

ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

VIBRATIONER FRA JERNBANER

Orientering nr. 10

Jørgen Jakobsen/THP/bm

1989-11-01

HVORDAN SIKRES FREMTIDIGE BOLIGER MOD GENERENDE VIBRATIONER FRA JERNBANER

- Målemetode for vibrationer i bygninger
- Hvordan opstår vibrationer fra jernbanetrafik, og hvordan udbreder vibrationerne sig
- Forudberegning af vibrationsniveau i planlagt bebyggelse
- Spørgsmål og svar: Referencetidsrum på lørdage og søndage

1. Indledning

Miljøstyrelsen udsendte i 1985 vejledning nr. 6/85: "Støj og vibrationer fra jernbaner". Det nævnes heri, at der skal overholdes en mindsteafstand, afhængigt af banetrafikkens karakter, på 25 eller 50 m mellem jernbaner og bygninger for at undgå vibrationer i husene. Samtidig refereres til Nyt fra Miljøstyrelsen NFM 2/83: "Retningslinier for måling og vurdering af vibrationer i det eksterne miljø" [1], hvori en række grænseværdier for vibrationer er fastsat.

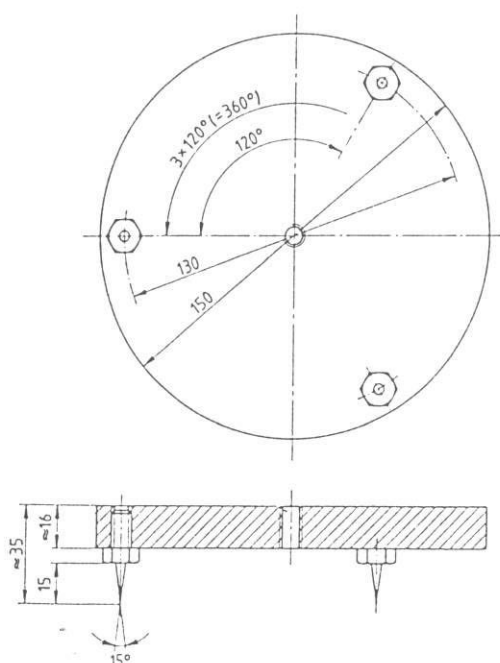
Det er meget væsentligt, at vibrationsproblemer forebygges ved hensigtsmæssig planlægning af bolig- og erhvervsområder i nærheden af jernbaner. Mulighederne for at foretage effektive indgreb over for vibrationsproblemer, som allerede er opstået, er meget begrænsede. Når det drejer sig om støj, kan man i reglen gøre problemerne mindre, f.eks. ved afskærmning og isolering. Tilsvarende indgreb over for vibrationer har været prøvet, f.eks. i form af dybe grøfter udgravet mellem vibrationskilden og følsom bebyggelse. Virkningen har imidlertid ikke været éntydig.

Grundlaget for mindsteafstandene i vejledning nr. 6/85 er et begrænset antal måleresultater og erfaringer i øvrigt. For at forbedre de planlægningsmæssige muligheder for at forhindre vibrationer i nye boliger mv. bad Miljøstyrelsen i 1986 Lydteknisk Institut om at gennemføre en undersøgelse om vibrationer fra jernbaner, herunder især vibrationers udbredelse gennem jorden og i bygninger. Resultaterne er sammenfattet i denne udgave af Orientering fra Referencelaboratoriet. De tekniske detaljer fra undersøgelsen er beskrevet i rapporterne: "Vibrationer fra jernbaner. Statusrapport 1986" [2] og "Vibrationer fra jernbaner. Statusrapport 1987" [3].

2. Måling af vibrationer

Det er beskrevet i Nyt fra Miljøstyrelsen NFM 2/83, hvordan måling af vibrationer skal udføres. Et nyt forslag til Nordtest målemetode [4], som blev udarbejdet i 1987, adskiller sig kun uvæsentligt herfra. I det følgende beskrives nogle hovedtræk.

