



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 6393-3-RA-001
datum 22 mei 2018
referentie LL/EdV/HT/H 6393-3-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	Mogelijke maatregelen	18
4.1	gebouw A	18
4.2	gebouw B	21

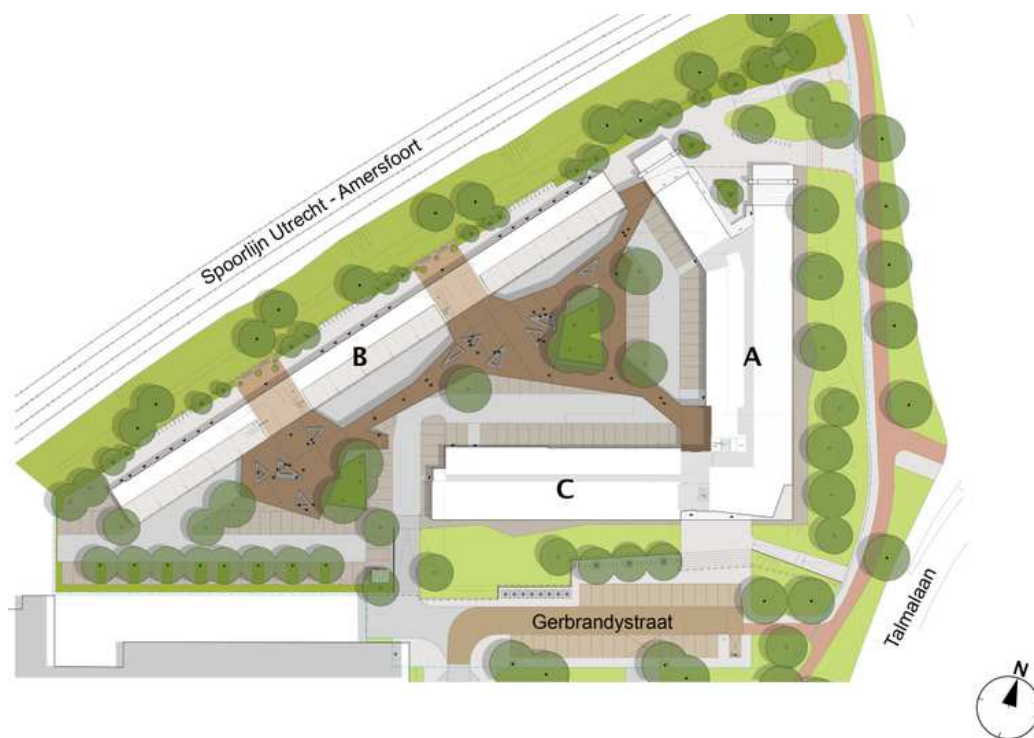
1 Inleiding

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 maatregelen aangegeven.

2 Uitgangspunten

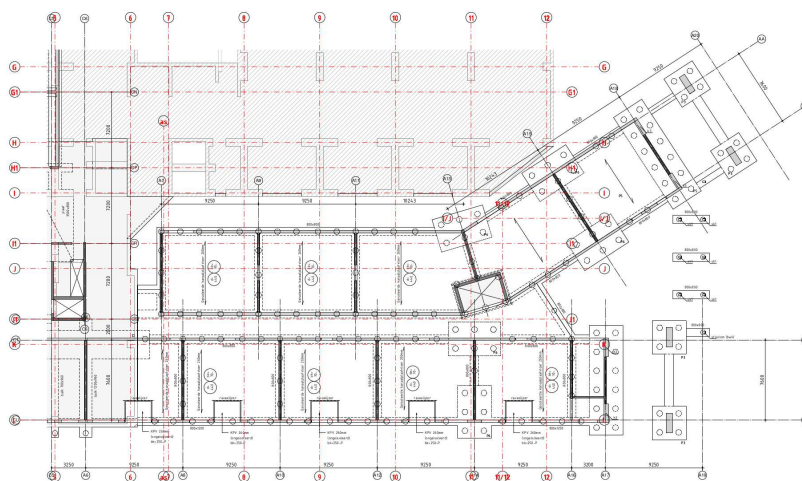
2.1 Ontwerp

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.

