



Den ljudlösa bilen

En undersökning om buller, bång och brummande bilar



Kandidatarbete i medieteknik, 30 hp

Blekinge tekniska högskola | Institutionen för teknik och estetik | VT 2015

Christopher Bigun

Erik Sjöstrand

Handledare:

Annika Olofsdotter Bergström

Examinator:

Birgitta Rydhagen

BLANK SIDA

Abstrakt

Examensarbetet kommer undersöka aktiv ljuddesign för tysta personbilar. Utifrån tidigare forskning om hur elbilen utsätter människor i tätområden för fara på grund av avsaknaden av auditiv information, ska vi utveckla förslag på dynamiska biljud som förhåller sig till trafiksäkerhet, design och minskade ljudföroreningar. Den totala ljudnivån i städer är långt över rekommendationen och följden blir ett hälsoproblem i större städer. Den här undersökningen kommer därför behandla problematiken kring ljudföroreningar i städer och hur elbilen kan sänka den totala ljudnivån och samtidigt bibehålla medvetenheten hos de gående och cyklister som hamnar i riskzonen när bilar inte längre låter lika starkt. Vår gestaltning resulterade i motorljud som inte bara har en varnade effekt på sin omgivning, utan som också minskar ljudföroreningar i jämförelse med förbränningsmotorer.

Nyckelord: Elbil, aktiv ljuddesign, trafiksäkerhet, ljudföroreningar, auditiv information

This degree project will examine active sound design for quiet vehicles. Based on former research whether electric cars expose humans living in urban areas to danger due to the absence of auditive information, we will develop suggestions for dynamic engine sounds which are related to traffic safety, design and reduced noise pollution. Cities' overall noise levels are far beyond recommended, and the consequences causes health issues in bigger cities. This paper will therefore discuss the problems with noise pollution in cities, and whether the electric car is capable of reducing the overall sound levels while maintaining pedestrians' and cyclists' awareness in traffic by auditive information. Our interpretation resulted in engine sounds which not only contains a cautionary effect on its surroundings, but also could contribute to the reduction of noise pollution in comparison to combustion engines.

Keywords: Electric car, active sound design, traffic safety, noise pollution, auditive information

| | |
|--|-----------|
| Ordlista: | 1 |
| 1. Bakgrund | 2 |
| 1.2 Syfte | 3 |
| 1.3 Frågeställning | 3 |
| 1.4 Biljud idag | 3 |
| 1.5 Tidigare & aktuell forskning | 4 |
| 1.5.1 Kollisionssannolikheter vid mötet av cyklister eller gående..... | 4 |
| 1.5.2 Motorljudets auditiva information..... | 4 |
| 1.5.3 Statistik..... | 5 |
| 1.5.4 Ljudföröreningar..... | 6 |
| 1.6 Förhållningssätt | 7 |
| 1.6.1 Maskning | 7 |
| 1.6.2 Frekvensvägning..... | 8 |
| 1.7 Avgränsning | 10 |
| 2. Metod | 10 |
| 2.1 Processbeskrivning | 10 |
| 2.1.1 Sambandet mellan rpm och Hertz | 11 |
| 2.1.2 Tonhöjd..... | 12 |
| 2.1.3 Loopar..... | 13 |
| 2.2 Designmetod | 14 |
| 3. Resultat och diskussion | 16 |
| 3.1 Gestaltning - En riktig motor | 16 |
| 3.1.1 Sammanfattning | 17 |
| 3.2 Kognitiva faktorn | 18 |
| 3.3 Förslag på utförande av aktiv ljudläggning | 19 |
| 3.4 En normativ aspekt | 19 |
| 3.5 Spekulationer kring elbilens framtid | 20 |
| 3.6 Reflektion kring resultatet | 21 |
| 3.7 Arbetets övriga faktorer | 22 |
| 3.8 Slutord | 22 |
| Källhänvisning | 23 |

Ordlista:

Vitt brus: Vitt brus uppstår när alla frekvenser låter samtidigt och lika stark.

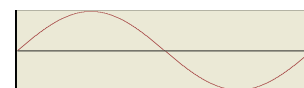
Decibel (dB): Anger ljudets styrka där 0dB är den svagaste ljudvolym vi kan uppfatta.

LFO: "Low Frequency Oscillator". Ljudvågor som i regel ligger under hörbara 20 Hz. Används inom ljuddesign för att styra och modulera hörbara ljudvågor. Den kan exempelvis styra en ljudvågs filter, ljudstyrka, panorering eller tonhöjd.

Hertz (Hz): En händelse per sekund, vanligen en period eller svängning hos någon form av våg.

RPM: förkortning efter engelskans "Revolutions Per Minute". På svenska "varv per minut". Är ett mått för varvfrekvens.

Sinusvåg: Den minsta beståndsdel av en ton. En jämn vågform med konstant frekvens och amplitud.



Oscillator: Är den delen i en synthesizer som alstrar ljud.

Ofta i form av en sinusvåg eller fyrkantsvåg men även andra vågformer förekommer.

Phon: Måttenhet för subjektiv ljudstyrka. Mätningen görs genom att jämföra det ljud man vill undersöka med en kontrollsignal på 1000 Hz. Lyssnaren avgör när ljuden är lika starka. Då mäts antalet decibel på kontrollsignalen, och ljudstyrkan fås då i enheten phon.

1. Bakgrund

Bilindustrin håller på att ta en ny vändning där antalet hybrid- och elmotorer ständigt ökar. Även om de relativt nya fordonen har en bra bit kvar för att anses konkurrera med förbränningsmotorer, finns det ändå ett så pass stort antal att de gör ett avtryck i trafiken. De positiva effekterna av de nya bilarna är många; från att vara miljövänligare, kräva mindre underhåll, vara billigare i drift till att ha avsevärt tystare motorer, för att lista några exempel. Att eldrivna motorer är tystare än förbränningsmotorer kan tänkas tillhöra listan med positiva effekter, men det medför även problematik. Problemet kan kortfattat beskrivas som avsaknad av auditiv information.

Auditiv information är ett centralt begrepp i det här arbetet och omfattar den information en person kan utvinna från de ljud som generas av ett fordon. Ljudet påverkas och formas av exempelvis fordonets position, hastighet och riktning, och som gående, cyklist eller förare spelar det därför en väsentlig roll för hur människor förhåller sig till varandra i trafiken. Det problematiska med hybrid- och elbilar är att motorns ljudstyrka är så pass låg att det blir svårare för gående och cyklister att upptäcka och förutsäga förflyttning av fordon i tid, och löper därmed större risk för att råka ut för olyckor (Nyeste & Wogalter, 2008). Det är just av den här anledningen som vi anser att fordon som drivs av hybrid- och elmotorer bör ljudläggas för att upplysa omgivningen om sin närvaro. Vi är förstas inte ensamma om den här åsikten, utan flera stora biltillverkare, så som Audi, Nissan och Toyota, har också uppmärksammat problemet, och har börjat utvecklat ljud för att ersätta avsaknaden av ljud hos de nya motorerna.

En annan aspekt är fordons bidragande till ljudföroreningar. I takt med att den globala befolkningens mängd stiger, ökar också antalet fordon på vägarna. Majoriteten av dessa är förbränningsfordon, och i vissa trafikerade stadsmiljöer kan den rekommenderade ljudnivån överskridas med upp till 20 dB. Dessa nivåer har påvisade negativa effekter på människors hälsa, både psykiskt och fysiskt. (Kihlman, Kropp & Lang 2014). Samtidigt som hybrid- och eldrivna fordon bidrar till en minskad ljudnivå bör de alstra någon form av auditiv information av trafiksäkerhetsskäl. Vi vill undersöka om det går att hitta en medelväg där det artificiella ljudet är anpassat för att upplysa sin omgivning och samtidigt bidra så lite som möjligt till ljudförorening. Människors kognitiva kopplingar till motorljud spelar också roll i denna undersökning. En allt för radikal förändring av motorljudet som inte har några likheter med förbränningsmotorns

karaktäristiska ljud skulle förmodligen innebära att fordonet snarare blir ett störnings- och distraktionsmoment i trafiken där ingen skulle uppfatta att den var en bil överhuvudtaget, än att tillföra förbättrad trafiksäkerhet.

