



Gerbrandystraat Utrecht

*Te verwachten trillingen in geprojecteerde
appartementen vanwege passerende treinen*

Gerbrandystraat Utrecht

*Te verwachten trillingen in geprojecteerde
appartementen vanwege passerende treinen*

opdrachtgever Koopmans Bouwgroep | TBI
rapportnummer H 6393-2-RA-001
datum 10 april 2018
referentie LL/EdV/HT/H 6393-2-RA-001
verantwoordelijke ing. L.F.M. Lemmers
opsteller ing. E. de Vries
+31 24 3570763
e.devries@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 24 357 07 07, mook@peutz.nl, www.peutz.nl

kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – düsseldorf – dortmund – berlijn – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	6
2.1	Ontwerp	6
2.2	Bodemeigenschappen	8
2.3	Hinder	8
3	Dynamische analyse	9
3.1	Algemeen	9
3.2	Bepaling bronspectrum aanstoting	9
3.3	3D model	11
3.4	Optredende trillingen gebouw A	12
3.5	Optredende trillingen gebouw B	15
4	Principemaatregelen	18
4.1	gebouw A	18
4.2	gebouw B	18

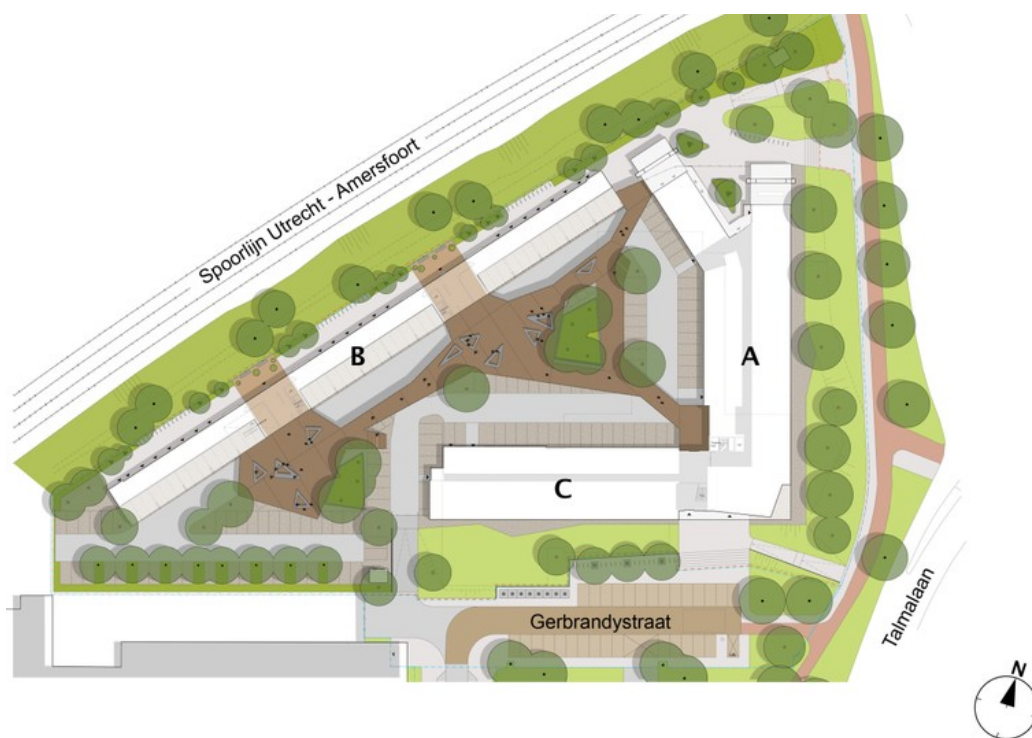
1 Inleiding

In opdracht van Koopmans Bouwgroep B.V. te Enschede is een onderzoek verricht inzake te verwachten trillingniveaus vanwege railverkeer in geprojecteerde appartementen aan de Gerbrandystraat te Utrecht.

Het bouwplan is gesitueerd tot op korte afstand van de spoorlijn Utrecht CS -Amersfoort. Het bouwplan bestaat uit een drietal woonblokken met in totaal 487 appartementen. In het kader van trillingen vanwege passerende treinen zijn met name gebouw A en B (zie figuur 1.1) relevant.

Figuur 1.1 toont de ligging van de geprojecteerde gebouwen, met afstanden tot ca. 20 m uit het hart van het meest nabijgelegen spoor.

f1.1 Overzicht geprojecteerde gebouwen A, B en C aan de Gerbrandystraat te Utrecht



In januari 2018 is een vooronderzoek uitgevoerd door Peutz bv waarbij op basis van onder andere langdurige trillingmetingen ter plaatse een eerste beoordeling gegeven. De bevindingen van dat onderzoek zijn vastgelegd in rapport H 6393-2 d.d. 18 januari 2018.



Om nader inzicht te krijgen in de te verwachten trillingen in het gebouw is een Eindige Elementen Methode (EEM) rekenmodel opgesteld van het gehele gebouw inclusief bodem. Hierbij is het gebouwmodel gebaseerd op het Definitief Ontwerp.

