



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Slutrapport för projekt 2011-0805 Tystare transportfordon för effektivare distribution.



Författare: Krister Fredriksson
Datum: 150420
Delprogram: Transporteffektivitet

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	3
3. Syfte	3
4. Genomförande	4
Förberedelser.....	4
Ljudarbetet	4
Strukturell inverkan på samhället.....	8
Dieselabsorption.....	10
5. Resultat	10
5.1 Bidrag till FFI-mål	10
6. Spridning och publicering	11
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	11
6.2 Publikationer	11
7. Slutsatser och fortsatt forskning	12
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	13

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Projektets mål är att förstå konstruktionsförutsättningarna för ett fordon som är akustiskt anpassat för distribution i en transportkorridor under tider utanför ordinarie kontorstid. För det har Chalmers skapat en metod av överföringsmodeller från källan in till lägenheten som kan simulera ljudnivån inomhus och vid fasaden från data uppmätt i laboratoriemiljö. Metoden används även för att spegla ner ett ansatt inomhusljud på ett objekt för att sedan kunna specificera det. För att förstå frågeställningen bättre har vi modifierat ett fordon akustiskt och sedan använt det fordonet tillsammans med olika produktionsfordon för att skapa underlag för modelleringsarbetet. I ett antal lyssningskliniker har modellen verifierats mha ljudkvalitativ utvärdering för att säkerställa den akustiska kvalitén. I klinikerna har vi även analyserat störnivåer inomhus och deras inverkan på människan, vilket har resulterat i en djupare förståelse för inverkan på människan. En metod för ljudsyntetisering har anpassats till ljud från tunga fordon för att underlätta modelleringsarbetet och för att möjliggöra det ljudkvalitativa arbetet. Strukturell inverkan på samhället har analyserats ur olika aspekter och ger att en transportkorridor kan bara skapas om alla berörda aktörer samverkar (fordonstillverkare, transportör, väghållare, trafikplanerare, samhällsplanerare (var och hur hus får resas) , dvs. kommun, trafikverket etc). Möjligheten att göra ljuddämpande skärmar för fordon mindre benägna att ta upp diesel har även studerats. Flera försöksserier har genomförts och klara förbättringar har kunnat påvisas.

2. Bakgrund

Bakgrunden till projektet är att fordonstätheten i dagens samhälle har ökat till en sådan nivå att det är nödvändigt med förändringar i transportflödet. En möjlighet är att skapa förutsättningar för godsdistribution utanför ordinarie arbetstid, men det kräver en akustisk acceptans från samhället för sådana lösningar.

3. Syfte

Projektets mål var att akustiskt förstå förutsättningarna för sista delen i en transportkorridor genom centrala delar i en stad, vilken används utanför ordinarie arbetstid. Avsikten var även att ta fram en metodik för att akustiskt kunna specificera ett fordon för dessa förutsättningar.

Den resulterande metodiken ska förutom förståelse även bestå i en överföringsmodell för fordonsljud så att man kan beräkna inomhusljudet i en lägenhet utifrån ett fordon som passerar på gatan utanför. Modellen ska även gå att använda baklänges för att kunna beräkna hur ett fordon borde låta utifrån ett givet inomhusljud.

4. Genomförande

Arbetet i projektet var uppdelat i 5 arbetspaket enligt följande:

AP 1, Kravsättning ur ett samhällsperspektiv

AP 2, Strukturell inverkan på samhället

AP 3, Minskad ljudalstring från fordon

AP 4, Dieselabsorption i ljudabsorbenter

AP 5, Demonstrator

För att få en mer logisk följd i redovisningen av genomförandet behöver arbetet inom projektet delas upp på följande sätt:

Förberedelser

Ljudarbetet: Kravsättning ur ett samhällsperspektiv (AP 1), åtgärder på fordonet (AP 3 + 5)

Strukturell inverkan på samhället (AP 2)

Dieselabsorption (AP 4)

Förberedelser

Under förberedelserna för projektet togs det fram två ”state of the art” rapporter av Chalmers. Den ena rapporten analyserar frågeställningen utifrån ett ljudkvalitativt perspektiv, och konstaterar att dagens dBA vägda ljudtryck kan behöva kompletteras för att definiera förutsättningarna för tystare transporter och att kunskapen fortfarande är bristfällig om hur trafikljud påverkar sömnkvalitet, trötthet, samt återhämtning [1]. Den andra rapporten går igenom de befintliga källmodeller som idag används för trafikljud och konstaterar att dessa är för generaliserade för vår studie, samt att man tar för lite hänsyn till den lågfrekventa delen i ljudet [2].