1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att undersöka hur ljuddesigners kan skapa ljud till bilar som främjar människans hälsa och ljudnivån i trafikerade områden. Examensarbetet kommer att baseras på tidigare forskning inom området, och från olika undersökningar som gjorts av Wogalter et al., (2001) och Nyeste & Wogalter, (2008), där deltagare fick peka ut vilka typer av ljud de ansåg vara mest lämpade att ersätta förbränningsmotorns.

1.3 Frågeställning

Hur kan elbilen, med hjälp av ljuddesign, bli en säkrare aktör i trafiken och samtidigt minska ljudföroreningar?

1.4 Biljud idag

Idag finns det möjlighet att individualisera motorljudet hos hybrid- och elbilar. Speciell hårdvara som installeras i bilen spelar upp motorljud från bilens interna högtalare, där man själv ska kunna välja hur sin bil ska låta. Motorljudet kan bytas ut mot motorer från andra biltillverkare, andra fordon eller mer experimentella ljud. Ljudet från högtalarna påverkar inte utomstående och bidrar inte till ljudföroreningar då det endast hörs inuti kupén. Det finns även elbilar ute på marknaden med externa högtalare bakom bilens grill. Högtalarna spelar upp realistiska motorljud för att varna gående och cyklister om att en bil kommer. Det fördelaktiga är att utomstående känner igen det klassiska motorljudet, och kan därför snabbt veta om en bil är i närheten. Nackdelen är att ljuden liknar en förbränningsmotor, och kan kanske därför hämma minskningen av ljudföroreningar. Det många tillverkare har valt att göra är att låta det externa ljudet stängas av när man når högre hastigheter, oftast över 40 km/h då ljud, främst från däck, men även från vindmotstånd överröstar motorljudet vid högre hastigheter. Det vi vill försöka göra är att ta fram ett motorljud som bidrar med en minskning av ljudföroreningar och som då är ett mer

miljövänligt alternativ till förbränningsmotorn utan att riskera fotgängares säkerhet i låga hastigheter.

1.5 Tidigare & aktuell forskning

Här listar vi den forskning som står som grund för vårt arbete. Delen kommer beröra kollisionrisker med cyklister och gående, motorljudets positiva egenskaper, alternativ till förbränningsmotorns ljud, samt ljudföroreningar och deras påverkan på människors hälsa.

1.5.1 Kollisionssannolikheter vid mötet av cyklister eller gående

I Hanna Refeaats (2009) arbete undersöks ett antal olika krock-faktorer för att avgöra den relativa olycksration mellan hybrid- och förbränningsfordon och gående/cyklister i olika kollisionsscenarier. Undersökningen omfattade 8387 hybrid- och elfordon, och 559703 förbränningsfordon. Respektive 77 och 3578 gående, och 48 och 1862 cyklister. I den scenariegrupp där fordon saktar ner eller stannar, backar eller parkerar upptäcktes den mest markanta skiljaktigheten mellan de olika motortyperna. Sannolikheten för att hybridmotorer är involverade i en kollision med gående och cyklister i dessa situationer är två gånger större i jämförelse med kollisionrisken för förbränningsmotorer. Denna gruppering gjordes under speciella förutsättningarna där incidenterna skedde vid hastigheter under 55 km/h, där skillnaden på de olika fordonens ljudstyrka också är som störst. Som vi nämnde tidigare finns det en tydlig korrelation mellan olyckor och el/hybridbilar.

1.5.2 Motorljudets auditiva information

Motorljudets auditiva information påverkar exempelvis förarens hastighetsbedömning, hur snabbt hen agerar i nödsituationer, manövreringsförmåga och uppmärksamhet. När vi kör tar vi också hjälp av den auditiva informationen för att bedöma motorns tillstånd, så som fordonets hastighet, motorns varvantal i förhållande till aktuell växel och när det är dags att växla upp eller ner (Heitbrink & Cable, 2007). Det är inte bara föraren som drar nytta av motorljuden, utan även människor som vistas i närheten av fordonet. Dagens bilar avger brus och andra okontrollerade ljud med ett brett frekvensspektra, vilket är en direkt följd av förbränningsmotorn. Människor som lever bland bilar har skapat kognitiva kopplingar till dessa ljud, och kan med hjälp av dessa

göra en uppsjö av olika bedömningar. Exempelvis hur långt bort ett fordon befinner sig och hur snabbt det färdas. När det karaktäristiska ljudet från motorn försvinner lämnar det ett tomrum för både föraren, som nu inte kan förlita sig på vibrationer och ljud från motorn, men också hos andra utanför bilkupén som inte längre hör när eller varifrån det kommer en bil i samma utsträckning som tidigare. Trafikanter och gående har vant sig vid förbränningsmotoreernas läte och ljudstyrka, till skillnad från de nyare, tystare el- och hybridmotorer. De flesta felbedömningar beror på en kombination av tysta fordon vid låga hastigheter och överröstning från förbränningsmotorer eller annat buller i statsmiljön. (Nyeste & Wogalter, 2008)

1.5.3 Statistik

I en enkät som utfördes av Wogalter, Oman, Lim och Chipley (2001) fick 380 deltagare, varav 148 kvinnor och 232 män, besvara frågor angående sin inställning till elfordon som inriktade sig speciellt på elfordonens tystnad. Trots att majoriteten (84 %) av deltagarna bekräftade att de övervägde att införskaffa en hybridbil, (72 % av deltagarna övervägde en fullt eldriven bil), framkom en utbredd oro över avsaknaden av ljud där 70 % av deltagarna trodde att elfordon utgör potentiell fara för gående i trafiken. Nästan en fjärdedel (73 %) angav att de använder fordonens ljud som beslutsfaktor för att avgöra om ett fordon närmar sig eller ej. Omkring hälften (48 %) av deltagarna bekräftar att ett tyst fordon skulle besvära dem som gående, men som förare var det endast en tredjedel (30 %) som samtyckte. Som förslag till lösning på problemet föreslog 68 % någon form av inbyggt motorljud för att göra eldrivna fordon säkrare för gående.

När deltagarna blev ombudda att ge rekommendationer på vilken typ av ljud som kan tänkas användas som artificiellt motorljud var ett traditionellt fossilmotorljud och ett "hummande" läte de som föredrogs mest (38,25 % var).

| <i>Sound</i> | <i>Frequency (f)</i> |
|--------------|----------------------|
| Engine | 109 |
| Hum | 109 |
| None | 31 |
| Music | 14 |
| Whistle | 8 |
| Beeps | 5 |
| Horn | 5 |
| Clicking | 2 |
| Exhaust | 2 |

Table 2. Response frequencies of most preferred and least preferred categories of sound (N=24).

| <i>Sound Category</i> | <i>Frequency (f) Most Preferred</i> | <i>Frequency (f) Least Preferred</i> |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Engine | 22 | 2 |
| White Noise | 9 | 3 |
| Hum | 8 | 3 |
| Whistle | 3 | 4 |
| Horn | 5 | 20 |
| Siren | 1 | 16 |

Note. These are the summed frequencies of specific sounds in their respective categories.

Bilden till höger kommer från en annan undersökning som Nyeste & Wogalter (2008) gjorde där de på liknande sätt undersökte vilka ljud som flest föredrog i trafiken. Resultaten från de olika artiklarna är liknande, och man kan se att motorljud, brummande och brus är vad deltagarna föredrog eller kände sig mest vana vid.

