



Onderzoek spoortrillingen perceel naast Bosscheweg 158 te Tilburg

Opdrachtgever: Honk BV
Gashuisring 5
5041 DP TILBURG
Contactpersoon: de heer R. Keijzer

Greten Raadgevende Ingenieurs

bezoekadres
Vijfhuizenberg 167
4708 AJ Roosendaal

postadres
postbus 1091
4700 BB Roosendaal

telefoon
(0165) 56 52 58

telefax
(0165) 56 61 68



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
2.	Normstelling.....	4
2.1.	Inleiding	4
2.2.	Streefwaarden	4
2.3.	Voorlopige beleidslijn gemeente Tilburg	5
3.	Situatie.....	6
4.	Trillingsmetingen	12
4.1.	Gehanteerde meetapparatuur	12
4.2.	Meetresultaten.....	14
4.3.	Trillingen vanwege het spoor Tilburg – Boxtel	15
4.4.	Horizontale trillingen op hogere bouwlagen (opslingering)	17
5.	Conclusies	18

Bijlage I: Tijdverloop $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode;

Bijlage II: $V_{\text{eff, max}}$ samengevat per etmaaltijdstip + V_{per}



1. Inleiding

In opdracht van Honk BV te Tilburg is door Greten Raadgevende Ingenieurs een onderzoek verricht naar trillingen vanwege railverkeer ter plaatse van een perceel, gesitueerd naast Bosscheweg 158 te Tilburg. Aanleiding tot dit onderzoek is de nieuwbouw van een aantal woningen op dit perceel waarvoor het vigerende bestemmingsplan dient te worden gewijzigd.

Voor dit onderzoek zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- ☐ het installeren van een meetstation voor de meting/ registratie van trillingen. De metingen zijn verricht met behulp van een Profound⁺ meetstation gedurende een representatieve periode (5 dagen) ter plaatse van de nieuw te realiseren gevellijn van het object;
- ☐ het de-installeren van het meetstation;
- ☐ het uitwerken van de meetresultaten;
- ☐ het beoordelen van de meetresultaten en het voorspellen of en in hoeverre de nieuwbouw kan voldoen aan de SBR-richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen evenals de grenswaarden, geformuleerd door de gemeente Tilburg.



2. Normstelling

2.1. Inleiding

Voor trillingshinder in woningen wordt in Nederland SBR-richtlijn deel B aangehouden. Naar deze richtlijn wordt ook verwezen in de Beleidsregel trillingshinder spoor.

In de SBR-richtlijn deel B zijn voor de kwalificatie van trillingshinder een aantal grootheden van belang, namelijk:

- ☐ $V_{\max}$: maximale trillingssterkte. Deze wordt bepaald per meetpunt en per meetrichting en is het maximum van de $V_{\text{eff, max, 30}}$;
- ☐ $V_{\text{eff, max, 30}}$: dit is het maximum van de effectieve waarde (maat voor de trillingsenergie) van de trilling over een periode van 30 seconden. Ook deze waarde wordt bepaald per meetpunt en meetrichting;
- ☐ V_{per} : dit is een maat voor de effectieve waarde van de trilling gedurende een gehele beoordelingsperiode (dag, avond of nacht) en kan worden geïnterpreteerd als een energetische gemiddelde van de trillingsenergie.

2.2. Streefwaarden

Voor nieuwe situaties (bestaande bron en een nieuwe ontvanger) zijn de volgende streefwaarden van toepassing:

Tabel 2.1 (bron: tabel 2 uit SBR B) bevat de streefwaarden:

Tabel 2.1: streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen (weg – en railverkeer) voor nieuwe situaties

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs/ kantoor	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Bijeenkomst	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Daar er sprake is van nieuw te realiseren woningbouw wordt aangesloten bij de streefwaarden behorende bij de gebouwfunctie Wonen.



