



2e Daalsedijk te Utrecht;

Aanvullend onderzoek trillingen deelgebied 2 t/m 4

2e Daalsedijk te Utrecht;

Aanvullend onderzoek trillingen deelgebied 2 t/m 4

opdrachtgever NS Stations
rapportnummer HC 5534-21-RA-001
datum 20 mei 2019
referentie TKe/EB//HC 5534-21-RA-001
verantwoordelijke ir. [REDACTED]
opsteller ir. [REDACTED]
+31 24 3 [REDACTED]
[REDACTED]@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 85 822 86 00, 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	Juridische status plangebied	6
2.2	Aangenomen ontwerp	7
2.3	Bodemeigenschappen	7
3	Dynamische analyse	8
3.1	Algemeen	8
3.2	Bepaling bronspectrum aanstoting	8
3.3	3D model	12
3.4	Hindercontouren trillingen	13
4	Beoordeling	14
4.1	Gebouw 1	14
4.1.1	Optredende trillingen	14
4.1.2	Mogelijke maatregelen	16
4.2	Gebouw 2	18
4.2.1	Optredende trillingen	18
5	Conclusie	20

1 Inleiding

In opdracht NS Stations te Utrecht is een studie verricht naar trillingreducerende maatregelen die mogelijk toegepast kunnen worden bij de nieuwbouw aan de 2e Daalsedijk te Utrecht (deelgebied 2 t/m 4).

De nieuwbouw is gesitueerd tot op ca. 40 m afstand van het spoor. In het kader van een bestemmingsplanwijziging zijn op de betreffende locatie uitgebreide trillingmetingen uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd door Peutz bv in opdracht van NS Stations en vastgelegd in rapport HC 5534-1-RA d.d. 9 februari 2018.

Hoewel verkaveling en bouwkundige uitwerking nog niet bekend zijn heeft de gemeente Utrecht verzocht om reeds in dit stadium op basis van dynamische berekeningen aan te tonen dat met gangbare maatregelen aan de na te streven trillingwaarden kan worden voldaan.

De gemeente heeft twee posities aangegeven waar een dergelijke doorrekening gemaakt moet worden, aangeduid met gebouw 1 en 2. Figuur 1.1 toont de situering van de nieuwbouw.

f1.1 Situering plangebied



Om inzicht te krijgen in de te verwachten trillingen in de gebouwen is een Eindige Elementen Methode (EEM) rekenmodel opgesteld van de mogelijke bebouwing inclusief bodem. Gezien er nog geen bouwkundig ontwerp beschikbaar is zijn uitgaande van de



huidige proefverkaveling op deze twee locaties twee fictieve gebouwen zoals opgenomen in het Ontwikkelingskader (BGSV 2019) gemodelleerd en doorgerekend. Hierbij zijn aannames gemaakt ten aanzien van toe te passen fundatie, wanden, vloeren etc.

Vervolgens zijn de te verwachten trillingniveaus getoetst aan de SBR B. Daar waar overschrijdingen berekend worden zijn mogelijke maatregelen aangegeven.

2 Uitgangspunten

2.1 Juridische status plangebied

Momenteel wordt het vigerende bestemmingsplan van deelgebied 2 t/m 4 gewijzigd. Ten aanzien van trillingen is de verwachting dat een planvoorschrift wordt opgenomen om een acceptabel woon- en leefklimaat te borgen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een getrapte voorwaardelijke verplichting met als streefwaarde het voldoen aan de geldende streefwaarden voor nieuwbouw, en mocht dat niet haalbaar blijken, voldoen aan de richtwaarden voor bestaand bouw.

Betreffende de te hanteren methodiek wordt normaliter de SBR richtlijn B 'Hinder voor personen in gebouwen' toegepast.

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 navolgende beoordeling gaat in eerste aanleg uit van een nieuwe situatie. Tabel 2.1 toont de in dat geval van toepassing zijnde streefwaarden conform de SBR B die gelden in de maatgevende nachtperiode.

t2.1 Overzicht streefwaarden conform SBR B, nieuwe situaties

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

De streefwaarden voor bestaande bouw bedragen in de nacht voor A₁ t/m A₃ resp. 0,2, 0,4 en 0,1 en zijn daarmee een factor 2 hoger dan voor nieuwbouw.

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.

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.

2.2 Aangenomen ontwerp

Betreffende de beide gebouwen is uitgegaan van de huidige proefverkaveling van het plangebied (datum 28-08-2018). In figuur 2.1 is de proefverkaveling van beide gebouwen weergegeven.