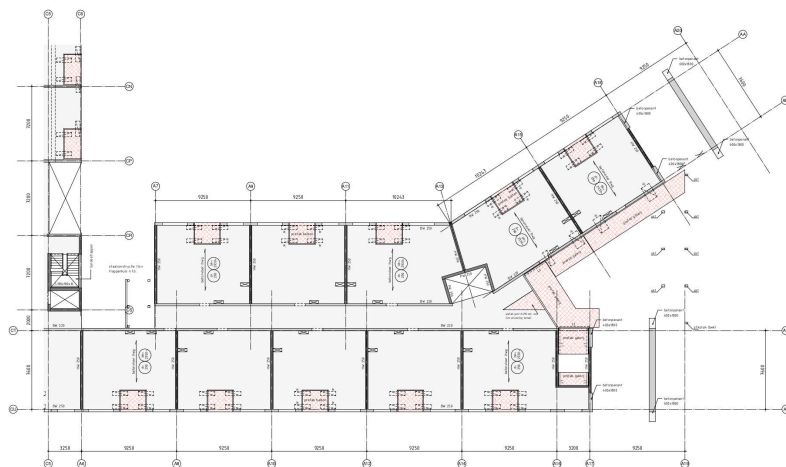
Figuur 2.1 toont het fundament van gebouw A.

f2.1 Fundament gebouw A



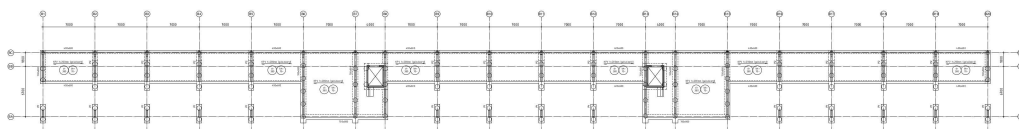
Figuur 2.2 toont de 1^e verdiepingsvloer van gebouw A.

f2.2 1e verdieping gebouw A



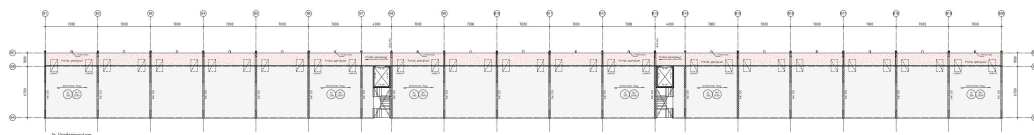
Figuur 2.3 toont het fundament van gebouw B.

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 opdracht nummer 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 eerste instantie uitgevoerd op basis van een aantal worst case aannames 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.

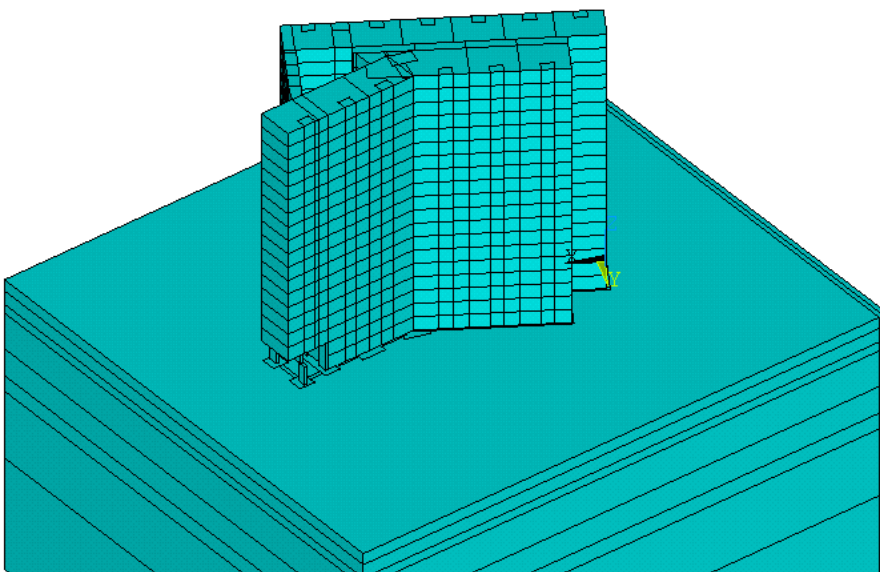
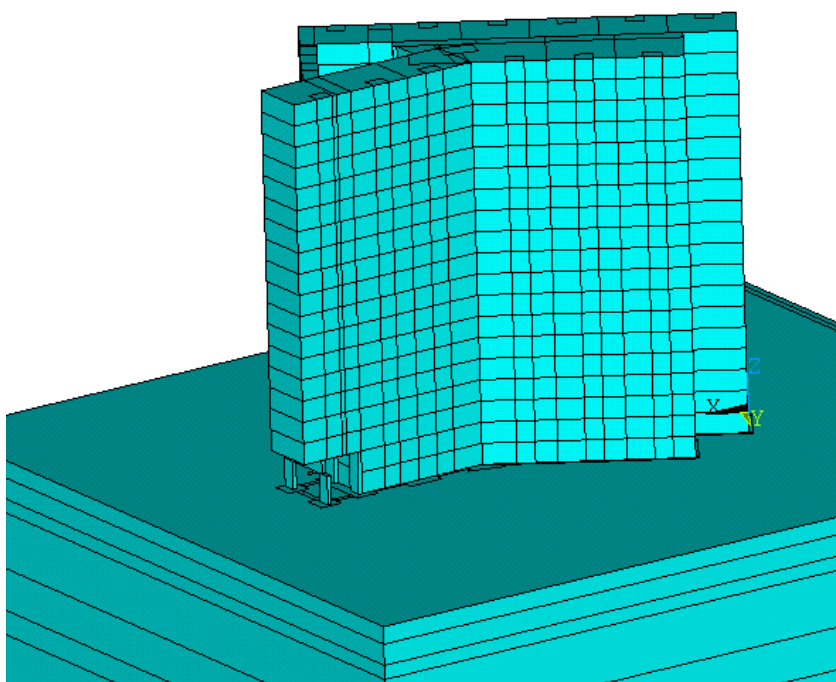
t3.2 Gemiddelde van de maximale trillingsterktes, in de bodem