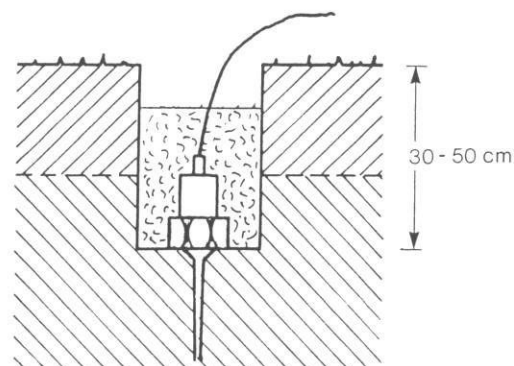
Vibrationer i lodret retning måles med et accelerometer, som anbringes midt på gulvet, hvor vibrationerne er kraftigst. Er gulvet tæppebelagt, kan accelerometret monteres på en probe som vist i Figur 1. Probens tre spidse ben gennemtrænger gulvtæppet. Vibrationerne er normalt kraftigere i lodret end i vandret retning.



Figur 1 Monteringsprobe til brug på tæppebelagte gulve.

at det ikke vælter, når der fyldes jord i hullet. Målinger af vibrationsniveauet i jorden bruges f.eks. i planlægningsituationer som grundlag for en vurdering af, hvor højt niveauet bliver i det færdige hus som omfaldt i Afsnit 6.

Vibrationers styrke angives som det KB-vægtede accelerationsniveau, L_{aw} , i dB relativt til 10^{-6} m/s^2 . Når vibrationernes styrke varierer med tiden, anvendes den maksimale øjebliksværdi med tidsvægtning S (slow, tidskonstant 1 s). Dette er f.eks. tilfældet med vibrationer fra jernbaner, hvor den maksimale værdi under hver togpassage aflæses eller registreres, som illustreret i Figur 3. Maksimalværdierne fra et stort antal togpassager kan angives som illustreret i Figur 4 nedenfor.

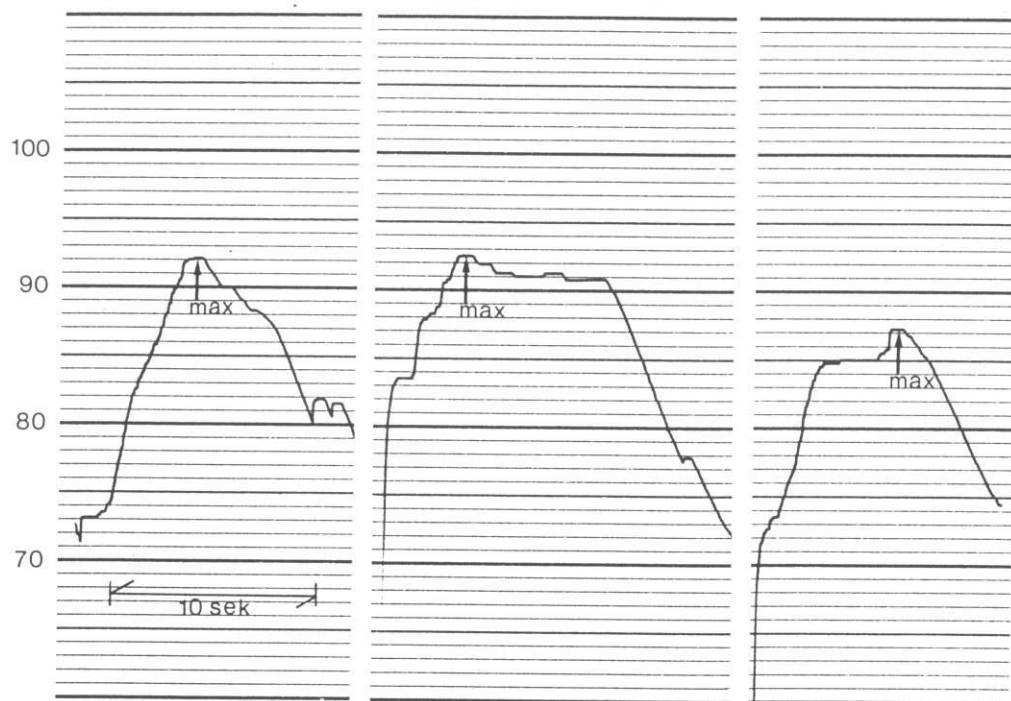


Figur 2 Montering af accelerometer i jorden.

