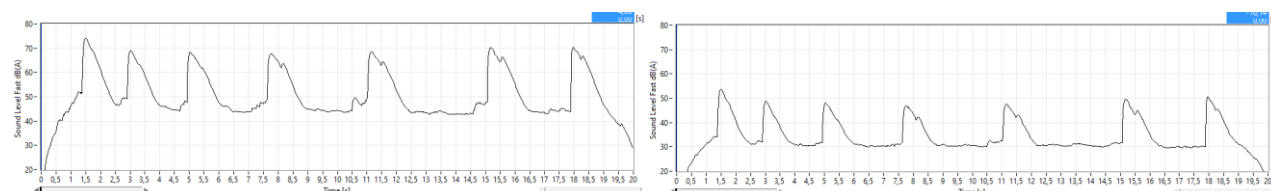
22 Kollision af trådvogne



Figur 56 22 Kollision af trådvogne, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres seks raslende kollisioner af trådvogne. Et par gange høres også en mere lavfrekvent lyd fra rampen, de kører på.

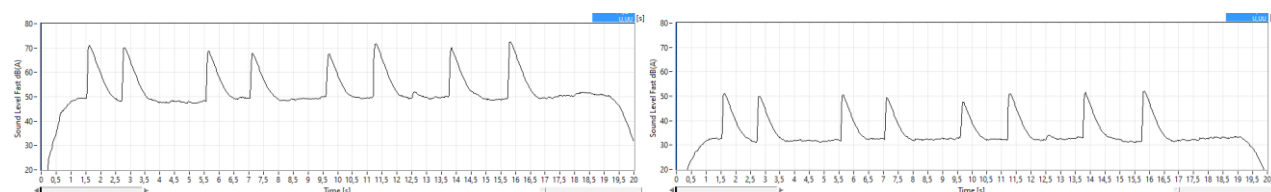
23 Bump på affaldsspand



Figur 57 23 Bump på affaldsspand, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres syv raslende bump på affaldsspand.

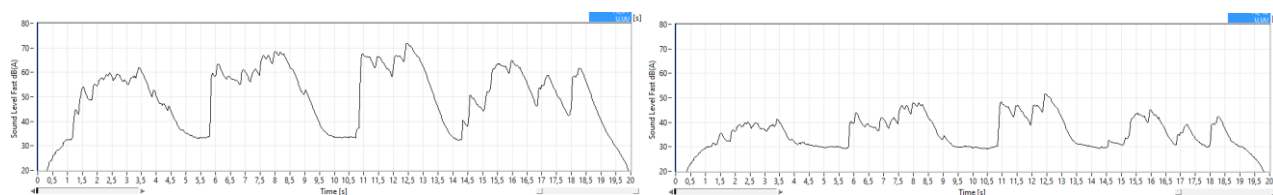
24 Dørsmæk bil



Figur 58 24 Dørsmæk bil, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres otte dørsmæk fra biler.

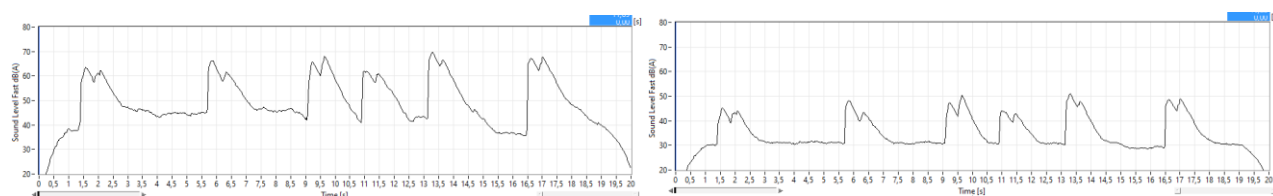
25 Sten køres i trillebør



Figur 59 25 Sten køres i trillebør, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Den raslende lyd af sten, der køres i trillebør på ujævnt underlag, høres fire gange.

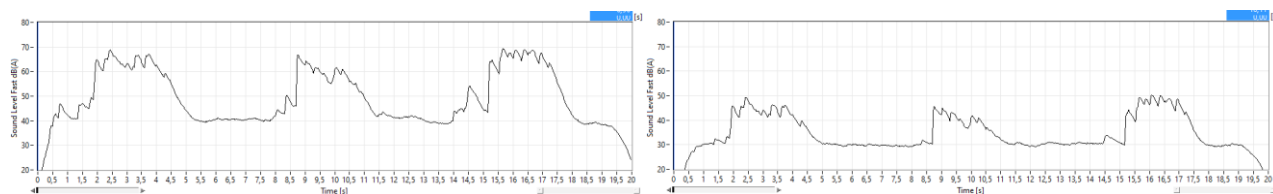
26 Bump på stålrampe



Figur 60 26 Bump på stålrampe, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Lyden af trådvogne, der køres over et bump på en stålrampe seks gange.

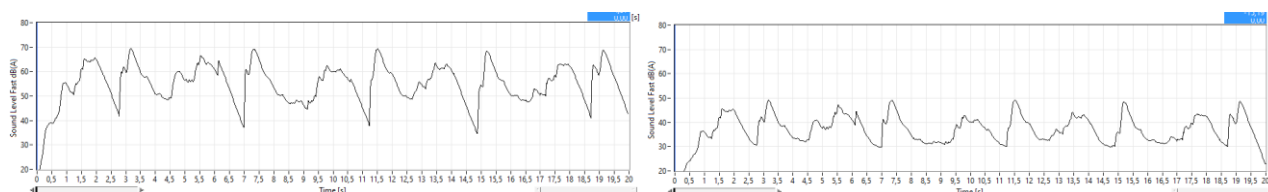
27 Flasker køres i plastcontainer



Figur 61 27 Flasker køres i plastcontainer, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Lyden af flasker, der rasler i plastcontainer og kører tre gange på ujævnt underlag.

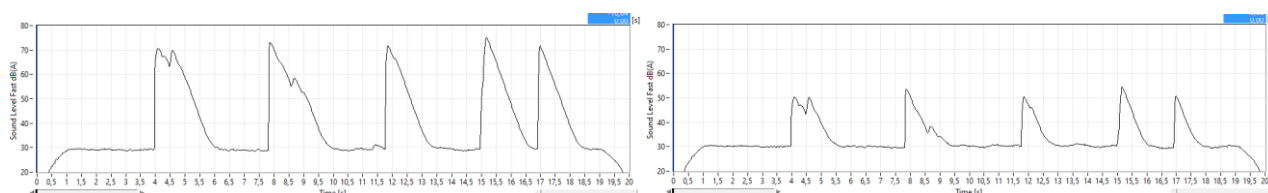
28 Sten skovles



Figur 62 28 Sten skovles, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Syv skovfulde sten graves op. Man hører en del enkelte sten, der undervejs lander på et underlag.

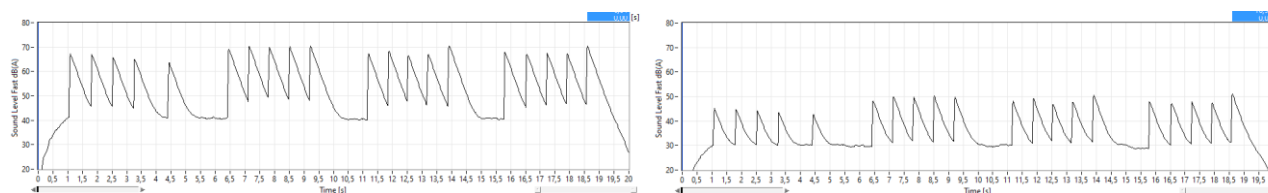
29 Metalrør smides



Figur 63 29 Metalrør smides, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Fem metalrør smides på jorden og rammer andre rør, som ligger der i forvejen.

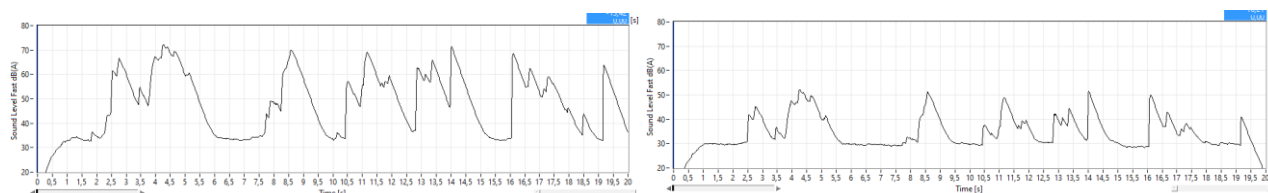
30 Slag på metal



Figur 64 30 Slag på metal, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Tyve hammerslag på metalbeslag.

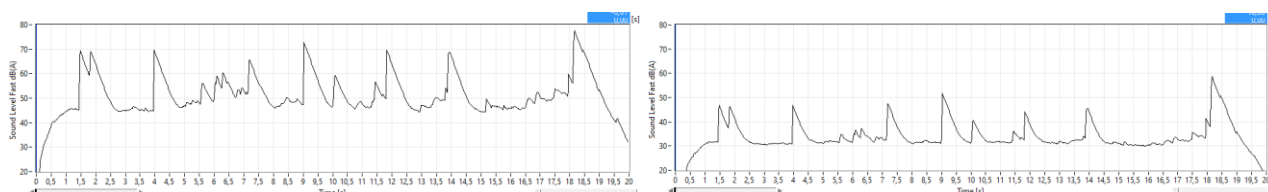
31 Flasker rasler i plastcontainer



Figur 65 31 Flasker rasler i plastcontainer, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der skramles syv gange med en plastcontainer, som indeholder glasflasker.

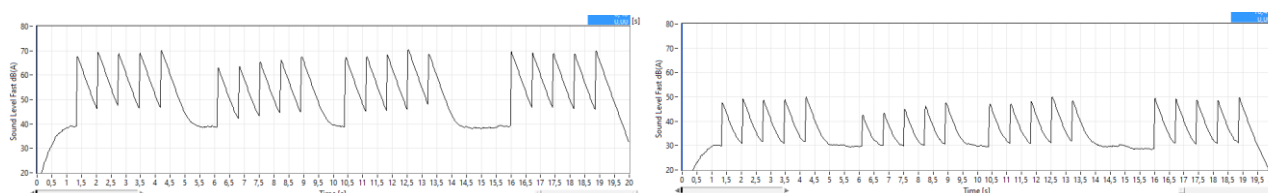
32 Løbehjul på rampe



Figur 66 32 Løbehjul på rampe, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres ca. otte impulser fra løbehjul på en rampe.

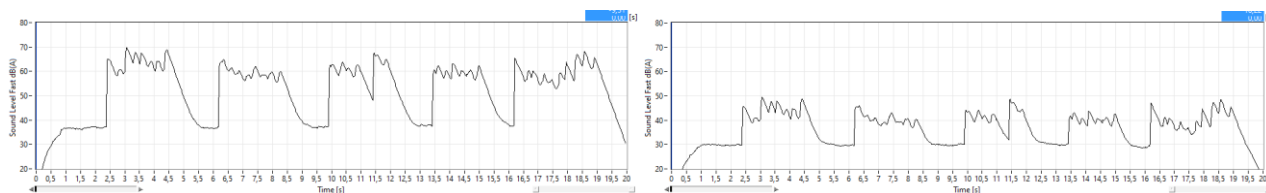
33 Slag på træskæft



Figur 67 33 Slag på træskæft, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykkniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres 20 hammerslag på træskæft.

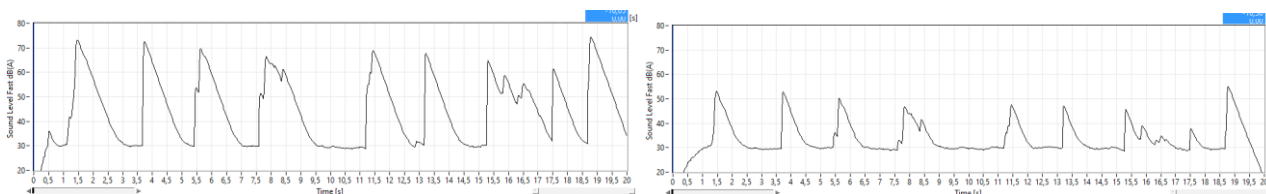
34 Skraben på skovl



Figur 68 34 Skraben på skovl, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der høres fem omgange skraben på en skovl.

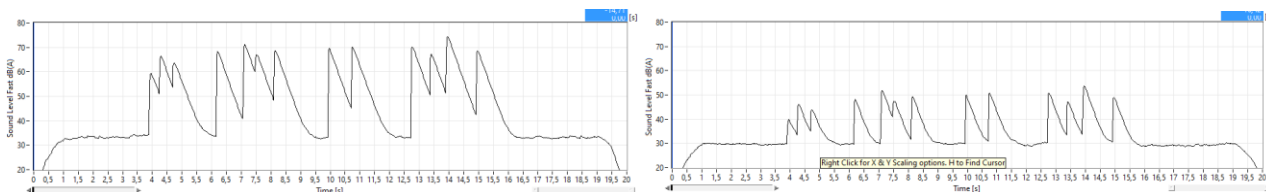
35 Flasker smides i plastcontainer



Figur 69 35 Flasker smides i plastcontainer, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Ni gange smides glasflasker i en plastcontainer med andre flasker.

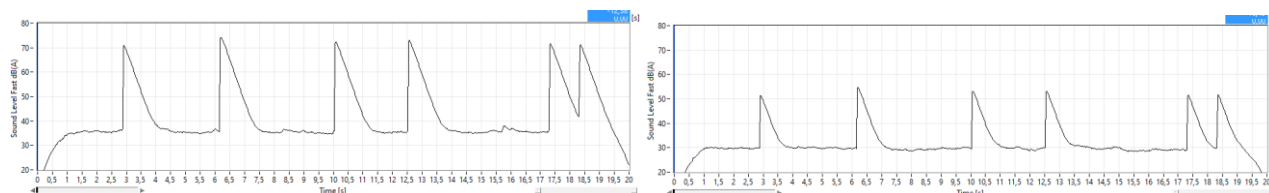
36 Banken på skovl



Figur 70 36 Banken på skovl, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Tretten hammerslag på skovl.

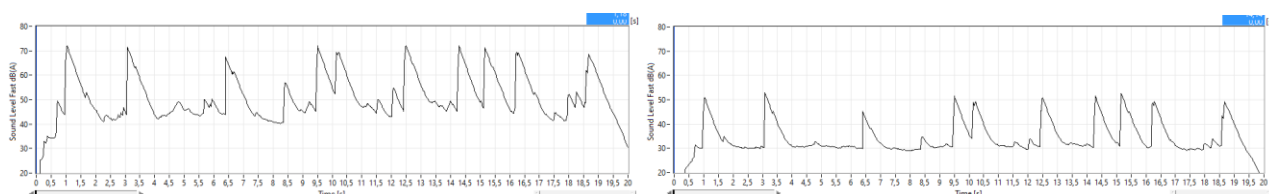
37 Smæk med containerlåg



Figur 71 37 Smæk med containerlåg, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Der smækkes seks gange med låget på en plastcontainer.

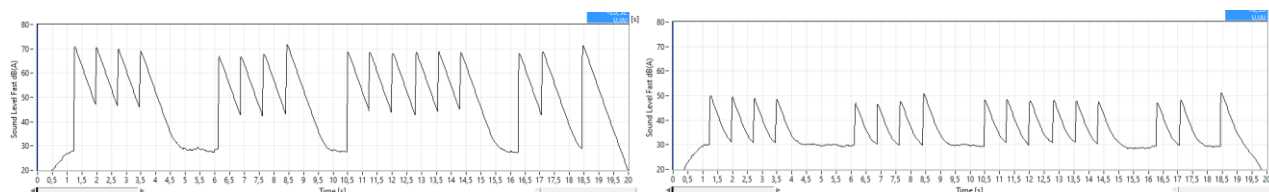
38 Skateboards



Figur 72 38 Skateboards, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Elleve gange høres lyden af et skateboard, der lander på en rampe.

