

Bezoekadres:

Stationsweg 2
8011 CZ Zwolle
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505

E info@caubergghuygen.nl

W <http://www.caubergghuygen.nl>

K.V.K. 58792562

IBAN NL71RABO0112075584

Trillingsonderzoek nieuwbouw Edward Poppelaan te Etten-Leur; prognose op basis van EEM-rekenmodel

Datum **6 juli 2023**
Referentie **09750-57708-02**

Referentie 09750-57708-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek nieuwbouw Edward Poppelaan te Etten-Leur;
prognose op basis van EEM-rekenmodel

Datum 6 juli 2023

Opdrachtgever Het Jacobusbos Etten-Leur B.V.
Herautstraat 15
4871 LN ETTEN LEUR
Contactpersoon De heer M. Kint

Behandeld door De heer ir. C. Verhoeven
De heer ir. G.H.J. Busscher
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
Stationsweg 2
8011 CZ Zwolle
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding en samenvatting	4
1.1	Inleiding	4
1.2	Samenvatting	5
2	Opzet van het onderzoek	6
2.1	Globale opzet	6
2.2	Toetsingskader	6
2.3	Situatie	7
2.4	Validatie en nauwkeurigheid	8
2.5	Beschrijving van het EEM-rekenmodel	9
3	Resultaat EEM-berekening en beoordeling	12
3.1	Resultaat en beoordeling patiowoningen	12
3.2	Resultaat en beoordeling startersappartementen	14
3.3	Onderzoek naar trillingsreducerende maatregelen startersappartementen	15
4	Resultaat en beoordeling aangepast ontwerp startersappartementen	18
4.1	Resultaat en toetsing $V_{\max}$	18
4.2	Toetsing V_{per}	19
4.3	Onderzoek naar aanvullende maatregelen	19
5	Eindbeoordeling voorgesteld ontwerp	21
5.1	Algemeen	21
5.2	Mate van overschrijding	21
6	Conclusies	23

1 Inleiding en samenvatting

1.1 Inleiding

In opdracht van Het Jacobusbos Etten-Leur B.V. is door Cauberg Huygen een trillingsonderzoek uitgevoerd voor het nieuwbouwproject aan de Edward Poppelaan 14 te Etten-Leur. Het nieuwbouwproject betreft 3 woningblokken: de startersappartementen (blok A) en de patiowoningen (blokken B en C). Het doel van het onderzoek is te bepalen of trillingshinder wordt verwacht ten gevolge van het passerende treinverkeer. En zo ja met welke maatregelen deze effectief kan worden gereduceerd of voorkomen.

Het onderzoek is uitgevoerd in 2 delen. Het eerste deel betrof een empirische prognose waarbij gebruik is gemaakt van de lokaal gemeten trillingsniveaus. Uit dat onderzoek blijkt dat trillingshinder kan worden voorkomen als bij het ontwerp van de gebouwen rekening wordt gehouden met de aanwezige trillingsbelasting. Het resultaat van het eerste deel is gerapporteerd in rapport 09750-57708-01 d.d. 29 maart 2023.

Voorliggend rapport geeft een samenvatting van het tweede deel van het onderzoek waarin de resultaten van het rekentechnisch onderzoek naar maatregelen is samengevat. Navolgende paragraaf geeft een samenvatting van de resultaten, hoofdstuk 2 een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten, hoofdstuk 3 de resultaten van het originele ontwerp, hoofdstuk 4 de resultaten van het aangepaste ontwerp met in hoofdstuk 5 het eindoordeel en hoofdstuk 6 de conclusies.

1.2 Samenvatting

De mogelijke trillingshinder die door treinenpassages kunnen ontstaan in de toekomstige woningen aan de Edward Poppelaan is onderzocht met een combinatie van ter plekke uitgevoerde trillingsmetingen en een dynamisch EEM-rekenmodel van de toekomstige gebouwen. Met de berekeningen is onderzocht welke maatregelen nodig zijn om de trillingshinder te beperken of te voorkomen. De berekende trillingsniveaus zijn daarbij getoetst aan gebruikelijke regels in bestemmingsplannen zoals ook gehanteerd in bestemmingsplan 'Stationsplein 21-25' van de gemeente Etten Leur B.

Puntsgewijs luiden de conclusies als volgt:

- Met het originele ontwerp van de patiowoningen wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties.
- Met het originele ontwerp van de startersappartementen wordt niet voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe en bestaande situaties. Conform het voorgestelde toetsingskader moeten maatregelen worden getroffen.
- In overleg met de opdrachtgever is besloten de volgende maatregelen toe te passen:
 - De voor- en achtergevel dragend uitvoeren (214 mm kalkzandsteen). De stabiliteitswanden worden verwijderd.
 - De funderingsbalk aan de voorzijde wordt breder uitgevoerd (600 mm in plaats van 400 mm).
 - Bij elke voorgevel wordt in het midden onder de fundering een extra paal geplaatst.
 - De ribcassettevloer op de begane grond vervangen door een 260 mm kanaalplaatvloer.
- Door het treffen van bovengenoemde maatregelen wordt ruimschoots voldaan aan de SBR-B streefwaarde voor bestaande situaties. Er resteert minimale overschrijding van de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties met 10%. Aangezien niet aan de SBR streefwaarden wordt voldaan moeten verdere maatregelen worden overwogen.
- De mate van hinder is bij de minimale overschrijding beperkt om de volgende redenen:
 - De overschrijding treedt maximaal 2 keer per week op en is met maximaal 10% dermate laag dat deze door mensen niet kan worden onderscheiden van trillingen die net wel aan de streefwaarde voldoen.
 - De overschrijding treedt op over maximaal 10% van het vloeroppervlak van een woning.
 - Er wordt ruim (met een marge van 45%) voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor bestaande situaties. Dat betekent dat mensen na verloop van tijd aan de trillingen gewend zullen raken en er geen hinder meer van zullen ondervinden.

In het algemeen is het oordeel dat de mate van trillingshinder minimaal is en dat de doelmatigheid van aanvullende maatregelen beperkt is: de hinder die ermee kan worden voorkomen is minimaal.

- Ter bepaling van de kosteneffectiviteit zijn in hoofdstuk 4.3 aanvullende trillingsreducerende maatregelen besproken en overwogen. Op basis van daarvan heeft de opdrachtgever geconcludeerd dat geen van de maatregelen kosteneffectief is.
- Voorgesteld wordt de resterende, minimale mate van trillingshinder te accepteren volgens het voorgestelde toetsingskader: Met een dynamische berekening is aangetoond dat wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor bestaande situatie en uit de beoordeling van mogelijk aanvullende maatregelen blijkt dat alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen om de resterende trillingshinder te reduceren zijn getroffen.

2 Opzet van het onderzoek

2.1 Globale opzet

De gebouwen zijn gemodelleerd in een 3D Eindige Elementen Methode (EEM) rekenmodel. Met behulp van dit model wordt de te verwachten trillingssterkte in de toekomstige woningen berekend. Tevens wordt het effect van maatregelen berekend en de gebouwconstructie geoptimaliseerd ter reductie van de trillingssterkte en de hinder die daarmee gepaard kan gaan.

Voor zowel de startersappartementen als de patiowoningen is een 3D-EEM-rekenmodel opgesteld. Deze bestaat uit een model van het te realiseren gebouw inclusief een model van de bodem onder het gebouw. De bodem strekt zich in het model uit tot aan het dichtstbij gelegen spoor, alwaar de trillingsbelasting op het model is aangebracht. De trillingsbelasting is berekend in een referentiemodel met alleen de bodem zoals deze ten tijde van de metingen in 2023 aanwezig was. Met dit referentiemodel wordt bepaald welke trillingsaanstoting in het model nodig is om dezelfde trillingen te veroorzaken als destijds gemeten. De aldus bepaalde trillingsaanstoting is toegepast op het model met de geplande nieuwbouw waarmee vervolgens de te verwachten trillingen in het toekomstige gebouwen zijn berekend.

