

# Akustisk modellering af høreapparatkomponenter

Ph.D-projekt af René Christensen

Ethvert høreapparat har til formål at opfange lyd med et antal mikrofoner, forstærke denne lyd og føre det ind i brugerens øregang. Under designfasen af høreapparatet indgår mange overvejelser vedr. apparatets udformning, signalbehandling, brugervenlighed m.m. Den akustiske ydelse er naturligvis også essentiel, altså hvor stor forstærkning kan opnås med apparatet, hvordan opleves lyd kvaliteten og er der evt. uønskede fænomener såsom akustisk feedback eller resonanser.

Med akustiske modeller kan man simulere hvordan høreapparatet vil opføre sig akustisk, forudsat at alle relevante data er tilgængelige i modellen. F.eks. skal geometrien kendes og de akustiske karakteristika for transducerne, dvs. højttaler og mikrofoner, skal indgå. I et høreapparat med vent; et trykudligningsrør mellem øregang og omverden, skal denne også modelleres. En typisk vent er et par millimeter i diameter. Et specielt område af akustikken bliver vigtigt, når der skal laves akustiske modeller af små geometrier, som netop komponenterne i et høreapparat, nemlig de viskotermeriske tab. Tabene er relevante i et tyndt grænselag, som typisk er under 0,1 mm tykt. De opstår af to årsager. Den ene er at luftpartiklerne nær væggen, f.eks. ventens overflade, klæber til denne. De tilstødende partikler bremses ned på grund af friktion, og dette tager energi ud af den akustiske bølgebevægelse. Den anden årsag er varmeledning nær væggen, som 'kortsletter' temperaturforskellene i den akustiske bølge, og igen tager energi ud til varme.

Med analytiske udtryk kan man lave modeller der inkluderer de viskotermeriske tab, forudsat geometrien er af en bestemt beskaffenhed. Hvis geometrierne er meget små, kan en model med diskrete komponenter ofte give indblik i akustikken i apparatet, og for rør med f.eks. cirkulært eller rektangulært tværsnit kan den mere generelle transmissionsliniemodel anvendes.

For generelle, komplekse geometrier er det nødvendigt at benytte numeriske metoder, såsom boundary element metoden eller finite element metoden. Forskellige modeller er blevet implementeret med brug af disse metoder, såsom en 'Full Navier-Stokes' model og en 'Low reduced frequency' model. 'Full Navier-Stokes' modellen kan håndtere viskotermeriske tab i generelle geometrier, men er krævende når det kommer til computerkraft og beregningstid. 'Low reduced frequency' modellen er langt mindre krævende, men kan kun anvendes på rør som har et cirkulært eller rektangulært tværsnit. Modellen er dog blevet udvidet i dette projekt til også at omfatte rør med trekantet tværsnit.

De numeriske modeller er blevet sammenlignet med analytiske modeller for nogle testeksempler, hovedsageligt rør med forskellige tværsnit. Generelt var der god overensstemmelse mellem resultaterne, men 'Full Navier-Stokes' modellen stillede store krav til computerkraft, og af og til måtte der indgås et kompromis, hvor beregningsnettet ikke var optimalt, for at kunne gennemføre beregningen. Der blev også gennemført målinger på forskellige rør og perforerede plader, og disse blev sammenlignet med både analytiske og numeriske modeller, og de afvigelser der var, kunne som oftest forklares med at andre effekter end de viskotermeriske tab påvirkede målingerne.