

|                                         |                                                         |                                      |                                |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Title:                                  | <b>CUR/COB MODELS FOR THE ANALYSIS OF THE ING CASES</b> |                                      |                                |
| Author:                                 | Dr.ir. A.W.M. Kok                                       | Institute:                           | Delft University of Technology |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
| <b>July 2003</b>                        |                                                         |                                      |                                |
| Number of pages                         | :                                                       | 41                                   |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
| Keywords (3-5)                          | :                                                       | Vibrations, reliability, precictions |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
| DC-Publication-number                   | :                                                       | DC1-152-14                           |                                |
| Institute Publication-number (optional) | :                                                       |                                      |                                |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
| Report Type                             | :                                                       | <input checked="" type="checkbox"/>  | Intermediary report or study   |
|                                         | :                                                       | <input type="checkbox"/>             | Final projectreport            |
|                                         |                                                         |                                      |                                |
| DUP-publication Type                    | :                                                       | <input checked="" type="checkbox"/>  | DUP Standard                   |
|                                         |                                                         | <input type="checkbox"/>             | DUP-Science                    |

### Acknowledgement

This research has been sponsored by the Dutch Government through the ICES-2 programme and the projectorganisatie HSL-Zuid The research is part of the Research programme of Delft Cluster.

### Conditions of use of this publication

The full-text of this report may be used under the condition of a correct and full reference to this publication.

## Abstract

Under auspices of the CUR the so-called L400 programs have been developed. Basically the L400 programs solve a dynamics problem by the transformation of time dependent problem to a frequency dependent problem. After solution of the generated equations the results are backtransformed to the time domain.

The DC project offered the platform to test the applicability of these programs under more practical conditions. A series of problems, whereof experimental data are available, have been subjected to an analysis with these L400 programs. It turned out that many additions, improvements and corrections were necessary to satisfy to the needs for the solution of these problems.

Briefly the following problems have been addressed

- The transformation of loads from the time to the frequency domain
- Graphical representation of the load functions
- Utilities to transfer load files between the different steps of the solution procedure
- Implementation of Rayleigh damping
- Implementation if variable diameters of the diabolo models
- Generation of roughness files form surface data and vehicle velocity
- Backtransformation results form frequency domain to time domain
- Graphical presentation of results
- Output results in ASCII files

An overall problem has been the design and implementation of a data and program organisation that makes the procedure more transparent and easier to access by future developments.

|                   |                                                                 |                   |                 |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|
| PROJECT NAME:     | <b>Reliability of vibration prognosis and reducing measures</b> | PROJECT CODE:     | <b>01.05.02</b> |
| BASEPROJECT NAME: | <b>Environmental impact of underground construction</b>         | BASEPROJECT CODE: | <b>01.05.02</b> |
| THEME NAME:       | <b>Soil and Structures</b>                                      | THEME CODE:       | <b>01</b>       |

## Executive Summary

The prediction of vibrations due to piledriving, road and railtraffic can be, performed by a variety of models. The accuracy of the prediction depends on the accuracy of the parameters and the accuracy of the models themselves. For one of the submodels, the transmission of vibrations through the soil, the accuracy is investigated. The report describes the drawbacks of the SOIL model used in the L400 framework model. Improvements are described in report DC1-152-22

|                    |                                                                 |                    |                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| PROJECT NAAM:      | <b>Reliability of vibration prognosis and reducing measures</b> | PROJECT CODE:      | <b>01.05.02</b> |
| BASISPROJECT NAAM: | <b>Environmental impact of underground construction</b>         | BASISPROJECT CODE: | <b>01.05</b>    |
| THEMA NAAM:        | <b>Soil and Structures</b>                                      | THEMA CODE:        | <b>01</b>       |

## Table of contents

|          |                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction.....</b>                                         | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>The analysis of an undamped halfspace problem .....</b>       | <b>5</b>  |
| 2.1      | Purpose .....                                                    | 5         |
| 2.2      | Problem parameters .....                                         | 5         |
| 2.2.1    | The halfspace is characterized by the following parameters ..... | 5         |
| 2.2.2    | Analysis parameters.....                                         | 6         |
| 2.2.3    | Results undamped system.....                                     | 6         |
| 2.2.4    | Input files .....                                                | 7         |
| <b>3</b> | <b>The analysis of an damped halfspace problem.....</b>          | <b>7</b>  |
| 3.1      | Results damped system.....                                       | 7         |
| <b>4</b> | <b>Common for all ING models .....</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>5</b> | <b>Pile driving.....</b>                                         | <b>10</b> |
| <b>6</b> | <b>Vibration of sheet piles .....</b>                            | <b>14</b> |
| <b>7</b> | <b>Truck crossing a threshold.....</b>                           | <b>16</b> |
| <b>8</b> | <b>Impulse load .....</b>                                        | <b>19</b> |
| <b>9</b> | <b>References.....</b>                                           | <b>21</b> |
|          | • <b>Bijlage: Aanpassingen CUR/COB programma's .....</b>         | <b>22</b> |

# 1 Introduction

Within the frame of the Delft Cluster (theme 1.5.2) project "Predictions using CUR/COB model" a series of analyses have been carried out for the simulation of experiments carried out during the construction of the ING building in Rotterdam. For these experiments 13 measure points have been established for the registration of accelerations caused by several loading conditions. Here we report the simulations of pile driving, vibration of sheet piles, traffic loads and a FWD test. Under all conditions it has been possible to split up the analysis into 13 small analyses of one source load and one receiver.

In this report we explain the applied models and the parameters used for the analysis. The input files, such as built up following the specific models, are stored in folder DCfiles at the CDROM of the new L400 programs.

## 2 The analysis of an undamped halfspace problem

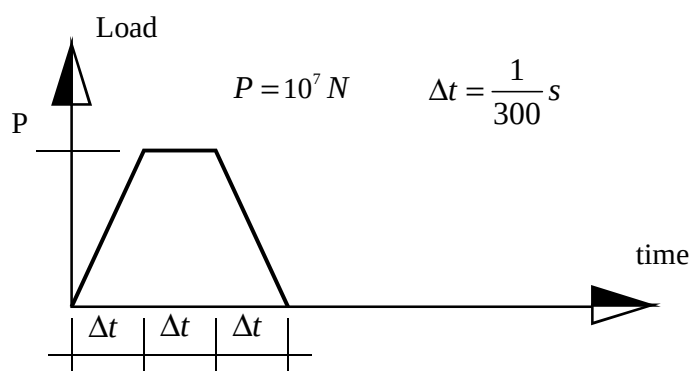
### 2.1 Purpose

Before we started to perform the analyses of the ING site we checked the model tools by an analysis of a homogeneous halfspace. Within the frame of the DC project the same problems have been analyzed with a finite element analysis. These results should match each other. For a single case we can compare the results with an exact solution obtained following the Hankel/Metrikine method.

### 2.2 Problem parameters

#### 2.2.1 The halfspace is characterized by the following parameters

$$\begin{aligned}
 E &= 2 \cdot 10^8 \text{ N} / \text{m}^2 \\
 \nu &= 0.40 \\
 ; \\
 \rho &= 2000 \text{ kg} / \text{m}^3 \\
 \beta &= 0, \text{ resp. } 3.82 \cdot 10^{-4} \text{ s}
 \end{aligned}$$



An uniform load is applied at a circular area with diameter  $D=2.00 \text{ m}$ .  
A trapezium shape with respect to time gives the time dependency. –see figure 1–  
The middle point of the circle is the origin of the reference frame.

Figure 1

The results are calculated in 12 nodes with the following coordinates.

| node | X     | Z    | node | X    | Z     | node | X     | Z     |
|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| AB   | 5.00  | 0.00 | BA   | 0.00 | 5.00  | BB   | 5.00  | 5.00  |
| AC   | 10.00 | 0.00 | CA   | 0.00 | 10.00 | CC   | 10.00 | 10.00 |
| AD   | 15.00 | 0.00 | DA   | 0.00 | 15.00 | DD   | 15.00 | 15.00 |
| AE   | 20.00 | 0.00 | EA   | 0.00 | 20.00 | EE   | 20.00 | 20.00 |

### 2.2.2 Analysis parameters

Since the analyses are performed in the frequency domain we have to input number and size of the frequencies. We used 500 frequency steps and frequency increment

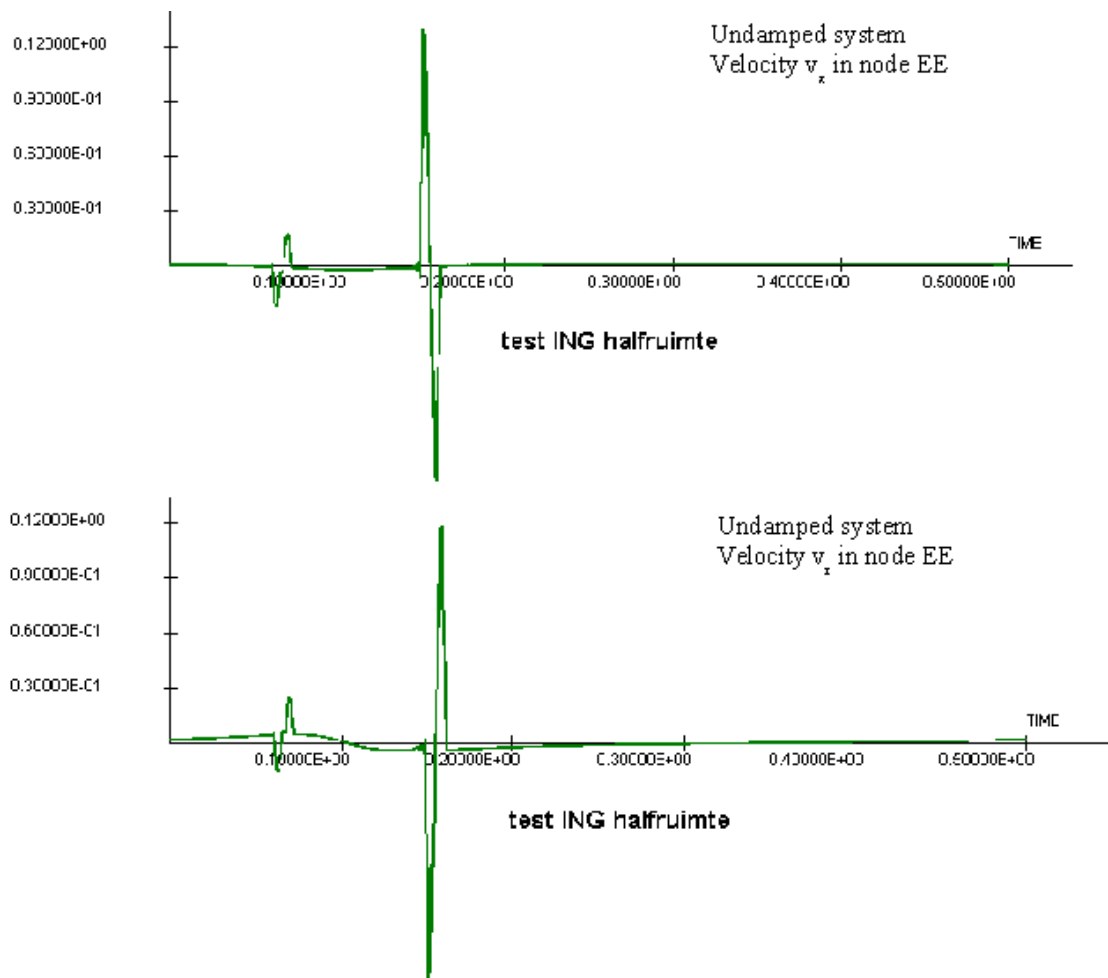


Figure 2

### 2.2.3 Results undamped system

To compare the results with f.e.m. results we present the results as function of time. Unfortunately we cannot show here the f.e.m. results. However, the results are very similar. For demonstration we show the results of the velocities of node EE at  $x=20\text{m}$  and  $z=20\text{m}$ . –see figure 2- (case TESTEE).

### 2.2.4 Input files

The input files for the CUR/COB BODEM module and SOLVER module are given the names TESTxx.DAT. The file organisation for the SOLVER is stored into the files TESTxx.FIL. The input file for the trapezium shaped load is named by DREMPEL in the SOLVER directory. Some postprocessing is called by the files TESTxx (no extension), also in the SOLVER directory.

