

Het modelleren van niet-lineaire akoestiek

NAG Masterclass

Dr.ir. J.A. de Jong¹

26 november 2020



¹ASCEE, Máximastraat 1, 7442 NW Nijverdal, info@ascee.nl

Samenvatting

Wanneer de amplitude van geluidsdruggolven zeer hoog wordt, zijn de basisaannames achter de akoestische golfvergelijking niet meer geldig. We praten dan over zogenaamde niet-lineaire akoestiek. Niet-lineaire akoestiek is een vakgebied op zich, en kent enkele bijzondere fenomenen en toepassingen, waaronder akoestische streaming, akoestische levitatie, thermo-akoestische energieconversie. In deze presentatie wordt een kort overzicht gegeven van - de uitdagingen in - niet-lineaire akoestische modelleringsmethodes.

Extended

Onder de conditie dat een akoestische drukgolf nog steeds een verstoring van het anderszids in rust zijnde medium is, treden bij zeer hoge amplitude van deze drukgolf, effecten op die met lineaire akoestische rekenmethodes niet te beschrijven vallen. Één van de oorzaken van deze niet-lineaire effecten is, dat de geluidsvoortplantingssnelheid afhankelijk is van de temperatuur, welke bij adiabatische compressie / expansie meevarieert met de akoestische druk. Wanneer een geluidsdruk golf een te hoge variatie geeft van de geluidssnelheid, gaan de „pieken” in de geluidsgolf voortplanten met een hogere snelheid dan de „dalen”. Door dit fenomeen treedt een vervorming op van het golfprofiel. Als we als voorbeeld een sinusgolf nemen, dan gaat deze door niet te verwaarlozen niet-lineaire uitbreiding steeds meer lijken op een zaagtand, zie figuur 1.

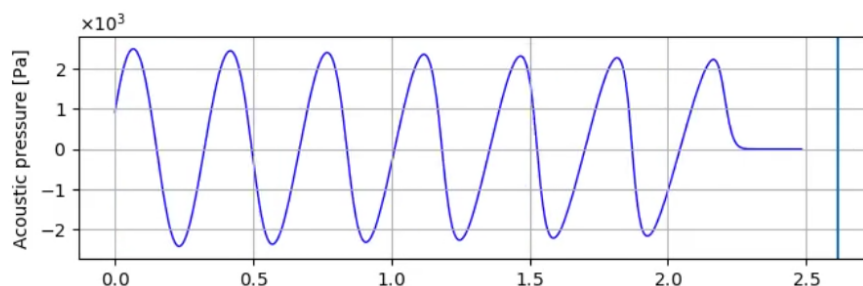
Uiteindelijk wordt het golffront zo scherp, dat thermische geleiding en de visceuze wrijving - die normaal voor relatief korte voortplantingsafstand te verwaarlozen is - ook een uitwerking gaat hebben op dit golffront. Deze effecten remmen de scherpheden van de zaagtandvorm en zetten de akoestische energie om in warmte.

Hieronder vindt u een lijst van enkele onderwerpen waarin niet-lineaire akoestische modelvorming van nut is:

- Geluid in blaasinstrumenten
- Akoestische levitatie
- Akoestische streaming
- Thermo-akoestische warmtemotoren en warmtepompen
- Aero-akoestische instabiliteiten
- Parametrische antennes
- Het voorspellen van totale harmonische vervorming (engels: total harmonic distortion, THD)

Referenties

- [1] W. Chester. “Resonant oscillations in closed tubes”. In: *J. Fluid Mech* 18.1 (1964), p. 44–64.
- [2] J. De Jong en E. Kuipers. “Numerical simulation of nonlinear viscothermal acoustic wave propagation”. In: *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics*. ICA 2019. Aachen, Germany, 2019.
- [3] B. O. Enflo en C. M. Hedberg. *Theory of nonlinear acoustics in fluids*. Deel 67. Springer Science & Business Media, 2002.
- [4] V. Tournat. “Introductory Lecture on Nonlinear Acoustics”. 2 jun 2014.



Figuur 1 – Voorbeeld van zwaar niet-lineaire golfvoortplanting in een buis. Binnen 10 golflengtes aan voortplantingsafstand wordt de zaagtand zo scherp dat zich een schokgolf vormt. Let hierbij op de schaal van de drukamplitude (2000 Pa, oftewel ~ 160 dB SPL). De afstand waarop dit gebeurt wordt de „schokafstand” genoemd, en is in de figuur aangegeven met de verticale blauwe lijn.