

Notitie 02346-50278-07
Trillingsonderzoek De Hoef Rosmalen
Effect en kosten trillingsreducerende maatregelen

Datum	Referentie	Behandeld door
10 september 2019	02346-50278-07	C. Ostendorf

1 Inleiding

Het bouwproject De Hoef in Rosmalen ligt op 40 tot 55 meter afstand ten zuiden van de spoorlijn 's-Hertogenbosch – Nijmegen. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het bouwplan.



Figuur 1.1: Situering bouwplan De Hoef

Het treinverkeer veroorzaakt trillingen. In het kader van het Uitwerkingsplan is de gemeente 's-Hertogenbosch voornemens om planregels op te nemen met betrekking tot de maximaal toelaatbare trillingssterkte in de nieuw te bouwen woningen en appartementen om zo een goed woon- en leefklimaat te kunnen waarborgen.

In opdracht van BPD Ontwikkeling BV is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd om tot een prognose te komen van de trillingssterkte in de nieuw te bouwen woningen en appartementen. Uit deze prognose¹ blijkt dat de streefwaarden voor de trillingssterkte uit SBR richtlijn B (hinder voor personen) door drie treinen per week wordt overschreden. De overschrijding treedt op in zowel de grondgebonden woningen als het appartementengebouw.

In opdracht van Van Santvoort Bouw is een vervolgonderzoek uitgevoerd naar het effect van trillingsreducerende maatregelen. De resultaten van dat onderzoek zijn omschreven in voorliggende notitie. Hoofdstuk 2 beschrijft de opzet van het onderzoek en hoofdstuk 3 geeft een samenvatting van de resultaten. Hoofdstuk 4 toont een onderbouwing van de het gebruikte rekenmodel.

2 Opzet onderzoek

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een Eindige Elementen Methode (EEM) rekenmodel en de meetresultaten van de trillingsmetingen die zijn uitgevoerd ten behoeve van de eerste prognose. Met het EEM model kan het trillingsgedrag van een gebouw en de bodem worden gesimuleerd. Het onderzoek bevat de volgende stappen:

1. Opstellen van een EEM model van de bodem op basis van sonderingen ter plaatse;
2. Berekening van de aanstootkracht van de trein die benodigd is om in het bodemmodel ter plaatse van het meetpunt dezelfde trillingssterkte te bereiken als is gemeten. Op deze wijze is de overdracht van trillingen door de bodem aangepast aan de werkelijke gemeten situatie;
3. Toevoegen van het EEM model van het gebouw aan het model van de bodem;
4. Berekenen van de maximale trillingssterkte V_{max} ten gevolge van de maatgevende treinpassage;
5. Analyseren van de maatgevende bewegingen van bodem en gebouw om te bepalen welk type trillingsreducerende maatregelen nodig zijn;
6. Toevoegen van deze maatregelen aan het rekenmodel en het berekenen van het effect op de trillingssterkte V_{max} .

In hoofdstuk 4 zijn de EEM modellen beschreven en de rekenresultaten toegelicht.

Voor de beoordeling van de trillingssterkte gelden nog geen formele grenswaarden maar de gemeente is voornemens om de streefwaarden uit SBR richtlijn B voor de "nieuwe situatie" als uitgangspunt te nemen voor de planregel. Dit betekent dat uitgegaan is van:

Streefwaarde A_1 voor V_{max} : 0,1

Streefwaarde A_2 voor V_{max} : 0,2

Streefwaarde A_3 voor V_{per} : 0,05.

Door BPD is een voorstel ingediend met betrekking tot toetsingswaarden voor trillingen die onderscheid maken tussen streefwaarden en grenswaarden. Voor de streefwaarden is uitgegaan van de waarden voor

¹ Rapport 02346-50278-04 d.d. 20 mei 2019: "Bouwplan De Hoef Rosmalen, onderzoek trillingsprognose".

de nieuwe situatie (zie bovenstaand). Voor de grenswaarden is uitgegaan van de toetsingswaarden voor de “bestaande situatie” uit SBR richtlijn B. Dit komt overeen met de volgende toetsingswaarden:

Streefwaarde A_1 voor V_{max} : 0,2

Streefwaarde A_2 voor V_{max} : 0,4

Streefwaarde A_3 voor V_{per} : 0,1.