1.5.4 Ljudföroreningar

I större städer finns en stor hälsorisk i form av ljudföroreningar från trafik med för starka bullernivåer. När det kommer till att reducera ljudnivåer, positivt förändra ljudmiljöer och hur vi använder oss utav ljud som hjälpmedel i trafiken i framtiden, har elbilen stor potential. En kartläggning över ljudföroreningar i Europa som WHO (World Health Organization) tog fram, visar att närmare 90 miljoner människor lider av överskridande bullernivåer. De två mest förekommande symptom som uppstår är irritation och sömnsvårigheter, men även mer allvarliga effekter som påverkar hälsan negativt har påvisats, så som högt blodtryck, hjärtattack, stroke, diabetes och risk för att dö i förtid. Enligt WHO är ljudföroreningar det näst största miljö- och hälsoproblemet i Europa efter luftföroreningar. I större trafikerade stadsområden där den akustiska miljön är ohälsosam utgör bullret förstås också en ökad risk för befolkningen. I vissa stadsdelar sträcker sig ljudnivå upp till 20 dB starkare än vad som är accepterat. Studier har till och med visat fall där boende exponerats för ljudföroreningar med Lden (Level day-evening-night) över 55 dB utanför bostädernas fönster. Kihlman m.fl., (2014) menar att en hälsosam ljudmiljö för alla medborgare är inte realistiskt inom den närmaste framtiden, men på längre sikt är stora förbättringar möjliga.

1.6 Förhållningssätt

Under kommande kapitel tar vi upp de förhållningssätt som vi kommer ta hänsyn till för att bättre kunna anpassa våra billjud efter människans hörbarhetsförmågor.

1.6.1 Maskning

Nedan förklaras vad maskning av ljud innebär och vad det betyder för vår undersökning. Genom att förstå och förhålla oss till maskning av ljud låter det oss veta vad som kan låta samtidigt som något annat och vilka ljud vi bör undvika för att inte förstärka eller maskera oönskade ljud i vår ljudläggning.

Maskning är ett fenomen som uppkommer när flera ljud låter samtidigt, och beroende på deras ljudnivå och frekvens kan vissa ljud maskera, eller "maska", andra. En ton maskar bort toner under sig bättre än de som ligger ovanför referenstonen. Exempelvis om en ton på 4000Hz och en ton på 3500Hz låter samtidigt och lika starkt kommer det vara svårt att urskilja tonen på 3500Hz då de två tonerna ligger nära varandra i frekvensspektrat. Däremot om samma ton på 4000Hz låter samtidigt som en ton på exempelvis 1000Hz kommer det vara lättare att urskilja de båda tonerna då de har ett längre avstånd mellan varandra. Tonen på 4000Hz kommer fortfarande sänka eller maskera den andra tonen, men olika mycket beroende på ljudstyrka och frekvensavståndet. Människan uppfattning om vad som låter starkast är helt beroende av vad som låter och hur mycket. Trafikbuller har en frekvenssammansättning som ligger nära människotalet och utgör därför en större risk för maskering av tal. Det här innebär att de som vistas i bullriga miljöer reflexmässigt höjer sina röster för att höras. (Nilsson, Johansson, Brunskog, Sjökvist, Holmberg, 2005).

När det kommer till att ljudlägga en bil tar vi hänsyn till maskning då det betyder att ljud från däck och vindmotstånd maskar bort motorljudet när bilen är i rörelse om det ligger för nära varandra i frekvensspektrat. Det externa ljudet från däck mot asfalt som uppkommer när bilen är i rörelse är i regel som starkast mellan 700 till 1300 Hz. (Sandberg, 2003). Att urskilja ett dominerande frekvensspektrum från vindljud visar sig vara mer komplicerat än däckljud, men i en mätning som gjordes för att granska den externa ljudnivån från fyra olika fordon vid 100km/h

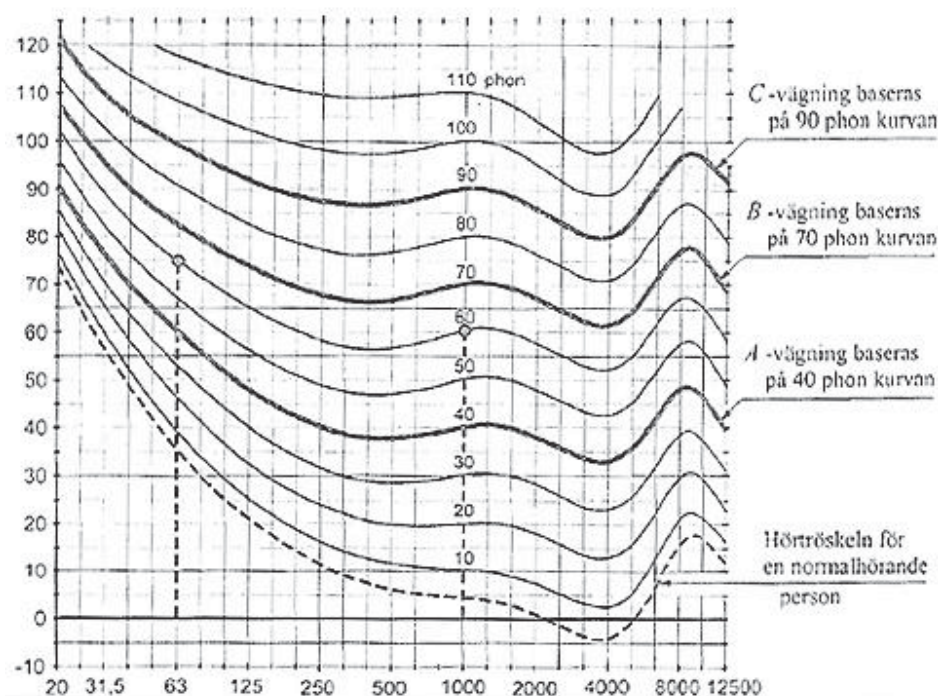
uppstod ett sammanlagt omfång mellan 194 Hz till 729 Hz (M. Nakamura, T. Komine, M. Tsuchiya, 1990). Vilket innebär att vi kommer vara angelägna om att inte förstärka det frekvensomfång som däck- och vindljud främst existerar inom när vi ljudlägger. Det här görs genom att sänka de frekvenser som ligger i samma frekvensspektra som de naturliga ljuden. När två olika ljud låter med samma frekvensegenskaper uppstår en förstärkning av just de frekvenser som låter samtidigt, till skillnad från maskning och det vi vill undvika.

1.6.2 Frekvensvägning

Här tar vi upp människans hörbarhetsförmåga. För att inte riskera att ljuden vi skapar har frekvenser som upplevs som för starka eller för svaga är de olika frekvensvägningarna ett bra förhållningssätt.

Människan hörbarhetskurva är icke-linjär. Det här innebär att om ett ljud låter lika starkt över hela vårt hörbara frekvensomfång (20 till 20000 Hertz), kommer vi inte uppfatta det som lika starkt. Genom evolutionen har människan utvecklat hörselgenskaper som låter oss höra vissa saker bättre än andra, till exempel tal, vars viktigaste frekvensgenskaper för att urskilja vad som sägs ligger ungefär mellan 100-8000Hz.. Hörselgången och öronmusslan resonerar och förstärker frekvenser runt 3000Hz, det är också där, mellan 3000-4000Hz, som vi hör bäst. Bilden nedan visar isophonkurvor. En isophonkurva har samma hörnivå, och den upplevda nivån är densamma medan ljudstyrkan (dB) varierar. Till exempel visar 60 phonkurvan en 63Hz ton med ljudstyrka

75dB men upplevs lika stark som 1000Hz i 60dB.



Isophonkurvor som visar den upplevda ljudnivån.