Gebouw 1 betreft een gebouw van ongeveer 50 bij 65 meter en heeft 4 tot 7 bouwlagen. Gebouw 2 is ongeveer 32 bij 55 meter en bestaat deels uit 5 bouwlagen en deels uit 10 bouwlagen. Betreffende de (dragende) muren is uitgegaan van een opbouw van kalkzandsteen ter plaatse van de aangeduide kavels (blauwe en roze lijnen in figuur 2.1). Betreffende de vloeren is uitgegaan van breedplaatvloeren met een dikte van 30 cm. Voor de fundatie is uitgegaan van een strookfundatie (stroken 0,6 m breed en 0,6 meter diep).

f2.1 Proefverkaveling gebouw 1 en 2



2.3 Bodemeigenschappen

Ten behoeve van de dynamische berekeningen zijn o.a. de bodemeigenschappen benodigd ter plaatse van de nieuwbouw. Deze bodemeigenschappen zijn bepaald op basis van gegevens afkomstig uit het DINOloket.

Daaruit volgt dat het relevante deel van de bodem ter plaatse van de nieuwbouw tot circa 5 meter diepte bestaat uit klei en vanaf 5 meter en dieper uit zand.

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 sterke 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.

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

3.2 Bepaling bronspectrum aanstoting

Het bronspectrum van de treinen is gebaseerd op de metingen van het vooronderzoek. In dat onderzoek zijn op basis van metingen gedurende ca. 1 week de optredende trillingniveaus van een achttal relevante treinpassages gepresenteerd. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t3.1 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem

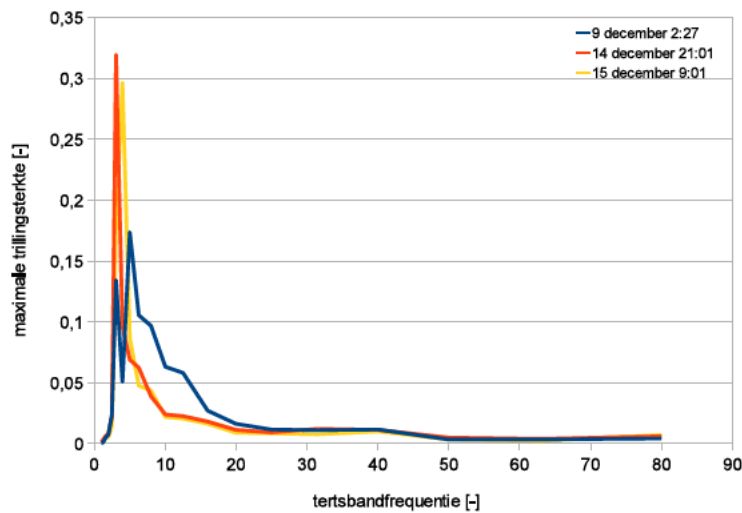
Datum en tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem					
	meetlocatie 1			meetlocatie 2		
	X	Y	Z	X	Y	Z
08-12-17 18:02	0,17	0,27	0,15	0,15	0,19	0,32
09-12-17 02:27	0,17	0,28	0,22	0,14	0,20	0,27
12-12-17 18:29	-	-	-	0,17	0,14	0,33
12-12-17 21:59	0,19	0,27	0,20	0,19	0,24	0,37
14-12-17 15:39	0,20	0,34	0,15	0,11	0,12	0,11
14-12-17 18:04	0,16	0,35	0,14	0,12	0,13	0,13
14-12-17 21:01	0,21	0,35	0,13	0,11	0,13	0,13
15-12-17 09:01	0,21	0,37	0,13	0,18	0,16	0,13

In horizontale richting treden de hoogste trillingsterktes op met maximale trillingsterktes tot 0,4 als gevolg van een goederentrein. In verticale richting is sprake van een maximale trillingsterkte tot 0,4, eveneens als gevolg van een goederentrein. In horizontale X richting zijn de trillingsterkten in beide meetlocaties lager dan in de overige richtingen, derhalve is bij de verdere beschouwingen de horizontale X richting buiten beschouwing gelaten.

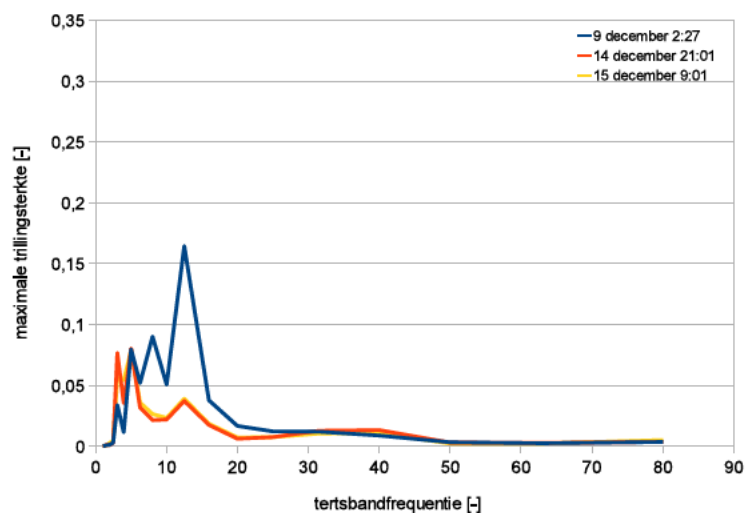
Bij vergelijking van de maximaal optredende trillingsterktes ter plaatse van beide meetlocaties is sprake van enig verschil. In locatie 1 treden hogere trillingniveaus op in horizontale Y richting. In locatie 2 treden juist hogere trillingniveaus op in verticale Z richting.