De beoordeling is uitgevoerd op basis van beide sets van toetsingswaarden. Met de maatregelen wordt er naar gestreefd om te voldoen aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie maar het is mogelijk dat deze streefwaarden niet gehaald kunnen worden met financieel haalbare maatregelen.

3 Kosten en effect trillingsreducerende maatregelen

3.1 Prognose trillingssterkte V_{max} zonder maatregelen

Voor de berekening is gebruik gemaakt van de meetgegevens uit april 2019. Binnen één week zijn circa 1500 treinpassages gemeten. De berekening is uitgevoerd voor de drie goederentreinen met de hoogste trillingssterkte (genaamd A, B en C) die gedurende deze week zijn gepasseerd en één reizigerstrein die de hoogste trillingssterkte in die week heeft veroorzaakt. Alle andere treinen hebben dus een lagere trillingssterkte veroorzaakt. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de berekende trillingssterkte V_{max} voor de eerstelijns grondgebonden woningen (10 stuks parallel aan het spoor) en het voorste deel van het appartementengebouw zonder toepassing van aanvullende trillingsreducerende maatregelen. In de kolom V_{max} maaiveld is aangegeven welke trillingssterkte op maaiveld is gemeten. In de kolom V_{max} EEM is de berekende trillingssterkte opgenomen waarbij onderscheid is gemaakt tussen de grondgebonden woningen en het appartementengebouw. Tussen haakjes is de maatgevende trillingsrichting weergegeven. H staat voor horizontaal, V voor verticaal.

Tabel 3.1: prognose V_{max} zonder maatregelen

Maatgevende treinpassages	V_{max} maaiveld [-]	V_{max} EEM [-]	
		Woningen	Appartement
Goederentrein A	0,36	0,43 (H)	0,31 (H)*
Goederentrein B	0,24	0,13 (H)	0,27 (H)*
Goederentrein C	0,22	0,21 (H)	0,11 (H)*
Reizigerstrein A	0,10	0,09 (V)	0,14 (V)*

*voorlopig resultaat, controle wordt nog uitgevoerd.

Uit tabel 3.1 volgt dat:

1. voor zowel de woningen als de appartementen de streefwaarde van 0,2 voor de nachtperiode wordt overschreden. Het gaat hierbij om 2 treinpassages per week op een totaal van circa 1500 per week;
2. voor de woningen 1 treinpassage in de week zorgt voor een overschrijding van de grenswaarde van 0,4 in de nachtperiode.

De dominante trillingsfrequenties liggen in de 10 Hz tertsband, de 6 Hz tertsband en de 8 Hz tertsband. De maatgevende trillingsrichting is horizontaal. Dit betekent dat specifieke maatregelen aan de vloer niet zinvol zijn omdat daarmee alleen de verticale trillingen kunnen worden beïnvloed.

Op basis van de rekenresultaten (zie toelichting in hoofdstuk 4) zijn daarom de volgende maatregelen beschouwd:

- a. verstijving van de wanden van de gebouwen in verband met de horizontale trillingen bij 10 Hz;
- b. ontkoppeling van de fundering van de gebouwen van maaiveld vanaf 3 Hz (alle trillingsrichtingen en alle frequenties).

In paragraaf 3.2 zijn de maatregelen, de kosten en het trillingsreducerende effect verder omschreven.

3.2 Kosten en effect maatregelen

3.2.1 Omschrijving maatregelen

Maatregel A bestaat uit het toepassen van kalkzandsteen met een grotere stijfheid (van CS12 naar CS20) en een grotere dikte dan in het oorspronkelijke ontwerp is voorzien. De maatregel vraagt weinig aanpassingen in het ontwerp van de gebouwen. De kosten van de maatregelen zijn globaal berekend door Van Santvoort.