För att göra ett biljud som inte är störande och som maskerar talet måste frekvenser mellan 2000-4000Hz vara lägre i styrka i förhållande till låga och höga frekvenser. Samtidigt är det här som bilen hörs mest tydligt. Det vi är ute efter i vår undersökning och de förhållningssätt vi tagit upp, är att den upplevda ljudnivån inte är den samma som den faktiska ljudnivån, och om man kan sänka ljudnivån men ändå bibehålla den upplevda ljudstyrkan vore det optimalt, eftersom vi vill att elbilen ska höras och varna andra genom ljud, men samtidigt inte överrösta tal eller bli ytterligare ett störningsmoment i statsmiljöer som orsakar ljudföroreningar. Vi måste därför kompensera för frekvenser som hörs bäst och jämna ut skillnader för att på så sätt kunna få fram essensen av motorljudet och det som faktiskt är viktigt i ljudet för att gående och cyklister ska förstå att det är en motor som låter.

1.7 Avgränsning

Ljutföroreningar förekommer mer eller mindre runt hela världen. Mest kritiskt är trafikerade stadskärnor där ljudnivåerna är långt över vad som rekommenderas, och därför kommer vi rikta vår undersökning till just stadsmiljöer. Buller i städer kommer främst från trafik men vi är medvetna om att en liten del av den totala ljudnivån kan komma från exempelvis byggarbetsplatser eller vägar utanför stadskärnan så som motorvägar eller andra vägar med högt trafiktryck. Undersökningen kommer behandla platser där ljudnivån från trafiken dels måste hållas ner, så som parkeringar, tätområden och skolor, men också faran att inte höra bilar komma är avgörande. Vid hastigheter över 40 km/h börjar ljud från däck och vindmotstånd maskera motorn, och därför kommer vi fokusera undersökningen främst till hastigheter under 40 km/h då enligt Nyeste och Wogalter (2008) sker de flesta olyckor vid låga hastigheter. Fordon som lastbilar, traktorer eller andra motorredskap fyller en annan funktion än personbilar och är underrepresenterade i statsmiljöer, därför väljer vi också att utesluta dessa typer av fordon ur vår undersökning. Ämnet är till stor del subjektivt när det kommer till estetik och det finns lite forskning som kan hjälpa oss avgöra vad som är mer eller mindre estetiskt tilltalande när det kommer till val av ljud och hur dessa ljud ska låta.

2. Metod

Under kapitlet *Metod* kommer vi ta upp hur vi kom fram till de den processmetod som vi valde att jobba under och som står till grund för ljudläggningen. Metoddelen innefattar den gestaltning vi utfört, och beskriver vilka faktorer och resonemang som legat till grund för vår gestaltning.

2.1 Processbeskrivning

Vi skapade ett ljud för att efterlikna och optimera konventionella motorljud, och förhöll oss då till den forskning och undersökningar som tagits upp under föregående kapitel, så som maskning och frekvensvägning. Vi har också gestaltat vår bild av hur ett framtida motorljud skulle kunna låta. Det bygger på vår föreställning om vad en fortsatt utveckling av det artificiella billjudet skulle kunna utvecklas till. Här sattes estetik framför funktionalitet och har därmed inte förhållit

sig till forskning i samma utsträckning som det första, “efterliknande” ljudet, utan har främst gjorts för att ta tillfället i akt och uttrycka oss.

Förbränningsmotorn har med tiden etablerat sig och blivit en hög igenkänningsfaktor i trafiken. Det ville vi ta vara på och såg det som en tillgång. Problemet med motorljudet idag är att det är okontrollerat och bredfrekvent. Vi ville därför återskapa ljudet av en förbränningsmotor för att sedan försöka få kontroll över ljudet genom att ta bort och reglera störande och överflödiga frekvenser. Gestaltningsprocessen kan liknas vid iteration i den bemärkelse att vi upprepade olika moment tills vi uppnådde önskat resultat; det vill säga ett motorljud som känns som en naturlig övergång från förbränningsmotorn, och som samtidigt bibehåller dess essentiella egenskaper för att säkerställa igenkänningsfaktorn. Om vi upptäckte ojämnheter i exempelvis motorljudens nivå eller karaktär så backade vi tillbaka, justerade och provade på nytt. Vi formgav våra ljud efter ljudupptagningar som gjorts av en förbränningsmotor vid fyra olika varvantal. Dessa inspelningar kommer från en medföljande tutorial för programmet *FMOD Designer*. Vi använde FMODs motorljud som referensmaterial och skapade våra ljud i ljudprogrammen *Propellerhead Reason 8.2* och *Logic Pro 9.1*. Ljudfilerna som skapades implementerades sedan i *FMOD Designer*. Programmet “smälter samman” de olika filerna och möjliggör interaktion med dessa. De ljud som vi har skapat förhåller sig till de förhållningssätt vi har presenterat, men de designval vi gjorde är subjektiva och gjordes på känsla - vad som vi tycker låter bra och vad som känns rätt i trafiken utan att skapa störningsmoment.

2.1.1 Sambandet mellan rpm och Hertz

För att kunna efterlikna ljudet av en förbränningsmotor krävs också en grundläggande förståelse för vad det faktiskt är som låter från en bil. Det karaktäristiska ljudet hos en förbränningsmotor uppstår när kolvarna sätts i rörelse och komprimerar bränsleluftblandningen som i sin tur antänds av ett tändstift. Denna antändning bildar en mindre explosion som genererar ljud. Det har en stadig rytm som ökar och saktar ner i takt med motorns varvantal. Det är en så kallad vevaxel som driver kolvarna, och det är därför man talar om varv/rotationer per minut, eller rättare sagt beteckningen *rpm* (eng. revolutions per minute). För att kunna efterlikna den här cykeln och rytmen använder vi oss av en LFO (low frequency oscillator) som modifierar ljudet som vi skapar.

LFO:ns enhet är Hertz, och för att kunna återskapa de rpm-värden som anges i FMODs inspelningar behöver vi först omvandla enheten rpm till Hertz, då det är den enheten som används i Reason och Logic. Beräkningen görs för att identifiera varje inspelnings dominerande frekvens, och för att utvinna den konverteras enheten rpm med följande "formel": Då Hertz står för svängningar per sekund och rpm för rotationer per minut är $60 \text{ rpm} = 1 \text{ Hz}$. Sålunda kan exempelvis en motor som ligger på 1800 rpm istället kunna sägas ha enheten 30 Hz.

2.1.2 Tonhöjd

För att effektivisera ljuddesignen har vi ställt samman en slags tabell. Här har vi omvandlat de olika ljudfilernas rpm-värden till Hertz och skrivit ner de mest närliggande noterna för de olika rpm-värdena. De fyra olika inspelningarna från FMOD som vi har utgått ifrån spelades in i olika varvantal listat nedan. Rpm-värdet omvandlade vi till Hz och det är vad som blir grundtonen i våra motorljud.

$$1135\text{rpm} = 18,9\text{Hz} \approx \text{Eb}$$

$$3000\text{rpm} = 50\text{Hz} \approx \text{Ab}$$

$$4000\text{rpm} = 66,7\text{Hz} \approx \text{C}$$

$$6000\text{rpm} = 100\text{Hz} \approx \text{Ab}$$

Avrundningen är inkorrekt i den bemärkelsen att den gjorts efter musikaliskt gehör snarare än en matematiskt. Tonerna oktaverades upp (dvs. dubbling av frekvens), eftersom vissa toner varken blir hörbara eller tilltalande just på grund av den anledningen att de inte hörs.

Inspelningen vid 18,9 Hz är under vad som är hörbart för en människa, men motorljudet ger ifrån sig många övertoner över 18,9 Hz som är användbara och karaktäristiska. Det är grundtonen tillsammans med övertoner som utmärker motorljudet och gör att det faktiskt låter som en motor. Frekvensvärdet för grundtonerna ställs sedan in i synthesizerns LFO efter tabellen nedan, och övertonerna tas ut genom att vi lyssnar oss till de närliggande tonerna.

