

DOSS – Design of Switch sound

Publik rapport



Författare: Anneli Rosell, Dag Glebe, Henrik Hellgren, Penny Bergman och Mohsen Bayani

Datum: 2020-01-28

Projekt inom Elektronik, mjukvara och kommunikation

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	6
7 Spridning och publicering	9
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	9
7.2 Publikationer.....	10
8 Slutsatser och fortsatt forskning	10
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	11

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Alla komponenter i en bil medverkar till helhetsupplevelsen av bilen. Detta projekt har fokuserat på ljudupplevelsen vid en knapptryckning eller hantering av andra reglage, exempelvis spakar. Utgångspunkten har varit att om kvalitetsintrycket av sådana ljudupplevelser kan predikteras utifrån en modell baserat objektiva ljudegenskaper så kan knappar och knappljud designas för att bidra till en bättre användarupplevelse (UX). Syftet är att på detta sätt kunna utveckla mer attraktiva gränssnitt, och därigenom öka konkurrenskraften på den internationella marknaden.

I detta projekt har en prediktionsmodell för preferens tagit fram, vilken innehåller en uppsättning objektiva parametrar som direkt går att mäta på knappljud. Från dessa har en kravrymd extraherats, vilken fungerar som en specifikation mot underleverantörer. Framförallt har modellen möjliggjort både börvärden och kravnivåer för de enskilda parametrarna, vilket förväntas halvera utvecklingstiden för nya knappkomponenter genom en tydligare kravställning mellan fordonstillverkare och underleverantörer. Detta möjliggör att en underleverantör systematiskt kan arbeta med utveckling och på egen hand utvärdera om nya prototyper ligger närmare eller längre ifrån måldesignen utan att en separat utvärdering behöver göras av beställaren.

För att modellera UX utifrån tekniskt mätbara parametrar gjordes först en metodisk kartläggning genom att spela in knappljudet från ett flertal olika bilmärken och -modeller. Dessa ljudexempel utvärderades av lyssningspaneler som dels beskrev den upplevda karaktären hos ljuden dels rangordnade kvalitetsintrycken. Eftersom knappljud är av transient- eller impulstyp så passar många av de vanliga psyko-akustiska parametrarna dåligt för att beskriva dessa ljudegenskaper. Här identifierades fyra tekniska aspekter/parametrar från ljudinspelningarna som bäst korrelerade med kvalitetsrankingen (positivt eller negativt):

- Onset (stigtid)
- Decay (avklingning/efterklang)
- 1/3-octave band ratio @ 80 Hz & 500 Hz (avklingning/efterklang)
- Sharpness ("gällhet/vasshet")

De två ljud som hamnade på respektive ytterkant i rankingen av kvalitetsintryck modifierades med avseende på dessa parametrar (nya ljud syntetiserades/auraliserades) med avsikt att förflytta deras respektive läge på rankingskalan. I ett påföljande lyssningstestet utvärderades på detta sätt en uppsättning syntetiserade knappljud inklusive de två originalljuden. Resultatet blev det förväntade då de nya syntetiserade ljuden bytt positioner relativt varandra på rankingskalan, och även det mest uppskattade originalljudet hamnade efter två av de syntetiserade ljuden som byggde på det minst uppskattade originalljudet.

Resultatet från det andra lyssningstestet spände väl upp parameterrymden vilket möjliggjorde att en regressionsmodell kunde tas fram, i vilket en linjärkombination av de undersökta parametrarna predikterade rankingen med den höga korrelationen $r = 0.95$. Modellen validerades även mot resultatet från det första lyssningstestet, där korrelationen var $r = 0.85$, vilket gör att modellen fungerade mycket bra även för att prediktera preferensen av den första uppsättningen knappar, av vilka endast två hade ingått i den undersökning i vilket modellen togs fram.

Detta projekt är en del av doktorandprojektet "Prediktering av gnissel och gnek för robust produkt och produktion" som delvis har fokuserat på hur objektiva tekniskt mätbara mått kan användas för att prediktera skrammel- och gnisselljud.