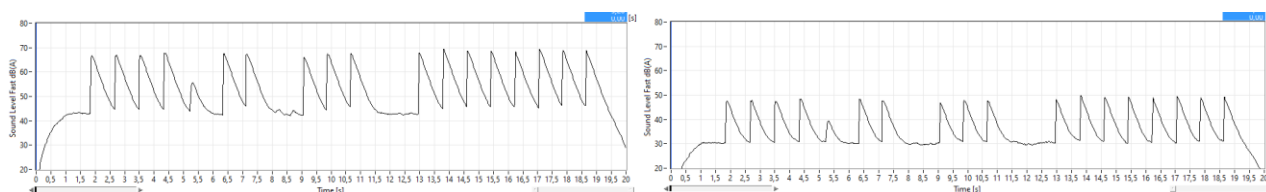
39 Slag på metalstang



Figur 73 39 Slag på metalstang, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Sytten hammerslag på en metalstang.

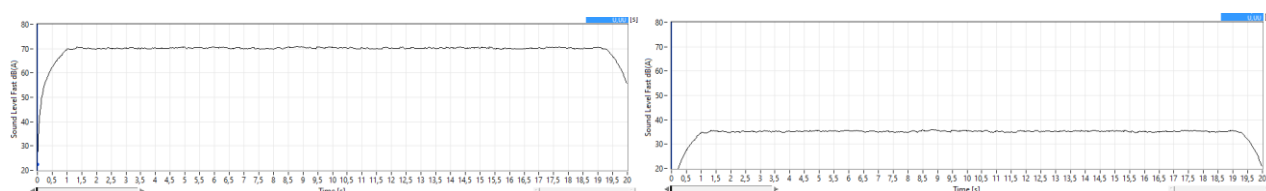
40 Slag på sten



Figur 74 40 Slag på sten, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 60$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 40$ dB.

Atten hammerslag på en sten.

Forenklet baggrundsstøj S35dB til S75dB



Figur 75 Forenklet baggrundsstøj, venstre kanal. Niveauregistrering af det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F. Venstre: $L_{Aeq} = 70$ dB. Højre: $L_{Aeq} = 35$ dB.

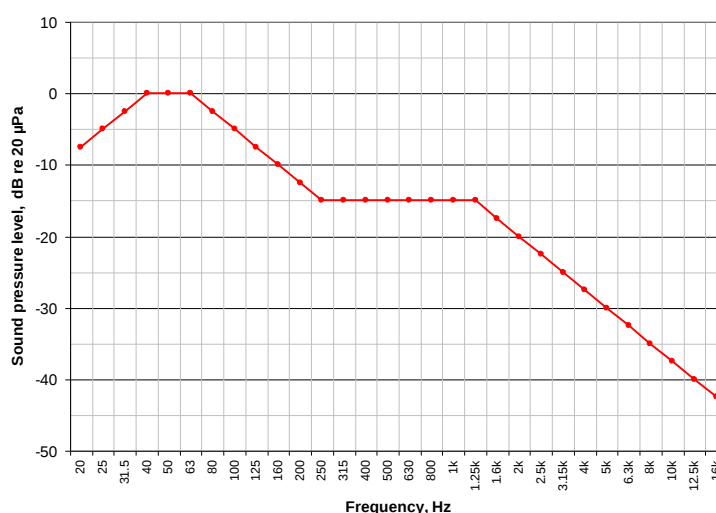
Den simplificerede baggrundsstøj er en konstant støj med samme spektrum som typisk baggrundsstøj. Den bruges som referencestøj ved gennemmålingerne med niveauer på $L_{Aeq} = 35, 40, 45, \dots 75$ dB.

Bilag 2 Simplificeret udendørs baggrundsstøj

Den forenklede baggrundsstøj er udviklet ud fra udendørs baggrundsstøjspektre, hvor baggrundsstøjen er forårsaget af vejtrafik. Udgangspunktet er målinger af baggrundsstøj i København, forstæderne og en landsby foretaget i morgenmyldretiden og om aftenen i roligt vejr og tørre vejforhold. Mikrofonpositionen var i praktisk frit felt i 1,5 m højde. Afstanden til nærmeste vognbane var 25-60 m, se mere i reference [23].

Det gennemsnitlige spektrum af måleresultaterne er forenklet en smule, og på **Figur 76** er vist en frekvensvægtning, som kan påtrykkes lyserød støj for at få en konstant støj med samme spektrum som den forenklede baggrundsstøj.

Den forenklede baggrundsstøj bruges som referencestøj til testformål fordi den udgår problemer med niveauvariationer og identificerbare køretøjer. Den "standardiserede" støj er en fordel for repeterbarheden af lyttetest, se [19], hvor støjen også er defineret i en indendørs version.



Figur 76 Grafen viser den 1/3-oktavbåndsfrekvensvægtning, som kan anvendes på et lyserødt støjsignal for at opnå en forenklet baggrundsstøj til testformål.

Dæmpningsværdierne for vægtningskurven er vist i Tabel 7.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
20	-7,5	200	-12,5	2k	-20
25	-5	250	-15	2,5k	-22,5
31.5	-2,5	315	-15	3,15k	-25
40	0	400	-15	4k	-27,5
50	0	500	-15	5k	-30
63	0	630	-15	6,3k	-32,5
80	-2,5	800	-15	8k	-35
100	-5	1k	-15	10k	-37,5
125	-7,5	1,25k	-15	12,5k	-40
160	-10	1,6k	-17,5	16k	-42,5

Tabel 7 Dæmpningsværdier for generering af den forenklede udendørs baggrundsstøj ud fra lyserød støj (samme dæmpninger som vist i Figur 76).

Bilag 3 Resultater af fysiske målinger

Tallene i tabellerne er de A-vægtede lydtrykniveauer i dB målt på fritfeltskopierne af stimuli som et gennemsnit af venstre og højre kanal.

Stimuli	L _{Aeq}	Fast Max	L1,0	L5,0	L10,0	L50,0	L90,0	L95,0
00 Kalibrering 83-8 dB	83,8	83,8	83,8	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7
01H Lyserød støj	60,0	60,6	60,5	60,4	60,4	60,2	59,9	54,8
02H Gummiged Motor	60,0	64,3	64,0	63,3	62,8	59,3	55,5	50,8
03H Motorvej 49 m	60,0	62,3	61,9	61,5	61,2	59,9	59,0	55,4
04H Motorvej 158 m	60,0	61,2	60,9	60,7	60,6	60,2	59,5	54,5
05H Gummiged skraber med skovl a	60,0	66,8	66,3	65,0	63,0	59,1	54,7	49,9
06H Vinkelsliber fire slib	60,0	66,4	65,7	64,7	64,0	54,9	47,2	26,9
07H Gummiged skraber med skovl b	60,0	69,8	69,0	65,8	63,8	55,1	50,6	46,9
08H Skramlende trådvogne	60,1	67,0	66,3	64,7	63,8	58,6	40,2	38,0
09H Kompressor tre start stop	60,0	64,1	63,3	62,8	62,6	61,5	41,5	38,0
10H Sten smides i container	60,0	68,4	67,7	66,4	63,8	56,0	54,2	49,0
11H Kompressor to start stop	60,0	67,3	67,0	62,9	61,5	60,0	41,3	37,7
12H Vinkelsliber to slib	60,0	68,7	67,9	66,2	65,5	52,0	35,0	30,0
13H Kompressor et start stop	60,0	70,2	69,4	64,4	64,1	41,4	39,7	35,0
14H Sten rasler i trillebør	60,0	71,3	70,3	67,6	65,6	36,4	28,7	25,9
15H Gummiged ryster jord af skovl b	60,0	70,6	68,9	66,4	64,2	56,1	54,0	49,1
16H Trykluft et pust	60,0	67,3	67,1	66,8	66,2	35,5	34,3	29,8
17H Luftudslip	60,1	72,1	70,6	67,9	65,6	43,4	41,7	37,3
18H Trykluft tre pust	60,1	62,6	62,5	62,3	62,2	60,9	27,1	23,0
19H Slagnøgle to gange	60,0	67,9	67,5	67,4	67,2	30,8	29,7	25,4
20H Gummiged ryster jord af skovl a	60,0	69,9	68,3	65,9	64,6	54,6	47,9	44,5
21H Slagnøgle fire gange	60,0	65,3	65,0	64,8	64,7	39,5	29,5	26,4
22H Kollision af trådvogne	60,0	70,4	69,1	66,8	65,6	51,1	42,5	39,3
23H Bump på affaldsspand	60,0	73,2	70,4	67,3	65,4	46,7	43,6	39,3
24H Dørsmæk bil	60,0	73,1	71,5	68,0	64,8	50,4	47,8	43,5
25H Sten køres i trillebør	60,0	71,2	69,6	66,5	65,1	53,1	31,8	26,6
26H Bump på stålrampe	60,0	71,8	69,8	67,5	65,2	47,5	36,0	32,5
27H Flasker køres i plastcontainer	60,0	69,7	68,7	67,3	65,8	44,8	37,9	35,7
28H Sten skovles	60,0	69,5	68,9	66,3	64,1	55,9	44,9	39,9
29H Metalrør smides	60,0	74,1	72,1	68,3	64,9	31,2	30,0	25,1
30H Slag på metal	60,0	70,3	69,4	66,8	65,2	51,8	39,2	35,8
31H Flasker rasler i plastcontainer	60,0	72,5	70,9	67,8	65,2	48,0	32,2	31,7
32H Løbehjul på rampe	60,0	77,5	73,3	66,4	61,6	48,7	45,3	40,5
33H Slag på træskaft	60,0	70,1	69,0	67,3	65,4	51,7	37,3	36,4
34H Skraben på skovl	60,0	70,1	68,3	65,9	64,2	57,2	35,5	34,8
35H Flasker smides i plastcontainer	60,0	74,4	72,6	67,5	63,8	42,2	28,5	28,1
36H Banken på skovl	60,0	74,3	70,8	67,7	65,1	36,3	31,2	25,4
37H Smæk med containerlåg	59,8	74,3	72,3	68,6	63,1	34,8	33,9	29,9
38H Skateboards	60,0	72,6	70,9	68,0	65,2	47,2	41,3	39,4
39H Slag på metalstang	60,0	70,8	69,6	67,1	65,5	49,5	26,3	23,7
40H Slag på sten	60,0	70,1	69,1	67,4	65,8	50,6	41,4	37,5

Stimuli	L _{Aeq}	Fast Max	L1,0	L5,0	L10,0	L50,0	L90,0	L95,0
01L Lyserød støj	40,6	41,3	41,2	41,1	41,0	40,8	40,4	35,3
02L Gummiged Motor	40,4	45,4	44,9	44,2	43,5	39,0	35,4	30,1
03L Motorvej 49 m	40,4	42,6	42,2	41,8	41,5	40,4	39,4	35,8
04L Motorvej 158 m	40,4	41,7	41,3	41,1	41,0	40,6	40,0	35,1
05L Gummiged skraber med skovl a	40,4	47,6	47,1	45,8	43,3	39,1	35,2	31,5
06L Vinkelsliber fire slib	40,4	47,1	45,9	45,1	44,2	35,5	31,6	25,3
07L Gummiged Skraber med skovl b	40,4	49,8	49,0	46,2	43,6	36,0	32,7	28,7
08L Skramlende trådvogne	40,4	47,3	46,5	44,7	43,9	39,2	30,4	26,5
09L Kompressor tre start stop	40,4	44,5	43,8	43,3	43,1	41,8	30,2	25,2
10L Sten smides i container	40,4	48,4	47,6	46,3	44,0	38,0	36,5	31,3
11L Kompressor to start stop	40,4	46,7	46,0	42,8	42,5	40,7	30,4	25,4
12L Vinkelsliber to slib	40,5	48,0	47,7	46,5	45,9	34,5	30,6	25,9
13L Kompressor et start stop	40,5	49,6	47,8	45,3	45,0	32,3	29,7	25,9
14L Sten rasler i trillebør	40,4	51,5	50,4	47,7	45,6	30,7	29,2	25,0
15L Gummiged ryster jord af skovl b	40,4	50,4	49,2	46,7	44,8	36,6	35,4	30,2
16L Trykluft et pust	40,6	47,6	47,4	46,9	46,4	32,4	31,2	26,8
17L Luftudslip	40,4	53,6	51,1	47,7	44,7	32,0	30,6	26,1
18L Trykluft tre pust	40,4	43,0	42,8	42,7	42,5	41,2	29,8	25,0
19L Slagnøgle to gange	40,5	48,1	47,7	47,5	47,3	31,2	30,0	25,6
20L Gummiged ryster jord af skovl a	40,4	49,8	48,6	46,0	44,9	35,7	31,4	27,0
21L Slagnøgle fire gange	40,5	45,6	45,3	45,1	44,9	31,9	29,9	25,6
22L Kollision af trådvogne	40,4	50,0	48,5	46,9	45,6	34,2	30,8	26,0
23L Bump på affaldsspand	40,4	53,5	50,7	47,5	45,3	31,7	30,3	25,6
24L Dørsmæk bil	40,4	52,3	51,1	48,4	44,9	33,0	31,7	27,0
25L Sten køres i trillebør	40,4	51,6	49,9	46,7	45,4	34,6	29,9	24,9
26L Bump på stålrampe	40,4	51,5	49,8	47,6	45,5	31,9	29,5	25,1
27L Flasker køres i plastcontainer	40,4	50,2	49,3	47,6	45,6	31,3	29,8	26,0
28L Sten skovles	40,4	49,3	48,7	46,4	44,4	37,1	31,2	30,0
29L Metalrør smides	40,5	54,3	52,5	48,5	45,1	31,0	30,1	25,4
30L Slag på metal	40,4	51,1	49,6	47,3	45,3	34,0	29,6	25,3
31L Flasker rasler i plastcontainer	40,4	52,3	50,9	48,0	45,0	32,1	29,5	26,4
32L Løbehjul på rampe	40,4	58,5	53,1	45,2	41,6	32,4	30,8	26,3
33L Slag på træskaft	40,4	50,0	49,1	47,4	45,5	33,9	29,5	26,4
34L Skraben på skovl	40,4	49,5	48,3	46,2	44,5	38,0	30,0	26,1
35L Flasker smides i plascontainer	40,4	55,0	52,6	47,2	44,0	30,9	29,7	26,9
36L Banken på skovl	40,4	53,6	51,2	47,8	45,2	30,7	29,5	24,9
37L Smæk med containerlåg	40,4	54,7	52,8	48,7	43,3	30,5	29,2	24,9
38L Skateboards	40,4	53,0	51,0	48,2	45,2	31,9	30,1	25,8
39L Slag på metalstang	40,4	51,2	49,5	47,3	45,7	33,0	29,3	25,0
40L Slag på sten	40,4	49,8	48,9	47,4	45,9	33,4	30,1	25,6

Stimuli	L_{Aeq}	Fast Max	L1,0	L5,0	L10,0	L50,0	L90,0	L95,0
S35dB Simpl baggr - 1	35,0	36,1	35,8	35,6	35,5	35,2	34,7	29,7
S35dB Simpl baggr - 2	35,0	36,1	35,8	35,6	35,5	35,2	34,7	29,7
S40dB Simpl baggr - 1	40,0	41,1	40,8	40,6	40,5	40,2	39,7	34,7
S40dB Simpl baggr - 2	40,0	41,1	40,8	40,6	40,5	40,2	39,7	34,7
S45dB Simpl baggr - 1	45,0	46,1	45,8	45,6	45,5	45,2	44,7	39,7
S45dB Simpl baggr - 2	45,0	46,1	45,8	45,6	45,5	45,2	44,7	39,7
S50dB Simpl baggr - 1	50,0	51,1	50,8	50,6	50,5	50,2	49,7	44,7
S50dB Simpl baggr - 2	50,0	51,1	50,8	50,6	50,5	50,2	49,7	44,7
S55dB Simpl baggr - 1	55,0	56,1	55,8	55,6	55,5	55,2	54,7	49,7
S55dB Simpl baggr - 2	55,0	56,1	55,8	55,6	55,5	55,2	54,7	49,7
S60dB Simpl baggr - 1	60,0	61,1	60,8	60,6	60,5	60,2	59,7	54,7
S60dB Simpl baggr - 2	60,0	61,1	60,8	60,6	60,5	60,2	59,7	54,7
S65dB Simpl baggr - 1	65,0	66,1	65,8	65,6	65,5	65,2	64,7	59,7
S65dB Simpl baggr - 2	65,0	66,1	65,8	65,6	65,5	65,2	64,7	59,7
S70dB Simpl baggr - 1	70,0	71,1	70,8	70,6	70,5	70,2	69,7	64,7
S70dB Simpl baggr - 2	70,0	71,1	70,8	70,6	70,5	70,2	69,7	64,7
S75dB Simpl baggr - 1	75,0	76,1	75,8	75,6	75,5	75,2	74,7	69,7
S75dB Simpl baggr - 2	75,0	76,1	75,8	75,6	75,5	75,2	74,7	69,7

