

LYD OG STØJ

BEKÆMPELSE AF TRAFIKSTØJ I AARHUS



Indholdsfortegnelse

**Klikker du på Ctrl + de blå titler,
kommer du direkte frem til siden**

1. Indledning

Vejstøj er en farlig stressfaktor
Eksempler på uheldig byudvikling
Vi har tidligere stået i en lignende situation
Aarhus Byråd kan gentage succesen

2. Støj er generende og kan være farlig

Indledning
Det er muligt at fjerne støjen
Støj er farlig for vores helbred

3. Lydtyper

Lydens frekvens
Lydens hastighed
Sinusformede svingninger
Harmoniske svingninger
Ikke-periodiske svingninger
Filtertyper
Filter med konstant båndbredde
Filter med relativ båndbredde
Aflæsning af lydkurver
Lydtransienter

4. Logaritmer

5. Lydintensitet og Lydintensitetsniveau

Lydintensitet
Lydintensitetsniveau

6. Flere støjkloder på samme tid

7. Energiækvivalerede lydniveauer, L_{eq}

Historiske betragtninger
Det energiækvivalente lydniveau
Kortvarig kraftig lydimpuls (transient)

8. Juridisk støjbelastning, L_{den}

Støjkort
 L_{den} er beregnet ud fra statistiske værdier
 L_{den} er baseret på støjenergiens middelværdi
Det Afgørende er effekten - ikke kun energien
Juraen passer ikke sammen med realiteterne
Forkert at anvende L_{den} ved byudvikling

9. Punkt- og linjeformede støjkloder

Støjens udbredelse fra en punktformet støjklode:
Støjens udbredelse fra en linjeformet støjklode:
Er en støjklode punktformet eller linjeformet

10. Absorption og refleksion

11. Psykoakustik

Hørelse
Støjpåvirkning
Mellemørets knogler og muskler
Stapediusmuskulens egenskaber
Tensor Tympanismuskulens egenskaber
Høreprøver og reaktioner
Forskernes iagttagelser
Støjimpulser og transienter
Hvad kan man gøre ved det?
Konklusion
Kilder

12. Støj fra biler

Motorstøj
Dækstøj
Motorstøj og dækstøj
De store motorer giver de største problemer
Dybe og lyse toners udbredelse
De mest støjramte områder

13. Bilers optimale hastighed og fremkommelighed

Indledning

Vejstøj er en farlig stressfaktor

Vejstøj er en stressfaktor, og statistikken viser, at der dør 10.000 mennesker hver år som følge af vejstøj i Den Europæiske Union. Alligevel fastholder man loven, hvori støjindikatoren L_{den} indgår som en vejledende størrelse.

Danmark har tilsluttet sig EU-lovgivningen, så i Aarhus skal loven også fastholdes. Statistisk medfører vejstøjen, at der hvert år indlægges mellem 50 og 125 på sygehuset i Aarhus med forhøjet blodtryk og hjertekarsygdomme. Med de samme kilder og statistik dør hvert år mellem 12 og 30 mennesker af trafikstøj i Aarhus.

Denne viden har stået til rådighed de sidste 20 år, og WHO's opfordring til at reducere støjgrænsen fra de angivne 58 dB til 53 dB (svarende til at reducere støjen til ca.30 %) er ikke fulgt.

I betragtning af sagens alvorlige karakter er det uforståeligt, at man i Danmark ikke har lovkrav, som ligger ud over EU's krav. For EU's krav til metode og talværdier er slet ikke i stand til at undgå gener, vækning sygdom eller død. Derfor ser man også stadigt flere beklage sig over vejstøj.

Eksempler på uheldig byudvikling

Støjmessigt har byudviklingen vist sig at være dårlig. For 160.00 bilister kører hver dag tværs over Ringvejen for at få Byen til at fungere. Især indfaldsvejene og de indre hovedveje i Aarhus er ikke alene meget støjramte – de er også udsat for stor forurening med CO₂ og giftige partikler. Og når bilerne kommer frem, fylder de op i gader og på torve og forhindrer det byliv, der var almindelig da bydelene blev bygget, og som nu ikke længere findes som følge af bilernes indtog.

For vores hjem er ikke kun den lejlighed eller det hus, vi bor i, og hvor vi kan holde støjen ude med specielle vinduer. Vores hjem er også vores omgivelser, vores naboer, vores vej, vores kvarter, vores bydel, vores Aarhus. De tidligere så normale relationer, som fandt sted udendørs, er ikke længere til stede, hvor der er kraftig trafikstøj. Det gælder eksempelvis Hasle Torv, som blev forskønnet for mange millioner. Og skønt der i Hasle er et udtalt behov for socialt samvær, er Torvet altid mennesketomt, for trafikstøjen er alt for kraftig.

Undersøgelser har vist, at 80 % af alle biler, som kører i Midtbyen, kommer udefra. For at forhindre støj, giftige udstødningsgasser og parkerede biler har Borgmesteren velment foreslået at forhindre benzin- og dieseldrevne biler i at køre i Byen senest 2030.

(<https://stiften.dk/aarhus/borgmesteren-vil-forbyde-diesel-og-benzinbiler-i-aarhus-saa-hurtigt-som-muligt>).

Et lille regnestykke viser dog, det er en uheldig løsning: Forventer man nemlig, at mindre end halvdelen af bilerne tværs over Ringvejen skal parkere på parkeringspladser uden for Ringvejen, vil de fylde ca. $40.000 \times 25 = 1.000.000$ kvadratmeter, idet der skal være plads til ca. 40.000 biler, som erfaringsmæssigt hver bruger ca. 25 m² incl. til- og frakørsel. Det svarer til et areal på 140 fodboldbaner eller 20 parkeringshuse på 7 etager, hvert med et areal på størrelse med en fodboldbane.

Det er ikke en realistisk mulighed, ej heller at bilisterne skal betale meget høje parkeringsafgifter. Ydermere skal der investeres svimlende beløb til kollektiv transport fra parkeringspladserne til Midtbyen.

Men Aarhus har mange andre projekter undervejs, som blot vil forøge trafikstøjen. Mens Bünyamin Simsek var rådmand, varslede han, at Byens behov for infrastruktur lå på 16 milliarder kroner, hvoraf de ca. 12 milliarder skulle anvendes til veje, som altså skal benyttes af endnu flere støjende biler.

Et eksempel herpå er, at DSB med de nye meget hurtigere tog forventer en kraftig stigning i passagertallet. Og på trods af, at der kun bor ca. 65.000 aarhusianere inden for Ringgaden, skal Aarhus Hovedbanegård udbygges og broerne ændres, så der er plads tid de nye elektriske tog. De 270.000 aarhusianere – og i fremtiden mange flere - der bor uden for Ringgaden, skal derfor alle køre ind til Aarhus H for at komme videre rundt i landet.

Blandt andre eksempler er udvidelsen af havnen, som både giver mere godstransport på E45 og gennem byen og transport af medarbejdere, som arbejder på Havnen. De mange nye arbejdsplad-

ser i Byens kommende højhuse, på f.eks. Mindet 6 vil også forøge trafikmængden og dermed både trafikstøj, CO₂ og partikler.

Aarhus står i et dilemma for fremtiden tilbyder ikke den nødvendige arbejdskraft. Fortsætter udviklingen som forventer og som her beskrevet, vil såvel trafikstøjen som CO₂ forureningen stige, og det er stik imod alle intentioner.

Hvor der kører mange biler, er der både megen vejstøj og megen CO₂. Man kan reducere støjen med støjhegn og isolering – men det reducerer ikke CO₂ forureningen. Den eneste måde er at begrænse de kørte antal kilometer. Herved opnår man begge dele på samme tid. Hertil kommer mange andre fordele. Så det drejer sig i virkeligheden mest om byudvikling.

Vi kan ikke lade Borgmesteren, Byrådet eller Forvaltningen stå alene med problemerne, som skal løses. Tilsyneladende har man ikke den fornødne viden, for ellers havde man aldrig ladet det gå så vidt. De efterfølgende sider giver kun sjældent løsninger; men de giver grundlaget for at vælge til og fra, så vi opnår de optimale løsninger.

I mange år har der været kraftige protester mod trafikstøjen, senest i forbindelse med Giber Ringvej. Byens førende avis har bragt flere artikler om forholdene, f.eks. denne:

<https://stiften.dk/debat/stiften-mener-der-skal-hurtigt-goeres-noget-ved-stoejen-fra-giber-ringvej>

Såvel beboerne som Avisen bringer forhold frem som klart viser, at beboerne ikke har nogen relevant viden om de akustiske begreber, man arbejder med. Noget tyder på, at det samme gælder på både avisens redaktion og hos Kommunens administration. Det skaber naturligvis følelsen af afmagt hos alle parter, for vi ønsker formentlig alle at gøre det bedst mulige for hinanden.

Dette materiale er skrevet for at give enhver, som føler ansvar for sin by, mulighed for at sætte sig ind i de akustiske grundbegreber.

Uden kendskab hertil får man som regel en uhensigtsmæssig byudvikling.

Vi har tidligere stået i samme situation

I forbindelse med støj står vi i dag i en lignende situation, som vi stod i med den passive tobaksrygning i 1970'erne. Kræftens Bekæmpelse, Hjerteforening og Allergiforeningen tog sig af de mennesker der røg; dog desværre ikke af passivrygerne. Men i de større byer og i nogle få mindre blev nogle mennesker enige om i hver by at etablere lokalforeninger med navnet "Røgfrit Miljø".

Det gjorde vi også i Aarhus, hvor vi hurtigt fik kontakt med sygehuset, uddannelsesstederne, børneinstitutionerne, de offentlige transportselskaber, biblioteker og mange private virksomheder med henblik på, at de frivilligt skulle varetage ikke-rygernes interesser.

Senere skabte vi en landsdækkende forening, som sluttede op bag dr. med. Tage Egsmoses store arbejde og engagement.

Efterhånden kom der så mange beviser, som bekræftede vores arbejde, at Kræftens Bekæmpelse, Hjerteforeningen og Astma Allergiforeningen nu også blev varetager af passivrygernes interesser.

I Folketinget var det især den radikale politiker, Kirsten Lee, som kæmpede for passivrygernes sag. Det daværende byråd i Aarhus var meget progressivt og blev Landets foregangskommune.



Aarhus Byråd kan gentage succesen

Det er historie nu; men med det nuværende progressive Byråds sindelag, som bl.a. manifesterer sig i "Aarhus kompasset" "Et nyt Medborgerskab" og rådmand Nicolaj Bangs "Pejlemærker", <https://www.aarhus.dk/media/89603/pejlemaerker-nicolaj-bang-2023.pdf>

synes der at været grundlag for, at Århus Byråd atter kan tage førertrøjen på og vise, hvorledes man kan reducere trafikstøjen betragtelig og herved skabe en endnu bedre by.

Støj er generende og kan være farlig

Indledning

Akustisk støj er uønsket lyd – men grundlæggende er der ingen forskel på lyd og støj. Hvad din nabo synes er god musik, vil du måske opfatte som støj.

Støjen kan behandles på tre måder:

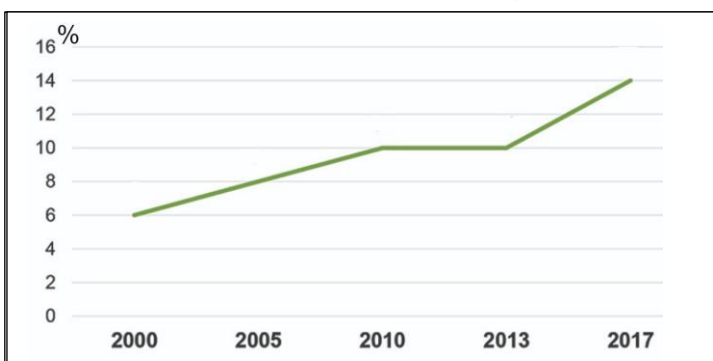
- 1) Fysisk med matematiske beskrivelser.
- 2) Juridisk. Det er love, som bl.a. Kommunen forsøger at opfylde.
- 3) Psykoakustisk. Det er støjofferets opfattelse af lyden.

Der bør naturligvis være overensstemmelse mellem juraen og psykoakustikken.

MEN DET ER DER IKKE!

Det er muligt at fjerne støjen

I Danmark er vi underlagt både nationale love og EU love, som skal medvirke til at begrænse støjen. Men de er ikke tilstrækkelige, for det er vanskeligt at kombinere jura med psykoakustik. Derfor er det vigtigt at beskrive forskellene, og forklare årsagen til uoverensstemmelsen. Undlader man det, kan man ikke sætte ind, hvor det er nødvendigt.



Undersøgelser viser, at stadigt flere bliver generet af trafikstøj. Det sker på trods af trods af mange tiltag for at begrænse vejstøjen.

https://www.sdu.dk/da/sif/ugens_tal/32_2019

Langt den meste støj er skabt af os mennesker. Derfor kan vi naturligvis også fjerne støjen, hvis vi vil.

Spørgsmålet er så blot, om viljen er stærk nok, og om vi har den fornødne viden?

Vi har alle været udsat for støj. Ofte resignerer vi og tænker, at det ikke kan være anderledes, når vi f.eks. bor i en stor by. Og de fleste af os opfatter støj som den hyppigste form for forurening - men ikke nødvendigvis den værste eller farligste. Men det viser sig, at det forholder sig helt anderledes.

Støj er farlig for vores helbred

Vejstøj er den absolut største kilde til støjgenerer.

Men i modsætning til trafikdræbte kan man ikke sætte navn på dem, der dør af trafikstøj. Støj fra vejtrafikken giver ikke høreskader, men støj kan være en stressfaktor, der forøger risikoen for hjertekarsygdomme og forhøjet blodtryk og derfor som en langsom dræber kan medføre en forhøjet sygdoms- og dødsrisiko ligesom ved visse kræft- og livsstilssygdomme.

I 2003 blev det anslået, at der i Danmark årligt indlægges mellem 800 og 2.200 personer på sygehusene med forhøjet blodtryk eller hjertesygdomme som følge af støj. Det er også anslået, at mellem 200 og 500 personer årligt dør tidligere end ellers som følge af vejstøj. Men nyere forskning peger på langt højere tal. Og der kommer til stadighed nye resultater om trafikstøjens effekter, som gradvist gør os klogere

Undersøgelser af langtidsvirkningen af vejstøj tyder på, at det især er støj om natten, der er årsag til hjertesygdomme, og at denne virkning tilsyneladende ikke hænger sammen med, om støjen opleves som generende. Det vil sige, at støj kan skade helbredet, selvom man ikke vågner om natten, og selv om man ikke opfatter støjen som generende.

Kilde: Støj fra vejtrafik, Rapport 370

https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/stj_fra_vejtrafik.pdf

[Trafikstøj er farligt for vores helbred - men hvad gør vi ved det? \(forcetechnology.com\)](https://www.forcetechnology.com)

<https://roligbolig.dk/sundhedsmaessige-konsekvenser/>

Forhøjet blodtryk	6 %
Hjerteflimmer	6 %
Blodprop i hjertet	6-8 %
Slagtilfælde	11 %
Udvikling af sukkersyge	11 %

Citat fra kilden: "Alligevel har hverken den politiske bevågenhed eller de nødvendige forsknings- og anlægsmidler været tilstrækkelige til at igangsætte et gennemgribende opgør mod trafikstøj".

Ovenstående forekommer, når støjen ændres 10 dB. Startniveauet er ikke oplyst.

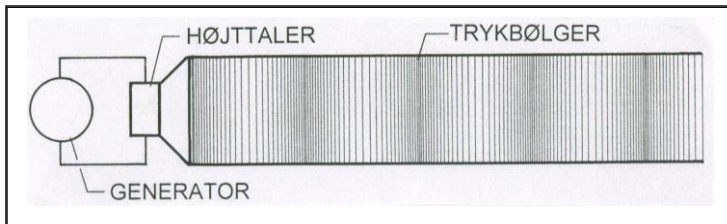
<https://forcetechnology.com/da/artikler/trafikstoj-er-farligt-for-vores-helbred-men-hvad-gor-vi-ved-det>

Forcetechnology er en akkrediteret virksomhed.

Lydtyper

Uønsket lyd kaldes for støj. Hvad der for en person er god musik, er måske støj for dig – og omvendt.

Lydens frekvens



Når en højttaler tilsluttes en generator, der afgiver vekselstrøm, vil højttaleren omsætte en del af den tilførte elektriske energi til luften, der transmitterer energien bort fra højttaleren i form af trykbølger. De enkelte luftmolekyler bevæger blot frem og tilbage omkring en ligevægtsstilling.

Ved lydens frekvens forstås antal svingninger pr. sekund. Frekvensen betegnes med f og måles i Hertz, som forkortes til Hz. Afgiver en generator 250 svingninger pr sekund, skrives det

$$f = 250 \text{ [Hz]}$$

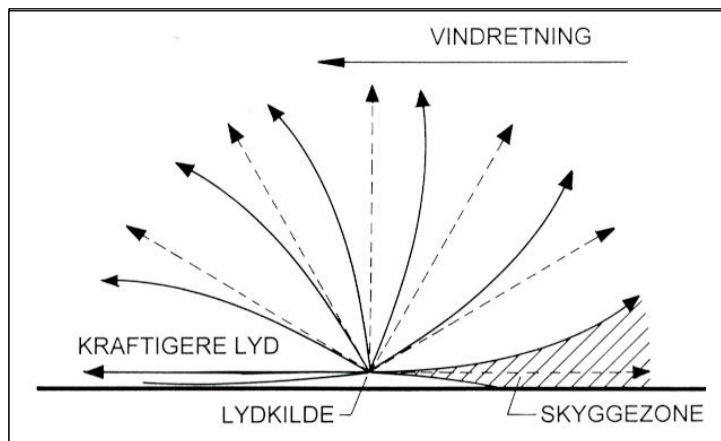
Lave frekvens høres som dybe toner og høje frekvenser som lyse toner

Lydens hastighed

Lydens udbredelseshastighed måles i meter pr. sekund og betegnes med bogstavet c . I stillestående luft er udbredelseshastigheden givet ved

$$c = 20 \times \sqrt{273 + T} \left[\frac{\text{meter}}{\text{sekund}} \right]$$

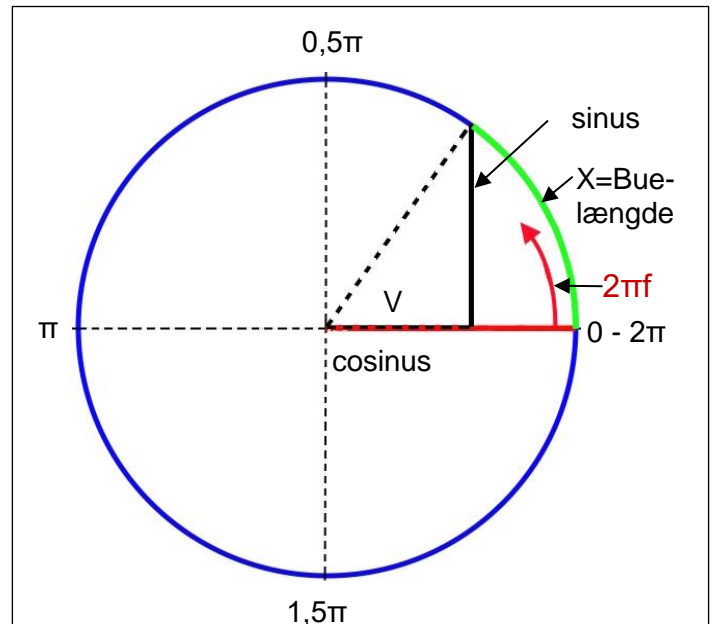
Hvor T er temperaturen målt i °Celsius.



I blæsevejr afbøjes lyden i vindens retning og dens resulterende hastighed beregnes vektorielt

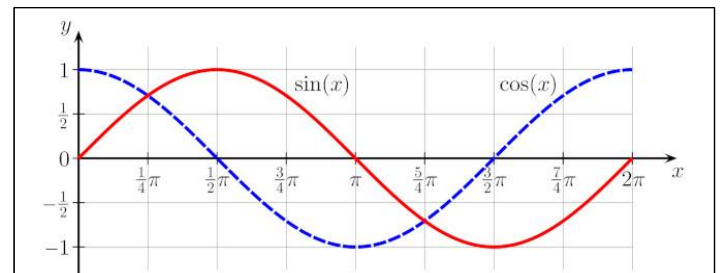
Sinusformede svingninger

Lydens mest enkle form høres som en klar ren tone, som viser sig at være sinusformet. Nedenstående beskriver nogle af den sinusformede svingningers egenskaber



Enhedscirkel, hvor radius har talværdien 1. En vektor (rød linje) roterer med " f " omdr./sek. Den standser på tidspunktet " t " og står nu i vinklen, " V ".

Cirkelns omkreds er givet ved $2\pi r$. I enhedscirklen defineres at $r = 1$. Heraf følger, at enhedscirkelns omkreds er lig med 2π . Under vektorens rotation vil den lodrette afstand, "sinus" konstant ændre sig. Det samme gør cosinus – blot forskudt 90 grader i forhold til sinus.



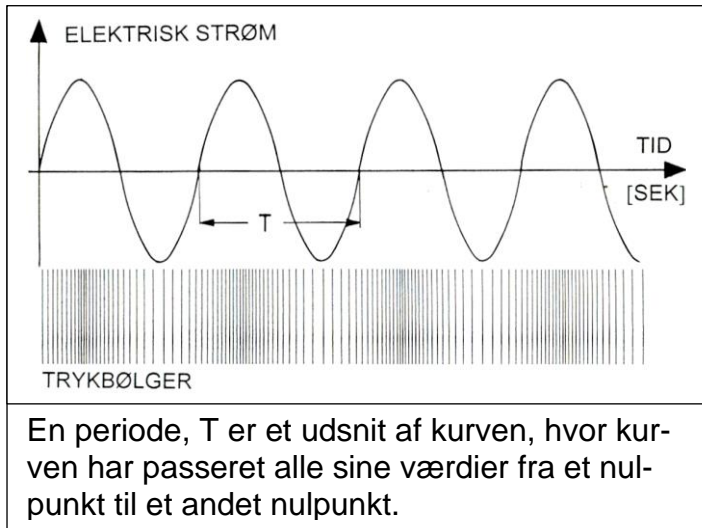
Sinus- og cosinus som en funktion af buelængden, " X ".

Undertiden er det hensigtsmæssigt at kunne omregne mellem buelængde, " X " og vinklen " V "

$$\frac{V}{360} = \frac{X}{2\pi} \quad \text{Heraf:}$$

$$V = X \frac{360}{2\pi} = X \times 57,3^\circ$$

Her kan du se mere om sinusformede svingninger: <https://www.youtube.com/watch?v=pACuJIRQA3o>



Da der er f svingninger/perioder på 1 sekund, kan periodetiden bestemmes af:

$$T = \frac{1}{f} \text{ [sekunder]}$$

Eksempel.