2 Executive summary in English

When a user presses a key or a push-button on a switch, it is important that the sound and other sensory parameters provide feedback that the key was pressed. But to create the right user experience (UX), it is also important that the sound matches the car's identity. A premium car should sound, feel and look "premium" in all interactions. However, today it is a tedious process to design a key with a desired sound since there is no clear requirement specification resulting in a large number of iterations in which prototypes have to go back and forth between the switch supplier and the car manufacturer.

In this project, a number of research questions were posed, which would lead to a prediction model of key click sound preference based on objective parameters, including: "How should a keystroke sound be recorded to match the user's experience?", "What acoustic parameters can explain the user experience of a key click?", "Are there general preferences for certain keystrokes?" and "Can the acoustic parameters be compiled in a set of requirements and thus make the production of new push-button sounds more efficient?". To answer those questions, a number of key sounds were recorded, evaluated in listening tests, and analysed.

The goal of the project was to create an objective model from which a requirement set of technically measurable parameters can be obtained, enabling faster and more accurate key switch sound design processes among sub-suppliers. The ultimate goal is to increase the UX and the perceived quality, in order to achieve more competitive products on the international market.

In order to take forward such a model, this project has evaluated key switches from various car models and car makes. The key click sounds were recorded and used in a basic listening test to evaluate their perceptual characteristics and how they were ranked with respect to the listeners' preferences. From the sound files, also a number of acoustic key parameters were identified and correlated with the ranking. The four parameters with best (positive or negative) correlation match to the preference ranking were selected, namely: Onset time (s), Decay time (s), Ratio of 1/3-octave bands @ 80 Hz & 500 Hz (dB), and Sharpness (acumen). These parameters were modified to create a new set of test sound were synthesized based on the "best" and "worst" sounds of the first test. The aim was to change the preference order with the new modified test sounds. A second listening test was performed on these files, resulting in the anticipated change of preferences (in relation to the original files, which were included in the test round). Based on the test results a prediction model was obtained, in the form of a regression model with a linear combination of the selected parameters. The model was validated against the original set of key switch sounds with good correlation. Based on the model, a well-defined set of requirements on key click sounds could be suggested.

3 Bakgrund

När en användare trycker ner en knapp är det viktigt att ljudet och övriga sensoriska parametrar ger feedback på att knappen trycktes ner. Men för att skapa rätt användarupplevelse (UX) är det också viktigt att ljudet överensstämmer med bilens identitet. En premiumbil ska låta, kännas och se "premium" ut vid alla interaktioner. För att skapa nya knapptryckningsljud idag utgår fordonstillverkarna ofta från en exempelknapp och ett fåtal beskrivningsord för hur knappen ska låta. Detta skapar ofta problem vid kommunikationen mellan biltillverkande företag och underleverantör. Det blir en iterativ process där beskrivningsorden är för knappa för att säkerställa en gradvis förbättring av ljudet. Vid framtagning av en ny knapp kan den iterativa loopen gå upp till 30 varv innan rätt ljud har hittats. För att optimera processen krävs en objektiv mätmetod för att kunna skriva en tydlig kravställning där användarens upplevelse är korrelerad med tekniskt mätbara mått.

För att kunna ta fram en objektiv mätmetod där upplevelse korreleras med tekniskt mätbara mått krävs inspelning av ett större antal knapptryckningsljud. Inspelningen behöver ske på ett sådant sätt att det motsvarar lyssnarens egen användning och avstånd från örat. Dessa inspelningar behöver sedan testas i två typer av lyssningsförsök. Först behövs det avgöras vilka parametrar som är framträdande vid en knapptryckning, vilka förändringar noterar en lyssnare? I nästa steg behöver det avgöras vilka av de framträdande parametrarna som inverkar på upplevelsen.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

I projektet kommer följande forskningsfrågor utredas:

Hur ska ett knapptryckningsljud spelas in för att motsvara upplevelsen hos användaren?