2.2 Toetsingskader

Op het plangebied rust momenteel de enkelbestemming 'Maatschappelijk' conform het op 1 oktober 2012 vastgestelde bestemmingsplan 'Spoorzone Noord' van de gemeente Etten-Leur. Om nieuwbouw voor woningen mogelijk te maken, zal het bestemmingsplan moeten worden gewijzigd naar "wonen". Het is gebruikelijk dat er in het bestemmingsplan regels worden opgenomen om trillinghinder ten gevolge van spoorverkeer te voorkomen. Ter beoordeling van het ontwerp worden de gebruikelijke regels gehanteerd zoals die ook zijn verwoord in regel 4.2.5 van bestemmingsplan 'Stationsplein 21-25' van de gemeente Etten Leur. Deze luidt als volgt:

4.2.5 Voorwaardelijke verplichting trillingshinder

- a. *Het bouwen van de woningen zoals bedoeld in lid 4.1 is uitsluitend toegestaan wanneer uit een dynamische berekening van de trillingssterkte blijkt dat de streefwaarden voor 'Wonen nieuwe situatie', zoals bedoeld in Richtlijn deel B van Stichting Bouwresearch, niet worden overschreden;*
- b. *In afwijking van het bepaalde onder a, is het bouwen van de woningen zoals bedoeld in lid 4.1 ook toegestaan op voorwaarde dat alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen om de trillingssterkte te verminderen worden getroffen en uit een dynamische berekening blijkt dat de streefwaarden voor 'Wonen in bestaande situatie', zoals bedoeld in Richtlijn deel B van Stichting Bouwresearch, niet worden overschreden.*

Conform de richtlijn deel B van Stichting Bouwresearch (SBR-B) vindt de beoordeling plaats op basis van twee parameters $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond of nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. Er wordt voldaan aan de streefwaarden als het volgende geldt:

- De $V_{\max}$ kleiner is dan de A_1 , óf
- Als $V_{\max}$ kleiner is dan A_2 én V_{per} kleiner is dan A_3 .

De streefwaarden voor A_1 , A_2 en A_3 worden bepaald op basis van de situatie (nieuw of bestaand) en de periode (dag/avond of nacht). Conform de planregel moet aan de streefwaarden voor bestaande situaties worden voldaan én moeten alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen worden getroffen. Omdat conform SBR-B geen sprake is van hinder als aan de streefwaarden voor nieuwe situaties wordt voldaan, zijn maatregelen ter reductie van trillingshinder ondoelmatige en hoeven niet meer overwogen te worden.

In onderstaande tabel 2.1 zijn de streefwaardes voor nieuwe en bestaande situaties weergegeven.

Tabel 2.1: Streefwaardes voor herhaald voorkomende trillingen voor gebouwfunctie wonen

	Dag / avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Nieuwe situaties	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Bestaande situaties	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

Het is gebruikelijk om alleen de trillingssterkte in verblijfsruimten te toetsen. De technische ruimte, gang en de badkamer worden bij de beoordeling dan ook buiten beschouwing gelaten, evenals de galerij en het balkon.

Ten slotte wordt opgemerkt dat ervaring leert dat de maximale trillingssterkte $V_{\max}$, meestal kritischer is dan de gemiddelde trillingssterkte V_{per} . Als de $V_{\max}$ voldoet, voldoet de V_{per} meestal ook. Daarom wordt in eerste instantie de $V_{\max}$ getoetst en pas later (ter controle) de V_{per} .

2.3 Situatie

Onderstaand figuur 2.1 geeft een overzicht van het projectgebied met het nog te bouwen appartementencomplex. Dit onderzoek betreft de 12 startersappartementen in het projectgebied (rood omrande gebouw) en de 11 patiowoningen (blauw omrand).



Figuur 2.1: Overzicht projectgebied Edward Poppelaan te Etten-Leur. De starterswoningen zijn rood omrand en de patio woningen blauw

Er is voor gekozen om een EEM model te maken voor de 12 startersappartementen en de 6 patio'swoningen (het linker blauwe blok). Omdat het ontwerp van de beide rijen patio'swoningen gelijk is, kan ervan uit worden gegaan dat als de linker rij patio'swoningen, die zich het dichtst bij het spoor bevindt, voldoet aan de streefwaarden, de rechter rij patio'swoningen eveneens aan die streefwaarden voldoet.

2.4 Validatie en nauwkeurigheid

De werkwijze waarbij de trillingsaanstoting van het rekenmodel wordt bepaald middels een referentiemodel, zorgt voor een validatie van de trillingsaanstoting in het rekenmodel. Het model van de bodem en de gebouwen is per definitie een vereenvoudiging van de werkelijke opbouw van de bodem en de gebouwen, maar met de wijze waarop de trillingsaanstoting is bepaald in het referentiemodel, wordt automatisch gecorrigeerd voor het verschil in trillingsniveau dat zou ontstaan ter plaatse van de meetpunten.

Modellering houdt echter in dat het resultaat van het rekenmodel af zal wijken van de werkelijkheid. Het model is zodanig opgesteld dat de verwachte afwijking minimaal is, maar er resteert altijd een bepaalde onzekerheid. Onze ervaring is dat de geprognosticeerde waarden in absolute zin licht conservatief zijn: er is een grote kans dat de werkelijke trillingsniveaus lager zijn en een beperkte kans dat ze hoger zijn. De kans dat ze hoger zijn kan met dit soort modellen helaas niet worden uitgesloten.

De rekenmodellen die gehanteerd worden, kunnen wel met hogere betrouwbaarheid relatieve uitspraken doen. Dat wil zeggen dat als uit het rekenmodel blijkt dat na een bepaalde maatregel de trillingsniveaus afnemen, de kans groot is dat dit ook werkelijk zo is. Daarmee geldt dat met het uitgevoerde onderzoek en de optimalisatie van de constructie van het gebouw met grote zekerheid een verbetering is gerealiseerd.

Naast afwijkingen tussen rekenmodel en werkelijkheid, geldt ook dat de trillingsbelasting varieert met de tijd. In de toekomst rijden er andere treinen met andere snelheden en in een andere onderhoudsstaat dan ten tijde van de metingen in 2023. Ook de vlakheid van het spoor kan variëren in de tijd. Daarom zal bij een toekomstige meting een andere trillingsbelasting worden gemeten dan in 2023.