Lysnettets frekvens er 50 Hz.

Beregn periodetiden.

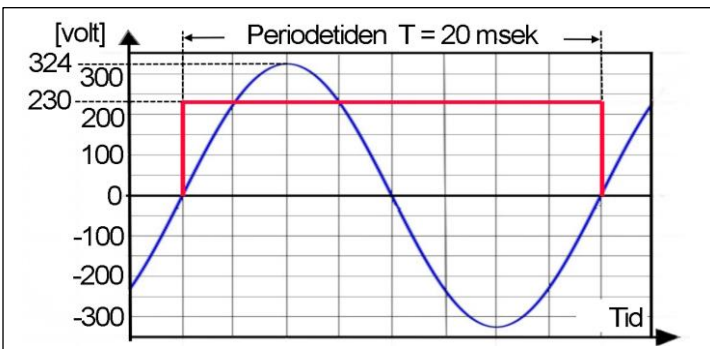
Svar:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ [sek]} = [20 \text{ msec}]$$

Den sinusformede lyd er periodisk, fordi den for hver periode gentager sig selv.

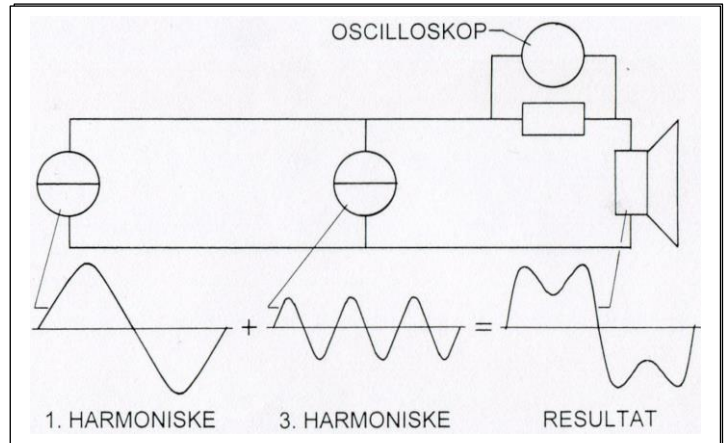
Kort efter 2. Verdenskrigs afslutning besluttede man at forlade det gamle 220 volt jævnspændingsystem og erstatte det med et 50 Hz Vekselspændings-system, som skulle "energiækvivaleres" til det gamle jævnspændingssystem. Det vil sige, at det inden for en given periode skal afgive den samme energi som jævnspændingssystemet. I dag er de 220 volt dog erstattet med 230 volt. Beregningerne ligger uden for dette materiales formål.

Nedenstående viser resultatet:

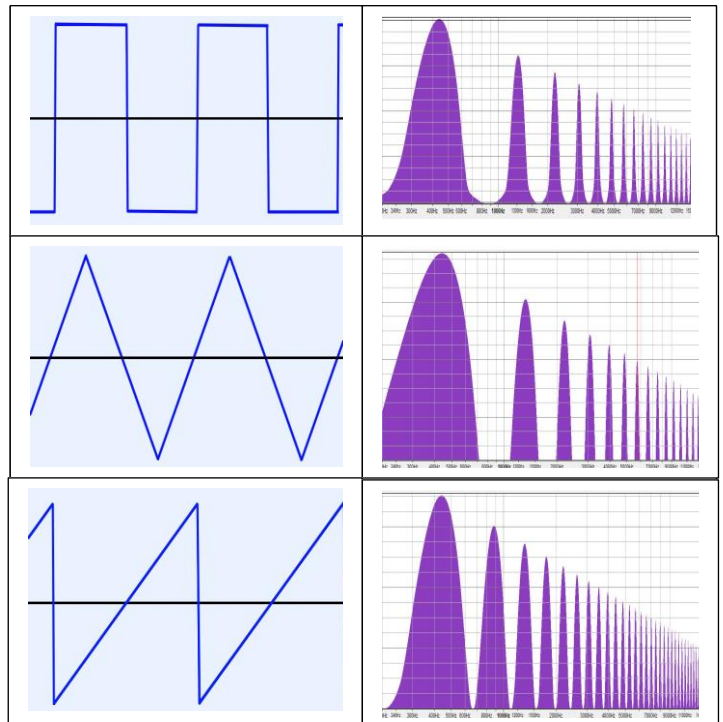


Vekselspændingen skal have en maksimalværdi på 324 volt for at indeholde samme energi som en jævnspænding på 230 volt.

Harmoniske svingninger



Diagrammet viser to strømgeneratorer, som hver afgiver en vekselstrøm. Den samlede strøm er til enhver tid lig med summen af de to strømme, denne tidsafhængige strøm kan aflæses som kurver på det viste oscilloskop. Hvis den ene generators frekvens er præcis tre gange så høj som den andens, vil den resulterende kurve være periodisk og være afhængig af den tidsmæssige forskydning mellem, de to kurver.



På samme måde som man kan summere sinusformede svingninger, så kan man også opløse kurver i sinusformede svingninger. Kurverne til højre viser, de frekvenser kurverne består af og kaldes kurvernes frekvenskarakteristik. (I virkeligheden består frekvenskarakteristikken kun af lodrette streger. Bredden stammer fra, at de anvendte filter ikke er tilstrækkeligt gode). Det er den tidsmæssige afstand mellem de enkelte harmoniske svingninger og deres indbyrdes højde, der bestemmer, om kurven bliver trekantet eller firkantet.

De enkelte sinusformede svingninger som lyden/ kurverne består af kaldes harmoniske. Den laveste frekvens kaldes grundtonen eller 1. harmoniske. Er den nærmeste frekvens dobbelt så stor som grundtonen, kaldes den for den 2. harmoniske. Denne tredje harmoniske er 3 gange så stor, og så fremdeles.

Frekvensmæssigt ligger de harmoniske med samme afstand. På billedet synes de at ligge med stadigt mindre afstand. Det skyldes, at frekvensaksen er opdelt logaritmisk.

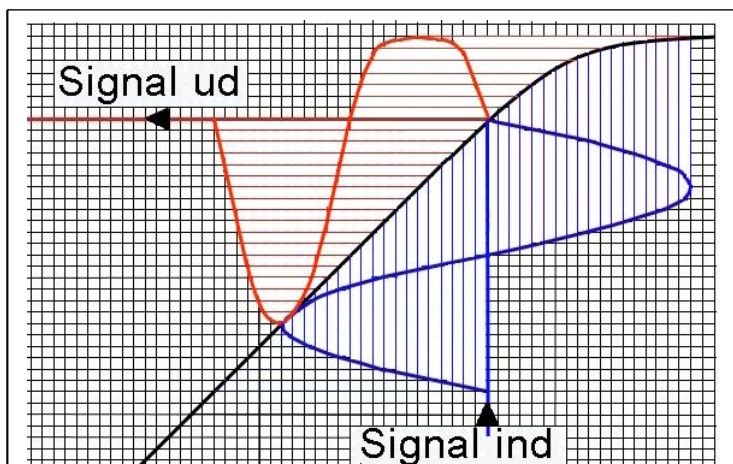
Det er karakteristisk, at symmetriske kurver består udelukkende af ulige harmoniske. Er kurverne usymmetriske i enten lodret eller vandret retning, som f.eks. den nederste kurve, indeholder den også lige harmoniske, hvilket også ses af den nederste frekvenskarakteristik.

Lytter man til den frembragte lyd, kan man sagtens høre, at der kommet en ekstra lyd på. Det kan du høre; hvis du klikker på dette link:

<https://onlinetonegenerator.com/>

Her er der mange muligheder for at eksperimentere med hørbar lyd.

Det er de harmoniske svingninger, som giver den akustiske klangfarve for musikinstrumenterne og for forskellige menneskers stemmer. Det er også dem der gør, at vi kan skelne en sirene fra en sopran, for grundtonen er præcis den samme sinusformede svingning.



Er transmissionen mellem indgang og udgang lineær, har signalet på udgangen samme udseende som på indgangen. Men er der ulinearitet, som vist på billedet optræder der forvrængning. Da kurven dette tilfælde er usymmetrisk optræder der lige harmoniske svingninger og måske også ulige.

De fleste små signaler overføres normalt lineært. Men store signaler møder ofte så stor ulinearitet, at det er hørbar forvrængning. Eksempelvis er vores egen hørelse ulinear. I denne forbindelse bør her nævnes, at en gruppe af yngre mænds høreevner blev undersøgt. Allerede ved ca. 50 dB(A) kunne de første meddele, at de kunne høre overtoner, og da lydstyrken kom op på 80 dB kunne alle høre overtoner – og det havde intet med apparaturet at gøre, for der indsat mikrofoner med præcisionsforvrængningsmålere, som ikke registrerede forvrængning.

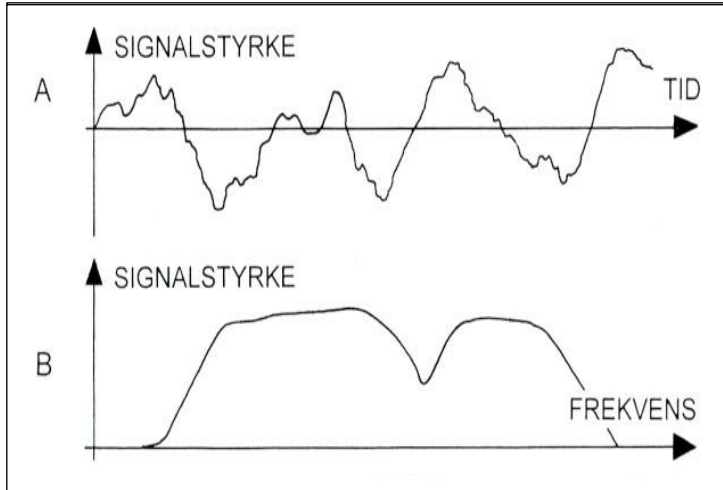
I rockmusik benytter musikerne helt bevidst elektronik, så lyden fra især guitarer bliver forvrænget. Herved kan med lavere lydstyrker simulere den lyd, som ellers kun fås ved store lydstyrker.



Det er ikke alle støjmålere i mobiltelefonerne, som har den fornødne præcision. Det kan ofte skyldes, at mikrofonerne og telefonernes forstærkere ikke har den nødvendige linearitet, når man ønsker at måles på kraftige lydstyrker.

Ikke-periodiske svingninger

Hvis du lytter til trafikstøj, blæsevejr, en arbejdende maskine, musik eller mennesker, som taler sammen, kan du høre alle mulige frekvenser. Disse lyde er typisk ikke-periodiske lyde, og de har et anderledes frekvensspektrum end lyde, der repræsenterer harmoniske svingninger.



Når en ikke-periodisk lyd aftegnes som en funktion af tiden og af frekvenser, fås disse typiske kurveforløb.

Følgende gælder for den øverste kurve (A):

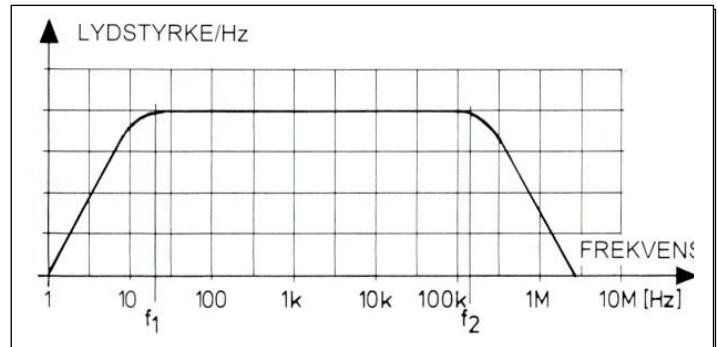
Tilsammen er arealerne over nullinjen lige så store som arealerne er tilsammen under nullinjen. Det skyldes, at luftmolekylerne svinger omkring en ligevægtsstilling og har altså ikke en bestemt bevægelsesretning.

Kurven er ikke periodisk. Dvs. at kurven i modsætning til de periodiske kurver ikke gentager sig selv.

Følgende gælder for den nederste kurve (B):

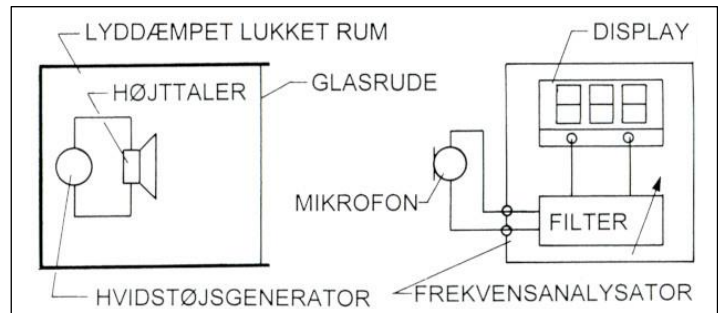
Ved sinusformede svingninger og harmoniske svingninger aftegnes enkelte frekvenser som lodrette streger med konstante mellemrum. I modsætning hertil aftegnes de ikke-periodiske svingninger som en kontinuert kurve, fordi lyden indeholder alle mulige frekvenser og lydstyrker i det givne frekvensområde.

Ved akustiske målinger benyttes ofte en generator, som afgiver "hvid" støj. Ved hvid støj forstås, at signalet pr. Hertz har samme styrke inden for et specificeret frekvensområde. Hvid støj lyder lidt hvesende, som når en FM-radio indstilles midt mellem to stationer.

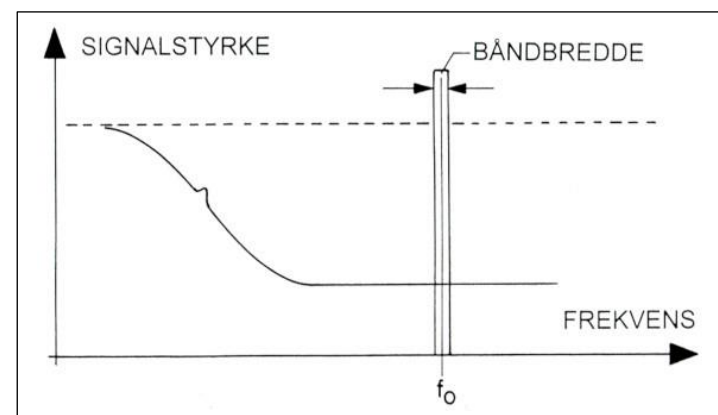


Generatoren afgiver hvid støj i frekvensområdet, $f_2 - f_1$.

Når du skal måle på en ikke-periodisk lyds frekvensmæssige egenskaber, skal du benytte en frekvensanalysator, som er et filter, der kun tillader passage af signaler i et bestemt snævert frekvensområde. Vil du f.eks. måle en glasrudes evne som støjdæmper, kan målekredsløbet udformes som vist nedenstående. Frekvensanalysatoren indeholder et filter med en variabel centerfrekvens, f_0 . Da du kan indstille centerfrekvenser, er du i stand til at optage glasrudens frekvenskarakteristik.



Eksempel på en måleopstilling der kan benyttes til optagelse af en glasrudes frekvensafhængige dæmpning.



Den stiplede linje viser frekvensens indflydelse på signalet, uden glasrude. Den fuldt optrukne linje viser signalet efter monteringen. Målingerne er udført ved efter tur at indstille f_0 til enhver ønsket frekvens og aflæse displayet.

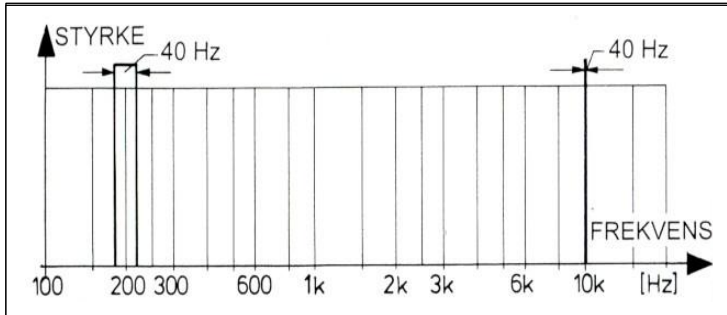
Filtertyper

Der skelnes mellem to forskellige filtertyper:

1. Filter med konstant båndbredde
2. Filter med konstant relative båndbredde

Filter med konstant båndbredde

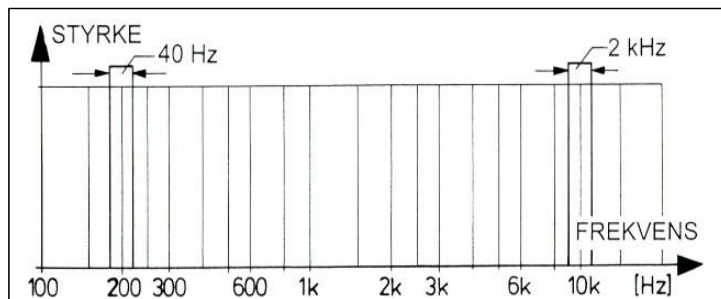
Dette filter er uafhængig af den indstillede centerfrekvens f_0 . Har filteret f.eks. en båndbredde på 40 Hz ved 200 Hz, er dets båndbredde stadig 40 Hz ved 10 kHz. Dette filter er velegnet, når man skal måle indholdet af harmoniske svingninger i et periodisk signal.



På en logaritmisk frekvensakse synes en konstant båndbredde at være smallere ved en høj frekvens end ved en lav frekvens.

Filter med konstant relativ båndbredde

Dette filters båndbredde er proportional med den indstillede centerfrekvens. Har dette filter en båndbredde på 40 Hz ved 200 Hz, er dets relative båndbredde $= 40/200 = 20\%$. Ved 10 kHz skal dets relative båndbredde også være 20%. Her bliver båndbredden derfor $10\text{ kHz} \times 20\% = 2\text{ kHz}$. Da vores hørelse reagerer logaritmisk, benytter man normalt dette filter ved akustiske målinger.



På en logaritmisk frekvensakse fylder en konstant relativ båndbredde lige meget. Derfor fylder en båndbredde på 40 Hz ved 200 Hz det samme som en båndbredde på 2 kHz fylder ved 10 kHz.

Aflæsning af lydkurver

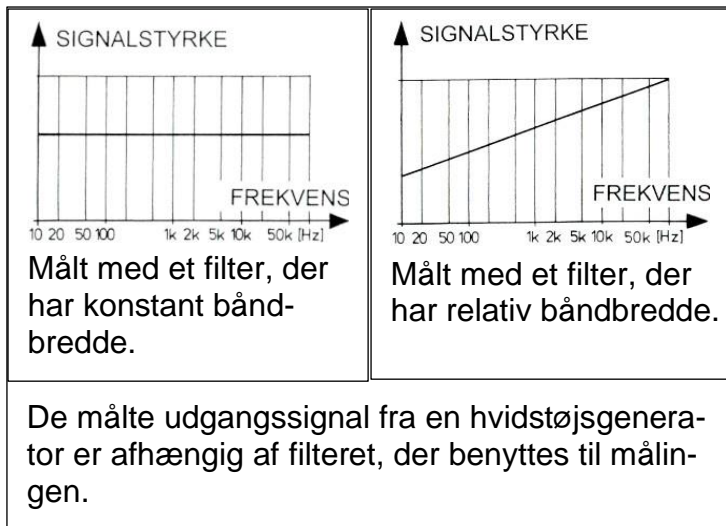
Når man aflæser støjkurver, er der flere ting, man skal være opmærksom på, idet de forelagte kurver ikke nødvendigvis kan sammenlignes direkte. For ud over, at der kan være anvendt filtre med konstant båndbredde eller relativ båndbredde, kan båndbredderne også være forskellige. Det gælder f.eks. ved akustiske målinger, hvor man enten benytter filtre med konstant eller relativ båndbredde. Her er den relative båndbredden B for 1/1 oktav filtre: $B = f_0 \times 70,7\%$ for 1/3 oktav filtre: $B = f_0 \times 23,1\%$ (1 oktav er en frekvensfordobling eller frekvenshalvering).

Da et 1/1 oktav filter dækker et større frekvensområde end et 1/3 oktav filter indsamler 1/1 filteret større støjmængder end 1/3 oktav filteret. Ved dokumentation er det derfor vigtigt at angive filterbetingelserne

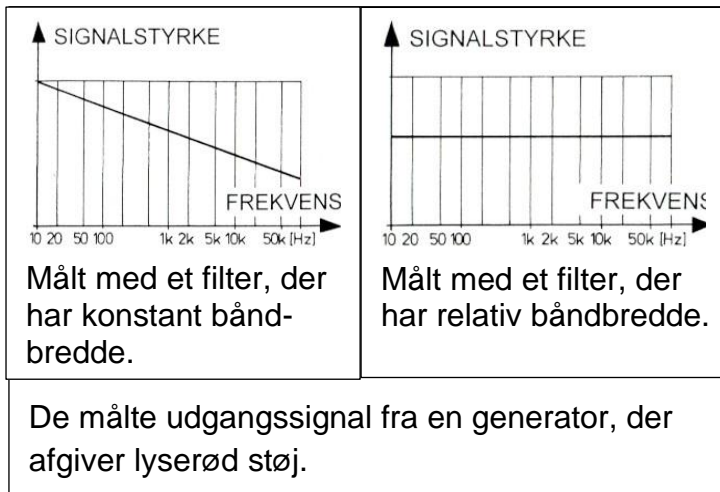


Foto af overfladen på en boks med et 1/3 oktav filter, som kan kobles på en præcisionsstøjmåler fra firmaet Brüel og Kjær.

Måler du med et filter, der har konstant relativ båndbredde, på en hvidstøjsgenerator, vil udgangssignalet stige, når du forøger filterets centerfrekvens. Det skyldes, at filterets båndbredde stiger proportionalt med filterets centerfrekvens.



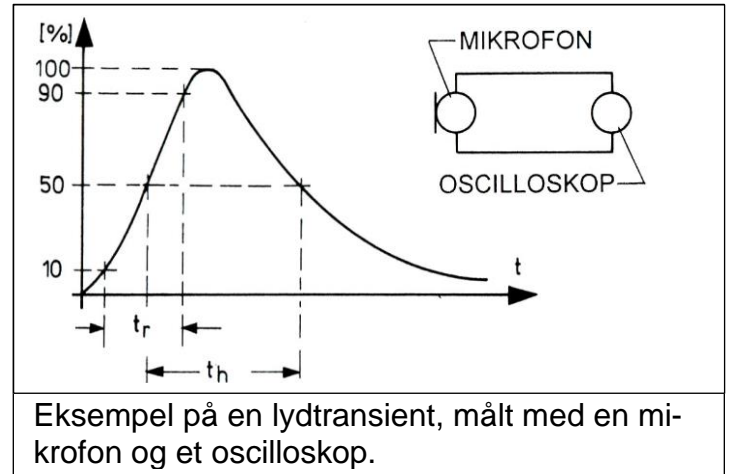
Mange generatorer kan ikke kun hvid støj - de kan også afgive lyserød støj, som er karakteriseret ved, at signalet falder med frekvensen aftegnet på en logaritmisk inddelt frekvensakse.