Vilka emotionella och perceptuella responser kan ges av ljudet av en knapptryckning?

Finns det generella preferenser för vissa knapptryckningsljud?

Vilka akustiska parametrar kan förklara användarupplevelsen av en knapptryckning?

Kan de akustiska parametrarna sammanställas i en kravställning och på så sätt effektivisera framtagning av nya knapptryckningsljud?

Området User Experience (UX) / Human Machine Interface (HMI) är ett område som har varit i fokus under många år och, på grund av sin komplexitet, utforskats i många delvis parallella områden. En svårighet med att prediktera ljudupplevelser är att det är mycket kontextberoende, både perceptuella och tekniskt mätbara mått kan skilja sig mycket mellan olika ljudkällor och beroende på ljudets karaktär. För att skapa en koherent UX/HMI så måste alla de olika ingående komponenterna designas i linje med detta. I takt med att bilen blir tystare så blir även tystare ljud av intresse, detta inkluderar bland annat knappar och andra reglage.

Mycket av den forskning som skett inom ljudupplevelse har skett inom företag och relativt lite finns publicerat. Baserat på de kommersiella sensoriska analyser som görs har fokus till stor del varit preferensskattningar av redan framtagna material vilket inte möjliggjort kravställningar vid produktion och design av framtida ljud. Av den publicerade forskningen behandlar en stor del av materialet till stor del om att analysera specifika ljud, såsom vid stängning av bildörr, och i synnerhet preferenser kopplat till dessa, exempelvis Parizet et al. (2008). Två forskningsinriktningar kan urskiljas: Dels så görs det numera allmänna utvärderingar av till exempel hur olika ljudkällor i fordon upplevs, där riktlinjer för hur subjektiva ljudkvaliteter kan bedömas med hjälp av paneler tagits fram (Otto et al., 2001). Det finns också ett ökat intresse för att lokalisera och definiera aspekter av ljud, haptik och andra sinnesupplevelser som bidrar till en känsla av kvalitet eller till en lyxig känsla (exempelvis Wellings et al., 2008 och Bahn et al., 2009).

Få studier har dock direkt fokuserat på knappar och reglage och den forskningen som finns håller tyvärr låg kvalitet. En studie som gjorts av Gaspar et al (2016) visade på relationen mellan psykoakustiska mått och mätbara akustiska parametrar vid till exempel utvecklingsprojekt. En neural nätverksmodell av subjektiv preferensranking av olika knappar kopplat till uppmätta fysikaliska parametrar gav bäst resultat. Upplevelseaspekten togs dock inte med i modellen, vilket tillsammans med ett val av okonventionella akustiska parametrar och den icke-transparenta neurala nätverksmodellen gör att det är svårt att dra några slutsatser som går att applicera på något annat urval än det undersökta materialet. Med utgångspunkt i upplevelse, multisensorik och perception undersökte Wellings et al. (2008) hur man kan karakterisera den haptiska upplevelsen av reglage i premiumbilar. I denna och liknande studier är slutresultatet en psykofysisk modell som är av intresse, men som behöver vidareutvecklas genom en omfattande mappning för att ta fram en kravställning som är användbar för utvecklare och underleverantörer.

Det finns idag inga publicerade metoder att göra en sådan mappning, vilket är ett av de viktigaste incitamenten att genomföra det föreslagna projektet.

Ett tidigare genomfört internt projekt på Volvo har utrett hur den haptiska upplevelsen av knapptryckningar ska definieras. Användarupplevelsen för knapptryckningar har därmed redan nått halvvägs, men den akustiska aspekten har framkommit som mycket viktig för att få en god premiumupplevelse.

