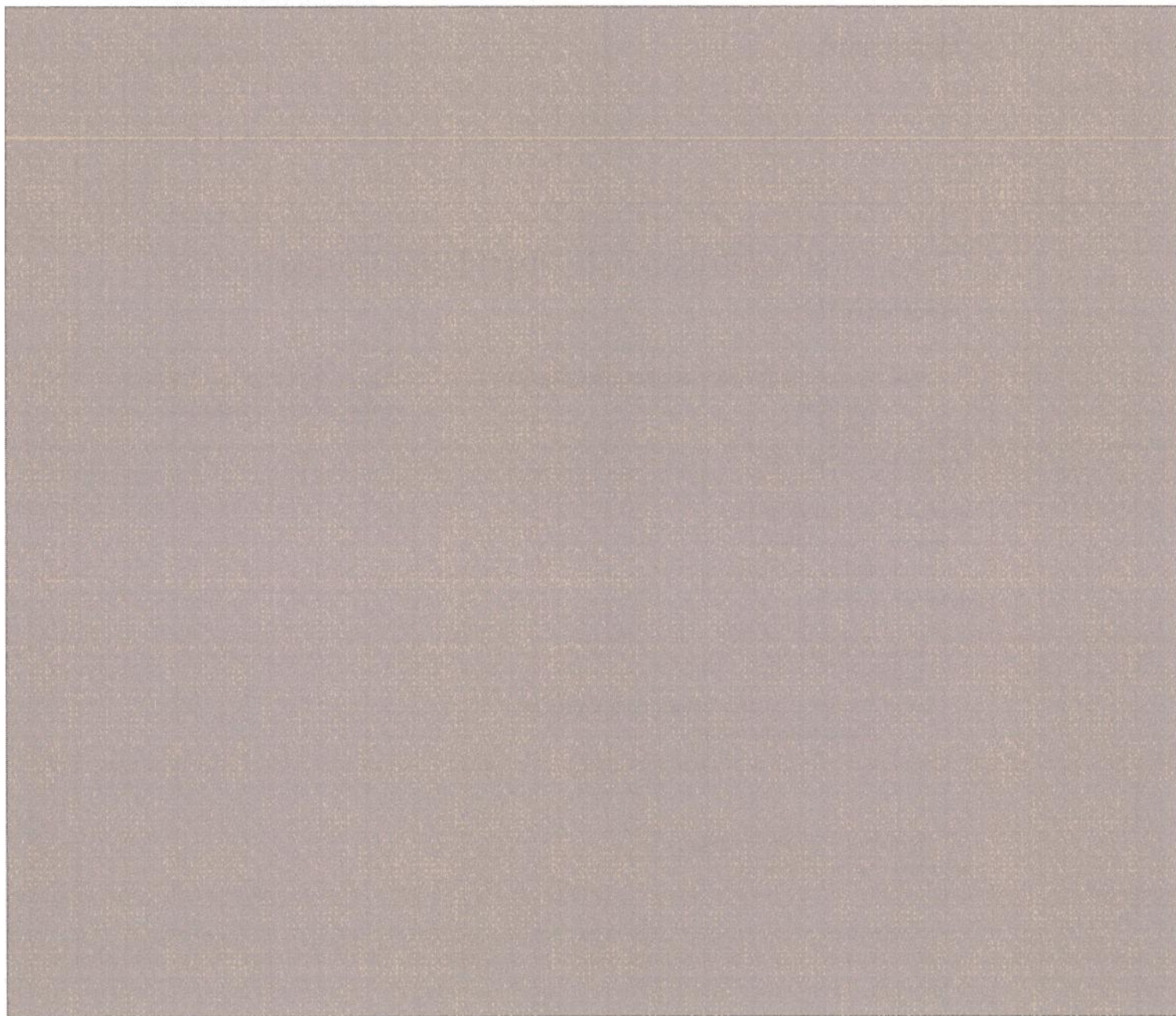




**Advisering maatregelen
trillingshinder
Dorpsstraat te Assendelft**

Eindrapport



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Algemeen	4
1.2	Aanleiding en onderzoeksvragen	4
1.3	Plan van aanpak	5
1.4	Referenties	5
2	Projectgebied	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Bebouwing	6
2.3	Uitgevoerde werkzaamheden Dorpsstraat	7
2.4	Bodemopbouw en grondwaterstand	7
3	Onderzoek verandering wegdek	10
3.1	Algemeen	10
3.2	Analyse wegconstructie	10
4	Modellering trillingsniveau (PLAXIS)	12
4.1	Algemeen	12
4.2	Aanpak	12
4.3	Kanttekening aanvullend grondonderzoek	12
4.4	Resultaten	13
4.5	Conclusie uitgangspunten en berekeningen	16
5	Omgevingseffecten	17
5.1	Algemeen	17
5.2	Verkeerskundige en verkeerstechnische aspecten	17
5.3	Geluid en duurzaamheid	18
6	SSK-Raming	19
6.1	Uitgangspunten	19
6.2	Samenvatting resultaten	19

Bijlagen

Bijlage 1. PLAXIS-analyse trillingsniveau

Bijlage 2. SSK-RAMING

Bijlage 3. Sonderingen

1.1 Algemeen

Door gemeente Zaanstad is aan Wareco opdracht verstrekt voor het uitvoeren van een vervolg onderzoek ten behoeve van het trillingonderzoek aan de Dorpsstraat te Assendelft, zie figuur 1. Het onderzoeksgebied bevindt zich tussen de nummers 294 en 305 aan de zuidkant en de nummers 502 en 471 aan de noordkant. Dit is het gedeelte van de Dorpsstraat met klinkerbestrating.



Figuur 1. Onderzoeksgebied in Assendelft (Het rode gebied is het ingezoomde kader).

1.2 Aanleiding en onderzoeksvragen

