

Ontwikkeling deelplan 7 en 9 Berckelbosch in Eindhoven

**Onderzoek trillingbeperking persen bij DAF
in de appartementen en woningen**

CONCEPT

Opdrachtgever

Ballast Nedam Ontwikkelingsmaatschappij BV

Contactpersoon

de heer M.F. Blom

Kenmerk

R058949ab.2246P10.go

Versie

03_003

Datum

5 oktober2022

Auteur

J. (Jan) Keijzer

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Ballast Nedam Development gaat woningen bouwen in deelplan 7 en 9	4
1.1.2	Aanpak in deze rapportage.....	4
1.1.3	Andere deelgebieden	4
1.1.4	Verantwoording rapportage	4
2.1.3	De afstand van de pers naar de woningen c.q. appartementen	7
2.2	De te hanteren trillingrichtlijn.....	7
2.2.1	Voorschriften die gelden voor DAF	7
2.2.2	De voorgenomen te hanteren voorschriften.....	8
3	Verrichte metingen in het veld en in de woningen	9
3.1	Benodigde meetgegevens	9
3.1.1	Metingen verricht in de deelplannen 5 en 7	9
3.1.2	Situatie begane grondvloer woningen waar is gemeten	9
3.1.3	Bevindingen trillingen en frequenties in het veld gemeten	10
3.1.4	Samenvatting wat betekenen deze metingen	10
4	Het onderzoek naar trillingbeperking middels EEM-berekeningen.....	11
4.1	Het onderzoek	11
4.1.1	De reden van dit onderzoek	11
4.1.2	Onderzoeken die zijn verricht	11
4.1.3	Er is in 2021 een idee over de toe te passen fundering gestapelde bouw	11
4.1.4	Aspecten en uitgangspunten die van belang waren bij EEM-berekeningen	12
4.1.5	Metingen verricht in de deelplannen 5 en 7	12
4.1.6	Doelstelling van de EEM-berekeningen 2022	12
5	Uitkomsten berekeningen en maatregelen	13
5.1	De deelgebieden.....	13
5.1.1	De gestapelde woningen langs het kanaal en meer (groene omcirkeling)	13
5.1.2	De grondgebonden woningen in het achtergelegen gebied (gele omcirkeling)	13
5.1.3	De woningen na de tweedelijns bebouwing.....	14

Bijlagen

- Bijlage I Eisen en streefwaarden die gelden voor trillingen
- Bijlage II Berekeningen voor de laagbouw langs het kanaal, deelplan 7
- Bijlage III Berekeningen voor de gestapelde bouw langs het kanaal deelplan 7 en 9
- Bijlage IV De "patatsnijder" fundering
- Bijlage V Berekeningen en uitkomsten CSM-funderingen

1 Inleiding

1.1 Ballast Nedam Development gaat woningen bouwen in deelplan 7 en 9

Ballast Nedam Development is voornemens om in het plangebied Tongelresche Akkers - Berckelbosch in het deelgebied 7 en 9 nieuwe woningen en ook appartementen te ontwikkelen.

1.1.1 Onderzocht wordt hoe de mogelijke trillinghinder kan worden voorkomen

In deze rapportage wordt onderzocht hoe de trillingen, die veroorzaakt worden door de persen van de nabijgelegen DAF-fabriek, in de woningen beperkt kunnen worden. In deze rapportage wordt bepaald hoe de te realiseren woningen in deelgebied 7 en 9 kunnen voldoen aan de streefwaarde voor trillingen.

1.1.2 Aanpak in deze rapportage

In deze rapportage wordt ook gekeken naar en gebruikgemaakt van de oplossingen die gedaan zijn in het verleden in andere deelplannen van dit gebied (zoals bijvoorbeeld in deelplan 5). In dit deelgebied 7 en 9 wordt onderscheid gemaakt in de gestapelde woningen langs het kanaal en de achterliggende woningen en appartementen. Voor deze situaties worden zogenaamde EEM-berekeningen gedaan en worden fundaties en constructies ontwikkeld met het oog op trillingbeperking.

De volgende stappen zijn genomen:

- Bepaling en vaststelling trillingen in de omgeving
- Onderzoek naar trillingen in laagbouwwoningen
- Onderzoek naar trillingen in gestapelde bouw
- Oplossingsrichtingen

1.1.3 Andere deelgebieden

Vanaf 2011 zijn er in andere deelgebieden 4, 6 en 8 van de Tongelresche Akkers – Berckelbosch standaard woningen zonder trillingbeperkende voorzieningen gebouwd en daaruit blijkt dat er door de bewoners in de praktijk geen hinder wordt ervaren. In 2020 zijn in deelplan 5 woningen gerealiseerd. Daar zijn in een aantal bouwsituaties maatregelen getroffen bij de nieuwbouw om trillinghinder te voorkomen. Deelplan 5 is vlak bij het gebied 7 en 9 waar het in dit rapport over gaat.

1.1.4 Verantwoording rapportage

Door LBP|SIGHT is dit onderzoek naar trillingen verricht en ook ondersteund, ook deze rapportage is door LBP|SIGHT gemaakt. De berekeningen van de EEM zijn gedaan door Level Acoustics & Vibration (verder Level genoemd). Zij hebben de modellering en het advieswerk hiervoor gedaan en ook meegewerkt aan deze rapportage.

2 Situatie

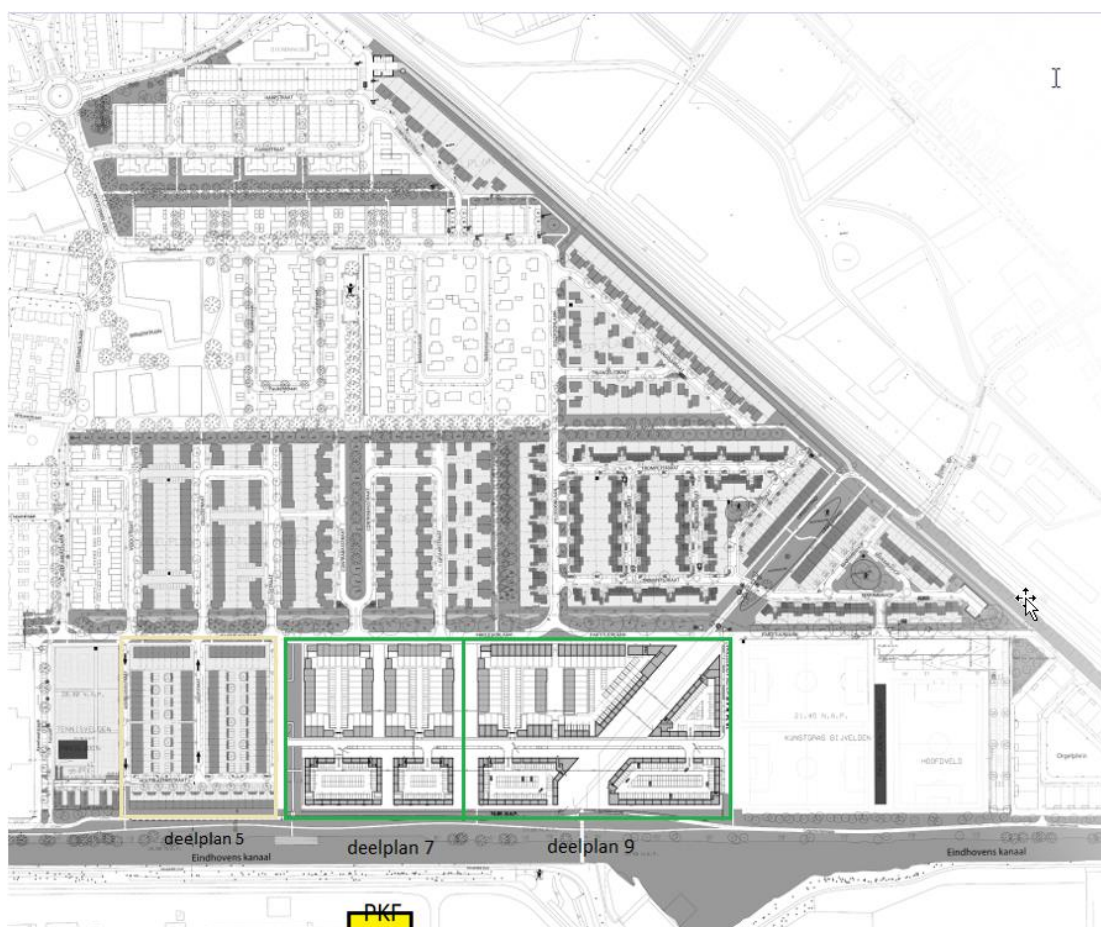
2.1 De situatie van het gebied

2.1.1 De woningen deelplangebied 7 en 9

De woningen in het plangebied 7 en 9 bevinden zich deels parallel aan het Eindhovense kanaal en dus ook parallel aan de terreingrens van DAF. Dit terrein bevindt zich aan de overzijde van het kanaal.