Stimulus	Max ch1, ch2		Data for max P			Antal	Middel af 5 (el. færre)	
	P	K _I [dB]	Start, s	LD [dB]	Stejlhed [dB/s]		P	K _I [dB]
01H Lyserød støj	2,0	0,0	18,1	0,2	15,5	0	1,8	0,0
02H Gummiged Motor	4,7	0,0	12,0	0,6	55,9	0	4,3	0,0
03H Motorvej 49 m	4,5	0,0	3,7	0,5	49,8	0	4,1	0,0
04H Motorvej 158 m	4,6	0,0	18,1	0,5	51,5	0	4,2	0,0
05H Gummiged skraber med skovl a	6,9	3,4	4,6	9,8	42,8	3	5,6	1,4
06H Vinkelsliber fire slib	9,3	7,8	0,8	38,9	113,1	6	7,4	4,3
07H Gummiged skraber med skovl b	7,5	4,5	2,5	5,9	97,6	2	6,5	2,7
08H Skramlende trådvogne	8,2	5,7	12,9	12,7	98,6	17	7,8	5,0
09H Kompressor tre start stop	8,1	5,6	13,7	15,5	81,8	6	7,9	5,3
10H Sten smides i container	8,6	6,5	13,9	16,9	111	6	8,5	6,3
11H Kompressor to start stop	8,5	6,3	0,9	21,5	87,6	4	8,5	6,3
12H Vinkelsliber to slib	8,8	6,8	4,0	23,9	100,5	4	6,9	3,4
13H Kompressor et start stop	8,7	6,7	5,3	22,3	102,5	2	7,9	5,2
14H Sten rasler i trillebør	9,1	7,4	1,6	31,2	111,6	5	8,8	6,8
15H Gummiged ryster jord af skovl b	9,1	7,5	5,4	14,9	185,3	8	8,8	6,8
16H Trykluft et pust	9,2	7,5	6,2	30,6	114,9	1	9,2	7,5
17H Luftudslip	9,2	7,6	8,1	31	119,4	9	9,0	7,1
18H Trykluft tre pust	9,4	8,0	1,1	37,4	124	3	9,4	7,9
19H Slagnøgle to gange	9,6	8,2	14,6	37,8	137,1	2	9,5	8,0
20H Gummiged ryster jord af skovl a	9,5	8,1	3,2	18	212,7	9	9,2	7,6
21H Slagnøgle fire gange	9,6	8,3	1,5	33,5	153,7	4	9,4	8,0
22H Kollision af trådvogne	10,1	9,2	12,6	20,2	312,1	6	8,8	6,9
23H Bump på affaldsspand	10,2	9,4	17,9	26,3	291,8	7	9,5	8,2
24H Dørsmæk bil	10,4	9,8	15,7	22,8	375,3	8	10,0	9,1
25H Sten køres i trillebør	10,5	9,9	5,8	29,9	324,5	5	9,4	7,9
26H Bump på stålrampe	10,5	9,9	10,9	20,9	403	12	10,0	9,0
27H Flasker køres i plastcontainer	10,7	10,3	8,7	21,5	481,4	3	9,2	7,5
28H Sten skovles	10,7	10,3	7,0	23,8	446,2	16	9,6	8,3
29H Metalrør smides	12,0	12,6	7,8	44	810,1	6	11,0	10,8
30H Slag på metal	11,9	12,4	6,4	27,9	984,8	20	11,6	11,8
31H Flasker rasler i plastcontainer	12,0	12,6	19,2	30,9	993,6	13	11,2	11,1
32H Løbehjul på rampe	12,1	12,8	4,0	25,3	1263,7	9	11,6	11,9
33H Slag på træskaft	12,0	12,6	16,0	32,6	982,5	20	11,9	12,4
34H Skraben på skovl	12,2	13,0	16,2	30,7	1221	5	11,5	11,8
35H Flasker smides i plastcontainer	12,2	13,0	13,2	37,4	1058,3	9	11,7	12,1
36H Banken på skovl	12,4	13,3	9,9	38,3	1180	13	11,8	12,2
37H Smæk med containerlæg	12,3	13,1	6,2	40,9	1027,5	6	12,0	12,5
38H Skateboards	12,3	13,1	3,1	27,6	1377,7	11	11,6	11,9
39H Slag på metalstang	12,7	13,8	1,2	42,8	1371,1	17	12,4	13,2
40H Slag på sten	13,1	14,6	13,8	26,7	2669,7	17	13,0	14,4

Stimulus	Max ch1, ch2		Data for max P			Antal	Middel af 5 (el. færre)	
	P	K _I [dB]	Start	LD [dB]	Stejlhed [dB/s]		P	K _I [dB]
01L Lyserød støj	2,4	0,0	14,0	0,3	14,2	0	2,3	0,0
02L Gummiged Motor	4,5	0,0	11,9	2,4	17,6	0	4,1	0,0
03L Motorvej 49 m	4,7	0,0	3,7	0,6	55	0	4,2	0,0
04L Motorvej 158 m	4,9	0,0	18,1	0,6	60,3	0	4,4	0,0
05L Gummiged skraber med skovl a	7,0	3,6	4,6	10,3	45,5	3	5,9	1,5
06L Vinkelsliber fire slib	7,1	3,8	10,7	14,2	39,4	6	6,3	2,3
07L Gummiged skraber med skovl b	6,8	3,2	2,5	4	72,9	2	6,1	1,9
08L Skramlende trådvogne	8,0	5,4	16,3	3,8	190,9	17	7,6	4,6
09L Kompressor tre start stop	7,1	3,7	7,5	8,6	54,1	6	6,8	3,3
10L Sten smides i container	7,8	5,0	4,8	11,5	76,2	6	7,7	4,9
11L Kompressor to start stop	7,5	4,5	11,0	9,9	69,5	4	7,4	4,4
12L Vinkelsliber to slib	6,6	2,9	4,1	6,7	45	4	5,9	1,7
13L Kompressor et start stop	7,9	5,2	5,3	12,1	80,1	2	7,0	3,6
14L Sten rasler i trillebør	7,3	4,2	8,4	16,6	43,1	5	7,1	3,8
15L Gummiged ryster jord af skovl b	9,2	7,5	5,4	15,1	189,3	8	8,6	6,4
16L Trykluft et pust	7,6	4,7	6,3	14,3	59,6	1	7,6	4,7
17L Luftudslip	8,6	6,5	11,0	19,3	104,3	9	8,3	6,0
18L Trykluft tre pust	7,3	4,1	7,6	12,1	51,4	3	7,2	3,9
19L Slagnøgle to gange	7,7	4,9	14,6	16,6	57,5	2	7,6	4,6
20L Gummiged ryster jord af skovl a	9,3	7,8	3,2	16,6	199,9	9	9,0	7,2
21L Slagnøgle fire gange	7,5	4,5	10,4	14,1	53,8	4	7,4	4,3
22L Kollision af trådvogne	9,5	8,0	12,6	15,5	227,9	6	8,4	6,2
23L Bump på affaldsspand	9,8	8,7	17,9	20,5	249	7	9,3	7,8
24L Dørsmæk bil	9,8	8,7	7,1	17,2	275,9	8	9,7	8,5
25L Sten køres i trillebør	9,4	7,9	10,8	18	198,4	5	8,3	6,0
26L Bump på stålrampe	9,3	7,8	10,9	13,2	227,6	12	9,0	7,2
27L Flasker køres i plastcontainer	9,9	8,9	8,7	15	336,9	3	8,4	6,1
28L Sten skovles	9,2	7,5	7,0	11,4	222,4	16	8,8	6,7
29L Metalrør smides	10,9	10,6	7,8	23,8	505,7	6	9,9	8,8
30L Slag på metal	11,1	11,0	6,4	18,7	703,7	20	10,9	10,6
31L Flasker rasler i plastcontainer	10,9	10,7	14,0	20,3	593,2	13	9,8	8,7
32L Løbehjul på rampe	11,4	11,6	9,0	20,8	806,9	9	10,8	10,5
33L Slag på træskaft	11,3	11,4	1,4	17,8	889	20	11,2	11,3
34L Skraben på skovl	11,2	11,2	11,4	16,6	830	5	10,5	10,0
35L Flasker smides i plascontainer	10,6	10,1	3,7	23,3	422,3	9	10,2	9,4
36L Banken på skovl	11,0	10,8	9,9	19,9	631,7	13	10,7	10,2
37L Smæk med containerlåg	11,8	12,2	2,9	21,5	1074,9	6	11,4	11,5
38L Skateboards	11,9	12,4	3,1	22,6	1132,3	11	11,2	11,2
39L Slag på metalstang	11,2	11,1	8,4	20,8	689,9	17	11,0	10,7
40L Slag på sten	12,4	13,3	15,4	19	1900,2	17	12,3	13,2
S55dB Simpl baggr - 1	4,2	0,0	9,5	0,7	32,9	0	3,8	0,0

Bilag 4 Instruktion til assessorer

Nedenstående instruktion til lytterne var tilgængelig under hele testen som et PowerPoint-show på samme computer, som testen blev afviklet fra.

Instruktion - Impulsstøj

Du skal bedømme støj med impulslyd.

Impulslyd er den bratte begyndelse af lyde med kortere eller længere varighed.

Du skal fem ting:

1. Læs første del af denne instruktion (dvs. slide 2 og 3)
2. Gennemfør "Familiarization"
3. Bedøm støjgenen - del 1 af testen
4. Vend tilbage til slide 3 og læs og lyt til anden del af denne instruktion
5. Bedøm tydeligheden af impulserne – del 2 af testen

1



Del 1 – Støjgene: Scenarie

- Du skal forestille dig, at du slapper af udendørs fx i en have, på en terrasse eller i en park. Du hører hele tiden støj som i eksemplerne.
- For hvert lydeksempel skal du bedømme, hvor generende du mener støjen vil være, hvis den fortsætter på samme måde hele dagen. Luk øjnene, forestil dig at er udendørs og bedøm genen for den samlede støj, inklusive eventuelle impulser.
- Lyt til hele lydeksempler (20 sekunder) inden du bedømmer, nogen lyde kommer først til sidst

Skala:



2



Del 1 – Gene

1. Familiarization:

Lyt til de 14 eksempler, så du er bekendt med hvilke slags lyde du skal bedømme.

2. Bedømmelse af gene:

Du skal bedømme, hvor generende du mener støjen vil være, hvis den fortsætter på samme måde hele dagen.

Dine bedømmelser er vigtige og bliver gemt.



3



Du er nu færdig med instruktionen til 1. del, støjgene.

1. Gå til <https://senselabonline.com/SLO/5.0.0/>
og gennemfør: Vurdering af impulsstøj
 - a) Familiarization
 - b) Bedømmelse af gene
2. Når du har gennemført ovenstående,
vend tilbage hertil og gå videre i instruktionen



Om Impulsers tydelighed

Impulslyd er den bratte begyndelse af lyde med kortere eller længere varighed.

1. Det handler om impulsernes tydelighed i det samlede støjbillede.
Vigtigt: Det er tydeligheden i forhold til den kontinuerte støj og ikke impulsernes styrke.
2. Du skal bruge en skala som vist nedenfor.
3. Lyt til (hele) eksemplerne til højre for at få en fornemmelse af skalabrug

Tydelighed



Tydelighed.



Del 2 – Impulsernes tydelighed

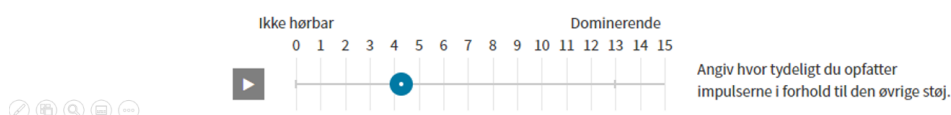
Du skal angive hvordan du umiddelbart vil opfatte lyden, som den forekommer udendørs. Bedøm hvor tydeligt du hører impulsene i forhold til den øvrige støj.

Angiv dit samlede indtryk af hele lydeksemplet (20 sekunder).

Du skal bruge skalaen, som følger:

- 0 Hvis du ikke hører impulser
- 0-5 Svagt hørbare impulser
- 5 Hvis impulsene netop er så tydelige, at du umiddelbart vil lægge mærke til dem
- 5-10 Impulser, der er fremtrædende i det samlede lydbillede
- 10-15 Impulser, der er dominerende i det samlede lydbillede.

Tydelighed



Bilag 5 Instrumentlister

Optagelser i felten

Nr.	Udstyr	Producent	Model nr.	Kalibrering	
				Seneste	Næste
1386L	Harddisk optager	Sound Devices	744	Jun 2019	Juni 2021
1594L	Kalibrator	Brüel & Kjær	4230	Marts 2021	Sept. 2021
1387L	Spændingsforsyning	Brüel & Kjær	5935	Juni 2020	Juni 2022
BK04/1473L	Mikrofon	Brüel & Kjær	4188	Jun 2021	Juni 2022
BK04/1482L	Forforstærker	Brüel & Kjær	2671	Jun 2021	Jun 2023
BK04/1474L	Mikrofon	Brüel & Kjær	4188	Juni 2021	Juni 2022
BK04/1483L	Forforstærker	Brüel & Kjær	2671	Juni 2021	Juni 2023
1143L	HATS	Brüel & Kjær	4100	-	-

Tabel 8 Anvendt måleudstyr ved feltmålinger.

Udstyr ved Lyttetest

Lyttetesten blev afviklet ved brug af programmet SenseLabOnline 5.0.0, som sørger for præsentation og randomiseret af stimuli for hver testperson, opsamling af afgivne bedømmelser og indledende statistisk behandling af data.

Stimuli blev afspillet på hovedtelefoner, som inden testen var kalibreret på et Kunsthoved (HATS).

Udstyr	Producent	Model	Bemærkning
PC	Lenovo	Custom	I kontrolrum
Lyttetestsoftware	SenseLab	SenseLabOnline	I kontrolrum
Digital/Analog interface	RME	M-32 DA	I kontrolrum
Hovedtelefoner	Sennheiser	HD 650	I lytteboks
Akustisk kalibrator	Brüel & Kjær	Type 4230	Kalibreret 08-12-2021
Kunsthoved	Brüel & Kjær	HATS type 4100	Kalibreret 04-02-2021
Måleforstærker	Brüel & Kjær	Type 2610	Kalibreret 08-02-2021
Analysesoftware	DELTA/CTXI	NoiseLab Capture 4.0.4 NoiseLab Batch 4.1	

Tabel 9 Anvendt måleudstyr ved lyttetesten.