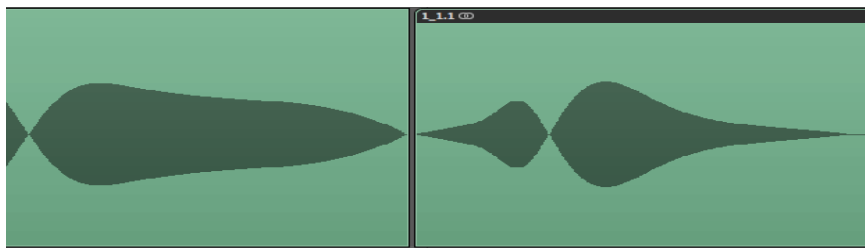
MIDI note to frequency conversion chart

| MIDI Note | Frequency | MIDI Note | Frequency | MIDI Note | Frequency |
|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Octave -1 | | Octave 0 | | Octave 1 | |
| C 0 | 8.1757989156 | 12 | 16.3515978313 | 24 | 32.7031956626 |
| Db 1 | 8.6619572180 | 13 | 17.3239144361 | 25 | 34.6478288721 |
| D 2 | 9.1770239974 | 14 | 18.3540479948 | 26 | 36.7080959897 |
| Eb 3 | 9.7227182413 | 15 | 19.4454364826 | 27 | 38.8908729653 |
| E 4 | 10.3008611535 | 16 | 20.6017223071 | 28 | 41.2034446141 |
| F 5 | 10.9133822323 | 17 | 21.8267644646 | 29 | 43.6535289291 |
| Gb 6 | 11.5623257097 | 18 | 23.1246514195 | 30 | 46.2493028390 |
| G 7 | 12.2498573744 | 19 | 24.4997147489 | 31 | 48.9994294977 |
| Ab 8 | 12.9782717994 | 20 | 25.9565435987 | 32 | 51.9130871975 |
| A 9 | 13.7500000000 | 21 | 27.5000000000 | 33 | 55.0000000000 |
| Bb 10 | 14.5676175474 | 22 | 29.1352350949 | 34 | 58.2704701898 |
| B 11 | 15.4338531643 | 23 | 30.8677063285 | 35 | 61.7354126570 |
| Octave 2 | | Octave 3 | | Octave 4 | |
| C 36 | 65.4063913251 | 48 | 130.8127826503 | 60 | 261.6255653006 |
| Db 37 | 69.2956577442 | 49 | 138.5913154884 | 61 | 277.1826309769 |
| D 38 | 73.4161919794 | 50 | 146.8323839587 | 62 | 293.6647679174 |
| Eb 39 | 77.7817459305 | 51 | 155.5634918610 | 63 | 311.1269837221 |
| E 40 | 82.4068892282 | 52 | 164.8137784564 | 64 | 329.6275569129 |
| F 41 | 87.3070578583 | 53 | 174.6141157165 | 65 | 349.2282314330 |
| Gb 42 | 92.4986056779 | 54 | 184.9972113558 | 66 | 369.9944227116 |
| G 43 | 97.9988589954 | 55 | 195.9977179909 | 67 | 391.9954359817 |
| Ab 44 | 103.8261743950 | 56 | 207.6523487900 | 68 | 415.3046975799 |
| A 45 | 110.0000000000 | 57 | 220.0000000000 | 69 | 440.0000000000 |
| Bb 46 | 116.5409403795 | 58 | 233.0818807590 | 70 | 466.1637615181 |
| B 47 | 123.4708253140 | 59 | 246.9416506281 | 71 | 493.8833012561 |

För att kunna sätta in de olika frekvenserna i våra ljudbehandlingsprogram behöver vi veta vilka toner de har. De ljudprogram vi använder i vår gestaltning använder sig av toner snarare än frekvensvärde för att kunna spela upp ljud.

2.1.3 Loopar

De loopar som kom med programmet FMOD och som legat till grund för vår gestaltning var redan klippta i en viss längd. För att få ett motorljud att låta konstant måste ljudfilen loopas. En loop uppstår när man inte hör början eller slutet på en ljudfil. Början och slutet av ljudfilen ska klippas ihop, och det är väsentligt att ljudvågen slutar på samma sätt som den börjar för att man inte ska höra att den börjar om. Om ljudvågen inte slutar på samma sätt som den börjar kommer det höras ett klippljud, eller "spikar", vilket resulterar i att loopeffekten försvinner och man hör varje gång ljudfilen börjar om.

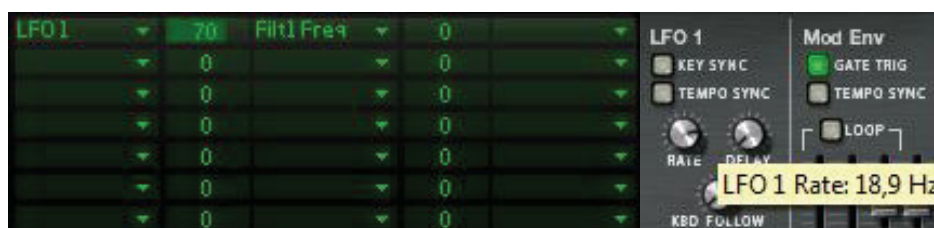


Bilden ovan visar samma ljudfil med ett mellanrum för att förtydliga var början och slutet är på filen. (Delen till vänster är slutet och delen till höger är början). Man kan se att i slutet på den första filen går ljudvågen ner i amplitud. Här valde vi att klippa då amplituden är 0, alltså att det inte hörs något från filen. Den andra ljudfilens början har också amplituden 0, och därför kommer man inte höra något klippljud då de tar över varandra.

2.2 Designmetod

Den metod vi valt att utgå ifrån kommer från egna beräkningar och översättningar från rpm till Hertz. Det var ett test vi gjorde med enkla vågformer för att testa vår teori om hur praktiskt det är att omvandla rpm till Hertz.

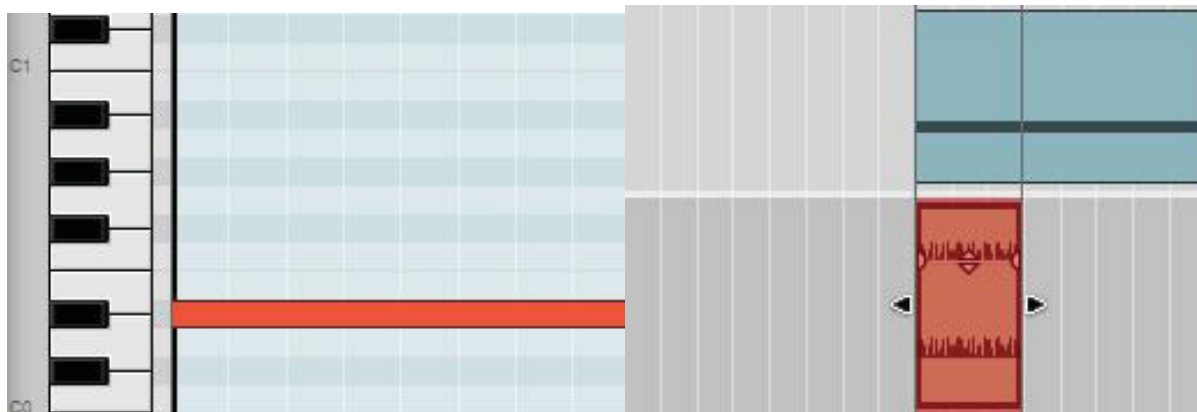
Först adresserade vi en LFO till ett filter. Vad filtret gör är att det beskär ljudsignalen vid angiven frekvens. LFO:n styr filtrets beskärningspunkt vilket framkallar en rytmisk, "svängande" effekt med relativt stor likhet med ljudet som uppstår när kolvarna jobbar i en motor.



En LFO som är inställd för att efterlikna tomgång vid 1135 rpm.