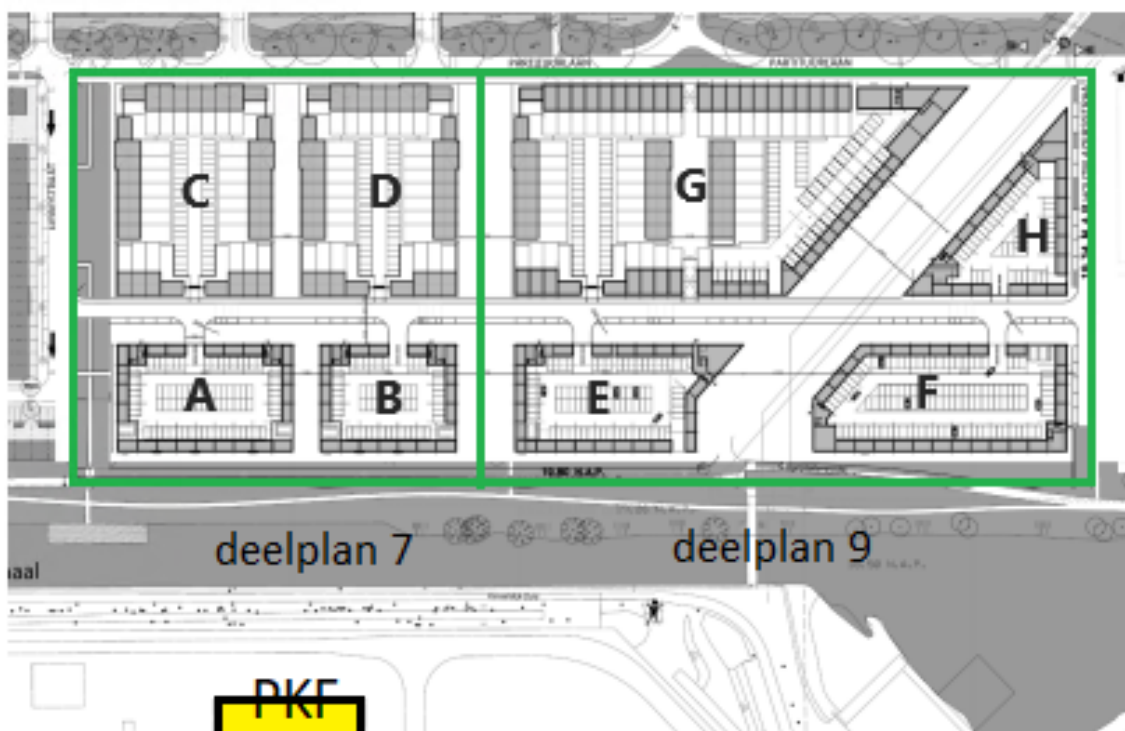
2.1.2 De bronnen die trillingen veroorzaken

Door de productielijnen van de nabijgelegen DAF-fabriek worden trillingen veroorzaakt. Vooral de persen (PKF) veroorzaken trillingen naar de omgeving toe. Sinds 2020 is er bij DAF ook een nieuwe Schuler-pers in bedrijf. In dit onderzoek wordt vooraf nagegaan of de huidige in gebruik zijnde persen van DAF trillinghinder veroorzaken in de woningen en appartementen van het deelplangebied. Ook worden oplossingen in de vorm van maatregelen voorgesteld die hinder kunnen voorkomen. Zie de volgende figuren voor de situatie in het gebied.



Figuur 2.1

Stedenbouwkundige uitgangspunten april 2022



Figuur 2.2

Uitgelicht deelplan 7 en 9 van de stedenbouwkundige uitgangspunten april 2022
(de aanduidingen C, D, E, F, G, H zijn door ons toegevoegde aanduidingen ter verduidelijking).

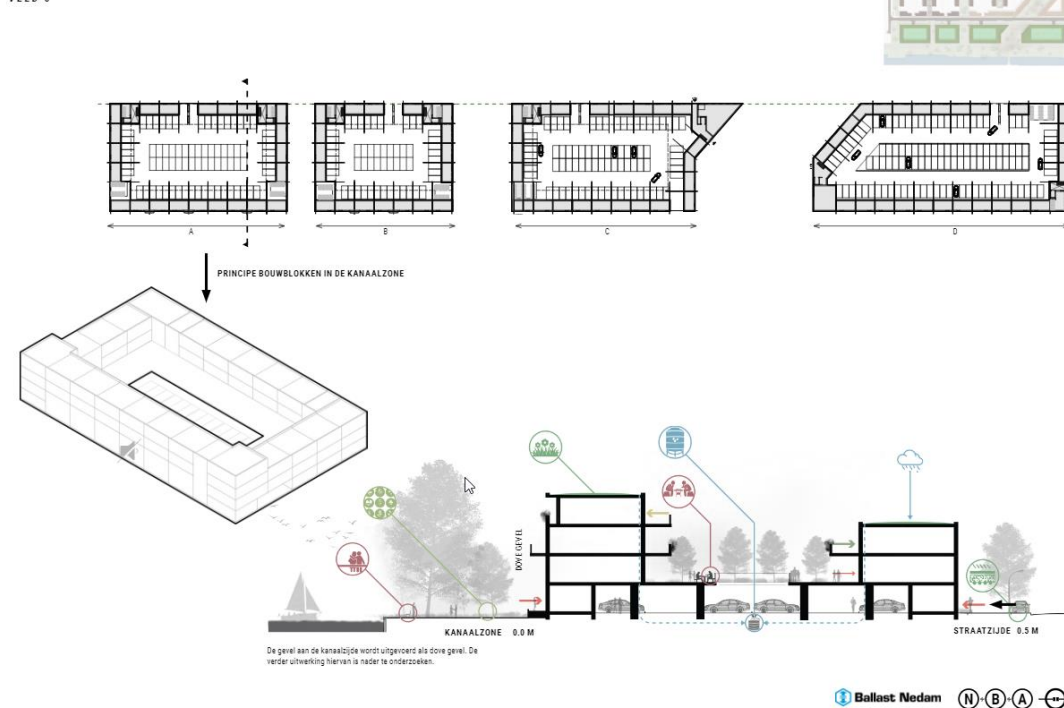
STEDENBOUWKUNDIGE ONDERLEGGERS



Figuur 2.3

Stedenbouwkundige onderlegger uitgangspunten april 2022

OVERZICHT VELD 3



Figuur 2.4

Situatie deelplan 7 en 9 (veld 3) zone langs het kanaal (april 2022)

2.1.3 De afstand van de pers naar de woningen c.q. appartementen

De woningen in deelplan 7 bevinden zich op relatief korte afstand tot de van belang zijnde personen van DAF. De dichtstbijgelegen woning daarvan bevindt zich op ruim 80 m afstand. De woningen en appartementen van deelplan 9 bevinden zich op wat grotere afstand tot de personen en wel vanaf een circa 130 m afstand.

2.2 De te hanteren trillingrichtlijn

2.2.1 Voorschriften die gelden voor DAF

DAF heeft een milieuvergunning uit 2006 waarin voorschriften zijn opgenomen over trillingen. Dit trillingvoorschrift is van toepassing op de dichtst bij de (PKF) pershal gelegen woning zie bijlage I. Als uitgangspunt voor de trillingen die in de omgeving kunnen ontstaan hanteren we voornamelijk de rapportage van Cauberg Huygen BV, referentie 01083-49053-05 van 23 december 2019.

2.2.2 De voorgenomen te hanteren voorschriften

Voor trilling(hinder) gelden geen wettelijk maximale grenswaarden. Wel is er in Nederland een veel gehanteerde richtlijn. Om vast te kunnen stellen of sprake is van trillinghinder zal worden aangesloten bij het beoordelingskader zoals dat is vastgelegd in deze richtlijn SBR-B. Zie hiervoor ook bijlage I.