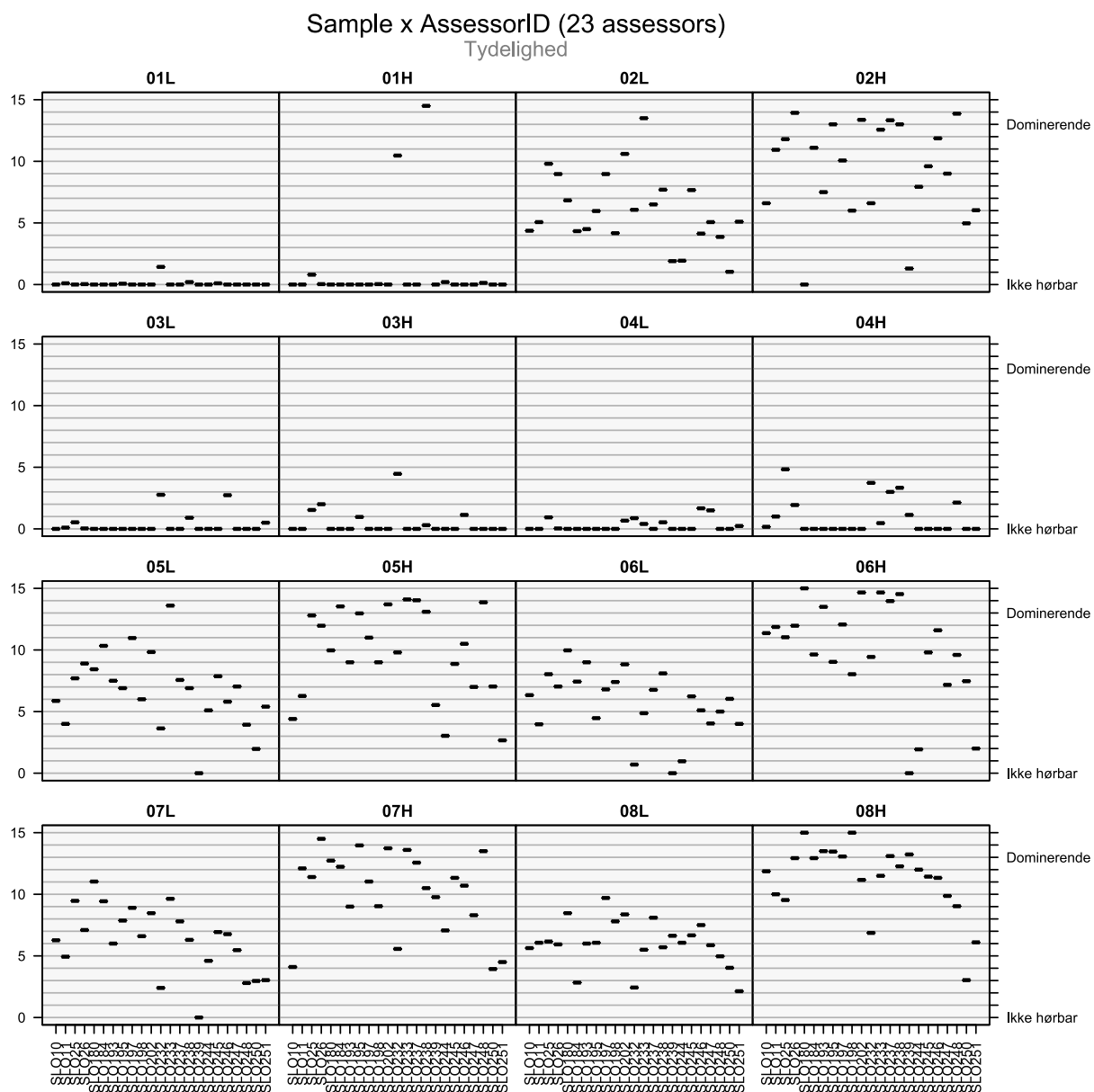
Bilag 6 Individuelle bedømmelser af Tydelighed

I dette bilag er der for hver stimulus angivet de 23 assessors individuelle bedømmelser af Tydelighed.

Bedømmelser pr stimulus

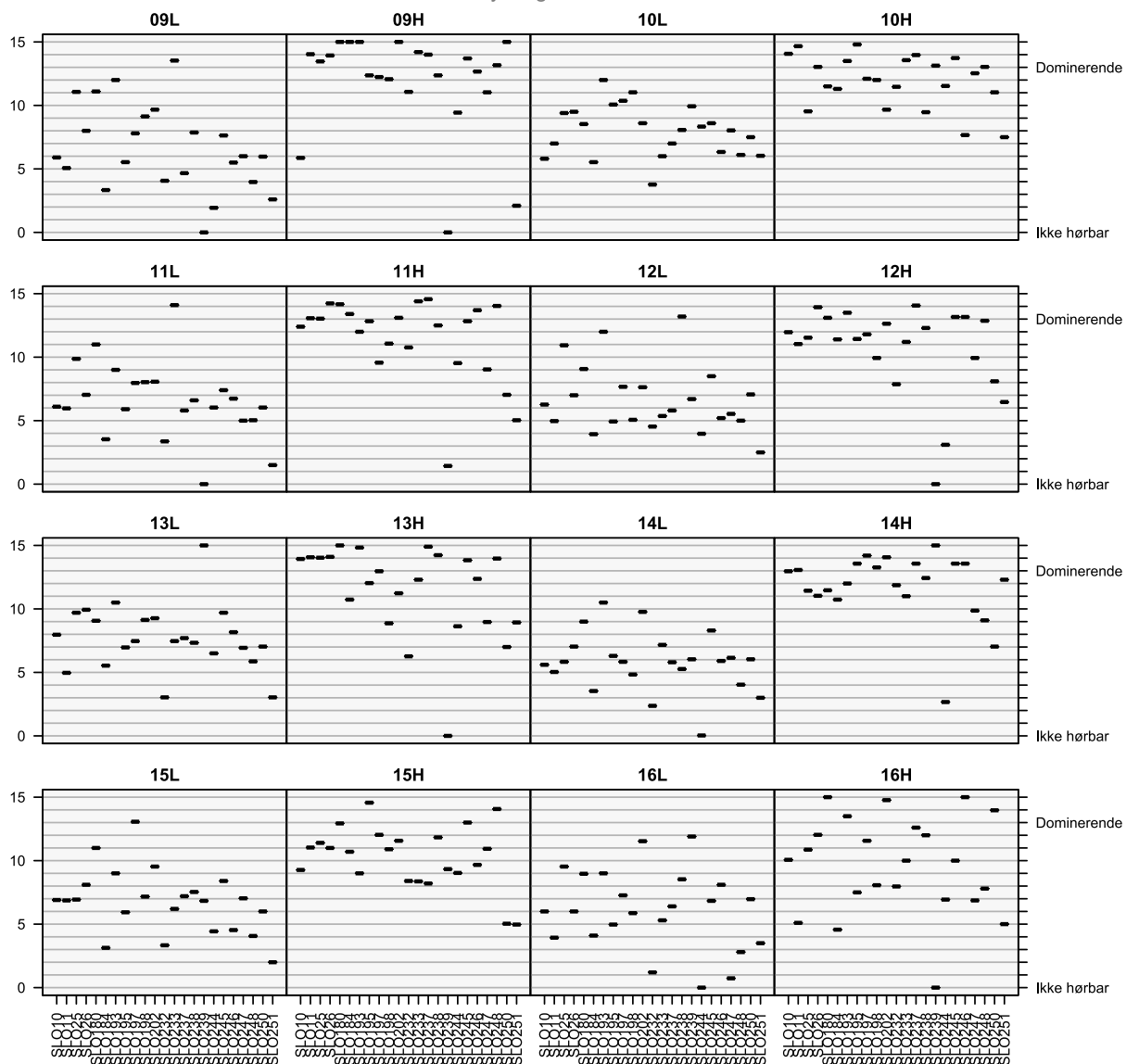
For bedømmelserne af Tydelighed i dette afsnit er bedømmelserne af de enkelte stimuli angivet i hver sin rude. Assessorerne er anført ved et nummer på x-aksen.

Det ses, at der generelt er mange stimuli med stor "uenighed" blandt assessorerne. Der er også stimuli med rimelig overensstemmelse, men hvor enkelte assessors bedømmelser afviger væsentligt fra de øvrige.

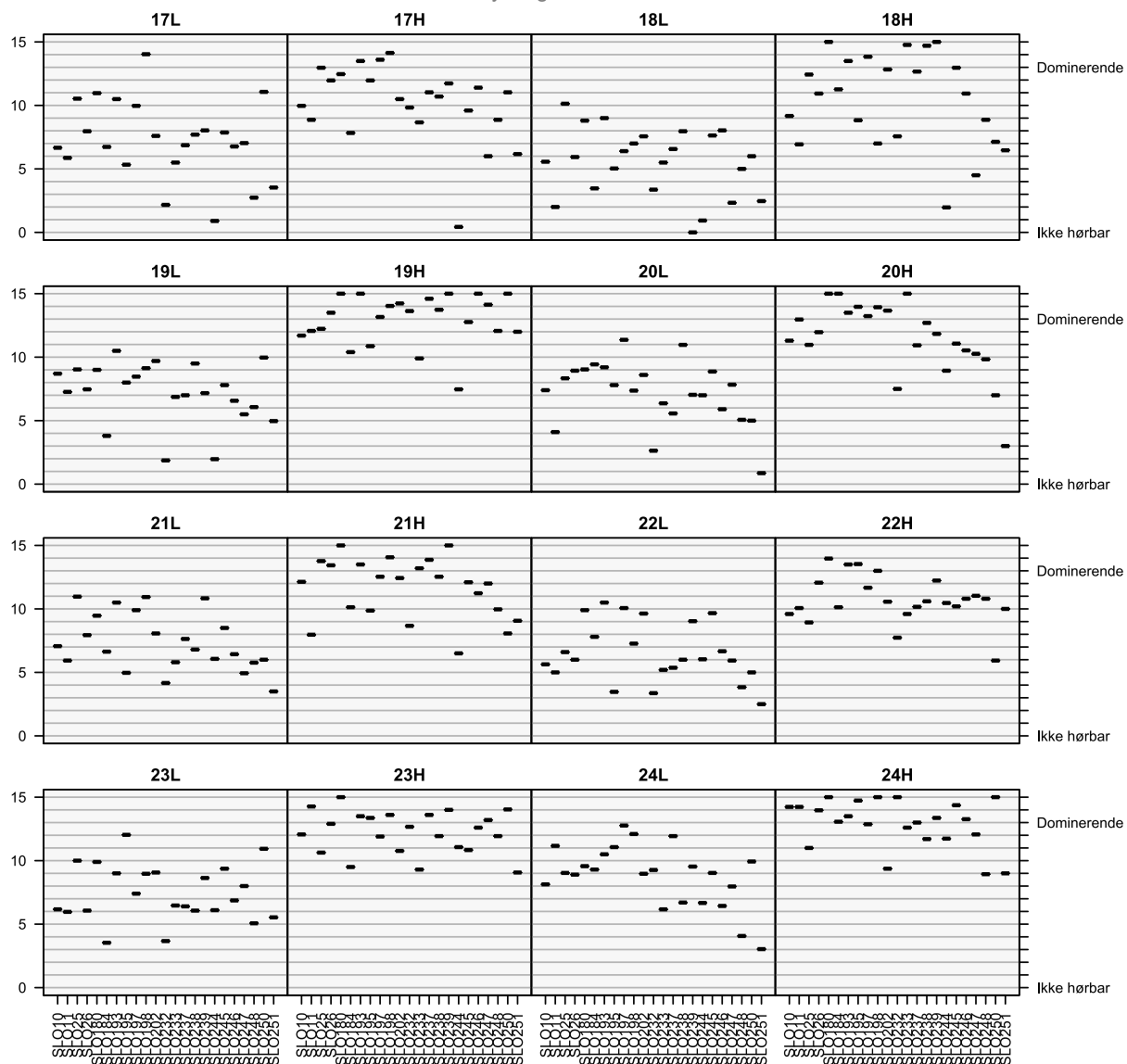


Sample x AssessorID (23 assessors)