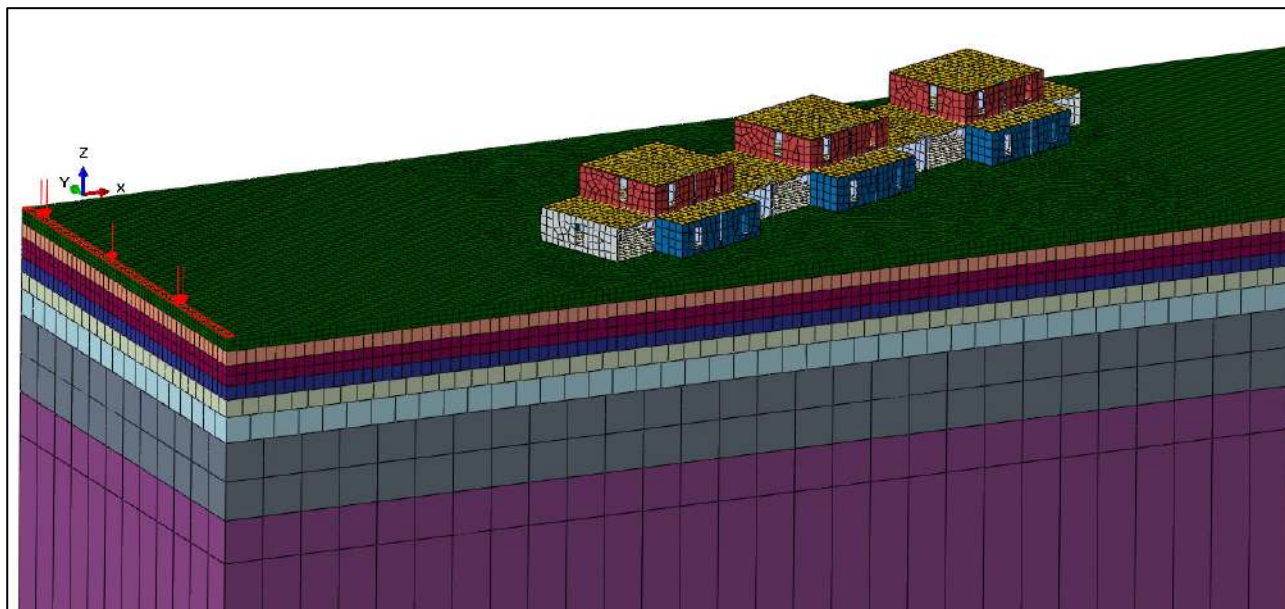
In het algemeen kan gesteld worden dat met het uitgevoerde onderzoek de trillingen maximaal zijn gereduceerd en de resterende trillingen gemiddeld genomen overeen zullen komen met de geprognosticeerde trillingen. Dat incidenteel sterkere trillingen zullen optreden, kan om bovengenoemde redenen niet worden uitgesloten, maar zal normaal gesproken niet veelvuldig optreden.

2.5 Beschrijving van het EEM-rekenmodel

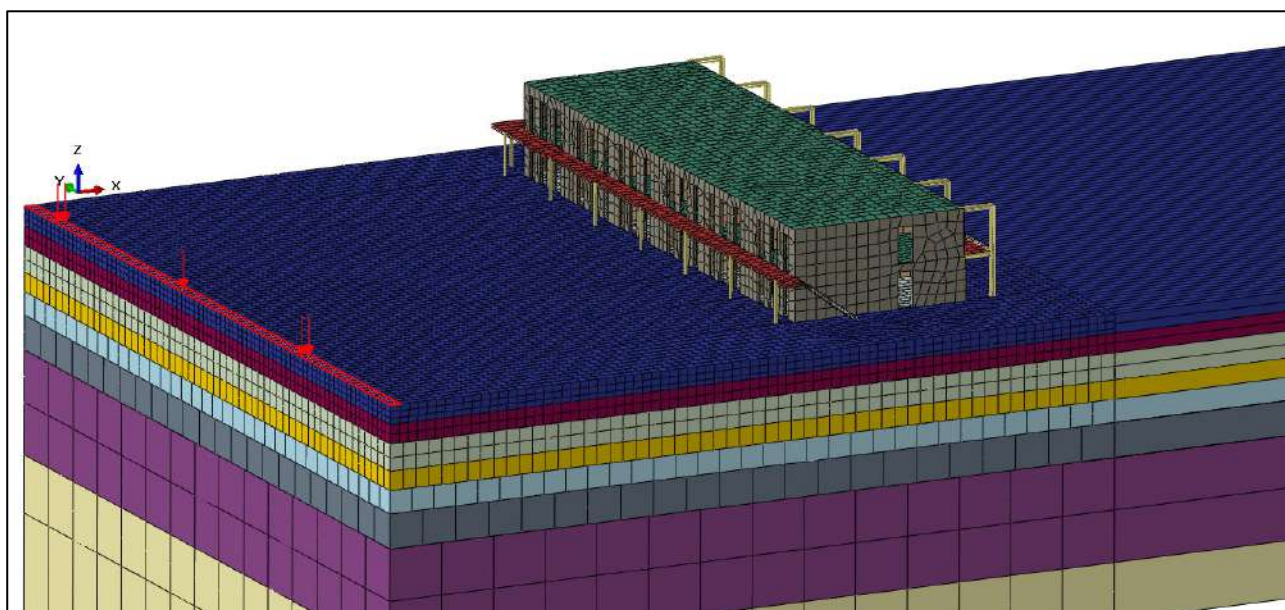
De te verwachten trillingen in de toekomstige situatie zijn berekend met Eindige Elementen Methode (EEM) rekenmodellen in het softwarepakket Abaqus van Dassault Systèmes Simulia Corp. versie 2023.

De dimensies van de gebouwen zijn gebaseerd op de architect tekening “230405” d.d. 5 april 2023 door Atelier2 architecten. In overleg met de constructeur zijn de constructieve eigenschappen afgestemd. Het model van de bodem bestaat uit verschillende bodemlagen. De eigenschappen van deze lagen zijn gebaseerd op de sonderingsgegevens in rapport 2300394-F1 d.d. 17 maart 2023 door Geosonda.

Onderstaand figuur 2.2 geeft een impressie van de 2 rekenmodellen.



Figuur 2.2 a): Impressie van het EEM-rekenmodel van de patiowoningen



Figuur 2.2 b): Impressie van het EEM-rekenmodel van de startersappartementen

Puntsgewijs bevat het rekenmodel zoals hierboven weergegeven de volgende kenmerken:

- De kleurverdeling in de weergegeven figuur is op basis van materiaaleigenschappen van de verschillende onderdelen. Onder andere de bodemlagen met verschillende eigenschappen zijn duidelijk herkenbaar.
- De trillingsaanstoting ter plaatse van het spoor is bepaald met een identiek model maar dan zonder het gebouw en op basis van de gemeten trillingsniveaus. De positie waar de belasting is aangebracht, is in bovenstaande figuur weergegeven met oranje pijlen (links op de bodem).

- De afstand van het appartementencomplex tot het spoor bedraagt circa 35 meter voor de patiowoningen en circa 30 meter voor de startersappartementen.
- Op het vlak onder het spoor en aan beide zijkanten zijn symmetrische randvoorwaarden gehanteerd. Daarmee wordt een rij gebouwen gesimuleerd aan weerszijden van het spoor.
- De begrenzing in het model aan onderzijde en achterzijde (ver van het spoor) vindt plaats met zogenaamde 'oneindige' elementen waarmee ongewenste reflecties worden voorkomen (die reflecties zijn in werkelijkheid ook niet aanwezig).
- De bodem en de fundering bestaan uit zogenaamde kwadratische 'solid' elementen. De mesh is zodanig fijn dat de hoogste trillingsfrequenties (met de kleinste golflengte) nog op juiste wijze worden gesimuleerd.
- Het gebouwmodel bestaat uit zogenaamde kwadratische 'shell' elementen. Dat zijn oneindig dunne elementen ter plaatse van het hart van vloeren en wanden. De dikte van de betreffende wand of vloer is als eigenschap van het element meegegeven.
- De niet dragende delen in het gebouw zijn niet gemodelleerd aangezien ze geen bijdrage leveren aan de stijfheid van het gebouw. De massa van die delen is wel meegenomen in het model en toegekend aan de randen van de aanliggende dragende wanden.