Voor de beoordeling van de in de woning te verwachten trillingen is, zoals gebruikelijk, uitgegaan van de streefwaarden voor de maximaal optredende trillingssnelheden zoals opgenomen in de Richtlijn deel B "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn" van de Stichting Bouwresearch (SBR) van augustus 2006.

Daar waar overschrijdingen verwacht worden zijn mogelijke principemaatregelen aangegeven.

2 Uitgangspunten

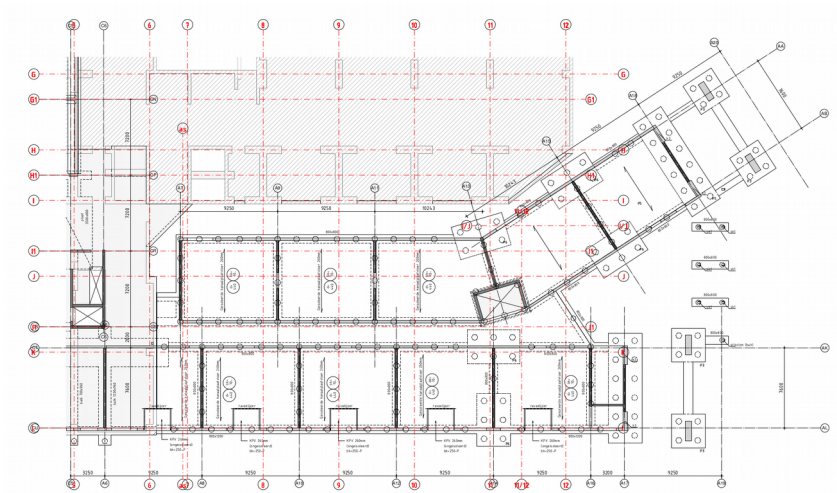
2.1 Ontwerp

De dynamische berekeningen zijn gebaseerd op het Definitief Ontwerp (DO).

Hierbij is de DO tekeningenset van Goudstikker-De Vries met stand van zaken 14 september 2017 gebruikt.

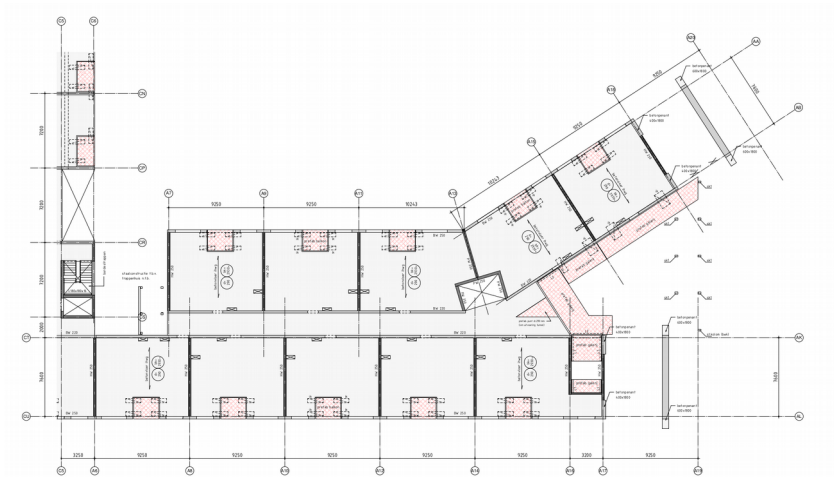
Figuur 2.1 toont het fundament van gebouw A.

f2.1 Fundament gebouw A



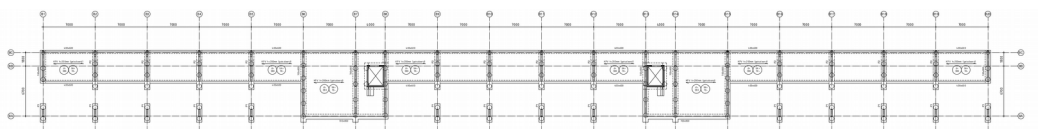
Figuur 2.2 toont de 1^e verdiepingsvloer van gebouw A.

f2.2 1e verdieping gebouw A



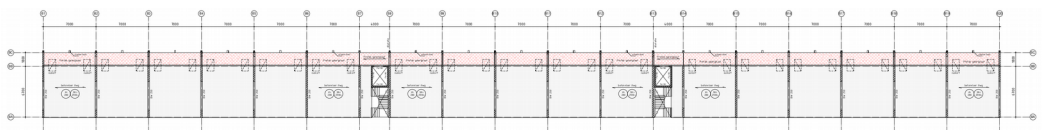
Figuur 2.3 toont het fundament van gebouw B.

f2.3 Fundament gebouw B



Figuur 2.4 toont de 1^e verdiepingsvloer van gebouw B.

f2.4 1e verdieping gebouw B



2.2 Bodemeigenschappen

Ten behoeve van de dynamische berekeningen zijn o.a. de bodemeigenschappen benodigd ter plaatse van de nieuwbouw. Deze bodemeigenschappen zijn mede bepaald op basis van door Mos Grondmechanica B.V. verrichte sonderingen die zijn gerapporteerd in document met opdrachtnummer R1504091-RY_1 d.d. 22 augustus 2016.