Chalmers analyserade även en hel del befintlig ljuddata från tidigare mätningar för att bättre kunna beskriva hur vi behövde lägga upp analysarbetet inom projektet.

Ljudarbetet

För att kunna analysera hur samverkan mellan ljudupplevelse inomhus och specifikation för fordonet som ljudkälla, delades ljudarbetet i fyra delar; modellering av källa och ljudöverföringen fram till mottagaren inomhus, ljudåtgärder på fordon, ljudsyntetisering, samt i en ljudkvalitativ utvärdering.

Modellering av källa och ljudöverföring

Det ena syftet med att skapa en överföringsmodell för fordonsljud var att kunna beräkna inomhusljudet i en lägenhet utifrån ett fordon som passerar på gatan utanför, det andra syftet var att kunna använda samma modell baklänges och beräkna hur ett fordon borde låta utifrån ett givet inomhusljud. För att kunna genomföra detta

behövde vi dela upp modellarbetet i flera delar. Första steget var att modellera källan på ett tillräckligt väldefinierat sätt så att de egenskaper som är signifikanta i sammanhanget tas tillvara, men att modellen inte blev för komplicerad så att den blir för svår att använda. Det andra steget var att modellera ljudutbredningen i gatkanjonen, det tredje steget var att modellera ljudets filtrering genom husfasaden in i lägenheten, och det sista steget var att skapa ett inomhus ljud genom att ta hänsyn till rummets karakteristik. Varje steg verifierades ur en ljudkvalitativ aspekt för att säkerställa kvaliteten på modellen.

Med den färdiga modellen kan vi beräkna ljudet vid en husfasad respektive inuti en lägenhet för den analyserade ljudkanjonen utifrån inspelade signaler i Volvos Ljud och Vibrationslaboratorium, respektive använda modellen baklänges för ett givet inomhusljud.

Utifrån våra ljudanalyser har vi också konstaterat följande:

- Fordonets lågfrekventa ljudinnehåll har stor inverkan på den beräknade ljudnivån inomhus
- Ljudspecifikation på fordon för transport i urbana korridorer bestäms till stor del av kanjonens utformning, fasadernas egenskaper, vägytans beskaffenhet (t.ex. stenläggning eller asfalt) och förarens beteende,
- För fallet öppet fönster finns det idag inga möjligheter att klara dagens krav på inomhusljud från Socialstyrelsen/Boverket (dagens kravbild innefattar bara stängt fönster).

Resultaten av att det lågfrekventa ljudet från fordonen har stor betydelse för inomhusljud och att vi inte hittade några ljuddata för fasader/fönster/ventiler som gick tillräckligt långt ner i frekvens, tog Chalmers fram ett antal typfall på fasader och deras frekvensgång, som sedan användes i projektarbetet. Typfallen är valda så att de ska spänna upp försöksrymden så väl som möjligt och innefatta tillräckligt många av de fasadkombinationer som finns i Sverige idag. Arbetet resulterade i ett referensdokument som Chalmers bla kommer att använda i deras undervisning [3].