Maatregel B is veel ingrijpender en bestaat uit het aanleggen van een extra verdiepte fundering waarop een laag met stalen veren wordt geplaatst waarop nieuwe funderingsbalken worden gelegd waarop de gebouwen worden geplaatst. De stalen veren dienen een eigenfrequentie van rond de 3 Hz te hebben. De kostprijs van deze maatregel is gebaseerd op ervaringscijfers van Cauberg Huygen.

Tabel 3.2 geeft een omschrijving van de maatregelen, de globale kostprijs en een beoordeling van de financiële haalbaarheid van de maatregel. De financiële haalbaarheid is beoordeeld door Van Santvoort en BPD.

Tabel 3.2: maatregelen en kosten

Maatregel	Kosten woningen (eerstelijns 10 stuks)	Kosten appartementen	Kosten totaal	Financieel haalbaar
A: verstijven wanden	€ 25.000,--	€ 45.000,--	€ 70.000,--	ja
B: trillingsgeïsoleerde fundering	€ 200.000,--	€ 600.000,--	€ 800.000,--	nee

Omdat alleen maatregel A financieel haalbaar is, is voor deze maatregel het trillingsreducerend effect berekend.

3.2.2 Effect maatregel A (verstijven wanden)

Het effect van maatregel A is weergegeven in tabel 3.3. Per treinpassage is de reductie als een percentage weergegeven ten opzichte van de resultaten zonder maatregel. In figuur 4.4 zijn de berekende waarden voor V_{max} met en zonder maatregelen grafisch weergegeven.

Tabel 3.3: reductie V_{max} inclusief maatregel A (verstijven wanden)

Maatgevende treinpassages	Reductie V_{max} [%]	
	Woningen	Appartement
Goederentrein A	0	0*
Goederentrein B	0	0*
Goederentrein C	0	0*
Reizigerstrein A	0	0*

*voorlopig resultaat, controle wordt nog uitgevoerd.

Tabel 3.3 laat zien dat de maatregel geen effect heeft op de trillingssterkte V_{max} . Dit komt omdat de stijfheid van de bodem veel lager is dan de stijfheid van het gebouw. De horizontale trillingen komen dus vooral voort uit de vervorming van de bodem. Het gebouw is stijf genoeg.

Alleen maatregel B in de fundering zal een reducerend effect hebben op de trillingssterkte. Deze maatregel is financieel echter niet haalbaar.

3.3 Beschouwing resultaat

Uit paragraaf 3.2 blijkt dat het met financieel haalbare maatregelen niet mogelijk is om de trillingssterkte te reduceren tot onder de streefwaarde 0,2. Bovendien blijkt dat de financieel haalbare maatregel geen reducerend effect heeft. Dit betekent dat circa 2 keer per week een treinpassage voor kan komen die een trillingssterkte tussen de 0,2 en 0,42 veroorzaakt. Het gaat hierbij om 0,13% van het totaal aantal passages. De overige ruim 99% van de treinpassages zorgt voor een V_{max} onder de 0,2 en voldoet zonder maatregelen al aan de streefwaarde.

Uit figuur 4.4 blijkt bovendien dat deze overschrijding alleen op de hoogste verdieping in de buitenste woning plaatsvindt. Dit betekent dat in de overige eerstelijns woningen de trillingssterkte voor alle treinpassages onder de 0,4 blijft.

In de appartementen blijft V_{max} ook onder de 0,4. Ook voor het appartementengebouw geldt dat ruim 99% van de treinpassages een V_{max} onder de 0,2 veroorzaken.

Op basis van het bovenstaande is de stelling dat de kans op hinder relatief klein is en sprake is van een acceptabel woon- en leefklimaat.