Ten behoeve van de verdere beoordeling dient inzicht te worden verkregen in de spectrale inhoud van de optredende trillingsterktes. Figuren 3.1 en 3.2 tonen de spectrale verdeling van de maatgevende treinpassages in meetlocatie 1 in respectievelijk de horizontale Y richting en verticale Z richting, zoals gemeten in de bodem.

f3.1 Spectrale verdeling van de trillingsterktev anwege treinpassages (horizontale Y richting) ter plaatse van gebouw 1



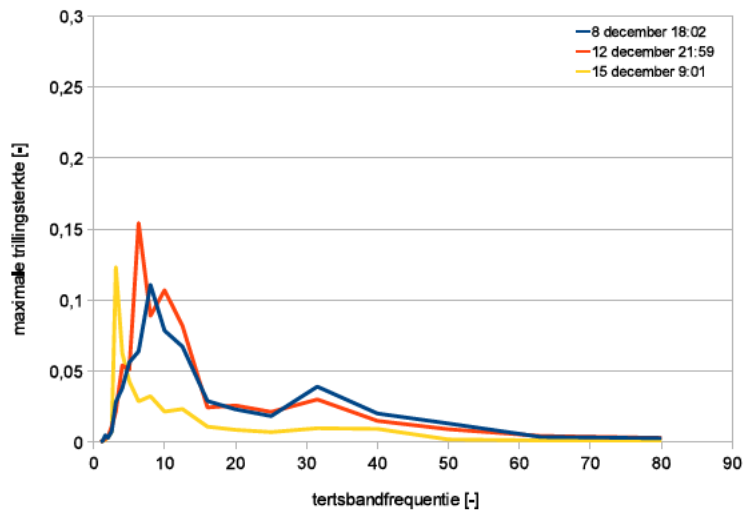
f3.2 Spectrale verdeling van de trillingsterkte vanwege treinpassages (verticale Z richting) ter plaatse van gebouw 1



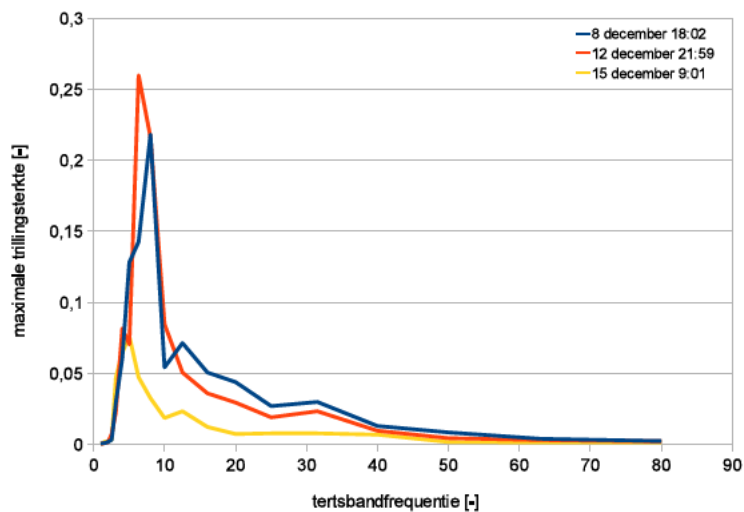
De figuren tonen dat als gevolg van een treinpassage sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied tussen globaal 3 en 16 Hz.