Ljudåtgärder på fordon

För att spänna upp försöksrymden ytterligare och skapa tillräcklig varians i underlagen för modelleringen gjordes ljudanalyser av tre olika fordon: en Volvo FM 6*2 i produktionsutförande, en modifierad Volvo FM 6*2 med handbyggd inkapsling av drivlinan på 5 sidor, en extra ljuddämpare och begränsningar i drivlinans beteende, samt en MB Sprint i produktionsutförande. Volvo-fordonen har analyserats flera gånger i det semi-ekofria rummet i Volvos Ljud och Vibrationslaboratorium, samt i ena fältmätningen i centrala Göteborg på Landsvägsgatan. I den andra fältmätningen vid Landsvägsgatan analyserades en MB Sprint tillsammans med Volvo-fordonet i produktionsutförande. Ljudanalyser av resultat från laboratoriet gav att den modifierade Volvon hade 5 dB lägre ljudnivå med den handbyggda inkapslingen jämfört med Volvon i produktionsutförande.

En möjlighet att minska ljudet från fordon är att begränsa hastigheten, vilket kan ske enbart på frivillig väg genom att man anger påbjuden hastighet eller i kombination med rent fysisk begränsning av möjlig hastighet för fordonet. För det sista alternativet gjordes en analys av hur man skulle kunna använda Geofencing för hastighetsbegränsning eftersom teknik för detta redan är känd.



Figur 1, Interiör från lägenhet analyserad vid andra fältövningen på Landsväggsgatan



Figur 2, Vy över gatukanyon vid andra fältövningen på Landsväggsgatan



Figur 3, Projektfordonet i det Semi-Ekofria rummet vid Volvos Ljud och Vibrations laboratorie

Ljudsyntetisering

För att kunna genomföra de ljudkvalitativa analyserna av inomhusljud och för att kunna utvärdera och verifiera de olika stegen i modelleringen anpassade Chalmers en ljudsyntetiseringsmetod till ljud från tunga fordon. Ljudsyntetisering ingick inte i projektet från början men visade sig vara en nödvändighet för att kunna skapa de ljudsituationer och ljudfiler som behövdes för att genomföra de olika lyssningsklickerna inom analys och verifieringsarbetet. Arbetet resulterade även i ett konferensbidrag [4].

Arbetet med ljudförståelse och ljudsyntetisering i det här projektet har även legat till grund för arbetet inom arbetspaket 3 "Tyst avfallshantering" i projektet SENDSMART och de gemensamma slutsatserna i det arbetspaketet redovisas i en film mha denna syntetiseringsmetod. Ljuden för de två fordonen i den filmen är framtagna med metoden och filmen "Tyst avfallshantering" kan beskådas via SENDSMART's hemsida [5] (för riktig ljudåtergivning krävs högtalare/bra hörlurar pga mycket lågfrekvent ljud).

Ljudkvalitativ utvärdering

Den ljudkvalitativa utvärderingen har haft flera syften. Huvudsyftet har varit att skapa en djupare förståelse och mer kunskap om mänsklig perception av fordonsljud inomhus tillsammans med att göra en ljudkvalitativ utvärdering av störnivåer inomhus. Den har även haft som syfte att verifiera de olika stegen i modelleringsarbetet och bekräfta att delmodellerna beter sig akustiskt riktigt åt och

inte förvränger ljudet. Verifieringen av delmodellerna har varit till stor hjälp för att få modellen för hela ljudkedjan in till mottagaren i lägenheten så korrekt som möjligt. Inom området ljudkvalitet betraktas ljudet utifrån två separata dimensioner definierade som Aurosal (stress, aktiverande) och Valence (behaglighet) och genom att utgå från dessa två dimensioner kan man skapa en djupare förståelse för människans perceptionsuppfattning av ljud. I Chalmers ljudkvalitativa utvärdering har följande resultat framkommit:

- Minskning av det högfrekventa innehållet i ljudet är positivt för uppfattningen av Valence.
- En minskning av det lågfrekventa innehållet ger en lägre Aurosal respons.
- På natten är det viktigast att minska Aurosal nivå, men under kvällstid när folk är vakna behöver båda dimensionerna beaktas.
- För dåliga fasader och när ett fönster är öppet hade våra åtgärder på vår modifierade Volvo en signifikant minskning av den Aurosal nivån inomhus.
- Ingen signifikant skillnad registrerades i Aurosal nivå för bra fasader med stängt fönster för det modifierade fordonet jämfört med det icke modifierade.

