



# TEKNISK NOTAT

## Overordnet beskrivelse af støjmålingssystemet ved motorvej E20

---

### Udført for Nyborg Kommune

Nørrevoldgade 9

5800 Nyborg

Att.: Per Jürgensen

Sagsnr.: 120-28603

TC-101663

Side 1 af 8

Hørsholm, 12. marts 2021

### Akustik, støj og vibrationer

Kvalitetssikret af

Udfærdiget af

# INDHOLDSFORTEGNELSE

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Indledning</b> .....  | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Statiske beregninger af trafikstøj</b> .....                                | <b>4</b> |
| 2.1      | Fordele og begrænsninger ved statiske støjberegninger .....                    | 5        |
| <b>3</b> | <b>Dynamiske målinger og beregninger af trafikstøj</b> .....                   | <b>5</b> |
| 3.1      | Fordele og begrænsninger ved dynamiske målinger og beregninger af støjen ..... | 7        |
| <b>4</b> | <b>Forbedringer af systemet i Nyborg</b> .....                                 | <b>8</b> |
| <b>5</b> | <b>Referencer</b> .....  | <b>8</b> |

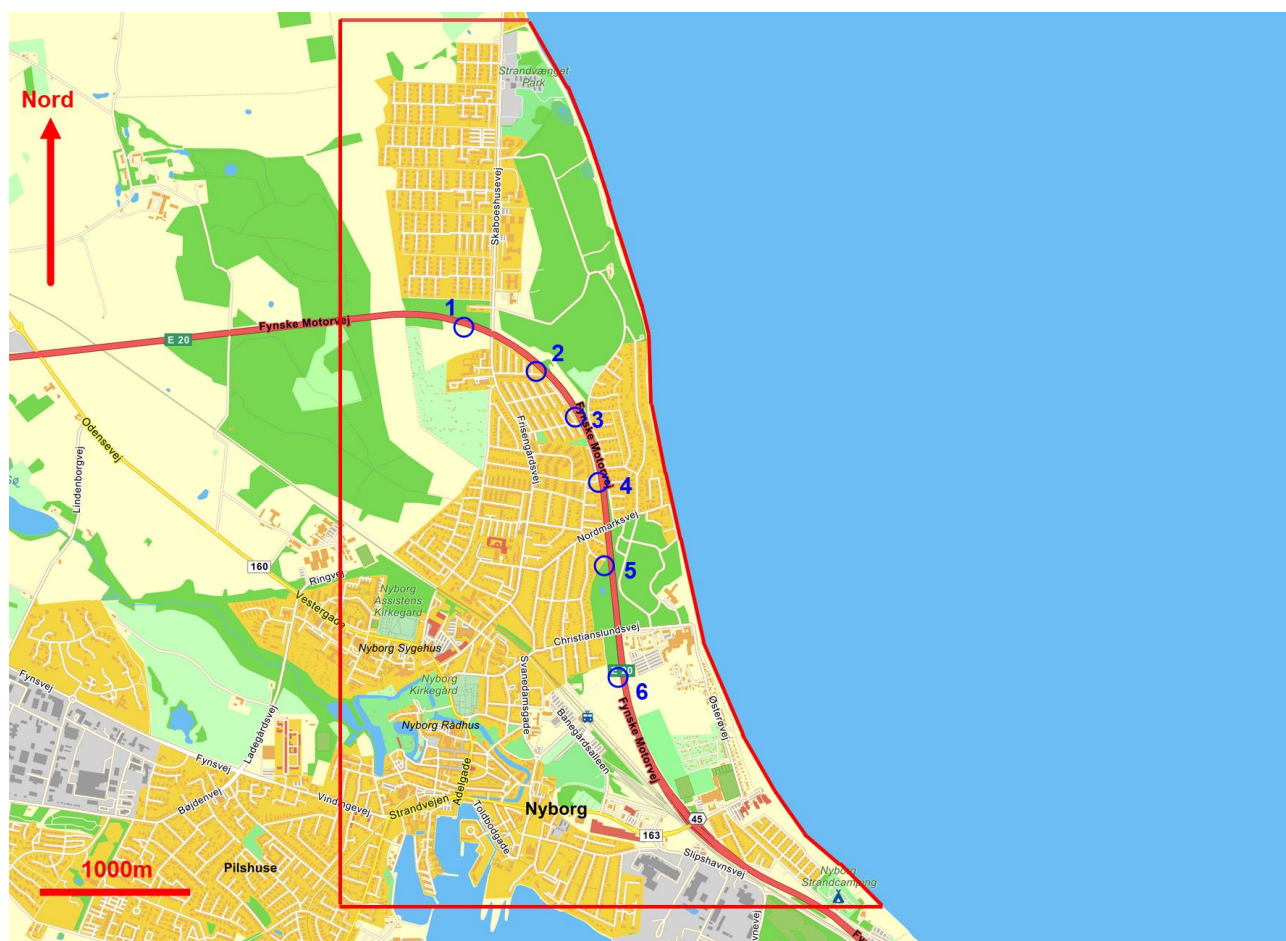