Op vergelijkbare wijzen tonen figuren 3.3 en 3.4 de spectrale verdeling in meetlocatie 2.

f3.3 Spectrale verdeling van de trillingsterkte vanwege treinpassages (horizontale Y richting) ter plaatse van gebouw 2



f3.4 Spectrale verdeling van de trillingsterkte vanwege treinpassages (verticale Z richting) ter plaatse van gebouw 2



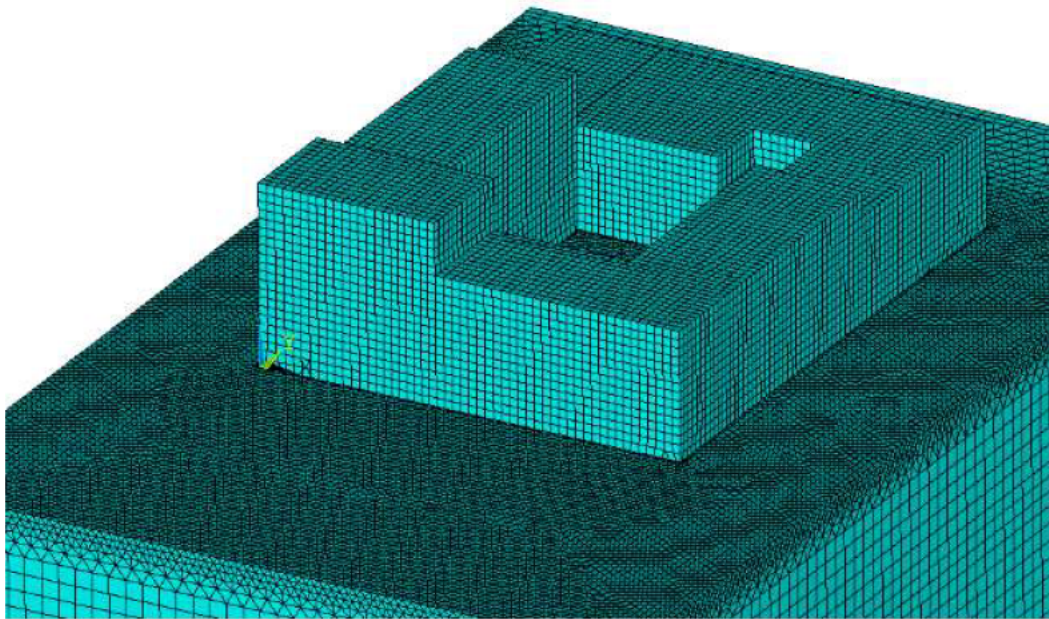
De figuren tonen dat sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied tussen ca. 3 en 16 Hz.

3.3 3D model

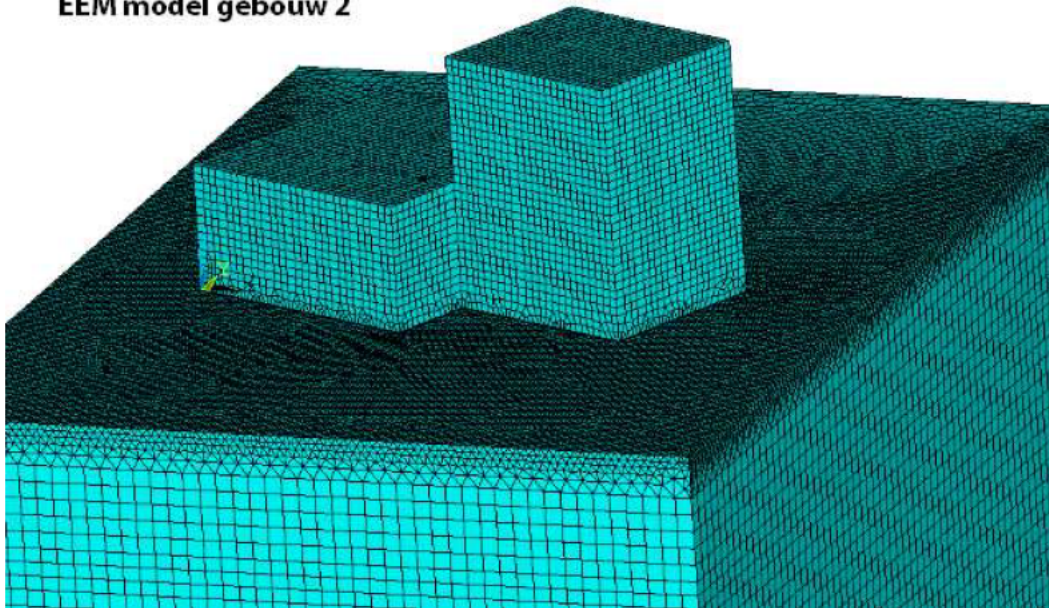
In het softwarepakket ANSYS zijn twee 3D modellen opgesteld, voor beide gebouwen één model. In figuur 3.5 is het EEM model weergegeven.

f3.5 EEM model gebouwen 1 en 2

EEM model gebouw 1



EEM model gebouw 2



3.4 Hindercontouren trillingen

Op basis van berekeningen zijn de optredende trillingsterktes bepaald in de woonlagen van beide gebouwen. De berekeningen zijn uitgevoerd met de drie maatgevende treinpassages. Navolgend zijn steeds alleen de resultaten van de passage gepresenteerd waarbij sprake is van de hoogste trillingsterkten in het gebouw.