In tabel 2.1 worden de streefwaarden aangegeven door:

- ☐ A_1 : onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- ☐ A_2 : bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- ☐ A_3 : streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

De beoordeling gaat als volgt:

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

- ☐ de waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_1 of
- ☐ de waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

2.3. Voorlopige beleidslijn gemeente Tilburg

In het voorstel planregel bestemmingsplannen (voorlopige beleidslijn versie 28 augustus 2019) van de gemeente Tilburg wordt gesteld:

Voor situaties waarbij in redelijkheid de streefwaarden voor nieuwbouw niet haalbaar blijkt, vinden wij weinig hinder acceptabel onder de voorwaarde dat de streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR-richtlijn B (zie tabel 3) niet worden overschreden. In de lokale gemeentelijke praktijk worden deze streefwaarden dan ook gehanteerd als grenswaarden. Op deze wijze is voorzien in een marge in de trillingssterkte om de onzekerheden in de prognose van trillingonderzoek en het effect van trillingsreducerende maatregelen op te kunnen vangen.

Tabel 2.2 bevat tabel 3 uit de SBR B waarnaar in de beleidslijn wordt verwezen.

Tabel 2.2: grenswaarden gemeente Tilburg voor herhaald voorkomende trillingen (weg – en railverkeer) voor bestaande situaties

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Onderwijs/ kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Bijeenkomst	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-



3. Situatie

Figuur 3.1 illustreert de situering van de nieuwbouw (bouwblokken W-1 en W-2). Aan de noordzijde van het perceel liggen 2 spoorbanen. De afstand van de nieuwe gevellijn tot de kortst bij zijnde baan bedraagt circa 27 meter, zie figuur 3.1 (bron: afstandmeting Google Earth). De afstand van de gevellijn tot het zuidelijke spoor bedraagt 62 meter, zie figuur 3.1.



Figuur 3.1: situatie nieuwbouwplan.



De figuren 3.2 tot en met 3.4 geven een impressie van het aandachtsgebied wat momenteel bestaat uit grasland.



Figuur 3.2: luchtfoto aandachtsgebied (Google maps).



Figuur 3.3: aanzicht weiland richting woning Bosscheweg 158 (Google maps)



Figuur 3.4: Bosscheweg met aan de linkerkant het verhoogde spoor.

Tot slot bevatten de tabellen 3.1 tot en 3.4 de verschillende intensiteiten en snelheden behorende bij de 4 spoorbanen binnen het aandachtsgebied per treinsoort en etmaalperiode (bron: geluidregisterspoor/ Geomilieu). Hierbij zijn de spoorbanen genummerd van 1 tot en met 4, gerekend vanaf de meest noordelijke baan, zie figuur 3.2.

Tabel 3.1: Intensiteiten/ snelheden per etmaalperiode baan 1

Intensiteiten per periode

	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	^
1	MAT'64-T	Stoppend	0,080	130	0,080	130	--	130	
2	MAT'64-V	Stoppend	6,100	130	4,160	130	1,520	130	
3	IC-R	Doorgaand	0,010	130	0,020	130	--	130	
4	IC-R	Stoppend	8,090	130	7,860	130	2,270	130	
5	E-LOC	Doorgaand	0,030	90	0,020	90	0,050	90	
6	E-LOC	Stoppend	1,080	130	1,050	130	0,300	130	
7	MDDM	Stoppend	0,030	130	0,030	130	--	130	
8	GOEDEREN	Doorgaand	15,770	90	7,020	90	8,200	90	
9	DE-LOC	Doorgaand	0,130	90	0,070	90	0,030	90	
10	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,430	90	0,210	90	0,270	90	
11	DDM-2/3	Stoppend	0,130	130	0,130	130	--	130	
12	IRM-4	Stoppend	4,560	130	4,400	130	0,960	130	
13	VIRM-6	Stoppend	0,600	130	0,660	130	0,180	130	
14	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--	
15	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--	▼