3 Resultaat EEM-berekening en beoordeling

3.1 Resultaat en beoordeling patiowoningen

De trillingen worden beoordeeld aan de hand van SBR-richtlijn deel B “Trillingen; Hinder voor personen in gebouwen” [SBR-B]. In de tabellen met weergegeven resultaten wordt voor een toetsing van $V_{\max}$ aan de streefwaarden de volgende kleurcodering gehanteerd:

Groen	Voldoet aan SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties (Kleiner dan 0,4 in dag-/avondperiode en kleiner dan 0,2 in nachtperiode)
Geel	Voldoet niet aan SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties maar wél aan die voor bestaande situaties (Tussen 0,4 en 0,8 in dag-/avondperiode en tussen 0,2 en 0,4 in nachtperiode)
Oranje	Voldoet niet aan SBR-B streefwaarden voor bestaande situaties. (Hoger dan 0,8 in de dag-/avondperiode en 0,4 in de nachtperiode)

In het kader van het bestemmingsplan geldt dat groen en geel gekleurde waarden voldoen aan de eisen. Als de waarde geel gekleurd is, moeten trillingsreducerende maatregelen worden onderzocht en overwogen. Als de waarde oranje gekleurd is, wordt niet voldaan en moeten trillingsreducerende maatregelen worden onderzocht en getroffen.

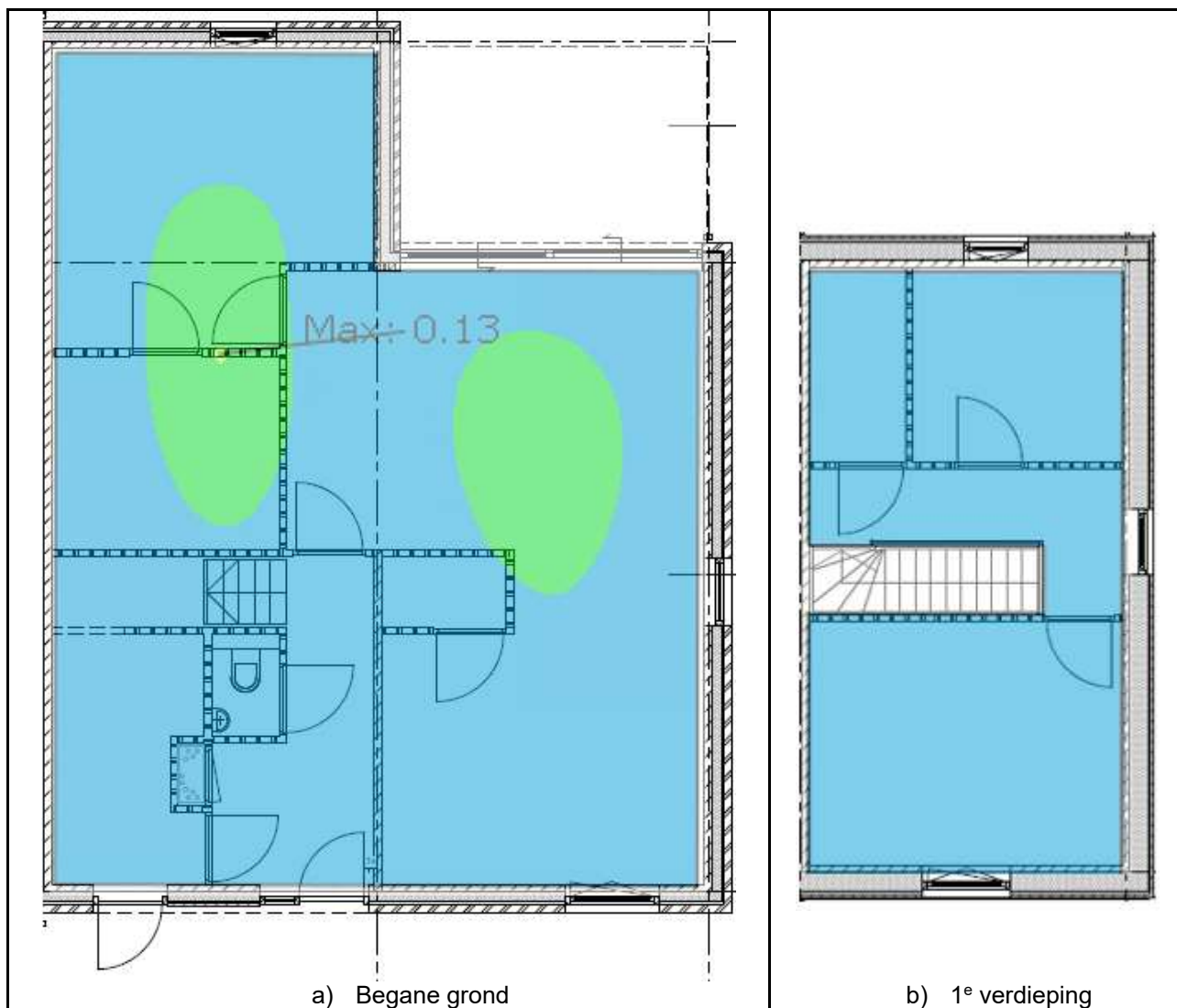
Tabel 3.1 geeft een samenvatting en beoordeling van de trillingssterkte zoals die is te verwachten in de 6 woningen van het patiogebouw. Conform de SBR-B worden de technische ruimte, badkamer en gangen niet meegenomen in de beoordeling omdat dit geen leefruimtes zijn. De woningen zijn zo genummerd dat woning 1 zich het dichtst bij het spoor bevindt en woning 6 het verst weg.

Tabel 3.1: Overzicht maximaal te verwachten trillingssterkte in de woningen

	$V_{\max}$ en toetsing (in kleur)	
	Dag/ avond	Nacht
Streefwaarde nieuw/ bestaand	0,4 / 0,8	0,2 / 0,4
Woning 1	0,18	0,13
Woning 2	0,09	0,06
Woning 3	0,08	0,05
Woning 4	0,04	0,05
Woning 5	0,03	0,04
Woning 6	0,03	0,04

Te zien is dat in alle woningen wordt voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties. De hoogst optredende trillingssterkte treedt op in de woning het dichtst bij het spoor en bedraagt 0,18 gedurende de dag periode 0,13 gedurende de nachtperiode. Ten aanzien van de beoordeling de nachtperiode maatgevend; er wordt met een marge van 35% aan de streefwaarde voor nieuwe situaties voldaan.

Om inzicht te geven in waar men op de vloer de hoogste trillingsniveaus kan verwachten, is in onderstaand figuur de verdeling van de trillingssterkte in de 1^e woning weergegeven voor de meest kritische treinpassage.



Figuur 3.1: Trillingssterkte in woning 1 ten gevolge van de maatgevende treinpassage gedurende de nacht periode (10/03/2023 00:34)

Te zien is dat de hoogste trillingsniveaus optreden op de begane grond. De trillingssterkte is het hoogst in het midden van het vloerveld als gevolg van de versterking van trillingen door resonantie op de eigenfrequentie van de vloer.

Omdat de $A_1 = 0,2$ en $A_1 = 0,1$ streefwaarde voor respectievelijk bestaande en nieuwe situaties, wordt overschreden, moet conform SBR-B ook de gemiddelde trillingssterkte V_{per} getoetst worden aan de $A_3 = 0,05$ streefwaarde. De waarde voor V_{per} is berekend op basis van de gemeten trillingssterkte op maaiveld en de berekende spectrale overdracht van meetpunt naar locatie met de hoogste trillingssterkte in het appartement. De berekende waarde voor V_{per} is 0,01 en voldoet hiermee ruim aan de A_3 streefwaarde van 0,05 in nieuwe situaties. Er hoeven geen trillingsreducerende maatregelen te worden onderzocht voor de patiowoningen.