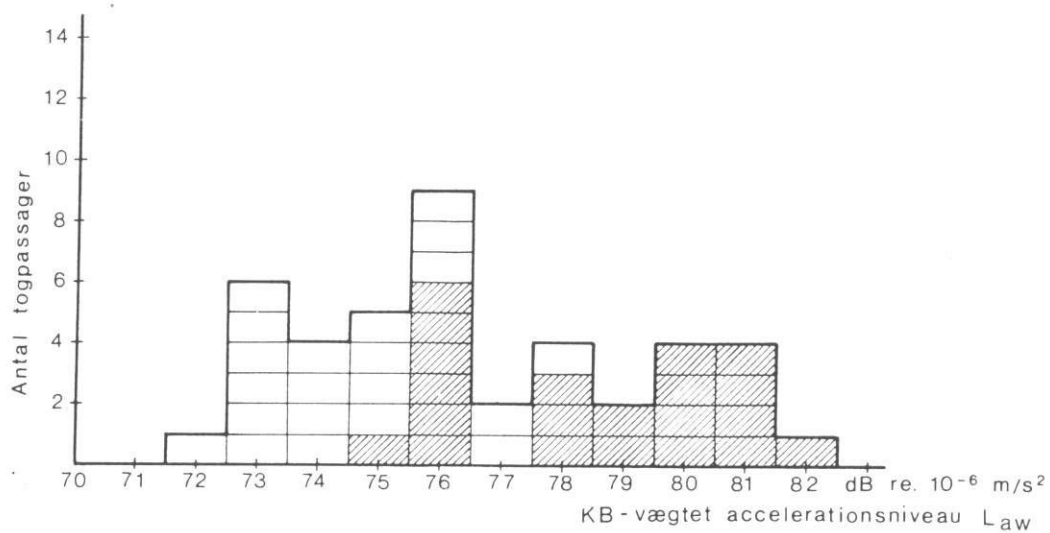
Vibrationer i vandret retning måles ved at fastgøre accelerometret på siden af en lille metalklods, som anbringes på gulvet. Monteringsproben som er vist i Figur 1, må ikke anvendes til vandret montering af et accelerometer.

Vibrationer i jorden i lodret retning måles ved at grave accelerometret ca. 30 cm ned i jorden (gennem muldlaget) og - i hvert fald delvis - genopfylde monteringshullet som illustreret i Figur 2. Accelerometret kan eventuelt skrues på en lille pind, som sikrer,

KB-vægtet accelerationsniveau, L_{aw} dB re 10^{-6} m/s²



Figur 3 KB-vægtet accelerationsniveau under 3 togpassager, målt med accelerometer i jorden 10 m fra spormidte.



Figur 4 Vibrationer fra togtrafik. Statistisk fordeling af de målte maksimalværdier.

Følgende vejledende grænseværdier er fastsat i NFM 2/83:

Boliger i rene boligområder: $L_{aw} \leq 75 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2$

Boliger i områder med
blandet bolig/erhverv: $L_{aw} \leq 80 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2$

Erhvervsbebyggelse: $L_{aw} \leq 85 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2$

Det nævnes endvidere, at føletærsklen for vibrationer er omkring $L_{aw} = 71 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2$.

I forbindelse med fluktuerende vibrationer, som f.eks. fra jernbaner, anvendes grænseværdierne på den gennemsnitlige maksimalværdi for den type tog, der forekommer jævnligt og giver anledning til de kraftigste vibrationer (middel af 3-5 forekomster).

3. Gene fra vibrationer

Den fastsatte grænseværdi for vibrationer i rene boligområder er kun lidt højere end føletærsklen. Det er i overensstemmelse med en række erfaringer, især fra Tyskland, som viser, at personer i bygninger føler sig generet af vibrationer, når vibrationerne tydeligt kan mærkes. Det er imidlertid ikke særligt godt belyst, af hvilke årsager vibrationer fremkalder gene.

Vibrationer kan få inventar og løse genstande til at rasle og klirre. Det er påvist, at sådanne fænomener kan optræde ved vibrationspåvirkninger, som er betydeligt svagere, end hvad der svarer til grænseværdierne. Sædvanligvis ser man bort fra den gene, klirren af inventar o.l. måtte medføre, når man vurderer vibrationsgener.

Vibrationer af gulve og vægge frembringer et lydtryk inde i det pågældende rum, som betegnes strukturlydbidraget. Denne støj er oftest lavfrekvent. Mange kilder til vibrationer, bl.a. diesellokomotiver, frembringer også støj, der transmitteres gennem luften og ind i de omgivende bygninger, f.eks. igennem vinduer

og friskluftventiler. Det er altså typisk, at vibrationer og støj forekommer samtidigt, og det sker undertiden, at personer klager over vibrationer, selv om generne reelt må henføres til støj.