## 1 Indledning

Støj fra vejtrafik er et stigende problem. Over 1,3 millioner danskere (mere end 700.000 boliger) er påvirket af trafikstøj, som ligger over Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier. Verdenssundhedsorganisationen WHO har udpeget trafikstøj som det 2. største miljøproblem for menneskers helbred i EU – kun overgået af luftforurening, se [1] og [2].

FORCE Technology har i samarbejde med SoundEar og Nyborg Kommune i starten af 2021 etableret et system, der løbende hvert sekund måler støjen, der udsendes fra bilerne på motorvej E20 på en ca. 2,4 km lang strækning, der løber gennem kommunen. På grundlag af målingerne beregnes løbende det omtrentlige støjbidrag fra motorvejen i et ca. 9 km<sup>2</sup> stort område, der dækker beboelse og rekreative områder. De øjeblikkelige resultater af beregningerne samt resultaterne (og viderebehandling) af gemte målinger kan ses ved login på en hjemmeside, jf. [3].

De dynamiske støjberegninger skal ses som et supplement – og på ingen måde som en erstatning – for de lovbestemte EU-støjkortlægninger hvert 5. år og andre beregninger af vejstøj efter Miljøstyrelsens vejledninger.

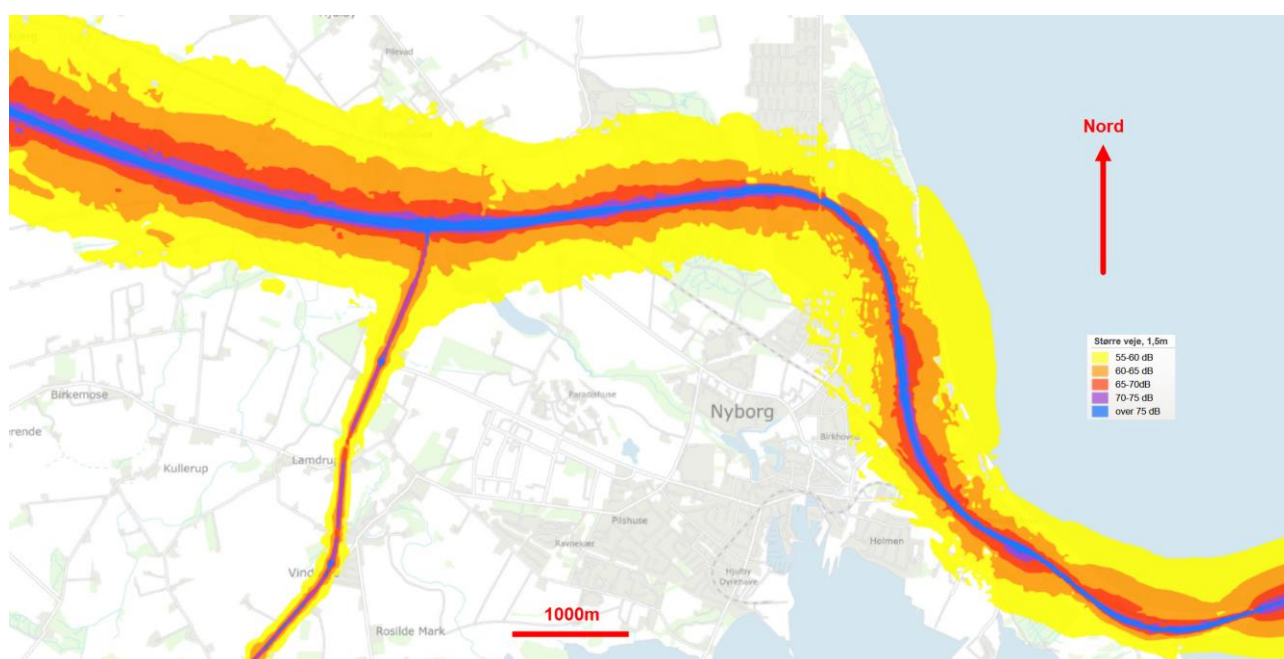
I dette notat beskrives systemet og dets muligheder på en kort, ikke-teknisk form.