2.3 Hinder

De streefwaarden van de SBR richtlijn B zijn gangbaar in relatie tot beoordeling van mogelijke trillinghinder. In eerste instantie is uitgegaan van de maatgevende nachtperiode.

De SBR maakt onderscheid tussen bestaande en nieuwe situaties. Een bestaande situatie betreft een bestaande bron en een bestaande ontvanger en een nieuwe situatie betreft een nieuwe bron of een nieuwe ontvanger.

De nieuwbouw is in eerste instantie beoordeeld als een nieuwe situatie. Tabel 2.1 toont de in dat geval van toepassing zijnde streefwaarden conform de SBR B (nachtperiode).

t2.1 Overzicht streefwaarden conform SBR B (nacht)

	trillingsterkte		
	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]
woning	0,1	0,2	0,05

Volgens de SBR dient de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in eerste instantie getoetst te worden aan A₁. Indien hieraan voldaan wordt is sprake van een acceptabele situatie. Indien niet wordt voldaan aan A₁ dient de maximale trillingssterkte getoetst te worden aan A₂.

Bij overschrijding van A₂ is sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie. In het geval dat wordt voldaan, dient vervolgens de gemiddelde trillingssterkte voor de betreffende ruimte (V_{per}) getoetst te worden aan A₃. Bij overschrijding van A₃ is wederom sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie.

Opgemerkt wordt dat de streefwaarden van de SBR in principe geen wettelijke grenswaarden zijn.

Volledigheidshalve nog de kanttekening dat het voldoen aan de streefwaarden van de SBR niet inhoudt dat geen sprake zal zijn van voelbare trillingen. De waarde van 0,1 wordt normaliter gezien als de voelbaarheidsgrens. Een streefwaarde van $V_{\max}$ van 0,2 in woningen sluit derhalve niet uit dat bepaalde passages voelbaar kunnen zijn.

3 **Dynamische analyse**

3.1 **Algemeen**

Op basis van de genoemde uitgangspunten is een Eindig Elementen Methode (EEM) model opgesteld in 3D met het softwarepakket ANSYS. Met dit model is een uitgebreide dynamische analyse uitgevoerd.

Deze dynamische analyse is in eerst instantie uitgevoerd op basis van een aantal worst case aannamen voor wat betreft onder andere de aanstoting.

Het model is zodanig opgesteld dat alle kritische overspanningen worden gezien. Voorts betreft het lineaire rekenmodellen, verondersteld is derhalve dat de optredende verplaatsingen zodanig klein zijn dat het gedrag rond een belastingsituatie gelineariseerd kan worden. Hoewel de modellering een vereenvoudiging weergeeft van de werkelijkheid, kan met een dergelijk model een voldoende nauwkeurige prognose worden gegeven van de te verwachten trillingniveaus.

De vloeren en wanden zijn gemodelleerd met zogenaamde shell elementen. De bodem en het fundament zijn gemodelleerd met zogenaamde solid elementen.

Bij de harmonische analyse is ter plaatse waar treinen rijden de bodem aangestoten. Op basis hiervan is de responsie van het gebouw berekend.

Op basis van het vooronderzoek dat is uitgevoerd in januari 2018, kan worden gesteld dat de hoogste waarden optreden vanwege passerende goederentreinen.

3.2 **Bepaling bronspectrum aanstoting**

Het bronspectrum van de treinen is gebaseerd op de resultaten van het vooronderzoek. In dat onderzoek zijn op basis van meting gedurende ca. 1 week de hoogst optredende trillingniveaus vanwege passerende treinen inzichtelijk gemaakt.

De op basis van het vooronderzoek verwachte hoogst optredende trillingniveaus zijn benut bij de nu verrichte berekeningen.

Teneinde de (gemiddelde) trillingsterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) te kunnen berekenen is het gemiddelde van de gemeten maximale trillingsterktes bepaald.

Tabel 3.1 toont de maximale trillingsterkte vanwege passerende treinen.

t3.1 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem

Datum en tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem					
	tpv gebouw A			tpv gebouw B		
	X	Y	Z	X	Y	Z
16-12-17 12:57 h	0,24	0,37	0,17	0,39	0,36	0,31
17-12-17 14:23 h	0,25	0,31	0,15	0,38	0,26	0,25
20-12-17 19:30 h	0,18	0,19	0,17	0,36	0,19	0,31
20-12-17 13:08 h	0,22	0,42	0,12	0,35	0,35	0,2
15-12-17 14:30 h	0,23	0,26	0,13	0,35	0,26	0,22

Op basis van tabel 3.1 volgt dat voor gebouw A de relevante trillingen in de bodem bepaald worden door de horizontale Y (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting. Voor gebouw B worden de trillingen in de bodem bepaald door beide horizontale richtingen en de verticale richting.

Voor gebouw A en B is de responsie berekend als gevolg van aanstoting in deze richtingen.