Den indendørs støj har ofte et højt energiindhold ved lave frekvenser, hvad enten der er tale om strukturlydbidrag eller luftlydbidrag. Det er en almindelig erfaring, at lavfrekvent støj er mere generende end støj med "sædvanligt" frekvensindhold og samme A-vægtede lydtrykniveau. Forholdene er imidlertid ikke for tiden tilstrækkeligt afklarede til, at der kan tages hensyn til denne forskel, og der findes ingen specielle regler eller grænseværdier for lavfrekvent støj. En vurdering kan baseres på et sæt kurver i Henrik Møller: "Effects of infrasound on man" [5].

Mange mennesker, der udsættes for vibrationer i bygninger, frygter, at bygningen beskadiges. Vibrationers bygningsbeskadigende virkning vurderes oftest efter den veletablerede tyske standard DIN 4150 del 3 [6]. Heri beskrives sammenhængen mellem vibrationsniveauet på en bygnings fundament eller gulve og sandsynligheden for, at vibrationerne forårsager beskadigelser. De nævnte vibrationsniveauer kan ikke sammenlignes direkte med grænseværdierne i Afsnit 2, men de er væsentligt højere end grænseværdierne. Det er således usandsynligligt, at vibrationer, som ikke er voldsomt generende, vil fremkalde bygnings-skader.

Vibrationer af bygningsdele kan fremskynde skader, der ville være sket på et senere tidspunkt, som følge af sætning eller udmatning, men for disse mekanismer kendes der ingen sikker sammenhæng med vibrationspåvirkningen. I DIN 4150 del 3 anføres dog nogle erfaringsværdier.

Mens det således ofte udelukkes, at vibrationer er årsag til direkte bygningsskader, er det vanskeligt at afklare, hvorvidt vibrationer har været medvirkende årsag til f.eks. sætningsskader på bygninger.

4. Vibrationer fra jernbanetrafik

Vibrationer fra jernbanetrafik opstår, når hjul, som ikke er perfekt runde, kører på skinner, der ikke er perfekt plane. Især store uregelmæssigheder som flader på hjulene og skinnestød ved f.eks. sporskifter frembringer kraftige vibrationer.

Også eftergiveligheden af skinne-/svelleopbygningen og af ballastlaget har indflydelse på vibrationer fra jernbanetrafikken, således at vibrationsniveauet generelt bliver lavere, desto stivere skinnerne er monteret.

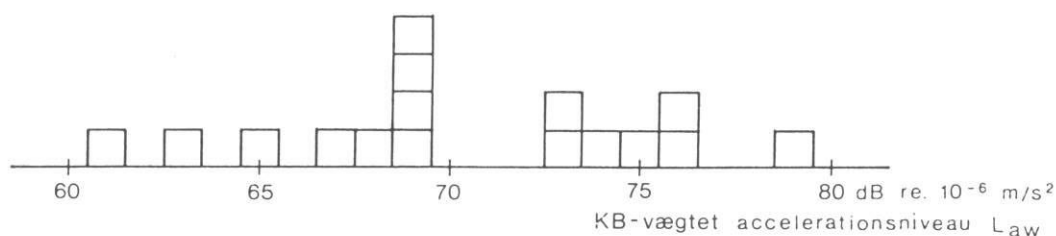
Desuden er såvel togets fart som vægten i almindelighed af betydning for vibrationsniveauet. Det må forventes, at tog, der kører langsomt, og lette tog (f.eks. S-tog) frembringer de svageste vibrationer.

Disse sammenhænge har ikke alle kunnet eftervises ved de undersøgelser, Lydteknisk Institut har udført. Målingerne viste, at de forskellige togtyper giver omtrent det samme vibrationsniveau målt tæt ved banen, idet dog godstog typisk resulterer i et 2-4 dB højere niveau og S-tog i et 2-5 dB lavere niveau end sædvanlige lokomotivtrukne passagertog. Nogen sammenhæng mellem togets fart (i området 50-120 km/h) og vibrationsniveauet kunne ikke påvises.

Det var imidlertid et gennemgående træk ved resultaterne, at vibrationsniveauet målt tæt ved banen varierede meget fra målested til målested, uden at variationerne kunne relateres til sportekniske forhold eller til banelegemets opbygning i øvrigt. Der kan ikke i øjeblikket gives nogen forklaring på dette.