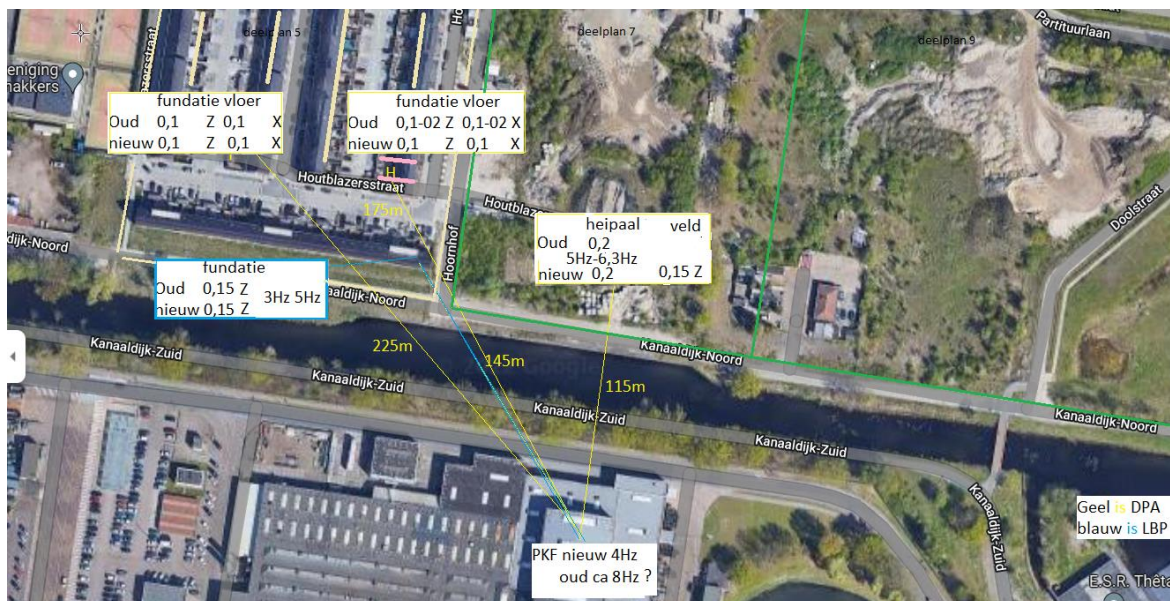
3 Verrichte metingen in het veld en in de woningen

3.1 Benodigde meetgegevens

Voor de EEM-berekeningen die gedaan worden naar de trillingoverdracht in de bodem en in de woningen en appartementen is het van belang te weten welke maximale trillingen er tot nu toe zijn gemeten in de deelplannen. Eerder, in 2020 en 2021, zijn er verschillende metingen in het veld deelplan 5 en 7 en ook in woningen van deelplan 5 gedaan. Deze basisgegevens geven veel inzicht en zullen gebruikt worden voor de EEM-berekeningen en voor de verdere keuze hoe om te gaan met de trillingen.

3.1.1 Metingen verricht in de deelplannen 5 en 7

De uitkomsten van de metingen die zijn uitgevoerd in het veld en in woningen van deelplan 5 en 7 door DPA en LBP|SIGHT worden gebruikt als bron van informatie. In het volgende overzicht van de situatie staan de grove gegevens vermeld van de trillingmetingen die eerder zijn uitgevoerd.



Figuur 3.1

Frequenties en trillingen oude en nieuwe pers deelplannen 5 en 7 (onderlegger Google Maps)

3.1.2 Situatie begane grondvloer woningen waar is gemeten

Alle woningen in deelplan 5 hebben een begane grondvloerdikte van circa 50 cm (zie gele markering). Uitgezonderd zijn twee zuidelijke woningen aan de Hobostraat. Deze hebben een vloerdikte van circa 1 m (zie roze markering, de fundering is hier opgevuld met beton).

3.1.3 Bevindingen trillingen en frequenties in het veld gemeten

Uiteraard is er van de afgelopen jaren een enorme hoeveelheid meetmateriaal beschikbaar. In grove lijnen vinden we, nadat de gebouwen in deelplan 5 gerealiseerd zijn, het volgende aan $V_{\text{eff,max}}$ en aan frequentie in Hertz:

Bij de strook langs het kanaal in deelplan 5 en 7 meten we op fundatieniveau in voornamelijk Z-richting:

- Oude pers $V_{\text{eff,max}} = 0,1 - 0,2$ en $3 - 6,3\text{Hz}$. (Deze oude pers is nog steeds en blijft in bedrijf.)
- Nieuwe pers $V_{\text{eff,max}} = 0,15 - 0,2$ en $3 - 5\text{Hz}$.

Bij de woningen achter de eerste rij woningen van deelplan 5, zie figuur 3.1, vinden we op fundatie- en ook vloerniveau in voornamelijk X-richting:

- Oude pers $V_{\text{eff,max}} = 0,1 - 0,2$. (Deze oude pers is nog steeds en blijft in bedrijf.)
- Nieuwe pers $V_{\text{eff,max}} = 0,1$.

3.1.4 Samenvatting wat betekenen deze metingen

Grosso modo kan men stellen dat, gezien de verschillende afstanden de verschillen in $V_{\text{eff,max}}$ beperkt zijn. Deze variëren tussen 0,1 en 0,2. Uitgaande van de hoogst genoemde waarde van 0,2 kan men stellen dat er geen verdere opslinging in de woningen en gebouwen mag plaatsvinden omdat anders over de streefwaarden van de nachtperiode (A2) uit de SBR-B kan worden gegaan.

4 Het onderzoek naar trillingbeperking middels EEM-berekeningen

4.1 Het onderzoek

Het onderzoek gaat over de berekeningen van trillingen van onder andere de oude en nieuwe pers van DAF. Onderzocht wordt hoe de trillingen te minimaliseren zijn door maatregelen aan de woningen. De trillingen kunnen ontstaan in de nieuwe deelplanen 7 als 9 zowel in de appartementen en woningen die daar gerealiseerd gaan worden.

Vanaf 2020 zijn berekeningen aan de eerder voorgenomen laagbouw in dit gebied verricht. Ook voor de gestapelde bouw met traditionele zware fundering zijn er in 2021 al berekeningen gedaan.

Het gaat hier in dit rapport met name over deelplan 7 en 9 en wel over de gestapelde woningen parallel langs het kanaal (veld 3 genaamd, A, B, E en F van figuur 2.3) en de woningen en gestapelde woningen die daar achter liggen (veld 1 en 2 genaamd, C, D, G en H van figuur 2.3).

4.1.1 De reden van dit onderzoek

In deelplan 7 en 9 worden appartementen gerealiseerd. Deze appartementen en ook de daarachter te realiseren grond gebonden woningen, bevinden zich op relatief korte afstand tot de trillingbronnen van DAF. Om te bepalen welke maatregelen er genomen kunnen worden om aan de streefwaarden van de SBR-B te kunnen voldoen zijn deze EEM-berekeningen gedaan. Deze berekeningen zijn zowel nationaal (Eindig, Elementen, Modellen (EEM)) als internationaal (Finite Element Analyses (FEA)) gehanteerd. Deze methode is de gebruikelijke manier om het gedrag van trillingen en de voortplanting daarvan in de bodem en in constructies te bepalen.

4.1.2 Onderzoeken die zijn verricht

Eerder zijn er hiervoor al verschillende werkzaamheden verricht conform ons plan van aanpak voor de laagbouw woningen van deelplan 7 (O058949aa.1815SBI.ivs, versie: 06_001, zie voor de uitkomsten laagbouw bijlage II). En hoogbouw woningen deelplan 7 en 9 van 25 maart 2021 met ons kenmerk O058949ab.213S854.go versie 01_00 projectnummer 1062389 opdracht nummer 913321. Vervolg gestapelde bouw 29 maart 2022 ons kenmerk: O058949ab.2222UZZ.go versie: 02_003 Deelplan 7 en 9.

4.1.3 Er is in 2021 een idee over de toe te passen fundering gestapelde bouw

Eind 2021 is er meer inzicht gekomen hoe een te realiseren fundering voor de gestapelde bouw eruit kan komen te zien. De uitkomsten van dat model waren grosso modo een grid van funderingspalen met een diameter van 1,25 m $\square$ of $\bigcirc$ en een lengte van 23 m en enkele verstijvingen in het gebouw in de vorm van schijven (zie voor de gestapelde bouw op palen bijlage III).