**Figur 1** De 6 målemikrofoners placering samt det areal, hvor støjen fra motorvejen beregnes (rød markering).

## 2 Statiske beregninger af trafikstøj

Danmark har siden 2007 foretaget beregninger af støjbidraget fra større veje, jernbaner, fly og større industri efter EU's støjdirektiv, jf. [4], som er implementeret i Danmark i Støjbekendtgørelsen, jf. [5]. Ved disse beregninger fastlægges – udover støj fra tog, fly og industri – hvert 5. år støjbidraget fra større veje på grundlag af de seneste oplysninger om trafikintensiteten på vejene. Resultatet af støjberegningerne kan ses på Miljøstyrelsens hjemmeside, jf. [6], i form af farvelagte kort, der viser støjbidraget ved de såkaldte støjindikatorer  $L_{den}$  og  $L_{night}$ .  $L_{den}$  beskriver et vægtet årsgennemsnit af støjen døgnet rundt ( $L_{den}$  står for day-evening-night level og anvendes i de fleste lande til at beskrive støjbelastningen fra veje), og  $L_{night}$  beskriver støjen i middel om natten. Et eksempel på støjkortene er vist i Figur 2.



**Figur 2** Støj kort fra Miljøstyrelsens hjemmeside (Støj-Danmarkskortet). Støjindikatoren  $L_{den}$  er vist med farvelagte udbredelseskurver.

Støj kortene beregnes og offentliggøres hvert 5. år og vil indtil 2022 i Danmark blive beregnet efter Nord2000-metoden, der er en meget præcis metode udarbejdet af de nordiske lande i fællesskab. I beregningerne indgår vejrets indflydelse på støj udbredelsen, hvor de fleste andre støj udbredelsesmetoder ikke – eller kun delvist – medtager denne vigtige faktor. Dermed vil den ofte forekommende sydvestlige vindretning i Danmark eksempelvis kunne ses som et lidt højere støjbidrag på østsiden af en nord-syd-gående vej svarende til, at støjbidraget i gennemsnit er højere på østsiden, fordi vinden oftere "bærer" vejstøjen mod øst end mod vest.

Nord2000-metoden medtager ud over vejforholdene bl.a. afstanden til vejen, områdets topografi og terrænets beskaffenhed (fx asfalt, mark, vand), bygninger (der skærmer og reflekterer støjen) samt virkninger af støjskærme og -volde. Sammen med formler for lydudbredelsen ligger der også i Nord2000-metoden en såkaldt kildemodell, der med matematiske formler beregner støj udsendelsen fra forskellige kategorier af biler (fx lastbiler, busser og personbiler) afhængigt af asfaltyper og bilernes hastighed. Med Nord2000-metoden kan man uden at foretage støj målinger foretage præcise beregninger af årsgennemsnittet af støjbidraget hos naboerne. Metoden vedligeholdes til stadighed, fx ændres og udvides kildemodellen, hvis nye asfaltyper fremkommer, eller hvis der findes fejl i metoden. Støjen fra de forskellige biltyper måles med mellemrum for at sikre, at de data, der indgår i beregningerne, er repræsentative for vognparken, se [6].