Vi placerade sedan ut midi-noter i Reason eller Logic. Vi utgick från FMODs inspelade loopar och översatte frekvenserna utifrån frekvensschemat (*MIDI note to frequency conversion chart*) som listades tidigare. Oscillatorn i synten behöver midi-noter för att kunna spela upp ljud, och de olika inspelningarna (FMOD) som vi jämförde med har olika tonhöjd som vi sedan försökte efterlikna. Detta gjordes för att det inte bara är motorns rytm som ökar i hastighet vid

acceleration, utan även dess tonhöjd. Vi upptäckte att det fanns ett starkt samband mellan tonhöjd och motorns rpm, därför ansåg vi att det lämpar sig väl att justera syntens tonhöjd därefter.



Bilden demonstrerar notens ton och oktav i Reason, och sedan hur denna spelas in för att klippas till loopar och exporteras till FMOD Designer. Samma procedur upprepades sedan för resterande rpm-värden.

Väl inuti FMOD placerades ljudfilerna efter guidens instruktioner. Nedan ses ett utdrag ur FMODs tutorial med anvisningar för ljudfilernas egenskaper:

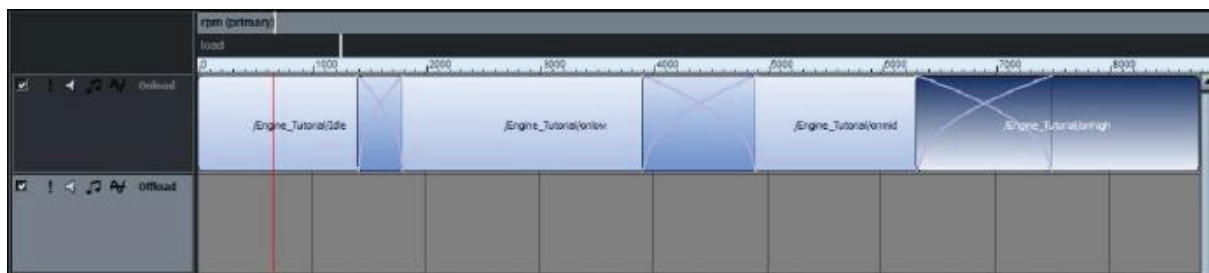
idle: Start 0 Length 1800 Autopitch reference: 1135

onlow: Start 1400 Length 3500 Autopitch reference: 3000

onmid: Start 3900 Length 3600 Autopitch reference: 4000

onhigh: Start 6300 Length 2500 Autopitch reference: 6000

Idle, onlow, onmid och onhigh är namnet för de olika ljudfilerna inuti FMOD Designer. Start och length talar om var någonstans längs axeln i FMOD som filerna ska placeras, och hur långa de ska vara. Axeln går inte efter sekunder eller minuter som vanliga ljudprogram, utan har inte någon början eller slut i samma bemärkelse. Enheten som FMOD följer i det här fallet är istället rpm. Autopitch reference är ett värde som anges hos varje fil för att motorns tonhöjd ska ändras jämnt mellan de olika klippen. Slutligen läggs en volymkurva till vid varje start och slut för att jämna ut övergångarna mellan looparna.



Fyra olika ljudfiler som loopas där den röda markören står i programmet FMOD Designer.

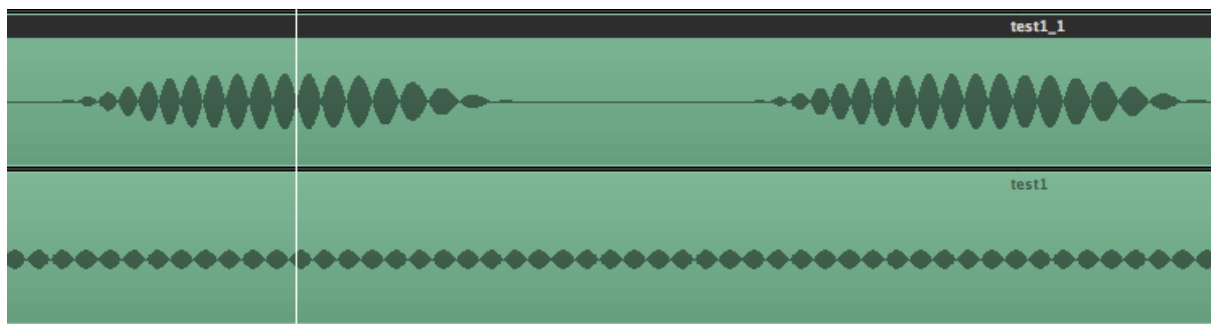
3. Resultat och diskussion

Under det här avsnittet kommer vi utvärdera resultatet av gestaltningen och dess metod, diskutera problematiken kring marknaden för elbilar, hur man med hjälp av ljuddesign kan förbättra elbilens framtid och skapa en säkrare levnadsmiljö för befolkning i städer.

3.1 Gestaltning - En riktig motor

Vi använde oss utav de färdiga looparna som kom med FMODs tutorial som referens när vi gjorde billjuden. Looparna består av 4 delar: första delen är tomgång (idle), andra kallar FMOD för low, tredje mid och fjärde high. De olika delarna har olika tonhöjd, med olika rpm och intensitet.

Alla delar har en distinkt grundton och med hjälp av gehör tog vi ut grundtonen ur alla delar och de närliggande övertonerna som nästan skapade harmoniska ackord. För att få rätt driv och djup i ljuden använde vi oss av olika typer av effekter för att forma ljudet efter behag. Genom att till exempel använda oss utav olika rumsklanger och distar lyfte vi fram övertonerna och gjorde dem mer tydliga. Övertonerna kan ses som det som ger ljud en viss karaktär. Om det bara är en frekvens som låter uppstår endast ett pip, vilket skiljer sig ganska markant från ljudet av en fossilmotor. Någoting som vi noterade var att FMODs ljudinspelningar har olika toner som genereras av rpm antalet. I en synt måste man ha en ton för att i efterhand sätta den i "vibration" eller gungning med en LFO för att det ska likna en motor. Vi upptäckte att det innebär problem då frekvensen på tonen inte alltid överensstämmer med frekvensen från LFO:n, det vill säga gungningen. Det kan innebära att ljudet krockar med antalet svängningar i LFO och det kan uppstå oönskade artefakter.



Bilden ovan kan man se den undre ljudvågen är en ren sinusvåg. Den övre är samma ton med samma frekvensantal (155Hz) men med en LFO kopplat till ett filter som svänger med 11,5Hz. Det är en kombination mellan frekvensantalet i LFO:n och tonen i sig som får synten att låta och bete sig som en motor.

Alla ljud kommer från flera olika oscillatorer i olika mjukvarusyntar och är alltså helt digitala. En stor del av ljuden som en förbränningsmotor avger består av brus, även i FMODs loopar förekommer det en hel del brus. Vi lade därför till brus och kopplade även det till LFO:n för att försätta det i samma rörelse som de övriga ljuden. Det positiva med brus är att det har stor räckvidd när det kommer till att höra en bil på avstånd eller när en bil inte finns direkt inom synfältet. De negativa är att brus har ett brett frekvensspektrum och alla frekvenser låter lika starkt vilket bidrar med stor ljudförorening. Efter att ha upptäckt hur bra vitt brus bidrar till återskapandet av fossilmotorn hittar vi också en intressant koppling till undersökningen av Nyeste och Wogalter (2008) där vitt brus (white noise) tillsammans med “hum” var de två förslag efter motorljud som deltagarna föredrog mest. Kopplingen talar dels för att hum, eller i vårt fall toner, tillsammans med brus är ett steg i rätt riktning då de delvis föredras, men även, vilket vi upptäckte genom vår gestaltning, faktiskt bildar en trovärdig grund för ett artificiellt motorljud. Kanske är det de här två typerna av ljud som människor uppfattar som det konventionella motorljudets essens.