Deze uitkomsten stuiten op praktische uitvoeringsproblemen die er toe geleid hebben om naar een andere funderingsmethodiek te zoeken (hierna genoemd de zogenaamde “patatsnijder”). CSM-fundering dat is een fundering in matrixvorm door in de bodem gecreëerde diepwanden die met elkaar verbonden zijn. Zie bijlage IV voor de uitleg en bijlage V voor de berekeningen.

4.1.4 Aspecten en uitgangspunten die van belang waren bij EEM-berekeningen

Op basis van de trillingbronnen en de situering en oriëntatie van de woningen en appartementen is een zogenaamd Eindige Elementen Model (EMM) gemaakt en Eindige Elementen Berekeningen (EEB) gedaan.

Daarin zijn van belang:

- de situering van de bron en de gebouwen;
- de sterkte en frequentie van de bron op het terrein;
- de bodemopbouw van het terrein;
- de bouwkundige constructie;
- de funderingsmethode zoals nu voorzien als de “patatsnijder” fundering;
- de toegepaste materialen zoals bij vloeren buitenwanden en binnenwanden;
- de vormgeving van de woningen.

4.1.5 Metingen verricht in de deelplannen 5 en 7

Nu in 2022 bekend is hoe de gestapelde bouw gerealiseerd gaat worden, moeten er ook keuzes gemaakt worden voor de achter de gestapelde bouw gelegen grondgebonden woningen en gestapelde woningen. Eerder, in 2020 en 2021, zijn er al verschillende metingen in het veld deelplan 7 en in de woningen van deelplan 5 en 7 gedaan. Deze basisgegevens worden gebruikt voor de EEM-berekeningen en de verdere keuze hoe om te gaan met de trillingen. De uitkomsten van de metingen die zijn uitgevoerd in het veld en in woningen van deelplan 5 en 7 door DPA en LBP|SIGHT worden gebruikt als bron van informatie.

4.1.6 Doelstelling van de EEM-berekeningen 2022

De modellering zal er toe moeten leiden dat het ontwerp van gebouwen voldoet aan de streefwaarden die de SBR-B stelt aan de trillingen met betrekking tot hinder van personen in woningen in de nieuwe situatie. Bij de maatregelen ter beperking van trillingen kan dan gedacht worden aan maatregelen aan de woningen en maatregelen in de overdrachtssfeer. In dit stadium (2022) denken we vooral om de nu voorziene funderingsmethodiek (CSM kruislings gefreesde wanden) verder te optimaliseren middels de EEB.

5 Uitkomsten berekeningen en maatregelen

5.1 De deelgebieden



Figuur 5.1

Schematisch overzicht van de te treffen maatregelen

5.1.1 De gestapelde woningen langs het kanaal en meer (groene omcirkeling)

Uit de EEM-berekeningen blijkt dat de gestapelde woningen gelegen aan het kanaal en de gestapelde woningen in het direct daarachter gelegen gebied (gelegen binnen groene cirkel en ellips, A, B, E en F) moeten worden uitgevoerd van een fundering opgebouwd uit CSM schijven met een diepte van 20 m en een grid van 2,4 bij 4,8 (2,4 m zijde bron) een en ander met een betonnen grondplaat. Zie bijlage V voor de berekeningen.

5.1.2 De grondgebonden woningen in het achtergelegen gebied (gele omcirkeling)

De grondgebonden woningen direct na de eerste lijn bebouwing (gelegen binnen gele ellipsen C, D, E en H) worden in principe om constructieve en geotechnische redenen op boorpalen gezet van rond 0,5 m en een lengte van 8 m. Uiteraard zou een fundering op CSM schijven zoals hiervoor omschreven ook voldoen om de trillingen in de woning onder de streefwaarde te brengen. Om kostentechnische redenen is het voorstel om hier dezelfde succesvolle maatregelen als die bij deelplan 5 genomen zijn te treffen. Dat houdt in dat de kruipruimtes voorzien moeten worden van een betonnen vulling van 1 m dikte. Gezien de functie (verstijving) van deze betonnen verdikking, zou hier ook schuimbeton (zoals T.A.S een en ander in een nadere afstemming) kunnen worden toegepast.

5.1.3 De woningen na de tweedelijns bebouwing.

Bij de grondgebonden woningen direct na de tweede lijn bebouwing (gelegen achter de gele ellipsen C, D, E en H) hoeven geen speciale trillingbeperkende maatregelen genomen te worden (een en ander conform uitvoering zuidelijke woningen fase 5b).

LBP|SIGHT BV

J. (Jan) Keijzer

Bijlage I

Eisen en streefwaarden die gelden voor trillingen

1.1 Milieuvergunning van DAF

DAF heeft een milieuvergunning uit 2006 waarin voorschriften zijn opgenomen over trillingen. Dit trillingvoorschrift is van toepassing op de dichtst bij de (PKF) pershal gelegen woning.

1.1.1 Aan DAF gestelde grenswaarden voor trillingen op vloeren

Het uitgangspunt zijn de trillingen die DAF mag veroorzaken. In de vigerende milieuvergunning van DAF zijn de onderstaande grenswaarden opgenomen, zie onderstaande tabel 0.1. Deze grenswaarden zijn de maximale grenswaarden gemeten op de meest trillinggevoelige vloer van de dichtstbijgelegen woning. DAF is verantwoordelijk voor het naleven van deze voorschriften en mag derhalve niet meer trillingen veroorzaken dan de in de milieuvergunning opgenomen grenswaarden.

Tabel 1.1

Geldende grenswaarden in huidige vergunning DAF

Trillingsterkte V_{max} en V_{per}	Dag			Avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
	0,3	5,5	0,15	0,3	3,0	0,15	0,2	0,4	0,1

1.1.2 Vergunde waarde en de relatie met de richtlijn SBR-B

Een naleving van deze normen door DAF heeft niet automatisch tot gevolg dat er sprake is van een goede ruimtelijk ordening voor de te ontwikkelen woningen in het plangebied. Daarvoor is richtlijn SBR-B het geschiktste beoordelingskader. Als er aan het SBR-B-kader voldaan wordt is er geen sprake van onaanvaardbare trillinghinder.

1.1.3 Voorgenomen kwaliteit niveau trillingen

De trillingeisen die in de vergunning van DAF worden gehanteerd zijn minder streng dan de eisen die als streefwaarde gelden voor hinder in de SBR "B"- richtlijn (de algemeen aanvaarde richtlijn als het gaat om trillinghinder). In het licht van de goede ruimtelijke ordening wordt door opdrachtgever Ballast Nedam Development beoogd om de streefwaarde van "weinig hinder" uit de SBR-B te hanteren met betrekking tot de woningen in deelplan 5.

1.2 Richtlijn SBR-B hinder voor personen

1.2.1 Richtlijn SBR-B nieuwe en bestaande situatie hinder voor personen

Voor trilling(hinder) gelden geen maximale wettelijk grenswaarden (zoals bijvoorbeeld wel het geval is met betrekking tot geluid). Om vast te kunnen stellen of sprake is van trillinghinder kan worden aangesloten bij het beoordelingskader zoals dat is vastgelegd in de richtlijn SBR-B. In de richtlijn SBR-B worden streefwaarden voor trillinghinder voor personen gesteld. In deze situatie moet er uitgegaan worden van: continue trillingen voor zowel nieuwe als bestaande situaties voor personen bij de functie wonen.

Tabel 1.2

SBR-B: streefwaarden voor continue trillingen voor zowel nieuwe als bestaande situaties

Trillingsterkte $V_{\max}$ en V_{per}	Dag			Avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
	0,1	0,4	0,05	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

A_1 : streefwaarde voor de maximale waarde van de effectieve trillingsnelheid $V_{\max}$ [mm/s]

A_2 : hoogste streefwaarde voor de maximale waarde van de effectieve trillingsnelheid $V_{\max}$ [mm/s]

A_3 : streefwaarde voor het kwadratisch gemiddelde van de maxima van de effectieve waarde van de trillingsnelheid V_{per} [mm/s]

Methodiek beoordeling wel of geen hinder voor personen

Bij het beoordelen of er sprake is van wel of geen trillinghinder voor personen in gebouwen worden de hierna volgende stappen doorlopen:

- Eerst worden de verrichte metingen getoetst aan de streefwaarde A_1 , wordt daar aan voldaan is er geen sprake van hinder.
- Wordt daar niet aan voldaan, wordt er vervolgens getoetst aan de streefwaarde van A_2 , wordt daar ook niet aan voldaan is er sprake van hinder.
- Wordt aan de streefwaarde A_2 wel voldaan dient er ook nog getoetst te worden aan de streefwaarde A_3 , wordt hier aan ook voldaan is er geen sprake van hinder en wordt er voldaan aan het aspect geen hinder volgens SBR-B.