Tabel 3.2: Intensiteiten/ snelheden per etmaalperiode baan 2

Intensiteiten per periode

	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	^
1	MAT'64-T	Stoppend	0,080	130	0,080	130	--	130	
2	MAT'64-V	Stoppend	6,120	130	5,260	130	1,560	130	
3	IC-R	Doorgaand	0,010	130	0,030	130	--	130	
4	IC-R	Stoppend	8,130	130	7,880	130	2,230	130	
5	E-LOC	Doorgaand	0,050	90	0,060	90	0,040	90	
6	E-LOC	Stoppend	1,090	130	1,060	130	0,300	130	
7	MDDM	Stoppend	0,030	130	0,040	130	--	130	
8	GOEDEREN	Doorgaand	13,630	90	18,010	90	7,510	90	
9	DE-LOC	Doorgaand	0,110	90	0,070	90	0,040	90	
10	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,380	90	0,560	90	0,190	90	
11	DDM-2/3	Stoppend	0,120	130	0,170	130	--	130	
12	IRM-4	Stoppend	4,760	130	3,960	130	0,960	130	
13	VIRM-6	Stoppend	0,600	130	0,600	130	0,120	130	
14	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--	
15	--	Doorgaand	--	--	--	--	--	--	

Tabel 3.3: Intensiteiten/ snelheden per etmaalperiode baan 3

Intensiteiten per periode

	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	^
1	MAT'64-T	Stoppend	0,040	130	--	130	--	130	
2	MAT'64-V	Doorgaand	--	130	0,040	130	0,340	130	
3	MAT'64-V	Stoppend	6,740	130	4,260	130	2,240	130	
4	DDM-1	Doorgaand	0,010	130	--	130	--	130	
5	IC-R	Doorgaand	0,100	130	0,020	130	0,020	130	
6	IC-R	Stoppend	0,670	130	0,360	130	0,130	130	
7	E-LOC	Doorgaand	0,070	90	0,080	90	0,080	90	
8	E-LOC	Doorgaand	0,020	130	--	130	0,040	130	
9	E-LOC	Stoppend	1,650	130	1,240	130	0,390	130	
10	GOEDEREN	Doorgaand	30,810	90	29,230	90	27,800	90	
11	DE-LOC	Doorgaand	0,280	90	0,130	90	0,220	90	
12	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,840	90	0,930	90	0,800	90	
13	IC-R-SR	Doorgaand	0,010	130	0,010	130	0,260	130	
14	IC-R-SR	Stoppend	13,520	130	10,310	130	3,220	130	
15	IRM-4	Doorgaand	--	130	0,120	130	0,160	130	
16	IRM-4	Stoppend	4,360	130	4,320	130	0,800	130	
17	VIRM-6	Stoppend	0,840	130	1,080	130	0,480	130	



Tabel 3.4: Intensiteiten/ snelheden per etmaalperiode baan 4

Intensiteiten per periode

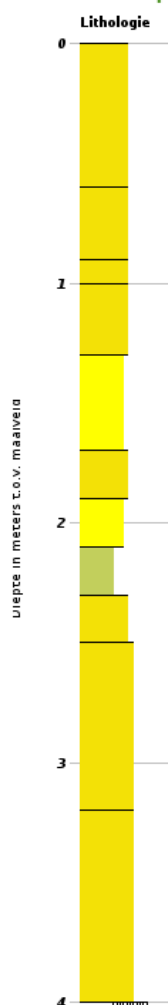
	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)	
1	MAT'64-T	Stoppend	0,040	125	--	125	--	125	^
2	MAT'64-V	Doorgaand	--	126	0,020	126	0,020	126	
3	MAT'64-V	Stoppend	6,680	125	4,740	125	2,040	125	
4	DDM-1	Doorgaand	0,010	126	--	126	--	126	
5	IC-R	Doorgaand	0,020	126	0,290	126	0,020	126	
6	IC-R	Stoppend	0,630	125	0,490	125	0,100	125	
7	E-LOC	Doorgaand	0,060	90	0,150	90	0,090	90	
8	E-LOC	Doorgaand	0,010	126	0,130	126	0,040	126	
9	E-LOC	Stoppend	1,660	125	1,470	125	0,220	125	
10	GOEDEREN	Doorgaand	24,690	90	35,460	90	31,300	90	
11	DE-LOC	Doorgaand	0,140	90	0,320	90	0,280	90	
12	DE-LOC-6400	Doorgaand	0,710	90	0,900	90	0,840	90	
13	IC-R-SR	Doorgaand	0,030	126	0,650	126	0,320	126	
14	IC-R-SR	Stoppend	13,590	125	12,100	125	1,810	125	
15	IRM-4	Doorgaand	--	126	0,040	126	0,240	126	v
16	IRM-4	Stoppend	4,200	125	3,880	125	1,160	125	
17	VIRM-6	Doorgaand	--	126	0,180	126	--	126	
18	VIRM-6	Stoppend	0,780	125	0,840	125	0,660	125	v