Det kan ofte være vanskeligt at overskue, hvad man vil og kan med en støjmåling. Men under alle omstændigheder skal målebetingelserne angives.

Lydtransienter

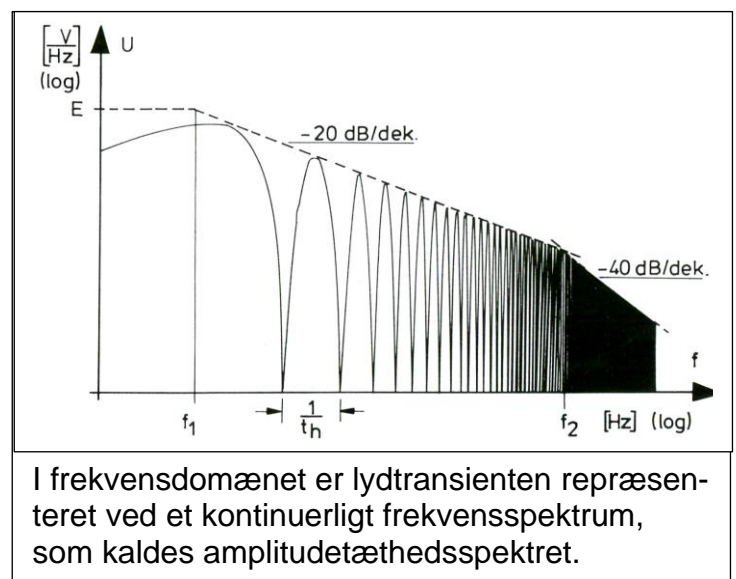
En lydtransient er en lyd med en meget kort varighed. Hvis du slår på et søm med hammer, eller du hurtigt klapper dine hænder sammen, så der kommer en "spids" lyd, hører du en lydtransient. Forudsætningen er dog, at det foregår udendørs eller et andet sted, hvor omgivelserne ikke kan reflektere lyden og herved skabe eftersvingninger. En lydtransient er således et enkeltstående kortvarigt fænomen.



Lydtransienter er karakteriseret ved deres

- 1). stigetid t_r , hvor stigetiden er den tid, det tager transienten at nå fra 10 % til 90 % af sin maksimalværdi.
- 2). halvværdibredden, t_h , hvor halvværdibredden er udtryk for lydtransientens varighed, som er målt 50 % under dens maksimalværdi.

Når du hører en lydtransient, hører du i virkeligheden en lyd, der indeholder mange samtidige frekvenser. Matematisk kan det vise, at en lydtransient typisk vil have et frekvensindhold, som vist nedenstående.



Signalets styrke er afhængig af båndbredden på det filter, der benyttes til målingen. I det viste tilfælde er båndbredden konstant, og da der er benyttet logaritmisk akseinddeling, ses kurverne at ligge tættere med stigende frekvens.

Lydtransientens frekvensindhold er afhængig af stigetiden og halvværdibredden, idet størstepartens af lydtransientens energiindhold findes i frekvensområdet fra f_1 til f_2 . Derfor er det nyttigt at kunne beregne f_1 og f_2 ud fra lydtransientens halvværdibredde og stigetid. De to frekvenser er:

$$f_1 = \frac{1}{\pi \times t_h} \quad [Hz]$$

$$f_2 = \frac{1}{\pi \times t_r} \quad [Hz]$$

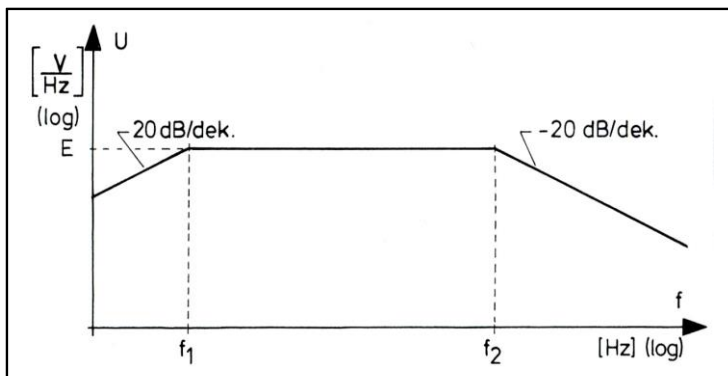
Normalt er man dog interesseret i indhyldningskurven, der her er indtegnet med en stiplede linje.

Indhyldningskurven har sin største værdi ved f_1 , og den beregnes af:

$$E = U_{max} \times t_h \left[\text{volt} \times \text{sek} = \frac{\text{volt}}{Hz} \right]$$

Herefter falder kurven med 10 dB/dekade (1 dekade = en 10-dobling af frekvensen). Ved f_2 forøges hældningskoefficienten til 40 dB/dekade. Det betyder, at signalet herefter falder med kvadratet på frekvensen.

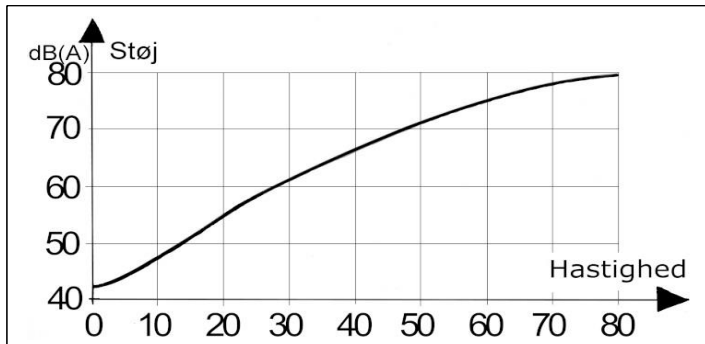
Måler du signalets styrke med et filter, der har en konstant relativ båndbredde, vil indhyldningskurven få det udseende, der er vist i nedenstående figur.



Når der måles med et filter, der har en konstant relativ båndbredde, er lydtransienten repræsenteret ved den viste indhyldningskurve.

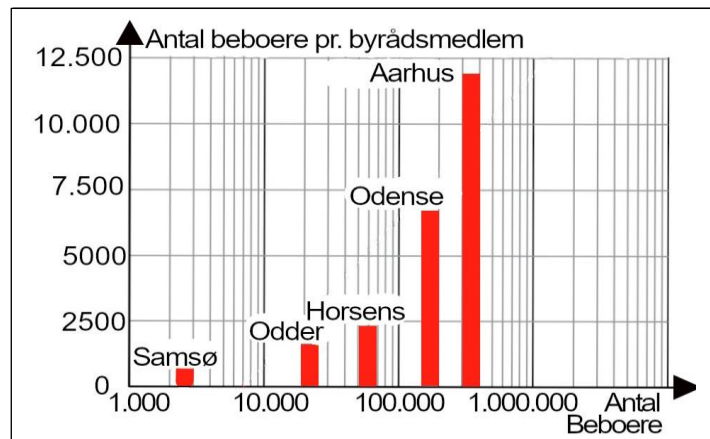
Logaritmer

I koordinatsystem aksernes inddeling som regel lineære, som f.eks. vist i nedenstående figur.



Eksempel på et koordinatsystem, hvor begge akser er lineær inddeling. På den vandrette akse adderer hvert trin med 10 km/time.

Når funktioner er afhængige af værdierne i stort bredt spektrum, benytter man ofte logaritmiske akser, som vist nedenstående figur.



Et eksempel på koordinatsystem med en logaritmisk inddeling. På den vandrette akse multipliseres hvert trin med 10.

X	logX	X	logX
1	0	1	0
10	1	1/10	-1
100	2	1/100	-2
1.000	3	1/1.000	-3
10.000	4	1/10.000	-4
100.000	5	1/100.000	-5
1.000.000	6	1/1.000.000	-6

Tabellerne viser, at forholdstal større end 1 giver positive log-værdier mindre end 1 giver negative log-værdier. $\text{Log}X = \text{Antal nuller i den venstre kolonne.}$

Logaritmer er den omvendte funktion til tal med eksponenter. Det skal forstås sådan

$$X = \text{Log}10^X$$

Hvilket ses at stemme med ovenstående tabel.

Indtil nu, har vi kun arbejdet med at tæller nuller, men X kan også antage enhver værdi mellem 1 og 10. I disse tilfælde kan man benytte en logaritmetabel og finde de dertil svarende værdier. Men det er meget nemmere at benytte en lommeregner med indbygget logaritmetabel.

N [gange]	LogN
1	0
2	0,3010
3	0,4771
4	0,6021
5	0,6990
6	0,7782
7	0,8451
8	0,9031
9	0,9542
10	1,0000

Tabellen viser tallene fra 1 til 10 og de dertil svarende logaritmer.

Ud over, at de benyttes til beregninger, er de også velegnede i forbindelse med grafiske illustrationer, som vist i koordinatsystemet.

Ud over at lommeregneren kan tilbyde at beregne logaritmen til et tal, tilbyder den også at gå den modsatte vej, altså at beregne tallet, når man kender logaritmen til tallet. Denne funktion benævnes "antlog", "log" eller 10^X .

Nedenstående vises et eksempel, som alene tjener til forståelsen af begrebernes anvendelse

Eksempel:

$$\text{Beregn } X = 53,7 \times 221 = 11.867,7$$

Frem for at multiplicere tallene adderes her deres tilsvarende potenseksponenter:

Svar:

$$\text{log}X = (\text{log}5,37 + \text{log}10 + \text{log}2,21 + \text{log}100)$$

$$\text{log}X = (0,73 + 1 + 0,3444 + 2)$$

$$\text{log}X = (1,73 \quad 2,3444)$$

$$\text{log}X = (4,0744 = 0,744 + 4)$$

$$X = \text{log}10^X = 1,1869 \times 10^4 = 11.869$$

Der er ikke ramt det helt præcise tal.

Det er fordi, lommeregneren benytter et begrænset antal cifre i logaritmeberegningerne.

Konklusion:

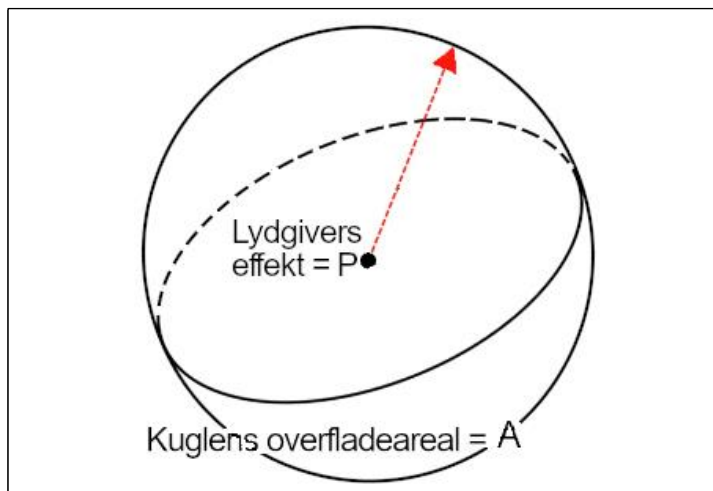
Når man adderer logaritmer, svarer det til, at man ganger de dertil svarende talværdier.

Når man subtraherer logaritmer, svarer det til, at man dividerer de dertil svarende talværdier.

Lydintensitet og lydintensitetsniveau

Lydintensiteten er et udtryk for lydets styrke, betegne med bogstavet I og har måleenheden watt pr kvadratmeter. Lydintensiteten kan forstås ud fra nedenstående tegning, og defineres som:

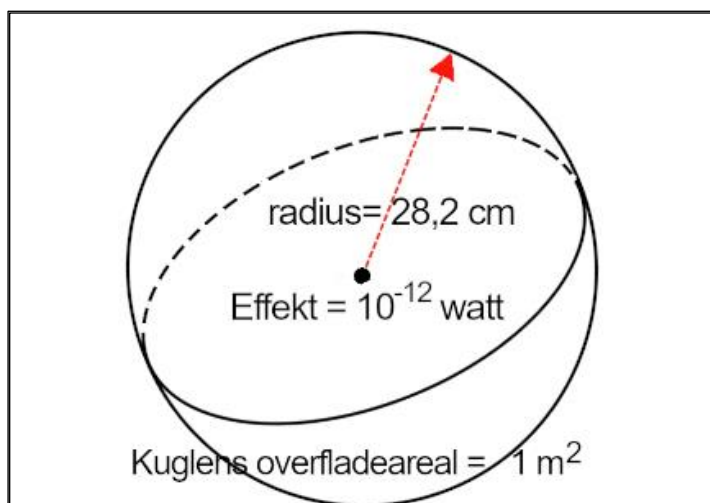
$$I = \frac{P}{A} \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$



Figuren viser en kugleskal med en lyd giver i centrum. Lydgiverens afgivne effekt, P fordeles ligeligt i alle retninger og når uden tab ud til kugleskallen, som har overfladearealet, A .

Øret har en meget høj følsomhed over for lyd. Høregrænsen for et normalt hørende menneske er 10^{-12} watt/m². Denne størrelse, der betegnes I_0 og benyttes ofte reference, når man skal angive lydets styrke.

$$X = \frac{I}{I_0} = \frac{I}{10^{-12}} \quad [\text{gange}]$$



Samme figur som ovenstående. Her er lyd giverens afgivne effekt 10^{-12} watt og kugleskalens overfladeareal er 1 kvadratmeter.

Vores ører er en usædvanlig flot konstruktion, for ud over at kunne registrere meget svage lyde, kan det også tåle millioner af gange kraftigere lyd end den svageste. Uanset om en lyd er svag eller kraftig, vil vores ører opfatte f.eks. en 10-dobling af lyden på samme måde. Det betyder, at vores hjerne opfatter lyden som nærmest logaritmisk. Derfor er det praktisk at benytte logaritmer når vi arbejder med lydintensitet. Denne logaritmiske måleenhed kaldes lydintensitetsniveau, betegnes L og måles i deciBel, der forkortes til dB og defineres som:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [dB] \quad \text{Der omskrives til:}$$

$$\log \frac{I}{I_0} = \frac{L}{10}$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Omregninger mellem lydintensitet (I) og lydintensitetsniveau (L) kan nu bestemmes af:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \quad [dB]$$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} = 10^{-12} \times 10^{\frac{L}{10}} \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$



Lydniveaumåler type 2245 fra Brüel & Kjær.
<https://www.bksv.com/en/knowledge/blog/sound/getting-started-sound-level-meter>



Eksempler på typiske lydintensitetsniveauer

Flere støjklider på samme tid

I afsnittet "Logaritmer og decibel" er det vist, at lyden intensitet, I kan bestemmes af:

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Og lyden intensitetsniveau, L kan bestemmes af

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}]$$

$$\text{Hvor } I_0 = 10^{-12} \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Nu vil vi undersøge, hvordan man beregner det samlede lydintensitetsniveau, når der optræder flere støjklider på samme tid.

Er der eksempelvis 3 støjklider, bliver den samlede energi lig med summen af de tre energier:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_{tot} = I_0 \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} \right) \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Det samlede lydintensitetsniveau beregnes:

$$L_{tot} = 10 \times \log \frac{I_0 \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} \right)}{I_0}$$

Ved division med I_0 i tæller og nævner fås:

$$L_{tot} = 10 \times \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} \right) \quad [\text{dB}]$$

Af ligningen ses, hvordan man kan beregne et samlet lydintensitetsniveau, når der indgår flere samtidige lydintensitetsniveauer.

Det foregår således:

1. Omregn hvert enkelt lydintensitetsniveau til lydintensitet (dB til watt/m²).
2. Adder de indgående lydtryk til et samlet lydtryk.
3. Omregn det samlede lydtryk til et lydtrykniveau. (watt/m² til dB).

Eksempel:

På en vej kører 500 biler/time og afgiver 70 dB. Hvor mange dB vil bilerne afgive tilsammen, hvis bilernes antal fordobles.

Svar:

$$L_{tot} = 10 \times \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad [\text{dB}]$$

$$L_{tot} = 10 \times \log \left(10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} \right) \quad [\text{dB}]$$

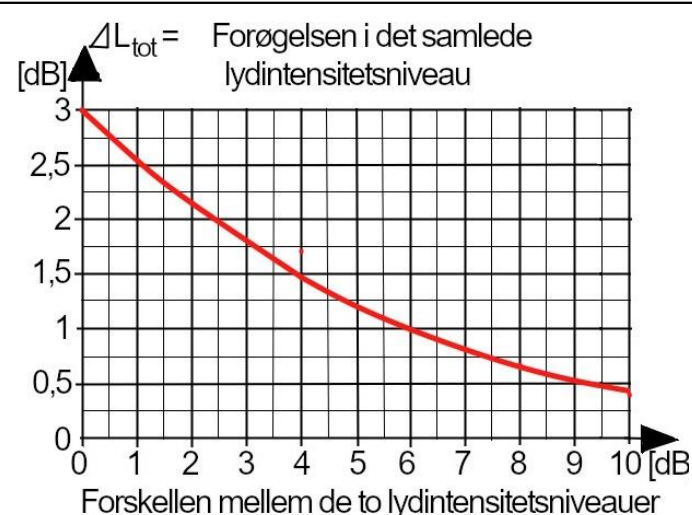
$$L_{tot} = 10 \times \log 2 \left(10^7 \right) \quad [\text{dB}]$$

$$L_{tot} = 10(\log 2 + \log 10^7) \quad [\text{dB}]$$

$$L_{tot} = 10(0,3010 + 7) = 73 \quad [\text{dB}]$$

Konklusion:

En fordobling eller en halvering af støjen vil altid give 3 dB



Denne kurve er beregnet ud fra de angivne logaritmiske ligninger. Den viser hvor stor indflydelse to samtidige lydintensitetsniveauer får på det samlede lydintensitetsniveau.

- 1 dB skelnes som en meget lille ændring
- 3 dB høres som en lille ændring.
- 5 dB som en væsentlig og tydelig ændring
- 10 dB som en halvering eller fordobling
- 20 dB som en meget stor ændring.

De angivne værdier gælder når man på samme tid veksler mellem de to lydintensitetsniveauer. Der må altså ikke gå hverken timer eller dage mellem registreringerne.

Dette kurveforløb og dets indflydelse på det, vi hører, har meget stor indflydelse på, hvorledes man bør støjdampe trafikken. For det er uden betydning at hastighedsregulere de biler, som afgiver 6 dB lavere støj end de mest støjende. Man kan også sige, at man bør koncentrere sig om de mest støjende køretøjer, som findes blandt især motorcykler, knallerter, lastbiler, rutebiler, diesel-drevne bybusser og accelererende biler og deres defekte udstødningsrør. Når først disse bilers støj er fjernet, kan man begynde at reducere støjen fra de almindelige personbiler.

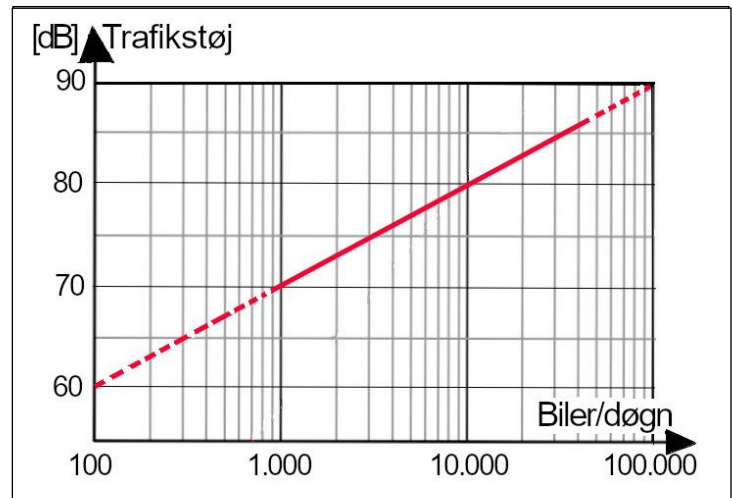
Køretøjernes afgivne støj stammer primært fra motoren og fra dækkene. For personbiler gælder, at, motorstøjen er dominerende under ca. 40 km/ time. Er hastigheden højere stiger støjen tilsvarende. Da bilernes hastighed normalt er højere – betyder det, at den afgivne støj er den samme – og er uafhængig af, at de benzindrevne biler i fremtiden erstattes af el-biler.

De store støjsyndere er lastbilerne, som med deres meget kraftige dieselmotorer ofte skal over de fastsatte hastighedsgrænser, inden dækstøjen tager over. I modsætning til dækstøjen er motorstøjen meget lavfrekvent (dvs. at indeholder meget dybe toner), som er næsten umulige at fjerne med jordvolde, støjhegn, trævægge og glaseruder. Her vil det få en overordentlig stor betydning at erstatte de store dieselmotorer med elmotorer. Eksempelvis har overgangen fra de dieseldrevne bybusser til de nye el-drevne bybusser haft en meget stor og anerkendt betydning for bybussernes afgivne støj – for omgivelserne og brugerne har den støjmæssige betydning haft endnu større betydning end den afgivne forurening med CO₂ og partikler.

Der findes mange muligheder, f.eks:

1. Derfor bør der snarest muligt laves tiltag, så vognmænd og tilsvarende gennem økonomiske og hastighedsbegrænsende forhold tilskyndes til at udfase dieselbilerne med el-drevne lastbilerne og rutebiler.
2. Marselistunnelen bør fremskyndes, så de store lastbiler, som skal til havnen, kun kan benytte denne adgang fra E45.

3. Varetransport inden for E45 må kun foregå med lastbiler, der støjer mindre end et nærmere angivet støjniveau. Dvs. der kan foregå en omladning ved E45.



Trafikstøjen fra f.eks. Ringvejen, hvor der i dag i Hasle kører ca. 33.000 biler/døgn. Bemærk, at støjen tidobles, hvis der kommer til at køre ti gange så mange biler på vejen.

Ønsker man at reducere støjen med 3 dB, kan det gøre ved at halvere bilernes andel. Men afhængig af de stærkt støjende bilers antal, kan man opnå samme virkning ved at fokusere på løsninger, der kun omhandler dem.

På dette link kan du høre forskellen på vejstøj med forskellige styrker:

<https://forcetechnology.com/da/artikler/auralisering-trafikstoej/auralisering-hvordan-opleves-stoejaendringer>

Energjækvivaleret lydniveau, L_{eq} .

Historiske betragtninger

Med industrialiseringen fulgte også problemer med arbejdsmiljøet. Et af disse problemer var høreskader som følge af støjen. Jo flere år man arbejdede i støjende arbejdsmiljøer, desto mere udtalte blev høreskader og man drog derfor den konklusion, at det var den modtagne støjmængden, som var årsagen. Det ses stadig i den danske lovgivning på området idet, man på en arbejdsdag på 8 timer kun må opholde sig i en støj på 85 dB(A). (A-et kommer vi tilbage til). Er støjen 88 dB, må opholdet vare 4 timer. Og ved 91 dB må opholdet kun vare 2 timer.