Strukturell inverkan på samhället

Vinsterna för samhället är många om man kan minska mängden tung trafik i städer under vanlig arbetstid. Vid sidan om ökad trafiksäkerhet och bättre miljö, ger en minskad tomgångskörning för distributionsfordon, vid exempelvis kökörning, en signifikant minskning av den verkliga bränsleförbrukningen för åkarna. Många vanliga distributionsrutter är mellan 30 och 100 km långa och en minskning av tomgångskörningen redan på 30 minuter ger en minskning på förbrukningen som kan räknas i procent.

För att kunna räkna hem en vinst med distribution utanför ordinarie arbetstider så behöver man ta hänsyn till hela transportkedjan. Vid försök med transporter utanför ordinarie kontorstid i andra europeiska städer och städer i USA, har det visat sig att kvällstransporter kan bli 3 gånger effektivare än dagstransporter. Däremot så är det inte säkert att det blir någon vinst, ifall omställning till natt-transport medför att man kör tom tillbaka.

En annan faktor som måste beaktas är arbetstider och arbetstidsregler, både för förare och för godsmottagare. Vid leverans nattetid kan det behövas att det finns någon på plats som tar emot godset om man inte kan lösa det på annat sätt.

I projektet har vi begränsat oss till att undersöka fordonets färd längs en transportkorridor genom centrala delarna av en stad. Anledningen till det är att det redan finns förslag på krav vid lossning och lastning av gods i och med PIEK kraven som har tagits fram av TNO i Nederländerna [6]. I PIEK-cykeln ingår nämligen även lastning och lossning. För den skull har flera påbyggare och godshanteringsföretag utvecklat dämpade golv, tystare kylanläggningar och godsullburar etc. En annan lösning på lastning/lossningsproblematiken är att använda en Lastfar, dvs man kör in fordonet inomhus och lastning/lossning sker där vilket avskärmar/dämpar ljudet.

Ett sätt att begränsa ljudet från fordon kan vara att minska trafikflödet, t.ex. genom att hastighetsbegränsa på något sätt. Det i sin tur innebär dels att man definierar en högsta hastighet inom ett specifikt område, men det innebär också någon typ av uppföljning för att säkerställa att den efterföljs. En variant kan vara att man använder Geofens-styrd hastighetsbegränsning i fordonen, eller som man har valt på en del ställen att det är på eget ansvar men om någon klagar på distributören så förlorar de tillståndet att leverera på natten. I båda fallen måste det vara ett samspel mellan olika aktörer och ljudnivån är inte bara beroende på transportören/fordonet utan också på det regelverk som gäller i aktuellt område.

Motsvarande slutsats har dragits i själva arbetet med ljudanalyserna, att förutsättningarna för distribution utanför ordinarie arbetstid inte bara beror på fordonet och dess ljudgenerering pga framdrivningen. Ljudet och ljudnivån utomhus beror även på hur transportkorridoren är utformad och dess akustiska egenskaper. Upplevelsen inomhus beror sedan även på fasadernas egenskaper och om fönster tex är öppna. Ljudet inomhus kan även förstärkas på ett olyckligt sätt pga resonanser i rummet som sammanfaller med de frekvenser som finns i det lågfrekventa ljuden från fordonen.

I projektet har vi fokuserat på motorljud, vilket dominerar vid lägre hastigheter som är fallet vid distribution i centrala delarna i en stad. Men fordon kan även ge ifrån sig andra ljud: däcksljud som delvis är kopplat till däcksmönster och vägens ytbeläggning (asfalt, stenläggning, etc), strukturljud/slagljud pga ojämnt underlag.