In de Dorpsstraat in Assendelft wordt hinder ervaren door het passerende verkeer [1]. De woningen in de Dorpsstraat staan relatief dicht op de doorgaande weg waar o.a. vrachtverkeer en busverkeer passeren. De meest aannemelijke oorzaak van de ervaren trillingen zijn piekwaarden die veroorzaakt worden door passerend zwaar verkeer dat tussen ca. 30 à 40 km/h rijdt. Het type verharding speelt hierin een relevante rol. In deze rapportage wordt onderzocht wat de technische mogelijkheden zijn van het aanpassen van het wegdek om het trillingsniveau als gevolg van het wegverkeer te beperken.

Om de hinder veroorzaakt door trillingen te beperken heeft de gemeente Wareco gevraagd onderzoek te doen naar mogelijke maatregelen. Hierbij staan onderstaande vragen centraal.

Onderzoeksvragen:

- Is door het aanpassing van het wegdek c.q. materiaal van het wegdek de hinder van trilling weg te nemen zodat er geen sprake meer is van overschrijding van de SBR-normen?
- Op welke wijze zou het wegdek aangepast moeten worden en wat zijn hierin de fysieke mogelijkheden/maatregelen?
- Over welk deel van de Dorpsstraat moet de maatregel uitgevoerd worden om de hinder weg te nemen?
- Wat zijn de effecten van deze maatregel(en) en zijn nadelige effecten (enigszins) weg te nemen?

2 Projectgebied

2.1 Algemeen

De Dorpsstraat te Assendelft is een unieke situatie vanwege opbouw van de Dorpsstraat, waarbij een smalle historische weg met aan weerszijden een smalle sloot en bebouwing is uitgegroeid tot een doorgaande 30km/uur weg met (zwaar) verkeer en een veel ondergronds ruimtebeslag.

Door de unieke situatie van Assendelft is er maar een beperkte mogelijkheid voor het doen van aanpassingen aan de situatie. De lintbebouwing zorgt voor minder mogelijkheden tot ontsluiting van het gebied. Daarnaast is de Dorpsstraat ook het uitgaansgebied, met winkels, horeca en andere locaties waar mensen bijeen komen en dus zorgt voor een hogere verkeer intensiteit.