3.2 Resultaat en beoordeling startersappartementen

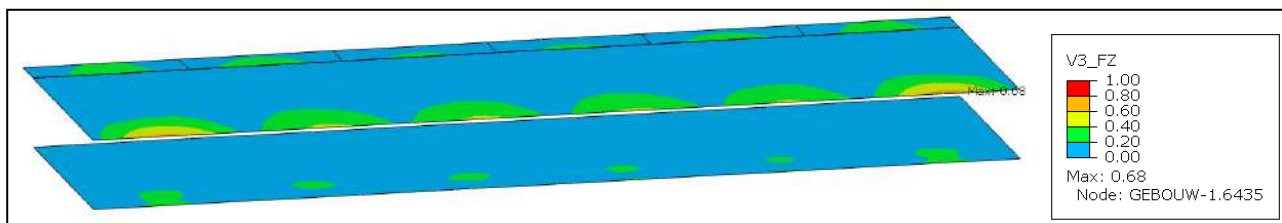
De beoordeling voor de startersappartementen vindt op dezelfde wijze plaats als die voor de patiowoningen. Tabel 3.2 geeft een samenvatting en beoordeling van de trillingssterkte zoals die is te verwachten in de 12 woningen van het appartementengebouw. De kolommen in het gebouw zijn zo genummerd dat de blok 1 zich direct naast het trappenhuis bevindt en blok 6 zich het verste weg van het trappenhuis.

Tabel 3.1: Overzicht maximaal te verwachten trillingssterkte in de woningen.

	$V_{\max}$ en toetsing (in kleur)			
	Dag/ avond	Nacht	Dag/ avond	Nacht
Streefwaarde nieuw/ bestaand	0,4 / 0,8	0,2 / 0,4	0,4 / 0,8	0,2 / 0,4
	Begane grond		1 ^e verdieping	
Blok 1	0,24	0,27	0,65	0,65
Blok 2	0,23	0,29	0,46	0,57
Blok 3	0,23	0,29	0,47	0,59
Blok 4	0,23	0,28	0,45	0,56
Blok 5	0,23	0,28	0,44	0,54
Blok 6	0,24	0,27	0,67	0,58

In de bovenstaande tabel is te zien dat op de begane grond de SBR-B streefwaarde $A_2 = 0,2$ voor nieuwe situaties wordt overschreden gedurende de nacht periode. De maximale overschrijding bedraagt een factor 1,45. Op de eerste verdiepingen wordt gedurende de dag/avond de SBR-B streefwaarden $A_2 = 0,4$ voor nieuwe situaties overschreden in iedere woning. De maximale overschrijding bedraagt een factor 1,68. Gedurende de nachtperiode wordt de streefwaarde $A_2 = 0,4$ voor bestaande situaties overschreden met maximaal een factor 1,63 en de streefwaarde $A_2 = 0,2$ voor nieuwe situaties met een factor 3,25.

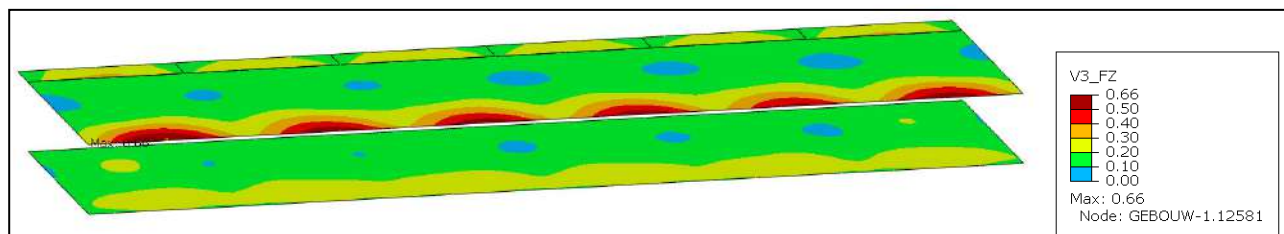
Figuur 3.2 toont de verdeling van de trillingssterkte op de vloeren ten gevolge van de maatgeven treinpassage gedurende de dag/avond periode. De technische ruimte en gangen zijn ook weergegeven. Deze zijn niet meegenomen in beoordeling.



Figuur 3.2: Verdeling trillingssterkte ten gevolge van de maatgevende treinpassage in de dag/avond periode (10-03-2023 14:32:37)

Te zien is dat de hoogste trillingsniveaus zich bevinden aan de voorzijde van de woning. Doordat de voorgevel niet dragend is, heeft de vloer aan de voorzijde veel bewegingsvrijheid. Tevens valt op dat de trillingsniveaus het hoogst zijn in de woningen op het uiteinde van het appartementengebouw.

Onderstaande figuur toont de verdeling van de trillingssterkte ten gevolge van de maatgevende treinpassage gedurende de nacht periode.



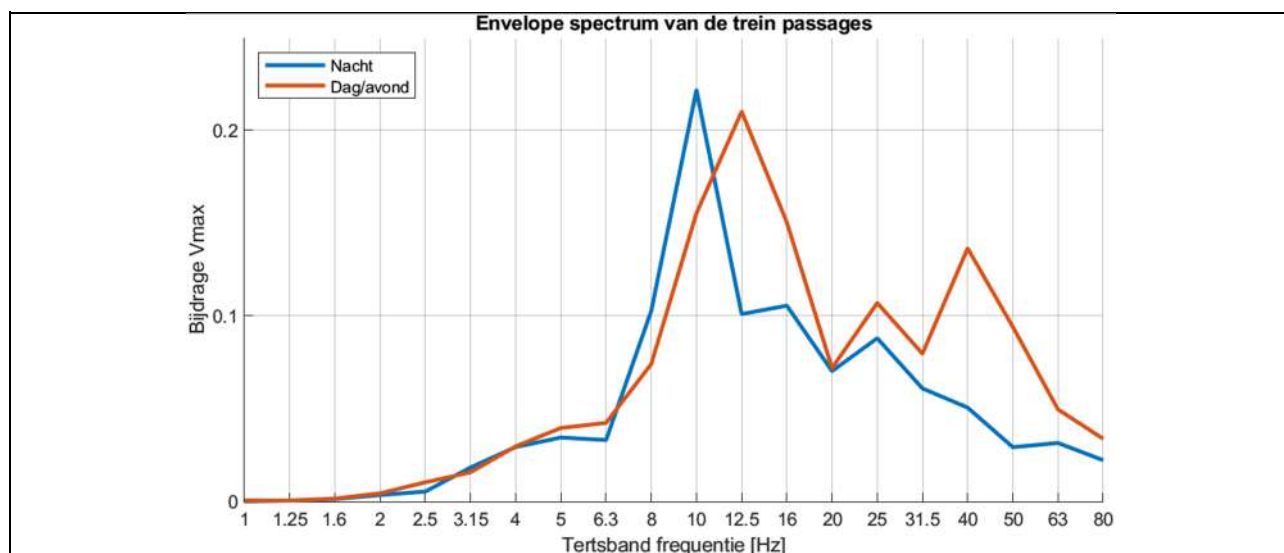
Figuur 3.3: Verdeling trillingssterkte ten gevolge van de maatgevende trein passage gedurende de nachtperiode (14-03-2023 23:22:24)

De trillingsniveaus zijn ook hier het hoogst aan de voorzijde van het gebouw. De rode kleuren geven het deel van de vloer aan waar de streefwaarde voor bestaande situaties wordt overschreden.

Omdat de streefwaarden voor nieuwe situaties worden overschreden, moeten trillingsreducerende maatregelen worden overwogen. Omdat ook de streefwaarden voor bestaande situaties worden overschreden moeten ook maatregelen worden getroffen om aan de voorgestelde planregels te voldoen.