## 2.1 Fordele og begrænsninger ved statiske støjberegninger

Fordele ved statiske vejstøjberegninger er bl.a.:

- 1) Resultatet er årlige gennemsnitsværdier, der umiddelbart kan sammenholdes med gældende og vejledende grænseværdier.
- 2) Der er årelang erfaring med anvendelsen af resultaterne af årsmiddelværdien  $L_{den}$  i forbindelse med fx beregning af genevirkning og helbredseffekter af støjen.
- 3) Resultaterne fremkommer ved brug af standardiserede og velafprøvede forudsætninger og metoder, hvilket betyder, at certificerede personer og akkrediterede firmaer vil opnå samme resultater indenfor en meget lille usikkerhedsmargin.
- 4) Man undgår de vanskelige og – hvis resultaterne skal være pålidelige – meget langvarige støjmålinger hos naboerne.
- 5) Med beregninger kan man undersøge vejens støjbidrag i store områder og dermed hos mange naboer på én gang, hvilket giver et godt overblik over de samlede konsekvenser i et område.

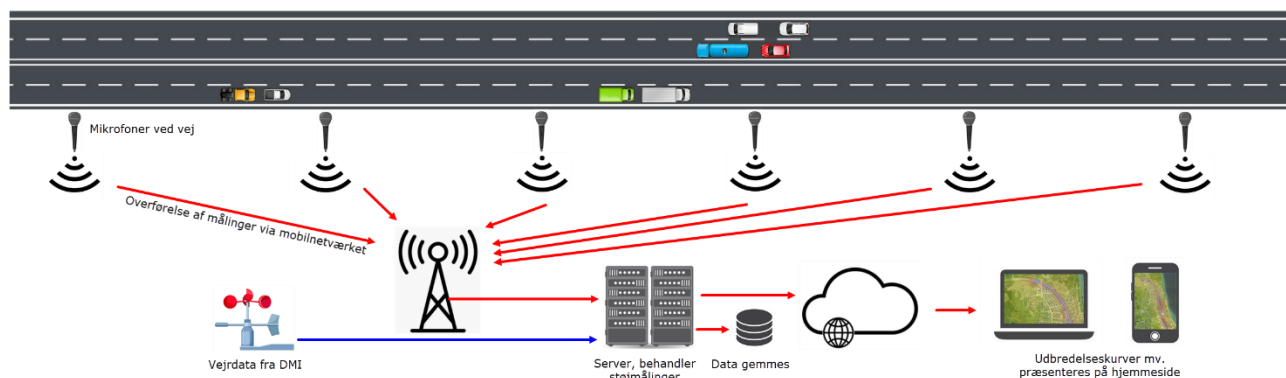
Begrænsningerne ved statiske beregninger er bl.a.:

- 1) Resultaterne er netop statiske, hvorved man ikke umiddelbart og "øjeblikkeligt" kan få oplysninger af virkningen af fx trafikomlægninger, vejarbejde, hastighedsnedsættelser og sæsonmæssige variationer i trafikmønsteret.
- 2) Man får ikke oplysninger om støjens variation over døgnet, dels fordi der ikke er tradition for at udføre sådanne beregninger, dels fordi der i beregningerne er forudsat en trafikal døgnvariation, der måske i virkeligheden ikke er helt korrekte.
- 3) Ligeledes fordi de statiske beregningerne resulterer i årgennemsnit, får man ingen oplysninger om vejstøjen i weekender og ferietid, hvor vejens naboer må forventes at have større ønske om mindre støj.

## 3 Dynamiske målinger og beregninger af trafikstøj

Ved løbende at måle støjen tæt på en større, trafikeret vej kan man supplere målingerne med dynamiske beregninger af støjbidraget fra vejen i et større område, der ikke kun omfatter vejens nærmeste naboer. FORCE Technology har udarbejdet en metode, der sammenkobler kendte og velafprøvede måletekniske og beregningstekniske principper, så mulighederne og brugbarheden af resultaterne udvides i forbindelse med fx vejtrafik. Men metoden kan også anvendes på andre former for støj, fx industri- og flystøj, jernbanestøj og støj fra vindmølleparker.