Het maaiveldniveau in de Dorpsstraat ter plaatse van de onderzoeklocaties varieert van circa NAP -0,5 m tot NAP -0,9 m. De breedte van de Dorpsstraat varieert en is lokaal beperkt. De afstand van de voorgevels van de woningen tot de rand van de rijbaan varieert van meer dan 5 m tot lokaal 0,5 m.

Tussen huisnr. 2 t/m 292 en tussen nr. 504 t/m 734 (kruising Noorderveenweg) is de weg geasfalteerd. In het tussenliggende stuk van nummer 294 t/m 504 is een klinkerverharding aanwezig.

2.2 Bebouwing

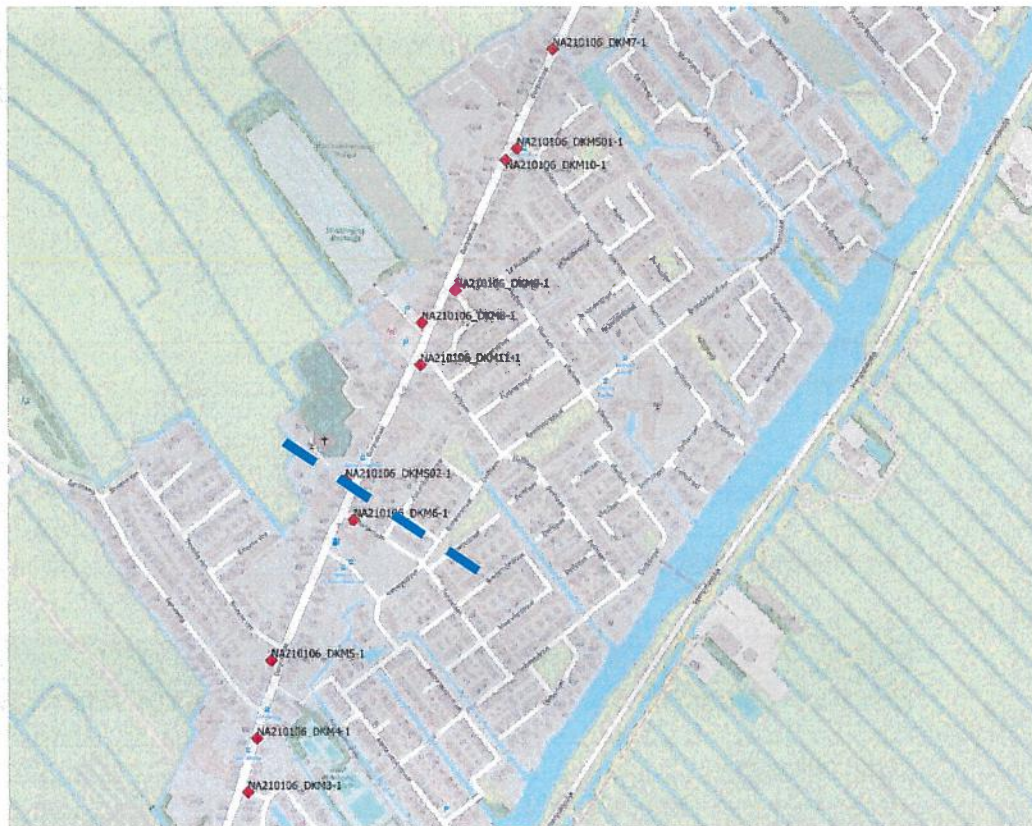
Bouwjaar

De bebouwing langs de Dorpsstraat kent een grote variatie, waarbij zowel oude panden (periode 1900-1945), naoorlogse panden (periode 1945-1970) en relatief nieuwe panden (na 1992) door elkaar staan. Voor het grootste deel zijn langs de Dorpsstraat vrijstaande of twee-onder-een kap woningen aanwezig.