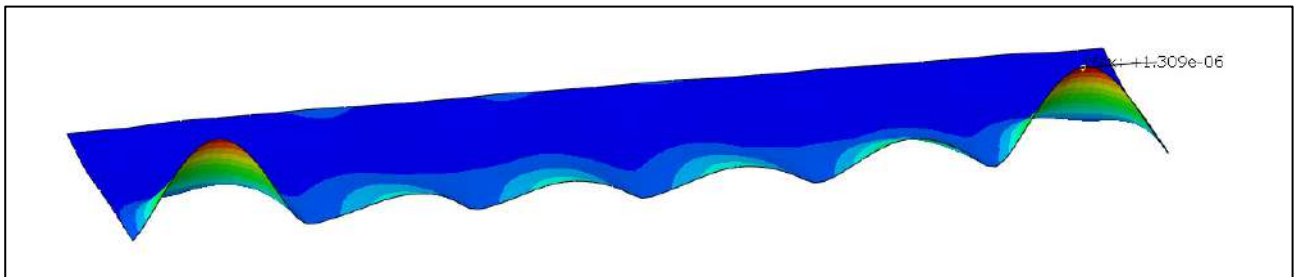
3.3 Onderzoek naar trillingsreducerende maatregelen startersappartementen

Het type trein, de spooropbouw en de bodemopbouw heeft invloed op de dominante frequenties waarmee de bodem het gebouw aanstoot. Als de aanstootfrequenties in de buurt liggen van de resonantiefrequenties van een vloer, dan zal dit leiden tot een dominante versterking van trillingen in de vloeren. Onderstaand figuur laat zien welke aanstootfrequenties dominant zijn.

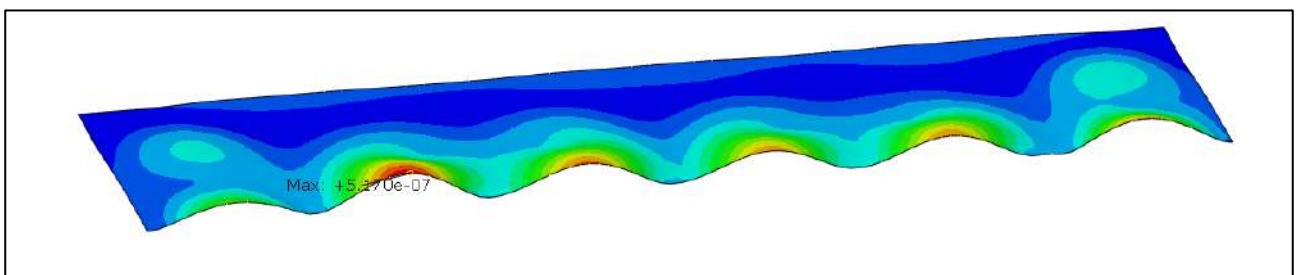


Figuur 3.4: Omhullend spectrum van de gemeten trillingsniveaus op het maaiveld op de locatie van de Patiowoningen

Onderstaande figuren tonen de trilvormen behorend bij dominant aangestoten eigenfrequenties van de verdiepingsvloer.



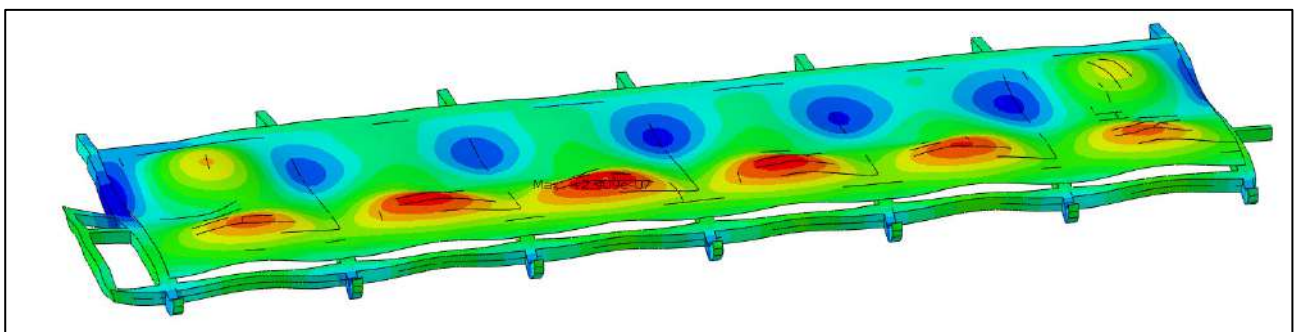
Figuur 4.4 a): Trilvorm van de 1^e eigenfrequentie van de verdiepingsvloer aan de kopse kanten (12,4 Hz)



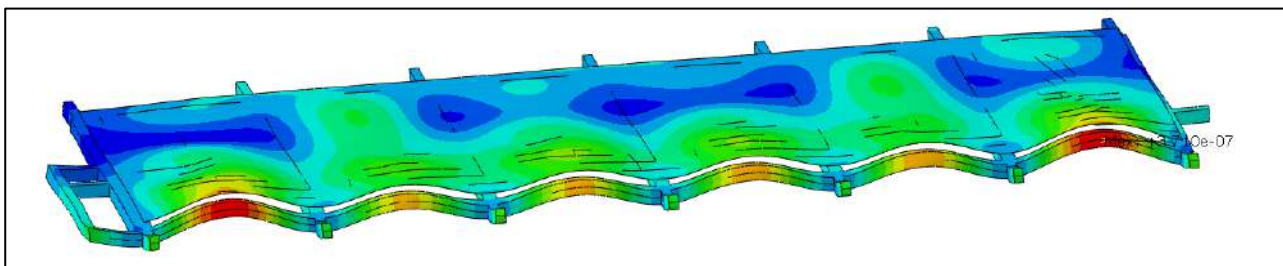
Figuur 4.4 b): Trilvorm van de 1^e eigenfrequentie van de verdiepingsvloer (13,9 Hz)

Te zien is dat de resonantie frequentie zich ongeveer rond de 13 Hz bevindt. Dit ligt in de buurt van de dominante aanstootfrequenties (10 Hz gedurende de nacht en 12,5 Hz gedurende de dag). Het verhogen van de eigenfrequentie van de vloer zal de mate van opslingeren van de vloeren reduceren. Een effectievere maatregel is om de trilvorm te onderdrukken. In dit geval is dat mogelijk door de voorgevel dragend uit te voeren.

Op de begane grondvloer vindt ook een versterking van trillingen in de vloeren plaats. Onderstaande figuren tonen de trilvorm behorend bij de dominant aangestoten eigenfrequentie van de begane grondvloer (inclusief fundering).



Figuur 4.5: Trilvorm behorend tot de 1^e eigenfrequentie van de BG vloer (10,4 Hz)



Figuur 4.6: Trilvorm behorend tot de 2^e eigenfrequentie van de BG vloer (13,1 Hz)

Te zien is dat ook hier de eigenfrequenties dicht in de buurt van de dominante aanstootfrequenties liggen. De 10,4 Hz eigenfrequentie kan verhoogd worden door de vloer stijver te maken. De eerder genoemde maatregel om de trilvorm op de 1^e verdiepingvloer te onderdrukken door de voorgevel dragend uit te voeren, zal hier ook effect hebben, aangezien de begane grond vloer aan de voorzijde opslingt bij een frequentie van ongeveer 13 Hz (zie Figuur 4.6).

In overleg met de opdrachtgever is besloten de volgende maatregelen toe te passen en het effect hiervan te onderzoeken:

- De voor- en achtergevel dragend uitvoeren (214 mm kalkzandsteen). Momenteel is alleen de wand aan de achterzijde tussen de begane grond en de eerste verdieping dragend uitgevoerd. De overige voor- en achtergevels zijn houtskeletbouw. Door de gehele voor- en achtergevel dragend uit te voeren in kalkzandsteen, wordt de bewegingsvrijheid van de vloer beperkt. De stabiliteitswanden in de woningen zijn dan niet meer nodig en komen te vervallen (net als de bijbehorende fundering).
- De funderingsbalk aan de voorzijde breder uitvoeren (600 mm in plaats van 400 mm).
- Bij elke voorgevel wordt in het midden onder de fundering een extra paal geplaatst. Het doel van deze maatregel is om de mobiliteit van de funderingsbalk te beperken.
- De ribcassettevloer op de begane grond vervangen door een 260 mm kanaalplaatvloer. De eigenfrequentie van een 260 mm kanaalplaatvloer ligt hoger dan die van een 350 mm ribcassettevloer. Een hoge eigenfrequentie is gunstig gezien de dominante aanstootfrequentie relatief laag is.