Tydelighed

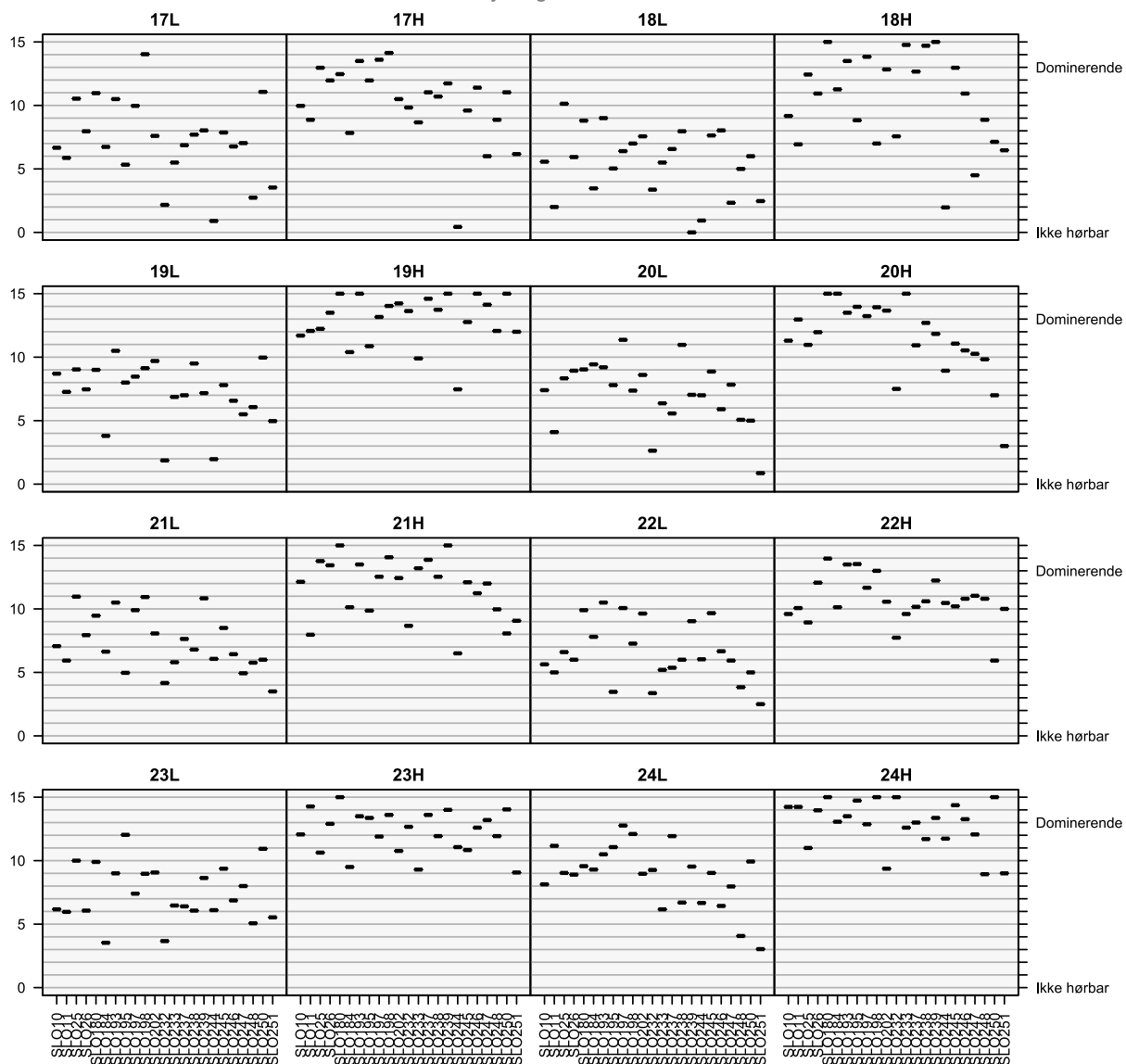


Sample x AssessorID (23 assessors) Tydelighed

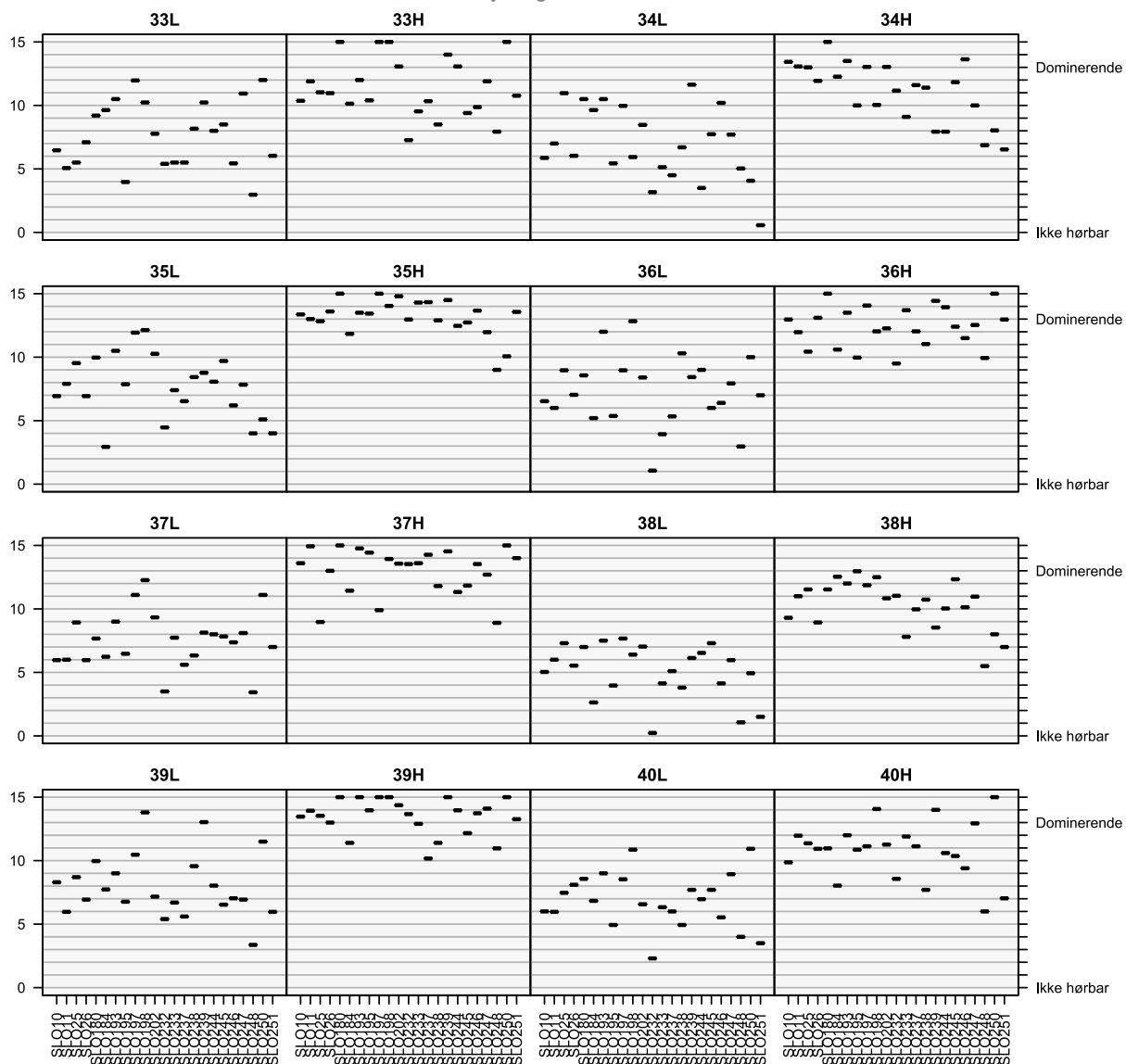


Sample x AssessorID (23 assessors)

Tydelighed



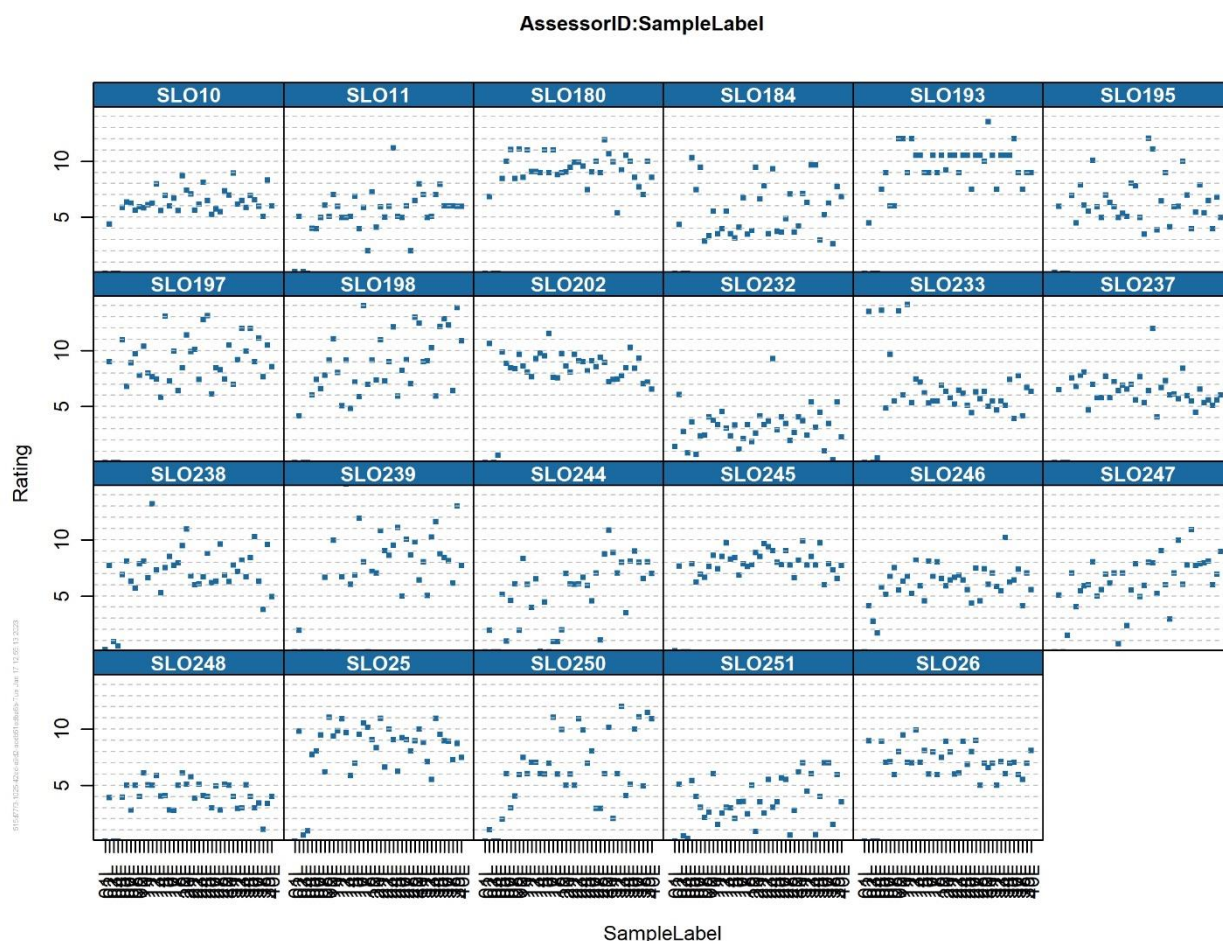
Sample x AssessorID (23 assessors) Tydelighed



Bedømmelser pr. assessor

For bedømmelserne af Tydelighed i dette afsnit er den enkelte assessors bedømmelser anført i hver rude. Stimuli anført med et stigende nummer på x-aksen.

Da P-værdien af stimuli er stigende fra venstre mod højre, forventes det i lighed med tidligere lyttetests, at der er en stigende tendens for bedømmelserne. Det er dog kun tilfældet for få assessorer.



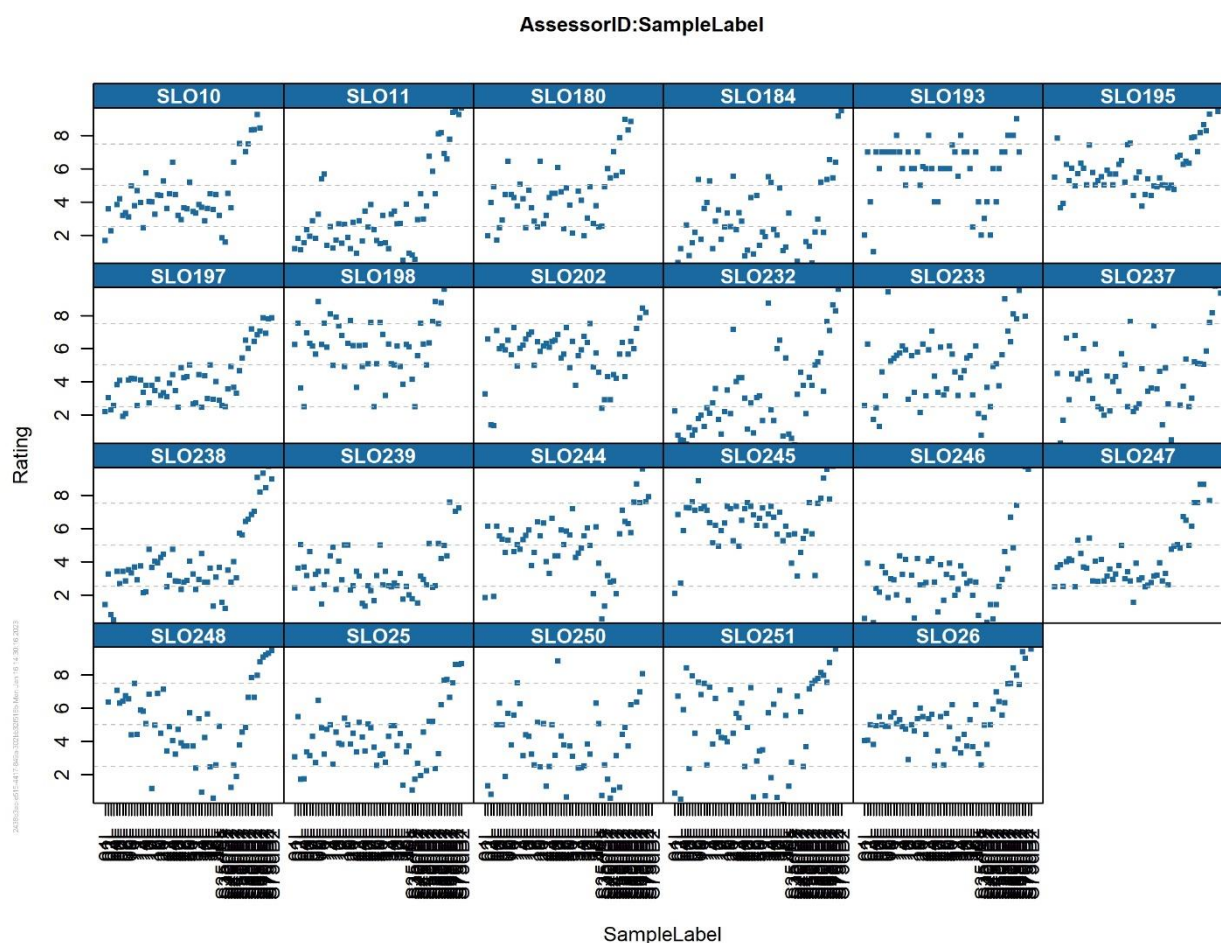
Bedømmelser af Tydelighed for L-stimuli.



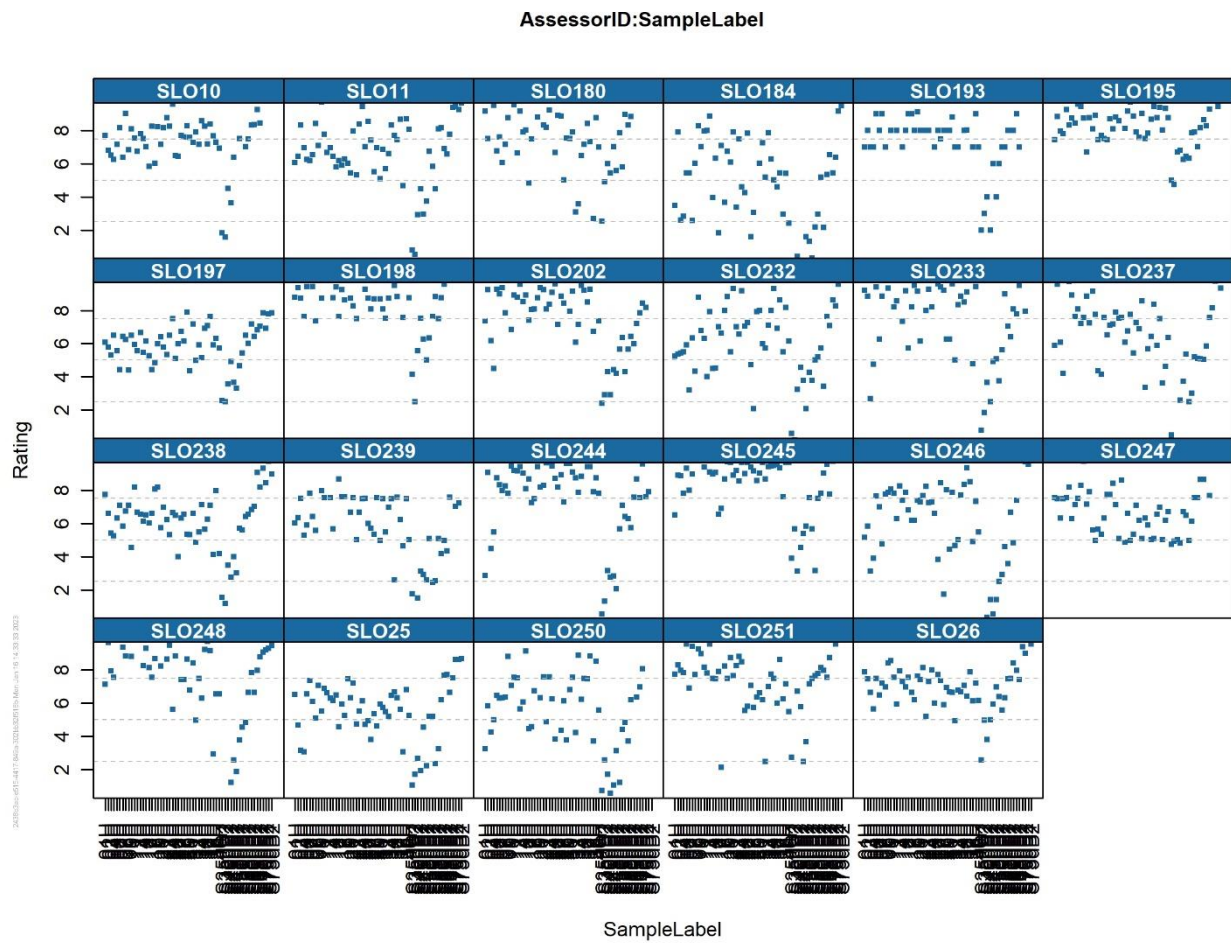
Bilag 7 Individuelle bedømmelser af Gene

For bedømmelserne af Gene i dette afsnit er den enkelte assessors bedømmelser anført i hver rude. Stimuli anført med et stigende nummer på x-aksen. P-værdien af stimuli er stigende fra venstre mod højre indtil bedømmelserne af referencestimuli, som er kontinuert støj med $L_{Aeq} = 35$ til 75 dB, der er anført længst til højre. De kan kendes på de lange navne og de samme referencestimuli er medtaget både i figuren med L-stimuli og figuren med H-stimuli. Det ses, at for alle stiger genen med niveauet af referencestimuli.

Det ses, at genen generelt er lavere for L-stimuli (ved $L_{Aeq} = 40$ dB) end ved H-stimuli ($L_{Aeq} = 60$ dB), men for ingen af de to grupper ses en tydelig stigning af genen med stigende P-værdi.



Bedømmelser af Gene for L-stimuli.



Bedømmelser af Gene for H-stimuli.