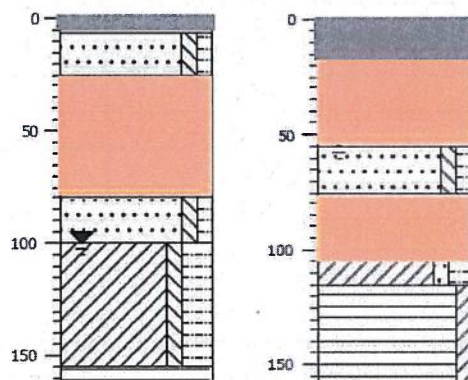
Fundering en zettingen

De funderingen van de bebouwing langs de Dorpsstraat stamt voor het grootste gedeelte uit het bouwjaar van het gebouw. Een tiental gebouwen hebben een funderingsherstel ondergaan. Het funderingsherstel is uitgevoerd tussen 1995 en 2019. Bij de overige gebouwen gebouwd vóór 1945 wordt uitgegaan van een fundering op houten palen tot in de ondiepe zandlaag op circa NAP -7 m.

Door gemeente Zaanstad is recent gestart met het uitvoeren van hoogtemetingen bij de oude bebouwing langs de Dorpsstraat. Van het overgrote deel van de woningen zijn derhalve nog geen zettingsgegevens bekend. Van enkele woningen aan de noord- en zuidkant van het onderzoeksgebied zijn wel gegevens bekend [5]. Hieruit blijkt dat drie panden langs het tracé een matige tot grote zettingssnelheid (matig: 2 – 4 mm/jaar, groot >4 mm/jaar) hebben. Dit is een indicatie dat bij deze panden de oude houten paalfundering de draagkracht van de fundering onvoldoende is, waardoor deze panden gevoelig (zie SBR-A, 2017) zijn voor trillingen. Op basis van het aantal oude woningen (bouwjaar <1945) zonder funderingsherstel dient rekening te worden gehouden dat langs het tracé van de Dorpsstraat meer panden aanwezig zijn die gevoelig zijn voor trillingen.



Figuur 2: Locatie sonderingen met indicatieve grens tussen het gebied met een noordelijke/zuidelijke bodemprofiel



Figuur 3: Bodemopbouw weg t.h.v. Dorpsstraat 404 met klinkers (links) en 560 (rechts) met asfaltverharding en granulaatfundering (oranje)

3 Onderzoek verandering wegdek

3.1 Algemeen

Onderzocht is of door aanpassing van het wegdek de hinder van trilling weg te nemen is zodat er geen overschrijding van de norm plaats vindt. Het onderzoek richt zich op de technische oplossing voor het verminderen van de trillingen.

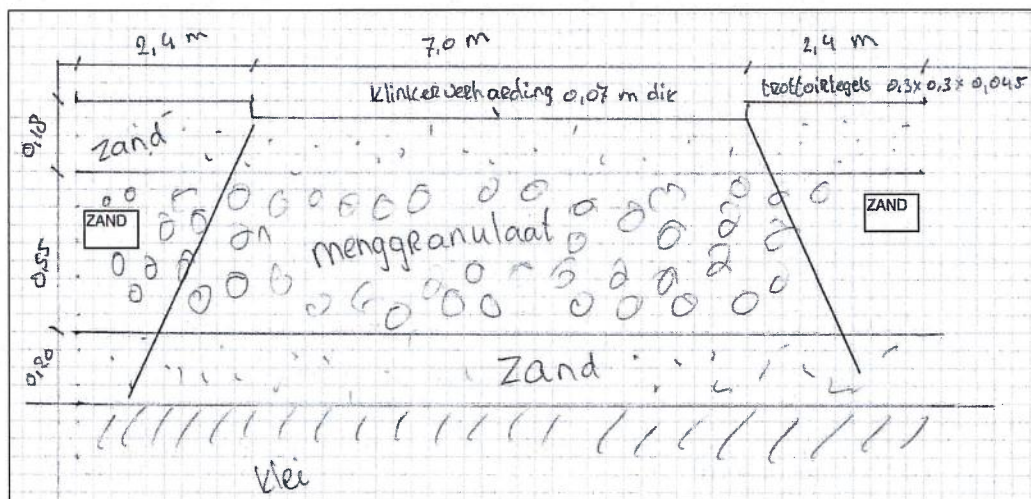
3.2 Analyse wegconstructie

In figuur 4 is de huidige wegconstructie bij Dorpsstraat 404 weergegeven. Op dit moment wordt aangenomen dat deze wegconstructie ook bij de rest van het tracé aanwezig is.