Resumé te volgen stappen bij de beoordeling van hinder

$V_{\max}$ of V_{per} :	Beoordeling
$V_{\max} < A_1$ (< 0,2 tijdens dag, avond en nacht)	Geen overschrijding van de streefwaarden; geen beoordeling van V_{per} noodzakelijk.
$V_{\max} < A_2$ (< 0,8 tijdens dag en avond) $V_{\max} < A_2$ (< 0,4 tijdens nacht (23-07 uur))	Mogelijke overschrijding van de streefwaarden; aanvullende beoordeling aan V_{per} .
$V_{\text{per}} < A_3$ (< 0,1 tijdens dag, avond en nacht)	Geen overschrijding van de streefwaarden.

1.2.2 Vergunning, SBR-B en te hanteren streefwaarden

Zowel uit de tabel uit de verleende vergunning als uit de tabel van de SBR-B blijkt dat de nachtsituatie bepalend is, daar worden de strengste eisen en streefwaarden gesteld. DAF heeft een vergunning om in de nachtsituatie productie te mogen draaien en trillingen te mogen veroorzaken.

Bijlage II

Berekeningen voor de laagbouw langs het kanaal, deelplan 7

Uitgangspunten en situatie bij de eerste bevindingen EEM september 2020

De situatie is dat de oude pers in bedrijf blijft en de nieuwe pers wat dichterbij staat en op 4 Hz afgeveerd is. De FEM-sommen combinerend met de trillingmetingen uit 2018 en de DPA-metingen van 2019 komt Level voor deelplan 7D (eerste lijn langs het kanaal) op de volgende prognoses:

Eerste bevindingen EEM

- Oude pers: 0,32
- Nieuwe pers: 0,35

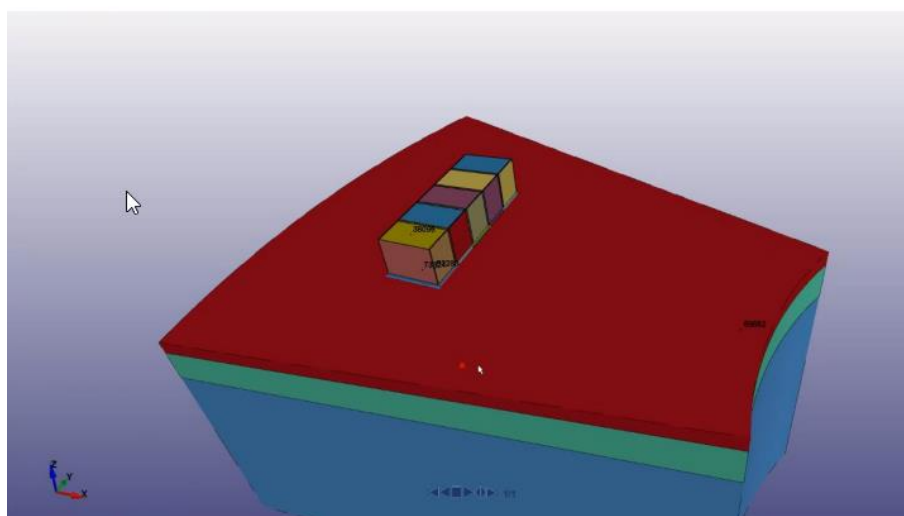
Dit is vastgesteld in horizontale richting op de bovenste verdieping, verticaal (opslingeren van vloeren) is geen probleem (was al in eerdere berekeningen vastgesteld). Op het maaiveld is 0,2 vastgesteld, het gebouw slingert dus op.

Er is sprake van twee frequentiegebieden die van belang zijn:

- 5 Hz waar de nieuwe pers opereert (volgens metingen van CH);
- 10-12 Hz waar de oude pers domineert (volgens onderzoek 2018).

Bij 5 Hz buigen de gebouwen wat uit, dat betekent dat de horizontale component wordt versterkt naar de bovenste etage. Bij 10-12 Hz roteren de huizen waardoor de verticale component wordt omgezet in een horizontaal component op de bovenste etage.

Zie het volgende plaatje van het model.



Figuur II.1
Model

Tweede bevindingen EEM

Met de berekeningen met dikkere palen blijken de trillingen te verminderen. Met een invoer van verdubbeling van de paaldikte (of vier keer zoveel palen) reduceert het 10 Hz-probleem met 30%.

Note: er is daarbij alleen E en rho aangepast, niet het weerstandsmoment.

Bij 5 Hz gebeurt er niet zoveel, dit komt omdat hier de aanstoting horizontaal is. Indien de paal ook geometrisch dikker wordt zal het weerstandsmoment toenemen en zal er ook effect zijn bij 5 Hz. Het is wel nog onduidelijk hoe dat precies uitpakt omdat de horizontale component tot enige diepte toeneemt in plaats van afneemt zoals voor de verticale component. Mogelijk dat die trillingen juist in die diepte meer worden opgepikt (deze laatste case is niet door gerekend maar beredeneerd).

Aan de hand van dit onderzoek deel laagbouw blijken de hierna volgende onmogelijkheden en oplossingsrichtingen te kunnen werken.

Voorgestelde oplossingsrichtingen laagbouw

- Niet- De laagbouw ondergronds inpakken (dat lukt onvoldoende door te lage frequenties).
- Niet- De laagbouw op veren (lukt hier niet door te lage frequenties).
- Wel - Fundatie dieper inbrengen (zal naar verwachting helpen).
- Wel- Fundatie zwaardere palen (zal zeker helpen).
- Wel - Fundatie dikkere palen (zal zeker helpen).
- Wel - Fundatie meerpalen (zal zeker helpen).
- Wel - Fundatie boorpaalwand in de diepte (zal zeker helpen).
- Wel - Tunnelbouw (zal zeker helpen).
- Wel - Diepere appartementen (helpt iets).
- Wel - Appartementen in U-vorm (helpt zeker, ook naar de overige woningen toe).
- Wel - Zware en stijve (half) ondergrondse constructie met functie niet wonen (zal helpen).

Bijlage III

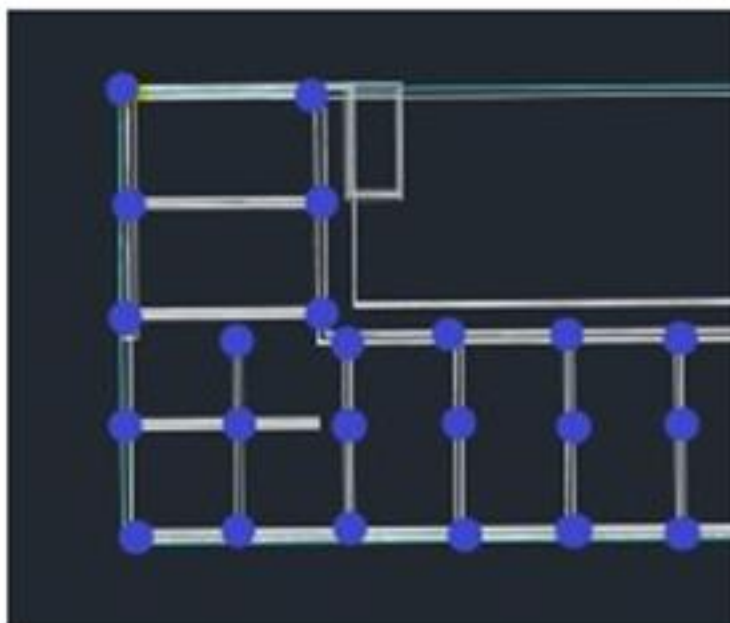
Berekeningen voor de gestapelde bouw langs het kanaal deelplan 7 en 9

Verkenning gestapelde bouw december 2020

Door middel van de analytische sommen is er als eerste verkenning gekeken naar appartementen met vier bouwlagen. Daaruit blijkt dat bij 18 meter paallengte onvoldoende trillingbeperking wordt bereikt. Bij 5 bouwlagen wordt in eerste instantie het probleem vergroot, bij zowel 5 Hz als ook bij 10 Hz. Maar als de uitvoering door middel van zware tunnelbouw met een dito zwaardere fundering is, zou dat vervolgens de trillingen terug kunnen brengen. Dat zal uiteindelijk opnieuw door EEM-berekeningen dan bepaald moeten worden. In het algemeen wordt gesteld: zie de in vorige bijlage II genoemde oplossingsrichtingen maar nu voor de gestapelde bouw.

