

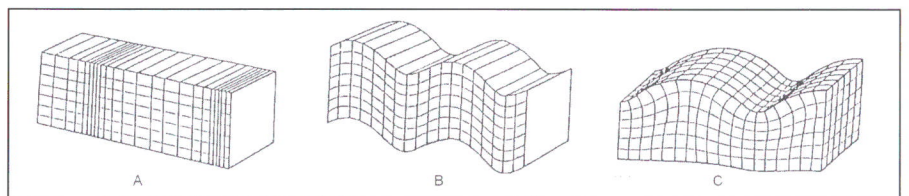
Onderzoek naar trillingen in de bodem met behulp van Eindige Elementen Methode

Trillingsproblemen worden steeds actueler. Zeker daar waar trillingsgevoelige objecten in toenemende mate dichterbij trillingsbronnen worden gesitueerd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan woon- en kantoorbebouwing zeer nabij of zelfs boven spoorwegen of oprukkende woonbebouwing richting industriële omgevingen ('compacte-stad'-problematiek). Ook schaalvergroting van fabrieken en nieuwe machinerieën kunnen leiden tot hogere trillingsniveaus in de omgeving.

Félippe van Eekhout en Ferry Koopmans

Mogelijke trillingsisolerende voorzieningen, zowel bij de bron, in de overdracht als bij de ontvanger, zoals onder meer trillingsisolerende veren en matten, zijn reeds lang voorhanden. Ook diverse rekenmethoden en handboeken om de effectiviteit van eenvoudige voorzieningen te berekenen zijn in beginsel aanwezig. Maar voor de situaties waar trillingen zich door de bodem voortplanten waarbij ook de overdracht van trillingen naar complexe constructiedelen en gebouwen een belangrijke rol gaan spelen, zijn deze formules en handboeken vaak niet toereikend om een goede voorspelling te kunnen maken van de effectiviteit van trillingsisolerende voorzieningen. Zeker ook indien de trillingen in een breder frequentiegebied dienen te worden beschouwd. Mede dankzij de thans beschikbare reken capaciteit van moderne computers, bieden Eindige Elementen Methode (EEM) berekeningen hierin steeds vaker een uitkomst.

In onderhavig artikel zal na een beknopte theoretische uitleg, ingegaan worden op een tweetal sprekende praktijkvoorbeel-



FIGUUR 1: OVERZICHT VOORTPLANTING TRILLINGEN DOOR DE BODEM.

den waarbij voor complexe trillingsproblemen middels EEM-berekeningen, betrouwbare prognoses zijn gemaakt van de te verwachten trillingsniveaus en effectieve trillingsisolerende voorzieningen zijn gedimensioneerd.

PRINCIPE VAN TRILLINGEN DOOR DE BODEM

Trillingen kunnen zich, afhankelijk van de belastingsituatie, op verschillende wijze door de bodem voortplanten. Zo zijn longitudinale golven, transversale golven en oppervlaktegolven te onderscheiden. Bij longitudinale golven trilt de bodem in de richting van de golfvoortplanting (zogenoemde drukgolven, zie figuur 1a). Bij transversale golven trilt het materiaal loodrecht op de richting van de golfvoortplanting (zogenoemde schuifgolven, zie figuur 1b). Daar de bodem een half oneindig medium betreft en de trillingsbronnen op of juist onder het maaiveld zijn gesitueerd, zullen in de bodem ook oppervlaktegolven optreden (zogenoemde Rayleigh-golven, zie figuur 1c).

Uit de figuren volgt duidelijk dat de vervormingen voor de verschillende golven anders zijn, waardoor tevens de voort-

plantingssnelheid van deze trillingsgolven zal verschillen. De voortplantingssnelheid voor de drukgolven (c_p) volgt uit:

$$c_p = \sqrt{\frac{G \cdot 2(1 - \nu)}{\rho(1 - 2\nu)}}$$

en voor de schuifgolven (c_s) uit:

$$c_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \nu)}}$$

waarbij:

E = elasticiteitsmodulus in N/m^2 ;
 G = afschuifmodulus in N/m^2 ;
 ν = Poissonratio (dwarscontractie);
 ρ = dichtheid van de bodem in kg/m^3 .

Uit bovenstaande formules volgt eveneens dat de voortplantingssnelheden afhankelijk zijn van de bodemeigenschappen (stijfheid, dichtheid e.d.). In tabel 1 is ter illustratie een overzicht gegeven van een aantal bodemparameters en de bijbehorende voortplantingssnelheden, karakteristiek voor de regio Amsterdam. Te onderscheiden zijn de wat stijvere toplagen (laag 1 en 2), de slappe klei- en leemlagen (laag 3 tot en met 6) en de stijve zandlagen (7 en verder). Op de laatste lagen zijn de welbekende houten fundatiepalen uit Amsterdam gefundeerd.

Over de auteurs

Ir. F.C. van Eekhout is projectleider trillingstechniek bij Peutz B.V.
 Ir. J.F.W. Koopmans, adviseur en directeur bij Peutz B.V.
www.peutz.nl