Voor een uitgebreid overzicht van de verschillende treincategorieën wordt verwezen naar het Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaa.

Figuur 3.5 bevat een boormonsterprofiel binnen het aandachtsgebied (bron: www.DINOloket.nl) waaruit blijkt dat er sprake is van een zandbodem voornamelijk bestaande uit de middencategorie (gelegen tussen fijn zand en grof zand).



Boormonsterprofiel



Identificatie : B50F1210
Coördinaten : 136030 , 397265 (RD)
Maaiveld: 13.20 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

- Leem
- Zand fijne categorie
- Zand midden categorie

Figuur 3.5: boormonsterprofiel.



4. Trillingsmetingen

4.1. Gehanteerde meetapparatuur

In het onderhavige onderzoek is de volgende meetapparatuur gehanteerd:

Trillingsmeter/ logger:

1. Profound VIBRA⁺ (serienummer VIBe0435/ kalibratie 13-3-2020)
2. 3D Geophone (serienummer TDA03008/ kalibratie 13-3-2020)

Met deze meetapparatuur zijn bodemtrillingen in het weiland gemeten op de volgende wijze:

- ☐ met een grondboor is cylinder vormig gat geboord tot op de draagkrachtige laag;
- ☐ vervolgens is een houten paal van 50x50 mm in het gat geplaatst. De scherpe punt van de paal is met behulp van een hamer in het draagkrachtige grondpakket geslagen;
- ☐ de ruimte rondom de paal is vervolgens weer aangevuld met aarde;
- ☐ de opnemer is vervolgens bevestigd aan de paal met behulp van een console en een schroefverbinding.

De figuren 4.1 tot en met 4.3 geven een impressie van de meetopstelling.



Figuur 4.1: Meetpositie ter plaatse van gevellijn nieuwe bebouwing.



Figuur 4.2: meetpositie



Figuur 4.3: 3D snelheidsopnemer



4.2. Meetresultaten

Bijlage I bevat de gemeten waarden van de $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode van 02-10-2020: 18:00:00 tot en met 10-10-2020: 15:06:25.

Hieruit blijkt dat de hoogst gemeten $V_{\text{eff, max}}$ over de gehele meetperiode 0,9 bedraagt in de y-richting (loodrecht op het spoor).

Bijlage II en figuur 4.1 bevatten het verloop van de $V_{\text{eff, max}}$ en de V_{per} over de gehele meetperiode, waarbij alle meetwaardes bij het bijbehorende etmaaltijdstip zijn weergegeven. Zodoende kan in een oogopslag worden gezien wat de $V_{\text{eff, max}}$ is per etmaalperiode, gebruikmakend van alle meetwaarden.