4 Toelichting EEM

4.1 Algemeen

Voor de opbouw van de EEM modellen is gebruik gemaakt van de bouwkundige en constructieve gegevens die door de architect en de constructeur zijn aangeleverd. Niet dragende delen in de gebouwen zijn niet als constructie in het rekenmodel opgenomen maar wel als belasting door middel van een massa. Op deze wijze blijft het rekenmodel relatief eenvoudig.

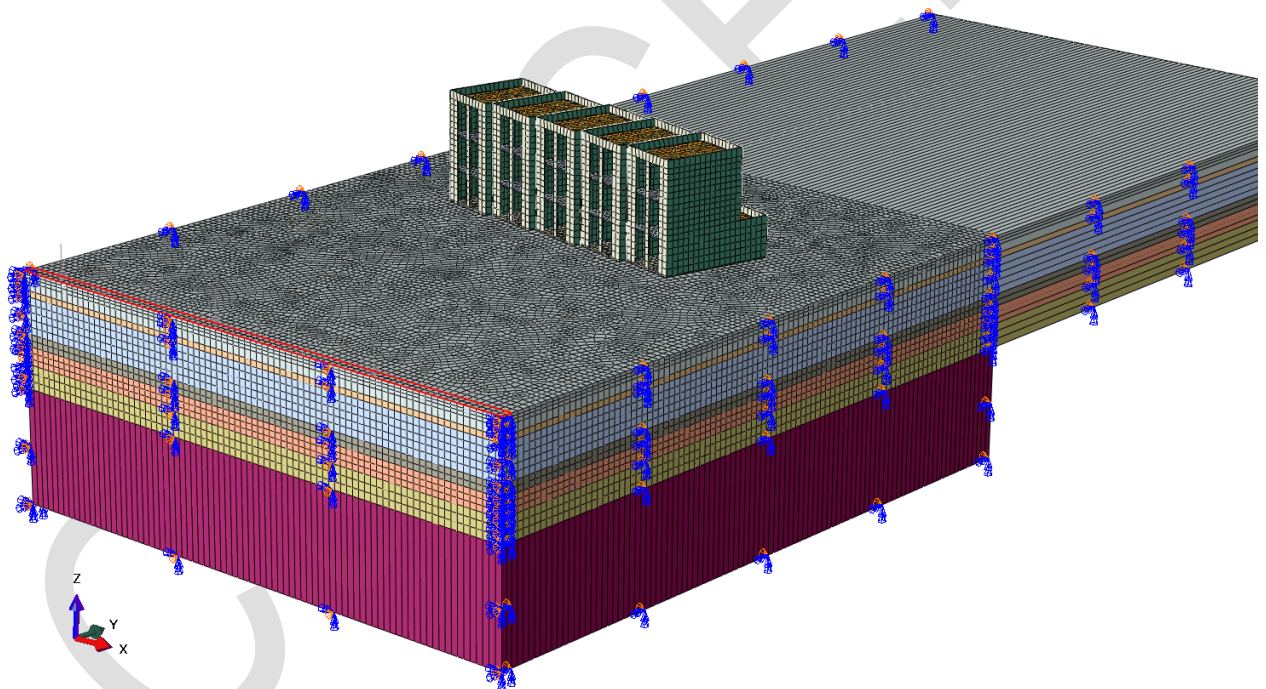
Bij het opstellen van het rekenmodel van het appartementengebouw is ervoor gekozen om niet het hele appartementengebouw in het model op te nemen maar alleen het voorste deel omdat dit deel maatgevend is voor de trillingssterkte. De rest van het gebouw is door middel van symmetrische randvoorwaarden wel meegenomen in de berekening maar niet specifiek berekend. Ook op deze wijze is de omvang van het model beperkt.

Het rekenmodel rekent tot een frequentie van 50 Hz. Daarmee zijn de voor trillingen belangrijke lage frequenties beschouwd en is de rekentijd zoveel mogelijk beperkt. De rekentijd bedraagt circa 16 uur voor een blok met woningen en 24 uur voor (een deel van) het appartementengebouw.