		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

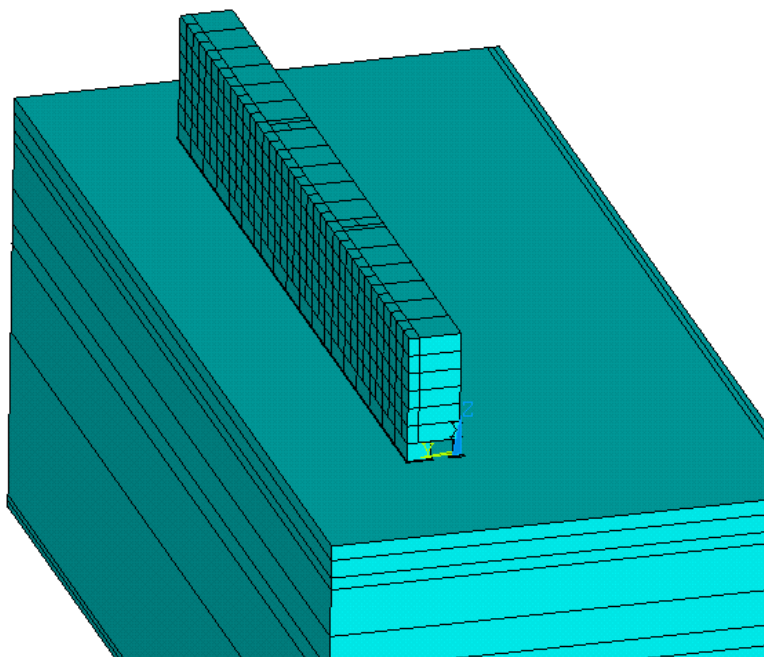
In het softwarepakket ANSYS is een 3D model opgesteld van gebouw A en B. In figuur 3.1 is het EEM model van gebouw A weergegeven.

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.

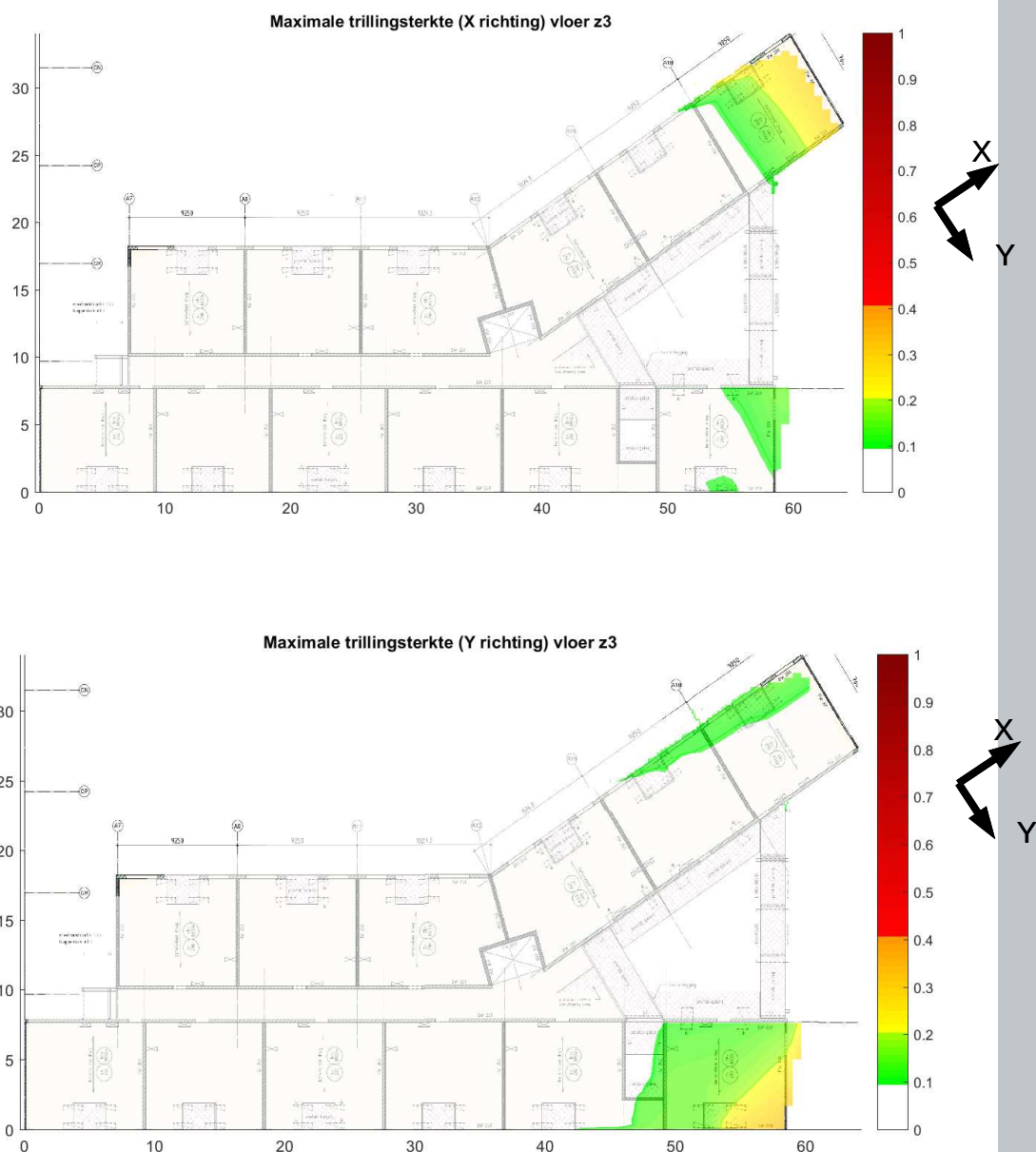
De streefwaarde A_2 bedraagt 0,2 zodat in verticale richting (Z) wordt voldaan, maar in horizontale richting sprake is van een overschrijding met een factor 2.