Overordnet går metoden ud på at måle støjudsendelsen fra vejen i fx lygtepæle langs vejen eller i opsatte standere i højden 3-5 m over vejniveau. For hvert sekund sendes måleresultaterne i form af  $L_{Aeq,1sekund}$  (midelværdien af støjen over et sekund) fra hver mikrofon via fx mobiltelefonnettet til en central server, hvor målingerne opsamles og viderebehandles. Hvert sekund beregnes ved hjælp af Nord2000-metoden støjbidraget i et netværk af modtagepunkter placeret 1,5 m over lokalt terræn. Resultaterne i form af farvelagte kort i stil med EU-støjkartene vises på en hjemmeside. Til brug for beregningerne hentes løbende meteorologiske data fra DMI's nærmeste målestation.



**Figur 3** Illustration af måle- og beregningssystemet.

Mere detaljeret er arbejdsgangen, inden systemet er klar til at måle og beregne:

A) Der opbygges en 3D-støjmodel af vejen og omgivelser indeholdende bl.a. vejen, terrænhøjder, bygninger og eventuelle støjvolde og -skærme. B) I modellen placeres støjkluder med 25 m afstand på vejen. I første omgang er afstanden 100 m i Nyborg, og vejstøjen simuleres foreløbigt med 94 punktkluder. Hver punktklude i modellen tildeles en kildestyrke, der frekvensmæssigt svarer til den aktuelle vejs fordeling af lette og tunge køretøjer samt den skilte hastighed. C) Der placeres modtagerpunkter (receivere) i vejens nabozone i et netværk på 10 m x 10 m, 1,5 m over lokalt terræn. Receivere, der herved ligger inde i huse, fjernes i modellen. I Nyborg er der ca. 84.000 aktive receive. D) Der beregnes overføringsfunktioner (hvor meget støjen dæmpes i dB) for hver kombination af kilde og modtager svarende til ca.  $94 \times 84.000 = 7.896.000$  støjtransmissionsveje i Nyborg. Disse beregninger foretages for en række vejsituationer. I Nyborg forventer vi at beregne støjtransmissionsveje for 16 vejsituationer. E) De mange overføringsfunktioner organiseres i en datastruktur, som uploades til serveren, der løbende modtager støjdata, se Figur 3.

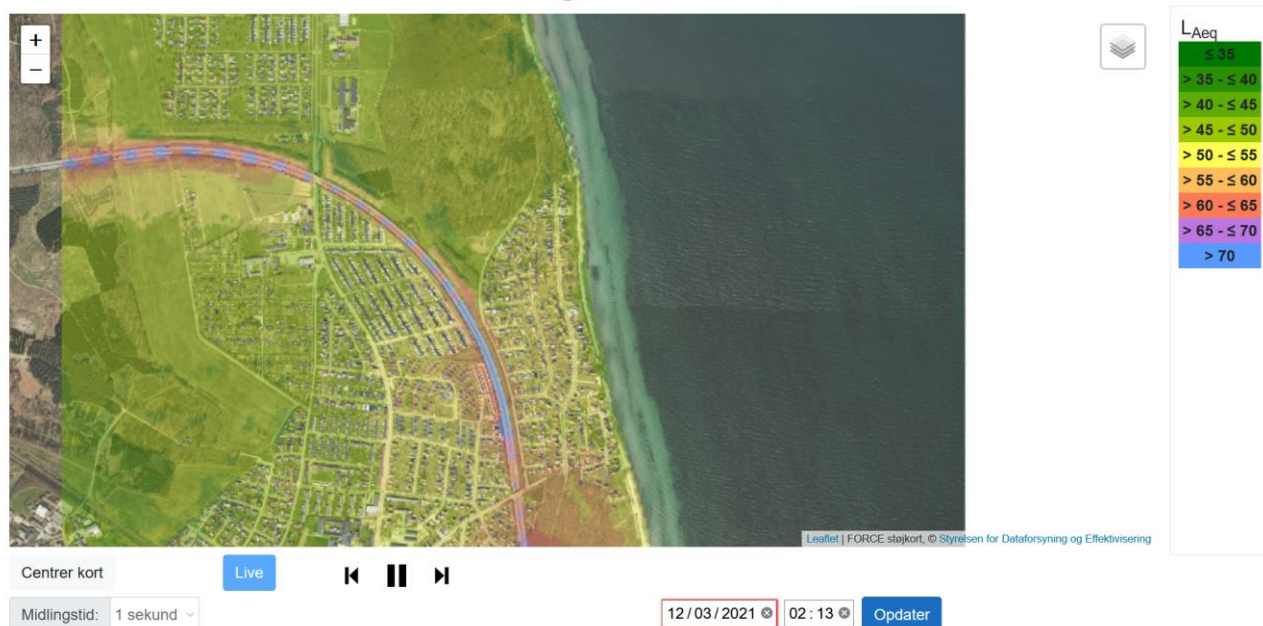
Grunden til, at overføringsfunktionerne beregnes på forhånd, er, at Nord2000-beregningerne er meget tidskrævende, så direkte beregninger på serveren ikke er muligt. Derfor benyttes lynhurtige tabeopslag i de i forvejen beregnede overføringsmatricer. Dermed kan opdateringen af støjkortet ske pr. sekund, hvilket giver et "levende" støjkort.