3.1.1 Sammanfattning

Den metod vi valde att utgå ifrån säger ingenting om de mer estetiskt lagda val som gjordes under gestaltningen, utan talar bara om svängningar och simulerad motorvibration, vilken tonhöjd de olika rpm-värdena ska ha för att likna en riktig motor. Det vi märkte var att det exakta

frekvensvärdet som vi tilldelade LFO:n inte alltid stämde överens med tonhöjden. LFO:n ger motorn den svängande eller vibrerande effekten men efter att vi lagt på distar och andra effekter för att göra ljudet lika en riktig motor, märkte vi att det egentligen var tonhöjden och ljuden i sig som gör att man uppfattar det som en motor. Svängningarna och vibrationerna använde vi som konstnärlig krydda för att ge motorn extra kraft och vi följde inte rpm hänvisningarna exakt utan det var något vi utgick ifrån.

3.2 Kognitiva faktorn

För att summera den insikt vi fått genom tidigare forskning pekar mycket mot att problematiken uppstår på grund av elbilarnas tystnad (*alt.* avsaknaden av auditiv information). En annan aspekt är övergångsfasen från ett samhälle där majoriteten av bilar är förbränningsmotorer till ett samhälle där majoriteten av antalet bilar förhoppningsvis är elbilar. Vi säger förhoppningsvis då vi anser att elbilen är ett mycket bättre alternativ till förbränningsmotorn. Denna övergångsfas mellan förbränningsmotor till elmotor kan ta lång tid, men vi anser att det är i den här eventuella övergångsfasen vår undersökning är som mest relevant. Övergångsfasen går parallellt med människans förmåga att bilda vanemönster och kognitiva kopplingar. Människor har som många andra varelser en förmåga att skapa associationer. I det här fallet, med hjälp av ljudet, kunna bedöma att en bil befinner sig i närheten innan den faktiskt är synbar. Det här anknyter till människans förmåga att bilda vanemönster. Att uppfattningen om hur en bil låter kan tänkas vara svår att ändra på kort tid. Det medför förmodligen problematik om en allt för radikal förändring av motorljudet som vi känner det sker. Därför ligger inte problemet endast hos elbilen, utan även i vårt vanemönster och kognitiva kopplingar. Vi förlitar oss på motorljudet i så pass stor utsträckning att vi försätter oss själva i fara när vi exempelvis korsar en väg. Vi behöver inte se oss omkring efter bilar eftersom vi vet att ett fordon hörs om det är på väg. Detta invanda beteende har uppstått på grund av fossilbilars väl hörbara motorer. Allt eftersom elbilen får en större plats i samhället kommer också vanemönstret ändras och vi kommer kanske bli mer vaksamma. Vi spekulerar att människor kommer bli mer vaksamma men också att elbilen kommer höras bättre då det blir färre förbränningsmotorer som maskerar elbilens ljud, artificiellt eller inte.

3.3 Förslag på utförande av aktiv ljudläggning

När vi utgår ifrån hur det ser ut idag, kan vi konstatera att elbilar och hybridbilar orsakar skada i trafiken på grund av avsaknaden av ljud. Vi ser att det finns olika lösningar till detta problem. Skador som uppkommer sker i låga hastigheter, mellan 0-50km/h, och att ljudet från elbilens motor överröstas av vind och däckljud vid högre hastigheter. Om alla elbilar var utrustade med artificiellt ljud, som liknar det konventionella motorljudet, och med högtalare som spelar upp ljud utåt, skulle ljudnivån i städerna inte nödvändigtvis minska. Men om bilen kunde lyssna av sin omgivning med hjälp av mikrofoner och på så sätt vara mer dynamisk kan ljudnivån minska eller ökas beroende på situationen. Bilen anpassar sig styrke- och frekvensmässigt när det till exempel finns närliggande fordon som avger starka ljud, vid rödljus eller andra tät trafikerade vägar. Situationer där ljudet inte behöver varna gående kan det stängas av eller sänkas för att bidra med minskad ljudförorening. Ett sådant "smart" system skulle kunna sänkas i frekvensbanden, lyssna av sin omgivning och sänka de frekvenser där det blir för starkt. Skillnaden mellan enskilda bilar skulle nog inte märkas men för den totala ljudnivån i städer skulle det göra en stor skillnad om vi utgår ifrån att alla elbilar har detta system som kan lyssna av sin omgivning.

3.4 En normativ aspekt

När vi diskuterar kring ämnet uppfattar vi oss själva som normativa; som att utvecklingen bör, eller måste gå i en speciell riktning. Fordon som drivs av fossila bränslen är bevisligen inte särskilt hållbart, utan människan måste tänka om för att kunna bevara det ekologiska tillstånd som främjar vår egen överlevnad. Då ljud och luftföroreningar från fordon är en bidragande faktor till den ökade mängden buller och koldioxid i atmosfären är det därför högst relevant att belysa miljövänligare alternativ. Bilindustrin har idag många olika målgrupper, ett brett sortiment med olika typer av bilar i olika klasser från olika tillverkare. I jämförelse finns det dock långt ifrån lika många olika typer av el- och hybridbilar som det finns fossilbilar vilket vi tror dels beror på utbud och efterfråga med också när elbilen marknadsförs görs det oftast ur miljösynpunkt. Det kan tänkas vara en bra strategi att marknadsföra ur miljösynpunkt men vi tror att det kommer med vissa bakslag. Elbilen är bättre för miljön och främjar minskandet av både luft och ljudföroreningar men det kanske inte är vad människor är ute efter när de ska köpa en ny bil. Vi kan spekulera kring varför elbilen inte har fått den genomslagskraften den förtjänar och

det är spekulationer baserat på våra egna erfarenheter och känslor: Elbilen presenteras just bara som en elbil och vi tror att det gör många osäkra då elbilen idag inte förknippas med “power”, “lyx”, sport, exklusivitet. Det vi och kanske många andra känner när man hör om en elbil är att de är små, fula, trötta och tråkiga. Det ska kännas bra, låta bra, ratten måste ha rätt material och gaspedalen får inte ha för högt motstånd... Vi tror att många som köper bil inte tänker att bilen enbart ska fungera som ett säkert och stabilt transportmedel, utan även som en slags identitets- och/eller statussymbol. Bilen kan berätta eller spegla vem du är, vad du vill förmedla med din personlighet eller kanske bara vara skrytsam. En stor fyrhjulsdriven bil med en V8 motor är något överdådigt att köra runt med i statsmiljö, inte nog med att den tar mycket plats, den slukar också bränsle och låter för starkt anser vi. Inget som egentligen är positiva egenskaper hos en bil sett ur miljöperspektiv. Vi känner inte att elbilen har fått den “exklusiva” stämpeln just för att den marknadsförs som tyst, billig i drift och miljövänlig. Vi tror att en annan infallsvinkel på marknadsföring av elbilen ska till för att förbättra dess genomslagskraft och för att fler ska få upp ögonen för den. Även om det inte är elbilens motorljud som bidrar till att människor ska vilja välja elbilar framför fossilbilar, så är det fortfarande viktigt att få fordonen att framstå i så god dager som möjligt ur alla aspekter. För somliga kan kanske en väl utförd och innovativ ljudläggning till och med göra fordonet mer attraktivt.

3.5 Spekulationer kring elbilens framtid

I den här undersökningen har vi riktat in oss på nutiden och den trafik vi ser idag. Majoriteten av dagens fordon drivs med fossila bränslen och ganska få bilar är hybrider eller helt eldrivna. Vi har tidigare nämnt att samtiden kan ses som en övergångsfas. En övergångsfas där fossilfordon långsamt fasas ut och sakteligen ersätts av den tysta elmotorn. Komplikationer fotgängare och cyklister utsätts för på grund av avsaknad av auditiv information kommer kanske sedermera upphöra i takt med att trafikens generella ljudnivå sänks och då kan de “ljudlösa” elbilarna höras tydligare men subtila, externa ljud kan ändå behövas för att reducera kollisionriskerna som råder.