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'.

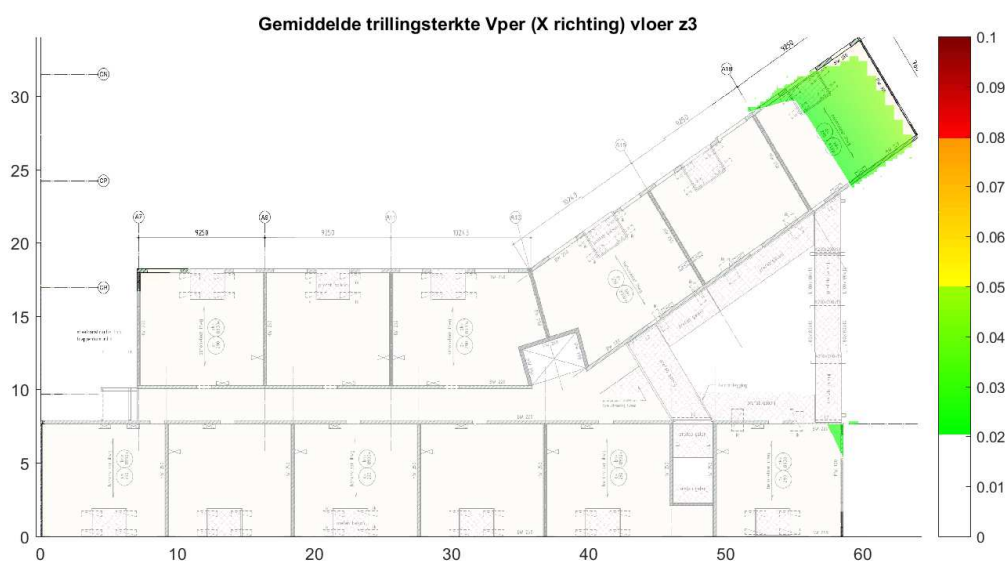
Volgens de systematiek van de SBR dient indien hoger dan streefwaarde A_1 doch lager dan de streefwaarde A_2 aanvullend te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 .

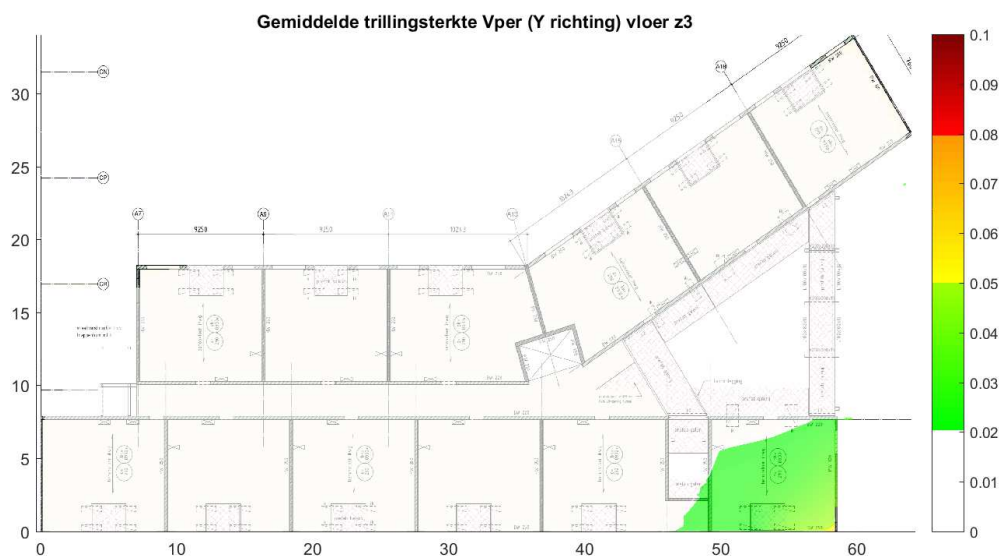
In het voorgaande deel is reeds beoordeeld in relatie tot de streefwaarde A_2 waarbij de maximale trillingsterkte relevant is. Vervolgens dient te worden getoetst aan de streefwaarde A_3 waarbij de gemiddelde trillingsterkte relevant is.