Het gemiddelde van de maximale trillingsterktes is bepaald op basis van de metingen bij het vooronderzoek. Tabel 3.2 toont het gemiddelde per etmaalperiode (dag, avond en nacht). Het gemiddelde is hierbij bepaald over 1196 waarden in de dagperiode, 315 waarden in de avondperiode en 278 waarden in nachtperiode. In principe komt 1 waarde overeen met 1 treinpassage, ervan uitgaande dat een treinpassage maximaal 30 seconden duurt.

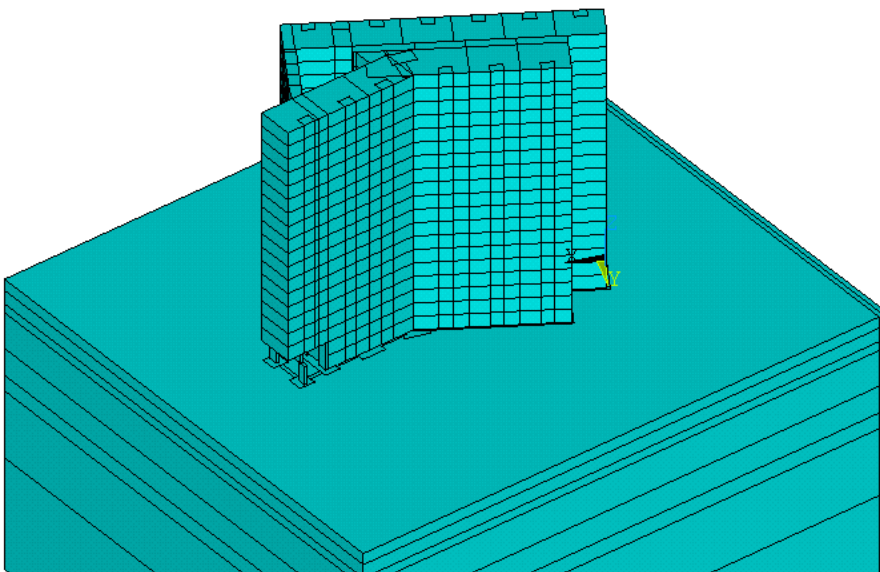
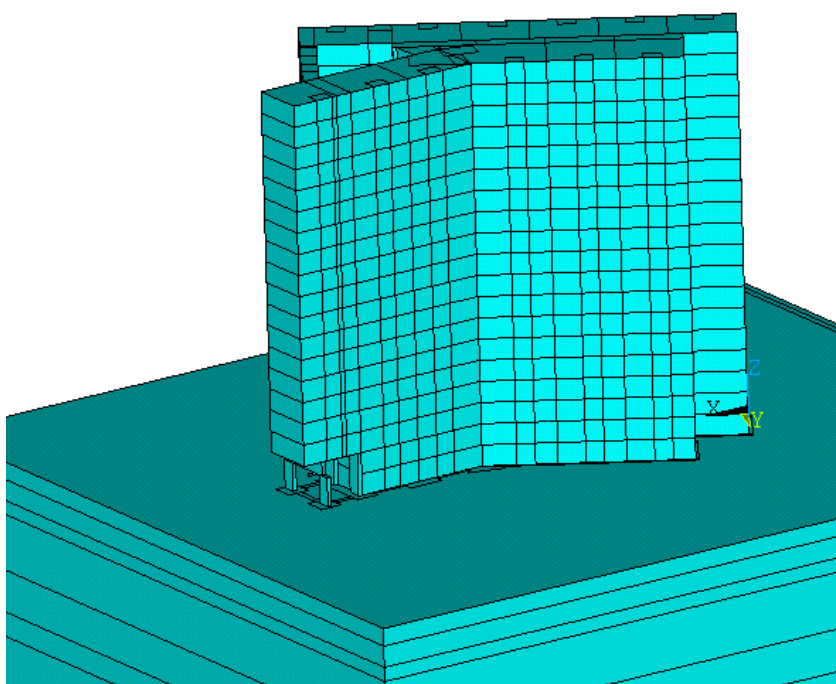
t3.2 Gemiddelde van de maximale trillingsterktes, in de bodem

		Gemiddelde van de maximale trillingsterktes in de bodem		
		X	Y	Z
gebouw A	dag	0,09	0,13	0,07
	avond	0,08	0,12	0,07
	nacht	0,08	0,12	0,06
gebouw B	dag	0,14	0,11	0,12
	avond	0,14	0,11	0,12
	nacht	0,13	0,10	0,11