Bilag 8 Optimering af metoden

Optimale maksimum for stejlhed

Som bl.a. det finske lytteforsøg indikerede, se afsnit 5.2 og 12.2, ser det ud til, at metoden overvurderer det fysiske tillæg i forhold til det subjektive tillæg, når impulserne stejlhed er høje. Det kunne tyde på, at hørelsen går i mætning, når stejlheden overstiger en vis grænse.

For at finde denne grænse er der udført regressionsanalyser mellem den perceptuelle tydelighed P_P (beregnet ud fra det subjektive tillæg, K_{IS} , med formlen $P_P = 5 + K_{IS}/1,8$) som den afhængige variable og $\log(OR)$ samt $\log(LD)$ som de uafhængige variable. Analyserne er udført med forskellige begrænsninger i stejlheden, og indflydelsen af dette på andelen af forklaret varians, R^2 , kan ses i Tabel 10.

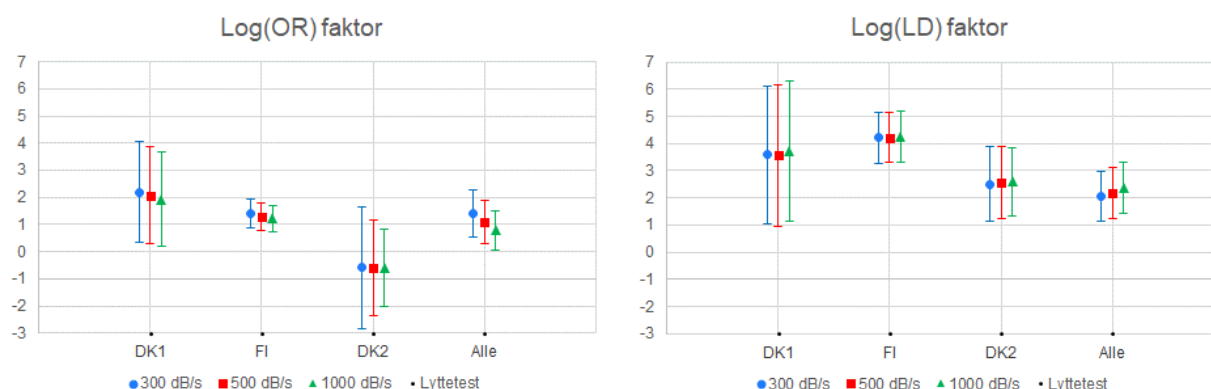
Max OR, dB/s	100	300	500	1000	2000	3000
DK1	0,73	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74
FI	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
DK2	0,31	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
Alle	0,42	0,42	0,40	0,39	0,38	0,38

Tabel 10 Andel af forklaret varians, R^2 , for forskellige begrænsninger i stejlheden ved regressionsanalyser med den perceptuelle tydelighed P_P (beregnet ud fra det subjektive tillæg, K_{IS}) som afhængig variable og $\log(OR)$ samt $\log(LD)$ som de uafhængige variable. Hver række i tabellen viser resultaterne for det pågældende datasæt.

I tabellen er de stejlheder med de højeste R^2 -værdier markeret med rødt. Det ses, at følsomheden for ændringer i stejlhederne ikke er særlig stor, hvilket nok skyldes, at der ikke er så mange stimuli, hvor det har indflydelse.

Måske er forskellene i R^2 ikke signifikante, men hvis man alligevel ud fra tabellens tal skal vælge den begrænsning af stejlheden, der giver den højeste score for flest datasæt, bliver det enten 300 eller 500 dB/s.

For at se, hvilken indflydelse forskellige valg har på faktorerne for $\log(OR)$ og $\log(LD)$, er disse faktorer vist på Figur 77 for begrænsninger i stejlheden på henholdsvis 300, 500 og 1000 dB/s.



Figur 77 Faktorerne til $\log(OR)$ og $\log(LD)$ for hvert datasæt (x-aksen) for forskellige valg af begrænsning for stejlheden. De lodrette intervaller angiver 95 % konfidensintervallerne for faktorerne.

Det ses, at det kun har ubetydelig indflydelse på faktorerne, hvilken begrænsning af støjheden, der vælges. Det ses også, at konfidensintervallerne er ret store for nogen af datasættene.

Hvis man fx vælger en faktor for log(OR) på 1,5, vil den ligge indenfor konfidensintervallerne for DK1, FI og det kombinerede datasæt med alle tre tests. En faktor på 3,5 for log(LD) ligger indenfor konfidensintervallerne for datasættene DK1, FI og DK2, men lige netop ikke for Alle.

Optimering af metodens konstanter

Der er udført regressionsanalyser for hvert af datasættene DK1, FI, DK2 og alle tre datasæt samlet.

Regressionsanalysen finder de konstanter, der giver den bedste lineære tilpasning mellem det subjektivt fundne tillæg K_{IS} af de uafhængige variable log(OR) og log(LD) efter formelen:

$$K_{IS} = k_1 \times \log(OR) + k_2 \times \log(LD) + K_{Skæring}$$

De resulterende konstanter er vist i Tabel 11 sammen med konstanterne i en optimeret metode og konstanterne i impulsmetoden.

Det skal bemærkes, at modellernes nøjagtighed ikke berettiger til at medtage decimaler i dB-angivelsen af niveauer. Det kan være berettiget at medtage en decimal for middelværdier, og i alle tilfælde er det valgt at medtage en decimal for bedre at kunne se forskelle og tendenser.

	DK1	FI	DK2	Alle	Optimeret	Metode
Log(OR)	2,08	1,28	-0,60	1,11	1,5	3
Log(LD)	3,56	4,22	2,55	2,19	3,5	2
Skæring	0,57	-0,63	5,14	2,27	0	0

Tabel 11 Konstanter fra regressionsanalysen for hver af datasættene DK1, FI, DK2 og Alle (de sammenstillede data) sammen med konstanterne i en optimeret metode og i impulsmetoden.

Når hver af disse sæt konstanter bruges til beregning af det fysiske tillæg, K_I , viser Tabel 12 andelen af forklaret varians for det subjektive tillæg, K_{IS} , for hver af datasættene. Tabellen læses som følger: Hver søjle angiver R^2 , når de konstanter, der hører til datasættet, som er anført i tabellens øverste række, indsættes i analysen for det datasæt, der er anført i tabellens venstre søjle. For impulsmetoden (de to sidste søjler) er analysen foretaget både uden begrænsning af maksimalværdien af støjheden (dvs. 3000 dB/s) og med samme begrænsning som for de øvrige datasæt (500 dB/s).

	DK1	FI	DK2	Alle	Optimeret	Metode	Metode
Max OR, dB/s	500	500	500	500	500	3000	500
DK1	0,75	0,74	0,58	0,74	0,74	0,73	0,73
FI	0,92	0,93	0,56	0,89	0,93	0,85	0,86
DK2	0,26	0,28	0,3	0,24	0,27	0,17	0,22
Alle	0,4	0,4	0,29	0,4	0,4	0,33	0,38

Tabel 12 Andelen af forklaret varians, R^2 , mellem de subjektivt bestemte tillæg, K_{IS} , og de fysiske bestemte tillæg, K_I . Analyserne er udført for de datasæt, der er anført i første søjle og K_I er beregnet med de konstanter, der hører til regressionsanalysen af de data der fremgår af tabellens to øverste rækker.

Det ses, at konstanterne hørende til datasættene DK1 og FI giver høje R^2 -værdier for alle datasæt. Konstanterne for Alle er en smule dårligere undtagen for datasættet Alle. De optimerede konstanter gør ikke de bedste R^2 -værdier fra de andre datasæt nævneværdigt dårligere, mens impulsmetodens konstanter ikke er så optimale. Det bliver lidt bedre, hvis man indsætter en begrænsning i stejlheden på 500 dB/s.

Andelen af forklaret varians udtrykker, hvor god den optimale lineære tilpasning mellem den afhængige og de uafhængige variable er. Den søger ikke efter en 1:1 tilpasning mellem det subjektive tillæg, K_{IS} , og det fysiske tillæg, K_I . Konstanterne i den optimerede metode giver en sådan tilpasning, uden at det går nævneværdigt ud over R^2 -værdierne.

Tabel 13 viser den gennemsnitlige forskel i dB mellem de subjektive tillæg, K_{IS} , og de fysisk beregnede, K_I , for alle datapunkter. Det ses, at den optimerede metode giver den mindste, samlede fejl (summen af gennemsnitlige afvigelser).

	DK1	FI	DK2	Alle	Optimeret	Metode	Metode
Max OR, dB/s	500	500	500	500	500	3000	500
DK1	2,4	4,1	4,3	3,5	3,5	2,5	2,5
FI	3,3	0,7	2,5	1,3	0,7	2	1,9
DK2	5,6	3,7	2,8	3,1	3,5	5,7	5,2
Alle	4,1	3	3,1	2,7	2,8	3,8	3,6
Sum	15,4	11,5	12,7	10,6	10,5	14	13,2

Tabel 13 Den gennemsnitlige forskel (fejl) i dB mellem, K_{IS} , og K_I , for de datasæt, der er anført i venstre søjle beregnet med de konstanter, der hører til regressionsanalysen af de data, der fremgår af tabellens to øverste rækker.

Ud over i gennemsnit at tilpasse metoden bedst muligt til lyttetestenes resultater er det også vigtigt, at der er overensstemmelse mellem de maksimale tillæg, der er fundet i lyttetestene og de maksimale tillæg, som metoden beregner. De subjektive tillæg i DK1 er ikke målt direkte, men er indirekte fundet ved beregning ud fra de bedømte tydeligheder. I FI og DK2 er de subjektive tillæg fundet direkte ud fra bedømmelser af genen sammenlignet med genen fra en referencestøj uden impulser. Selv om datakvaliteten for DK2 ikke er optimal, bør der derfor alligevel lægges mest vægt på de maksimale tillæg fundet ved de to sidstnævnte lyttetests.

Det ses af Tabel 14, at hvis der lægges mest vægt på resultaterne for FI og DK2, så overvurderer konstanterne for DK1 maksimalværdierne, mens konstanterne for DK2 og Alle undervurderer dem. Den optimerede metode finder maksimalværdier for tillægget, der ligger ret tæt på dem, der er fundet ved lyttetestene.

Resultaterne viser, at den oprindelige impuls metode overvurderer de maksimale tillæg, hvilket også stemmer overens med konklusionerne i den finske artikel, [11]. Hvis der i metoden indføres en begrænsning for stejlheden på 500 dB/s, bliver det lidt bedre, men ikke så godt som hvis de optimerede konstanter indføres.

	Subj. Max K_{Is}	DK1 Max K_I	FI1,47 Max K_I	DK2 Max K_I	Alle Max K_I	Optimeret	Metode	Metode
Max OR, dB/s	-	500	500	500	500	500	3000	500
DK1	13,4	12,0	7,9	4,6	6,6	8,1	11,1	11,1
FI	8,1	12,3	8,1	5,7	6,7	8,2	12,3	11,3
DK2	9,7	12,7	8,6	5,2	7,0	8,6	14,6	11,5

Tabel 14 De maksimale tillæg fundet ved lyttetestene, Max K_{Is} , og de maksimale fysisk beregnede tillæg, Max K_I for de datasæt, der er anført i venstre søjle beregnet med de konstanter, der hører til regressionsanalysen af de data, der fremgår af tabellens to øverste rækker.

I alle foregående beregninger har der ikke været indsat nogen grænse for den maksimale niveaudifferens, LD. I betragtning af hørelsens store dynamikområde virker det heller ikke umiddelbart relevant at indføre en sådan begrænsning.

Hvis man alligevel ønsker at sikre en øvre grænse for impulstillægget, kan man enten indføre en begrænsning på tillægget direkte, eller man kan sætte en øvre grænse for niveaudifferensen.

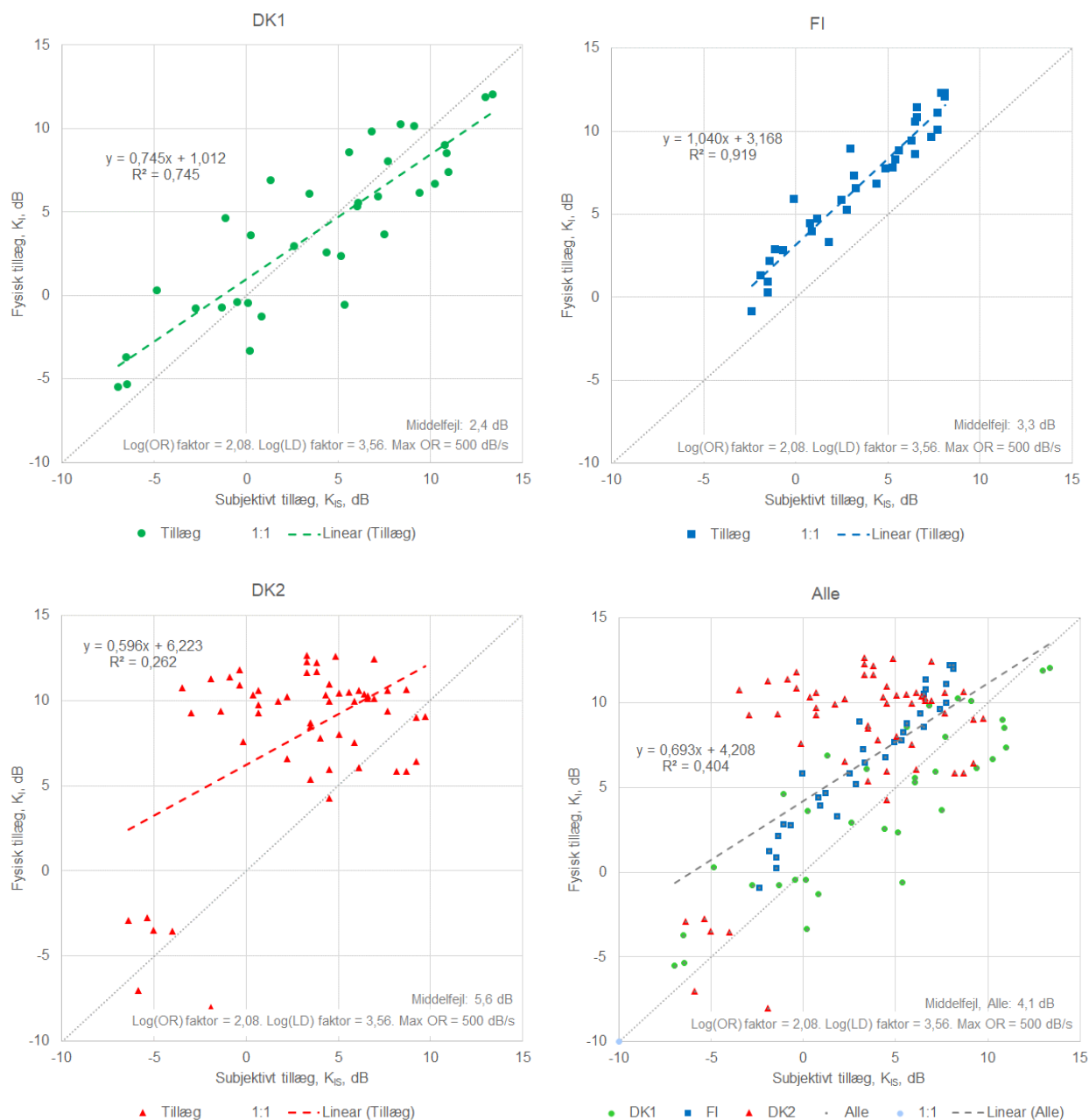
I det foregående er der lagt op til en grænse for stejlheden på 500 dB/s, og hvis denne suppleres med en grænse på 50 dB for niveaudifferensen, vil tillægget ikke kunne overstige 9 dB.

Det skal så i øvrigt bemærkes, at den maksimale niveaudifferens for lyttetestenes stimuli (hvoraf nogle var meget impulsive) var 44 dB, og det maksimale beregnede tillæg, K_I , med den optimerede metode var 8,6 dB.