De contouren zijn gegeven van de meest relevante horizontale Y richting (loodrecht op het spoor) en de verticale Z richting (loodrecht op de vloer). De trillingsterkten in horizontale X richting (parallel aan het spoor) zijn minder relevant.

4 Beoordeling

4.1 Gebouw 1

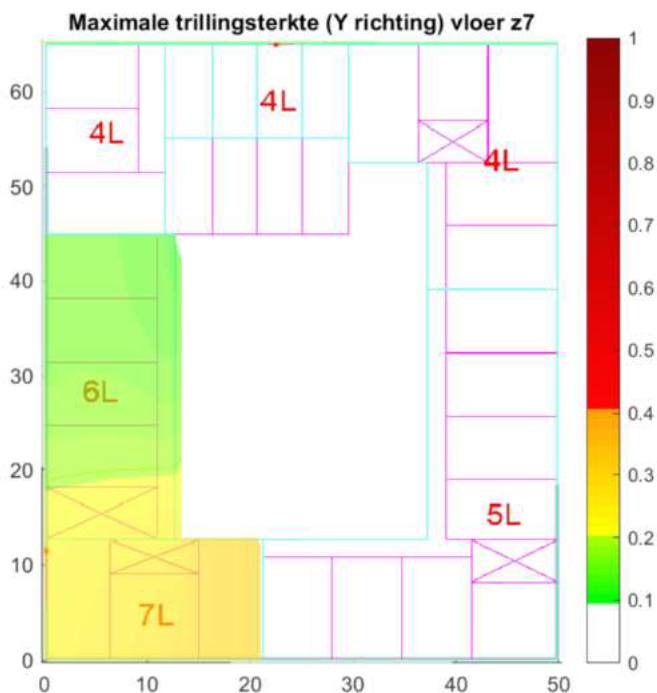
4.1.1 Optredende trillingen

Op basis van de berekeningen met het aangenomen ontwerp volgt dat in het gebouw sprake kan zijn van een maximale trillingsterkte tot 0,8 in verticale (Z) richting en 0,3 in Y-richting.

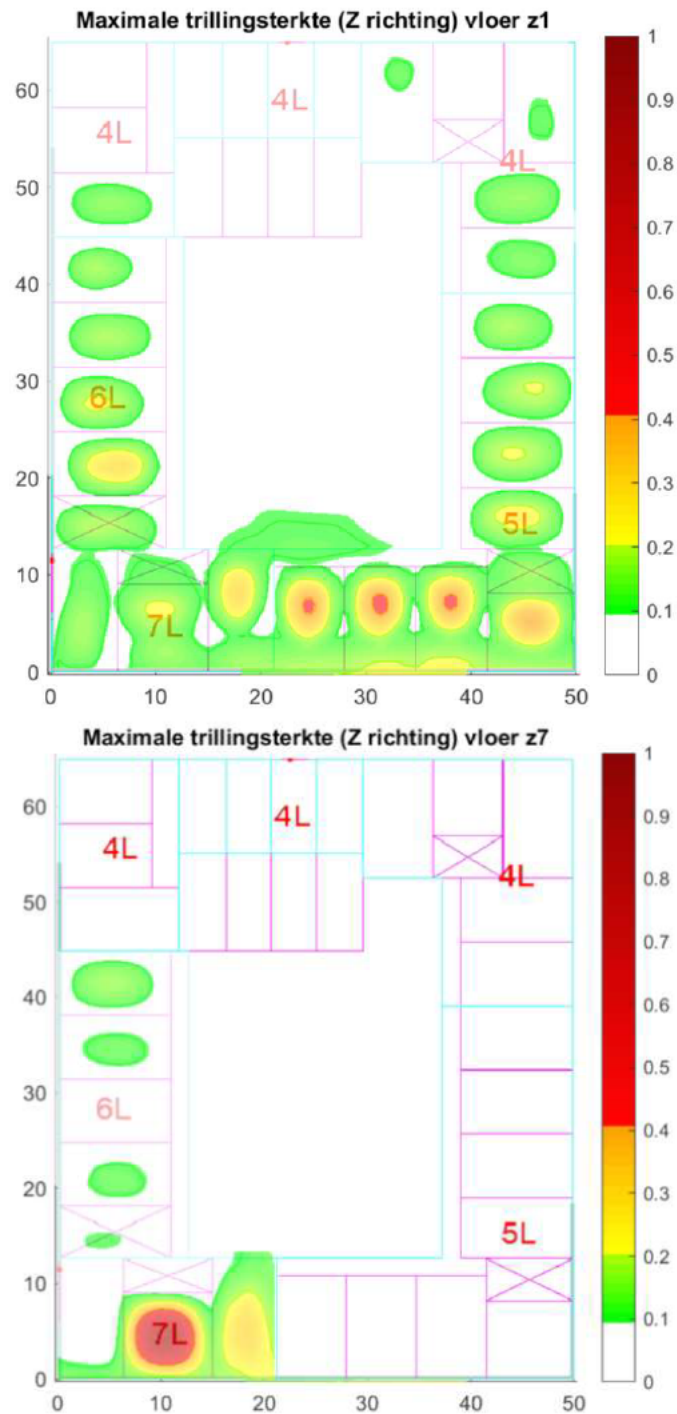
De streefwaarde A_2 bedraagt voor nieuwe situaties 0,2 zodat in dat geval sprake is van een overschrijding met een factor van maximaal 4. Op basis van de berekeningen volgt dat de hoogste trillingsterkten verwacht worden op bouwlaag 1 en 7 (laagste en hoogste verdieping) voor de trillingen in verticale richting en bouwlaag 7 in horizontale richting.