3.3 3D model

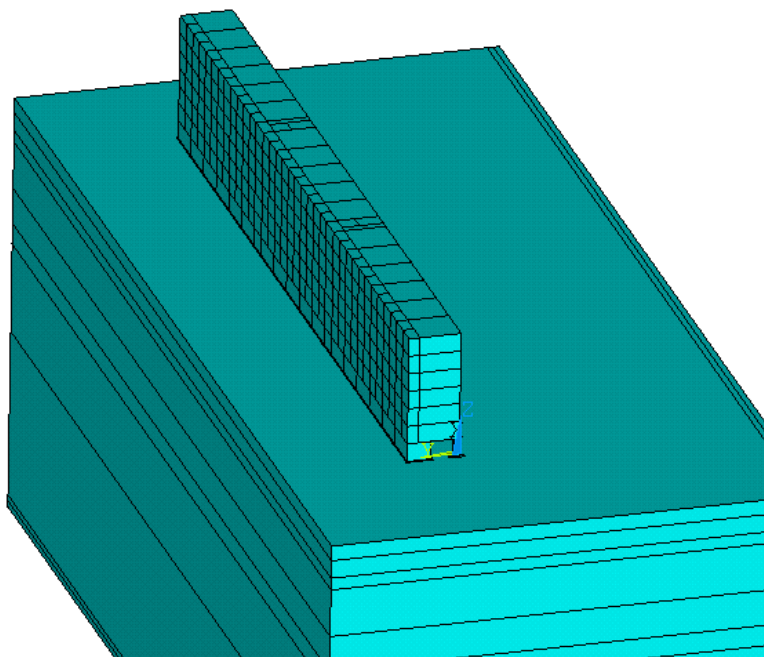
In het softwarepakket ANSYS is een 3D model opgesteld van gebouw A en B. In figuur 3.1 is het EEM model van gebouw A weergegeven.

f3.1 EEM model gebouw A



In figuur 3.2 is het EEM model van gebouw B weergegeven.

f3.2 EEM model gebouw B



In de rekenmodellen zijn ook de voorziene heipalen opgenomen.

3.4 Optredende trillingen gebouw A

Op basis van de berekeningen met het huidige ontwerp (DO) volgt dat in het gebouw sprake kan zijn van een maximale trillingsterkte tot 0,3 à 0,4 in horizontale (X en Y) richting en 0,1 in verticale (Z) richting als gevolg van passerende (goederen)treinen.

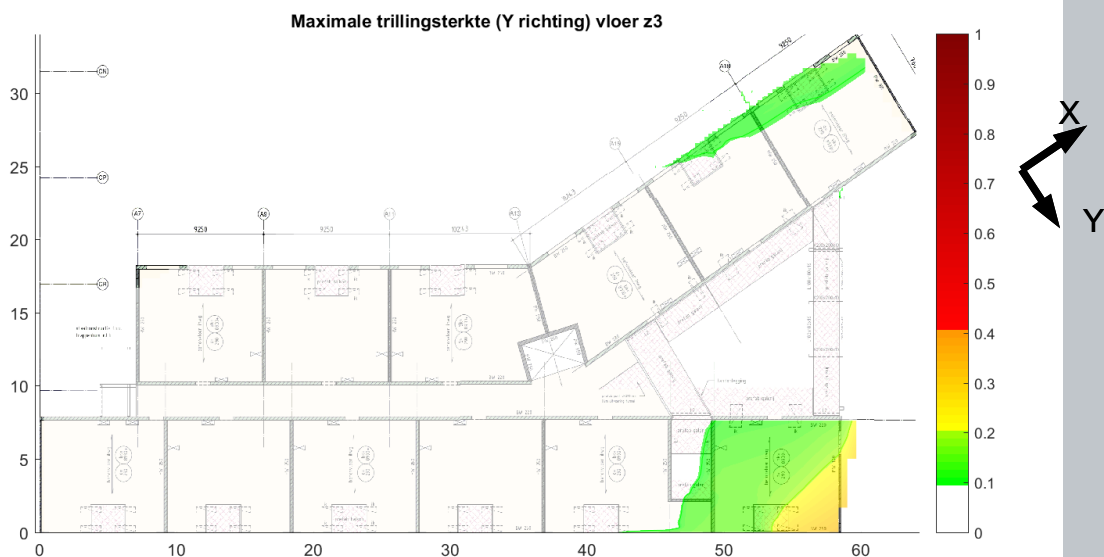
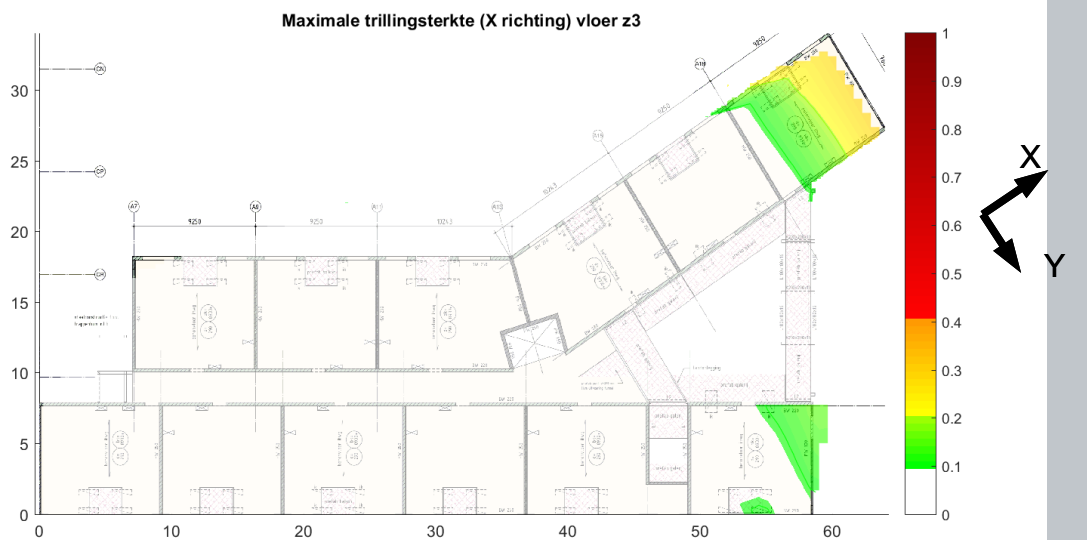
De streefwaarde A_2 bedraagt 0,2 zodat in verticale richting (Z) wordt voldaan, maar in horizontale richting sprake is van een overschrijding met een factor 2.