5 Mål

Med generellt tystare bilar blir komponentljudens kvalitet och karaktär en viktigare del av identiteten och konkurrenskraften hos ett fordon. Föreslaget projekt kommer att effektivisera möjligheterna till att skapa nya knapptryckningsljud, det innebär en ökad innovationskapacitet som säkrar konkurrenskraften. Vidare kommer det att främja samverkan mellan underleverantör och fordonstillverkare med en tydligare kommunikationsmöjlighet.

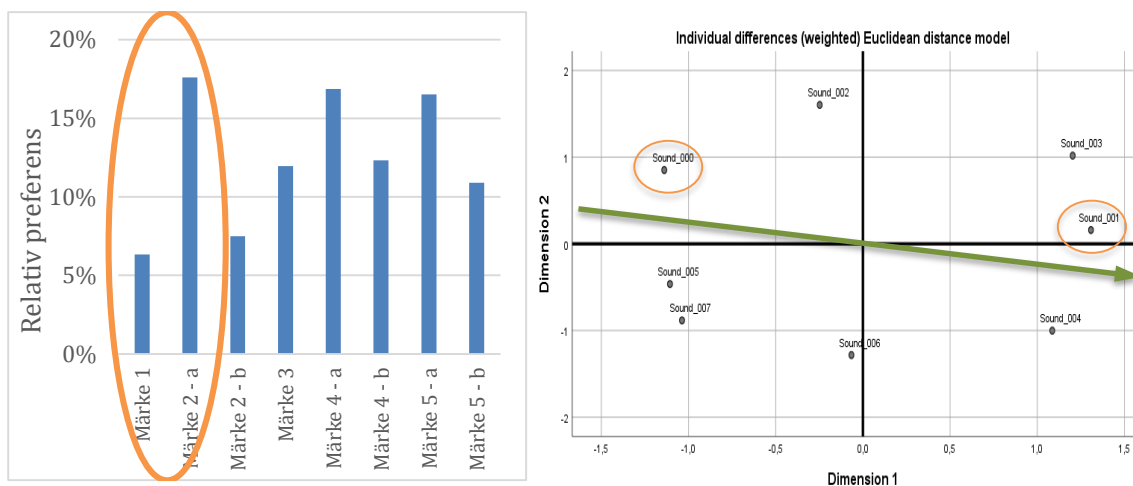
Ett av Elektronik, mjukvara och kommunikations mål i den strategiska färdplanen är att främja User Experience (UX)/HMI. Föreslaget projekt bidrar främst till detta genom en effektivare PMT för att behandla användares preferenser samt emotionella upplevelser och realisera detta i knapptryckningars komponentljud. Projektet berör främst ljudupplevelsen, men en knapptryckning är en multimodal upplevelse där den auditiva informationen måste vara samstämmig med den haptiska informationen.

Idag sker en långsam iterativ process mellan underleverantör och fordonstillverkare vid tillverkning av nya knapptryckningsljud. Avsaknad av kommunikationsmöjligheter för att beskriva hur knapptryckningen ska låta ger små möjligheter till utveckling och förändring av knapptryckningsljuden. Idag sker mellan 20 och 30 iterationscykler mellan fordonstillverkare och underleverantör för att få rätt knapptryckningsljud, en process som kan ta upp till ett år. Ett tidigare internt projekt för att ta fram teknisk kravsättning på den haptiska upplevelsen vid knapptryckning har resulterat i mer än en halvering av antalet iterationscykler. Det är därför rimligt att förvänta sig att motsvarande minskning kan uppnås genom en kravsättning på de akustiska kvaliteterna.

Projektet kommer att utveckla en metodik för utvärdering av knapptryckningsljud. Den kommer att användas för att utvärdera redan existerande knapptryckningsljud och hur de överensstämmer med övrig design för användarupplevelsen och vid utveckling av nya målljud. Det är en viktig kompetensuppbyggnad som idag saknas, för en målinriktad UX design måste det finnas en tydlig koppling och förståelse för hur UX korrelerar med tekniska mätbara parametrar.