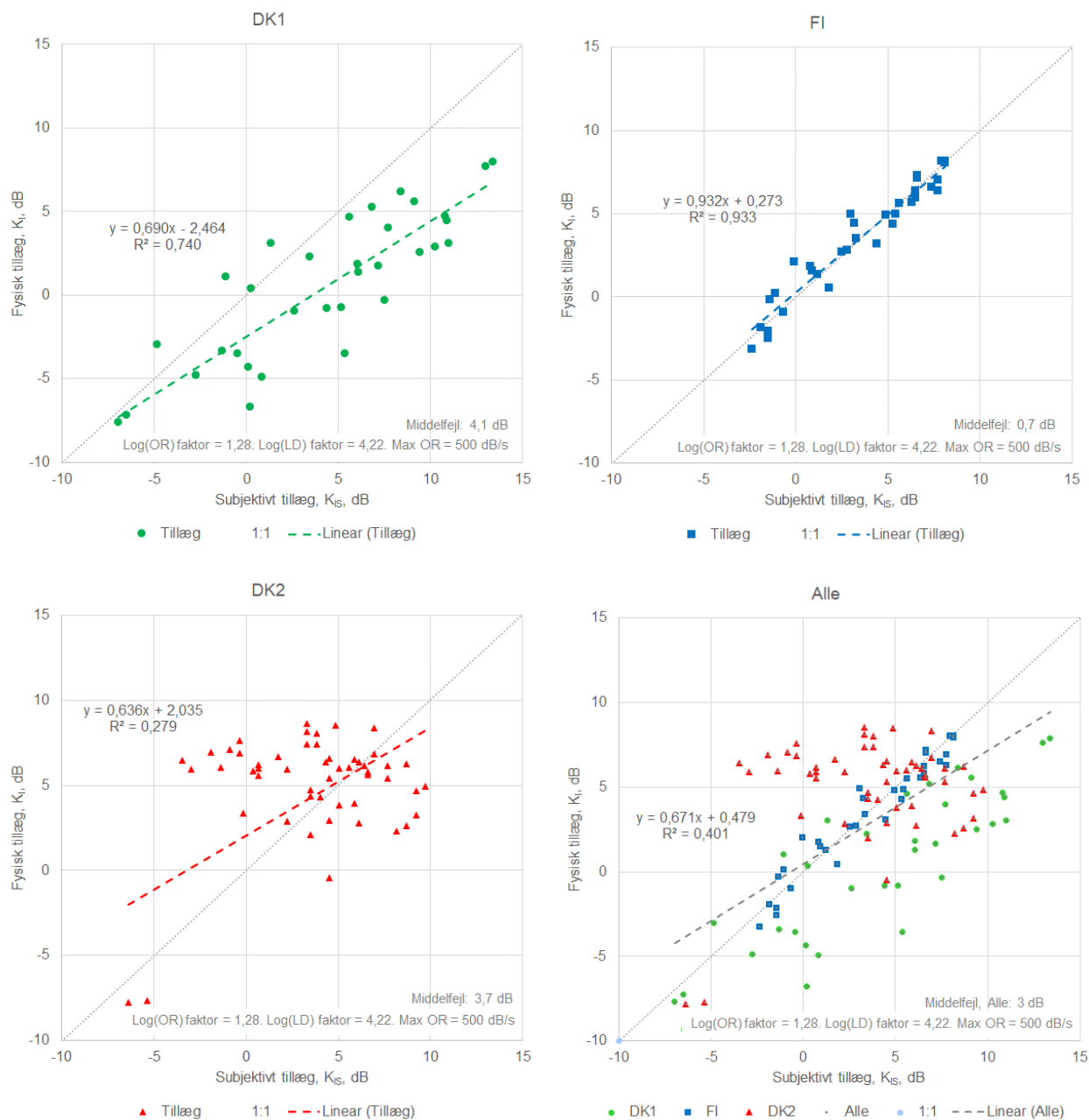
Effekterne på data af overvejelserne i dette afsnit kan ses i detaljer i næste afsnit.

Forskellige modeller for beregning af K_t

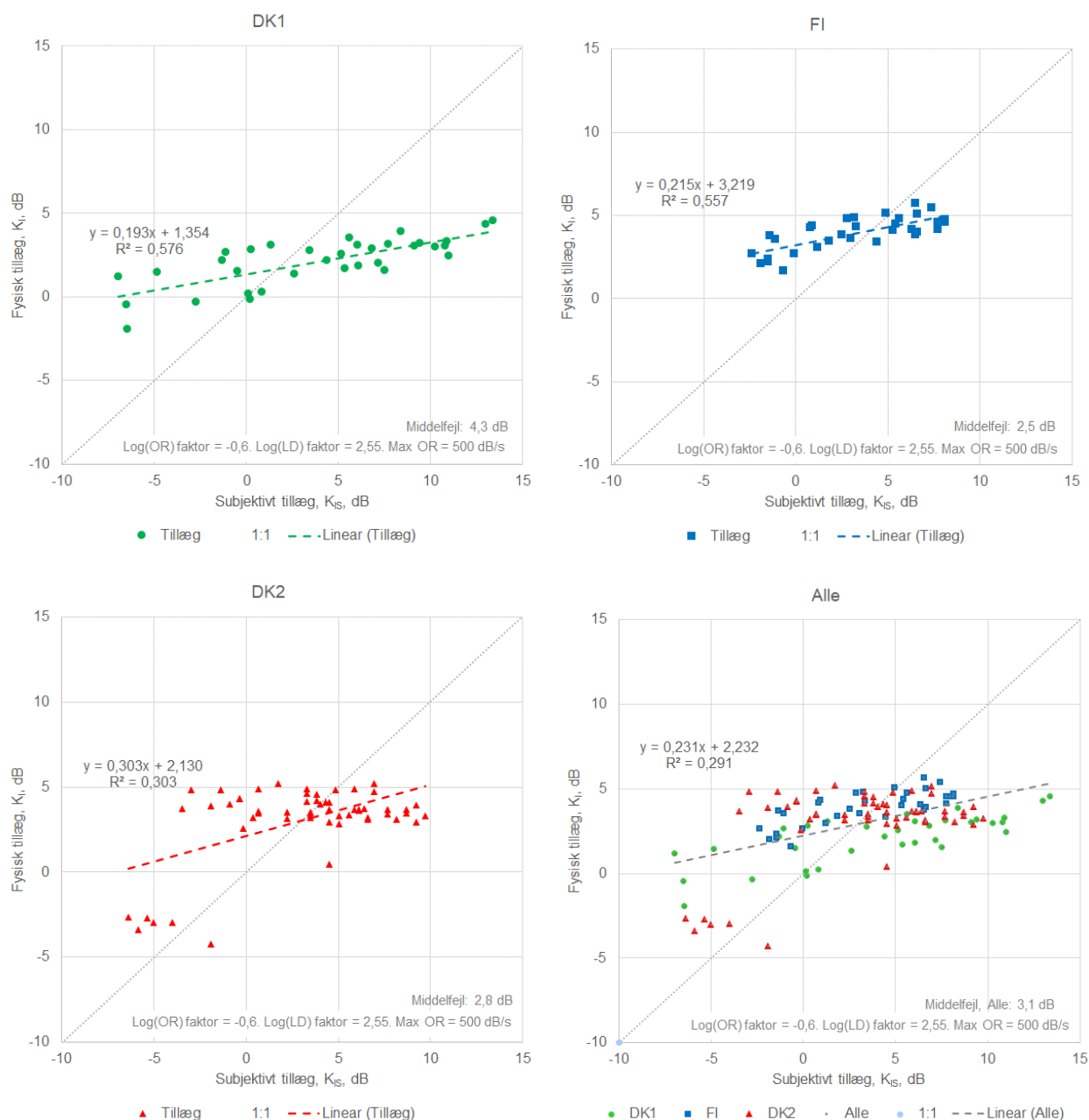
Her vises grafer med sammenhængen mellem de subjektivt fundne data for impulstillæg, K_{IS} , og de fysisk beregnede, K_t , med forskellige modeller, som er diskuteret i afsnit 0 og 0.



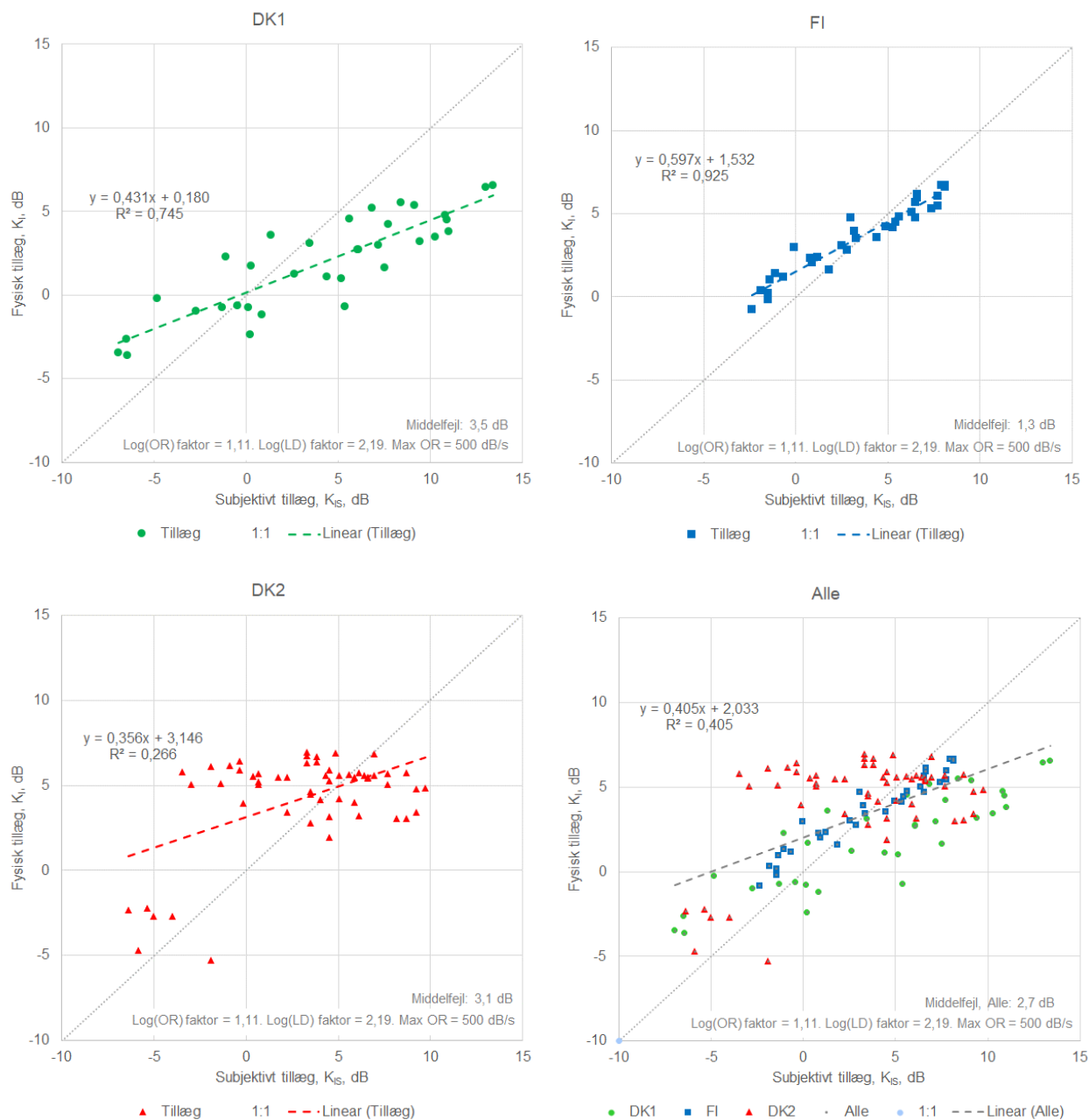
Figur 78 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med konstanterne fundet ved regression af datasættet DK1. Hver røde angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



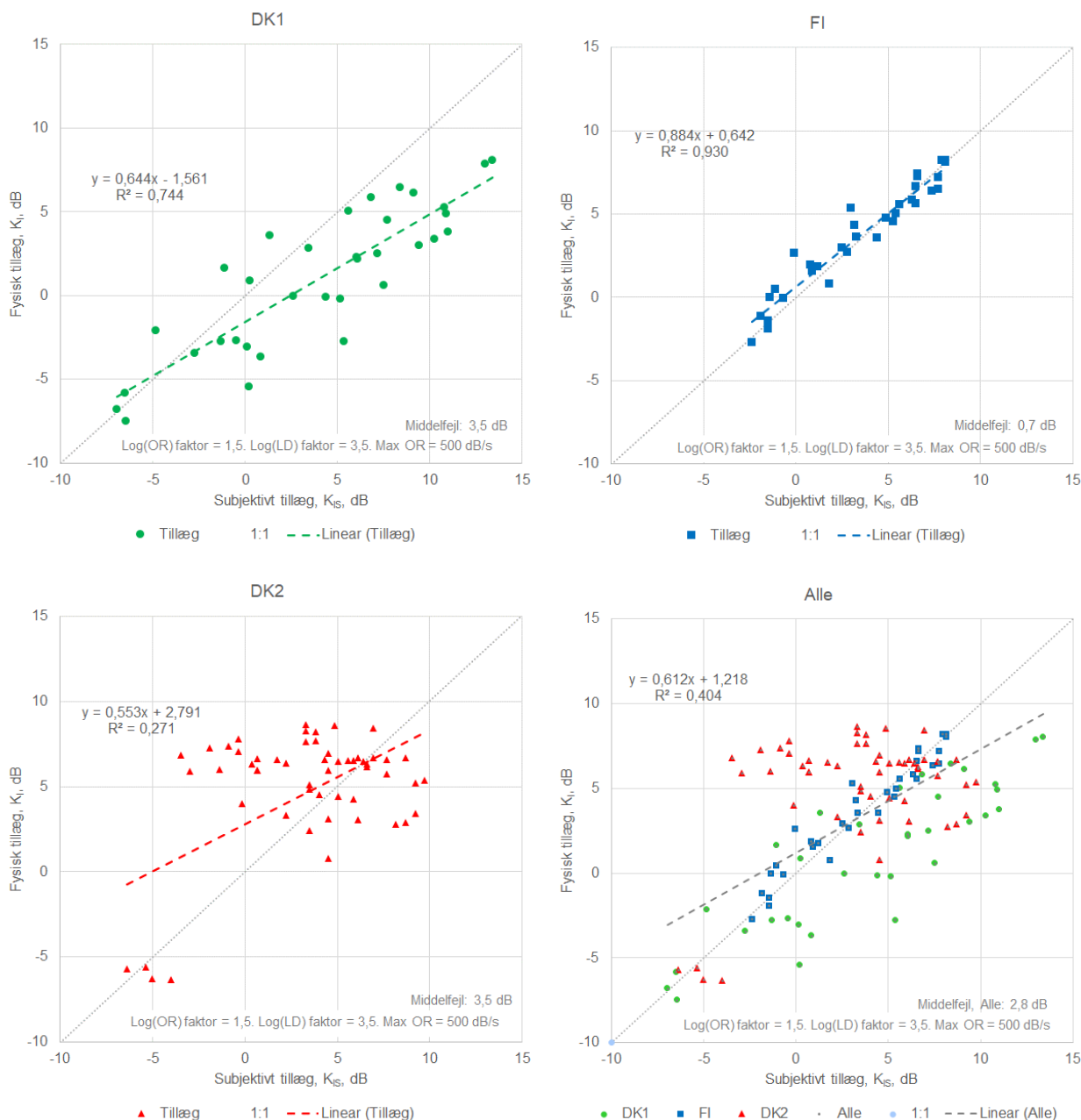
Figur 79 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med konstanterne fundet ved regression af datasættet FI. Hver røde angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