## 3 The analysis of an damped halfspace problem

### 3.1 Results damped system

For the analysis of the damped system we substitute  $\beta = 3.82 \cdot 10^{-4}$  in the input files of the BODEM module. All other files are the same for both the damped and undamped system. The results of the analysis with the BODEM module are compared with the exact solution following the Hankel/Metrikine method [5]. In figure 3 we show the results following the BODEM module and in figure 4 we show the exact results.

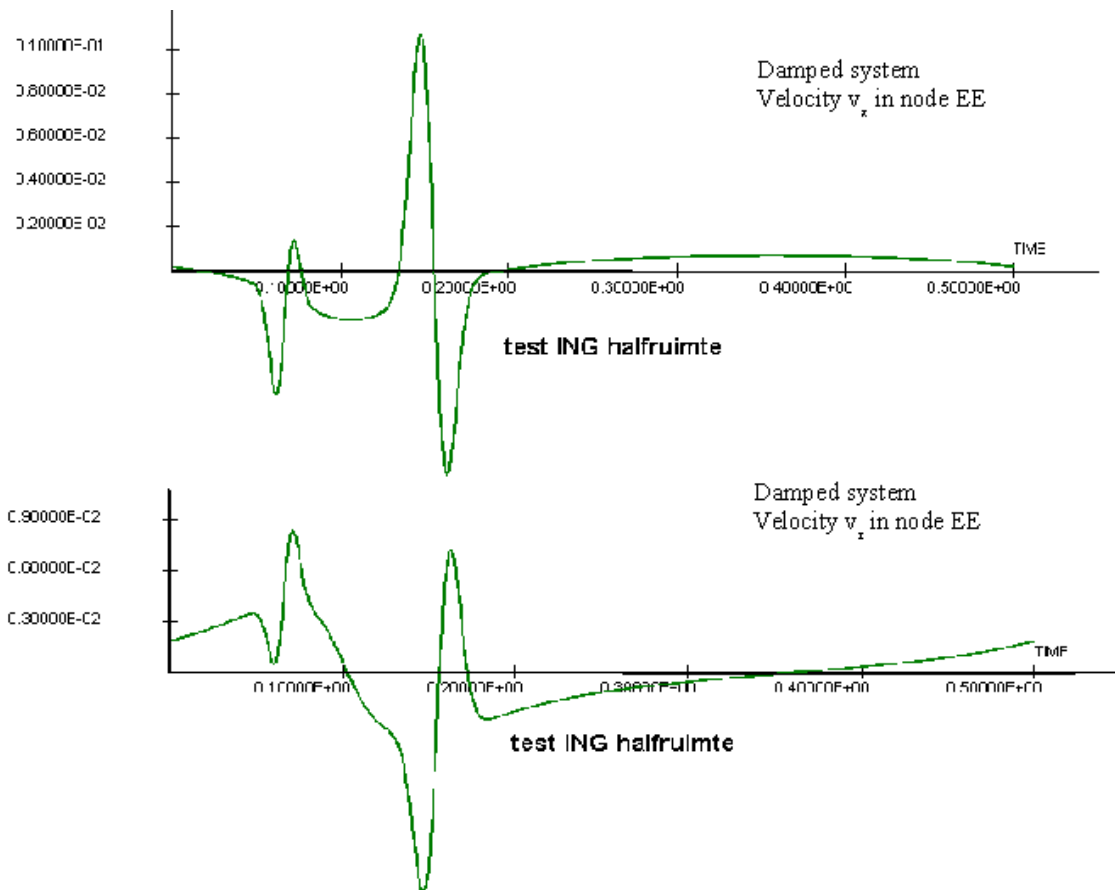


Figure 3 Results BODEM module

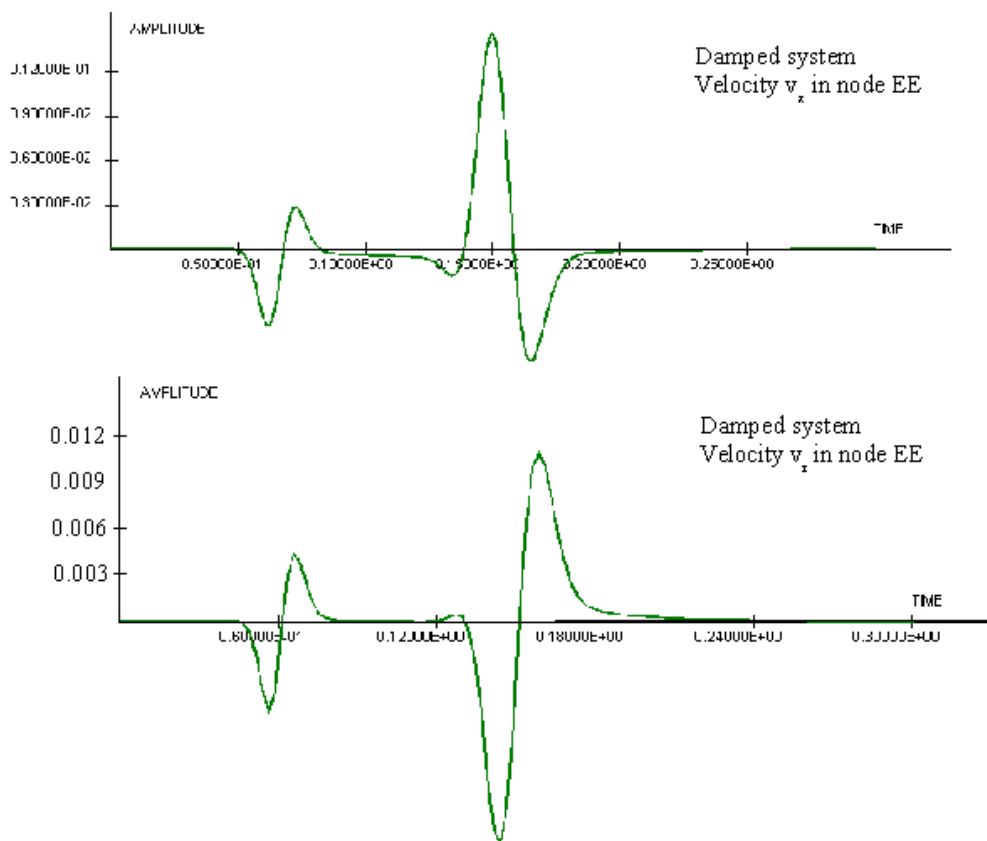


Figure 4 Results Hankel/Metrikine

It is striking that the size of the results of BODEM and Hankel/Metrikine correspond rather well but that the shapes are very different. It can be shown that the low frequencies, and especially the contribution of the Rayleigh waves, are not well simulated in the BODEM model. With the introduction of some damping the low frequencies dominate the higher frequencies and thus also the errors dominate in the low frequencies.

#### 4 Common for all ING models

For the ING case we have always the same 13 receivers and a varying position of one single-pointed load source. Because the receivers do not interact with the soil we can perform our analysis by 13 independent analyses of just one source node and one receiver node every time. In this way we save much computer time for the evaluation of the impedance matrices.



The 13 receiver points are given in underlying table

| receivers | X    | Y    | Z    |
|-----------|------|------|------|
| 1m        | -45. | 0.   | 0.   |
| 2m        | -30. | 0.   | 0.   |
| 3m        | -20. | 0.   | 0.   |
| 4m        | -10. | 0.   | 0.   |
| 5m        | -30. | -20. | 0.   |
| 6m        | -30. | -10. | 0.   |
| 7m        | -30. | 10.  | 0.   |
| 1d        | -44. | 0.   | -14. |
| 2d        | -30. | 0.   | -14. |
| 3d        | -20. | 0.   | -14. |
| 4d        | -10. | 0.   | -14. |
| 6d        | -30. | -10. | -14. |
| 7d        | -30. | 10.  | -14. |

The soil properties are given per layer. Each layer is assumed to be unlimited and homogeneous in the horizontal plane. Common for all analyses are the following layer properties

| thickness | E [Mpa] | $\nu$ | G [Mpa] | K [Mpa] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\beta$ [s] |
|-----------|---------|-------|---------|---------|-----------------------------|-------------|
| 7.        | 12.     | 0.45  | 4.128   | 40.     | 1600.                       | 3.82 E-4    |
| 2.        | 57.     | 0.45  | 19.655  | 190.    | 1950.                       | 3.82 E-4    |
| 3.        | 178.    | 0.45  | 61.379  | 593.33  | 2000.                       | 3.82 E-4    |
| 9.        | 250.    | 0.45  | 86.207  | 833.33  | 2000.                       | 3.82 E-4    |
| 11.5      | 400.    | 0.45  | 137.931 | 1333.33 | 2000.                       | 3.82 E-4    |
| 4.5       | 140.    | 0.45  | 48.27   | 466.66  | 1850.                       | 3.82 E-4    |
| 23.       | 200.    | 0.45  | 68.966  | 666.66  | 2000.                       | 3.82 E-4    |

The input files for the 13 models are all the same with the specification of the soil properties. Not common are the number and size of the frequency steps and the location and shape of the load source. The so-called diabol properties, specific for this approach, are all the same for the receiver points, but will vary for the source nodes. The so-called gamma parameters are always the same. An input file for a pile driving application is given to show the common parameters.

```

COMMENT ING BODEM
NUMBFREQ 1000 TRANSIENT
0.10000E+01
COMMENT NODES NUMBER-OF-NODES
NODES 2
INITIALISE
GDMODEL
7
1 7 0
40.e6 4.128e6 1600. 7. 0. 0. 3.82e-4
190.e6 19.655e6 1950. 2. 0. 0. 3.82e-4
593.33e6 61.379e6 2000. 3. 0. 0. 3.82e-4
833.33e6 86.207e6 2000. 9. 0. 0. 3.82e-4
1333.33e6 137.931e6 2000. 11.5 0. 0. 3.82e-4
466.66e6 48.27e6 1850. 4.5 0. 0. 3.82e-4
666.66e6 68.966e6 2000. 23. 0. 0. 3.82e-4
1
1

```

```

0
7
1. 1. 1. 1. 0.28 1.0 20.
2
1 2
4
0.0 0.75 1.0 0.75
READNODES
1 1.4 5. -27.50 0.28
2 -30. -10. -0.20 0.28
END

```

## 5 Pile driving

Following the CUR/COB model a pile driving load is represented by an uniformly distributed load about a circular area at the foot of the pile [3]. Dependent on a series of parameters this load is generated by one of the load generation programs, called TRLHEI, of the CUR/COB model. We modelled the load associated with the IHC type S90 pile driving block that is dropped from a height of 2.00 m from the pile head. The pile is a steel vibro vibration pile with diameter 560 mm.

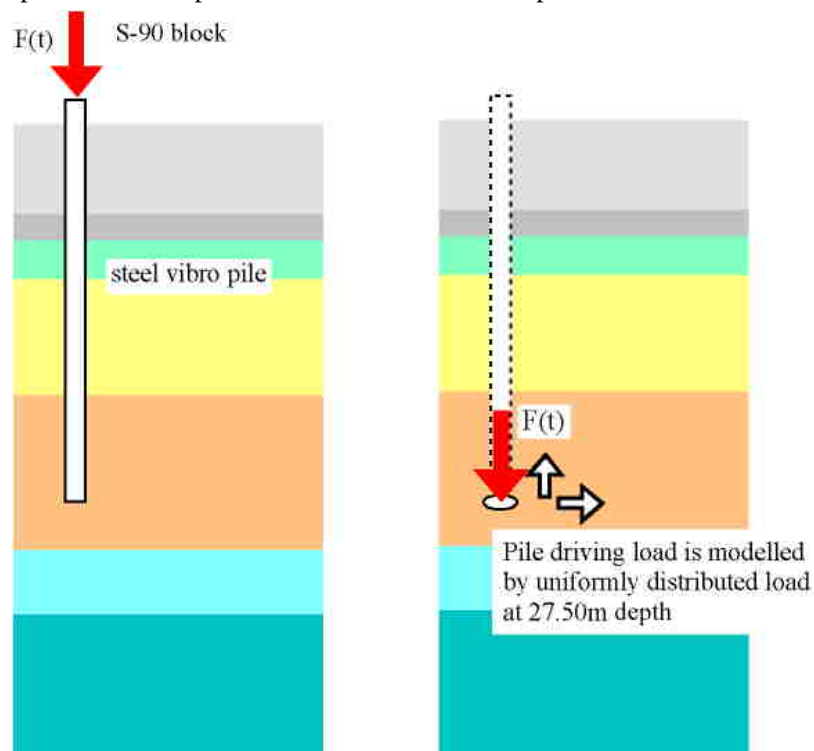


Figure 5

The following parameters have been applied

|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| 0.2463       | cross section pile foot             |
| 0.0439823    | cross section pile shaft            |
| 25.          | parameter $\alpha$ during loading   |
| 75.          | parameter $\alpha$ during unloading |
| 125.         | parameter $\beta$                   |
| 2000.        | density soil                        |
| 19.5e6       | cones resistance value              |
| 206.e9       | Young's modulus steel               |
| 7850.        | density steel                       |
| 4500.        | mass driving block                  |
| 2.00         | dropping height                     |
| 0.2441406e-3 | time step                           |
| 4096         | number of time steps                |

The location of the pile driving load is given by the cartesian ordinates  $x=1.40$ ,  $y=5.00$  and  $z=-27.50$  m. The analysis has been performed with 1000 frequency steps and a frequency increment of 1 Hz. The diameter of the load circle is 0.56 m. In underlying figures both the load in the time domain and in the frequency domain are shown.