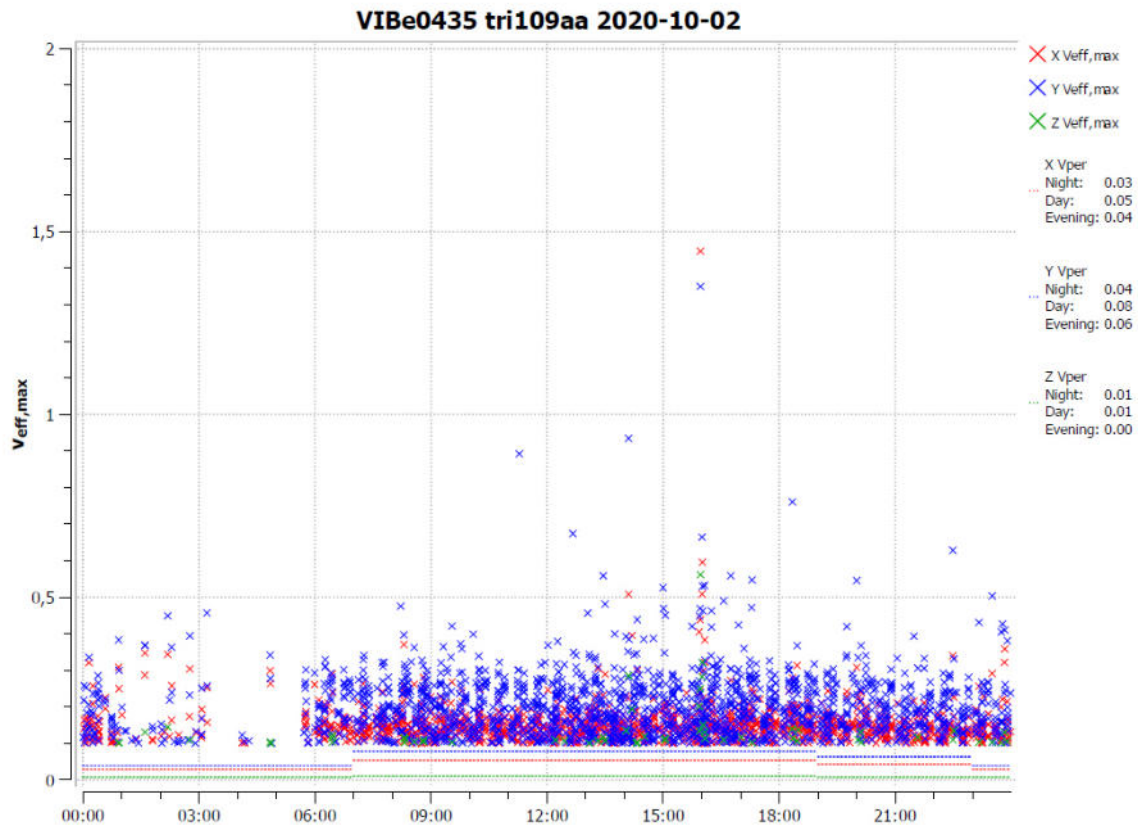
In tabel 4.1 zijn de resultaten samengevat met inbegrip van de normwaarden:

Tabel 4.1: gemeten waarden $V_{\text{eff, max}}$ en V_{per} versus normwaarden

Grootheid	meting dag/ avond	meting nacht	norm dag/ avond	norm nacht	Voldoet?
$V_{\text{eff, max}}$	0,9	0,5	0,8	0,4	nee
V_{per}	0,08/ 0,06	0,04	0,1	0,1	ja

Uit tabel 4.1 blijkt dat de normstelling uit SBR B niet wordt gerespecteerd.

Gedurende vrijdag 9 oktober tussen 09:55 en 14:55 zijn door een medewerker van Greten Raadgevende Ingenieurs treinpassages geturfd, waarbij het tijdstip van de passage en het type trein zijn vastgelegd. Hieruit blijkt dat de pieken van de $V_{\text{eff, max}}$ in bijlage I in het tijddomein overeenkomen met de treinpassages. Alle voorkomende pieken in bijlage I hebben gelet op de amplitude en het tijdstip van optreden naar verwachting betrekking op railverkeerstrillingen.



Figuur 4.1: $V_{eff,max}$ en V_{per} behorende bij de volledige meetset, geconverteerd naar waarden per etmaaltijdstip. De waarden groter dan 1, gemeten rond 16.00, dienen niet te worden beschouwd daar deze betrekking hebben op de installatie van het meetstation.