Når systemet er i drift, sker der følgende: F) Hvert sekund, når mikrofonsignalerne modtages, foretages en beregning af vejens samlede støjbidrag (støjbidraget fra hver af de 94 punktkluder på vejen) i hvert af de ca. 84.000 receiverpunkter. Kildestyrken for hver af de 94 punktkluder beregnes på grundlag af de modtagne mikrofonsignaler i det aktuelle sekund. Derefter vælges den overføringsfunktion, der bedst passer med vejrdata modtaget fra DMI, og de 94 støjbidrag i hvert receiverpunkt beregnes og summeres. G) Grafikken på hjemmesiden opdateres således, at de beregnede støjniveauer vises med en farve i hvert receiverpunkt. H) De målte 6 støjniveauer samt vejrdata gemmes for hvert sekund, hvorved de kan "genafspilles" senere. For at begrænse mængden af data, og dermed spare udgifter til serverplads, gemmes sekundværdierne for hver mikrofon i 2 døgn. Derefter midles de til minutværdier og timeværdier, som gemmes uden videre datareduktion. Tilsvarende gælder de meteorologiske data.

Det skal understreges, at de viste støjkort pr. sekund i sig selv ikke kan benyttes til generelt at vurdere støjen fra vejen, men de giver en indikation af den øjeblikkelige støj i området. Værdien i systemet kommer, når man begynder at bruge de gemte data, fx ved at vise støjkort midlet over en time eller døgn, eller beregne årsmiddelværdier eller sæsonværdier af  $L_{den}$ ,  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  og  $L_{night}$ .



Meteorologiske observationer 11 Mar 2021 23:30 - Temp: 5.0 °C, Vind: 6.8 m/s



**Figur 4** Screendump fra hjemmesiden, jf. [3], der viser de dynamiske støjberegninger for Nyborg.

### 3.1 Fordele og begrænsninger ved dynamiske målinger og beregninger af støjen

Fordelene ved dynamiske målinger og beregninger er bl.a.:

- 1) Time-, døgn- og sæsonvariationer af støjen i naboerområderne kan undersøges på grundlag af den faktiske støj fra vejen.
- 2) Da der efterhånden er god viden om sammenhængen mellem vejstøj, de oplevede gener heraf og de afledte sundhedsmæssige aspekter kan der udover kort over støjparametre også vises kort med procentvis antal stærkt generede og den forøgede sundhedsrisiko for forskellige typer af sygdomme og risikofaktorer.
- 3) Støjkortene synliggør, at støj fra veje varierer ganske meget over døgnet, og at vejret har en afgørende indflydelse. Det er ikke nyheder i sig selv, men med beregnede støjbidrag pr. time kan man i dB se, hvad trafikkenes døgnvariation og vejret betyder for støjen hos naboerne.
- 4) Overordnet kan de "levende" støjkort være med til at øge fokus på de store gener og helbreds-mæssige konsekvenser, som trafikstøjen giver.