Da man inden for fysik definerer energi som produktet af effekt og tid fås:

$$W = P \times t \quad [\text{joule} = \text{watt} \times \text{sekunder}]$$

Hvor

W er energien, der måles i joule og

P er effekten der måles i watt

(Ved større energimængder bruges betegnelse kilowatttimer, som er det elektriske forbrug, man betaler for).

Eksempel:

Beregn den daglige dosis støjenergi, som man må udsættes for på en arbejdsdag på 8 timer.

Svar:

$$85 \text{ dB} = 85 \times 10^{-12} \text{ [watt/m}^2\text{]}$$

$$8 \text{ [timer]} = 8 \times 60 \times 60 = 28 \times 10^3 \text{ [sekunder]}$$

$$\begin{aligned} \text{Daglig støjdosis} &= 85 \times 10^{-12} \times 28 \times 10^3 \\ &= 2,5 \times 10^{-6} \text{ [joule/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

Man mente at have erfaring for, at denne støjdosis over 20 år kunne give en hørenedsættelse på maksimalt 6 dB.

Beregn den samlede energimængde, idet arbejdsåret dengang havde 300 dage:

Svar:

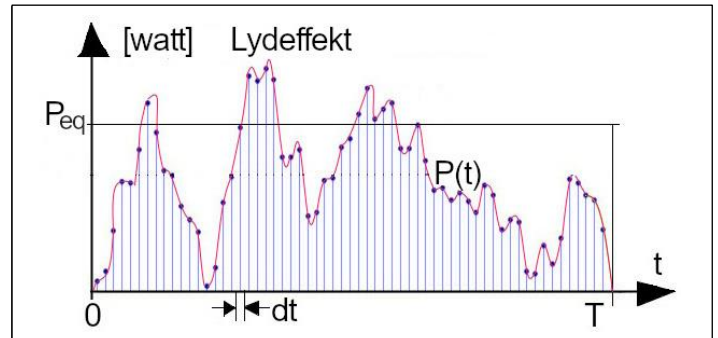
$$\begin{aligned} 20 \text{ årig dosis} &: 20 \times 300 \times 2,5 \times 10^{-6} \\ &= 15 \times 10^{-3} \text{ [joule/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

Det er en så lille energimængde, at der skal tilføres ca. 250 af disse energimængder for blot at opvarme 1 cm³ vand 1 grad celsius.

Det er disse betragtninger, som stadig ligger til grund for den måde, man i dag benytter, når man skal definere lydets genevirkninger fra virksomhederne til deres omgivelser. For her benytter det energjækvivalente lydniveau.

Det energjækvivalente lydniveau

I luften består lyd af molekyler der er sat i svingninger. Svingningerne kan opfanges af en mikrofon og tilføres PC, som viser svingningerne på dataskærm.



Figuren viser to kurver med samme areal, som hver især repræsenterer den samme energi.

På den tidsvarierende kurve ses punkter, som ligger med tidsintervaller "dt". Computeren har målt og gemt disse punkters højde. Når de multipliceres med dt, fås en mængde delenergi, dW. Når computeren adderer de beregnede dw-værdier, fås energien under den tidsvarierende kurve. Herefter beregner den selv P_{eq} og indtegner den i koordinatsystemet.

$$W_{eq} = W(t) \quad [\text{joule}]$$

$$P_{eq} \times T = \int_0^T P(t) dt \quad [\text{joule}]$$

$$P_{eq} = \frac{1}{T} \times \int_0^T P(t) dt \quad [\text{watt}]$$

Ved indsættelse af den tidligere definere $I = \frac{P}{A}$

$$I_{eq} = \frac{P}{A} = \frac{1}{T} \times \int_0^T \frac{P(t) dt}{A} = \frac{1}{T} \times \int_0^T I(t) dt \quad \left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right]$$

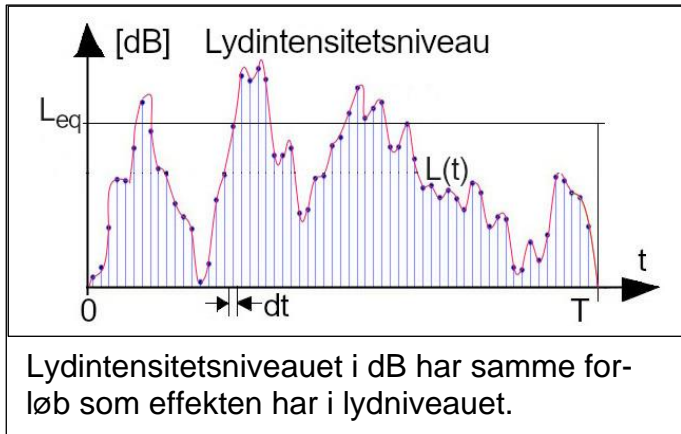
$$\frac{I_{eq}}{I_0} = \frac{1}{T} \times \int_0^T \frac{I(t) dt}{I_0}$$

$$10 \times \log \frac{I_{eq}}{I_0} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \times \int_0^T \frac{I(t) dt}{I_0} \right)$$

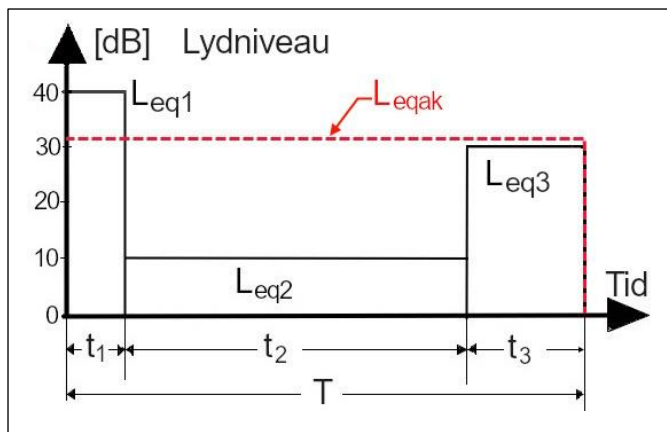
$$L_{eq} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \times \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \text{ [dB]}$$

L_{eq} er således det ækvivalente konstante lydniveau, der i en given tidsperiode indeholder samme

mængde energi, som en varierende lyd indeholder i den samme periode.



Ofte hører man periodevis lyde med forskellig styrke. Det kunne f.eks. være hos naboerne til Tivoli Friheden. Efter en aften med udendørs koncert kommer en stille nat og morgen. Efter frokost og lidt hen på aftenen er der støj fra forlystelserne – dog ikke nært så højt som lyden fra koncerterne. Efter at have beregnet lydintensitetsniveauerne i de nævnte tider kunne lydbilledet eksempelvis have dette udseende i et af nabohusene i villa-kvarteret.



Hvis T f.eks. er et døgn, kan man finde den samlede energiækvivalente støj, som naboerne udsættes for.

Det er tidligere vist, at man ikke må addere dB-værdierne for at finde en gennemsnitsværdi. I stedet skal man først omregne dB-værdierne til lydintensiteter, som kan adderes. Herved fås:

$$T \times I_{eqak} = t_1 \times I_{eq1} + t_2 \times I_{eq2} + t_3 \times I_{eq3}$$

$$I_{eqak} = \frac{t_1 \times I_{eq1} + t_2 \times I_{eq2} + t_3 \times I_{eq3}}{T}$$

$$I_{eqak} = \frac{I_0 \left(t_1 \times 10^{\frac{L_{eq1}}{10}} + t_2 \times 10^{\frac{L_{eq2}}{10}} + t_3 \times 10^{\frac{L_{eq3}}{10}} \right)}{T}$$

$$L_{eqak} = 10 \times \log \left(\frac{t_1 \times 10^{\frac{L_{eq1}}{10}} + \dots + t_3 \times 10^{\frac{L_{eq3}}{10}}}{T} \right)$$

Analyse:

A: Beregn L_{eqak} i det viste eksempel. Kommenter resultatet.

B: Beregn "gennemsnitsværdien" ved blot at addere arealerne og dividere med T. Kommenter resultatet.

Svar A:

$$L_{eqak} = 10 \times \log \left(\frac{1 \times 10^4 + 6 \times 10^1 + 2 \times 10^3}{9} \right)$$

$$L_{eqak} = 10 \times \log \left(\frac{10.000 + 60 + 2000}{9} \right) = 31,3 \text{ dB}$$

Konklusion: Selv om $t_3 \times L_{eq3}$ har et areal, som er næsten dobbelt så stort som $t_1 \times L_{eq1}$, så får det ingen væsentlig betydning på resultatet. For at opnå en mindre støj er det vigtigere at reducere støjniveauet end det er at reducere støjens varighed.

Svar B:

$$\text{Gennemsnit} = \frac{1 \times 40 + 6 \times 10 + 2 \times 30}{9} = 17,8 \text{ dB}$$

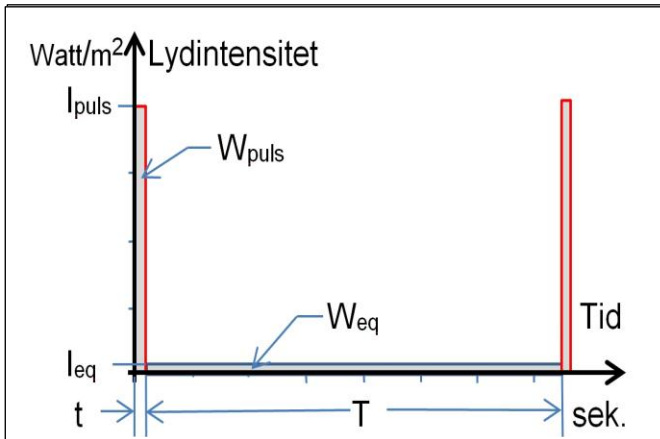
Konklusion: Husk: De resulterende dB-værdier er altid højere end gennemsnitsværdierne.



Brüel og Kjær's støjdosimeter, som måler L_{eqak} .

Kortvarig kraftig lydimpuls (transient)

For at få en bedre forståelse af, hvorledes kraftige kortvarige lydtryk får indflydelse på det energi-ækvivalente konstante lydniveau L_{eq} , udledes her et matematisk udtryk, som kan give forståelsen.



Tegningen viser en kortvarig kraftig lydimpuls I_{puls} fra f.eks. en hurtigt forbigående motorcykel. Den herved frembragte energi pr. kvadratmeter, der betegnes W_{puls} er repræsenteret ved det viste areal. W_{eq} er en lige så stor energi som W_{puls} ; men den er blot en konstant gennemsnitsværdi, indtil man hører den næste kraftige lydimpuls.

$$W_{eq} = W_{puls} \left[\frac{\text{joule}}{\text{m}^2} = \frac{\text{watt} \times \text{sekund}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I_{eq} \times T = I_{puls} \times t$$

$$\frac{T}{t} = \frac{I_{puls}}{I_{eq}} = \frac{10^{\frac{L_{puls}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq}}{10}}} = 10^{\frac{L_{puls} - L_{eq}}{10}}$$

$$\log \frac{T}{t} = \log 10^{\frac{L_{puls} - L_{eq}}{10}} = \frac{L_{puls} - L_{eq}}{10}$$

$$L_{puls} - L_{eq} = 10 \times \log \frac{T}{t}$$

$$L_{eq} = L_{puls} - 10 \times \log \frac{T}{t} \text{ [dB]}$$

Eksempel:

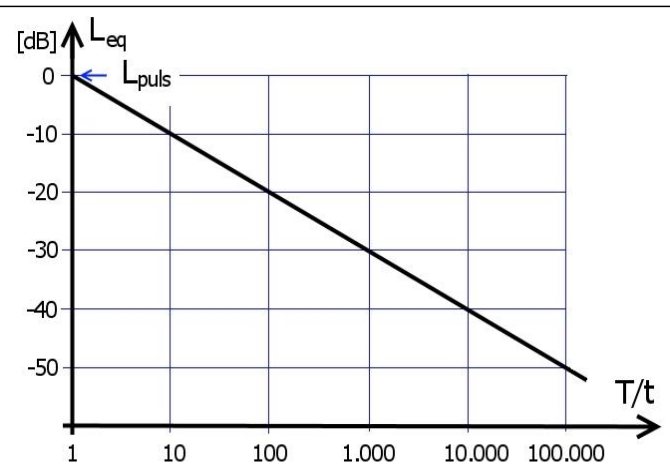
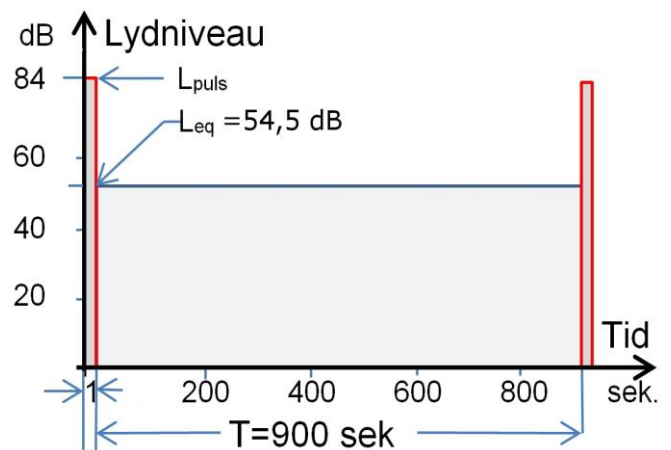
Beregn L_{eq} for lydtrykket fra en forbigående lastbil på en ellers rolig vej, når lydniveauet L_{puls} er 84 dB i 1 sekund. Der går et kvarter med ro, inden der atter kommer et køretøj med et tilsvarende lydniveau.

$$L_{eq} = L_{puls} - 10 \times \log \frac{T}{t} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq} = 84 - 10 \times \log \frac{15 \times 60}{1} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq} = 84 - 10 \times \log \frac{900}{1}$$

$$L_{eq} = 84 - 29,5 = 54,5 \text{ dB}$$



Grafen for: $L_{eq} = L_{puls} - 10 \times \log \frac{T}{t} \text{ [dB]}$

Det energiækvivalente lydniveau for en enkelt kraftig impuls findes ved at subtrahere det viste antal dB fra den kraftige impuls lydniveau.

Disse sjældne meget høje impulslyde er meget generende for de nærmest boende, og da de er så sjældne, indgår de kun i meget ringe grad i Kommunens beregninger over bl.a. vejstøj.

Juridisk støjbelastning, L_{den} .

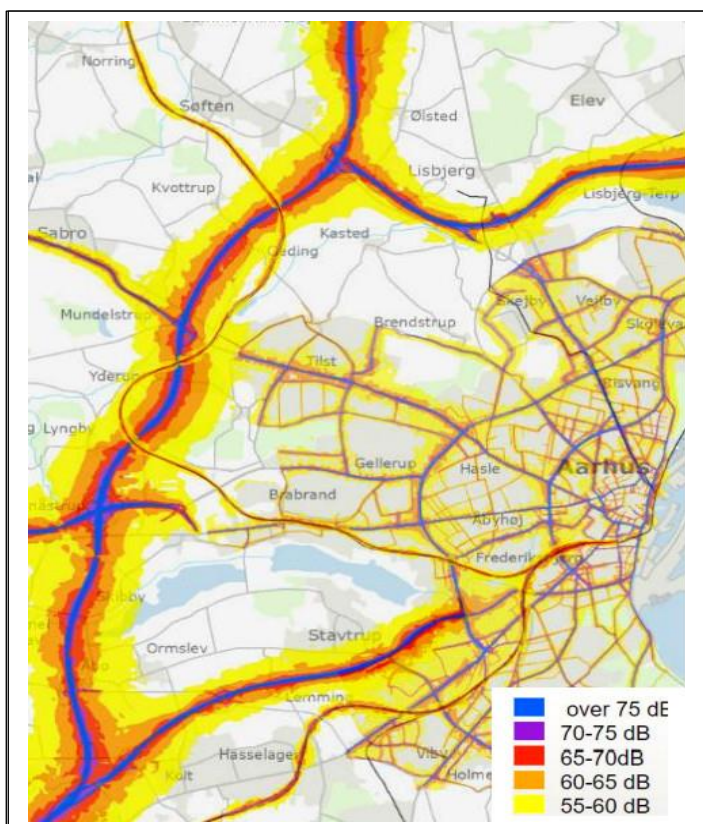
Støjkort

Fra 1950-erne er industriudviklingen i Europa gået stærkt. Byerne er blevet stadig større, og som regel et det sket som ringe med byernes midtpunkt som centrum. Hvor man tidligere kun nå sin arbejdsplads på cykel eller blot ved at gå, blev det stadig mere nødvendigt at benytte kollektiv transport eller privatbil.

Den medfølgende trafikstøj blev et stadig større problem, som man i den Europæiske Union i en lang periode forsøgte at beskrive og reducere. Ved vedtagelsen af en hollandsk metode lykkedes det i 2001 at opstille et fælles europæisk direktiv, som pålægger medlemslandene at kortlægge støjen

- 1) i alle byer med mere end 100.000 beboere
- 2) veje med mere end 8.000 biler/døgn
- 3) jernbaner med mere end 80 tog/døgn
- 4) lufthavne med over 50.000 operationer/år.

Hvert femte år skal medlemslandene indsamle og fremsende støjkort - det skete sidst i 2018. En mere udførlig beskrivelse findes her: <http://asp.vejtid.dk/Artikler/2018/08/9047.pdf>



Eksempel på et støjkort over Aarhus med opland. Bemærk, at langt den kraftigste støj er omkring motorvejene. Det skyldes ikke kun bilernes antal, men især den store hastighed.

L_{den} er beregnet ud fra statistiske værdier

Et sådant støjkort udføres ikke ud fra målinger. Det udføres ud fra nogle statistiske forhold, som f.eks. opgørelse over antal biler, deres hastighed, antal lastbiler i forhold til antal personbiler, vejens størrelse og beskaffenhed, omgivelserne og de geografiske forhold. Man tager også hensyn til det tidspunkt på døgnet, hvor bilerne kører. Beregningerne udføres med en computer, og resultatet kommer ud i form af en talværdi, som man betegner L_{den} , og som måles i dB.

Støjindikatoren, L_{den} , benyttes generelt ved vurdering af vejstøj i Danmark, herunder i forbindelse med støjkortlægninger. Formålet er at tage højde for menneskers særlige støjfølsomhed om aftenen og natten. Støj beskrevet som L_{den} vurderes at svare til befolkningens opfattelse af støjgener. Der er indikationer på, at støj i natperioden har særlig stor betydning for de afledte sundhedseffekter.

De tre tidsperioder er:

dag: kl. 07 – 19, varighed 12 timer (**day**)

aften: kl. 19 – 22, varighed 3 timer (**evening**)

nat: kl. 22 – 07, varighed 9 timer (**night**)

Bidraget fra vejstøjen om aftenen og natten vil uden denne vægtning have begrænset betydning for det gennemsnitlige niveau over døgnet. At lægge 5 dB til ækvivalentniveauet om aftenen betyder, at hver støjbegivenhed om aftenen tæller lige så meget som 3,16 støjbegivenheder om dagen, mens tillægget på 10 dB til ækvivalentniveauet om natten betyder, at hver støjbegivenhed om natten tæller lige så meget som 10 støjbegivenheder om dagen.

I afsnit 5, "Energivægtet lydniveau" er følgende ligning udledt:

$$L_{eqak} = 10 \times \log \left(\frac{t_1 \times 10^{\frac{L_{eq1}}{10}} + \dots + t_3 \times 10^{\frac{L_{eq3}}{10}}}{T} \right)$$

Denne ligning benyttes nu til udledning af L_{den} :

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+3}{10}} + 9 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}}}{24} \right)$$

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{8} \left(4 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 10^{\frac{L_e+3}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

$$L_{den} = 9,097 \times \log \left(4 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 10^{\frac{L_e+3}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Eksempel:

Beregn L_{den} , idet

Grænseværdien $L_{denmax} = 58$ dB

$L_d = 45$ dB

$L_e = 40$ dB

$L_n = 35$ dB

Ved indsættelse i ovenstående ligning fås:

$$L_{den} = 9,097 \times \log \left(4 \times 10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{40+3}{10}} + 3 \times 10^{\frac{35+10}{10}} \right)$$

$$9,097 \times \log(4 \times 31622 + 19952 + 3 \times 31622)$$

$$L_{den} = 9,097 \times \log 241310 = 9,097 \times 5,38$$

$$L_{den} = 49 \text{ dB}$$

Grænseværdien = 58 dB overskrides ikke!

Ovenstående regneeksempel er kun medtaget for forståelsens skyld. For de angivne talværdier er fremkommet ud fra de ovennævnte statistiske bestemmelser. Desuden er L_{den} kun en indikator. Skal der foretages mere præcise beregninger skal det her i landet foregå efter en såkaldt "Nord2000"-metode, som findes på dette link, [Microsoft Word - av117106 rap ik - Vejdirektoratet - Users Guide Nord2000 R- \(mst.dk\)](#)

Metoden ligger dog uden for denne skrivelser rammer. Metoden anvendes når f.eks. et nyt byggeri ud fra støjkortet ligger på støjgrænsen.

L_{den} er baseret på støjenergiens middelværdi

Det er vigtigt at forstå, at der benyttes energimæssige betragtninger under beregningerne.

Men kan man det?

En kortvarig kraftig lyd kan have præcis det samme energiindhold, som en langvarig svag lyd. Man kan også udtrykke det således:

En forbi kørende lastbil, der støjer med 90 dB(A) i 2 sekunder støjer lige så meget som 1000 personbiler, der hver støjer med 60 dB(A), når de kører forbi i en lang række.

"Når jeg sidder på min veranda om eftermiddagen og drikker kaffe, kan jeg høre de mange biler, som langsomt kører op mod Hasle Torv inde fra byen. På dette tidspunkt er støjen ikke så kraftig på grund af den lave hastighed, så det har jeg vænnet mig til. Helt anderledes er det tidligt om morgenen, hvor de store lastbiler kommer med fuld fart fra Hasle Torv på vej mod Ringgaden. De larmer til gengæld, så det forstyrrer den tidlige morgensøvn fra omkring kl. 6 – 6.30. De larmer ubeskriveligt, så det vænner jeg mig aldrig til.

Dette citat af en villaejer på Viborgvej i Hasle viser, hvorledes hun opfatter de to støjtyper.

Langt de fleste mennesker har præcis den samme opfattelse som villaejeren på Viborgvej. Der kan nævnes mange andre tilsvarende energibetragtninger. F.eks. dette eksempel fra den mekaniske fysik:

En person står i et hus på 4. sal og skal ned på gaden. Han har to muligheder:

1. Han kan gå ned ad trapperne.
2. Han kan springe ud ad et vindue ned på gaden.

Uanset, om han går ned eller hopper ud ad vinduet, indeholder han sammen beliggenhedsenergi. Men der er pokker til forskel på virkningen af hans valg.

Eksempel på kortvarig og langvarig energiomsætning.