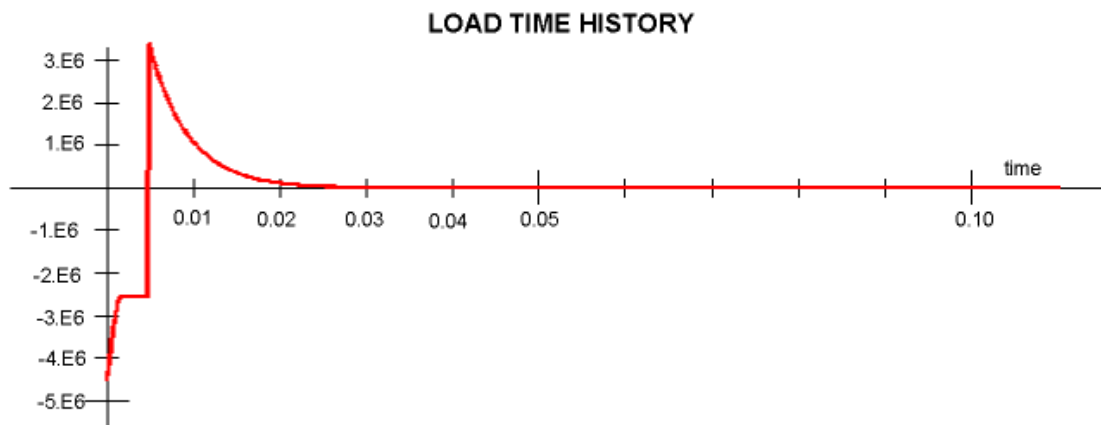


Figure 6 Time load history of the S90 pile driving block

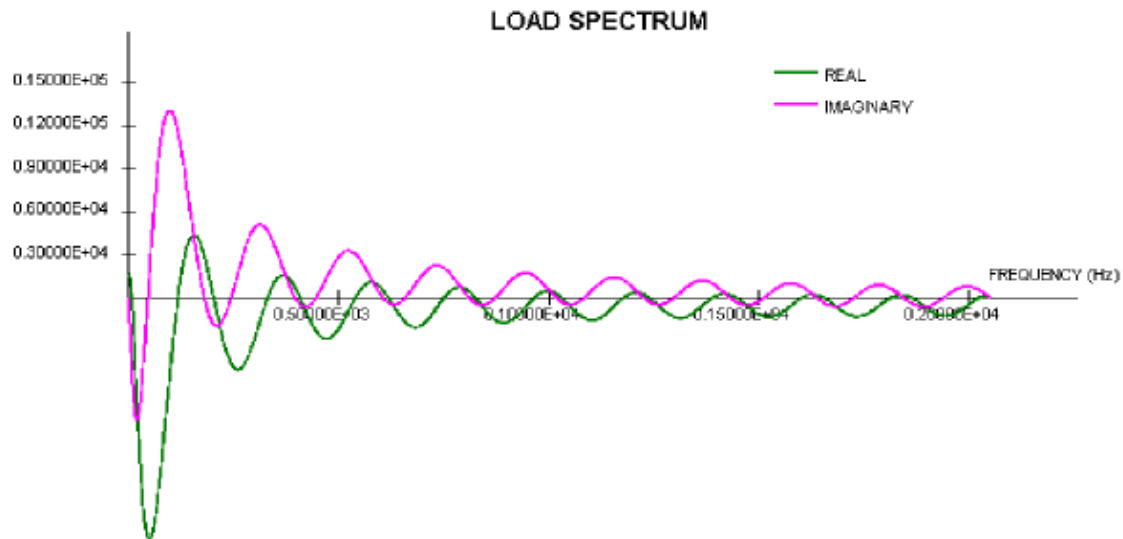


Figure 7 Spectrum load history S90 pile driving block

## Results

To demonstrate the results the vertical velocities of node 6d are shown in figure 8 as function of time

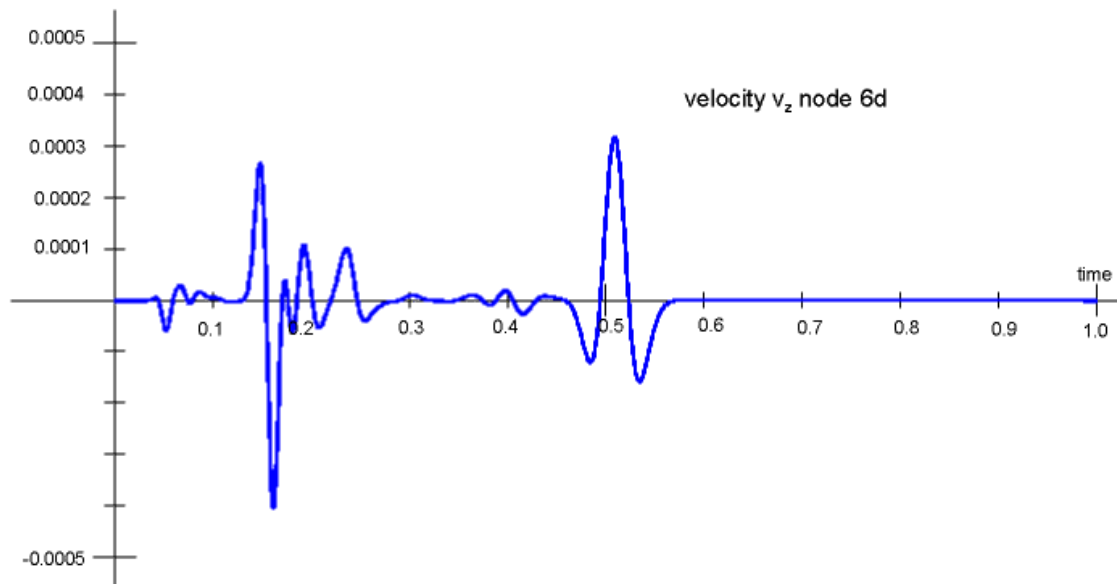


Figure 8 Velocities in node 6d

## **Files**

The input files are named HEIxx.DAT for the BODEM module and HEIxx.FIL, HEIxx.DAT and HEIxx for the SOLVER. The input data for the pile driving load are given in file S90.DAT for the module HEIEN.

## 6 Vibration of sheet piles

Following the CUR/COB model a single load at the foot of the pile [4] represents a sheet pile vibration load. Dependent on a series of parameters this load is generated by one of the load generation programs, called TRLDAM, of the CUR/COB model. We modelled the load associated with two different vibration blocks, namely PVE 2520 and ICE 23RF. The block properties are given by the following data

|                                      | PVE 2520   | ICE 23RF   |
|--------------------------------------|------------|------------|
| Dynamic mass [kg]                    | 3050       | 3730       |
| Mass [kg]                            | 7618       | 8298       |
| Frequency [Hz]                       | 27         | 38         |
| Surface [m <sup>2</sup> /m]          | 3.26       | 3.26       |
| Cross section foot [m <sup>2</sup> ] | 0.01778    | 0.01778    |
| Eccentric moment [kg m]              | 25         | 23         |
| Depth foot [m]                       | 17.00      | 17.00      |
| Friction slot [N/m]                  | 0.         | 0.         |
| Number of time steps                 | 2500       | 2500       |
| Time step [s]                        | 0.00024414 | 0.00024414 |

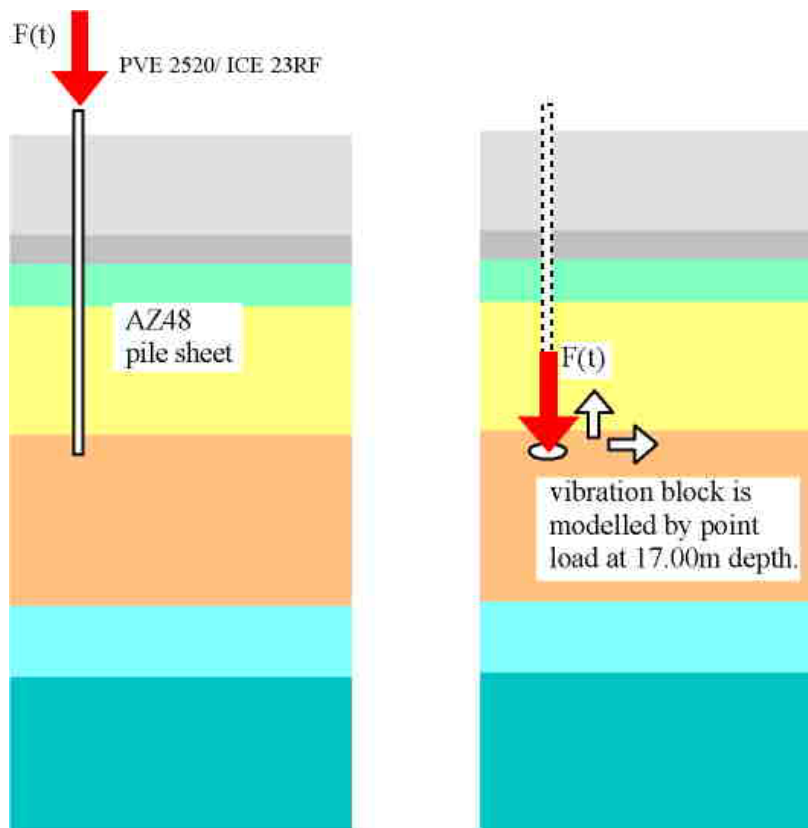


Figure 9

Additional soil properties are required for the load generation. We have used the following table

|       |                  |        |    |                                       |
|-------|------------------|--------|----|---------------------------------------|
| 4     | Number of layers |        |    |                                       |
| 7.00  | 0.4              | 0.008  | 6. | Distance layer bottom to soil surface |
| 9.00  | 6.2              | 0.031  | 6. | ...                                   |
| 12.00 | 10.5             | 0.0525 | 6. |                                       |
| 17.20 | 16.5             | 0.132  | 6. |                                       |

We performed the analysis using 1000 frequency steps of  $\Delta\Omega=0.5$  Hz , starting at  $\Omega=0.5$  . The location of the vibration load is given by the Cartesian ordinates  $x=-1.50$ ,  $y=2.40$  and  $z=-17.00$  m. The diameter of the load circle is 0.56 m. In underlying figures both the load in the time domain and in the frequency domain are shown.

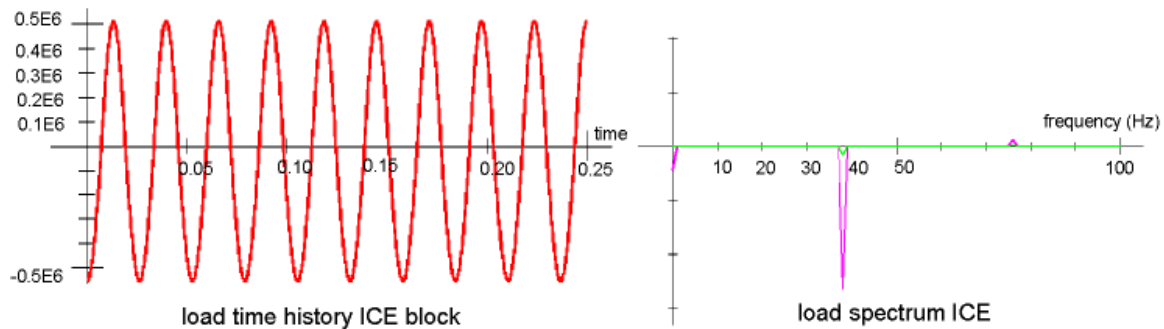


Figure 10

### Files

The input files are named ICExx.DAT for the ICE block and PVExx.DAT for the PVE block for the BODEM module and similar for the SOLVER. The input data for the sheet pile blocks are given in file ICE.DAT and PVE.DAT for the module TRIL.