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

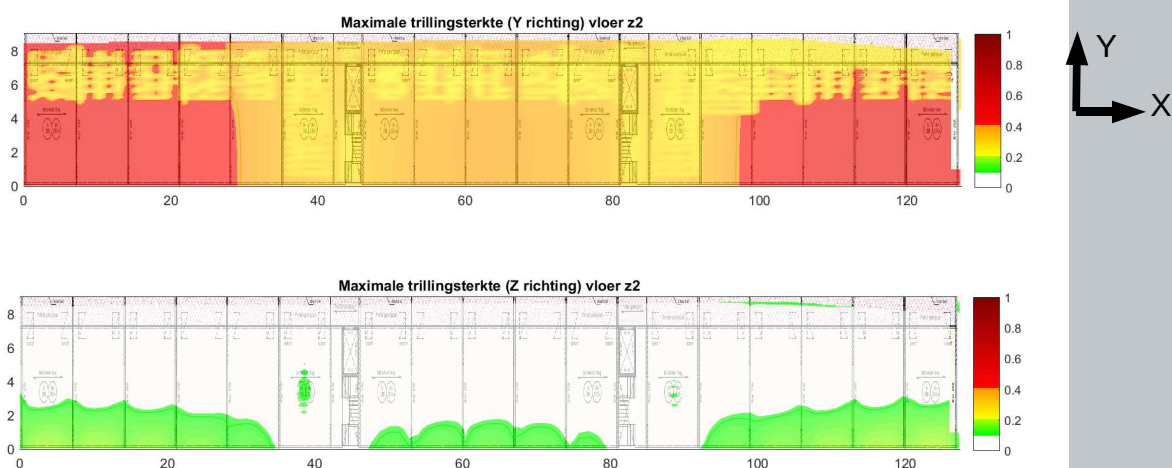
Op basis van de berekeningen met het huidige ontwerp volgt dat als gevolg van een aanstoting in horizontale Y richting hogere trillingniveaus optreden dan in horizontale X richting. De verdere beschouwing is derhalve beperkt tot de resultaten als gevolg van een aanstoting in horizontale Y richting alsmede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

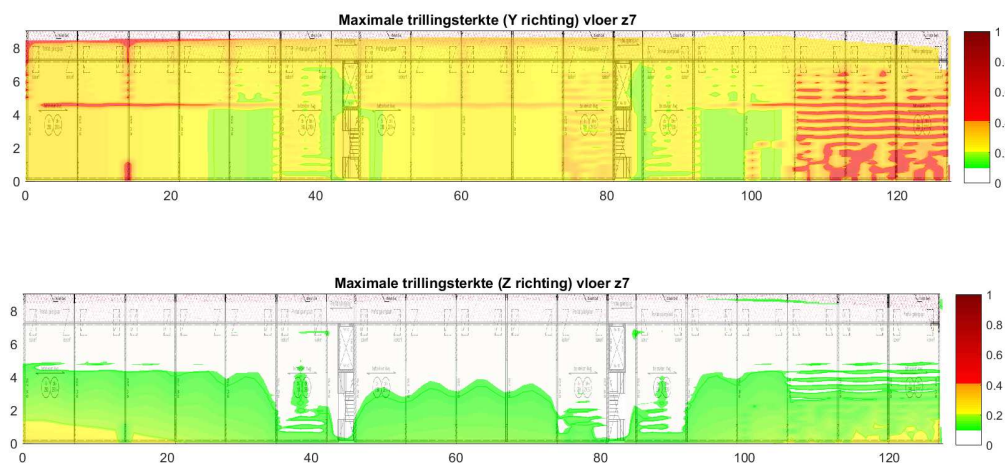
In figuur 3.5 zijn de contouren getoond van vloerniveau 2 voor de horizontale Y richting (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting.

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.