Op basis van de resultaten volgt dat de hoogste trillingsterkten zijn aangetroffen op vloerniveau 3 (2^e verdieping).

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat indien getoetst wordt aan de streefwaarden overeenkomend met een bestaande situatie de maximale trillingsterkte voldoet.

In figuur 3.3 zijn de contouren getoond van vloerniveau 3 voor de horizontale X (parallel aan het spoor) en Y richting (loodrecht op het spoor).

f3.3 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 3



Verder is de overschrijding beperkt tot twee verdiepingen, te weten de 2^e en 3^e verdiepingsvloer en beperkt tot 2 appartementen per verdieping derhalve tot in totaal 4 appartementen.

Op basis van de resultaten uit het vooronderzoek (passages gedurende een week) zal naar verwachting maximaal 3x per etmaal sprake zijn van een passerende trein die de streefwaarde overschrijdt.

Een trillingsterkte van 0,4 kan conform de SBR deel B worden gekwalificeerd als 'matige hinder'.

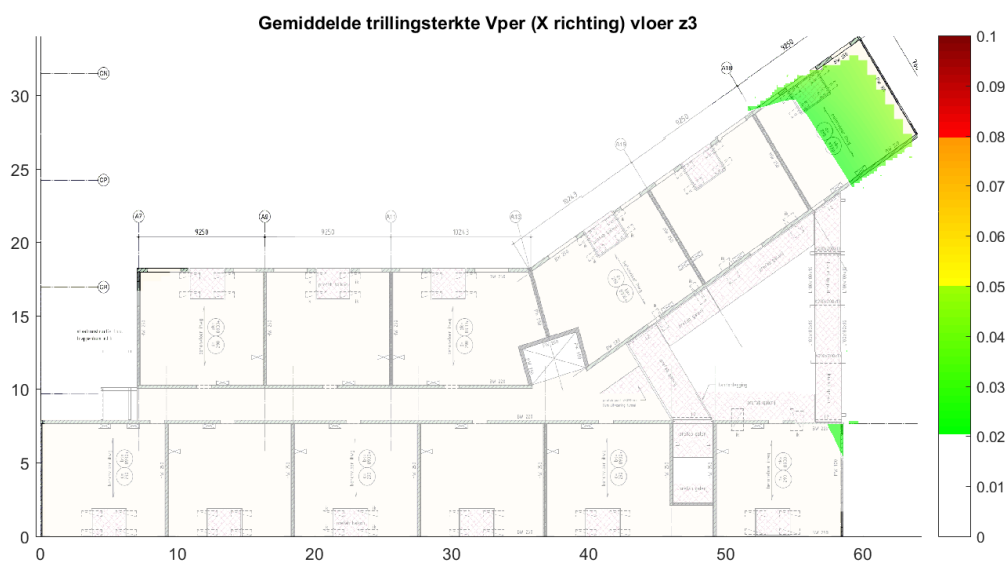
Volgens de systematiek van de SBR dient indien hoger dan streefwaarde A_1 doch lager dan de streefwaarde A_2 aanvullend te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 .

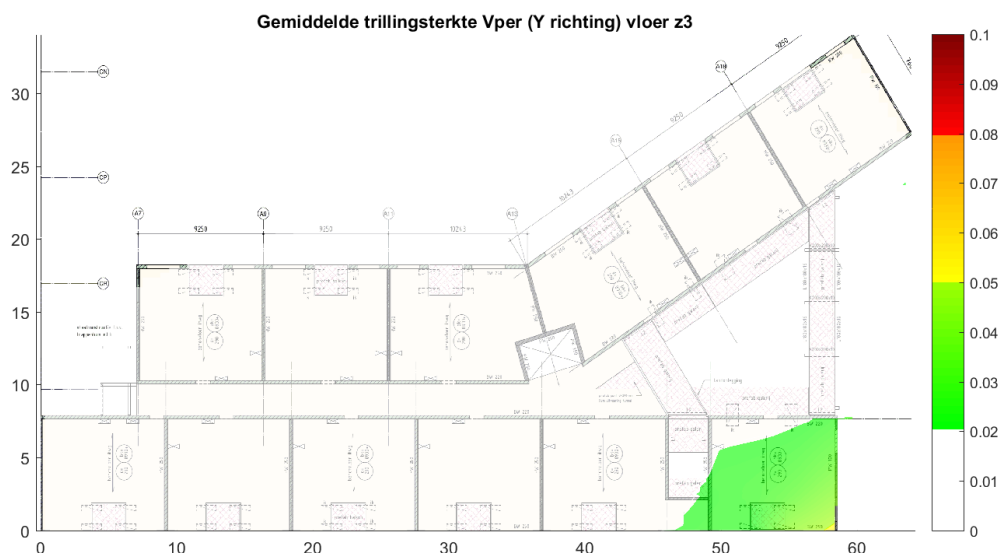
In het voorgaande deel is reeds beoordeeld in relatie tot de streefwaarde A_2 waarbij de maximale trillingsterkte relevant is. Vervolgens dient te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 waarbij de gemiddelde trillingsterkte relevant is.