De volgende stap bij de gestapelde bouw (januari 2021)

Op het moment van het moduleren was het exact voorgenomen palenplan nog niet voorhanden. Daarom is er toen van uitgegaan van een min of meer standaard oplossing voor de fundering van het appartementengebouw langs het kanaal. Dit in de vorm van een grid van funderingspalen. Er zijn dezelfde palen als in de eerste verkennende berekeningen gehanteerd maar dan twee maal dikker van 0,5 m naar 1 meter en een stramien van ongeveer 5 m en een diepte van 15 meter. (Verwacht wordt dat met het halve stramien ook de halve dikte van de paal toegepast kan worden).

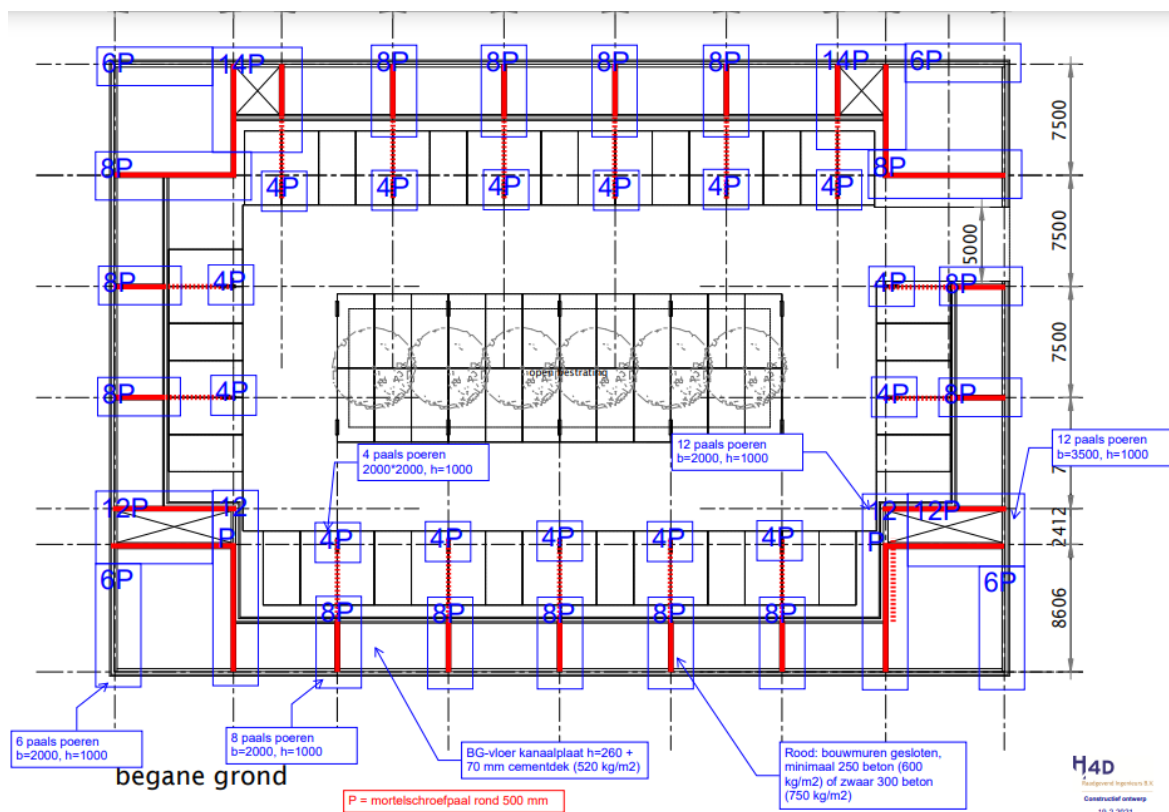


Het zijn palen van 15 meter lang, 500x500.
Die zijn prefab waarschijnlijk niet te krijgen
maar boorpalen van dezelfde lengte en met
een diameter van 600 mm zijn ook goed

De hiervoor genoemde berekeningen blijken niet voldoende te zijn.

De tweede volgende stap gestapelde bouw (mei 2021)

Intussen zijn de constructieve en funderingsontwerpen wel wat verder ingevuld en duidelijker. Daarmee wordt doorgerekend aan het volgende: Dikte palen 1,25 m en lengte palen 23 m.



Bij deze laatste som blijkt dit palenplan beter dan de eerdere opzet (december 2020). De verbetering zit echter alleen op de plek waar het al goed zat, de reactie op de oude pers.

Voor de nieuwe pers is het palenplan equivalent aan wat eerder bedacht is. Dat is een positieve ontwikkeling maar nog niet goed genoeg.

De resultaten zijn:

- Oude pers < 0,2
- Nieuwe pers 0,4. (de streefwaarde is 's nachts 0,2).

Let wel, als de nieuwe pers niet 's nachts zou worden gebruikt, wordt er met dit ontwerp voldaan.

Resume genomen stappen tot nu toe

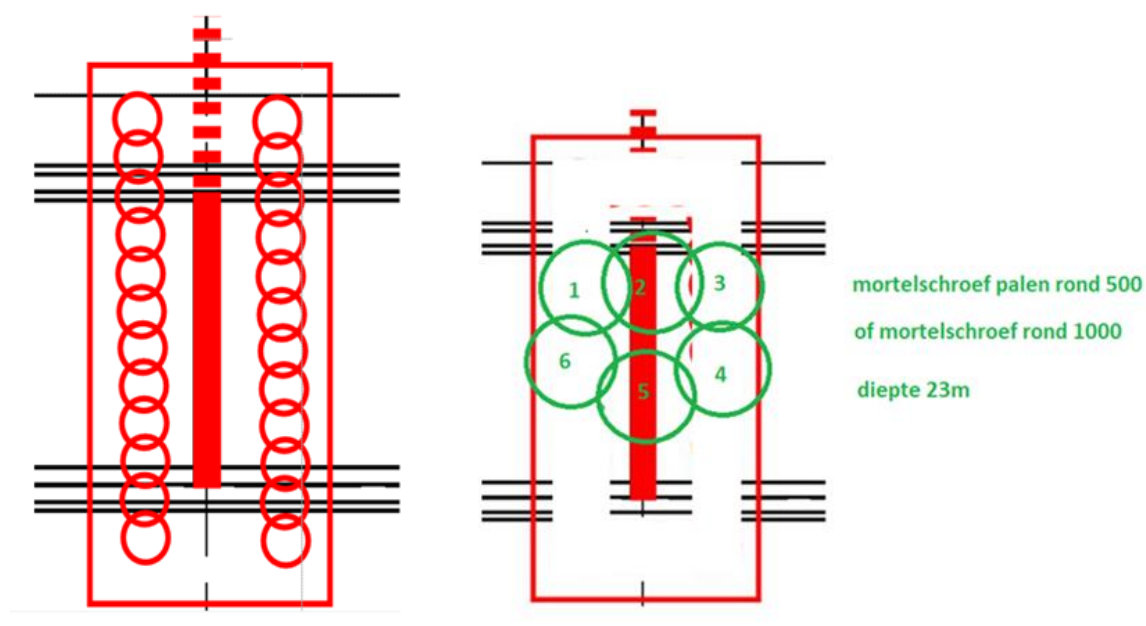
In december gingen we uit van deze dikke palen met dus vergelijkbare resultaten en advies om palen op te dikken om ook het 4 Hz-probleem van de nieuwe pers te kunnen aanpakken. De huidige som laat zien dat de fundering bij 7 Hz nog steeds gevoelig is voor de paalstijfheid dus met een drastisch stijvere paal zal ook 4 Hz beïnvloed worden, is de verwachting.