4.3. Trillingen vanwege het spoor Tilburg – Boxtel

De afstand van het spoor Tilburg – Boxtel tot de gevellijn van het nieuwbouwproject bedraagt 62 meter, zie figuur 3.1. De afstand van de gevellijn van het nieuwbouwproject tot het kortst bijgelegen spoor bedraagt 27 meter.

Conform de publicatie “Bewegen van grond en gebouwen door Heien” geldt dat de V_{max} afhankelijk is van de afstand door 2 termen, namelijk de $R_{afstand}$ en de R .

In formule vorm:

$$V_{max} = \text{constante} * R_{afstand} / R$$

In de constante zijn alle termen opgenomen die onafhankelijk zijn van de afstand. De excitatie is voor alle sporen gelijk gesteld.



Voor de term $R_{afstand}$ geldt:

$$R_{afstand} = e^{(-0,05 \cdot R)}$$

Voor de afstand van 27 meter geldt nu:

$$R_{afstand, 27\text{ m}} = 0,26$$

$$R_{afstand, 27\text{ m}}/R_{27\text{ m}} = 0,012$$

Voor de afstand van 62 meter geldt vervolgens:

$$R_{afstand, 62\text{ m}} = 0,045$$

$$R_{afstand, 62\text{ m}}/R_{62\text{ m}} = 0,0007$$

Dit betekent dat de V_{max} op een afstand van 62 meter bij een gelijke excitatie een factor $0,0007/0,012 = 0,058$ ($= 5,8\%$) is van de V_{max} op 27 meter afstand.

Voor de $v_{per, meet}$ geldt de volgende formule, zie SBR B:

$$v_{per, meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n v_{eff, max, 30.i}^2 \right]}$$

Op de sporen 3 en 4 passeren in de nachtperiode circa 58 goederentreinen. Op de sporen 1 en 2 passeren in de nachtperiode 15 treinen. Bij de sporen 3 en 4 is de somming onder het wortelteken $58/15 = 3,9$ x groter dan bij de sporen 1 en 2¹. De verhouding van de $v_{per, meet, 58}$ en de $v_{per, meet, 15}$ bedraagt aldus: wortel $(58/15) \approx 2$.

Rekening houdend met de afstand en het aantal passages van goederentreinen is de v_{per} op het bouwproject tengevolge van de sporen 3 en 4 ordegrootte 12% ($= 2 \cdot 5,8$) van de v_{per} tengevolge van de sporen 1 en 2.

Samenvattend geldt dat de bijdrage van de sporen 3 en 4 zodanig is dat de normstelling ruimschoots wordt gerespecteerd.

¹ De nachtperiode bevat 960 blokken van 30 seconden. n is aldus gelijk aan 960. Bij 58 treinpassages bedraagt de som: $58 \cdot v_{eff, max, i}^2 + (960 - 58) \cdot 0 = 58 \cdot v_{eff, max, i}^2$. Voor 15 passages bedraagt de som dienovereenkomstig $15 \cdot v_{eff, max, i}^2$. De verhouding onder de wortel bedraagt aldus $58/15$.



4.4. Horizontale trillingen op hogere bouwlagen (opslingering)

Voor heitrillingen geldt het volgende (“Bewegen van grond en gebouwen door Heien”):

Horizontale bewegingen van de grond zijn kleiner dan die in verticale richting omdat de stoot verticaal gericht is. De horizontale bewegingen zijn circa 60 % van de verticale.

Op basis van ervaring van de auteur van dit rapport geldt dit ook voor weg- en railverkeerstrillingen, behalve in het onderhavige project. Hier zijn de horizontale trillingen (loodrecht op het spoor) significant groter dan de verticale trilling. De oorzaak hiervan is onbekend.

Gelet op het voorgaande bestaat er een grote onzekerheid over de trillingsoverdracht van de bron naar het meetpunt en van het meetpunt naar een verdiepingsvloer (via de fundering) van het bouwproject. Deze laatste is onder meer afhankelijk van de golflengte van de bodemtrilling, de afmetingen van het gebouw, de hoogte van de verdiepingen en de hoekverdraaiing van het gebouw als gevolg van de trilling.