### Results

To demonstrate the results the vertical velocities of node 6d are shown in figure 11 as function of time

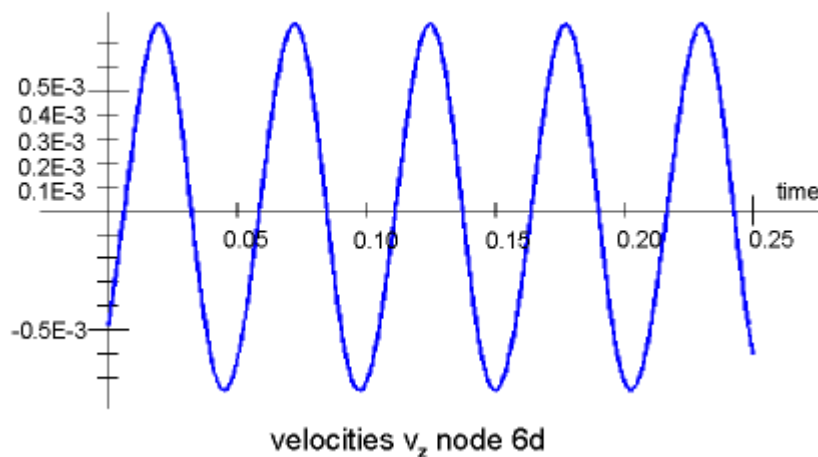


Figure 11

## 7 Truck crossing a threshold

The CUR/COB program TRLVOER models the load, generated by a truck passing a threshold, by an equivalent time dependent nodal force at the middle of the threshold. A 50 tons truck is modelled by a series of springs, dashpots and masses –see next figure-. This truck passes the threshold with uniform speed. Three different velocities have been considered, namely 10,20 and 30 km/hr.

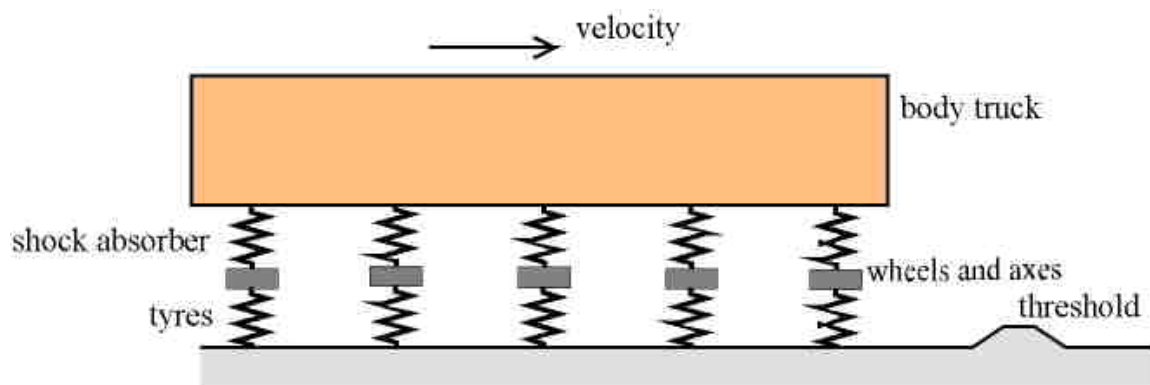


Figure 12 Model of truck moving across a threshold

Because the CUR/COB models are limited to maximum 3 axes we have to simplify the truck model. Given the load distribution with respect to time and the requested response the assumption can be justified that the interference of the response to the 5 wheel loads is very limited. For our analysis we can suffice with the consideration of the three front wheels only. This leads to the following model data.



Mass body 45250 kg  
 Moment of inertia 3.84E5 kgm  
 Length body 7.00 m

|                                      | Axis 1 | Axis 2 | Axis 3 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Position from fixed point [m]        | 0.75   | -0.75  | -2.18  |
| Mass axis + wheel [kg]               | 1250.  | 1250.  | 750.   |
| Spring stiffness shock absorber [Nm] | 5.E5   | 5.E5   | 1.5E5  |
| Damping shock absorber [Nsm]         | 20000  | 20000  | 10000  |
| Spring stiffness tyre [Nm]           | 2.E6   | 2.E6   | 1.E6   |
| Damping tyre [Nsm]                   | 20000  | 20000  | 10000  |

Stiffness and damping properties are the same for both tension and compression.

The dimensions of the threshold are given in underlying figure

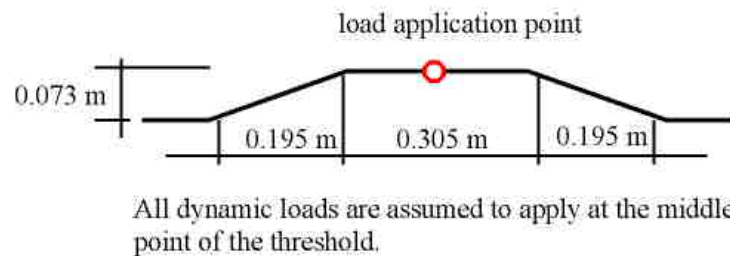


Figure 13

Based upon these model data a load history has been evaluated. Both the time history and the load frequencies are shown in the underlying figures

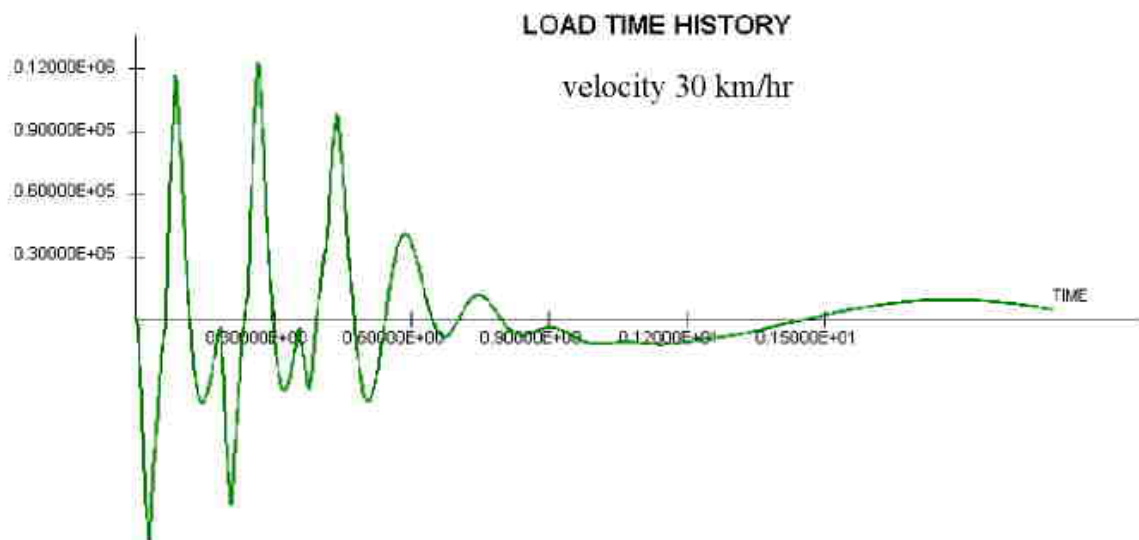


Figure 14

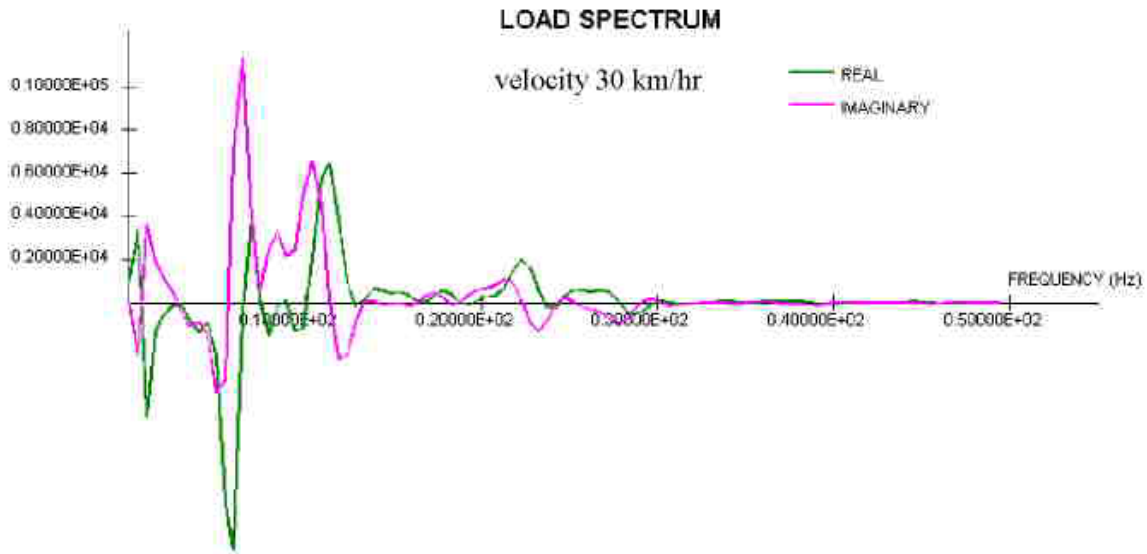


Figure 15

The location of the middle point of the threshold is given by the cartesian ordinates  $x=-30.00$ ,  $y=-27.00$  and  $z=0$ . m. The analysis has been performed with 500 frequency steps and a frequency increment of 0.5 Hz. The diameter of the load circle is 0.70 m.

### Results

In figure 16 the vertical velocities in node 6m are shown. The contribution of each wheel separately is still visible.

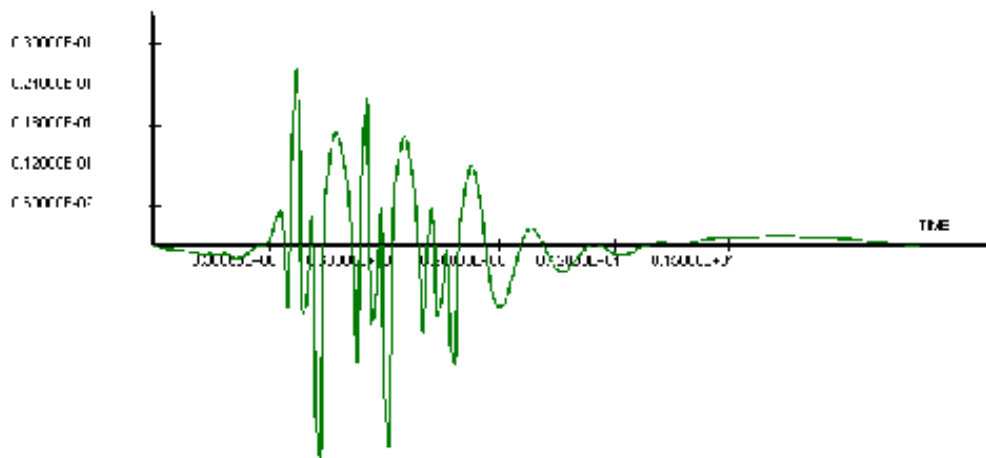


Figure 16 Vertical velocities at point 6m

### Input files

The input files for the BODEM module are named by VOERxx.DAT

The input files for the load generation in module VERKEER are given by VEH.DAT, DREMP10.DAT, DREMP20.DAT and DREMP30.DAT.

The input files in the solver for velocity  $c=10$  km/hr are named by DRE10-xx.FIL, DRE10-xx.DAT and DRE10. For  $c=20$  km/hr and  $c=30$  km/hr the files are named DRE20-xx.FIL etc.

## 8 Impulse load

Instead of the FWD test we have analysed the impulse load. The impulse load has been modelled by a triangular load shape with resulting impulse  $P=1$  Ns. We applied the periodic time history -see also figure 17-

| time       | $F_z$ |
|------------|-------|
| 0.         | 1024. |
| 1./1024    | 0.    |
| 2.-1./1024 | 0.    |
| 2.         | 1024. |

The load has been applied at  $x=-15$ ,  $y=0$ , and  $z=0$ . We performed the frequency analysis using 1000 steps and  $\Delta\Omega=0.5$  Hz.