Ulemperne ved de dynamiske målinger og beregninger er bl.a.:

- 1) Det er alene støjen fra den vej, der måles ved, som indgår i beregningerne. Dermed indgår ikke i resultaterne støjbidraget fra andre veje eller støjkilder i det hele taget. Samme princip gælder for EU-støjkortlægningerne, men i disse vil andre større veje også kunne give et bidrag til støjbelastningen.
- 2) Det er ikke muligt umiddelbart at se, hvad en ny eller højere støjskærm langs vejen vil betyde, da støjkortene beregnes på grundlag af statiske overføringsfunktioner. Men man kan som en del af de forudgående beregninger af overføringsfunktionerne beregne overføringsfunktioner med forskellige eksempler på nye støjskærme ved vejen eller andre steder og på hjemmesiden give mulighed for at se resultater med og uden disse skærme. Det betyder i sidste ende, at konsekvenserne af en planlagt støjbeskyttende foranstaltning kan undersøges i detaljer, inden den bygges.

## 4 Forbedringer af systemet i Nyborg

I den nærmeste fremtid (forår 2021) planlægges følgende implementeret:

Op til 16 vejsituationer beregnes, og deres overføringsmatricer uploades og vil herefter indgå i beregningerne.

Der beregnes med en tættere beliggenhed af støjklenderne på vejen, fx 25 m mellem hver kilde mod de nuværende 100 m.

Visningen af støjkortene er meget følsom for enkeltpassager af biler ved mikrofonerne, hvilket giver nogle urealistiske hurtige fluktuationer i støjkortene. Der arbejdes på så at sige at udjævne måleresultaterne mellem mikrofonerne, så de øjeblikkelige støjniveauer (opdateret pr. sekund) vises mere realistisk. Denne uhenigtsmæssighed betyder ikke noget for time- og døgnværdierne, idet denne fluktuation ved beregningen af middelværdierne bliver jævnet ud.

På længere sigt kunne følgende implementeres:

Visning af andre støjparametre end  $L_{Aeq}$  pr. minut og time beregnet på de historiske data. Det kunne fx være  $L_5$  og  $L_{95}$ , som er det støjniveau, der er overskredet i henholdsvis 5 % og 95 % af tiden, og som er udtryk for henholdsvis det højeste støjniveau, der beregnes, samt baggrundsstøjen.

Visning af effekten ved at opsætte forskellige forudberegnete støjskærme.

Visning af effekten af støjreducerende asfaltbelægning og eventuelle hastighedsnedsættelser. Disse tiltag kræver ikke langvarige forudgående beregninger af overføringsfunktionerne og kan derfor relativt let implementeres.

Automatisk generering af rapporter over de målte og beregnede værdier på fx uge- eller månedsbasis.

## 5 Referencer

- [1] Gate 21, Rambøll og FORCE Technology. April 2020. "Trafikstøj kræver handling – fakta, udfordringer og løsninger".
- [2] <https://forcetechnology.com/da/artikler/trafikstoj-er-farligt-for-vores-helbred-men-hvad-gor-vi-ved-det>
- [3] Dynamisk støjkort for Nyborg, <https://fdynamicnoisemapv2test.azurewebsites.net/site/nyborg>
- [4] Europaparlamentets og rådets direktiv 2002/49/EF af 25. juni 2002 om vurdering og styring af ekstern støj.
- [5] "Støjbekendtgørelsen" – BEK nr. 1596 af 13/12/2018 Bekendtgørelse om kortlægning af ekstern støj og udarbejdelse af støjhandlingsplaner.
- [6] Miljøstyrelsens "Støj-Danmarkskort", <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=noise>
- [7] <https://forcetechnology.com/da/artikler/har-stoejen-fra-bilerne-aendret-sig-over-tid>