De ständigt stigande priserna på bensin och diesel kan, och kommer förmodligen inom tid att främja förbränningsmotorernas utfasning. Detta fenomen tillsammans med en konstant, teknisk optimering som i sig bidrar till reducerat pris för mer avancerad hårdvara, tror vi kommer vara

två fundamentala faktorer för elbilens etablering. Det finns förstås också rådande trösklar i form av höga elpriser och hög värdeminskning hos el- och hybridbilar, men kanske rör det sig bara om en tidsfråga innan en positiv förändring sker.

3.6 Reflektion kring resultatet

Genom att imitera billjuden från FMODs tutorial fick vi förståelse för vad det är som gör att en bil låter som en bil, och eftersom vi gjorde ljuden själva hade vi också full kontroll på alla parametrar och frekvenser hos de olika ljuden. Det betyder att vi kan sänka eller höja de önskade/oönskade frekvenser, anpassa de ljud som krockar med däck- och vindljud eller som inte bidrar till förbränningsmotorns igenkänningsfaktorer. Under gestaltningsprocessen insåg vi att det som främst skapar fossilmotorns karaktär är dess kolvar när och bränslet antänds. Den efterliknelse av motorljuden som vi tog fram anser vi vara godtrogen. Det intressant är att vi har tagit fram ett motorljud som liknar en riktig motor, och som därmed bibehåller igenkänningsfaktorn, men att vi samtidigt har kontroll över alla frekvenser och ljudens dynamik. Det innebär att vi kan optimera ljuden efter de förhållningsätt, så som maskning och frekvensvägning. Ljudet från en bil kommer inte bara från motorn. Då motorn sitter fastmonterad i bilen skapar den en akustisk medsvängning som resonerar genom hela bilen och det genererar ljud. Det skulle innebära att högtalare som sitter monterade bakom bilens grill och som spelar upp de artificiella motorljuden inte skapar samma vibrationer som en förbränningsmotor skulle göra och därmed generera mindre ljud då bilen inte resonerar på samma sätt. Det är då enbart högtalaren som står för motorljudet.

Vi tror att en sådan typ av installation ligger rätt i tiden. Biltillverkare börjar utrusta sina fordon med kameror som känner igen gående och andra trafikanter. Ett annat exempel på ny teknologi är Audis LED-strålkastare "Matrix" som bl. a. känner av sin omgivning och undviker att blända mötande trafik. Ett formbart motorljud som förhåller sig till sin omgivning tillsammans med kameror, billyktor mm., bidrar till att bilen blir mer "medveten" eller "smartare", och därmed säkrare för både föraren och andra trafikanter. Inte bara säkrare för de trafikanter som är i närheten av bilen, utan också för alla som vistas i statsmiljöer som utsätts för ljudföroreningar. Kanske är "smartbil" i samma bemärkelse som smartphones, ett begrepp att förvänta sig i framtiden?

3.7 Arbetets övriga faktorer

Även om det inte har varit vårt mål att få motorljuden att fungera i praktiken känns det ändå som en väsentlig del att ta upp då problematiken kring elbilar kvarstår. För att få en förståelse för hur effektivt våra motorljud egentligen fungerar eller uppfyller de krav som ställs på en eldriven bil skulle vi vilja testa det konstgjorda motorljudet i trafiken, och på så vis kunna förbättra vårt resultat. De motorljud som vi gjorde har anknytning till tidigare forskning och förhållningsätt men saknar praktiskt testande. Om vi jämför våra motorljud med FMODs motorljud kan vi dock se positiva egenskaper baserat på undersökningen där intensiteten på de artificiella motorljuden upplevs som både mindre aggressiva men också mjukare och mer kontrollerade.

Arbetet behandlar inte heller som tidigare nämns i avgränsningen, tung trafik. Lastbilar trafikerar vägar som exempelvis motorvägar eller motorleder vilket leder till stor ljudförorening. Samtidigt är det sällan en stor befolkning som bor skadligt nära motorvägar för att det skulle vara relevant i vår undersökning gällande ljudföroreningar. Ljud från motorvägar kan dock sträcka ut sig flera kilometer, in i stadskärnor och bidra med ökad ljudförorening inne i städer. Det överröstras givetvis av annat buller från trafik men det är en viktig faktor att ta upp när ljudföroreningar undersöks.

3.8 Slutord

Det har varit givande att ha fått gräva djupare inom ljuddesign genom att undersöka förhållandet mellan en förbränningsmotor och en mjukvarusynth, då det är en ny infallsvinkel för oss båda. De ljud vi lyckades göra med en digital synt har hög likhet med en riktig förbränningsmotor, och att med enbart digitala verktyg kunna efterlikna rörelse och intensitet, men också formge ljud efter behag, känns bekräftande. Att spekulera i hur stor skillnad en eldriven trafik gör för miljö och människors hälsa är intressant, men det känns samtidigt svårt att skapa en klar bild då ämnet är väldigt omfattande, och en del av ett globalt nätverk med hög komplexitet. Vi tror att ljuddesigners inom bilindustrin kommer få en allt större roll allt eftersom elbilsmarknaden ökar, men även att de företag som jobbar med att ta fram nya förbränningsmotorer kommer bli mer medvetna om kraften ljud har. Både estetiskt, men också ur ett miljöperspektiv.

Källhänvisning

Heitbrink, D. A., Cable, S. (2007). *Design of a Driving Simulation Sound Engine*. Från

[https://www.nads-sc.uiowa.edu/bio_pub_pdf/Heitbrink_&_Cable_ -](https://www.nads-sc.uiowa.edu/bio_pub_pdf/Heitbrink_&_Cable_-_Design_of_a_driving_simulation_sound_engine.pdf)

[_Design_of_a_driving_simulation_sound_engine.pdf](https://www.nads-sc.uiowa.edu/bio_pub_pdf/Heitbrink_&_Cable_-_Design_of_a_driving_simulation_sound_engine.pdf)

Kihlman, T., Wolfgang, K., William L. (2014). *Quieter Cities of the Future: Lessening the Severe Health Effects of Traffic Noise in Cities by Emission Reductions*. Virginia Usa:

CAETS Noise Control Technology Committee and the International Institute of Noise

Control Engineering. <http://www.ta.chalmers.se/downloads/open/intro/QuieterCities.pdf>

Nakamura, M., Komine, T., Tsuchiya, M., Hald, J., (1993). *Measurement of Aerodynamic Noise using STSF*. Brüel & Kjær Application Note. BO 0392-11

Nilsson, E., Johansson A-C., Brunskog J., Sjökvist L-G., Holmberg D. (2005). *Grundläggande akustik*. Doktorsavhandling, Lunds tekniska högskola, Teknisk akustik.

<http://media.acuwood.com/SE-LTH-grundlaggande-akustik.pdf>

Nyeste, P., Wogalter, M. S. (2008). *On Adding Sound to Quiet Vehicles. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(21), 1747-1750. doi:

10.1177/154193120805202112

Refaat, H. (2009). *Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles*. Washington DC: National Center for Statistics and Analysis, National Highway Traffic

Safety Administration. Från: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811204.PDF>

Sandberg, U. (2003). *The multi-coincidence peak around 1000 Hz in tyre/road noise spectra*. Euronoise Naples 2003, paper ID: 498,1–8. Från:

http://www.informex.info/Multi-coincidence_peak_-_EuroNoise_ppr.pdf

Thomas L. R. Smith, Ph. D. (2010) *The Hybrid Vehicle and Alternative Fuel Report*,

Washington: Washington State Department of Transportation. ISSN 1946-1011

Wogalter, M. S., Ornan, R. N., Lim, R. W., Chipley, M. R. (2001). *On the risk of quiet vehicles to pedestrians and drivers. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 45(23), 1685-1688. doi: 10.1177/154193120104502326