Een voorspelling en beoordeling van een horizontale trilling op een grotere hoogte zou, gelet op de genoemde onzekerheid, lijden tot een onderschatting of overschatting van de eventuele trillingshinder. Vandaar dat geadviseerd wordt om een trillingsmeting te verrichten op de verdiepingsvloer van een bestaande woning (op ongeveer gelijke afstand van het spoor) met een opbouw/ fundering die vergelijkbaar is met die, behorende bij het nieuwbouwproject.



5. Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat de railverkeerstrillingen ter plaatse van de gevellijn van de nieuwbouw, op circa 27 meter afstand van het noordelijk gelegen spoor, zodanig zijn dat SBR B (tabel 3 uit Hinder voor personen in gebouwen/ tevens grenswaarden gehanteerd door de gemeente Tilburg) niet wordt gerespecteerd.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de grenswaarden voor de $V_{\max}$ met slechts 0,1 worden overschreden. De V_{per} is zodanig dat kan worden voldaan aan de normstelling.

Wij wijzen erop dat het bodemtrillingen betreft waarbij met name de horizontale component loodrecht op het spoor van belang is. Op basis van de (atypische) meetresultaten is een prognose van de horizontale trillingen op de hogere bouwlagen niet goed mogelijk. Een meting in een bestaand gebouw op gelijke afstand van het spoor zou hierin meer duidelijkheid kunnen verschaffen.

Zonder dit nader onderzoek kan tabel 10.4 uit de Handreiking Nieuwbouw en Spoorwegtrillingen worden gehanteerd. Deze tabel geeft een overzicht van eventuele maatregelen aan de nieuwbouw om trillingshinder tot een minimum te reduceren. Gekozen zou kunnen worden om een vloermassa van 800 kg/m^2 toe te passen. Deze is naar verwachting zodanig stijf dat opslinging en trillingshinder kan worden voorkomen. Het berekenen van het effect van deze voorziening met behulp van bijvoorbeeld een eindige elementen model valt buiten de scope van deze opdracht.