In figuur 4.1 zijn de contouren getoond van bouwlaag 7 voor zowel de horizontale als de verticale richting. Figuur 4.2 toont de contouren van vloerniveau 2.

f4.1 Maximale trillingsterkte contour, bouwlaag 7, Y-richting



f4.2 Maximale trillingsterkte contour, bouwlaag 1 en 7, Z-richting



Nader onderzoek toont dat de waarde in zowel horizontale als verticale richting door met name de 12,5 Hz tertsband wordt bepaald.

De figuren tonen verder dat in horizontale richting met name de vloer in de hoek van het gebouw beweegt. In verticale richting treden de hoogste trillingniveaus op in het midden van enkele vloervelden.

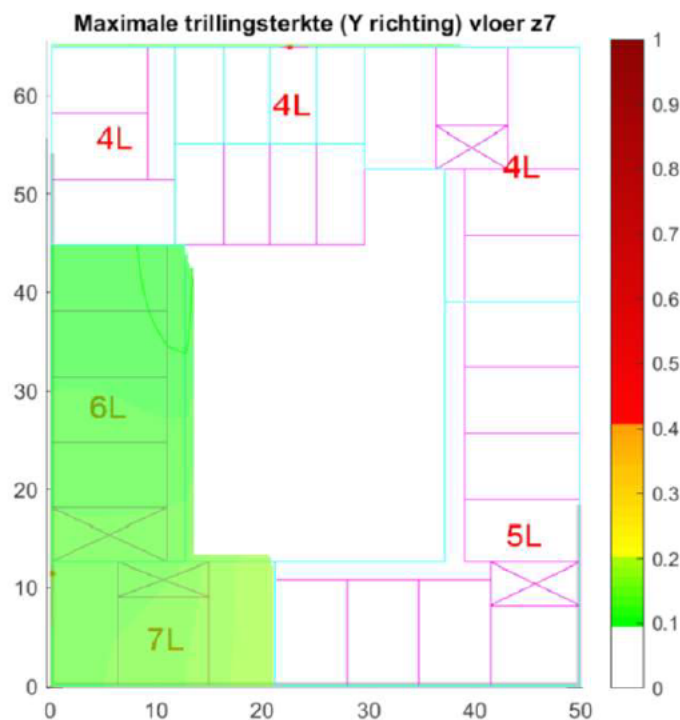
4.1.2 Mogelijke maatregelen

De mogelijke maatregelen zijn in eerste instantie gericht om de trillingen te laten voldoen aan een streefwaarde A_2 van 0,2 (geldend voor nieuwbouw).