Det afgørende er effekten - ikke kun energien

Det drejer sig altså ikke kun om energien; men snarere om, hvor hurtigt energien omsættes – det der inden for fysikken kaldes effekt, som måles i watt. Det er en grundlæggende fejl, hvis man opfatter L_{den} som den fulde sandhed. L_{den} er kun en indikator.

Juraen passer ikke sammen med realiteterne

Man kan derfor ikke blot ud fra størrelsen på L_{den} definere, om et område eller en persongruppe er støjofre. Derfor oplever mange mennesker, at de om morgenen bliver vækket af en kraftig støj, selv om deres bolig er erklæret støjfrit.

Konklusion:

Der er ikke overensstemmelse mellem den støj, som en person oplever og den juridisk definerede støj, som benyttes i forbindelse med byudvikling.

Det fremgår også, at L_{den} forudsætter, at alle køretøjer er i lovlig stand, og at hastighedsbestemmelserne overholdes.

Citat: "Som noget nyt i Danmark skal både motorcykler og knallerter medtages i støjkortlægningen, hvis de har betydning for støjbilledet".

Endvidere fremgår det af artiklen, at der er så få motorcykler og knallerter, at de under energiberegninger statistisk set ikke vil få nogen betydning på L_{den} .

Citat fra den akkrediterede Forcetechnology: <https://forcetechnology.com/da/artikler/cnossos-stoej-kortlaegning-vejstoej-beregningsmetode>

Svaghederne ved L_{den} fremgår af ovenstående og af nedenstående kommentarer.

Et viser sig, at nogle af de mest støjende køretøjer helt er udeladt den hidtil anvendte metode.

Det fremgår af artiklen, at der er så få motorcykler og knallerter, at de - uagtet at de er nogle af trafikens mest støjende køretøjer – ikke vil få nogen betydning, fordi der er så langt imellem dem.

I støjmåssig henseende lægges personbiler ofte for had. Men kører en personbil med en hastighed på 50 km i timen på en indfaldsvej, støjer den typisk med 65 dB. En rutebil, som kører med samme hastighed, støjer typisk 85 dB. Rutebilen støjer altså 100 gange så meget som en personbil. Man kan også sige, at rutebilen støjer lige så meget som 100 personbiler støjer tilsammen. Har bussen 100 passagerer, er det støjenergimæssigt uden betydning, om passagererne kører i bus eller i privatbil. Men er passagertallet lavere, ville der være mindre støj, hvis passagererne havde benyttet privatbil frem for en bus. Tilligemed er denne pludselige kortvarige kraftige støj på 85 dB, som gentages hvert andet minut, langt mere generende end en konstant støj på 65 dB.

Forkert at anvende L_{den} ved byudvikling

Det er fundamentalt forkert at udvikle en bys indfaldsveje overensstemmelse med den juridiske støjbelastning, L_{den} . For man tager ikke tilstrækkeligt hensyn til den kortvarige kraftige støj fra den tunge trafik, knallerter og Motorcykler. Man reducerer ikke støjen i tilstrækkeligt omfang ved at reducere mængden af personbiler. Om man så fjernede alle personbiler på indfaldsvejene, var der stadig den kraftige støj fra den tunge trafik tilbage. Der findes kun få effektive metoder:

1. Lad den tunge trafik køre i underjordiske tunneller (f.eks. i Marselisborg Allé).
2. Omlad varerne fra større til mindre støjende køretøjer ved ankomsten til bygrænsen.
3. Begræns byens centrum som handels- og aktivitetssentrum. Flyt i stedet disse centre ud i byens yderkant.

Det værste, man kan gøre, er at bygge højt og tæt langs indfaldsvejene og ringvejene. For herved skaber man de bedste betingelser for at få flest mulige støjofre.

Det er de få kraftige støjkluder, der forurener mest.

Det er her, vi skal sætte ind.

De mange små støjkluder har ikke den store betydning for den samlede støjbelastning.

Ud over L_{den} bør der også stilles krav til det enkelte køretøjs maksimalt afgivne støj.

Ønsker man effektiv reduktion af trafikstøjen på indfaldsvejen og i Byen kan man drage følgende konklusion:

Rutebilstationen skal ikke placeres i midtbyen.

Sammen med en Vestbanegård skal Rutebilstationen placeres på Byens mest trafikale knudepunkt.

Byens mest trafikale knudepunkt er og bliver tæt ved det sted, hvor Søren Frichs Vej munder ud i Ringvejen.

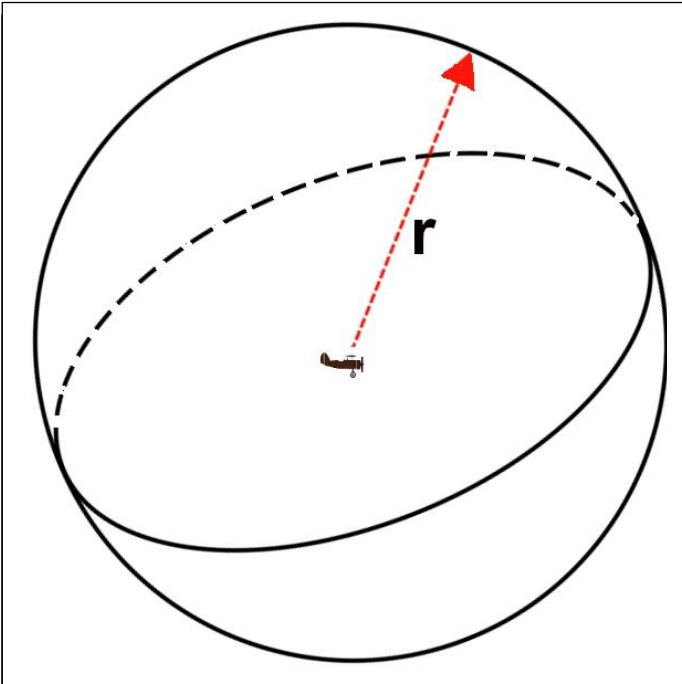
Det nuværende spor fra Hovedbanegården til Brabrand kan bruges til en lynhurtig letbaneforbindelse mellem Hovedbanegården og Vestbanegården.

Ud over en kraftig støjreduktion opnås mange andre gevinster inden for transport, miljø, økonomi og byudvikling.

Punkt og linjeformede støjkluder

Støjens udbredelse fra en punktformet støjkilde:

En punktformet støjkilde kan f.eks. være en flyvemaskine, sender lige meget støj ud i alle retninger. Det betyder, at støjens styrke i enhver retning i en given afstand på f.eks. 200 meter vil have nøjagtig samme størrelse.



Eksempel på en punktformet støjkilde, der sender lige meget støj ud i alle retninger. I afstanden, r , fra støjkluden har støjens styrke. Under forudsætning af en tabsfri transmission, gennemstrømmes kugleskallen af den samme effekt, som støjkluden afgiver. I afstanden r , bliver lydets intensitet, I derfor:

$$I = \frac{W}{4 \times \pi \times r^2} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

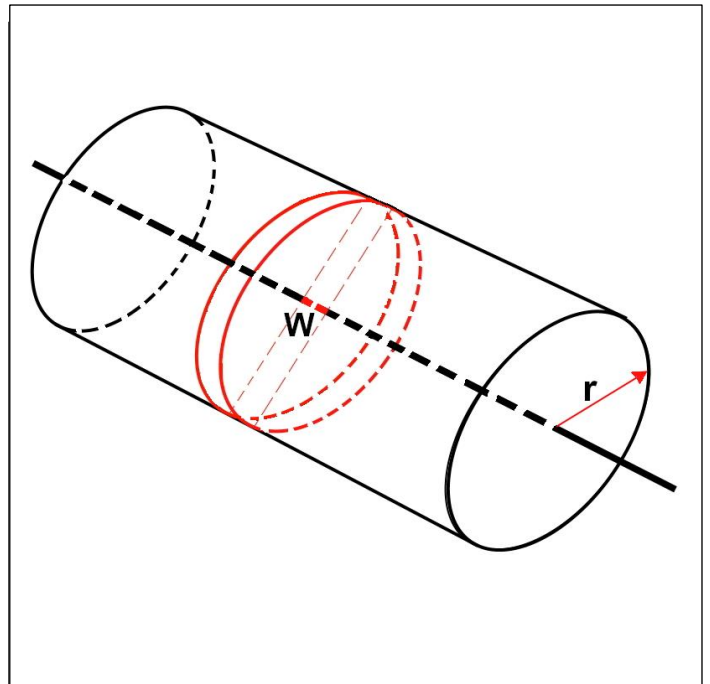
Heraf se, at lydets intensitet (styrke) falder med **kvadratet** på afstanden.

Afstand til støjkluden	Afstandsdæmpning
Dobbelt så stor	4 gange = 6 dB
10 gange så stor	100 gange = 20 dB

Ved punktformede støjkluder opnås stor virkning når afstanden til støjkluden forøges.

Støjens udbredelse fra en linjeformet støjkilde.

En linjeformet støjkilde kan f.eks. trafikstøjen fra en motorvej, som ligger på en høj bro hvor bilerne kører tæt, og der er stor afstand mellem støjkluden og støjofferet. Det betyder, at støjens styrke i alle retninger i en given afstand på f.eks. 200 meter vil have nøjagtig samme størrelse.



Eksempel på en linjeformet støjkilde, der sender lige meget støj ud i alle retninger. I afstanden, r , fra støjkluden har støjens styrke. Under forudsætning af en tabsfri transmission, gennemstrømmes cylinderens overflade af den samme effekt, som støjkluden afgiver. I afstanden r , bliver lydets intensitet, I derfor:

$$I = \frac{W}{2 \times \pi \times r} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

Bemærk, at lydets intensitet (styrke) i dette tilfælde kun falder **proportionalt** med på afstanden.

Afstand til støjkluden	Afstandsdæmpning
Dobbelt så stor	2 gange = 3 dB
10 gange så stor	10 gange = 10 dB

Ved linjeformede støjkluder stiger afstandsdæmpningen kun proportionalt med afstanden, når afstanden til støjkluden forøges.

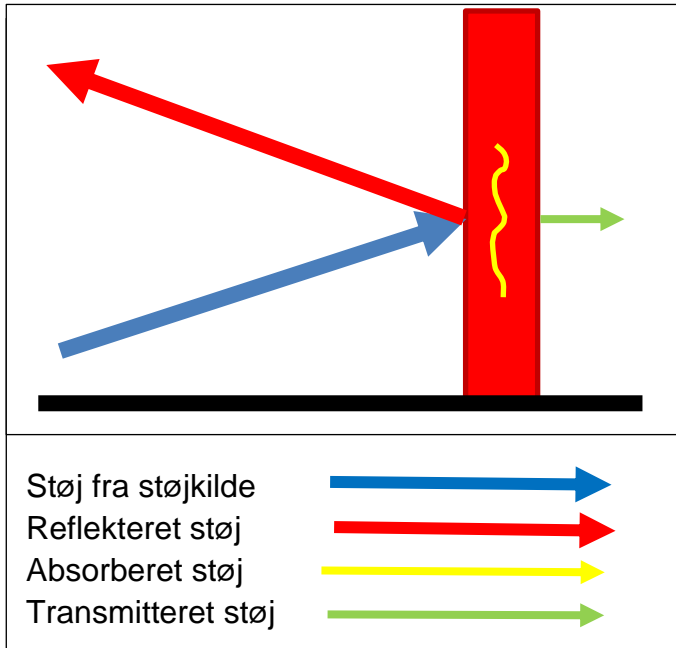
Hvornår er en støjkilde punktformet, og hvornår er den linjeformet?

I praksis er det nemt at skelne om støjilden er punktformet eller linjeformet: Kan du adskille en støjkilde fra de øvrige støjkilder er den punktformet, ellers er den linjeformet. Kan du eksempelvis adskille støjen fra en motorcykel fra bilstøjen, er den punktformet.

Står du tæt ved en vej med forbi kørende biler vil du normalt kunne adskille støjen fra hver enkelt bil. Så her er der tale om punktformet støj, hvor støjens intensitet falder med kvadratet på afstanden, når du bevæger dig bort fra vejen. Når du kommer tilstrækkelig langt bort, kan du ikke adskille støjen fra de enkelte biler fra hinanden. Nu glider støjen over til at blive en linjeformet støjkilde, hvor støjen efterfølgende kun falder proportionalt med afstanden til støjilden.

Absorption og refleksion

Når en lydbølge bevæger sig gennem luften og efterfølgende rammer en mur, metal, jord, planter, eller et andet materiale, vil noget af lydenergien blive reflekteret og resten bliver af absorberet i materialet eller ført videre på den anden side af materialet. Langt de fleste massive byggematerialer har en refleksionskoefficient på mellem 95 og 100 %. Det betyder, at stort set al den lyd som rammer materialets overflade bliver reflekteret. Det er der mange eksempler på.



Består en støjkilde af en bil, som kører på en vejbane, reflekterer vejbanen støjen. Derfor er det kun luften, som kan transmitter støjen. I disse tilfælde får ligninger dette udseende:

$$I = \frac{W}{2 \times \pi \times r^2} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I = \frac{W}{\pi \times r} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

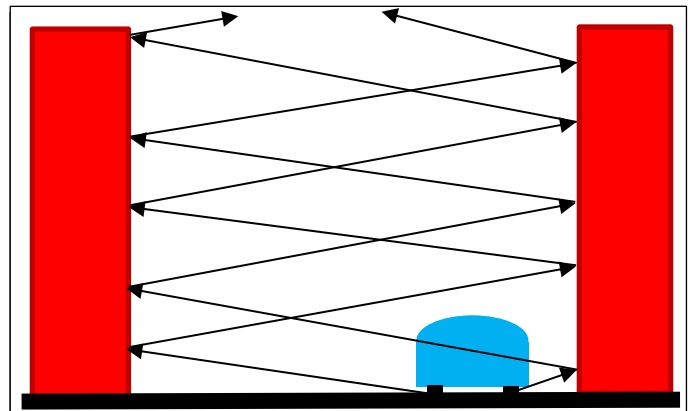
I dette tilfælde stiger støjen til det dobbelte; men det ændrer ikke på afstandsdæmpningen, for den falder fortsat med kvadratet på afstanden ved punktformede støjkluder og proportionalt med afstanden ved linjeformede støjkluder.

Der findes vejbelægninger, som absorberer støjen - men dog kun med max. 3dB i et år eller to, hvorefter de skal renoveres. Desuden findes mere fjedrende belægninger som kan forøge dæmpningen yderligere.

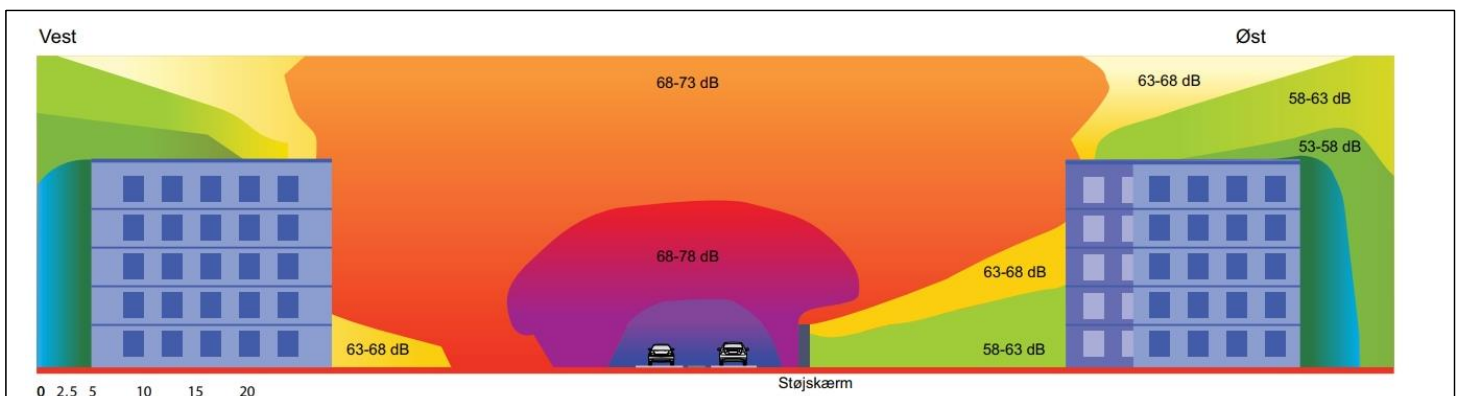
Der er stadig stigende krav til bildækkenes afgivne støj som afspejler sig i EU-lovgivningen. Men det drejer sig normalt om nogle få dB.

Ønsker man, at den transmitterede støj skal være lille, skal refleksion være høj, og muren skal være tung og tyk, så den ikke kan sættes i svingninger. En almindelig murstensvæg dæmper lyden ca. 60 dB. Det svarer til 1.000 gange.

ca. 60 dB. Det svarer til 1.000 gange.



Billedet viser en vej med etageboliger i begge vejsider. På vejen kører en bil, som afgiver støj, der rammer husene langs vejen. De reflekterer støjen, som rammer genbohuset for til sidst at forsvinde ud gennem åbningerne. Resultatet er, at hele området mellem husene bliver fyldt op af kraftig diffus støj.



Typiske dB-værdier over støj fra en trafikeret vej. Bemærk støjskærmens indflydelse på støjens størrelse. Bemærk også, at støjskærmen kun har indflydelse på de nederste etager.

Fordelen ved at anbringe lange længehuse langs vejen er, at områderne bag husene er fri for støj.



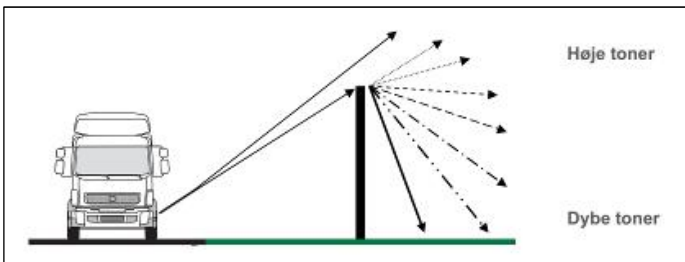
Punkthuse er ikke gode til at hindre støjen i at trænger ind bag ved punkthusene. I dette tilfælde har det været nødvendigt at bygge en glasvæg mellem punkthusene.

Eksempler på lydabsorberende materialer er glasuld, planternes grønne blade og nyfalden sne. Vi kender alle fornemmelsen af, at lyden er mere "død" efter et snevejr. Desværre findes der ikke kun bygningsmaterialer, som absorberer støjen.

I byer med tætte bebyggelser, vil vi som støjofre normalt være tæt på de forbi kørende biler, som derfor opfattes som punktformede støjkilder. Lejligheder i smalle gader med trafik er derfor særligt udsatte for støjgener. Jo bredere man kan lave en trafikeret gade, desto meget mindre støjgener får beboerne langs vejen.

Rådgivning om trafikstøj:

<https://forcetechnology.com/en/services/acoustics-noise-sound-quality/traffic-noise-road-airplane-railways-consultancy-measurement>



En høj støjskærm er mere effektiv end en lav støjskærm. Normalt er de anvendte støjskærme mellem 2 og 3 meter høje.

En støjskærm virker ikke lige godt ved alle frekvenser. De lyse toner forplanter sig i stort set rette linjer, og her virker skærmen efter hensigten. Men de dybe toner synes at bevæge sig rundt, hvor der er plads.

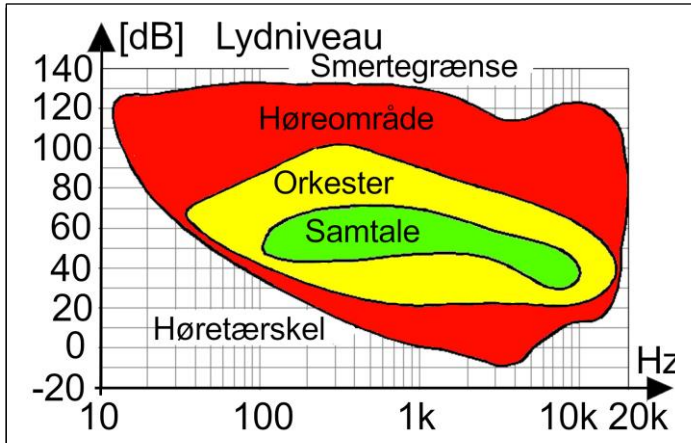
Bag en støjskærm, at der er meget lidt støj umiddelbart tæt ved skærmen; men bevæger man sig bort fra skærmen, hører man først de dybe toner og efterfølgende også de lyse toner.

Størst effekt opnås, når skærmen er anbragt tæt ved støjilden eller tæt ved støjofferet.

Psykoakustik

Hørelse

Området omhandler alt fra de lydsvingninger, som rammer det ydre øre til det vi forstår i den information, som lydsvingningerne indeholder. Området er meget stort og stadig udforsket i sin helhed. Ud over at være målløs over dette skaberværk, vil vi her blot betragte ørets og den tilknyttede del af hjernens funktion som en "Black Box".

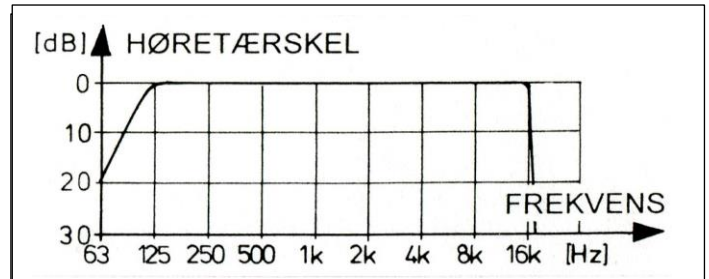


Et normalt ungt menneskes høreområde. Generelt hører vi bedst mellem 2 kHz og 5 kHz. Mennesker har forskellige smertegrænser, derfor ser man ofte kurver med en lavere smertegrænse. Bemærk: høretærsklen = 0 dB er defineret ved 1 kHz. vi hører ikke de dybe toner særlig godt. øret kan "håndtere" lyde på 120dB. Det svarer til lyde, der er op til 1.000.000.000 så kraftige som den svageste lyd.

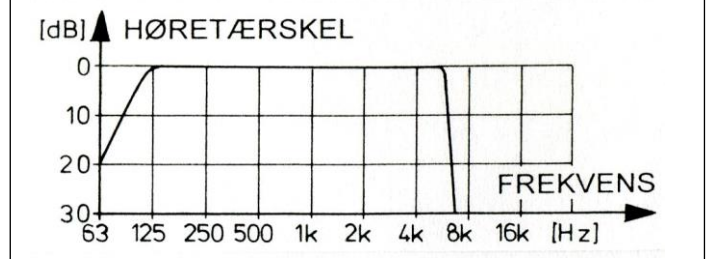
Vi må være glade for, at de allerfleste af os ikke hører de dybe toner særlig godt. Hvis vi gjorde, ville bilmotorer, maskiner og vibrationer fra f.eks. vindmøller udgøre en meget ubehagelig baggrundsstøj.