Udtrykt som middelværdi af maksimalniveauerne fra 8-15 togpasager er der på 16 målesteder tæt ved banen konstateret niveauer mellem 61 og 79 dB, jfr. Figur 5.

Til planlægningsformål, hvor der ønskes en nøjere analyse af forekomsten af vibrationer fra jernbaner, må der derfor foretages konkrete målinger af vibrationsniveauet i jorden det pågældende sted, se Afsnit 7.



Figur 5 Middelværdi af $L_{Aw,max}$ ved 8-15 togpassager på hvert af 16 målesteder, målt i jorden i 10-15 m afstand fra sporene.

5. Vibrationers udbredelse gennem jorden

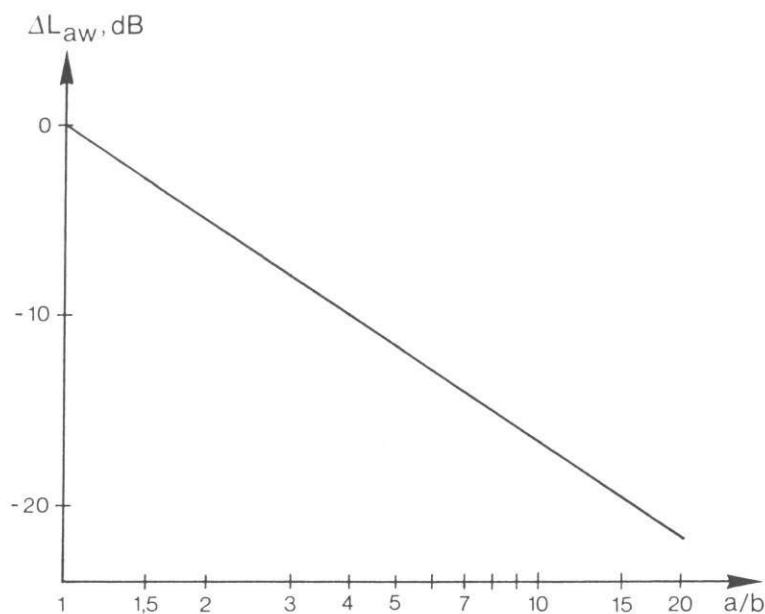
Vibrationer udbreder sig gennem jorden til alle sider fra en vibrationskilde. Vibrationsniveauet bliver svagere, jo større afstand der er til kilden.

I almindelighed må det forventes, at dæmpningen under udbredelsen afhænger af jordbundsforholdene, grundvandets højde mv. De undersøgelser, Lydteknisk Institut har foretaget, tyder imidlertid på, at disse forhold har forholdsvis ringe indflydelse på vibrationernes dæmpning. For "sædvanlige danske jordbundsforhold" kan der regnes med, at vibrationer fra jernbanetrafik udbreder sig på samme måde, uafhængigt af lokale forhold.

Forskellen mellem vibrationsniveauet i afstanden a og i den korte afstand b kan beregnes efter udtrykket:

$$\Delta L_{a-b} = 0,4 - 17,1 \log a/b \quad [\text{dB}]$$

Ubestemtheden herved kan skønnes til ± 5 à 6 dB. Udtrykket er illustreret i Figur 6.



Figur 6 Dæmpning af vægtet vibrationsniveau.

6. Vibrationer i bygninger

Vibrationer, som udbreder sig gennem jorden, påvirker bygningers fundamenter og sætter disse i svingninger. Svingningerne transmitteres op gennem bygningen, og ved resonans af f.eks. træbjælkelag kan vibrationerne forstærkes betydeligt.

Det afhænger af den pågældende bygnings konstruktion (herunder bl.a. fundering) og tilstand, hvor meget vibrationerne dæmpes/forstærkes.

På grundlag af de undersøgelser, Lydteknisk Institut har foretaget, kan fremdrages nogle generelle forhold:

- Bygninger med kælder har generelt et lavere vibrationsniveau end bygninger med gulv på jord.
- De laveste vibrationsniveauer blev observeret på gulve af beton og tilsvarende stive konstruktioner, omkring 0 til 7 dB højere vibrationsniveau end i jorden udenfor.

- Gulve på træbjælkelag af traditionel konstruktion (60-90 cm mellem bjælkerne, frit spænd på 3-4 m) bevirker en betydelig forstærkning af vibrationsniveauet, typisk mellem 5 og 10 dB højere vibrationsniveau end i jorden udenfor. På gulve på træbjælkelag på 1. sal er der observeret op til 15 dB højere niveauer end i jorden.