Op basis van de bevindingen bij Dorpsstraat 560 (zie figuur 5) is voor het onderzoeksgebied een wegconstructie vastgesteld, zie figuur Figuur 4 en Figuur 5. Deze wegconstructie is op basis van ervaring en standaard profielen getoetst aan de situatie bij de Dorpsstraat. De aangehouden wegconstructie bestaat uit:

- 0,2 m asfalt;
- 0,4 m menggranulaat;
- 0,2 m zand.

Bij de trillingsberekeningen is één maatgevende doorsnede berekend, waarbij één variant zonder EPS en één variant met EPS als trillingsreducerende maatregel wordt uitgewerkt. In Figuur 6 wordt de doorsnede van de variant met EPS weergegeven.



Figuur 4. Doorsnede (schets) huidige situatie ter hoogte van nummer 404.

4 Modellerings trillingsniveau (PLAXIS)

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt de modellering van het trillingsniveau beschreven. Voor de modellering is gebruikt gemaakt van eindige elementen methode PLAXIS 2D. Daarbij is gebruikt gemaakt van het Hardening Soil Small Strain grondmodel.

4.2 Aanpak

Bij trillingen is er sprake van een bron, een medium en een ontvanger. Bij de bron worden de trillingen geïntroduceerd, door het medium overgedragen en door de ontvanger opgenomen. In deze situatie is de bron het passerende verkeer, het medium de weg, inclusief opbouw en onderliggende grondlagen, en de ontvanger de woning. Deze analyse zal zich focussen op het reduceren van de trillingen in het medium, de grond en weg.

De aanpak van de analyse van de maatregelen is de volgende:

1. data analyse voor de bepaling van de maatgevende frequenties en de bijbehorende trillingsamplitudes (trillingsnelheid);
2. modellering in PLAXIS 2D; stap 1 opzet model o.b.v. diverse metingen
3. modellering in PLAXIS 2D; stap 2 diverse maatregelen controleren op basis van het aanvullend grondonderzoek.

Het reduceren van trillingen in het medium vindt plaats door een overgang van stijfheid in materialen. Om die reden wordt er vaak gezocht naar materialen die aangebracht worden in het medium om de trillingen te reduceren. In deze memo zullen de volgende trillingsreducerende maatregelen in het medium worden bekeken:

1. toepassing van EPS-scherm (piepschuim) naast de weg;
2. toepassing van EPS onder de weg;
3. toepassing van EPS tegen de funderingsbalk;
4. toepassing van een betonwand naast de weg;
5. toepassing van een kleikist naast de weg.

Voor een volledige uitwerking wordt verwezen naar [bijlage 1](#).

4.3 Kanttekening aanvullend grondonderzoek

De PLAXIS-analyse is op basis van de uitgevoerde veldwerkzaamheden geactualiseerd. Kanttekening bij de veldwerkresultaten is dat in de slappe bodemlagen weinig data is verkregen. De gevonden schuifgolfsnelheid bij de seismische sonderingen (zie figuur 7) is relatief hoog voor de slappe lagen en van sommige delen is geen informatie beschikbaar.

Voor deze lagen waarbij geen informatie beschikbaar is of waar onrealistische waarden zijn gemeten zijn de oorspronkelijke parameters gehanteerd. In bijlage 1 is dit nader toegelicht in de analyses.

Andere mogelijke maatregelen

Naast het vervangen van de klinkerverharding door asfalt zijn meer mogelijke maatregelen die mogelijk tot een reductie van de trillingen kunnen leiden. Om te beschouwen welke andere trillingsreducerende maatregelen effectief zijn, zijn ook deze doorgerekend. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 4.

Hierbij zijn de volgende opties zijn onderzocht:

- een EPS1-schermb naast de weg, $b \times h = 0,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$;
- een EPS-fundering onder de weg, dikte 0,3 m;
- een EPS-schermb tegen de fundering, $b \times h = 0,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$;
- een kleikist naast de weg, $b \times h = 0,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$.