Der er mennesker, som hører de dybe toner meget bedre end os andre. Dem må vi respektere, når de beklager sig over de dybe toner i baggrundsstøjen.

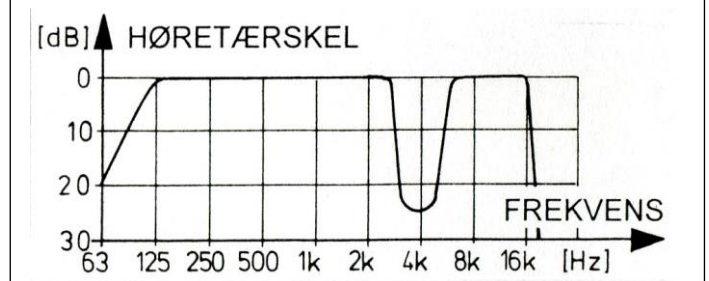
Det er vigtigt, at vi hører godt, og derfor udsætter vi os jævnligt for høreprøver. Der foregår ved, at forsøgspersonen lytter til nogle lyde med bestemte frekvenser, som ligger lige på høretærsklen. Efterfølgende kan kurveforløbet optegnes, som det er vist på figurerne.



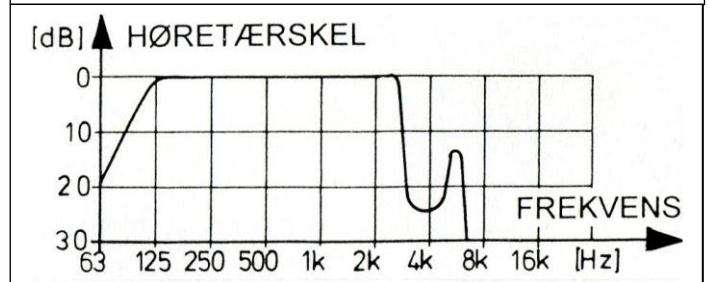
Normalt hørende barn eller ungt menneske



Aldersbetinget hørenedsættelse



Ung mand med støjbetinget hørenedsættelse

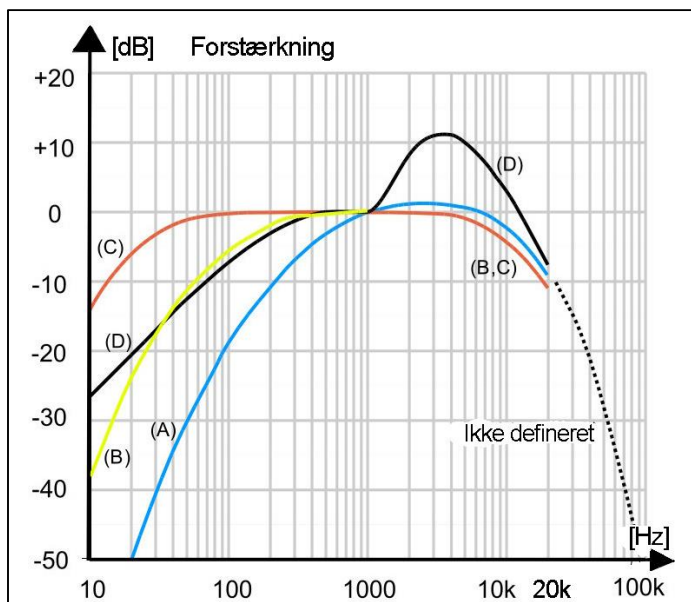


Både alders- og støjbetinget hørenedsættelse

Typiske audiogrammet for forskellige personer. I dette tilfælde har tonegeneratoren afgivet samme lydstyrke ved alle frekvenser.

Den støjbetingede hørenedsættelse er særlig interessant, fordi den optræder ved ca. 4 kHz, uanset om det er en maskinmester, som har arbejdet kraftig støj under 200 Hz, eller en smed som har brugt en vinkelsliber, hvor støjen ligger lang over de 4 kHz.

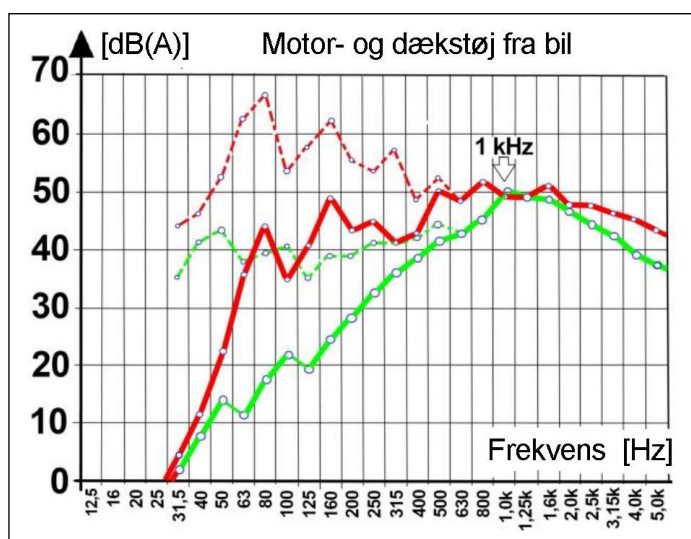
Når man skal vurdere genevirkningerne fra støj, bliver man nødt til at tage hensyn til, at vi ikke hører de dybe toner lige så godt, som vi hører de lyse toner. En god lydmåler har et eller flere indbyggede filtre, som tager hensyn til ørets egenskaber.



Disse filtre/vægtningsskurver er standardiserede og benyttes for at efterligne ørets funktion. A-fileret benyttes allermost. Men hvis det benyttes ved store lydniveauer, bliver der overkompenseret. I disse tilfælde benytter man normalt C-fileret.

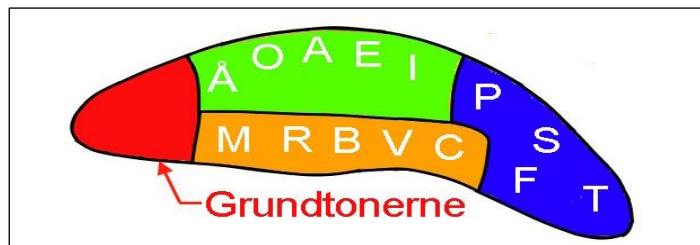
Ved 100 Hz er der en afstand på 20 dB. Det svarer til, at vores ører har dæmpet støjen med helt op til 100 gange. Det vides ikke, om denne dæmpning foregår i øret eller i hjernen.

Når man angiver, at lyden har passeret et sådant filter, påfører man et A, B, C eller D i en parentes, som meddeler læseren, at lyden er filtreret i overensstemmelse med ørets opfattelse. Det ses som eksempel i nedenstående tegning.



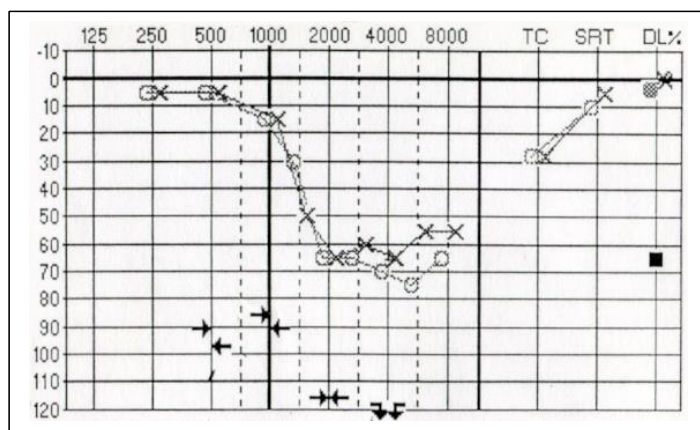
De stiplede linjer viser, den fysiske lydstyrke. De fuldt optrukne linjer viser det, vi hører. De røde linjer viser støjen fra en benzinbil. De grønne linjer viser støjen fra en elbil.

Grundtonen i mænds stemmeleje ligger i området 60-200Hz, og kan i helt specielle tilfælde være meget lavere og virker da mest som om, at lyden blaffer (se dette link <https://www.video-man.gr/da/49584>). Kvinders grundtone ligger på omtrent det dobbelte. De øvrige frekvenser indeholder, vokaler, konsonanter og overtoner.



Den menneskelige stemme indeholder grundtonerne samt vokaler, konsonanter og overtoner. Vokalerne kan man synge på – det kan man ikke på konsonanterne. De giver til gengæld kanter i sproget, så det bliver forståeligt.

Når vi bliver ældre, stiger høretærsklen. Herved øges behovet for et høreapparat, som kan forstærke lyden. Men samtidig med hørenedsættelsen flytter kurven ved de høje frekvenser sig ned mod de lave frekvenser. Herved falder evnen til at høre de høje frekvenser (P, S, F og T-lydene), og sproget mister sine kanter, idet vokalerne glider over i hinanden. Derfor skal der ved disse frekvenser skrues ekstra højt op for forstærkningen, så der fortsat er mulighed for at høre og forstå, hvad der bliver sagt.



Dette audiogram er optaget på Høreklinikken i Aarhus og omhandler en pladesmed, som gennem 17 år har undervist unge mennesker 5 timer hver dag i tyndpladebearbejdning i en støj $L_{eq} = 96$ dB(A). Han søgte erstatning for arbejdsskade; men fik afslag, fordi man ikke kan se det karakteristiske dyk ved ca. 4 kHz. Var han kommet nogle år tidligere, hvor man endnu kunne se skaden, var den godkendt.

Støjpåvirkning

Børn og unge mennesker hører de høje frekvenser væsentligt bedre end ældre mennesker, som normalt har højfrekvent høretab. Derfor kan de unge være meget mere belastet af den hjulstøj, som ældre ikke kan høre nært så godt.

Da hjulstøjen stiger med stigende hastighed, vil især børn og unge mennesker få gavn af at reducere bilernes hastighed.

Som almindelig beboer i en stor by er trafikstøjen slet ikke kraftig nok til selv over længere tid at give en støjbetinget høreskade – der skal meget mere til. Men som tidligere beskrevet er støj generende og kan være farlig.

Vejstøj er en stressfaktor som hvert år alene i Aarhus statistisk medfører mellem 50 og 125 indlagte på sygehuset med forhøjet blodtryk og hjertekarsygdomme.

Og med de samme kilder og statistik dør der hvert år mellem 12 og 30 mennesker af trafikstøj i Aarhus.

Støj kan indvirke på søvn ved at forlænge den tid, det tager at falde i søvn; under søvnen, bl.a. ved at vække de udsatte; og efter søvnen, ved at de udsatte oplever en dårligere søvnkvalitet i form af øget træthed og dårligere præstationer. Intermitterende, uregelmæssig støj (dvs. støj som forekommer af og til) og store forskelle mellem støjniveauet og baggrundsniveauet medfører større risici for gener på søvn og hvile end regelmæssig og forudsigelig støj. Mennesker vænner sig ikke til støj i en søvnsammenhæng, selv ikke efter at være udsat for den i flere år. Og ældre, syge og skifteholdsarbejdere er mere følsomme over for støj (Öhrström 1993).

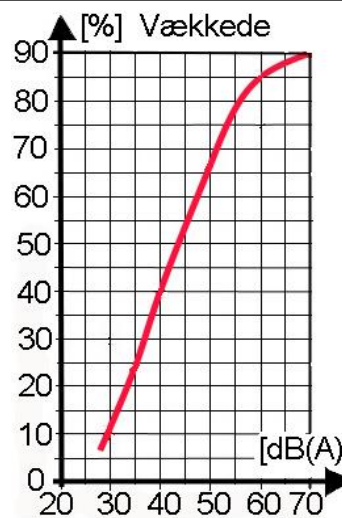
Når det gælder, hvilke støjniveauer der udløser forskellige søvngener, er de foreliggende undersøgelser mindre præcise. Eksempelvis viser laboratorieforsøg store individuelle forskelle i de lydniveauer, hvorved forsøgspersoner vækkes. Enkelte vækkes ikke selv ved meget kraftige påvirkninger.

Hvilket søvnstadium, de udsatte befinder sig i, er også afgørende for, ved hvilke lydniveauer man vågner. Risikoen for at blive vækket øges jo flere støjhændelser - også med relativt lavt lydniveau - der forekommer i løbet af natten (Öhrström 1993).

Figuren viser resultaterne af et ældre vækningsforsøg.

Støjens indflydelse på antal vækkede personer. Kilde: [B&L20hvhv.pdf](https://www.bnl20hvhv.pdf) (ku.dk)

Der oplyses intet om lydens karakter, hvor længe lyden varede, personernes alder og deres søvntilstand.



- A. Forsøgets formål var at undersøge indendørs-støjens betydning i
1. et normalt lydniveau
 2. et lydniveau der var reduceret med vinduer med termoglas
- B. I 10 nætter blev der i to værelser med forsøgspersoner observeret hjerteaktioner, fremkaldt af toppene i lydniveauet. Det bemærkes, at
- A. **lydisoleringen reducerede ikke hjerte-responsernes størrelse eller absolutte niveau, som var fremkaldt af trafikstøjens toppe.** Dette kan hænge sammen med, at lydisoleringen reducerede det gennemsnitlige lydniveau, men ikke antallet af lydtoppe, hvilket indikerer, at termorudernes lydisolering ikke var optimal.
- B. Hjerteaccelerationen faldt ikke med tiden i løbet af de ti nætter med højt lydniveau.
- C. Der blev fundet en sammenhæng mellem de fremkaldte hjerteaktioner størrelse og hældningen og varigheden i støjniveauets toppe, som blev registreret i soveværelset.
- D. Resultater er et bevis for, at "hjerteophidselsen" som reaktion på trafikstøj vedvarer, selv under søvn. Hjerteaktiviteten var følsom over for ændringer i stimulusegenskaber.
- E. Trafikstøj kan forstyrre søvnen - selv uden at vække personen.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X85700387>

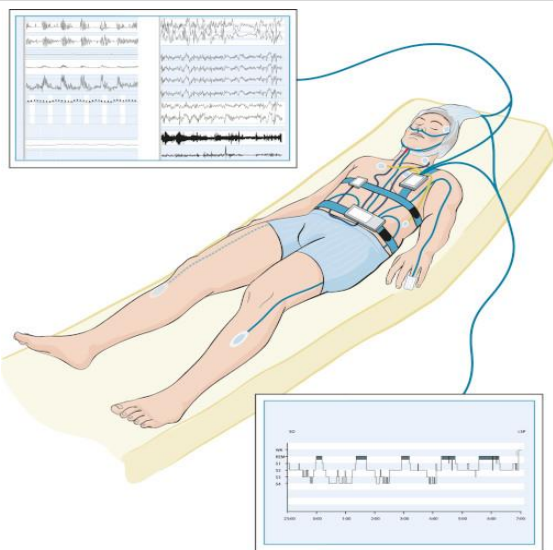
Angiver resultatet af søvnundersøgelse af 12 forsøgspersoner, som bor langs en motorvej med stortrafiktæthed.

Ud over vejstøj formodes klokkeringning og klokkeslag fra kirkeklokketårne at forårsage søvnforstyrrelser hos mennesker, der bor i nærheden af klokketårnene, der hele natten giver tidspunktet med klokkeringninger.

Opvågningsreaktioner blev bestemt hos 27 frivillige forsøgspersoner, målt i deres hjemmemiljø i fire på hinanden følgende nætter med ambulant polysomnografi og samtidige akustiske optagelser i og uden for boligen.

1. Resultaterne viser, at klokkeringningen øger opvågningerne på samme måde, som er rapporteret med transportstøj.
2. Sandsynligheden for at vågne afhænger først og fremmest af det maksimale lydtrykniveau for en begivenhed.
3. Antallet af klokkeslag og de personlige variabler køn, alder og støjfølsomhed påvirkede ikke opvågnings sandsynligheden væsentligt.
4. Opvågnings sandsynligheden steg med forløbet tid efter søvnstart.
5. Resultaterne tyder på, at en reduktion af det maksimale lydtrykniveau eller en afbrydelse af ringninger om natten kan reducere opvågningerne.

[En hændelsesrelateret analyse af opvågningsreaktioner på grund af natlig kirkeklokketøj - ScienceDirect](#)

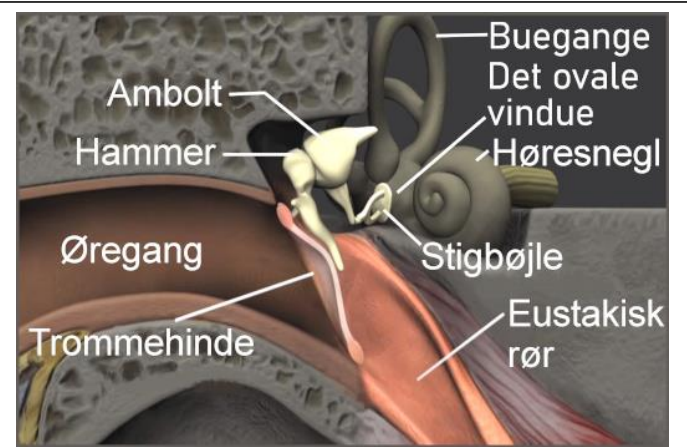


Udstyr og metoder der benyttes ved undersøgelser af søvntilstande kaldes Polysomnografi.

Mere om søvn findes på dette link:

<https://iform.dk/sundhed/soevn/hvor-meget-dyb-soevn>

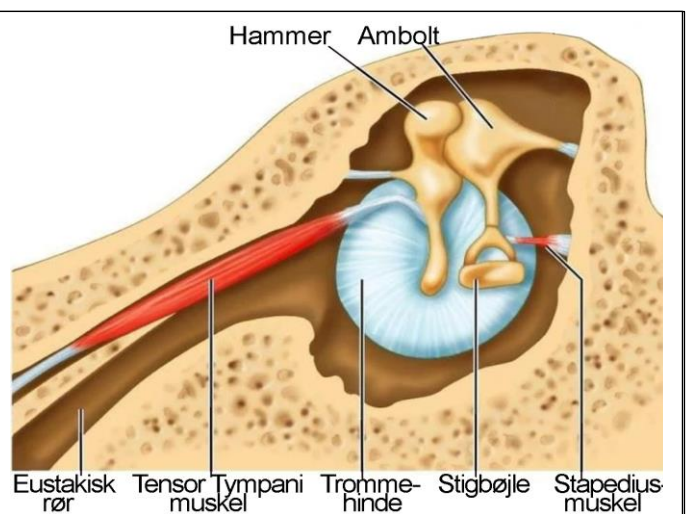
Mellemørets knogler og muskler



Billet viser mellemørets og dets knogler. Når du klikker på dette link, får du en rigtig god forklaring på funktionen.

[Auditory Transduction \(2002\) - YouTube](#)

Når der trænger lyd gennem øregangen til trommehinden, vil den vibrere frem og tilbage i overensstemmelse med de ændringer i de lufttryk, som lyden frembringer. Gennem kroppens mindste knogler, hammer, ambolt og stigbøjle føres trykændringerne gennem det ovale vindue ind i den væskefyldte høresnegl, hvor der findes små bevægelsesfølsomme "antener". Gennem nervebaner føres elektriske signaler til hjernen, hvor de bliver afkodet til tale, musik eller andre informationer, som øret har modtaget.



Mellemøret set indefra og ud mod de ydre øre. Knoglerne er gjort fast til kraniet med sener. Bemærk, at hammeren og stigbøjlen foruden en sene også har en muskel.

Trommehinden, de tre knogler og det ovale vindue udgør tilsammen en transformator, hvor luftsvingningernes energi skal overføres tabsfrit til den væskefyldte snegl. Derfor har trommehinden et stort areal (ca. 300 mm²) og det ovale vindue et lille areal (ca. 10 mm²). Da lydenergien koncentrereres på et mindre areal, bliver trykket hermed forøget. Dette er vigtigt, da lyden nu skal transmitteres gennem væsken i det indre øre, og væske giver mere modstand end luft.

Stapediusmuskulens egenskaber

Stapedius musklen er med en længde på ca. 6 millimeter og en diameter på kun 1 millimeter vores mindste muskel. Dens vigtigste formål er at beskytte vores høreorgan mod for kraftig lyd ved især de lave frekvenser.

I det raske øre aktiveres stapedius musklen ved at trække sig sammen ved 70 – 100 dB. (Det kaldes den akustiske reflekstærskel eller stapediusreflekse). Herved løsner den stigbøjlsens greb til det ovale vindue, så lydoverførslen dæmpes med op til 1000 gange, svarende til 30 dB.

Latenstiden (dvs. tiden fra aktivering til sammentrækning) er ca. 20 millisekunder. Muskulens når ikke at reagere på pludselige intense lyde med kortere varighed.

Lyddæmpningen foregår dog kun ved frekvenser, som er lavere end ca. 1kHz.

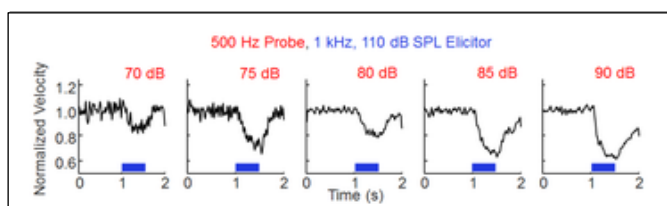
Lyde 20 dB over reflekstærsklen, medfører en dæmpning i lydintensitet på ca. 15 dB.

Når vi selv taler, medfører det en dæmpning på ca. 20 dB

Sammentrækningen af stapediusmuskulens sker i begge ører, uanset hvilket øre der blev udsat for den høje lydstimulering.

Refleksen udløses allerede i forventning om en kraftig lyd påvirkning f.eks., at vi skal nyse eller begynder at tale.

Selv med fortsat stimulering kan Stapediusmuskulens fulde spænding ikke opretholdes. Efter et par sekunder falder spændingen til ca. 50% af sin maksimale værdi.



Eksempler på begyndelsen og genoprettelsen af den akustiske refleks.

Tensor Tympanimusklens egenskaber

Selvom TTmuskulens fulde funktion endnu ikke er helt forstået, er nogle specifikke roller blevet afsløret gennem flere undersøgelser.

Det ser ud som om stapedius dominerer, selvom både TTmuskulens og stapediusmuskulens er involveret i den samlede refleks.

Tensor Tympanimuskulens er væsentlig større end stapediusmuskulens. I lighed med stapediusmuskulens er dens vigtigste formål at beskytte vores høreorgan mod for kraftig lyd

Ved at trække sig sammen under en kraftig lyd påvirkning, strammer den trommehinden så kraftig, at den reducerer udsvingenes størrelse og hermed også lydtransmissionen.

Latenstiden er 40 millisekunder eller mere. Derfor kan den ikke i samme grad som stapediusmuskulens beskytte det indre øre mod kortvarige kraftige lyde som f.eks. skud eller eksplosioner.