De EEM modellen zijn opgebouwd in het pakket Abaqus.

4.2 Model grondgebonden woningen

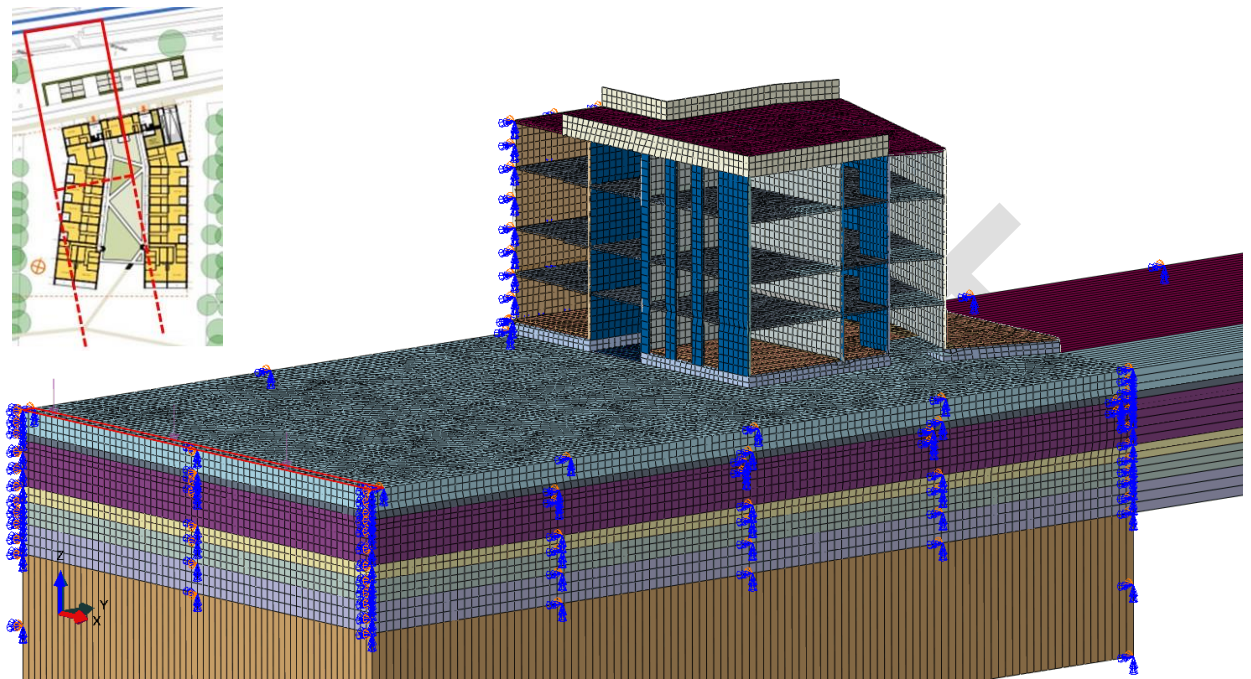
De berekening is uitgevoerd voor het meest westelijk blok van vijf woningen. Het model is weergegeven in figuur 4.1. De blauwe elementen zijn toegevoegd om ongewenste reflecties van trillingen in de bodem te voorkomen. De aanstootkracht (het spoor) is weergegeven door middel van de rode lijnen op maaiveld, links op de tekening.



Figuur 4.1: EEM rekenmodel woningen (westelijke blok)