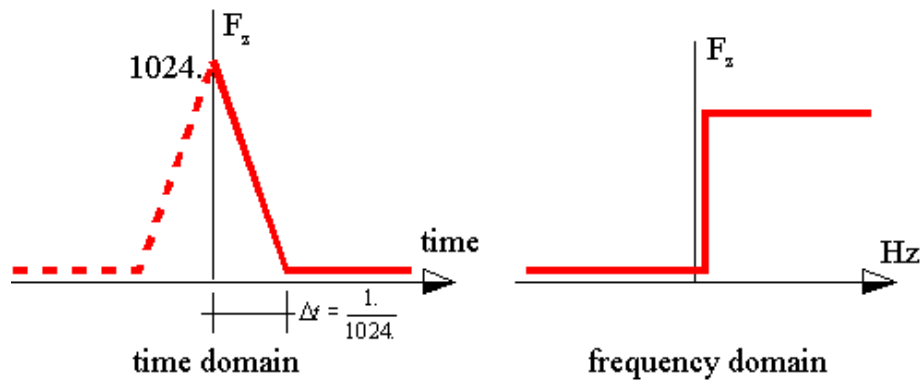


Figure 17

### Results

In figure 18 we show the vertical velocities for point 6m. It turns out that almost all energy travels along the surface of the halfspace.

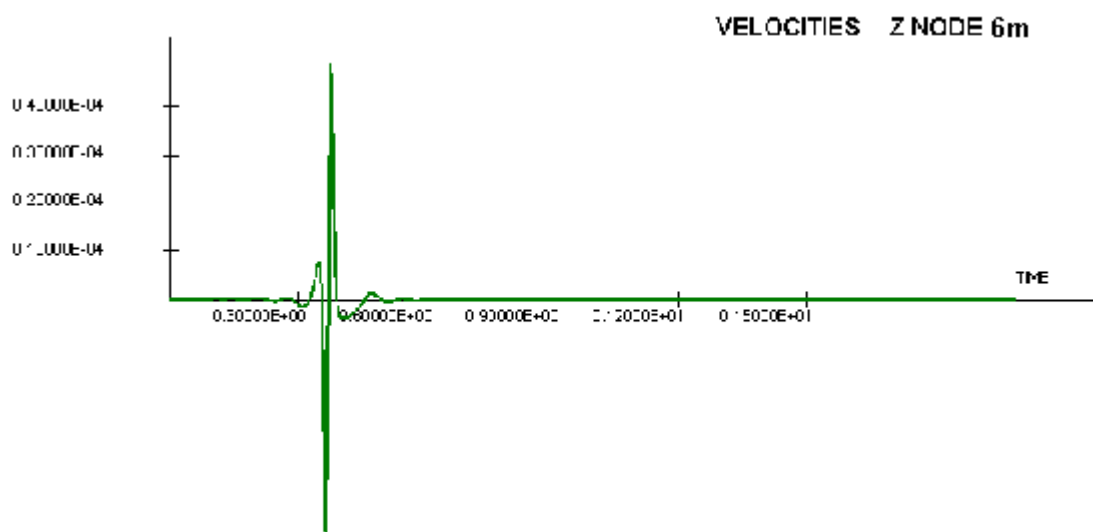


Figure 18

**Files**

The input files for the BODEM module are named FWDxx.DAT.

The input files for the impulse load is named IMPULS.

The input files for the SOLVER are named FWDxx.FIL, FWDxx.DAT and FWDxx (for the postprocessor).

## 9 References

- [1] P. Holscher, J.T.van der Poel, 'Module Bodem, Transmissie van golven door de bodem', Rapport CO-354780/120, Grondmechanica Delft, Delft, 1998
- [2] C.M.Steenhuis, P.C.van Staalduinen, 'Gebruikersinstructies COB L400 prognosemodel', Rapport 98-CON-RO977-3, TNO Bouw, Rijswijk, juli 1999
- [3] M.Th.J.H. Smits, 'Heiproces als trillingsbron', Rapport M-0419, Fugro ingenieursbureau b.v., Leidschendam, 1997
- [4] M.Th.J.H. Smits, J.D. Stoop, 'Trillen van funderingspalen en damwandelementen', Rapport M-0513, Fugro ingenieursbureau b.v., Leidschendam, 1997
- [5] A. Metrikine, A.W.M. Kok, 'Proposal for a redesign of the L400 BODEM module', Report 7-00-122-3, TU Delft, Subfaculty Civil Engineering, Section Railway Engineering, 2000
- [6] C.M.Steenhuis, P.C.van Staalduinen, W.M.G. Courage 'Dynamische belastingen door railverkeer t.b.v. het prognosemodel L400. Verticale belastingen, horizontale belastingen, dioscretet oneffenheden', Rapport 96-CON-RO844, TNO Bouw, Delft, 1996
- C.M.Steenhuis, P.H. Waarts, 'Prognosemodel L400, deelproject 5, bronmoduul wegverkeer', Rapport 97-CON-R1523, TNO Bouw, Delft, 1997
- P. Holscher, J.T.van der Poel, 'Module Bodem, Transmissie van golven door de bodem', Rapport CO-354780/120, Grondmechanica Delft, Delft, 1998
- C.M.Steenhuis, P.C.van Staalduinen, 'Gebruikersinstructies COB L400 prognosemodel', Rapport 97-CON-RO977-3, TNO Bouw, Rijswijk, juli 1999
- C.M.Steenhuis, P.C.van Staalduinen, 'Gebouwmodel L400', Rapport 98-CON-R0542-3, TNO Bouw, Delft, 1997
- M.Th.J.H. Smits, 'Heiproces als trillingsbron', Rapport M-0419, Fugro ingenieursbureau b.v., Leidschendam, 1997
- M.Th.J.H. Smits, J.D. Stoop, 'Trillen van funderingspalen en damwandelementen', Rapport M-0513, Fugro ingenieursbureau b.v., Leidschendam, 1997

## **10 Bijlage: Aanpassingen CUR/COB programma's**

Ten behoeve van het Delfts Cluster project 'Betrouwbaarheid trillingspredicties en reducerende maatregelen'

### **Voorwoord**

Binnen het kader van het DC project 'Betrouwbaarheid trillingspredicties' heeft de TU.Delft toegezegd de zogenaamde CUR/COB programma's, ontwikkeld binnen het L400 project, te zullen inzetten voor de analyse van een groot aantal situaties waarvoor metingen en berekeningen met elkaar kunnen worden vergeleken. Bij een functionele analyse van de geformuleerde probleemstellingen en een analyse van de geboden functionaliteiten van de CUR/COB programma's bleek al gauw dat deze programma's absoluut onvoldoende waren ontwikkeld om de gestelde problemen te kunnen oplossen. Omdat de inzet en het gebruik van de CUR/COB programma's als zeer waardevol worden geacht voor het DC project is er voor gekozen om aan de hand van de tijdens het DC project opkomende problemen de CUR/COB programma's al doende aan te passen en zo geschikt te maken voor de oplossing van de gestelde problemen. Deze opstelling heeft geleid tot allerlei programma-toevoegingen en wijzigingen waarvan hier verslag wordt gedaan.

## Inhoud

### **1. Aanvullingen Belastingopbouw**

- 1.1 De problemen
- 1.2 DOS programma's
- 1.3 Programma TRFFT.EXE
- 1.4 Eigen belastingfuncties
- 1.5 Graphische weergaven
- 1.6 INSERT commando

### **2. Het Bodemmoduul**

- 2.1 Vereenvoudigde invoer frequenties
- 2.2 Rayleigh demping
- 2.3 Diabolo's

### **3. Reconstructie Ruwheidsfiles**

- 3.1 De problemen
- 3.2 Implementatie procedure
- 3.3 Theorie

### **4. Postprocessing**

- 4.1 Overzicht
- 4.2 Programma POST.EXE

### **5. Diversen**

- 5.1 Gevonden en opgeloste fouten
- 5.2 Wegfundering
- 5.3 Programma SDOF.EXE
- 5.4 FFT: normering FFOUR.EXE

### **6. Programma-executie op DOS Niveau**

- 6.1 Opbouw impedantiematrices
- 6.2 Opbouw belastingen
- 6.3 Oplossen vergelijkingen
- 6.4 Postprocessing

## **1. Aanvullingen Belastingopbouw**

### **1.1 De problemen**

In de opgeleverde CUR/COB programma's worden de belastingen als functies van de tijd opgeleverd. De oplostechiek in de CUR/COB programma's is echter een frequentie-analyse zodat de tijdsafhankelijke belastingen alsnog moeten worden getransformeerd naar het frequentie-gebied. Voor dit doel is een FFT programma, geheten FFOUR.EXE beschikbaar.

Na uitvoering van deze transformatie moet de resulterende file worden ingevoegd in een file met stuurinformatie voor het rekenprogramma SOLVER.EXE. Deze invoeging en de executie van SOLVER.EXE zullen meestal ergens anders plaatsvinden

Al deze handelingen worden handmatig en als het ware in den blinde uitgevoerd en vormen daarmee alleen al wat betreft de hoeveelheid werk een flinke belemmering voor het uitvoeren van een groot aantal analyses. Daar komt bij dat voor de betrouwbaarheid van de uit te voeren berekeningen een visuele controle van de ingevoerde belasting wel een minimale vereiste is

### **1.2 DOS programma's**

Om de bovengenoemde problemen te verlichten zijn er voor de meeste modules, en in ieder geval voor alle belastingmodules, DOS programma's geschreven die alle genoemde taken in een enkele opdracht uitvoeren. Veelal worden deze DOS programma's opgeroepen door het commando (zie ook hoofdstuk 6):

RUN parameters(s)  
waartoe een programma RUN.BAT is geschreven dat de gewenste taken aanstuurt.  
In deze DOS-programma's worden de volgende taken aangestuurd:

- De FFT van een file in het tijdsdomein naar het frequentiedomein via het programma FFOUR.EXE
- De graphische weergave van het signaal zowel in het tijdsdomein als in het frequentiedomein via het nieuwe geschreven programma POST.EXE –zie ook par. 4.2-
- De invoeging van de frequentie-afhankelijke belastingfile in een ander bestand met behulp van het nieuwe geschreven programma INSERT.EXE –zie ook par. 1.6-

### **1.3 Programma TRFFT.EXE**

Een ingewikkelder situatie voor de afwikkeling op DOS niveau ontstaat als er een serie FFT's moet worden uitgevoerd. Dit probleem treedt op bij de simulatie van een rijdende trein door middel van een serie niet bewegende lasten op de rail. In dit geval worden de FFT's opgeroepen in het nieuw



geschreven programma TRFFT.EXE. In dit programma wordt opnieuw gebruik gemaakt van het met de CUR/COB meegeleverde programma FFOUR.EXE

### **1.4 Eigen belastingfuncties**

Bij de huidige CUR/COB programma's ontbreekt de mogelijkheid om een eigen belastingfunctie te kunnen introduceren. De eerste cases van het DC project vragen echter al om een analyse met een zelfgedefinieerde belastingfunctie. Een oplossing hiertoe is gevonden door de toevoeging van een extra optie in het nieuw geschreven programma POST.EXE –zie par. 4.3- Dit programma wordt opgeroepen in folder ..\SOLVER\USER met het DOS programma LOAD.BAT -zie ook hoofdstuk 6-. Het resultaat is, net zoals bij de overige belastingfiles, een file in het frequentiedomein die door de rekenroutine SOLVER.EXE kan worden verwerkt.

### **1.5 Graphische weergave**

Voor een controle van de ingevoerde belastingfunctie is een graphische afbeelding van zowel het tijdssignaal als het frequentiesignaal vaak bijzonder waardevol. Met behulp van het programma POST.EXE kan zowel het tijdssignaal als het frequentiesignaal op het scherm worden gebracht. In de RUN.BAT-programma's wordt dit bewerkstelligd door het commando

```
POST load TIME
voor het tijdssignaal en
POST load FREQ
voor het frequentiesignaal.
```

### **1.6 INSERT commando**

In de belastingmodulen worden frequentieafhankelijke belastingfiles aangemaakt. Voor de verdere verwerking in SOLVER.EXE moeten deze files handmatig worden ingevoegd in de aldaar te definiëren bestanden met stuurdata. Deze handmatige bewerking wordt overbodig door gebruik te maken van het nieuw geïntroduceerde INSERT commando. Specificeer in het bestand met stuurdata de regel

```
INSERT: file
```

en het bestand file (met de volledige PATH-naam aan te geven) wordt ter plekke gesubstitueerd. In de RUN.BAT programma's wordt het programma INSERT.EXE opgeroepen die zorgt voor de uitvoering van dit nieuwe commando.

Toepassingen zijn gevonden voor het invoegen van belastingfile bij de stuur-data voor het rekenprogramma en de ruwheidfiles voor de generatie van trein-belastingen -zie hoofdstuk 3-.