Høreprøver og reaktioner

Under en høreprøve er det almindeligt at undersøge stapedius muskulens funktion ved forskellige frekvenser. Dokumentationen udføres som pile i audiogrammet. Det ses f.eks. på side 2, hvor aktiveringen sker ved en lydstyrke på ca. 90 dB ved 1 kHz. Det er ganske almindeligt, at jo større høreskade desto kraftigere lyd skal der tilføres, inden stapedius aktiveres. Stærkt hørehæmmede har ofte slet ingen akustisk reflekstærskel.

Vedvarende støj kan højst medføre et høretab svarende til en høretærskel omkring 60-70 dB.

Impulsstøj kan højst medføre et høretab svarende cirka til en høretærskel omkring 90-100 dB.

Forskernes iagttagelser.

Refleks som følge af forventning er ikke helt klarlagt; men i et forsøg udviste kun 2 ud af 50 personer en præaktivering af refleksen i den advarede nedtælling.

En pludselig høj støj eller synet af en bus, der kører ned mod én, frembringer alarm- eller forsvarsreaktion i form af en hurtig hjerterytme.

En undersøgelse viser, at at MEM-refleksen ikke længere kunne fremkaldes hos patienter, der havde mistet stapedius muskelfunktion.

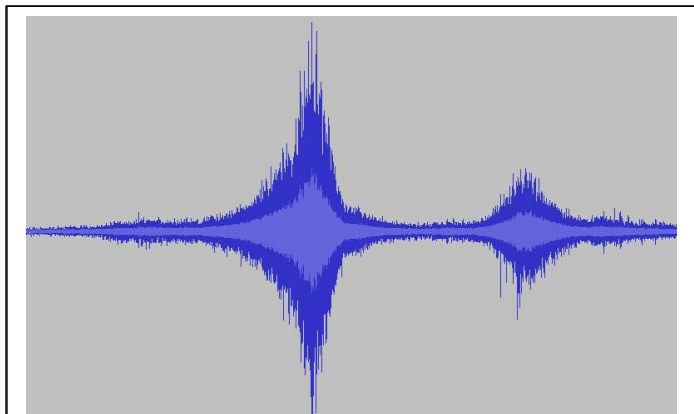
Dens fibersammensætning indikerer en træthedbestandig og hurtigt sammentrækkende muskel. Disse funktioner i TTM er i overensstemmelse med dens sammentrækning som reaktion på høje lyde.

Men i en offentliggjort undersøgelse undersøgte forskere tilfældet af et [akustisk chok](#), hvis mekanismer tyder på dysfunktion af den tympaniske tensormuskel. Denne undersøgelse ser ud til at være den første til at give eksperimentel støtte, der tyder på, at mellemøremuskler (MEM) kan opføre sig unormalt efter et akustisk stød. Det foreslås, at unormale sammentrækninger (f.eks. toniske kontraktioner) af den tympaniske tensormuskel kan udløse neurogen inflammation. Faktisk blev fibre med stofferne P og CGRP fundet i umiddelbar nærhed.

Støjimpulser og transienter

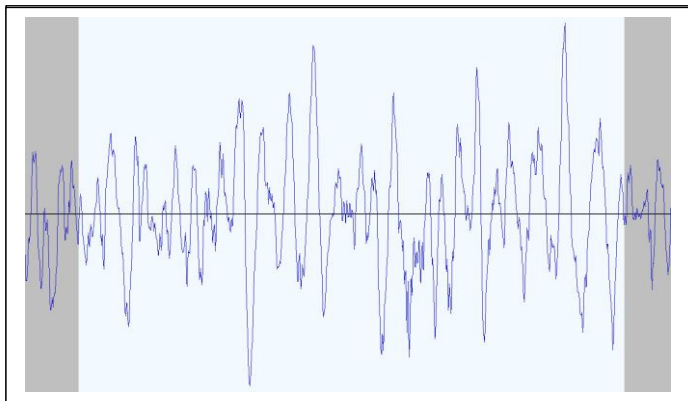
Det er et lovkrav, at den maksimale vejstøj, L_{den} i et soveværelse ikke må overstige 46 dB. Det er tidligere vist, at denne støj er sammensat af mange forskellige lydstyrker med et genetillæg på 6 dB i aften timerne og 10 dB om natten.

Støjen varierer ikke blot som følge af døgnrytmen, men også når de forskellige køretøjer kommer forbi. Selv om den registrerede støj, L_{eq} ligger noget under L_{den} , kan der meget vel være enkelte støjimpulser, som både er så sjældne og så kortvarige, at de kan vække et støjoffer, uden de giver en nævneværdig forhøjelse af L_{eq} . En anden mulighed er, at støjofferet ikke vækkes, men at de meget kortvarige støjspidser registreres af øret; men ikke af hjernen og derfor ikke høres. Disse støjspidser kaldes ofte transienter, og ses som meget tynde lodrette streger i nedenstående figur.

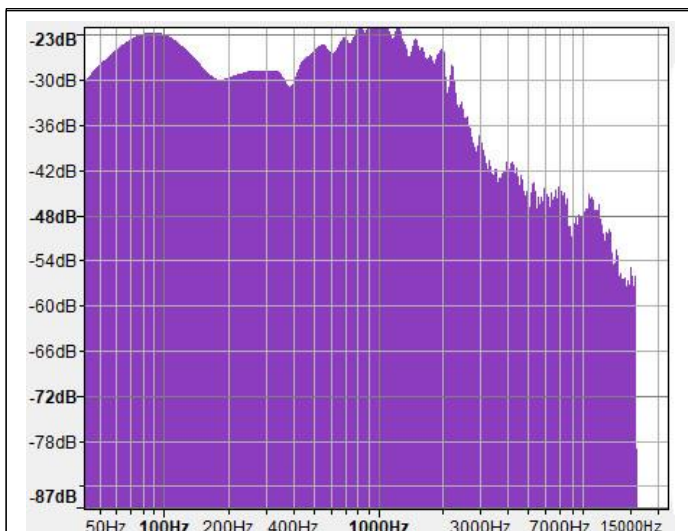


Målt støj fra to forbi kørende biler med en hastighed på 50 km/time. Den lodrette akse er gengivet lineært – altså ikke i dB.

I virkeligheden er disse transienter blot en sum eller differens af flere samtidige signaler, som det ses af nedenstående figur.



Et udsnit af støjen i den foregående figur. I virkeligheden består hver enkelt transient af summen af mange sinusformede svingninger med forskellige frekvenser. Den hvide del fylder 20 millisekunder.

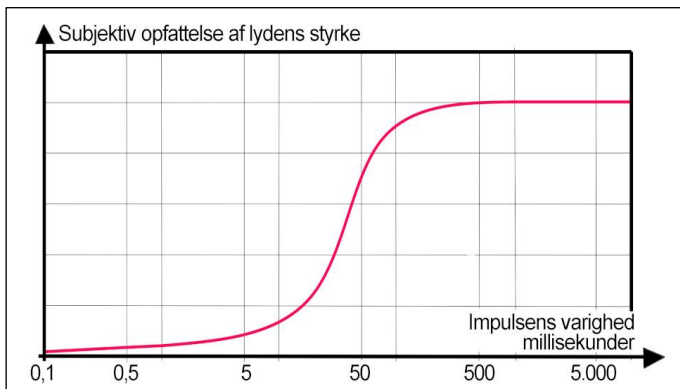


Frekvensanalyse af støjen fra de to forbi kørende biler. Bemærk, at motorstøjen ligger under ca. 1 kHz, og dækstøjen over 1 kHz. Forøges hastigheden, vil især dækstøjen blive forøget.

Mange kilder beskriver vækningsforsøg; men de stemmer ikke overens – formentlig fordi de er foregået under forskellige betingelser. Her konstateres blot, at en tilstrækkelig høj lyd er i stand til at vække forsøgspersoner. Vi ved også, at stapediusmusklen aktiveres, når lyden styrke er ca. 70 dB, og at latenstiden er 20 millisekunder.

Stapediusmusklen formål er at beskytte hårcellerne i det indre øre. Derfor bør latenstiden være så kort som muligt, og derfor indgår reflexen i det sympatiske nervesystem, som får kroppen til at reagere hurtigt og målrettet på farer, uden vores

hjerne først skal kobles ind som en forsinkende faktor. Vores hjerne er ikke i stand til at reagere på de meget korte impulslyde, og derfor hører vi dem kun svagt; men nervecellerne reagerer hurtigt på "faresignalerne", der gør det vanskeligt for os i at være i den dybe søvn, og som giver os en urolig REM-søvn.



Lydforsøg med impulsen/transienten fra hvid støj med konstant lydstyrke. Grafen viser, at impulsens varighed skal være ca. ½ sekund, inden lyden registreres som fuld styrke. Forsøget er stadig i den indledende fase, så kurvens forløb er endnu ikke fuldt klarlagt og vil formentlig være personbestemt.

Nettet synes ikke at indeholde artikler, som giver et klart bevis på, at det er de ikke/næppe hørbare impulser, som er problemet.

Men tilsammen giver de et indtryk af, at støjofrenes sympatiske nervesystem er på konstant overarbejde og er en stressfaktor, der forøger risikoen for hjertekarsygdomme, forhøjet blodtryk og andre tilsvarende livstilssygdomme. De ikke/næppe hørbare støjsignaler synes derfor at være årsagen til forhøjet sygdomsrisiko og kan som tobaksrygning være en langsom dræber, der medfører dødsrisiko.

Hvad kan man gøre ved det?

1. Selv det sympatiske nervesystem må have en øvre grænsefrekvens, over hvilken systemet ikke reagerer. Den bør findes, for der er jo ingen grund til at lave unødvendige foranstaltninger.
2. Der bør i lovgivningen om vejstøj, hvori L_{den} indgår, tilføjes en maksimal støj for alle køretøjer som supplement til L_{den} . Hvis muligheden findes, bør denne skærpselse snarest fastsættes på lands/kommunal basis og ikke nødvendigvis indgå i EU krav.
3. Hver dag passeres Ringvejen af 160.000 biler – primært for at passe arbejdet i Byen. Det giver samlet en stor CO2 forurening men også en stor støjforurening. Den kan i praksis kun undgås ved at prioritere Byens anvendelse anderledes. Det store problem er, at Byrådet tillader etablering af arbejdskrafttunge virksomheder, hvor der ikke er den fornødne arbejdskraft. Derfor skal Byen prioriteres til beboelse, detailhandel, oplevelser i bred forstand og den overordnede administration.
4. Kommunerne har gennem især de sidste år tilstræbt at bygge tæt og ofte højt langs indfaldsvejene og hvor, der generelt er stor motoriseret trafik. Argumentet har været, at man herved kunne fremme den ønskede fortætning, så beboerne ville få nemt til den kollektive transport, og man kunne reducere vejstøjen ved de bagved liggende huse. Med den nuværende viden, er det støj- og helbredsmæssigt en dårlig løsning.
5. Stapediusmuskulens reducerer primært støj med frekvenser under 1 kHz. Anderledes forholder det sig med frekvenser over 700-800 Hz, hvor hjulstøjen er dominerende. Den ændres ikke, fordi eldriften bliver fremherskende. Derfor bør der generelt fastsættes en hastigheds grænse på 50 men helst 40 km/time. Vigtigst er det dog at forhindre stærkt støjende køretøjer i at køre i byerne (på samme måde, som man i dag forhindrer visse dieseldrevne biler i at køre inde i byen).

Konklusion

Det er os selv, som på mange måder selv frembringer den støj, der gør mange mennesker til støjofre. Netop fordi vi selv er årsagen, er vi naturligvis også selv i stand til at fjerne støjen.

På nettet findes mange oplysninger om støj, og de langtidspåvirkede høreskader. Men skønt vi ved, at et enkelt skud eller tilsvarende kraftige lydimpulser giver varige høreskader, findes der næsten ingen om de skader, støjimpulserne og transienterne giver anledning til.

Som støjindikator er L_{den} et vigtigt værktøj, der er defineret ud fra en energiækvivalent gennemsnitsværdi. Men denne størrelse ikke tilstrækkelig til at vise hverken vækning eller de farlige genevirkninger.

På lige for med L_{den} bør de kraftige relative korte og sjældne støjimpulser naturligvis også indgå i lovkrav.

Denne undersøgelse viser, at man i lovgivningen og i byudviklingen bør tage hensyn til, hvordan støjen høres af støjofrene og i mindre grad, om den overholder de nuværende juridiske krav.

Undersøgelsen viser også, at støjen kan være farlig, selv om den ikke kan høres, fordi støjofrene sover. Det er formentlig her, der skal forskes og gives anvisninger på fornuftige tiltag, så de mange indlæggelser og dødsfald undgås (I EU dør hvert år 10.000 som følge af støj).

Men det drejer sig ikke kun om nogle fysiske forhold – for hvem kender ikke til lyden af den irriterende dryppende vandhane som kun giver en næppe hørbar lyd, eller rytmen i naboen musik, som tryllebinde os til at lytte med, skønt vi gør næsten alt for at undgå det. Det hører klart ind under emnet psykoakustik; men det synes endnu ikke at være berørt så meget, at det er muligt at beskrive noget brugbart herom.

Kilder

John E. Hall ph.d., i Guyton og Hall Lærebog i medicinsk fysiologi, 2021

[Stapedius Muscle - en oversigt | ScienceDirect-ener](#)

Ken Hub: Stapedius Muskel

[Stapedius: Anatomi, funktion og kliniske relationer | Kenhub](#)

Arbejdsskadestyrelsen: Notat om fastsættelse af varigt mén i høresager efter langvarig udsættelse for støj.

<https://www.aes.dk/dokument/notat-om-fastsaettelse-af-varigt-men-i-sager-om-stoejbetinget-hoerenedsaettelse>

Le Gjerum: Hørelse

<http://www.ffmpegedicin.mono.net/upl/9104/HrelseLeGjerum.pdf>

Wikipedia: Akustisk refleks

https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_reflex

Anne-Grethe Kjær m.fl: Akutte stresseffekter af impulsiv støj under mentalt arbejde

[Akutte stresseffekter af impulsiv støj under mentalt arbejde - ScienceDirect](#)

Inger Rødbroe, faglig konsulent, NUD: Audiologi

https://nordicwelfare.org/wp-content/uploads/2017/10/Audiologi_web.pdf

Videntjenesten KU. Henrik Hvidtfelt: Reaktionen på vejtrafikstøj

<https://videntjenesten.ku.dk/filer/rapporter/planlaegning-og-friluftsliv/bogl20.pdf>

Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling, Lunds Universitet, Theo Bodin m.fl:

[IJERPH | Gratis fuldtækt | Irritation, søvn- og koncentrationsproblemer på grund af kombineret trafikstøj og fordelen ved stille side \(mdpi.com\)](#)

Alexis Edmonson m.fl.: Funktionen af tensor tympani muskel: en omfattende gennemgang af litteraturen

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9256479/>

MC. Brown: Auditivt system: Efferente systemer til den auditive periferi

<https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/tensor-tympani-muscle>

Støj fra biler

Bilerne frembringer støj på 3 forskellige måder:

- 1) Motorstøj
- 2) Dækstøj
- 3) Vindstøj

Støjen registres 2 forskellige steder

- 4) Inde i bilen
- 5) Uden for bilen

I dette afsnit beskæftiger vi os kun med støjen uden for bilen. Her er vindstøjen ganske ringe i forhold til motorstøjen og dækstøjen.

Motorstøj

Motorstøjen er afhængig af motorens omdrejningshastighed og dækstøjen er afhængige af bilens hastighed.

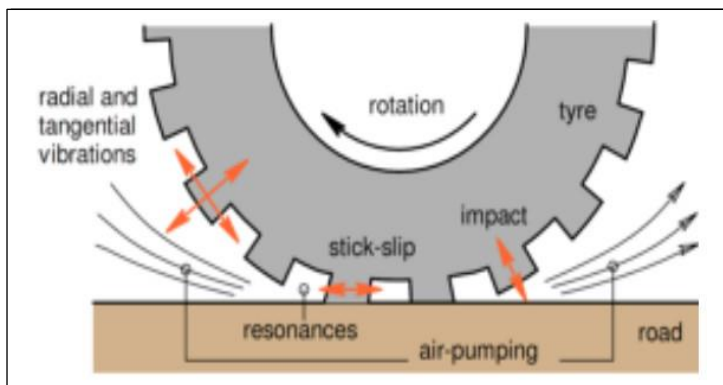
Der er stor forskel på de enkelte bilmotorers afgivne støj. Ved tomgang kan man forvente

Personbiler 40 -50 dB(A).

Lastbiler og rutebiler 60 – 70 dB(A).

Støjen stiger under acceleration og ved store hastigheder.

Dækstøj



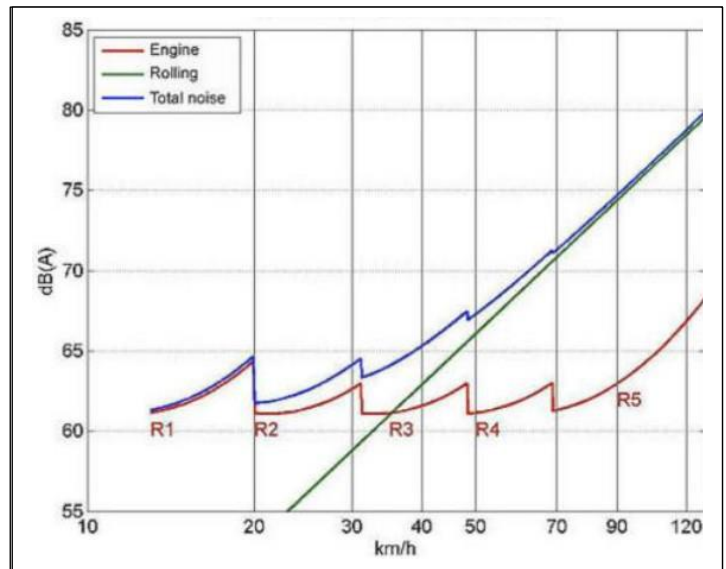
Der er flere årsager til, at der dannes støj, når dækket roterer hen over vejbanen.

EU-lovens beskriver, hvor meget en nyindkøbt bil må støje. Støjgrænserne ændres fra tid til anden og generelt stilles stadig større krav til den afgivne støj. Se evt. artiklen på dette link

<http://asp.vejtid.dk/Artikler/2015/06-07/8152.pdf>

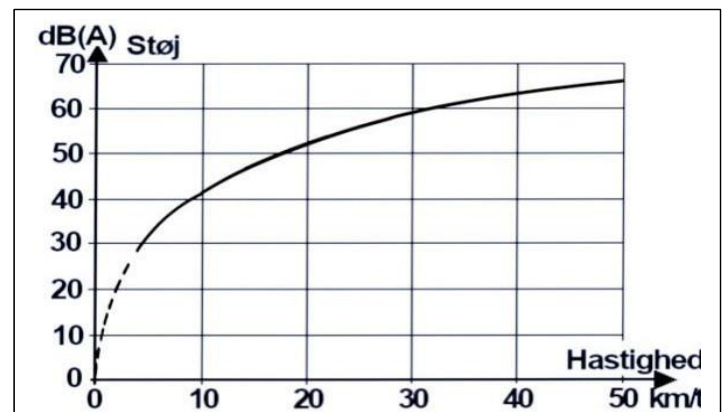
Men nedslidte og dårligt vedligeholdte biler (med f.eks. defekt udstødningsrør) kan støje langt mere. Endvidere har bilens fører stor indflydelse på støjens størrelse. Generelt gælder det om at køre økonomisk. Det betyder, at du skal undgå kraftige accelerationer og ikke køre med et motoromdrejnings-tal, der er højere end nødvendigt.

Motorstøj og dækstøj



Den blå kurve viser støj fra en personbil. Støjen er dannet af dækstøjen (den sorte linje) og af motorstøjen (den røde kurve) Dækstøjen falder 10 dB(A) hver gang hastigheden halveres. Den røde kurves takkede facon skyldes, at der skiftes gear, når motorens omdrejningstal er 1800 omdrejninger pr minut. Kilde: <https://www.roadtraffictchnology.com/features/feature126199/attachment/feature126199-4/>

På nettet findes der ikke oplysninger om den afgivne støj fra bilernes elmotorer. Og fabrikanterne synes heller ikke at oplyse om disse. Formentlig skyldes det, at støjen er så lav, at den ikke er målbar. Gå derfor ud fra, at en elbil kun afgiver dækstøj. Ved lave hastigheder er elbilers støjniveau endda så lavt, at myndighederne overvejer, om elbiler skal afgive markeringssignaler ved hastigheder under 30 Km/time.



Elbilers støjniveau er også ved lave hastigheder alene bestemt af dækstøjen. Det er urealistisk at undersøge støjen under ca. 25 dB(A), som svarer til baggrundsstøjen i en meget stille stue.

Ved de nu gældende hastigheder har elbiler og benzindrevne personbilers dækstøj større betydning end motorstøjen. Og uanset om personbilerne kører på benzin, diesel eller elektricitet så er dækstøjen ens ved samme hastighed.

I den nuværende trafik reducerer man ikke støjen ved også at anvende eldrevne biler. Det gør man kun, hvis man også reducerer hastigheden til 30 km/time eller mindre.

Men så længe man accepterer, at der kører store dieseldrevne lastbiler og rutebiler rundt i byen, vil en nedsættelse af hastigheden ikke få den store betydning for den samlede støjforurening i byen. Det bekræftes af dette link fra Vejdirektoratet:

<http://asp.vejtid.dk/Artikler/2015/06-07/8164.pdf>

Går vi ud fra, at hvert af de 4 dæk bidrager med støjmængde til den samlede dækstøj (f.eks. 71 dB(A)) kan støjen fra hver dæk beregnes af:

$$L_1 = L_4 + 10 \log \frac{1}{\text{Antal}} =$$

$$L_1 = 71 + 10 \log \frac{1}{4} = 71 - 6 = 65 \text{ dB(A)}$$



Denne lastbil (en såkaldt 18 wheeler) har 18 dæk. Hvis dækkene har samme bredde som en personbil, kan den samlede dækstøj beregnes.

$$L_{18} = L_1 + 10 \log \frac{\text{Antal}}{1} = 65 + 10 \log \frac{18}{1}$$

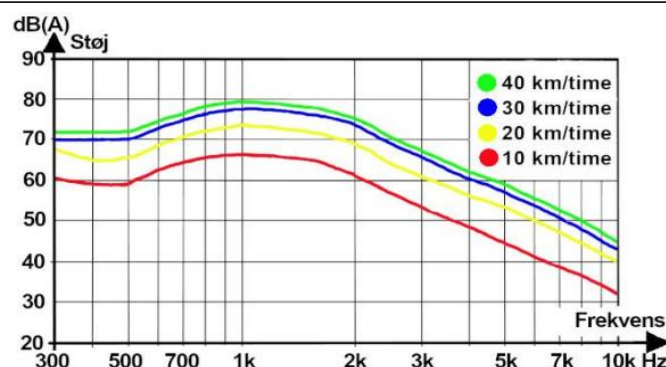
$$L_{18} = 65 + 12,5 = 77,5 \text{ dB(A)}$$

Men da lastbilens dæk skønnes at være dobbelt så brede som personbilens dæk, er støjen ca. 3 dB(A) større dvs. ca. 80 dB(A). Dækstøjen fra denne lastbil vil derfor være ca. 10 gange så høj som fra en personbil, der kører med samme hastighed.