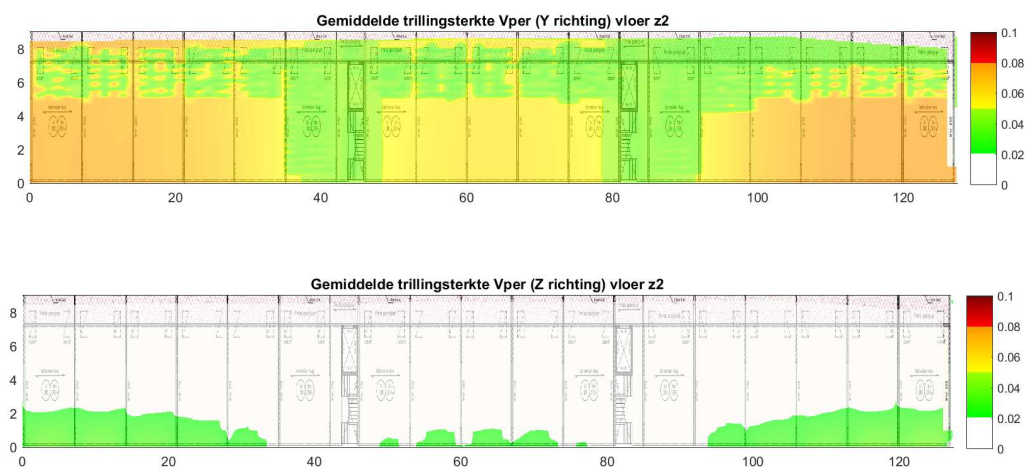
Een trillingsterkte van 0,5 kan conform de SBR deel B worden gekwalificeerd als 'matige hinder'.

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 Mogelijke maatregelen

4.1 gebouw A

De beschouwde mogelijke maatregelen zijn 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 voor bestaande situaties de maximale trillingsterkte voldoet.

De overschrijding van de streefwaarde treedt op in horizontale richting. In eerste instantie is gezien 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 gebleken dat het voorziene fundament een beperkte demping heeft bij deze frequentie en dat het gebouw nagenoeg in dezelfde mate als de demping 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.

Uitgangspunt is dat in principe het ontwerp niet aangetast wordt door de te treffen maatregelen.

Met het rekenmodel (EEM model) van gebouw A zijn de volgende maatregelen doorgerekend:

- zwaarder fundament betonnen ondersteuning (globaal verdubbeling)
- aanpassing betonnen ondersteuning (verbreding)
- aanpassing profielen staalconstructie tussen beide gebouwen (zowel stijvere als slappere alternatieven doorgerekend).

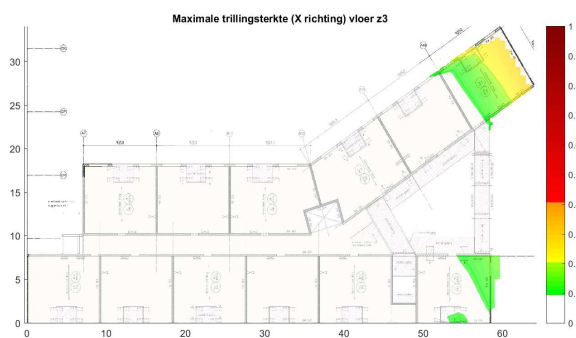
Fundament betonnen ondersteuning

De resultaten tonen dat met een fundament voor de betonnen ondersteuning dat twee maal zo groot is als in het ontwerp de trillingsterkte op de maatgevende locaties in het gebouw niet relevant wijzigen.

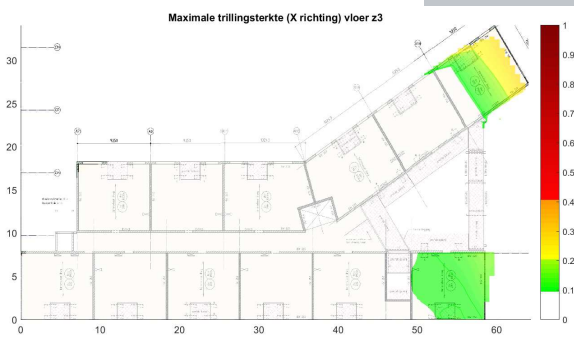
Figuur 4.1 toont de maximale trillingsterkte die in X-richting optreedt op vloerniveau 3 voor zowel het ontwerp als in de situatie met een zwaarder fundament.

f4.1 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 3, X-richting

ontwerp



zwaarder fundament thv ondersteuning



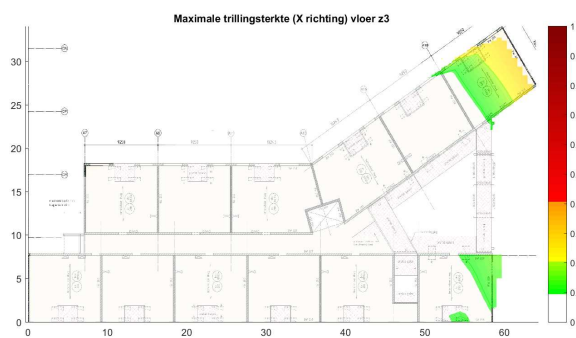
Zoals te zien in figuur 4.1 is in het gebied met de verwachte overschrijding (geel) slechts sprake van een marginaal verschil in trillingsterkte. Dit betekent dat een verzwaring van het fundament van de ondersteuning geen zinvolle trillingreductie oplevert.