## 2. Het Bodemmoduul

### 2.1 Vereenvoudiging invoer frequenties

In de huidige versie van het BODEM moduul moeten alle frequenties, waarvoor een analyse wordt uitgevoerd, worden gespecificeerd. Dat is relatief veel werk en bovendien gevoelig voor fouten. In de praktijk, zoals die is toegepast bij de opbouw van de belastingfiles, is er altijd sprake van een groot aantal frequenties met een vast increment  $\Delta\omega$  en te beginnen op  $\omega=\Delta\omega$ . De invoer voor BODEM is daarom beperkt tot het aantal frequenties  $N$  en het frequentie-increment  $\Delta\omega$ .

### 2.2 Rayleighdamping

Voor een f.e.m. analyse wordt damping vaak gemodelleerd als zogenaamde Rayleighdamping, te schrijven als

$$\mathbf{C} = \alpha\mathbf{M} + \beta\mathbf{K}$$

met dempingsmatrix  $\mathbf{C}$ , massamatrix  $\mathbf{M}$  en stijfheidsmatrix  $\mathbf{K}$ . Vaak zijn er goede schattingen te maken de coëfficiënten  $\alpha$  en  $\beta$ .

Het probleem is nu de parameters  $\alpha$  en  $\beta$  van het Rayleighmodel te vertalen naar de dempingswaarde  $\zeta$  van het BODEM model. We zullen dit doen door de uitwerking van een 1D visco-elastisch trillingsprobleem.



Figuur 1

Voor een visco-elastisch materiaalmodel nemen we aan dat

$$\sigma = E\varepsilon + \Delta\tau E\dot{\varepsilon}$$

hetgeen leidt tot de bewegingsvergelijking

$$Eu_{,xx} + \Delta\tau E\dot{u}_{,xx} - \rho\ddot{u} = 0$$

Numeriek leidt dit tot de discrete bewegingsvergelijkingen

$$\mathbf{K}\mathbf{u} + \Delta\tau\mathbf{K}\dot{\mathbf{u}} - \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} = \mathbf{f}$$

Kennelijk is  $\beta=\Delta\tau$ .

Als belasting brengen we aan

$$F(t) = \hat{F}e^{i\omega t}$$

met als oplossing voor de DV

$$u(x,t) = \hat{u}e^{i\mu x}e^{i\omega t}$$

Substitutie hiervan in de DV levert de karakteristieke vergelijking

$$-E\mu^2 - i\omega\Delta\tau E\mu^2 + \rho\omega^2 = 0$$

Voor kleine waarden van  $\omega\Delta\tau$  vinden we na enige uitwerking

$$\mu = \frac{\omega}{c} - i \frac{\omega^2 \Delta\tau}{2c}$$

met

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

We vinden dus

$$u \approx \hat{u} e^{-\frac{\omega^2 \Delta\tau}{2c} x} e^{i\omega(t - \frac{x}{c})} = \hat{u} e^{-\zeta \frac{\omega x}{c}} e^{i\omega(t - \frac{x}{c})}$$

Kennelijk is

$$\zeta = \frac{\omega \Delta\tau}{2} = \frac{\omega \beta}{2}$$

Omdat het gekozen dempingsmodel wel goed voldoet voor lage frequenties, maar minder schijnt te voldoen voor hoge frequenties, wordt volstaan met deze benaderde oplossing.

Op soortgelijke wijze kan voor de parameter  $\alpha$  van de bijdrage van de massamatrix worden afgeleid dat  $\zeta = \frac{\alpha}{2\omega}$ . Het blijft echter moeilijk om aan de bijdragen  $\zeta = \text{constant}(= \zeta_0)$  en  $\zeta = \frac{\alpha}{2\omega}$  een eenvoudige fysische betekenis toe te kennen.

Deze uitbreiding van de dempingsmogelijkheden is in het BODEM moduul geïmplementeerd door de introductie van de twee nieuwe materiaalconstanten  $\alpha$  en  $\beta$ . Stellen we

$$\zeta = \zeta_0 + \frac{\alpha}{2\omega} + \frac{1}{2}\beta\omega$$

dan worden de 7 materiaalparameters ingevoerd in de volgorde

$$K, G, \rho, H, \zeta_0, \alpha, \beta$$

Dit wijkt dus af van de bestaande implementatie.

## 2.3 Diabolo's

### 2.3.1 De problemen

In het huidige BODEM moduul wordt de admittantiematrix opgebouwd door voor iedere knoop de relatie als bron naar alle andere knopen te analyseren. Voor ieder knopenpaar worden de impedantiematrices uitgerekend volgens

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{A}_{11}\mathbf{f}_1 + \mathbf{A}_{12}\mathbf{f}_2$$

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{A}_{21}\mathbf{f}_1 + \mathbf{A}_{22}\mathbf{f}_2$$

Voor de niet-diagonaal termen  $\mathbf{A}_{12}$  en  $\mathbf{A}_{21}$  levert dit een eenduidige relatie op in de admittantiematrix voor alle bodemknopen tezamen. Voor de diagonaaltermen  $\mathbf{A}_{11}$  en  $\mathbf{A}_{22}$  zijn er echter evenzoveel oplossingen als er knopen zijn; soms is een knoop bron, soms is een knoop ontvanger, soms wordt

geconstateerd dat deze knoop op een tunnelwand ligt, soms niet. Alleen de laatst gevonden oplossing wordt blijvend gehonoreerd.

Als een knoop op een interface met een constructie ligt dan worden de diabolotermen, en met name de straal van de contactcirkel, belangrijk. De grootte van de diabolotermen bepalen in hoge mate hoe groot de kracht is die de bodem op de constructie en de constructie op de bodem uitoefent. In principe moet het oppervlak van de diabolocirkel het contactoppervlak tussen bodem en constructie representeren. Eenduidigheid en flexibiliteit van deze data zijn daarom uiterst gewenst.

### 2.3.2 Oplossing

In de meest recente versie van het BODEM moduul wordt er voor de knopen geen onderscheid meer gemaakt tussen bronnen en ontvangers. Het is daarom inconsequent om dit onderscheid nog wel te maken bij de berekening van de bijdrage aan de diagonaaltermen in de twee-punten admittantiematrix; dit leidt tot de bovengenoemde problemen. De gekozen oplossing is om de berekening van de diagonaalbijdragen buiten de procedure voor het twee-punten model te brengen (het huidige programma YSOIL) en deze bijdrage apart en per knoop op te stellen. De implementatie is uitgevoerd door de programma's BODEM.C en YSOIL.FOR samen te voegen en te reorganiseren in een nieuw programma BODEM.FOR. Van de eindgebruiker wordt nu verwacht dat deze per knoop een representatief contactvlak weet te definiëren. Naast de knoopcoördinaten zal hij nu per knoop  $k$  de straal  $R_k$  moeten invoeren volgens:

*READNODES*

:

$k \ x_k \ y_k \ z_k \ R_k$

:

De overige invoerdata worden niet gewijzigd, ook niet de bij diabolodata in te voeren straal voor bron en ontvanger; deze data worden gewoon volledig genegeerd.

### 3. Reconstructie Ruwheidsfiles

#### 3.1 De problemen

In de opgeleverde versies van de ruwheidsfiles kunnen slechts twee profielen bij een snelheid van 100 km/uur en 140 km/uur met slechts een enkele keuze van de tijdstap  $\Delta t$  worden gebruikt. Nog storender is dat de gegevens voor verplaatsingen, snelheden en versnellingen onderling tegenstrijdig lijken te zijn. Voor horizontaal railprofiel en verticaal railprofiel worden wel dezelfde versnellingen gegeven maar zijn verplaatsing en snelheid volledig verschillend. Dit zijn in feite onbruikbare beperkingen. Voor een flexibele toepassing van ruwheidsfiles is het gewenst om uit te kunnen gaan van een equidistant geformuleerd railoppervlak en vandaar uit de gewenste files met verplaatsingen, snelheden en versnellingen bij iedere gewenste snelheid en voor iedere gewenste tijdstap  $\Delta t$  te kunnen afleiden. Voor de ontwikkeling van een daartoe geschikte procedure is verondersteld dat de geleverde versnellingen, die veelal rechtstreeks zijn gemeten, wel betrouwbaar zijn.

#### 3.2 Implementatie procedure

Als eerste stap wordt uit de bestaande L400 files (RLNA140.INP enz.) op basis van de versnellingen een reconstructie gemaakt van het railoppervlak. Daartoe is het programma REDUCE .EXE ontwikkeld dat als volgt wordt aangeroepen

REDUCE input output velocity dt lmax

waarbij

- input            Input file met gegevens uit de geleverde L400 ruwheidsfiles. In deze file mogen alleen nog de verplaatsingen, snelheden en versnellingen voorkomen
- output           Output file (max. 8 characters). Naam file voor ruwheid rail-oppervlak. Het horizontale profiel wordt opgeslagen als output.HOR en het verticale profiel wordt opgeslagen als output.VER
- velocity        Snelheid trein in km/uur.
- dt                Tijdstap  $\Delta t$
- lmax            De maximale golflengte van het railoppervlak dat nog in rekening wordt gebracht.

Bedenk het volgende: De bestaande L400 input files bestaan uit  $2^N$  regels. Bij de tijdstap  $\Delta t$  is de

totale tijd  $T=2^N \Delta t$  en is het frequentie-increment  $\Delta \omega = \frac{1}{T}$  (Hz).

De lengte L van het bemeeten proefstuk is dus  $L=T \times \text{velocity}$ .

De output files output.VER en output.HOR zullen als input dienen voor de tweede (re)constructiefase.

De tweede fase gaat uit van de ruwheidsfiles input.VER en input.HOR (de output files van de eerste fase). Uit deze ruwheidsfiles wordt een gedeelte geselecteerd en bruikbaar worden gemaakt voor verdere bewerking tot geschikte belastingfiles in het CUR/COB model. Dit wordt nu mogelijk voor nog vrij te kiezen snelheid en vrij te kiezen increment voor de frequenties. Voor dit doel is het programma BUILD.EXE ontwikkeld.

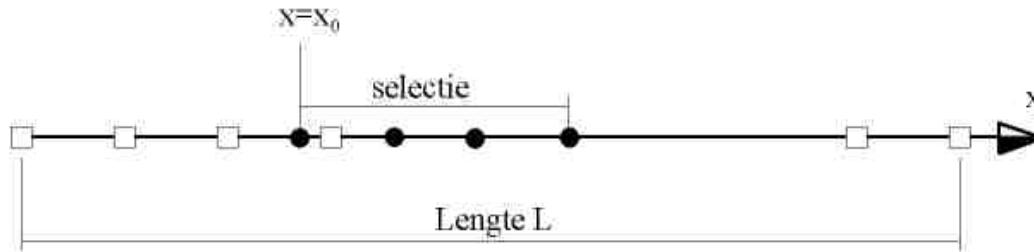
Dit programma wordt als volgt opgeroepen

BUILD input output

waarbij

- input    File railoppervlak uit eerste fase. Verwezen wordt naar de files input.VER en input.HOR
- output   Een viertal output files met de namen
  - output        De file die in de volgende stap via INSERT wordt opgenomen in de file met stuurdata voor verdere verwerking tot belastingfiles.
  - output.DIS    Verplaatsingen als functie van de tijd
  - output.VEL    Snelheden als functie van de tijd

output.ACC      Versnellingen als functie van de tijd  
 Door middel van de file output.DAT worden de volgende data aangeleverd  
 $X_0$       Startplaats in file input.VER en input.HOR van waaruit de selectie plaats vindt.  
 $n_{freq}$       Aantal frequenties dat minimaal wordt vereist.  
 $\Delta\omega$       Increment frequenties  
 $C$       Snelheid trein in km/uur



Figuur 2

Voor gegeven input data geldt:

$$n_{fr} = 2 * N \quad \text{met } n_{fr} \geq n_{freq}$$

$$n_{tim} = 2n_{fr}$$

$$\Delta x_{selectie} = \frac{C}{n_{tim} \Delta \omega}$$

### 3.2 Theorie

Voor de eerste fase worden eerst de versnellingen geïsoleerd. Vervolgens worden deze naar het frequentiedomein getransformeerd. Uit dat signaal worden op grond van de maximaal toelaatbare golflengten de vaak ongewenste lage frequenties verwijderd. Vervolgens worden in het frequentiedomein de verplaatsingen berekend uit de versnellingen en daarna teruggetransformeerd. Bij gegeven snelheid van de trein kunnen deze als functie van  $x$  worden opgeslagen in de railoppervlakte file.