Se evt. dette link: [BILSTØJ: Så meget støjer din bil](#)
[| BT Bil og camping - www.bt.dk](#)

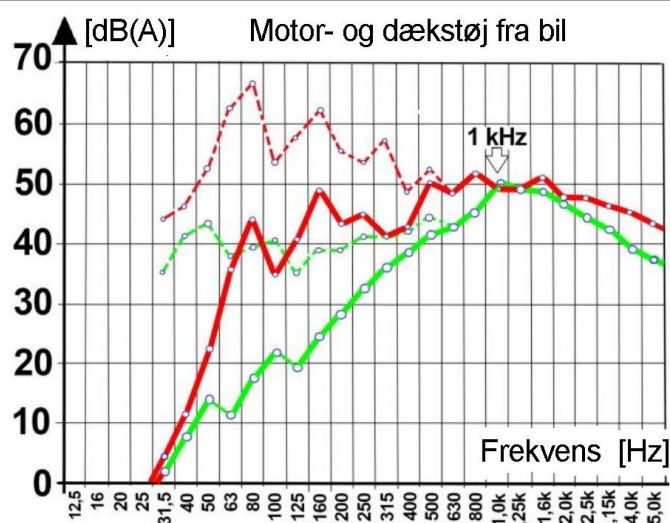
Støjens frekvensindhold

Der er forskel på den lyd, som en bilmotor afgiver og den lyd, som dækkene afgiver. Lyden fra motoren har en noget dybere toneleje (et lavere frekvensindhold), end det noget lysere toneleje, som dækkene afgiver (et højere frekvensindhold). Selv om der finder et vist overlap sted, kan man gå ud fra, at motoren afgiver støj under 1 kHz og dækkene afgiver støj over 800 Hz. Man kan også gå ud fra, at store biler (f.eks. lastbiler) afgiver dybere toner end de mindre personbiler.



Støjen fra en forbigående bil.

Kilde: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Coruna17/AAM-2%20005.pdf>

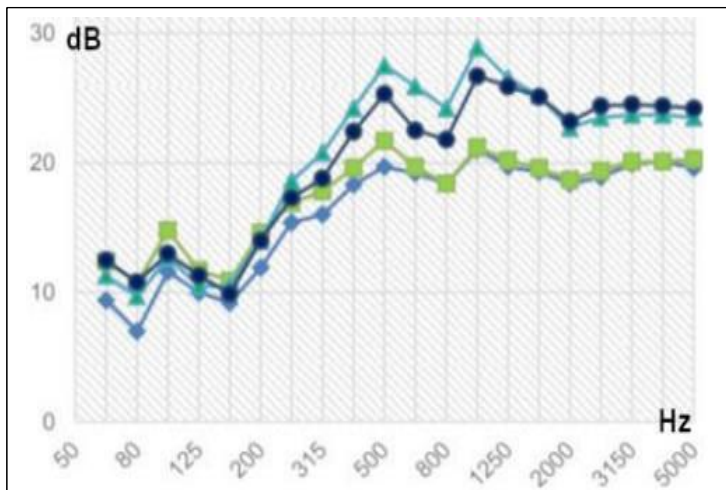


Kurverne viser de toner, som støjen indeholder. Den røde gælder for en benzindreven bil. Den grønne gælder for en el-bil. De fuldt optrukne kraftige linjer er et udtryk for, hvor kraftigt vi hører de enkelte toner. (Mennesker hører ikke de dybe toner særlig godt, og de fuldt optrukne linjer tager hensyn hertil). De stiplede tynde linjer viser støjens fysiske indhold [dB]. Det ses, at elbilernes elektromotor støjer op til 100 gange mindre end en benzinmotor.

Kilde: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/vi-den_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/853/niose-from-electric-vehicles.pdf

De store motorer giver de største problemer

Selv om den lavfrekvente motorstøj som regel er lavere end den højfrekvente dækstøj, volder den lavfrekvente støj ofte de største problemer. Det ser man eksempelvis ved konstruktion af vinduer til støjramte boliger. De bedste vinduer, som kaldes russervinduer, er særdeles kostbare. De dæmper naturligvis støjen bedst i lukket tilstand; men loven stiller bestemte krav med åbne vinduer overholdt. Disse krav knytter sig til dæmpningens gennemsnitsværdi. Men gennemsnitsværdien er ikke nødvendigvis et godt mål. For der kan være stor forskel på vinduets dæmpning af støjens lave og høje frekvenser. Det ses i nedenstående figur, hvor gennemsnitsværdien kan være 20 dB; mens støjens dybe toner kun dæmpes 12 dB.



Den bedst opnåelige dæmpning i åbne russervinduer. Kilde <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/05/978-87-93529-98-4.pdf>

Russervinduerne i ovenstående figur dæmper dækstøjen ca. 25 dB, mens de kun dæmper motorstøjen med 10 - 12 dB. Almindelige vinduer med termoruder giver i åben tilstand en endnu mindre dæmpning ved lave frekvenser. Måske kun 6 dB. De samme forløb ses også, når vinduerne er lukkede.

Sommerhuse og tilsvarende huse af træ har ofte problemer med at lukke trafikstøjen ude – især den lavfrekvente støj. Det skyldes de lette byggematerialer, som de dybe toner har let ved at vibrere. Tunge materialer, som mursten og beton dæmper alle trafikstøjens frekvenser virkelig godt, og derfor er de meget benyttede i støjramte områder. Dette gælder naturligvis kun den indendørs støj – udenørs oplever støjofrene ingen forbedring

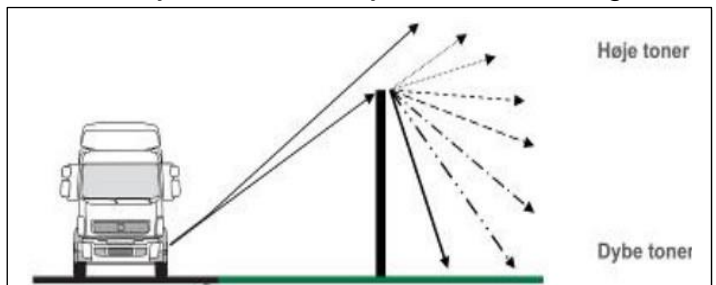
De dybe og de lyse toners udbredelse

De fleste har sikkert også erfaringer med musikstøj fra en bil, der nærmest lyder som en kørende bashøjtaler. Musikkens lyse toner bliver reflekteret i bilens indre; mens kun de dybe toner slipper ud gennem bilens væg og vindue



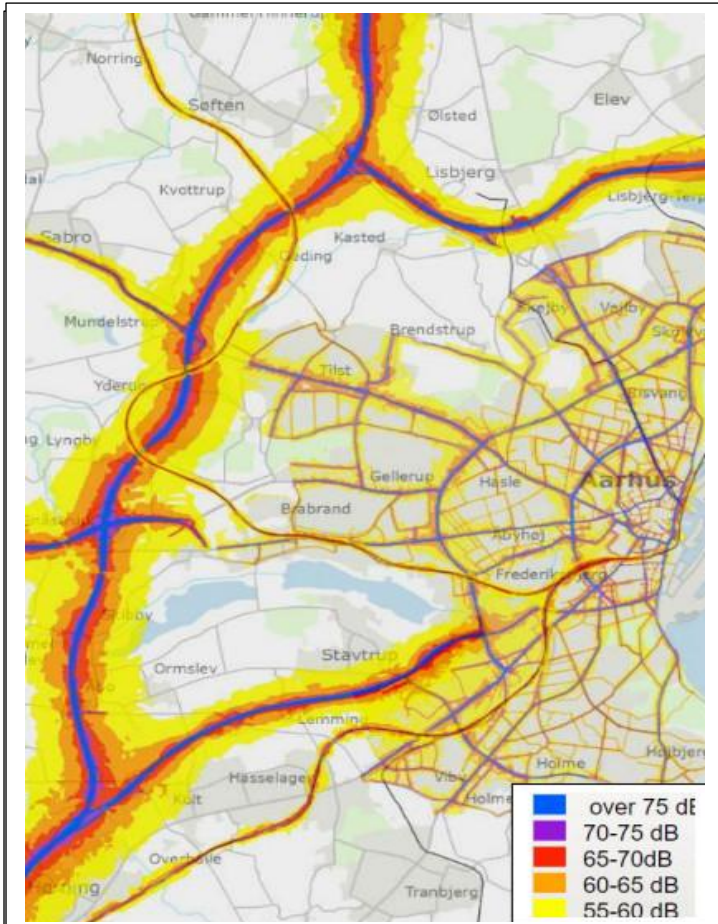
Et sæt stereohøjtalere består af en stor bas-højtaler og 2 mindre diskant-højtalere. Bas-højtaleren anbringes midt mellem diskant-højtalerne, som placeres passende langt fra hinanden. Herved får man den ønskede retningsbestemte stereolyd. Diskantens lyse toner er retningsbestemte på samme måde som solens lys på en skyfri sommerdag. Bassens dybe toner svarer så til en lys overskyet dag, hvor man ikke kan se solen.

Analogien med solens stråler kan anvendes til forståelsen af, hvorfor støjskærme ikke er effektive over for trafikstøjens dybe toner. For selv om skærmen danner skygge, er der jo ikke mørkt bag skærmen. Skærmen bør være så høj som mulig og helt lukket, da støjen ellers trænger ind gennem åbningerne. Tegning viser, at skærmen bør placeres så tæt ved støjkilden eller støjofferet som muligt.



Støjskærmen er ikke lige effektiv i hele støjens frekvensområde. Støjskærmen er ikke særlig god ved de dybe toner. Den kraftige støj fra store motorcykler og den tunge trafik i form af lastbiler, rutebiler og busser ligger fortrinsvis i det dybe toneleje. Derfor er støjskærme ikke så effektive over for trafikens kraftigste enkeltstående støjklender.

De mest støjramte områder



Eksempel på et støj kort over Aarhus med opland. Bemærk, at langt den kraftigste støj er omkring motorvejene. Det skyldes ikke kun bilernes antal men især, at der her er tung trafik, og der køres med stor hastighed. I byen er det stort set kun indfaldsvejene og ringvejene og deres nærmeste omgivelser, der er ramt af meget kraftig støj. Til gengæld bor her mange mennesker, så der skabes mange støjofre.

Støjtype	Antal støjramte adresser
Større veje inklusiv motorveje	259.412
Veje i by	522.981
Større jernbaner	60.369
Jernbaner i by	11.898
Større lufthavne	3.653
I alt	861.966
Ud af i alt 3,6 mio. adresser	24 %

Ifølge <https://www.dingeo.dk/data/trafikstoej/> overskrider støjen L_{den} den vejledende grænseværdi på 58 dB på de angivne adresser. Af disse har 200.000 kraftigere støj end 68 dB.

I Danmark er støjen den største forureningskilde. Ses der bort fra nabostøjen udgør alene vejstøjen 90 % af den samlede støjforurening. Da L_{den} ikke tager det fornødne hensyn til den korte meget kraftige støj, betyder det, at mere end 24 % af alle adresser i Danmark er støjforurenede.

Det er de få kraftige støjkilder, der giver de kraftigste gener. Det er her vi skal sætte ind.

De mange små støjkilder har ikke den store betydning for den samlede støjbelastning.

Konklusion:

Rutebilstationen skal ikke placeres i midtbyen.

Sammen med en Vestbanegård skal Rutebilstationen placeres på Byens mest trafikale knudepunkt.

Byens mest trafikale knudepunkt er og bliver tæt ved det sted, hvor Søren Frichs Vej munder ud i Ringvejen.

Det nuværende jernbanespor fra Hovedbanegården til Brabrand kan bruges til en lynhurtig førerløs letbaneforbindelse mellem Hovedbanegården og Vestbanegården.

Ud over en kraftig støjreduktion opnås mange andre gevinster inden for transport, miljø økonomi og byfornyelse

Støjen er skabt af os mennesker. Derfor har vi også mulighed for at skaffe os af med støjen.

Bilers optimale hastighed og Fremkommelighed

Formål

Formålet er at udlede et matematisk udtryk for hastighedens indflydelse på den maksimale trafik i en lang vognbane, som ikke begrænser trafikken i kryds eller lignende.

En bils standselængde er givet ved summen af reaktionslængden og bremselængden.

$$S_{standse} = S_{reak} + S_{bremse} \quad (1)$$

Reaktionslængden er den længde, som bilen kører, inden bilens fører kan nå at reagere ved at trykke på bremsepedalen. Betegnes bilens hastighed, V , og førerens reaktionstid, R , fås.

$$S_{reak} = V \times R \quad (2)$$

Bremselængden er bestemt af

$$S_{bremse} = K \times V^2 \quad (3)$$

Hvor K er en konstant størrelse, hvis størrelse bestemmes senere.

Ved at indsætte (2) og (3) i (1) fås:

$$S_{standse} = S_{reak} + S_{bremse} = V \times R + K \times V^2 \quad (4)$$

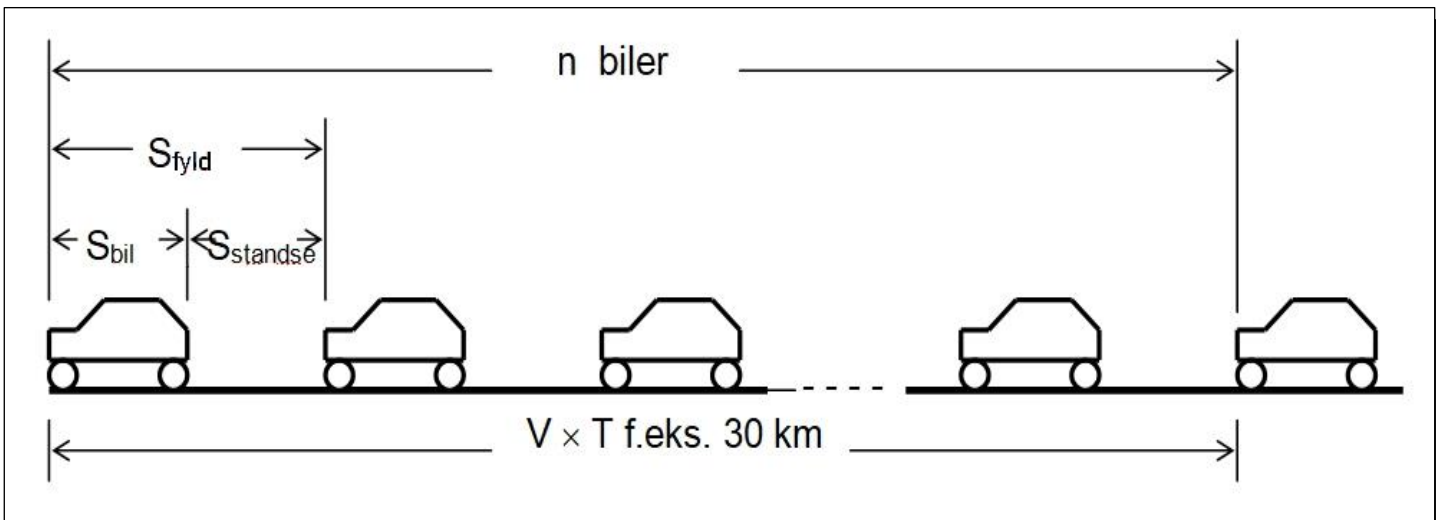
Bilens fører skal altid holde en afstand til den forankørende på mindst 1 standselængde. Betegnes bilens længde S_{bil} , vil bilen derfor "fylde":

$$S_{fyld} = S_{standse} + S_{bil} = V \times R + K \times V^2 + S_{bil} \quad (5)$$

Kører bilen med hastigheden, V , vil den i tidsrummet, T , have tilbagelagt strækningen $V \times T$.

Idet der antages, at alle biler kører med samme hastighed, at alle bilers førere har den samme reaktionstid, og at alle biler har samme længde, kan der på denne strækning være n biler:

$$n = \frac{V \times T}{S_{fyld}} = \frac{V \times T}{V \times R + K \times V^2 + S_{bil}} \quad [\text{biler}] \quad (6)$$



Under hensyntagen til, hvor meget en bil "fylder" kan der på strækningen, $V \times T$ (f.eks. 30 km), være n biler, når de kører med hastigheden, V . I tiden T vil n biler passere et fast punkt på vejen. Kører bilerne eksempelvis 30 km/time, vil den bageste bil efter 1 time være længst fremme.

Antallet af biler, der overføres pr. tidsenhed, betegnes N.

Tidsenheden betegnes T:

$$N = \frac{n}{T} = \frac{V}{V \times R + K \times V^2 + S_{bil}} \left[\frac{\text{biler}}{\text{tidsenhed}} \right] \quad (7)$$

Så N er et udtryk for hvor mange biler, der overføres pr. tidsenhed. En graf kan vise N som en funktion af V.

Med det formål at finde grafens toppunkt (dvs. størst muligt antal overførte biler) differentieres udtrykket. Derfor findes først grafens hældningskoefficient ved enhver hastighed.

$$\frac{dN}{dV} = \frac{(V \times R + K \times V^2 + S_{bil}) \times 1 - V \times (R + 2 \times K \times V + 0)}{(V \times R + K \times V^2 + S_{bil})^2}$$

$$\frac{V \times R + K \times V^2 + S_{bil} - V \times R - 2 \times K \times V^2}{(V \times R + K \times V^2 + S_{bil})^2}$$

$$\frac{dN}{dV} = \frac{S_{bil} - K \times V^2}{(V \times R + K \times V^2 + S_{bil})^2} \quad (8)$$

Nævneren indeholder hverken negative eller imaginære tal. Derfor vil det alene være tælleren, som får indflydelse på hvilke steder på grafen, at tangentens hældningskoefficient er positiv og negativ. Fortegnet skifter fra + til -, hvor grafen har sit toppunkt, og her er hældningskoefficienten 0.

Toppunktet er interessant, for det er den hastighed, hvor der overføres flest biler pr tidsenhed (7).

Den optimale hastighed findes ved at sætte tælleren til 0:

$$S_{bil} - K \times V^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad (9)$$

$$V^2 = \frac{S_{bil}}{K} \quad \Rightarrow \quad (10)$$

$$V = \sqrt{\frac{S_{bil}}{K}} \quad (11)$$

Idet færdselsloven foreskriver, at en personbil skal have en standselængde på maksimalt 6 meter, når den kører 30 Km/time, kan K udledes af (3):

$$S_{bremse} = K \times V^2 \Rightarrow$$

$$K = \frac{S_{bremse}}{V^2} = \frac{6}{30^2} = 6,67 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{time}^2}{\text{km}} \right] \quad (12)$$

Antages en gennemsnitsbil at fylde 4 meter, og indsætter man herefter (12) i (11) kan den optimale hastighed, V_{opt} , beregnes:

$$V_{opt} = \sqrt{\frac{S_{bil}}{K}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-3}}{6,67 \times 10^{-6}}} = 24,5 \left[\frac{\text{km}}{\text{time}} \right] \quad (13)$$

I Danmark og i mange andre lande benyttes en bremsereaktionstid på 2 sekunder. Men erfaringerne viser, at den i mange tilfælde kan være meget større. Se evt. dette link:

<http://www.trafitec.dk/sites/default/files/publications/reaktionstid.pdf>

Derfor opfattes 2 sekunder som et minimum. Denne værdi benyttes som beregningsgrundlag, når det maksimale antal biler skal beregnes ved den optimale hastighed på 24,5 km/time. Til dette formål benyttes (7), og reaktionstiden, R, sættes til 2 sekunder = 556×10^{-6} time.

$$N = \frac{V}{V \times R + K \times V^2 + S_{bil}} = \frac{24,5}{24,5 \times 556 \times 10^{-6} + 6,67 \times 10^{-6} \times 24,5^2 + 4 \times 10^{-3}}$$

$$N = \frac{24,5}{13,6 \times 10^{-3} + 4 \times 10^{-3} + 4 \times 10^{-3}} \quad (14)$$

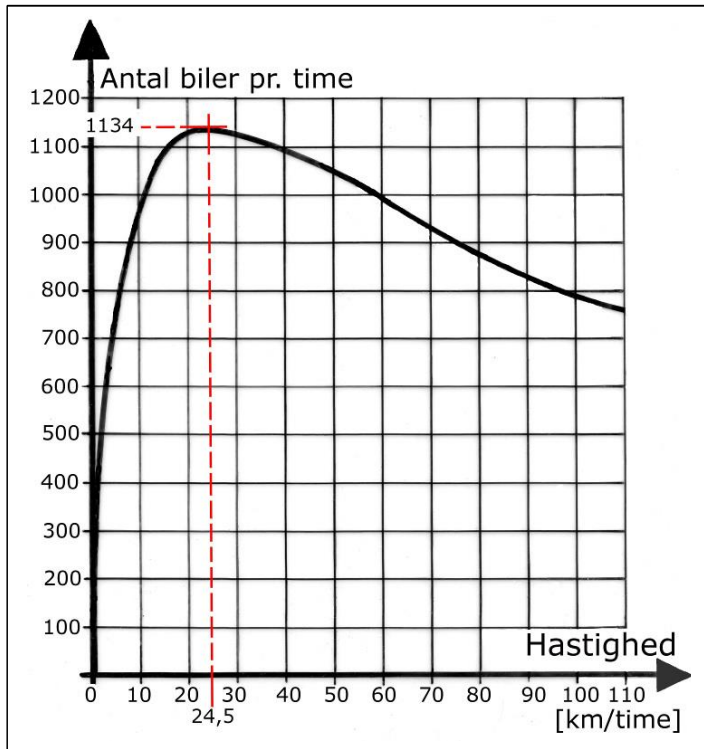
$$N = 1134 \text{ [biler/time]} \quad (15)$$

Denne talværdi er alene et mål for det maksimale antal biler. Hvis der kun kører få biler i vognbanen, kan hastigheden udmærket være højere, så målet kan nås på kortere tid end ved 24,5 km/time.

De 1134 biler gælder kun ved vejstrækninger, hvor der ikke er vejkryds eller andre forhindringer, hvor bilerne undervejs skal bremse eller holde stille.

Det fremgår af (15), at vores reaktionstid har næsten 4 gange så stor indflydelse på bremselængden, som bilens egne bremsende egenskaber. Derfor kan bilerne også køre meget mindre indbyrdes afstand, hvis man har udstyr, der holder afstanden fast til den foran kørende bil. Man må dog ikke forledes til at tro, at dette udstyr sikrer mod alle andre kollisionsmuligheder.

For overblikkets skyld tegnes grafen for trafikafviklingen som en funktion af bilernes hastighed.



Grafen viser hastighedens indflydelse på det antal biler, der med jævn hastighed og uden afbrydelser kan passere gennem en vognbane på en time.