Betonnen ondersteuning

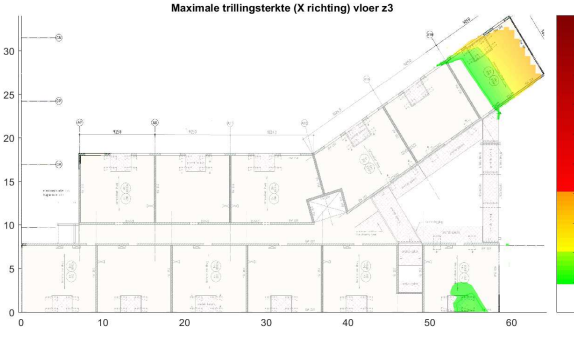
Figuur 4.2 en 4.3 toont de maximale trillingsterkte op vloerniveau 3 voor zowel het ontwerp als in de situatie met een bredere ondersteuning. Figuur 4.2 toont de trillingsterkte in de horizontale X-richting en figuur 4.3 toont de trillingsterkte in horizontale Y-richting.

f4.2 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 3, X-richting

ontwerp



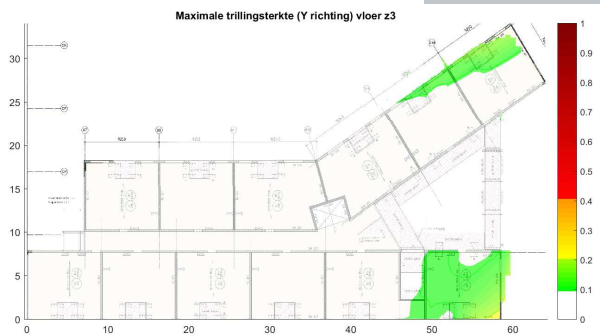
breder ondersteuning



f4.3 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 3, Y-richting ontwerp



breedere ondersteuning



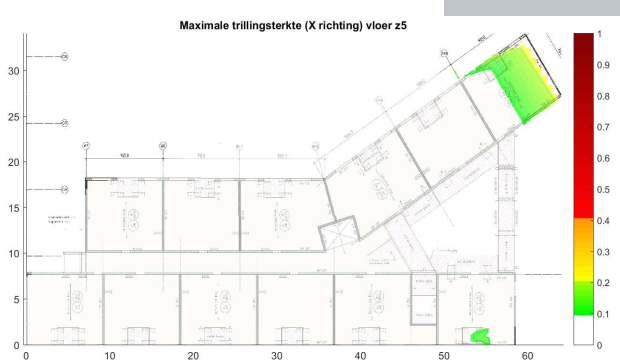
Uit de figuren blijkt een niet relevant verschil in x-richting, en een beperkt winst in y-richting.

Als gevolg van de maatregel treedt echter een toename op op vloerniveau 5, zie ter illustratie figuur 4.4. De toename op vloerniveau 5 resulteert daar in een geringe overschrijding.

f4.4 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 5, X-richting ontwerp



breedere ondersteuning



In alle gevallen is de verwachte overschrijding bij het huidige ontwerp relatief beperkt en staat tegenover 'winst' die plaatselijk behaald kan worden weer wat 'verlies' op andere locaties. Gezien deze constatering achten wij een dergelijke maatregel niet zinvol.

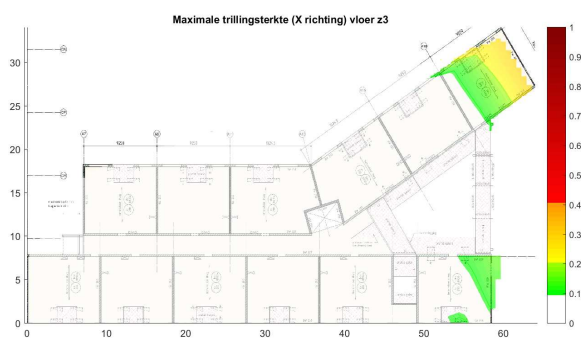
Aanpassing staalconstructie tussen beide gebouwen

Het vakwerk waar de galerij tussen beide gebouwen is voorzien, zorgt voor een mechanische koppeling tussen beide gebouwen. Aangezien juist de trillingen in horizontale richting het hoogst zijn kan deze koppeling daarop van invloed zijn.