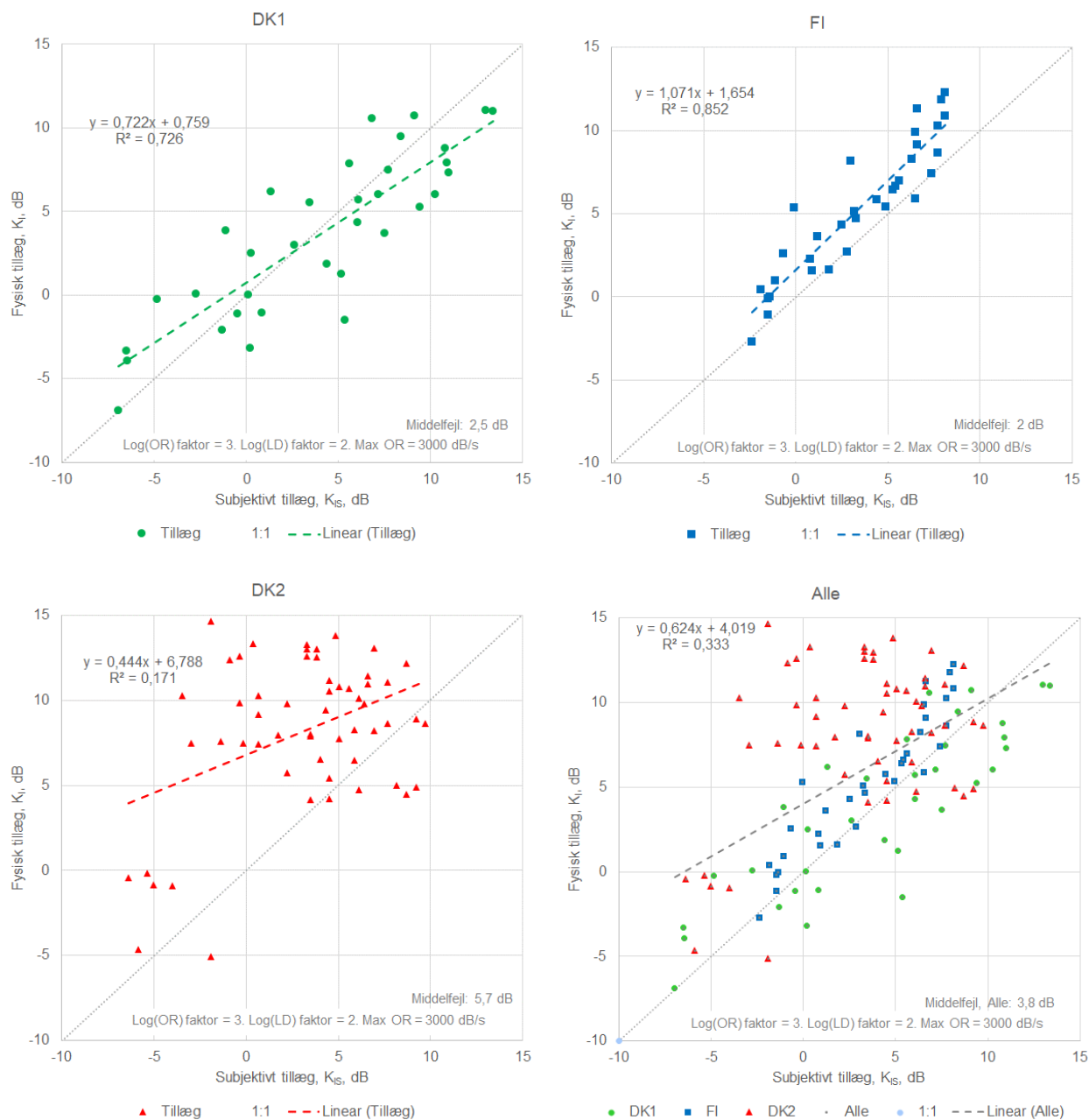
Figur 80 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med konstanterne fundet ved regression af datasættet DK2. Hver røde angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



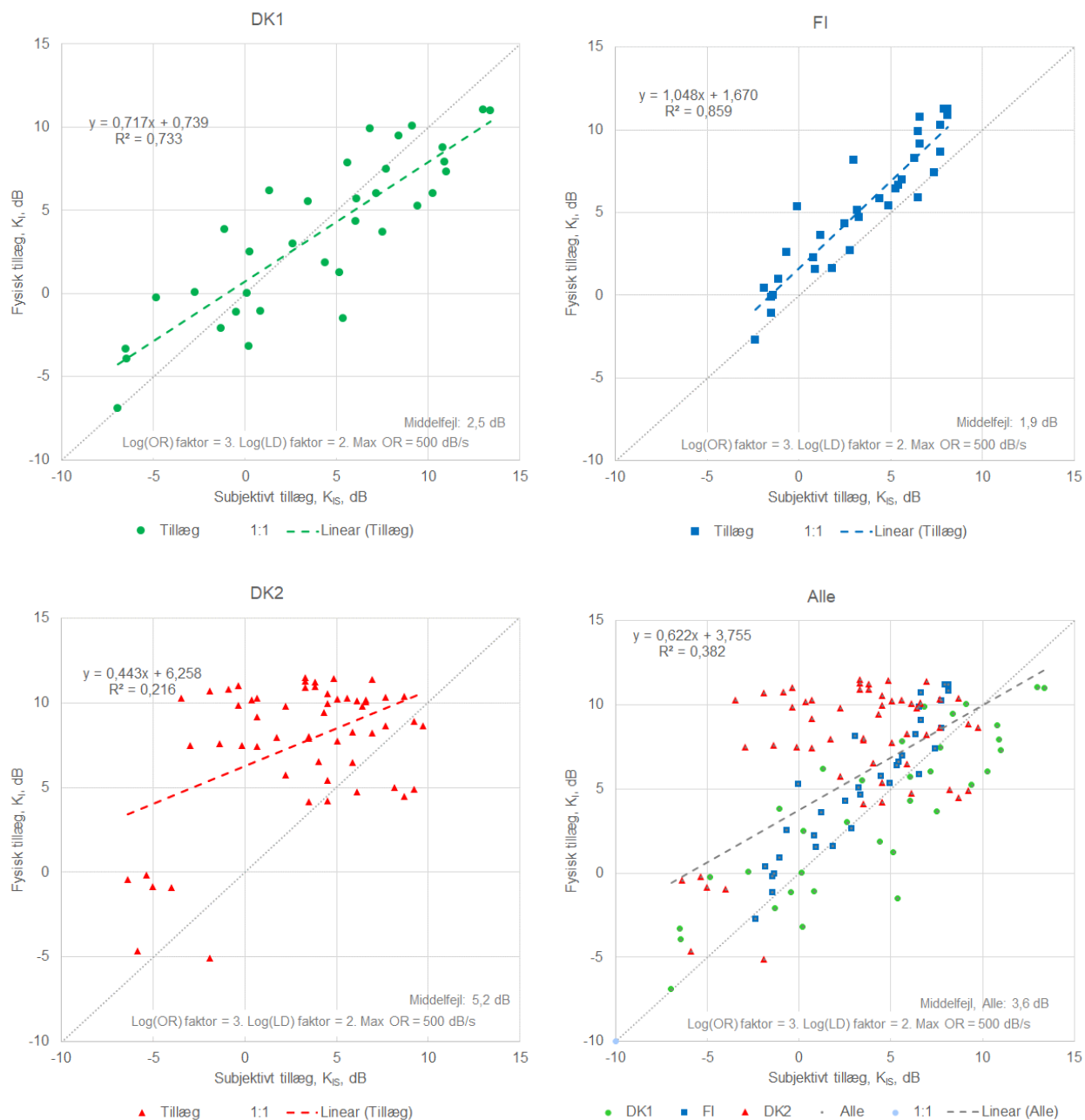
Figur 81 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med konstanterne fundet ved regression af datasættet Alle. Hver rude angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



Figur 82 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med de optimerede konstanter $\log(OR)$: 1,5, $\log(LD)$: 3,5 og maksimal stejlhed, OR: 500 dB/s. Hver rude angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



Figur 83 Det subjektive tillæg (x-aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y-aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med de oprindelige konstanter log(OR): 3. log(LD): 2 og ingen grænse for maksimal stejlhed. Hver røde angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.



Figur 84 Det subjektive tillæg (x -aksen) i forhold til det fysiske tillæg (y -aksen). Det fysiske tillæg er beregnet med de oprindelige konstanter $\log(OR)$: 3. $\log(LD)$: 2 og en grænse for maksimal stejlhed på 500 dB/s. Hver røde angiver resultaterne for det datasæt, der er angivet i overskriften.

Bilag 9 Sammenligning af originale og optimerede metode

Tabellen nedenfor viser de beregnede impulstillæg, K_I i dB for dels den originale metode, dels den optimerede metode. Det er valgt at tage negative tal med, men disse skal erstattes af nuller i selve metoden.

Den optimerede model giver i gennemsnit 3,3 dB mindre tillæg, men op til 7 dB mindre tillæg forekommer.

Stimulus	L, $L_{Aeq}=40$ dB		H, $L_{Aeq}=60$ dB	
	Orig. K_I , dB	Opt. K_I , dB	Orig. K_I , dB	Opt. K_I , dB
01 Lyserød støj	-4,7	-9,2	-5,1	-10,2
02 Gummiged Motor	-0,9	-3,2	-0,4	-5,7
03 Motorvej 49 m	-0,4	-5,7	-0,9	-6,3
04 Motorvej 158 m	-0,2	-5,6	-0,8	-6,3
05 Gummiged skraber med skovl a	3,6	1,9	3,4	1,6
06 Vinkelsliber fire slib	3,8	2,6	7,8	6,6
07 Gummiged skraber med skovl b	3,2	-0,2	4,5	1,2
08 Skramlende trådvogne	5,4	0,8	5,7	3,3
09 Kompressor tre start stop	3,7	1,6	5,6	3,7
10 Sten smides i container	5,0	2,8	6,5	4,3
11 Kompressor to start stop	4,5	2,2	6,3	4,6
12 Vinkelsliber to slib	2,9	0,7	6,8	5,1
13 Kompressor et start stop	5,2	3,0	6,7	4,9
14 Sten rasler i trillebør	4,2	3,1	7,4	5,9
15 Gummiged ryster jord af skovl b	7,5	4,6	7,5	4,5
16 Trykluft et pust	4,7	3,1	7,5	5,9
17 Luftudslip	6,5	4,5	7,6	6,0
18 Trykluft tre pust	4,1	2,4	8,0	6,6
19 Slagnøgle to gange	4,9	3,4	8,2	6,7
20 Gummiged ryster jord af skovl a	7,8	4,9	8,1	5,2
21 Slagnøgle fire gange	4,5	2,9	8,3	6,5
22 Kollision af trådvogne	8,0	4,9	9,2	6,0
23 Bump på affaldsspand	8,7	5,7	9,4	6,6
24 Dørsmæk bil	8,6	5,4	9,8	6,5
25 Sten køres i trillebør	7,9	5,1	9,9	7,1
26 Bump på stålrampe	7,8	4,4	9,8	6,4
27 Flasker køres i plastcontainer	8,9	5,2	10,3	6,6
28 Sten skovles	7,5	4,0	10,3	6,8
29 Metalrør smides	10,6	7,0	12,6	8,6
30 Slag på metal	11,0	6,3	12,4	7,4
31 Flasker rasler i plastcontainer	10,7	6,5	12,5	7,7
32 Løbehjul på rampe	11,4	6,6	12,8	7,1
33 Slag på træskaft	11,4	6,2	12,6	7,8
34 Skraben på skovl	11,2	6,0	13,0	7,7
35 Flasker smides i plascontainer	10,1	6,7	13,0	8,2
36 Banken på skovl	10,8	6,5	13,3	8,3
37 Smæk med containerlåg	12,2	6,7	13,1	8,4
38 Skateboards	12,4	6,8	13,1	7,4
39 Slag på metalstang	11,1	6,6	13,8	8,6
40 Slag på sten	13,3	6,3	14,6	7,3

Bilag 10 Yderligere aktiviteter

Kontakt til ISO

Metoden er udgivet som en ISO/PAS metode, [7]. Det er en offentligt tilgængelig specifikation, der er udgivet for at imødekomme et presserende markedsbehov. Den tjener også som et middel til at få feedback til eventuelle ændringer til en international standard. Offentligt tilgængelige specifikationer har en maksimal levetid på seks år, hvorefter de kan omdannes til en international standard eller trækkes tilbage.

Det vil derfor give mening at kontakte ISO og informere om resultaterne og de ændringer for metoden, man måtte beslutte i Danmark.

Referencestøj

Som nævnt i rapportens afsnit 11.2 har valget af referencestøj betydning for størrelsen af de impulstillæg, man ender med. Det er en almindelig anvendt teknik at anvende vejtrafikstøj eller andre stationære støjtyper som referencestøj, se fx referencerne [24], [25], [26], [27], [28] og [11].

Konsekvenserne og muligheden for at sammenligne resultater opnået ved lyttetest med forskellig referencestøj er yderst relevant for resultaternes anvendelse i forbindelse med miljøspørgsmål.

Der bør derfor ses nærmere på referencestøjens betydning.

Ny underbyggende lyttetest

I DK2 lyttetesten var der en meget fin bedømmelse af referencestøjen og god sammenhæng mellem bedømmelser af gene og tydelighed. Det tyder på den ene side på en pålidelig lyttetest, men generelt var DK2 lyttetestens resultater ikke optimale. Det kan undre, da metodikken og typen af stimuli er meget sammenlignelig med DK1-lyttetesten. Der er ikke nogen definitiv forklaring på forskellene på de to sæt resultater, men der er følgende muligheder for forbedringer:

- Ikke alle lyttere forstod impulsbegrebet som defineret i metoden. Træning i tydelighed og bedre instruktion bør overvejes.
- Anvendelse af testtyper med mulighed for sammenligning af tydeligheder (multi-stimulus)?
- Brug af en "Napping metodik" for Gene, hvor genen af impulser sammenstilles med gene pga. andre karakteristika (fx Y: Gene af impulser, Y: gene af andre årsager fx toner, skærende lyde, brummen...), så genen fra impulser kan isoleres.
- Undersøg om anvendelse af anden referencestøj vil være relevant.
- Overvej om det har betydning, at optagelser er niveauregulerede med op til +/-25 dB for at give stimuli samme L_{Aeq} -niveauer. Denne forudsætning er i øvrigt ikke nødvendigt ved beregning af tillægget ud fra dosis-responskurven af referencestøjen.
- Overvej om optagelser i forskellige afstande giver en bedre variation i tydeligheden og evt. et bedre grundlag for bedømmelser end de simulerede effekter af afstanden.
- Både kunstige lyde (som i FI) og virkelige lyde (DK1 og DK2) har fordele og ulemper som stimuli. Typen og valg af stimuli bør genovervejes. Måske skal man supplere med nogle sæt af virkelige lyde, hvor impulskaracteren er det eneste karakteristikum, der varierer.

Niveaafhængighed af impulstillægget

Som det fremgår af 10.3, er der både i DK2 og i tidligere referencer fundet en niveaafhængighed af impulstillægget. Det vil komplicere metoden at indføre et niveaafhængigt tillæg, men betydningen af dette bør undersøges nærmere.

Tillæg baseret på maksimal tydelighed eller gennemsnit af flere impulser

Det er kun orienterende undersøgt, om impulstillægget bedst tilnærmer de subjektive bedømmelser ud fra den maksimale impuls eller ud fra et gennemsnit af fem impulser. Data er tilgængelige (se Bilag 3), og der synes ikke at være den store forskel på de to muligheder. Det kunne der dog med fordel ses nærmere på.

NB! Hvis det skulle vise sig, at gennemsnittet af fem impulser giver den bedste korrelation med genen, skal man være observant på følgende: Ved automatiserede målinger kan man komme til at indregne svage impulser, som fx kunne stamme fra baggrundsstøjen i gennemsnittet, hvis man ikke passer på.

Samme problem kan opstå, hvis støjen kunne stamme fra flere forskellige arbejdsprocesser, hvoraf den ene giver væsentlig højere impulser end den anden.