Tabel 10.4 Indicatief overzicht van mogelijke maatregelen aan gebouw

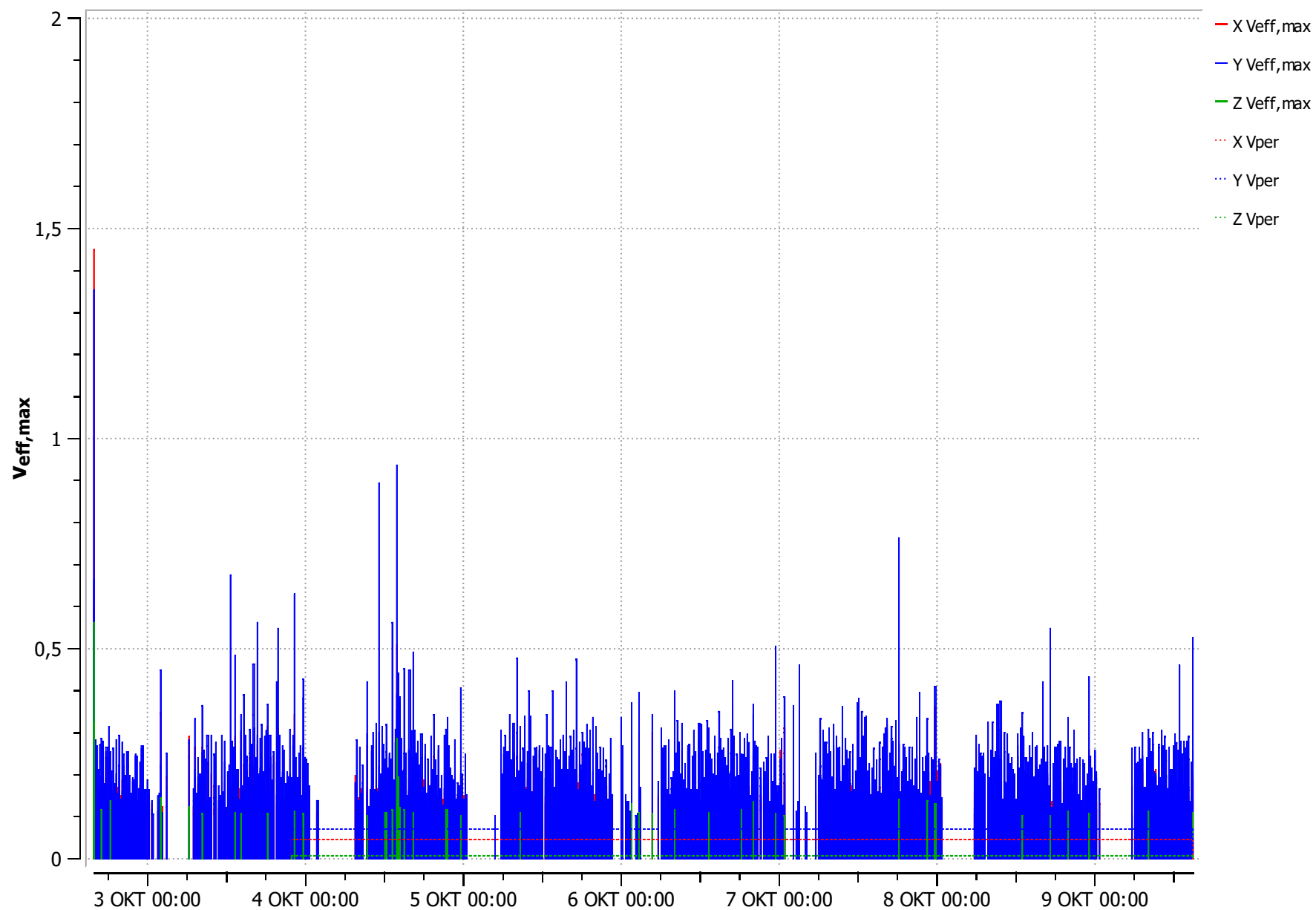
Maatregel	Wanneer reducerend effect?	Indicatie kostprijs*
aanpassen vloeren: dikte en/of overspanning	afhankelijk van de vloerafmetingen: opslinging voorkomen	+
paalfundering toepassen	overdracht van trillingen bodem naar fundering reduceren	++
wijzigen bouw materiaal	massa en stijfheid toevoegen: verlaagt responsie van gebouw op trillingen (soms kan ook extra damping worden gerealiseerd)	+ / ++
fundering inpakken (bijv. EPS blokken aan buitenzijde fundering)	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+
fundering verzwaren en verstijven	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+ / ++
afveren gebouw (trillingsisolerende blokken tussen fundering en bovenbouw) elastische blokken of stalen veren mogelijk	vermindering overdracht trillingen tussen fundering en bovenbouw. Effectief tot lage frequenties (circa 2 à 3 Hz is mogelijk)	++
vloeren loskoppelen van rest van constructie	vermindering overdracht trillingen van gebouwconstructie naar vloeren, wordt soms toegepast bij zware grote vloeren. Wordt bijvoorbeeld bij bioscopen en dergelijke toegepast	+
verstijvende elementen aanbrengen (bijvoorbeeld bij staalbouw extra muurelementen -> sterk afhankelijk van het gebouwontwerp)	vermindering overdracht trillingen vanuit bodem naar gebouw door verhoogde stijfheid van constructie	+ / ++
locatiekeuze gebouw	afstand tussen gebouw en spoor verhogen, locaties nabij wissels, ES-lassen en kunstwerkovergangen zoveel mogelijk vermijden	0

* 0 is nauwelijks extra kosten, + is beperkte extra kosten, ++ is behoorlijke extra kosten



Bijlage I

VIBe0435 tri109aa 2020-10-02





Bijlage II

VIBe0435 tri109aa 2020-10-02