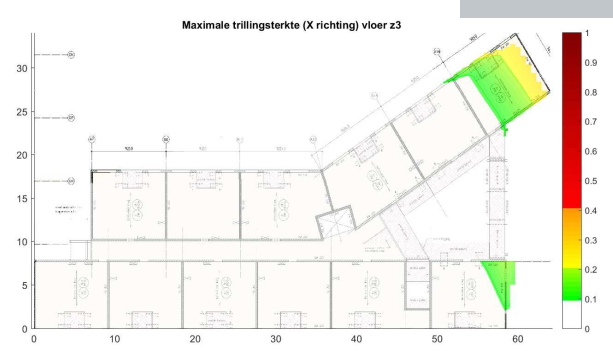
De maatregelen toont de grootste verschillen op niveau 3. Figuur 4.5 toont de maximale trillingsterkte op dit vloerniveau voor zowel het ontwerp als in de situatie met een aanzienlijke dunnere profielen. In de figuur is de trillingsterkte getoond in de horizontale X-richting. De trillingsterkte in horizontale Y-richting, alsmede de overige vloeren, wijzigt niet relevant ten opzichte van het ontwerp.

f4.5 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 3, X-richting

ontwerp



dunnere profielen



De resultaten tonen dat de te behalen winst zeer beperkt is. Slechts een iets kleiner deel van het appartement op niveau 3 overschrijdt mogelijk de streefwaarde.

Een vergelijkbaar beeld toont het toepassen van zwaardere profielen (verstijven).

Gezien de constatering dat de betreffende maatregelen slechts invloed heeft op één van de vier appartementen waar de streefwaarde mogelijk wordt overschreden, en het feit dat die invloed verder ook nog zeer beperkt is, achten wij deze maatregel weinig zinvol.

Gezien het bovenstaande adviseren wij, mede gelet op de mate van overschrijding (er wordt voldaan aan de streefwaarden voor bestaande bouw), en het feit dat de mogelijke overschrijding zich beperkt tot (delen van) slechts 4 appartementen, geen vergaande bouwkundige maatregelen toe te passen.

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.

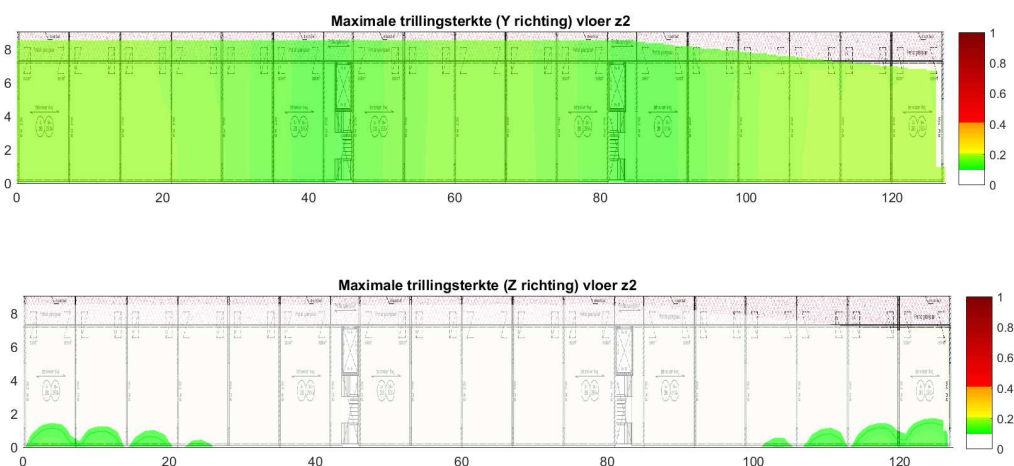
De waarde in verticale richting wordt bepaald door met name de 8 Hz en 12,5 Hz tertsband.

Gezien het feit dat de verwacht overschrijding zich uitstrekt over nagenoeg het gehele blok en verder over alle verdiepingen, is het treffen van maatregelen aan het fundament het meest voor de hand liggend en naar verwachting ook het minst ingrijpend.

Met het rekenmodel van gebouw B zijn maatregelen doorgerekend met betrekking tot het fundament. Hierbij is gerekend aan zowel verschillende diktes en afmetingen als alternatieve uitvoeringen. In alle gevallen is conform het huidige ontwerp uitgegaan van heipalen onder het fundament.

Op basis van de rekenresultaten volgt dat de uitvoering met een (massieve) funderingsplaat onder het gehele blok met een dikte van 1,2 tot 1,5 m voldoende effectief is. Hiermee wordt juist voldaan aan de streefwaarde A_2 van 0,2 geldend voor nieuwe situaties. Illustratief toont figuur 4.6 de te verwachten trillingsterkte na toepassing van de funderingsplaat. Hierbij zijn de contouren getoond van het maatgevende vloerniveau 2 voor de horizontale Y richting (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting.

f4.6 Maximale trillingsterkte contour, vloerniveau 2 (figuur niet op schaal)



Dit rapport bevat 22 pagina's

Mook,