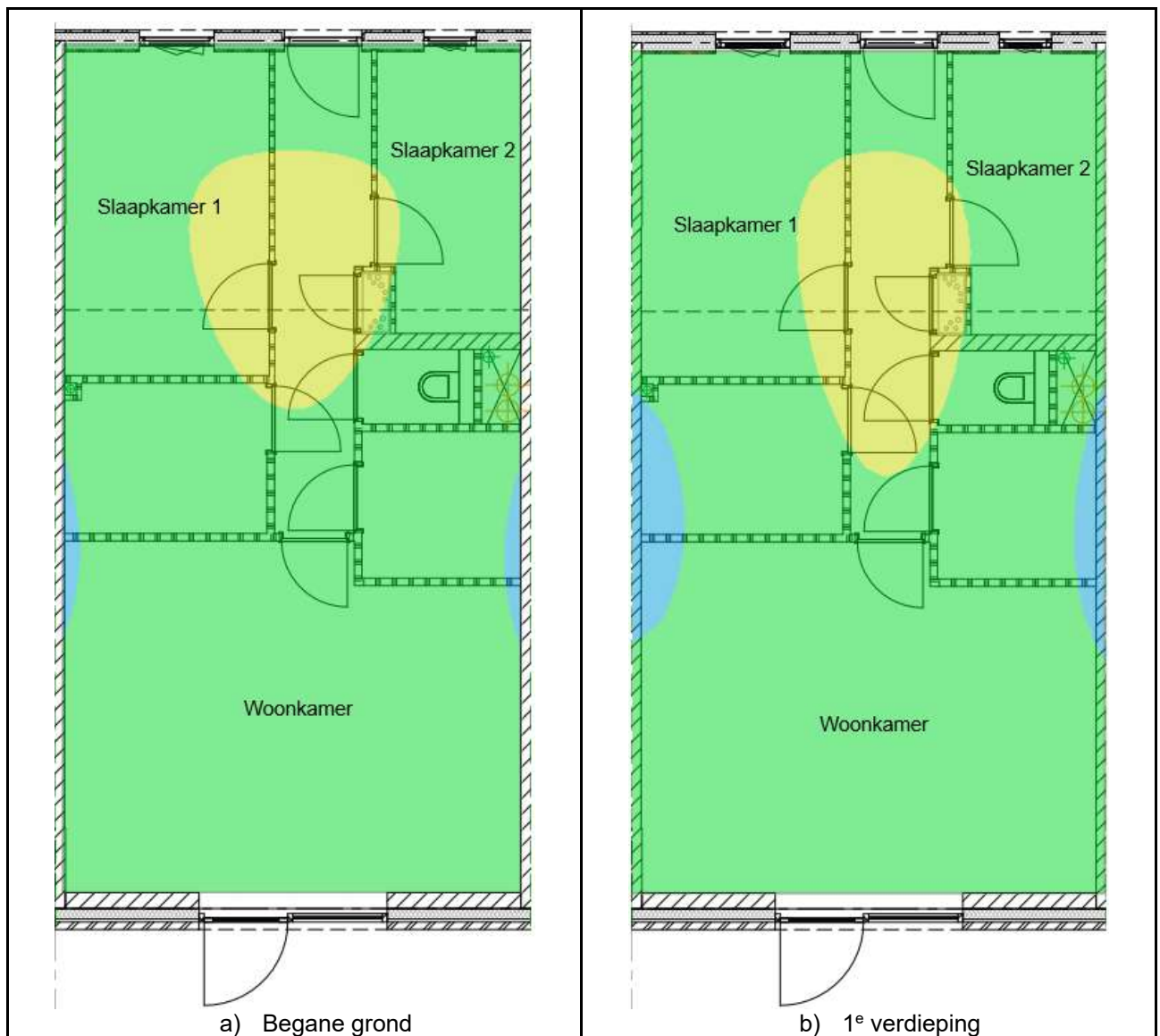
4 Resultaat en beoordeling aangepast ontwerp startersappartementen

4.1 Resultaat en toetsing $V_{\max}$

De toetsing vindt plaats op dezelfde wijze als in paragraaf 3.1. Onderstaande tabel geeft een samenvatting en beoordeling van de trillingssterkte zoals die is te verwachten in de startersappartementen na het nemen van de maatregelen die zijn beschreven in paragraaf 3.3.

	$V_{\max}$ en toetsing (in kleur)			
	Dag/ avond	Nacht	Dag/ avond	Nacht
Streefwaarde nieuw/ bestaand	0,4 / 0,8	0,2 / 0,4	0,4 / 0,8	0,2 / 0,4
	Begane grond		1 ^e verdieping	
Blok 1	0,22	0,20	0,17	0,22
Blok 2	0,23	0,21	0,23	0,21
Blok 3	0,27	0,22	0,19	0,21
Blok 4	0,26	0,21	0,20	0,21
Blok 5	0,22	0,21	0,23	0,21
Blok 6	0,21	0,20	0,17	0,21

Te zien is dat gedurende de dag periode wordt voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties. In de nacht periode wordt alleen voldaan aan de streefwaarde voor bestaande situaties. De streefwaarde voor nieuwe situaties wordt met maximaal 10% overschreden. In figuur 4.1 zijn de trillingsniveaus in de maatgevende appartementen weergegeven voor de maatgevende trein gedurende de nachtperiode. In het gele gebied wordt niet voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties.



Figuur 4.1: Trillingssterkte in de maatgevende appartementen ten gevolge van de maatgevende treinpassage in de nacht periode (14-03-2023 23:22).

4.2 Toetsing V_{per}

Omdat de $A_1 = 0,2$ en $A_1 = 0,1$ streefwaarde voor respectievelijk bestaande en nieuwe situaties, wordt overschreden, moet conform SBR-B ook de gemiddelde trillingssterkte V_{per} getoetst worden aan de $A_3 = 0,05$ streefwaarde. Uit de berekening blijkt dat de hoogste waarde voor V_{per} 0,01 bedraagt en daarmee wordt voldaan aan de $A_3 = 0,05$ streefwaarde voor nieuwe situaties.

4.3 Onderzoek naar aanvullende maatregelen

Omdat de A_2 streefwaarde voor nieuwe situaties wordt overschreden, is aanvullend onderzoek nodig naar mogelijke maatregelen ter reductie van de trillingsniveaus. In figuur 4.1 is te zien dat de trillingsniveaus in het midden van het vloerveld hoger zijn dan aan de rand. Dit duidt op een versterking van trillingen door resonantie

van de vloeren. Door de vloer op de begane grond en 1^e verdieping dikker uit te voeren, neemt de eigenfrequentie toe wat zal resulteren in een reductie van de trillingsniveaus. Voor de begane grondvloer zou een 320 mm kanaalplaatvloer moeten worden toegepast en voor de verdiepingen zou de dikte van de breedplaatvloer indicatief verhoogd moeten worden van 250 mm naar 300 mm.