In het navolgende deel zijn de berekende contouren met de gemiddelde trillingsterkte beoordeeld.

Figuur 3.4 toont de contour op vloerniveau 3 waar sprake is van de hoogste niveaus.

f3.4 Gemiddelde trillingsterkte contour, vloerniveau 3





Op basis van resultaten in figuur 3.4 volgt dat de streefwaarde A_3 van 0,05 zeer plaatselijk wordt overschreden waarbij de overschrijding beperkt is tot 1 appartement.

3.5 Optredende trillingen gebouw B

Op basis van de berekeningen met het huidige ontwerp volgt dat als gevolg van een aanstoting in horizontale Y richting hogere trillingniveaus optreden dan in horizontale X richting. De verdere beschouwing is derhalve beperkt tot de resultaten als gevolg van een aanstoting in horizontale Y richting alsmede verticale Z richting.

In het gebouw kan sprake zijn van een maximale trillingsterkte tot 0,5 in horizontale (Y) richting en 0,3 in verticale (Z) richting als gevolg van passerende (goederen)treinen.

De streefwaarde A_2 bedraagt 0,2 zodat sprake is van een overschrijding met een factor 2 à 3. Op basis van de resultaten volgt dat de hoogste trillingsterkten zijn aangetroffen op vloerniveau 2 (1^e verdieping) voor de trillingen in horizontale richting. Voor de trillingen in verticale richting zijn de hoogste trillingsterkten aangetroffen op vloerniveau 7 (6^e verdieping).

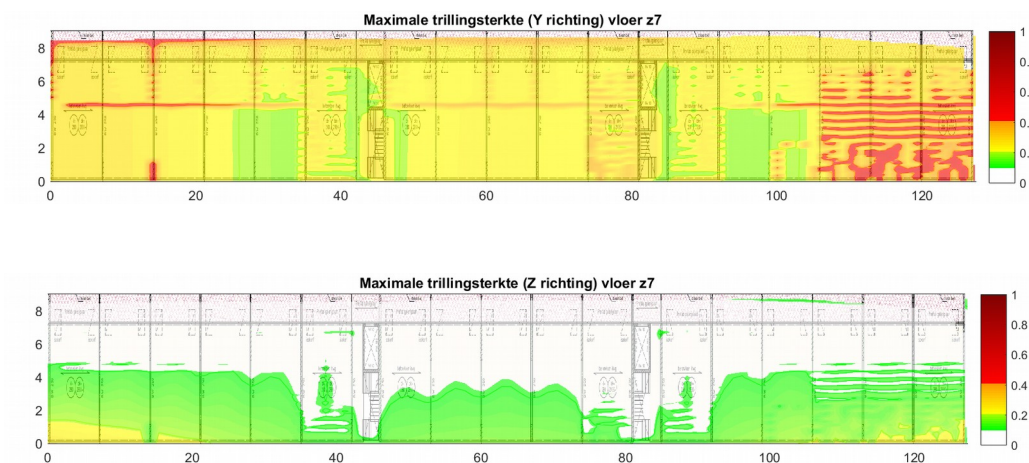
In figuur 3.5 zijn de contouren getoond van vloerniveau 2 voor de horizontale Y richting (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting.

f3.5 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 2 (figuur niet op schaal)



In figuur 3.6 zijn de contouren getoond van vloerniveau 7 voor de horizontale Y richting (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting.

f3.6 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 7 (figuur niet op schaal)



Op basis van de resultaten uit het vooronderzoek zal naar verwachting maximaal 4x per etmaal sprake zijn van een passerende trein die de streefwaarde overschrijdt.

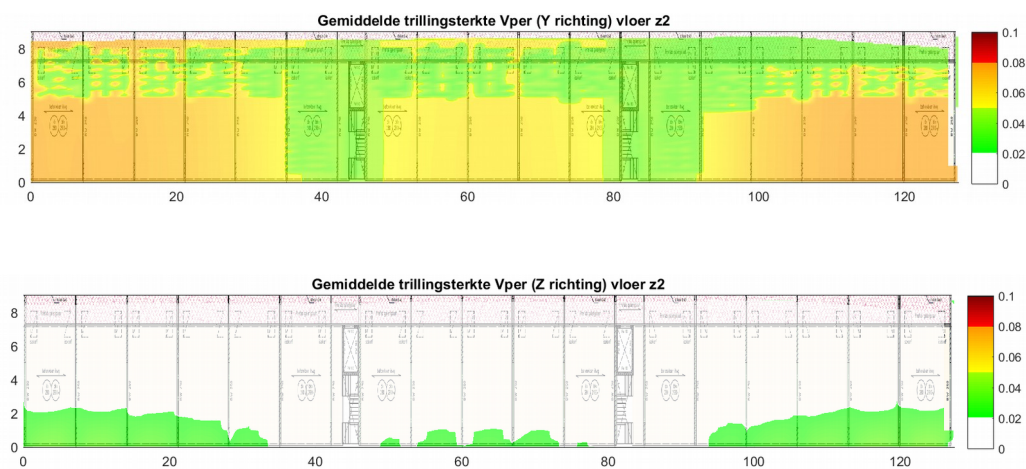
Een trillingsterkte van 0,5 kan conform de SBR deel B worden gekwalificeerd als 'matige hinder'.