7. Sammenfatning

Den generelle afstandsgrænse for nybebyggelse ved stærkt trafikerede banestrækninger på 50 m, som er nævnt i vejledning nr. 6/85, blev i rimelig grad underbygget ved undersøgelserne.

Undersøgelserne har imidlertid afsløret en meget betydelig lokal variation af vibrationsniveauet i nærheden af jernbaner. Den store variation har ikke kunnet henføres til banetekniske forskelle.

I tilfælde, hvor forekomsten af vibrationer skal belyses nøjere, anbefales følgende fremgangsmåde:

- Vibrationsniveauet måles i et antal punkter i jorden nær banen (10-20 m afstand). Det nødvendige antal målepunkter afhænger af omfanget af det område, der er omfattet af planlægningen. Maksimalniveauet $L_{aw, maks}$ fra mindst 10 passager af hver type passagertog og mindst 3(-5) passager af godstog registreres. Det er i almindelighed tilstrækkeligt at måle over et døgn med normal trafik; ved stærkt befærdede strækninger kan måletiden være kortere. Som udgangsværdi anvendes gennemsnittet af de 3-5 højeste vibrationsniveauer for den togtype, som giver anledning til de kraftigste vibrationer.
- Vibrationernes dæmpning beregnes ved anvendelse af udtrykket eller Figur 5 i Afsnit 5.
- Hertil lægges 10-15 dB, som udtrykker forskellen mellem vibrationsniveauet i jorden og på gulvet i en typisk bygning, jfr. Afsnit 6. Hvis husene skal have gulve af beton eller tilsvarende stiv konstruktion, kan der i stedet lægges 7 dB til.
- Denne værdi sammenlignes med grænseværdierne i Afsnit 2. Hvis grænseværdierne for den pågældende bygningstype/områdetype overskrides, skal afstanden forøges.

8. Referencer

- [1] Nyt fra Miljøstyrelsen NFM 2/83: "Retningslinier for måling og vurdering af vibrationer i det eksterne miljø". København, 1983.
- [2] Jakobsen, J.: "Vibrationer fra jernbaner. Statusrapport 1986". Lydteknisk Institut teknisk rapport LI 50/87. Lyngby, 1987.
- [3] Jakobsen, J.: "Vibrationer fra jernbaner. Statusrapport 1987". Lydteknisk Institut teknisk rapport LI 581/87. Lyngby, 1987.
- [4] Jakobsen, J.: "Vibration in Buildings. Measurement of Vibration and Shock in Buildings for the Evaluation of Annoyance". Lydteknisk Institut rapport 139. Lyngby 1987.
- [5] Møller, H.: "Effects of infrasound on man. A monograph of research carried out at Aalborg University". Aalborg 1984.
- [6] "Erschütterungen im Bauwesen. Einwirkungen auf bauliche Anlagen". DIN 4150 Teil 3, Berlin 1986.

SPØRGSMÅL OG SVAR

Referencetidsrum på lørdage og søndage

I Miljøstyrelsens vejledning "Ekstern støj fra virksomheder" nr. 5/1984 er der opgivet en tabel over vejledende grænseværdier for støjbelastninger målt udendørs, tabel I i afsnit 2.2.2. Tabellen er opdelt i 3 spalter benævnt:

- Mandag-fredag kl. 07.00-18.00;
 lørdag kl. 07.00-14.00
- Mandag-fredag kl. 18.00-22.00;
 lørdag kl. 14.00-22.00;
 søn- og helligdag kl. 07.00-22.00
- Alle dage kl. 22.00-07.00

I samme afsnit anføres det, at referencetidsrummet for dagperioden (kl. 07.00-18.00) er 8 timer, for aftenperioden (kl. 18.00-22.00) er 1 time, og for natperioden (kl. 22.00-07.00) en halv time. Referencelaboratoriet er fra flere sider blevet spurgt hvilke referencetidsrum der skal benyttes på lørdage og søndage.

Svar: Miljøstyrelsen er af den opfattelse, at referencetidsrummene på søndage er de samme som på hverdage. For lørdage gør det særlige forhold sig gældende, at dagperioden er opdelt. Lørdag formiddag (kl. 07.00-14.00) anvendes et referencetidsrum på 7 timer, og lørdag eftermiddag (kl. 14.00-18.00) et referencetidsrum på 4 timer.