4.3 Model appartementengebouw

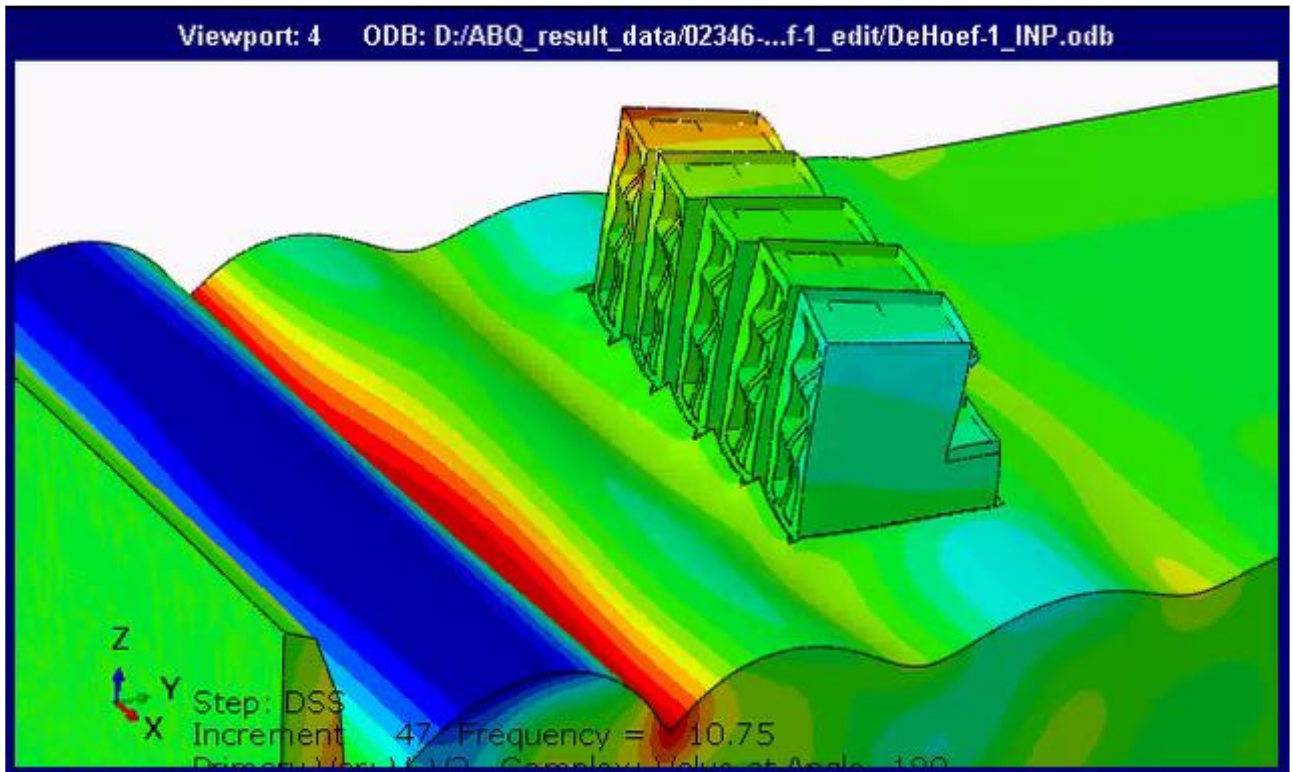
Het EEM model van het appartementengebouw bestaat uit een representatief deel van het gebouw. Figuur 4.2 geeft het EEM model weer. Linksboven is op de plattegrond weergegeven welk deel van het gebouw in het model is meegenomen. De kelder onder het gebouw is meegenomen in het rekenmodel maar door het omliggende bodemmodel niet zichtbaar.