Vervolgens dient op vergelijkbare wijze als bij gebouw A te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 voor de gemiddelde trillingsterkte.

In het navolgende deel zijn de berekende contouren met de gemiddelde trillingsterkte gegeven en beoordeeld.

Figuur 3.7 toont de contour op de vloerniveau 2 waar sprake is van de hoogste niveaus.

f3.7 Gemiddelde trillingsterkte contour, vloerniveau 2



Op basis van resultaten in figuur 3.7 volgt dat de streefwaarde A_3 (0,05) met waarden tot ca. 0,08 beperkt wordt overschreden.

4 Principemaatregelen

4.1 gebouw A

De mogelijke maatregelen zijn in eerste instantie gericht op het voldoen aan een streefwaarde A_2 van 0,2 (geldend voor nieuwbouw). Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat indien getoetst wordt aan de streefwaarden overeenkomend met een bestaande situatie de maximale trillingsterkte bij gebouw A voldoet.

In eerste instantie is bezien welke frequenties maatgevend zijn voor de optredende trillingen. Nader onderzoek toont dat de waarde in horizontale richting door met name de 12,5 Hz tertsband wordt bepaald.

Verder is vastgesteld dat het voorziene fundament een beperkte damping heeft bij deze frequentie en dat het gebouw nagenoeg in dezelfde mate als de damping de trillingen weer versterkt. Hierbij is de verwachting dat de betonnen ondersteuning van de kop-appartementen een belangrijke rol speelt in de trillingoverdracht naar de bovenliggende appartementen.

Het meest voor de hand liggend is om de maatregelen te richten op de betonnen ondersteuning en de fundering van deze ondersteuning. Om meer horizontale stijfheid te creëren kan worden gedacht aan het toepassen van schoren aan beide zijden van de twee ondersteuning.

Als alternatief voor een mogelijke trillingreductie kan worden gedacht aan het toepassen van andere wanden en vloeren in de relevante appartementen. Met het rekenmodel kan worden onderzocht in hoeverre stijvere danwel slappere wanden en vloeren van invloed zijn op de trillingen.

De verwachting is dat met bovenstaande maatregelen een relevante reductie kan worden bereikt waarmee kan worden voldaan aan een streefwaarde van 0,2. Verder is de verwachting dat de gemiddelde trillingsterkte met deze maatregelen eveneens zal voldoen.

4.2 gebouw B

Wederom zijn de mogelijke maatregelen in eerste instantie gericht op het voldoen aan een streefwaarde A_2 van 0,2 (geldend voor nieuwbouw).

Op vergelijkbare wijze als bij gebouw A is in eerste instantie nader onderzoek uitgevoerd naar de maatgevende frequenties. Nader onderzoek toont dat de waarde in horizontale richting wordt bepaald door met name de 4 Hz, 6,3 Hz en 12,5 Hz tertsband. In mindere mate spelen de 8 Hz en 10 Hz tertsband een rol.

De waarde in verticale richting wordt bepaald door met name de 8 Hz en 12,5 Hz tertsband.

Verder is vastgesteld dat het voorziene fundament een beperkte demping heeft bij de relevante frequenties waarbij de verwachting is dat door toepassing van een zwaarder fundament een relevante trillingreductie, behoudens de bijdrage bij 4 Hz, kan worden gerealiseerd.

De bijdrage bij 4 Hz kan mogelijk een knelpunt worden. Bij deze relatief lage frequentie is het lastig om geschikte maatregelen toe te passen zonder het gehele ontwerp aan te tasten. Ons advies is om, gezien het beperkte aantal treinpassages die deze bijdrage veroorzaken, de betreffende treinpassages bij de beoordeling buiten beschouwing te laten. Naar verwachting passeert ongeveer 1x per week een trein die bij deze frequentie een aanstoting heeft die resulteert in een overschrijding. De overige treinen zijn qua aanstoting hoogfrequentier.

Het meest voor de hand liggend is om de maatregelen in eerste instantie te richten op het fundament.

De verwachting is dat met deze maatregelen een relevante reductie kan worden bereikt waarmee goeddeels kan worden voldaan aan een streefwaarde van 0,2. Verder is de verwachting dat de gemiddelde trillingsterkte met deze maatregelen eveneens zal voldoen.

Dit rapport bevat 19 pagina's



Mook,