Het scheelt al als dezelfde hoeveelheid beton (in de palen) wordt gebruikt voor 1 enkele paal in plaats van een groep van 4. Echter dit is natuurlijk niet zo eenvoudig uitvoerbaar. Inmiddels blijkt nu ook het ontwerp iets te zijn aangepast, de laatste tekening laat een iets ander gebouw zien dan we voor december 2020 gemoduleerd hebben, met nu een grotere footprint. Het kan goed zijn als er hierdoor voldoende schijfwerking in de wanden (richting de bron) zit. Mogelijk kan met het huidige palenplan, waar eerder mee gerekend, nu ook hier voldaan worden. Om dat te onderzoeken zouden we het huidige gebouwontwerp in het model moeten zetten, met de werkelijke geometrie van de palenfundering.

De volgende vingeroefening voor de gestapelde bouw (juni 2021)

Aan de hand van de voorgaande bevindingen zijn de volgende vingeroefeningen gedaan om te kijken hoe we aan een equivalent van palen/fundering met een diameter van 1,25 m kunnen komen.

Aan de volgende ideeën is gewerkt en of onderzoek gedaan:

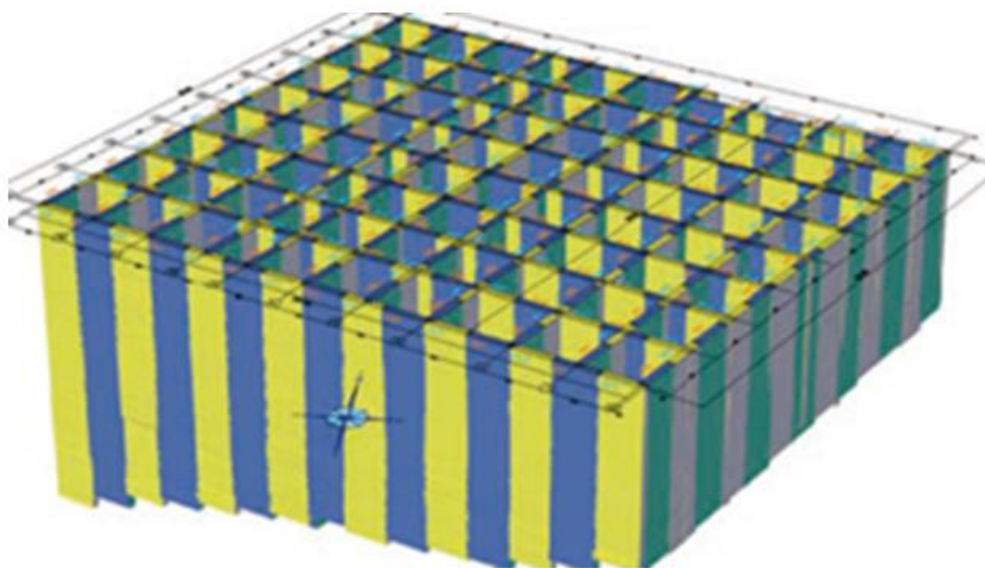


Aanvankelijk lijken er mogelijkheden te zijn, echter bij verdere marktverkenning blijken de voorgaande genoemde ideeën toch te veel op praktische bezwaren te stuiten en moeten er verder naar andere oplossingen gezocht worden. Zie daarvoor verder bijlage IV voor een andere funderingsmethodiek.

Bijlage IV

De “patatsnijder” fundering

Zoals gezegd: bovenstaande oplossingen en een paal met een dikte van 1,25 m ligt ver van de in de praktijk logische en realiseerbare oplossingsmogelijkheden. Door verschillende brainstorm-sessies zijn we toch met behulp van andere disciplines bij een andere funderingsmethodiek uitgekomen: de CSM-wand die na onderzoek goed bruikbaar blijkt te zijn. Als werknaam in dit project de zogenaamde “patatsnijder” fundering.



Uitleg CSM-wand (bron BodemBouw)

Een CSM-wand werd eerder veel toegepast als waterkering zoals in een bouwkuip en in plaats van damwanden. Eventueel kan er als dat noodzakelijk is, er voor gekozen worden om wapeningsbalken in de CSM-wand op te hangen of te plaatsen. Die techniek wordt dan ook vooral toegepast bij dijkversterkingen, het insluiten van grondvervuilingen, het doorbreken van grondwaterstromingen maar ook bij het realiseren van funderingen.

Door met het systeem Cutter Soil Mix cementmix toe te voegen aan de bestaande grondslag, ontstaat een gemengd resultaat. Het gemengde resultaat kan in vloeibare fase zo nodig direct gewapend worden. Het mengen van de grondslag met het systeem Cutter Soil Mix, geschiedt in panelen die elkaar overlappen.

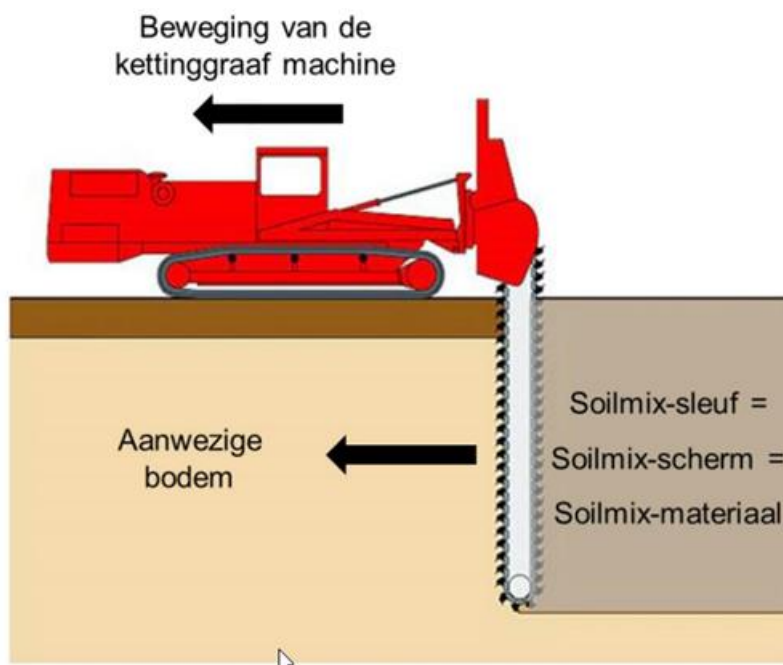
Door de introductie van het Cutter-systeem is het mengproces met de grondslag verbeterd, wat ervoor gezorgd heeft dat de kwaliteit van het eindresultaat ook dusdanig verbeterde.

Door technische en constructieve innovaties kan de CSM-wand ook steeds meer een definitieve functie krijgen. De CSM-wand kan horizontale belasting opnemen, de CSM-wand kan verticale belasting opnemen van de bovenbouw en de CSM-wand kan zelfs toegepast worden als definitieve constructie, hierdoor kan een economische besparing ontstaan. Op deze manier wordt er maatschappelijk verantwoord gebouwd.

Belangrijkste voordelen van een CSM-wand:

- Goed toepasbaar op binnenstedelijke projecten
- Goed toepasbaar in harde grondslag
- Duurzaam
- Kostenbesparend
- Ruimtebesparend
- Tijdbesparend
- Praktisch resultaat
- CUR-commissie CSM-wanden

De toename van de populariteit van het systeem en de toename van verschillende toepassingen van de CSM-wand, hebben ertoe geleid dat er eind 2012 de CUR-commissie Soil Mix is opgericht. De CUR-commissie Soil Mix-wanden heeft ervoor gezorgd dat de engineeringmethode voor Soil Mix-wanden uniform is geworden.



Figuur IV.1
Trenchmixing

Figuur IV.1 staat voor het principe van de machine die deze diepwanden kan maken.

BodemBouw heeft ervaring met de toepassing van CSM-wanden in projecten met trillingsperikelen. Met het voorstel om de voorziene dikke funderingsplaat niet te funderen op dikke vierkante of ronde palen maar op een soort raster van kruislings gefreesde wanden, kan men uit de voeten. Hiermee krijg je onder het gehele gebouw een soort rooster van wanden met een maaswijdte van een paneelbreedte (circa 2,4 m en een paneeldikte van 0,5 m).

Uitgangspunten voor een paal- c.q. fundatieberekening

Stijfheid per meter paal, is ten minste: $E \cdot A = 25 \text{ GPa} \cdot 1,25^2 \text{ m}^2 = 39 \text{ GN}$.