6 Resultat och måluppfyllelse

Målet för projektet var att "Effektivisera design av knapptryckningsljud genom att ta fram en metodik för att översätta upplevd ljudbild till objektiv kravspecifikation.". Projektets resultat är en modell för knapptryckningsljud som applicerats på befintliga och auraliserade (syntetiserade) knappljud, och utgör basen för den metod som beskrevs i målformuleringen. Modellen grundar sig på de delresultat som togs fram i testerna inom projektramen.

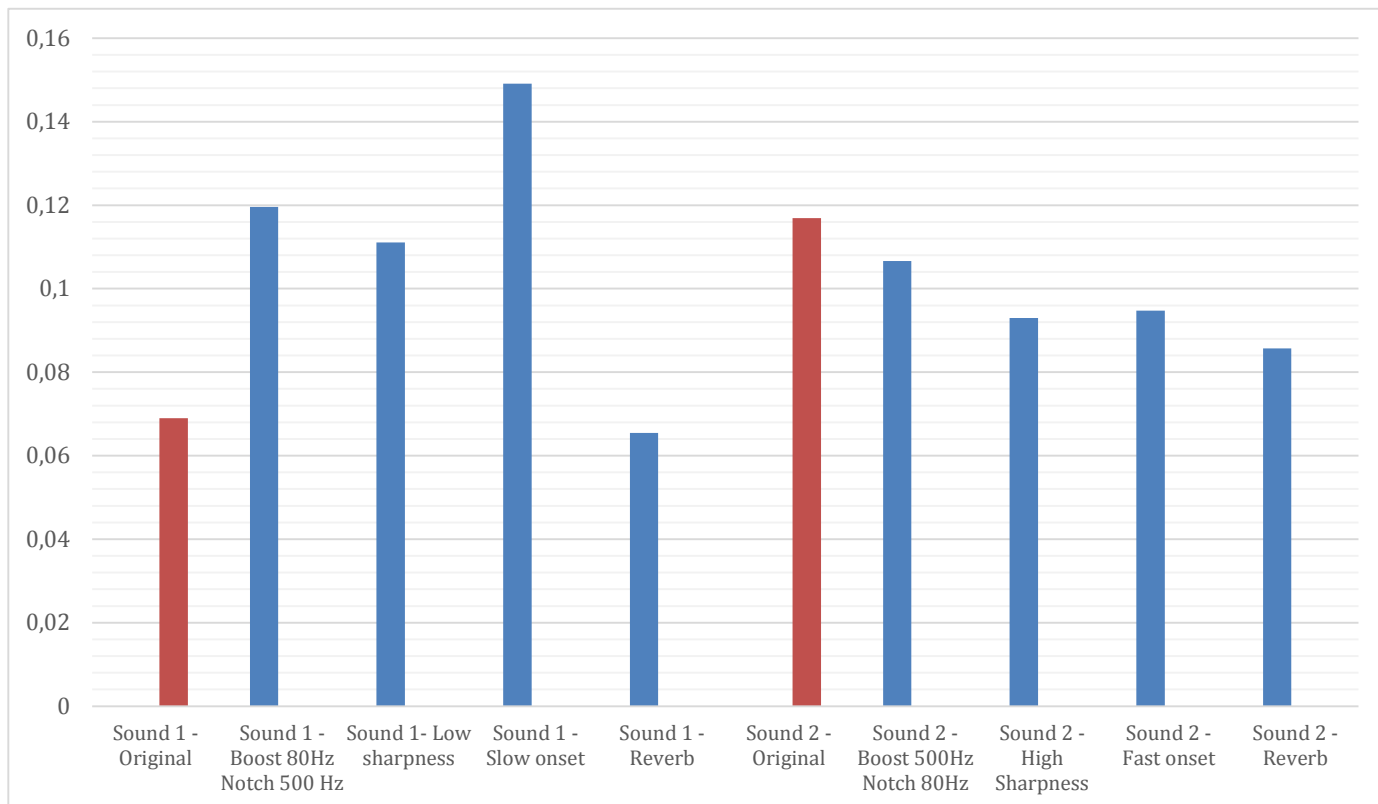


Figur 1: Två knappar låg i varsin ände av gillandeskalan vid de parvisa jämförelserna (vänster): Märke 1 låg lägst och Märke 2 - a högst. Dessa placerade sig också långt ifrån varandra vid utvärderingarna av ljudkaraktär (höger)