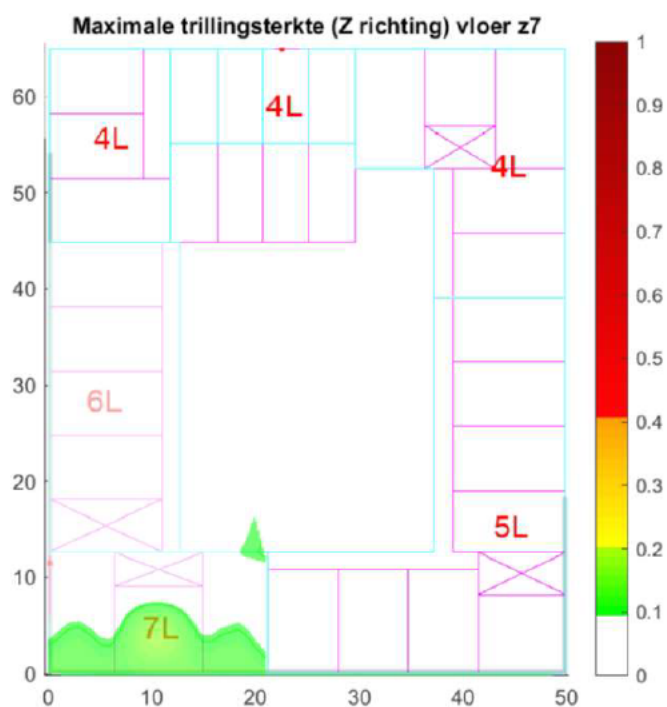
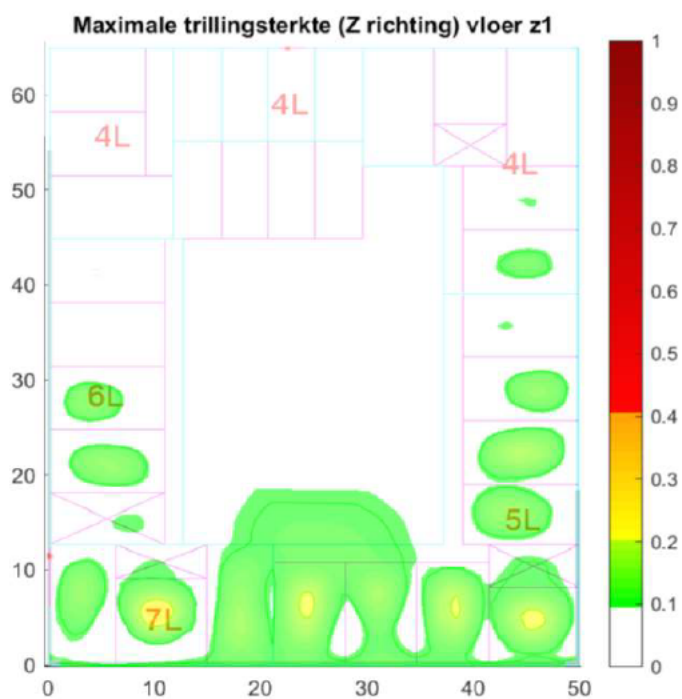
Betreffende de maatregelen is uitgegaan van het toepassen van een zwaarder fundament (strookfundatie 0,8 m breed bij 1 meter diep) en het toepassen van voorgespannen breedplaatvloeren.

Met toepassing van bovengenoemde maatregelen zijn opnieuw contouren berekend. Figuur 5.1 toont de maximale trillingsterkte op vloerniveau 2 als gevolg van de goederentrein (worstcase).

f4.3 Maximale trillingsterkte contour, bouwlaag 7, Y-richting – Na maatregelen



f4.4 Maximale trillingsterkte contour, bouwlaag 1 en 7, Z-richting – Na maatregelen



De hoogste waarde bedraagt 0,22 als gevolg van passerende goederentreinen en treedt op in verticale richting. Hiermee is sprake van een aanzienlijk trillingreductie (van 0,8 naar 0,2).

Gesteld kan worden dat in gebouw 1 maximale trillingsterktes optreden van orde grootte 0,2 door het toepassen van een zwaarder fundament en het toepassen van voorgespannen breedplaatvloeren. Met een waarde van 0,2 wordt wel voldaan aan de streefwaarde voor nieuwbouw.