Andere maatregelen die tot een trillingsreductie zouden leiden zijn:

1. Dragend uitvoeren van de binnenwand in de slaapkamers. Deze wand zou minimaal 214 mm kalkzandsteen moeten zijn in verband met de geluidsoverdracht tussen de appartementen.
2. Drastisch verzwaren van de fundering.
3. Toepassing van een trillingisolerend scherm in de bodem tussen het spoor en het gebouw.
4. Toepassing van trillingsisolatie tussen fundering en opbouw van het gebouw.

5 Eindbeoordeling voorgesteld ontwerp

5.1 Algemeen

Conform de SBR-B dient bij overschrijding van de streefwaarden in onderling overleg tussen betrokken partijen bepaald te worden of deze acceptabel is of niet. In bijlage 5 van de richtlijn is daarbij aangegeven dat het accepteren van een overschrijding afhankelijk is van de aanwezigheid van andere trillingsbronnen, de historie, de mate van overschrijding en de mogelijkheid tot het treffen van maatregelen. Ten aanzien van de eerste twee geldt dat ter plekke geen andere dominant trillingsbronnen aanwezig zijn en dat sprake is van een nieuwe situatie waarvoor de geldende streefwaarden zijn gehanteerd. Deze punten geven geen nadere aanleiding om hogere streefwaarden te hanteren. De beide andere punten (mate van overschrijding en mogelijkheid tot treffen van maatregelen) moeten conform SBR-B nader beoordeeld worden bij de geconstateerde overschrijding van de streefwaarden voor nieuwe situaties.

5.2 Mate van overschrijding

De overschrijding is in absolute zin beperkt: Met een maximaal verwachte trillingssterkte van 0,22 wordt de SBR-B streefwaarde voor nieuwe situaties met 10% overschreden. Dit wordt als volgt beoordeeld:

- De optredende overschrijding voldoet ruimschoots aan de SBR-B streefwaarde voor bestaande situaties. Dat betekent dat mensen normaal gesproken na verloop van tijd gewend zullen raken aan de optredende trillingen en er geen hinder meer van zullen ondervinden.
- De overschrijding is kleiner dan 30%. Uit onderzoek blijkt dat een verschil in trillingssterkte kleiner dan 30%, niet door mensen kan worden waargenomen¹. Een trein met een trillingssterkte net lager dan 0,2 (die net aan de SBR-B streefwaarde voldoet) is voor mensen niet te onderscheiden van een trein met een trillingssterkte van 0,22 (zoals hier verwacht). Een overschrijding kleiner dan 30% zal daarom nauwelijks tot extra trillingshinder leiden.

Aanvullend aan bovenstaande beoordeling gelden de volgende omstandigheden:

- In 6 van de 12 appartementen wordt de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties 2 keer per week overschreden. In de overige appartementen is het aantal overschrijdingen beperkt tot 1 per week.
- Onder ander als gevolg van bovenstaand punt voldoet de gemiddelde trillingssterkte V_{per} ruimschoots (met factor 5) aan de streefwaarde voor nieuwe situaties.
- In de slaapkamers wordt de streefwaarde voor nieuwe situaties overschreden, maar het vloeroppervlak waarop dit gebeurt is beperkt (zie figuur 4.1). In de woning met het hoogste trillingsniveau, vindt de overschrijding slechts plaats over een oppervlak van circa 6,75 m² (ongeveer 10% van het totaal vloeroppervlak van een woning). Voor alle andere woningen is dit oppervlak kleiner.

In het algemeen is het oordeel dat de mate van trillingshinder zeer beperkt is. Dat betekent dat ook de doelmatigheid van aanvullende maatregelen beperkt is: De hinder die ermee kan worden voorkomen is bij voorbaat al beperkt. Daarmee zijn maatregelen alleen kosteneffectief als zijn niet ingrijpend zijn en de kosten beperkt blijven. Alleen voor die maatregelen geldt dat de reductie van hinder opweegt tegen de toename van de kosten.

¹ Dit aspect is onder andere opgenomen in de Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts) die grenzen stelt aan trillingshinder als gevolg van spoorse maatregelen via Tracébesluiten. Daarin is opgenomen dat als de toename van trillingen kleiner is dan 30%, geen maatregelen hoeven te worden getroffen.

Op basis van bovengenoemde punten zijn de in paragraaf 4.3 genoemde maatregelen door de opdrachtgever overwogen en beoordeeld. Voor elke van de genoemde maatregelen was daarbij de conclusie dat de extra complexiteit, kosten en vertraging van de maatregelen niet opwegen tegen de beperkte reductie van de minimale mate van hinder die kan worden ervaren in de toekomstige woningen. Met andere woorden: met de getroffen maatregelen zijn alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen ter reductie van trillingen genomen.

6 Conclusies

Puntsgewijs luiden de conclusies van het uitgevoerde trillingsonderzoek als volgt:

- Met het originele ontwerp van de patiowoningen wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties.
- Met het originele ontwerp van de startersappartementen wordt op de begane grond voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor bestaande situaties, maar de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties worden met factor 1,45 overschreden. Op de 1^e verdiepingvloer worden zowel de streefwaarden voor nieuwe situaties als die voor bestaande situaties overschreden met respectievelijk een factor 3,25 en 1,63. Conform het voorgestelde toetsingskader moeten maatregelen worden getroffen.
- In overleg met de opdrachtgever is besloten de volgende maatregelen toe te passen:
 - De voor- en achtergevel dragend uitvoeren (214 mm kalkzandsteen). De stabiliteitswanden worden verwijderd.
 - De funderingsbalk aan de voorzijde wordt breder uitgevoerd (600 mm in plaats van 400 mm).
 - Bij elke voorgevel wordt in het midden onder de fundering een extra paal geplaatst.
 - De ribcassettevloer op de begane grond vervangen door een 260 mm kanaalplaatvloer.
- Door het treffen van bovengenoemde maatregelen wordt op zowel de begane grond als de 1^e verdiepingvloer van het startersappartement ruimschoots voldaan aan de SBR-B streefwaarde voor bestaande situaties. Er resteert minimale een overschrijding van de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties met 10%. Aangezien niet aan de SBR streefwaarden wordt voldaan moeten verdere maatregelen worden overwogen.
- De mate van hinder is bij de minimale overschrijding beperkt om de volgende redenen:
 - In 6 van de 12 appartementen wordt de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties 2 keer per week overschreden. In de overige appartementen is het aantal overschrijdingen beperkt tot 1 per week. De hoogste mate van overschrijding is 10%.
 - De overschrijding is dermate beperkt (kleiner dan 30%) dat deze door mensen niet kan worden onderscheiden van trillingen die net wel aan de streefwaarde voldoen.
 - De overschrijding treedt op over maximaal 10% van het vloeroppervlak van een woning.
 - Er wordt ruim (met een marge van 45%) voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor bestaande situaties. Dat betekent dat mensen na verloop van tijd aan de trillingen gewend zullen raken en er geen hinder meer van zullen ondervinden.

In het algemeen is het oordeel dat de mate van trillingshinder minimaal is en dat de doelmatigheid van aanvullende maatregelen beperkt is: De hinder die ermee kan worden voorkomen is minimaal.

- Ter bepaling van de kosteneffectiviteit zijn in hoofdstuk 4.3 aanvullende trillingsreducerende maatregelen besproken en overwogen. Op basis van daarvan heeft de opdrachtgever geconcludeerd dat geen van de maatregelen kosteneffectief is.

- Voorgesteld wordt de resterende, minimale mate van trillingshinder te accepteren volgens het voorgestelde toetsingskader: Met een dynamische berekening is aangetoond dat wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor bestaande situatie en uit de beoordeling van mogelijk aanvullende maatregelen blijkt dat alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen om de resterende trillingshinder te reduceren zijn getroffen.

Cauberg Huygen B.V.



De heer ir. G.H.J. Busscher
Senior adviseur