Det första testet handlade om att dokumentera ett antal knappljud från olika biltillverkare och därefter med hörlurslyssning utvärdera dels hur bra de upplevdes i förhållande till varandra (vid parvisa jämförelser) och dels på vilket sätt de upplevdes skilja sig åt (semantisk differential). Resultatet av mätningarna var en uppsättning av 8 filer med verkliga referensljud. Lyssningstestet resulterade dels i en ranking av i vilken ordning knapparna föredrogs och dels i en gruppering efter egenskaper (Figur 1).

Delresultatet korrelerades mot en bred uppsättning av ljudparametrar som beskrev olika aspekter av ljudets karaktär. Fyra aspekter bedömdes korrelera såpass bra med preferensrankingen att de kunde användas för det uppföljande testet:

- Onset (stigtid)
- Decay (avklingning/efterklang)
- Ratio 1/3-octave bands @ 80 Hz & 500 Hz
- Sharpness ("gällhet/vasshet")



Figur 2 Preferenser vid den andra lyssningstestet. De båda originalljuden är röda, och de manipulerade ljuden ligger direkt till höger om respektive originalljud, fyra per originalljud. Avsikten var att de manipulerade ljuden från "Sound 1" skulle ligga högre än originalljudet, och vice versa för "Sound 2". Som synes lyckades detta utom i fallet "Sound 1 - Reverb". Dessutom är det värt att notera att "Sound 1 – Boost 80 Hz Notch 500 Hz" och "Sound 1 – Slow onset", som båda baserades på det sämst rankade knappljudet i lyssningstest 1 rankades högre än det bäst rankade ljudet i lyssningstest 1.

Från det första lyssningstestet valdes två ljud ut, som låg på varsin ände på preferensskalan (Figur 1). De båda ljuden manipulerades med avseende på de fyra utvalda ljudkaraktärerna med avsikt att flytta läget på preferensskalan (så preferensen för det lågt rankade ljudet skulle öka, och vice versa). Sammanlagt åtta nya ljud togs fram.

Den nya uppsättningen ljud (10 stycken inklusive originalljuden) utvärderades med avseende på preferens i ett andra lyssningstest med parvisa jämförelser (Figur 3). En korrelationsanalys visade att den psykoakustiska parametern Sharpness, S , och Onset, t_{peak} , definierat som tiden från ljudets början tills den första amplitudtoppen, båda uppvisade hög korrelation. Däremot var korrelation mycket låg för de gängse efterklangsmåtten (t ex T_{20} och T_{30}), och istället användes en variant av Clarity, C_4 , (enligt ISO 3382-1 men med en brytpunkt vid fyra ms). På samma sätt användes L_{80Hz} , kvoten mellan ljudnivån i tersbandet vid 80 Hz och totalnivån. De fyra parametrarna sammanställdes i en linjärkombination till en prediktionsmodell för preferens (regressionsmodell) med följande utseende:

$$\text{Preferens} = k_1 t_{peak} + k_2 S + k_3 C_4 + k_4 L_{80Hz}$$

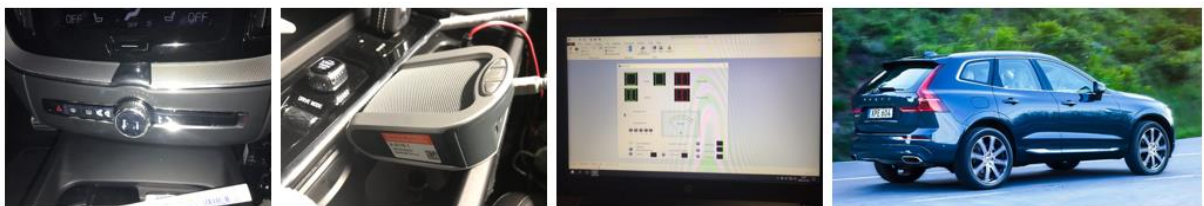
där vikterna är

$$\begin{aligned} k_1 &= 19 \cdot 10^{-3} \\ k_2 &= -30 \cdot 10^{-3} \\ k_3 &= 11 \cdot 10^{-3} \\ k_4 &= 2,4 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Korrelationen mellan modellen och resultatet av lyssningstestet var $r = 0.95$. Modellen kontrollerades även mot resultatet från det första lyssningstestet, där korrelationen var $r = 0.85$, vilket är ett mycket bra resultat, speciellt med tanke på att åtta knappar från fem tillverkare ingick i testet, som alltså väl spände upp de olika typer av ljud man kan förvänta sig från knappar i bilars instrumentpaneler.

Med resultatet från lyssningstesterna kunde också ett börvärde för specifikationen sättas upp: Preferens enligt modellen bör ligga $>0,16$ med rekommenderade parametervärden enligt

- Sharpness, $S < 2$ Acum
- Onset, $8 \text{ ms} < t_{\text{peak}} < 15 \text{ ms}$
- Clarity, $C_4 > 0 \text{ dB}$
- $\text{Ratio}_{80 \text{ Hz} / \text{Total}}, L_{80 \text{ Hz}} > - 10 \text{ dB}$



Figur 3. Bilder från lyssningstest två, utrustning samt bil som testet gjordes i.

Detta projekt ligger under FFI:s delprogram Elektronik, mjukvara och kommunikation som är inriktat mot forskning, innovation och utveckling inom bland annat det fordonsrelaterade området, utvecklingsmetoder för verifiering och validering. Resultatet i form av parametrarna i modellen ovan, och specifikationer baserat på dem, är framtagna för att enkelt kunna kommunicera dem med underleverantörer. Framförallt är möjliggör det att kontrollera knappars akustiska egenskaper på ett relevant sätt under både utvecklings- och produktionsfaser.

Bland FFI:s övergripande mål är bland annat att stärka den internationella konkurrenskraften. Resultatet från projektet är ett led i strävan att göra gränssnittet i bilar attraktivare, för att just kunna stärka konkurrenskraften på en global marknad där alla aspekter av en bil har betydelse för att övertyga kunder om hur de ska välja.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt		
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Vi kommer att använda resultatet som en kravsättning i kommande projekt på Volvo Cars.
Introduceras på marknaden	x	
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

Detta projekt är även en del av doktorandprojektet "Prediktering av gnissel och gnek för robust produkt och produktion". Diarienummer 2015–01307. Projektet har delvis fokuserat på hur objektiva tekniskt mätbara mått kan användas för att predicera skrammel- och gnisselljud.

7.2 Publikationer

Dessa resultat har vi som avsikt att kunna presentera på en konferens men materialet är ej färdigställt ännu.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

I projektet har vi testat en metod som inte har används inom fordonsindustrin tidigare. Metoden fungerar väldigt bra att sammanställa subjektiva omdömen och objektiva mätparametrar för att kunna få en objektiv kravsättning att använda mot underleverantör.

Vi kommer att använda resultatet som en kravsättning i kommande projekt på Volvo Car Corporation.

Detta resultat är en del av vårt långsiktiga mål att kunna ersätta subjektiv kravsättning med objektiva mätparametrar för att undvika att resultaten i olika projekt är personbundet.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Volvo Car Corporation

Anneli Rosell
Mohsen Bayani

anneli.rosell@volvocars.com

RISE Research Institutes of Sweden

Dag Glebe
Henrik Hellström
Penny Bergman

dag.glebe@ri.se

Chalmers Tekniska högskola

Richard Söderström