Voor de tweede fase worden de input verplaatsingen getransformeerd naar het frequentiedomein. Vervolgens worden de verplaatsingen voor de punten in de selectie uitgerekend. Deze verplaatsingen in de selectie worden op hun beurt getransformeerd naar het frequentiedomein. Nu worden ook de snelheden en de versnellingen in het frequentiedomein berekend. Tenslotte worden snelheden en versnellingen teruggetransformeerd naar het tijdsdomein en in de gewenste files opgeslagen.

Op deze wijze kan voor iedere snelheid en iedere frequentieverdeling een ruwheidfile worden opgebouwd.

## 4. Postprocessing

### 4.1 Overzicht

In de huidige CUR/COB programma's is, mild gezegd, weinig geregeld voor de verdere verwerking – postprocessing- van de berekende resultaten. Anticiperend op de geformuleerde vragen in het DC project zijn de volgende opties ontwikkeld

- de aanmaak van ASCII files met per knoop de resultaten voor verplaatsingen, snelheden en versnellingen zowel als functie van tijd als van frequenties
- de organisatie van een overzichtelijke print uitvoer
- de graphische representatie van verplaatsingen, snelheden en versnellingen zowel als functie van tijd als van frequenties

Deze opties zijn ondergebracht in het nieuw ontwikkelde programma POST.EXE -zie par.4.2-. Dit programma kan worden geactiveerd vanuit het DOS programma POST.BAT in folder ..\SOLVER\USER

### 4.2 Programma POST.EXE

In het DOS programma POST.BAT wordt de executable POST.EXE door de opdracht

POST project  
waarbij project een filenaam is met maximaal 8 characters en zich bevindt in folder ..\SOLVER\USER. In de file project staan de gewenste postprocess opdrachten. Daarnaast zijn in POST.EXE ook de faciliteiten opgenomen voor het definiëren van een eigen belastingfile en de mogelijkheid tot graphische weergave van standaard belastingfiles. We zullen deze mogelijkheden achtereenvolgens bespreken.

POST 'Header van maximaal 64 characters'  
Het commando POST initieert enige data.

PARAMETERS NFREQ=n DFREQ=v (NODES=list)

Hierbij is

n = aantal frequenties in de analyse

v = increment  $\Delta\omega$

Als NODES=list wordt gegeven dan is list de serie knopen waarvoor verdere postprocessing wordt verwacht.

list =  $i_1, i_2, i_3, \dots$

of

list =  $i_1$  to  $i_2$

Door een NODES=list op te geven worden de voor deze knopen als functie van de frequenties beschikbare resultaten getransformeerd naar het tijdsdomein. Daardoor zijn de resultaten zowel als functie van de tijd als van de frequenties beschikbaar. Voor de FFTs wordt gebruik gemaakt van de programma's uit de IMSL bibliotheek van de VISUAL FORTRAN compiler.

PLOT  $\begin{bmatrix} \text{DISPLACEMENT} \\ \text{VELOCITY} \\ \text{ACCELERATION} \end{bmatrix}$  (X) (Y) (Z)  $\begin{bmatrix} \text{TIME} \\ \text{FREQ} \end{bmatrix}$  NODE=n MAX=v

Bovenstaande schrijfwijze houdt in dat er een keus moet worden gemaakt uit de mogelijkheden tussen de rechte haken, dus of DISPLACEMENT of VELOCITY of ACCELERATION. De keuze tussen ronde haakjes is wel of niet. Men mag kiezen voor en X en Y en Z maar ook voor alleen X of Y of Z. Het resultaat wordt geplott als functie van de tijd of de frequenties. De uitvoer is voor knoop n, de te plotten functie wordt begrensd tot  $t=v$  of  $\omega=v$ .

ASCII 'a'  $\begin{bmatrix} \text{DISPLACEMENT} \\ \text{VELOCITY} \\ \text{ACCELERATION} \end{bmatrix}$  (X) (Y) (Z)  $\begin{bmatrix} \text{TIME} \\ \text{FREQ} \end{bmatrix}$  NODE=n

De betekenis van de parameters is dezelfde als bij het PLOT commando. De resultaten worden echter weggezet in folder `..\SOLVER\DATA` in een ASCII file met de naam a (max. 8 characters).

LIST  $\begin{bmatrix} \text{COMPLEX} \\ \text{AMPLITUDE} \end{bmatrix}$

Voor alle in PARAMETERS genoemde knopen worden de snelheden als functies van de frequenties op overzichtelijke wijze weggezet in file project.OUT in folder `..\SOLVER\DATA`. Deze snelheden worden dan of complex of alleen door middel van de amplitude weergegeven.

## DEFINE TIME HISTORY

$t_1$   $v_1$   
 $t_2$   $v_2$   
 $t_3$   $v_3$   
 $\vdots$

Door middel van een simpele tabel, af te sluiten met een \*, wordt een stapsgewijs lineaire tijdsafhankelijke functie gedefinieerd. Met behulp van de gegevens uit het PARAMETER commando worden de functiewaarden voor de gewenste serie tijdstippen lineair geïnterpoleerd en opgeslagen in file project.HIS in folder `..\SOLVER\DATA`. Een FFT legt verder het resultaat vast als functie van de frequenties in file project.SPC in folder `..\SOLVER\DATA`.

## FINISH

De file wordt afgesloten met het commando FINISH

### 4.2.1 Voorbeelden

Een commandofile voor de postprocessing van het project OEFEN kan er als volgt uitzien

#### 4.2.2. POST 'oefening met POST'

```
PARAMETERS NFREQ=512 DFREQ=0.5 NODES=1 TO 5
PLOT DISPLACEMENTS X Z TIME NODE=3
PLOT ACCELERATION Z TIME NODE=2
```



```
ASCII FILE 'AAP' VELOCITIES X Y Z  FREQ  NODES=5
LIST AMPLITUDE
FINISH
```

Deze file wordt opgeroepen en geprocesst door de opdracht

```
POST OEFEN
```

te geven vanuit folder ..\SOLVER\PROGRAMS. Deze opdracht is te vinden in het DOS programma POST.BAT in folder ..\SOLVER\USER.

Een voorbeeld voor het genereren van een eigen belastingfile wordt gegeven in file DREMPEL.

#### **4.2.3 POST 'Drempelvormige last'**

```
PARAMETERS NFREQ=1024 DFREQ=2.00
DEFINE TIME HISTORY
0.0000000 0.
0.0033333 1.E7
0.0066667 1.E7
0.0100000 0.
```

Deze file is op te roepen met de opdracht

```
POST DREMPEL
```

vanuit folder ..\SOLVER\PROGRAMS. De opdracht daartoe wordt gegeven in het DOS programma LOAD.BAT dat op de naam na identiek is aan POST.BAT. Het resultaat zijn de belastingfiles DREMPELS, PC en DREMPEL.HIS in folder ..\SOLVER\DATA.

Zowel de file OEFEN als DREMPEL moeten zich in folder ..\SOLVER\USER bevinden.

Zonder gebruik te maken van de commandofile project kunnen belastingfiles direct zichtbaar worden gemaakt met POST.EXE door een tweede parameter te gebruiken. Voor een tijdsafhankelijke belasting roepen we op

```
POST load TIME
```

en voor een frequentieafhankelijke belasting roepen we op

```
POST load FREQ
```

In beide gevallen verschijnt dan een plaatje van de belastingfiles op het scherm.

In deze gevallen bevindt load zich in folder ..\SOLVER\DATA waarbij load max. 8 characters lang is.

## 5. Diversen

### 5.1 Gevonden fouten

Diverse fouten en oplossingen zijn in de voorgaande hoofdstukken beschreven zoals de ruwheidfiles bij de treinverkeersbelastingen, de diabolotermen bij het BODEM moduul. Een nogal storende bevinding was dat het heiprogramma TRLHEI.EXE nooit was afgemaakt. De belastingfile leverde slechts nullen op! Overigens, de meeste programma's laten in het commentaar veel meer voornemens zien dan dat er is gerealiseerd. Kleinere fouten die betrekking hebben op de data-organisatie in de C-taal zijn gevonden in de meeste programma's. In hoeverre deze kritisch zijn zal vermoedelijk afhangen C-compiler en WINDOWS-versie. In de gebruikte omgeving was het kritisch!

In het BODEM moduul werd een fout gevonden in de wegzetting van de tweepunts admittantiematrix in de admittantiematrix voor alle bodemknopen tezamen. Deze fout werd weer gecorrigeerd door een andere ogenschijnlijk volledig onzinnige stap in het YSOIL programma. Beide fouten hieven elkaar op.

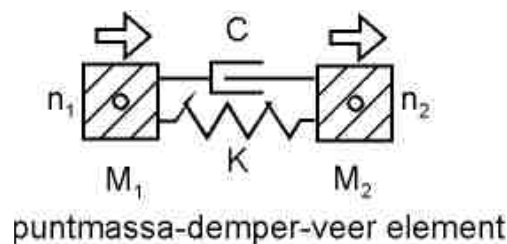
Een andere fout werd gevonden in de berekening van de valsnelheid bij het heiblok. Alle waargenomen fouten zijn inmiddels gecorrigeerd.

### 5.2 Wegfundering

In de CUR/COB programma's wordt de impedantiematrix van een drietal wegconstructies meegeleverd. Deze impedantiematrices zijn gebaseerd op axiaalsymmetrische elementen waardoor er een verband wordt gelegd tussen snelheden en ringvormige belastingen. De overige impedantiematrices in de CUR/COB programma's leggen een verband tussen snelheden en puntlasten en zijn dus absoluut niet consistent met de impedanties van de wegfundering. Het lijkt daarom het verstandigste om deze bijdrage te verwijderen uit de CUR/COB programma's.

### 5.3 Programma SDOF.EXE

Voor testdoeleinden en eenvoudige constructies is een model bestaande uit puntmassa's, veren en dempers vaak voldoende.



*Figuur 3*

Het programma SDOF.EXE berekent de impedantiematrix voor zulke 'elementen'. Het programma is op dezelfde wijze georganiseerd als het programma POST.EXE. We zullen de opties van SDOF hier kort bespreken.

SDOF 'Header max. 64 characters'

Dit is het eerste commando van de file met SDOF data.

FREQUENCIES NFREQ=n DFREQ=v

Het aantal frequenties n en frequentie-increment  $\Delta\omega=v$  worden gegeven. Er zullen evenzovele impedantiematrices worden opgesteld.

INCIDENCES NODE=n<sub>1</sub> TO NODE=n<sub>2</sub>

Aangegeven wordt tussen welke knopen het element wordt ingevoegd.

STIFFNESS PROPERTIES (KFX=v<sub>1</sub>) (KFY=v<sub>2</sub>) (KFZ=v<sub>3</sub>)

De veerstijftheden, eventueel in drie richtingen, worden ingevoerd.

DAMPING PROPERTIES (CFX=v<sub>1</sub>) (CFY=v<sub>2</sub>) (CFZ=v<sub>3</sub>)

De dempingswaarden, eventueel in drie richtingen, worden ingevoerd.

MASS PROPERTIES (M1= v<sub>1</sub>) (M2= v<sub>2</sub>)

De massa-eigenschappen worden gegeven.

COMPUTE IMPEDANCE MATRIX

Na invoering van de voorgaande data worden de impedantiematrices opgesteld.

FINISH

Sluit de commandofile af.

### 5.3.1 Voorbeeld

In folder ..\SDOF\PROGRAMS wordt het programma SDOF.EXE opgeroepen met de opdracht

SDOF ELEMENT

waarbij een file ELEMENT is gedefinieerd in ..\SDOF\USER met de volgende inhoud

### 5.3.2 SDOF 'Element als header'

FREQUENCIES NFREQ=500 DFREQ=0.4

INCIDENCES NODE=3 TO NODE=4

STIFFNESS PROPERTIES KFX=1.E7 KFZ=3.E8

DAMPING PROPERTIES CFX=2000. CFZ=40000.

MASS PROPERTIES M1=200. M2=500.

COMPUTE IMPEDANCE MATRIX

FINISH

De executie van SDOF.EXE resulteert in de impedantiematrices in file ELEMENT.IMP in folder ..\SDOF\DATA. In een volgende stap, in de SOLVER, kunnen deze impedantiematrices worden opgehaald in bovenstaande folder.