Sammanställning av resultat från analys av samhällspåverkan:

- Man behöver specificera exteriörljud och inomhusljud separat
- Den totala upplevda ljudnivån utomhus eller inomhus för en betraktare är ett samspel mellan källan (fordonet) och miljön (gatkanjon, typ av bebyggelse etc)
- Specifikation av fordonet är beroende av vilken bebyggelse det är längs korridoren
- Specifikation av fordonet är beroende av vilka trafikregler som gäller för området där korridoren går (hastighetsbegränsning, inklusive om "grön våg" minskar accelerationer)
- Specifikation av fordonet är beroende av vägytan (e.g. olika asfaltkvaliteter, stenläggning, betong etc.), för att eliminera slag och strukturljud från fordonen
- Specifikation av fordonet är beroende av om och hur fordonet styrs/övervakas i korridoren ("frivilligt" eller via geofencing, kartdata)
- Om Geofencing skulle övervägas är det viktigt att det finns samordning för uppdatering av kartdata så att alla aktörer utgår från samma information och att den är aktuell (Trafikverket eller Kommunen)
- Inverkan av Geofencing behöver ingå som en del i upphandlingen för de olika berörda aktörerna om det används
- Dagens byggnorm tar inte riktigt hänsyn till det lågfrekventa ljudet genererat av en dieselmotor. Nattkravet 45 dBA för dagens nivå behöver möjligen ses över.

Dieselabsorption

I arbetet med brandsäkrare ytmaterial för ljuddämpande skärmar på fordon så har YKI (SP Group) genomfört flera serier med prov på olika grundmaterial och olika beläggningsmetoder. Syftet med arbetet har varit att minska inträngningen av diesel i de porösa ljuddämpande materialen jämfört med dagens material. Denna egenskap kommer att öka i betydelse hos de ljuddämpande materialen om man vill kapsla mer runt drivlinan för att klara ökade ljudkrav.

5. Resultat

Chalmers har skapat den beräkningsmodell som efterfrågades för kommande arbete med akustisk optimering av fordon i transportkorridor. Ljudarbetet har gett en ökad kunskap för vad som behövs inför kommande förändringar i transportflöde. Ljudarbetet har även visat på att det finns flera lösningar för en transportkorridor och att lösningarna beror på sammanhanget och kräver ett samarbete mellan berörda aktörer. Chalmers arbete har även visat på ett behov av bättre kunskap om mänsklig perception av fordonsljud för att säkerställa en omställning till transporter utanför ordinarie arbetstid. Projektets resultat och slutsatser finns sammanställda och beskrivna i en teknisk slutrapport från Chalmers [7].

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet och dess resultat ligger helt i linje med de övergripande målen för programmet Transporteffektivitet. Om man kan genomföra tidigarelagda transporter, kommer det att innebära en avlastning av miljön och bidra med positiva effekter till den pågående klimatutmaningen. En minskning av total bränsleförbrukning per ton-km ger inte bara en minskning i CO₂ utsläpp utan även en minskning av andra emissioner, ökad trafiksäkerhet och en bättre utnyttjandegrad av transportsystemet.

Vidare kommer en ökad differentiering av godstransporterna att medföra nya affärsmöjligheter och generera ett behov av nya affärsmodeller.

Att delta i omställningen av transportsystemet är en förutsättning för att svenska fordonsindustrin och transportnäringen ska kunna behålla konkurrenskraften framgent och att delta i utvecklingsprocessen.

Sist men inte minst så bidrar projektet och dess resultat till en ökad kompetens inom transportområdet, både för de industriella parterna såväl som för de akademiska parterna. Det har även gett en djupare förståelse och en mer strukturerad samsyn mellan industrin och akademien för frågeställningen, samt har genererat ett djupare samarbete inom området.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Det finns idag en medvetenhet om att trafikljud kan medföra ett hälsoproblem, men också en vetskap om att det behövs mer kunskap och forskning för att verkligen förstå sambanden fullt ut mellan ljud och hälsa [1].

Att lyfta upp den debatten och skapa en större samsyn mellan olika aktörer i samhället skulle bidra till att möjliggöra hållbara lösningar, vilket bland annat skulle kunna leda till en differentiering av transportflödet i enlighet med frågeställningarna i detta projekt.