Figuur 4.2: EEM model deel appartementengebouw

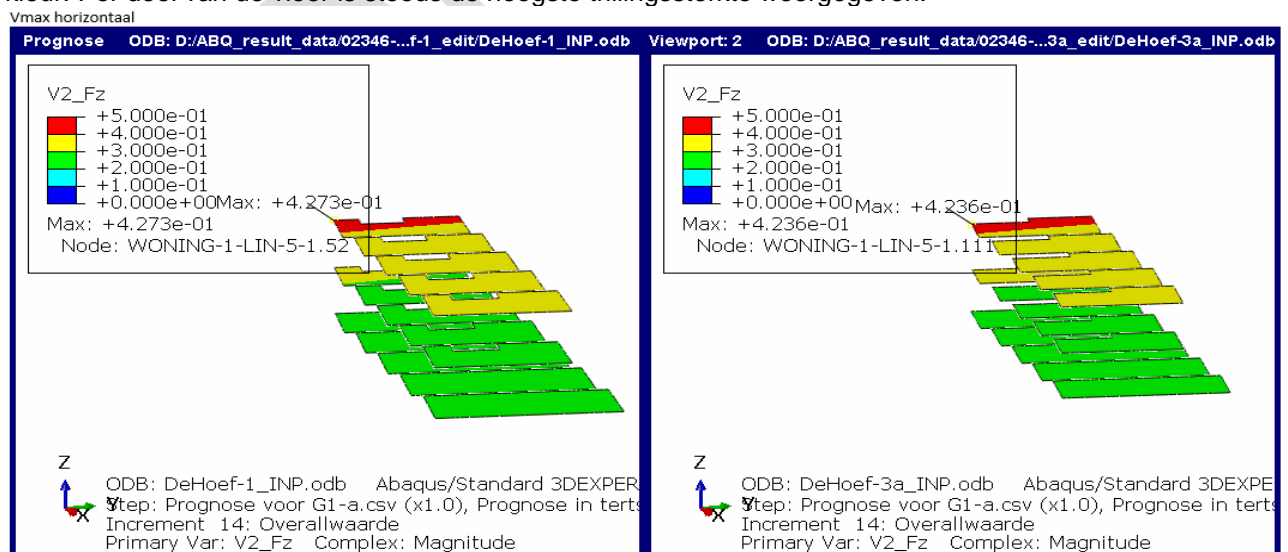
4.4 Rekenresultaat

De resultaten van de berekeningen zijn het beste samen te vatten in plaatjes. Als voorbeeld het resultaat van de berekening voor de grondgebonden woningen voor de dominante trillingsfrequentie van 10 Hz. Figuur 4.3 toont het resultaat. Links op het plaatje is de aanstootkracht als lijnbron zichtbaar. Dit simuleert de passage van een trein. Rechts is de beweging van het gebouw zichtbaar als reactie op de trilling van de trein. De vervormingen van de constructie zijn sterk vergroot weergegeven omdat de vervormingen heel klein zijn en anders niet zichtbaar zouden zijn.



Figuur 4.3: resultaat berekening bij 10,8 Hz

Omdat het op deze wijze niet mogelijk is om het trillingsgedrag van de vloeren te bekijken, is het rekenresultaat ook weergegeven door alleen de vloeren van het gebouw te laten zien. Figuur 4.4 toont het resultaat. Links is het resultaat weergegeven voor het oorspronkelijke ontwerp van de woningen en rechts het resultaat met maatregel A, de verstijving van de kalkzandsteen wanden. De totale trillingssterkte van de vloer is weergegeven door middel van kleuren waarbij waarden boven de 0,4 zijn weergegeven met een rode kleur. Per deel van de vloer is steeds de hoogste trillingssterkte weergegeven.



Figuur 4.4: weergave V_{max} maatgevende treinpassage op de vloeren van de woningen met links het oorspronkelijk ontwerp en rechts inclusief maatregel A

Figuur 4.4 maakt duidelijk dat maatregel A geen effect heeft op de trillingssterkte. Beide modellen laten hetzelfde rekenresultaat zien.

Verder volgt uit de figuur dat de treinpassage met de hoogste trillingssterkte in de week (goederentrein A) alleen op de bovenste verdieping van de oostelijke woning zorgt voor een overschrijding van de toetsingswaarde van 0,4. Deze trillingssterkte komt op basis van de meetresultaten dus één keer in de week voor.

Voor de begane grond vloer en de eerste verdiepingvloer ligt de trillingssterkte tussen de 0,2 en 0,3. Ook deze trillingssterkte komt één keer in de week voor. De andere treinpassages zorgen voor een trillingssterkte onder de 0,2.

Cauberg Huygen B.V.

C.J. Ostendorf
Senior Adviseur