### 5.3.3 Voorbeeld

In folder ..\SDOF\PROGRAMS wordt het programma SDOF.EXE opgeroepen door de opdracht

SDOF ELEMENT

Waarbij een file ELEMENT is gedefinieerd in folder ..\SDOF\USER met de volgende inhoud

SDOF 'Een voorbeeld met SDOF'

FREQUENCIES NFREQ=500 DFREQ=0.2

```

INCIDENCES NODE=3 TO NODE=4
STIFFNESS PROPERTIES KFX=1.E7 KFZ=3.E8
DAMPING PROPERTIES CFX=2000. CFZ=4000.
MASS PROPERTIES M1=200. M2=500.
COMPUTE IMPEDIENCE MATRIX
FINISH

```

De executie van SDOF.EXE resulteert in de berekening van impedantiematrices opgeslagen in ELEMENT.IMP in folder ..\SDOFF\DATA. In een volgende stap, in de SOLVER, kunnen deze impedantiematrices worden opgehaald uit boven-staande folder.

#### 5.4 FFT: normering FFOUR.EXE

Met de FFT wordt een transformatie van het tijdsdomein naar het frequentie-domein uitgevoerd en omgekeerd. De transformatie luidt formeel

$$F(\omega) = \int_0^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) dt$$

waarbij  $F(\omega)$  gewoonlijk complex is.

In de regel wordt deze transformatie numeriek uitgevoerd op equidistante discrete waarden van  $f(\omega)$ . We zullen dan een relatie uitvoeren volgens

$$F_k = \sum_j c_{kj} f_j \Delta t \quad \text{met complexe } c_{kj}$$

Veelal zal het tijdsincrement  $\Delta t$  niet worden meegenomen in de numerieke procedure zodat voor een correcte transformatie we deze term zelf in de normering moeten verwerken.

Nu is voor een FFT, uitgevoerd voor een eindig interval  $0 \leq t < T$

$$T = N_{tim} \Delta t \quad \text{met } N_{tim} = 2^{**} N$$

$$\Delta \omega = \frac{1}{T}$$

dus

$$\Delta t = \frac{1}{N_{tim} \Delta \omega}$$

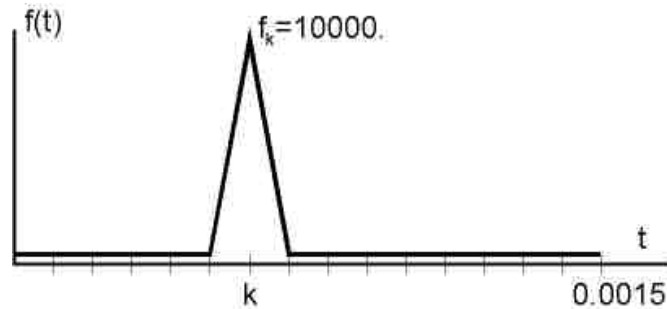
hetgeen de correcte normeringsnorm is.

Om redenen die de auteur tot nu toe ontgaan wordt in de CUR/COB programma's genormeerd met

$$\lambda = \frac{1}{N_{tim} \sqrt{\Delta \omega}}$$

##### 5.4.1 Voorbeeld

Als testvoorbeeld bekijken we een spikevormige belasting met  $f_k=10000$  die wordt vastgelegd door  $N_{tim}=16$  tijdstappen  $\Delta t=0.0001$ . Bij deze waarden vinden we een frequentie-increment  $\Delta \omega=625$ .



Figuur 4

De impuls van deze belasting is  $P=1$ . Theoretisch mogen we dus verwachten dat  $|F(\omega)|=1$ . Een berekening met FFOUR.EXE geeft echter  $|F(\omega)|=25$ , dus een factor  $\sqrt{\Delta\omega}$  verschillend. Andere voorbeelden leveren dezelfde factor op.

## 6. Programma-executie op DOS Niveau

In het voorgaande is de samenhang tussen verschillende rekenfasen en de samenvoeging in de eindberekening op DOS-niveau gerealiseerd door de toevoeging van allerlei interface-programma's. Hierdoor kan een gebruiker op DOS niveau op redelijk eenvoudige wijze alle beoogde faciliteiten van de huidige CUR/COB programma's bereiken.

Voor een DOS-gebruiker ziet de samenhang er als volgt uit:

### 6.1 Opbouw impedantiematrices

|                                     | In folder        |
|-------------------------------------|------------------|
| <b>BODEM</b>                        |                  |
| RUN example <sub>1</sub>            | \BODEM\USER      |
| genereert impedantie bodem          |                  |
| Input: example <sub>1</sub> .dat    | \BODEM\USER      |
| Output: example <sub>1</sub> .imp   | \BODEM\DATA      |
| <b>STRUCTURES</b>                   |                  |
| RUN struct                          | \STRUCT\USER     |
| haalt klaarliggende superelement op |                  |
| en reduceert de impedantiematrix    |                  |
| Input: struct.dat                   | \STRUCT\USER     |
| struct.sub                          | \STRUCT\PROGRAMS |
| Output: struct.imp                  | \STRUCT\DATA     |

#### 6.1.1 PALEN

|                                         |                    |
|-----------------------------------------|--------------------|
| <b>RUN zmatl</b>                        | <b>\PALEN\USER</b> |
| haalt voorbereide impedantiematrices op |                    |
| en reduceert deze                       |                    |
| Input: zmatl.dat                        | \PALEN\USER        |
| zmatl.uit                               | \PALEN\PROGRAMS    |
| Output: zmatl.imp                       | \PALEN\DATA        |

**6.1.2 SDOF**

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| RUN example <sub>2</sub>                | \SDOF\USER |
| genereert impedantie massa-veer systeem |            |
| Input: example <sub>2</sub>             | \SDOF\USER |
| Output: example <sub>2</sub> .imp       | \SDOF\DATA |

**6.2 Opbouw belastingen****6.2.1 In folder****6.2.2 HEIEN**

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| RUN example <sub>5</sub>          | \HEIEN\USER |
| genereert belastingspectrum       |             |
| Input: example <sub>5</sub> .dat  | \HEIEN\USER |
| Output: example <sub>5</sub> .out | \HEIEN\DATA |

**6.2.3 TRILLEN**

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| RUN example <sub>6</sub> bodem    | \TRIL\USER |
| genereert belastingspectrum       |            |
| Input: example <sub>6</sub> .dat  | \TRIL\USER |
| bodem.dat                         | \TRIL\USER |
| Output: example <sub>6</sub> .out | \TRIL\DATA |

**6.2.4 TRAIN**

|                                                 |             |
|-------------------------------------------------|-------------|
| BUILD input output                              | \TRAIN\USER |
| genereert ruwheidsdata voor opname in track.dat |             |

**6.2.5 Input: input.HOR****\TRAIN\PROGRAMS****6.2.6 Input.VER****\TRAIN\PROGRAMS**

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| output.dat     | \TRAIN\USER     |
| Output: output | \TRAIN\PROGRAMS |
| output.DIS     | \TRAIN\DATA     |
| output.VEL     | \TRAIN\DATA     |
| output.ACC     | \TRAIN\DATA     |

|                                               |                |
|-----------------------------------------------|----------------|
| RUN train track                               | \TRAIN\USER    |
| genereert serie belastingspectra voor         |                |
| meerdere punten voor gespecificeerd treintype |                |
| Input: train.dat                              | \TRAIN\USER    |
| track.dat                                     | \TRIL\PROGRAMS |
| Output: train.h0,train.v0                     | \TRAIN\DATA    |
| train.h1,train.v1                             |                |
| :                                             | :              |

|                                          |             |
|------------------------------------------|-------------|
| SHOW train.h0                            | \TRAIN\USER |
| toont belastingspectrum en tijdshistorie |             |

**6.2.7 VERKEER**

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| RUN vehicle road                | \VERKEER\USER |
| genereert een belastingspectrum |               |
| Input: vehicle .dat             | \VERKEER\USER |
| road.dat                        | \VERKEER\USER |

Output: road.out \VERKEER\DATA

## 6.2.8 In folder

### 6.2.9 EIGEN BELASTING

LOAD eigen \SOLVER\USER  
 genereert spectral load voor stapsgewijs  
 lineair ingevoerd tijdsignaal  
 Input: eigen \SOLVER\USER  
 Output: eigen.HIS \SOLVER\DATA  
 eigen.SPC \SOLVER\DATA

## 6.3 Oplossen vergelijkingen

### 6.3.1 SOLVER

RUN example4 \SOLVER\USER  
 lost stelsels vergelijkingen op  
 Input: example4.dat \SOLVER\USER  
 example4.fil \SOLVER\USER  
 Output: example4.blk \SOLVER\DATA

## 6.4 Postprocessing

### POST

POST example4 \SOLVER\USER  
 doet wat postprocessing  
 Input: example4.pos \SOLVER\USER  
 Output: example4.out \SOLVER\DATA  
 ASCII files resultaten \SOLVER\DATA

### INTERPRETATIES

SBR1 ex1 ascii \INTER\USER  
 nabewerkingen voor respons in gebouwen  
 Input: ex1.dat \INTER\USER  
 ascii \INTER\USER  
 Output: ex1.out \INTER\DATA  
  
 SBR2 ex2 ascii \INTER\USER  
 nabewerkingen voor respons in gebouwen

#### 6.4.1 Input: ex2.dat

ascii \INTER\USER  
 Output: ex2.out \INTER\DATA

ONZEKER ex3 \INTER\USER  
 Input: ex3.dat \INTER\USER  
 Output: ex3.out \INTER\DATA

## General Appendix: Delft Cluster Research Programme Information

This publication is a result of the Delft Cluster research-program 1999-2002 (ICES-KIS-II), that consists of 7 research themes:

- Soil and structures, ► Risks due to flooding, ► Coast and river , ► Urban infrastructure,
- Subsurface management, ► Integrated water resources management, ► Knowledge management.

This publication is part of:

|                                 |   |                                                          |   |            |
|---------------------------------|---|----------------------------------------------------------|---|------------|
| Research Theme                  | : | Soil and structures                                      |   |            |
| Baseproject name                | : | Environmental impact of underground construction         |   |            |
| Project name                    | : | Reliability of vibration prognosis and reducing measures |   |            |
| Projectleader/Institute         |   | Dr. Ir. P.H. Waarts                                      |   | TNO Bouw   |
| Project number                  | : | 01.05.02                                                 |   |            |
| Projectduration                 | : | 01-03-2000                                               | - | 31.06.2003 |
| Financial sponsor(s)            | : | Delft Cluster                                            |   |            |
|                                 |   | TNO Bouw                                                 |   |            |
|                                 |   | GeoDelft                                                 |   |            |
|                                 |   | TUDelft                                                  |   |            |
|                                 |   | Holland Railconsult                                      |   |            |
|                                 |   | Projectorganisatie HSL-Zuid                              |   |            |
| Projectparticipants             | : | TNO Bouw                                                 |   |            |
|                                 |   | GeoDelft                                                 |   |            |
|                                 |   | TUDelft                                                  |   |            |
|                                 |   | Holland Railconsult                                      |   |            |
| Total Project-budget            | : | € 588.000                                                |   |            |
|                                 |   |                                                          |   |            |
| Number of involved PhD-students | : | 0                                                        |   |            |
| Number of involved PostDocs     | : | 0                                                        |   |            |

Delft Cluster is an open knowledge network of five Delft-based institutes for long-term fundamental strategic research focussed on the sustainable development of densely populated delta areas.



Keverling Buismanweg 4  
Postbus 69  
2600 AB Delft  
The Netherlands

Tel: +31-15-269 37 93  
Fax: +31-15-269 37 99  
info@delftcluster.nl  
[www.delftcluster.nl](http://www.delftcluster.nl)



**Theme Managementteam: Ground and Construction**

| <b>Name</b>                   | <b>Organisation</b>             |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Prof. Dr. Ir. P. van den Berg | GeoDelft                        |
| Prof. Dr. Ir. J. Rots         | TNO Building & Constr. Research |
|                               |                                 |

**Projectgroup**

During the execution of the project the researchteam included:

| <b>Name</b>           | <b>Organisation</b>            |
|-----------------------|--------------------------------|
| 1 Dr. Ir. P.H. Waarts | TNO Bouw                       |
| 2 Dr. Ir. P. Hölscher | GeoDelft                       |
| 3 Dr. Ir. A.W.M. Kok  | Delft University of Technology |
| 4 Dr. Ir. H. Stuit    | Holland Railconsult            |

**Other Involved personnel**

The realisation of this report involved:

| <b>Name</b>        | <b>Organisation</b>            |
|--------------------|--------------------------------|
| Dr. Ir. A.W.M. Kok | Delft University of Technology |
|                    |                                |
|                    |                                |
|                    |                                |