4.2 Gebouw 2

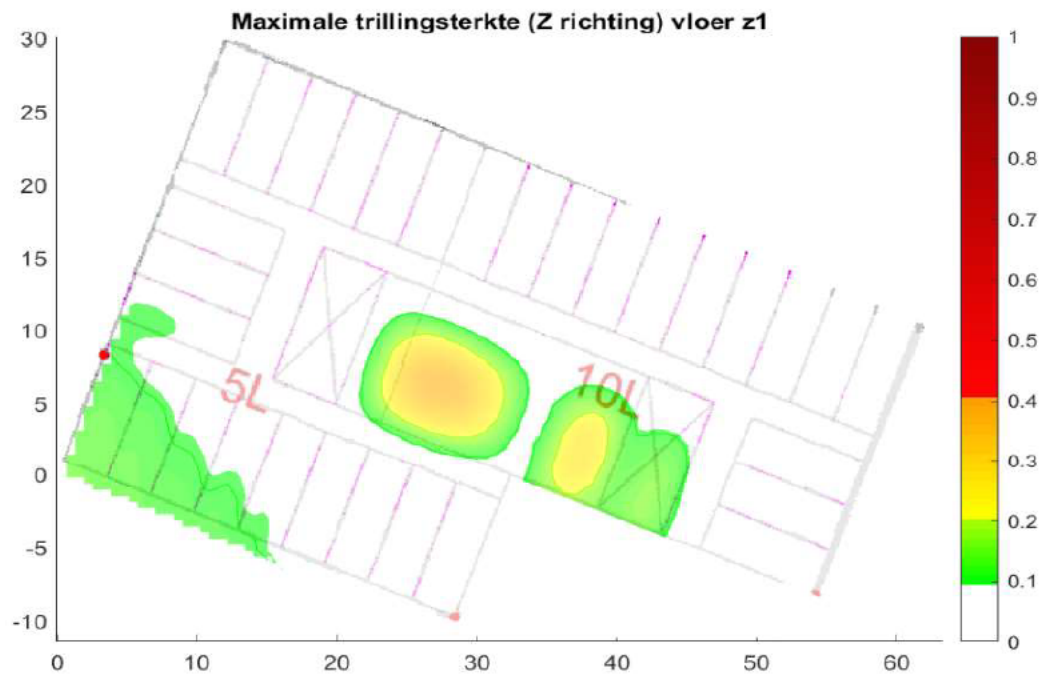
4.2.1 Optredende trillingen

Op basis van de berekeningen met het aangehouden ontwerp volgt dat in gebouw 2 sprake kan zijn van een maximale trillingsterkte tot 0,35 in verticale (Z) richting en 0,1 in Y-richting. De waarde van 0,35 wordt echter alleen berekend in een vloerveld ter plaatse van het midden van het gebouw. Dit vloerveld is gebaseerd op de proefverkaveling en heeft in het rekenmodel de afmetingen van circa 14x10 meter en zal, gezien de ligging, geen vloerveld van een woning betreffen. De overige vloervelden (daar waar de woningen kunnen worden verwacht) hebben afmetingen van circa 3,4 x 9 meter. Ter plaatse van deze woning kan worden voldaan aan de streefwaarde A_2 van 0,2.

Uit een nadere analyse blijkt dat het gemeten trillingspectrum in de bodem nabij gebouw 2 laagfrequent van karakter (maatgevende frequentie in Z-richting bedraagt 8 Hz in de bodem bij gebouw 2). De afmetingen van de vloervelden van gebouw 2 zijn zodanig (breedte ongeveer 3,4 meter) dat de eigen frequenties van de vloervelden hoger zijn, waardoor weinig/geen sprake is van opslingering. Bij de huidige aangehouden opzet zijn derhalve geen maatregelen nodig ter reductie van de trillingen.

In figuur 4.5 is de contour getoond van bouwlaag 1 voor de verticale richting.

f4.5 Maximale trillingsterkte contour, bouwlaag 1 Z-richting



5 Conclusie

Eerder onderzoek heeft geleid tot de conclusie dat als gevolg van trillingen van passerende treinen de na te streven waarden voor de trillingsterkte bij geprojecteerde nieuwbouw aan de 2e Daalsedijk te Utrecht (deelgebied 2 t/m 4) mogelijk worden overschreden.

Hoewel verkaveling en bouwkundige uitwerking nog niet bekend zijn heeft de gemeente Utrecht verzocht om reeds in dit stadium op basis van dynamische berekeningen aan te tonen dat met gangbare maatregelen aan de na te streven trillingwaarden kan worden voldaan.

Uitgaande van een recente proefverkaveling en een tweetal fictieve gebouwen, waarbij aannames zijn gedaan voor toe te passen fundatie, wanden, vloeren e.d., tonen zogenaamde EEM berekeningen dat bij gangbare bouw inderdaad het risico bestaat op overschrijdingen.

Op basis van het onderhavige onderzoek kan evenwel worden geconcludeerd dat met als gangbaar aan te merken maatregelen, in dit geval een verzwaring van de strookfundering in combinatie met toepassing van voorgespannen breedplaatvloeren, aan de conform de SBR B geldende streefwaarden voor nieuwbouw kan worden voldaan.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de betreffende maatregelen specifiek gelden voor de bij dit onderzoek aangenomen bouwkundige opzet en proefverkaveling. Zowel een afwijkende verkaveling als een afwijkende bouwkundige opzet zullen normaliter resulteren in andere te treffen maatregelen. Illustratief hierbij is bijvoorbeeld gebouw 2 waar in de proefverkaveling is uitgegaan van een kleine beukmaat (bijvoorbeeld studentenhuisvesting) hetgeen ertoe bijdraagt dat wordt voldaan aan de streefwaarden voor nieuwbouw. Een latere definitieve verkaveling kan daarvan afwijken waardoor het niet vanzelfsprekend is dat altijd aan de streefwaarden voor nieuwbouw kan worden voldaan. De streefwaarden voor bestaande bouw achten wij normaliter echter altijd realiseerbaar.

Dit rapport bevat 20 pagina's

 Mook,