Dit is wat men de "longitudinale" stijfheid noemt "E" is de dynamische Young's modulus, die bij beton ongeveer gelijk is aan de "statische" van ongescheurd beton. Men kan ook andere materialen kiezen, zoals een stalen buispaal, al dan niet gevuld met zand of beton als die stijfheid maar $\geq 39 \text{ GN}$ is.

Buigstijfheid van de paal, is ten minste: $E \cdot I = 25 \text{ GPa} \cdot 1,25^4 / 12 \text{ m}^4 = 5 \text{ GPa/m}^4$.

Hier dus het traagheidsmoment maal de dynamische Young's modulus.

Volgens de gegevens van de fabrikant kom je bij deze druksterkte bij gewoon beton op een Young's van 20 GPa, en die waarde herkennen we, met CSM dus op 8 GPa dat is flink lager dan gewoon beton. Dit verschil moet gecompenseerd worden met een grotere doorsnede. De "patatsnijder" begint zo steeds meer aan logica als fundatie te winnen. Normaal wordt er voor standaard beton met 25GPa gerekend. Bij het aspect trillingen kom je zo onderin de belastingcurve. Een waarde van 10 GPa is daarom logisch. Zekerheidshalve gaan we uit van een GPa van 8.

Praktische uitgangspunten constructie bij de modellering

Bij het moduleren wordt uitgegaan van vloeren met een dikte van 400 mm. Voor de wanden is 300 mm beton aangehouden. De opgegeven funderingsdiepten zijn berekend vanaf onderkant fundering.

Bijlage V

Berekeningen en uitkomsten CSM-funderingen

Uitgangspunten

Bij de EEM-sommen, begin 2021, zijn er opslinging van het gebouw met een factor 2 berekend. Maaiveld 0,2 werd bovenste verdieping 0,4 dit bij 4 – 5 Hz, bij 10-12 Hz werd dit al op 0,2 gesteld. Deze 0,2 was overigens uitgangspunt voor: Waarde maaiveld (dus niet bovenkant van een losse paal). Een en ander is opgenomen in verslag LA.201105.R01. Het doel is een fundering te vinden die ook bij 4-5 Hz de opslinging tegenhoudt waardoor 0,2 maaiveld ook 0,2 bovenste verdieping wordt.

De volgende berekeningen zijn gedaan, uitkomsten mei 2022.

Versie 1: grid van 2,4 x 2,4 m, 26 m diep

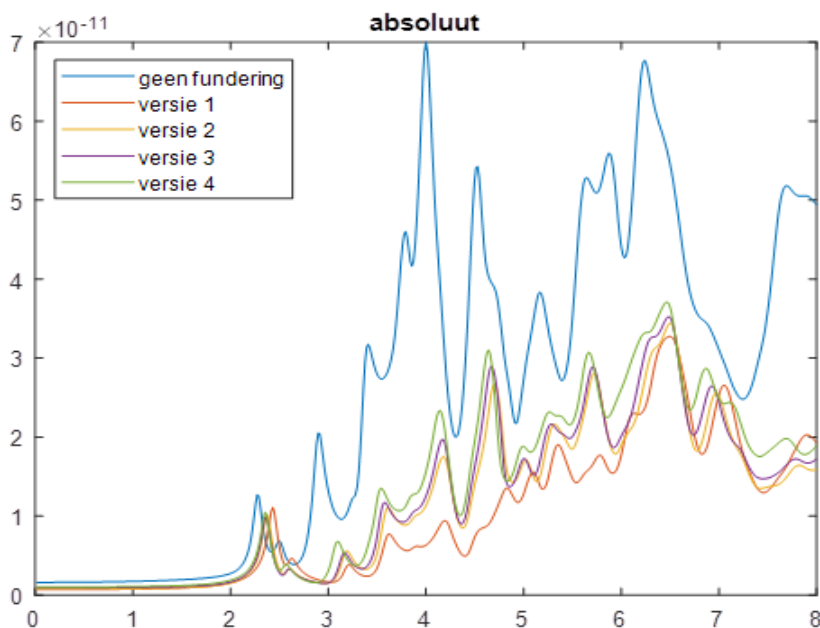
Versie 2: grid van 2,4 x 2,4 m, 20 m diep

Versie 3: grid van 2,4 x 4,8 m 20 m diep (2,4 is in de richting van de bron)

Versie 4: grid van 4,8 x 4,8 m, 20 m diep

De smalbandige absolute resultaten.

Er is een flink effect van de fundering te verwachten rond de 4 Hz. Versie 1, dicht grid 26 m diep, deze variant presteert nog het beste, op dit moment kan er nog niet tot een dergelijke diepte gewerkt worden. Van 26 meter naar 20 meter diepte, dit scheelt toch wel veel het effect is duidelijk een stuk minder. Verdere vermindering van het grid (kosten beperking) , bijvoorbeeld van 2,4 x 2,4 naar 4,8 x 4,8 geeft geen grote negatief effecten.



Figuur V.1

Grafiek smalbandige absolute resultaten verschillende versies

Van smalbandig naar tertsband-middenfrequenties

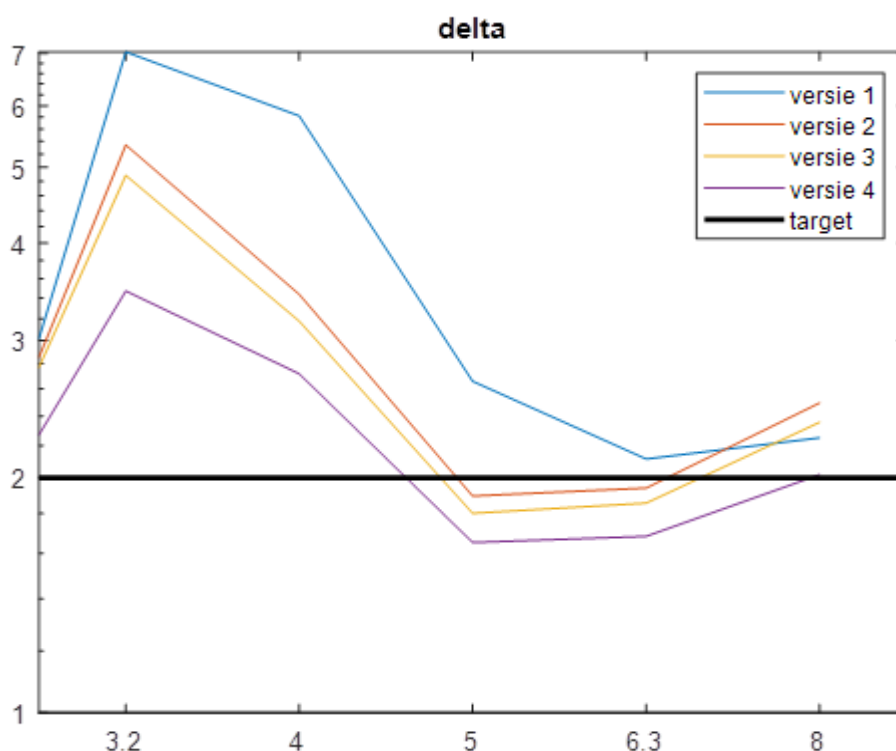
Om beter te beoordelen wat nu goed genoeg is voor deze situatie gaat de volgende grafiek over het invoegverlies daarbij is een factor 0,2 nodig. Het smalbandig resultaat geeft een nogal grillig patroon vooral waar flanken in figuur 1 van elkaar af worden getrokken. Om die rede worden de resultaten omgewerkt naar tertsband-middenfrequenties.

Beoordeling resultaat verschillende versies

Berekening versie 1 (CSM naar 26 meter diepte) komt het beste uit de sommen.

Maar ook berekeningen versie 2 en 3 (CSM naar 20 meter diepte) leveren ook voldoende op.

Deze constatering is van groot belang, immers dan kan de funderingsdiepte terug van een 26 meter theoretische diepte, naar 20 meter praktisch uitvoerbare diepte. Uit de grafiek (figuur V.2) blijkt wel weer dat een grid van 4,8 x 4,8 net wat te kritisch is. Een grid van 2,4 x 4,8 is optimaal bij deze berekeningen.



Figuur V.2

Tertsband verschilwaarden van de verschillende versies

Aanbeveling

Deze berekeningen geven een goede indruk van de oplossingen om de trillingen voldoende te beperken. Het is wellicht goed om het definitieve gestapelde bouwontwerp nog eens door te rekenen en zo het geheel en de maatregelen te optimaliseren.