6.2 Publikationer

- 1, Traffic Noise – The effect on sleep quality, annoyance and restoration, P. Bergman
- 2, Ljud från tunga vägfordon – aktuella källmodeller och gränsvärden för exponering inomhus, J. Forssén
- 3, ISSN 1652-9162 2014:1, Suggested facade cases for study of sound insulation considering wall, window and air intake, J. Forssén
- 4, AIA DAGA 2013-681, Auralization of truck engine noise –preliminary results using a granular approach, J. Forssén et al
- 5, Filmen ”Tyst avfallshantering” som visualiserar/auraliserar resultaten från arbetspaket 3 i projektet SENDSMART med hjälp av ljudsyntetiseringsmetoden, kan beskådas via länken: <http://closer.lindholmen.se/om-closer/sendsmart>
- 6, PIEK krav föreslagna av TNO, Nederländerna, TNO report MON-RPT-2010-0046
- 7, Towards a low noise truck specification, P. Höstmad, P. Bergman, J. Forssén

7. Slutsatser och fortsatt forskning

För projektet som helhet är vi mycket nöjda med de resultat som genererats och anser att vi fått en klar bild över vad transportkorridorer för distributionstrafik utanför ordinarie kontorsarbetstid innebär ur en akustisk synvinkel. För **”Modellering av källa och ljudöverföring”** är vi mycket nöjda med den metod som Chalmers har tagit fram för att kunna analysera och beräkna olika akustiska storheter utifrån laboratoriedata för fasader och lägenheter vid en transportkorridor i tätbebyggd miljö. För **”Ljudåtgärder på fordon”** gav utförda modifieringar på projektfordonet de önskade förändringar i akustiska egenskaper som behövdes för arbetet inom de övriga delarna inom projektet. **”Ljudsyntetiseringen”** ingick inte från början i projektet men visade sig vara till stor hjälp och har ökat både resultatens kvalitet och kunskapsnivån inom projektet.

Verifieringen av överföringsmodellerna med **”Ljudkvalitativ utvärdering”** har fungerat utmärkt och säkerställt att den totala modellen har fått rätt akustiska egenskaper. Den har även lett till ny kunskap och bättre förståelse av frågeställningen om störnivåer inomhus. Med ansatsen att försöka hitta något som bättre beskriver inomhusljud map lågfrekvent ljud från fordon som är bättre än dagens dBA-värden kom vi inte ända fram. Det var svårare än väntat och det saknas även grundläggande kunskap inom området, tex kunskap om sömnstörning. Frågeställningen **”Strukturell inverkan på samhället”** har vi kunnat belysa ut ur olika akustiska aspekter. Arbetet med **”Dieselabsorption”** har genomförts väl av YKI (SP Group) och har genererat många slutsatser och kunskaper. De har påvisat klara förbättringar för egenskapen men det visade sig vara svårare än väntat och vi kom inte riktigt ända fram. Vi lyckades minska mängden dieselinträngning men vi lyckades inte få metoden tillräckligt stabil och repeterbar.

På ämnet fortsatt forskning ser vi ett behov av mer kunskap och en bättre förståelse för mänsklig perception av ljud. Speciellt inom områden som berör sömn och återhämtning. Vi ser också en nödvändighet med forskning inom nya fordonsmaterial som kan matcha framtida krav på ökad ljudabsorption och minskad dieselabsorption.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Volvo Group (Volvo Technology AB), Kontaktperson: Krister Fredriksson,
Krister.Fredriksson@Volvo.com

Volvo Group (Volvo Lastvagnar AB), Kontaktperson: Dr. Kaj Bodlund,
Kaj.Bodlund@Volvo.com

Chalmers Tekniska Högskola, Avdelning Teknisk Akustik, Kontaktperson:
Dr. Patrik Höstmad, Patrik.Hostmad@Chalmers.se

Ytkemiska Institutet (SP Group), Kontaktperson: Dr. Gilbert Carlsson,
Gilbert.Carlsson@sp.se

JABA Group, Kontaktperson: Einari Johansson, Einari.Johansson@Jabagroup.se