Tabel 4: resultaten verschillende opties bij toepassing klinkerweg

Optie	Maximale V_v [mm/s]	% t.o.v. huidig
Huidige situatie	2,5	100%
EPS naast weg	1,0	40%
EPS onder weg	1,6	73%
EPS tegen fundering¹	2,0	90%
Kleikist	1,7	81%

¹ de verwachting is dat hier een discrepantie tussen werkelijkheid en het model optreedt bij deze variant. Uit eerdere referenties is gebleken dat een scherm tegen de fundering nagenoeg even effectief is als een scherm los van de fundering. In het rekenmodel is er echter een verbinding tussen het EPS en de fundering die werkelijkheid zal ontbreken.

Opmerking effectiviteit maatregelen:

Opvallend is dat de trillingen relatief ver de ondergrond in lopen en dat een deel van de hinder hierdoor ook kan ontstaan door het “aantrillen” van de funderingspalen van de gebouwen. Als dat het geval is, is dat een lastig principe om aan te pakken met EPS.

Daarnaast is het, ongeacht de keuze voor de maatregelen, verstandig om bij kwetsbare panden een rubber tegel of een EPS strip tussen de verharding en het pand te plaatsen zodat direct contact vermeden wordt. Vooral elementverharding is een vaak gebleken oorzaak van het doorgeven van trillingen.

Analyse invloed afstand tussen bebouwing en de weg

De afstand tussen de woningen en de weg heeft een belangrijke invloed op het trillingsniveau bij de woningen. Op basis van de geactualiseerde PLAXIS-berekeningen is voor het rekenmodel met de zuidelijke bodemopbouw een vergelijking gemaakt.

Uit de analyse blijkt dat de maximale trillingssnelheid wordt gereduceerd van circa 2,4 mm/s bij 2 m afstand van de bron tot circa 1,6 mm/s bij een afstand van 6 m, zie figuur 8. Dit betekent dat de verwachte trillingssnelheid circa 25% lager is bij een afstand van 6 m tot de bron.

Mocht worden overwogen om het tracé in delen aan te pakken dan zijn er twee relevante factoren voor het splitsen van het tracé, namelijk: 1) in het noordelijke deel van het tracé is de bodemopbouw licht gunstiger in relatie tot trillingen en 2) vanaf 6 m afstand van de weg treedt een relevante reductie (circa 25%) op van het trillingsniveau. Verhoudingsgewijs zijn in het midden van het tracé meer woningen op korte afstand van de weg aanwezig, zie figuur 9.

¹ EPS = geëxpandeerd polystyreen = piepschuim voor o.a. infrastructurele toepassing

4.5 Conclusie uitgangspunten en berekeningen

Conclusies

- Het tracé kan worden onderverdeeld in twee bodemprofielen, waarbij de bodemopbouw ten noorden van Dorpsstraat 399/426 licht gunstiger is.
- Het berekende trillingsniveau bij een klinkerverharding is zowel bij het zuidelijke en noordelijke bodemprofiel hoger dan streefwaarde van de maximale trillingssnelheid ($V_{\max}$) van 0,8 mm/s (A^2). Dit betreft de ondergrens van de streefwaarde voor hinder uit de hinderkwalificatie van de SBR-B.
- Bij woningen die op circa 6 m van de weg staan is het berekende trillingsniveau circa 25% lager dan bij de woningen die op 2 m afstand staan. Ook bij een gecombineerd gunstig effect van 6 m afstand tot de weg en het noordelijke bodemprofiel wordt nog niet voldaan aan de streefwaarde.
- Als maatregelen voor beperken van het trillingsniveau zijn beschouwd:
 - Vervangen klinkerverharding door asfaltverharding. Er is een verschil geconstateerd tussen de metingen bij de asfaltverharding en bij de klinkerverharding, ondanks dat de constructie en de bodemopbouw een rol spelen is er een factor 10 lager trillingsniveau berekend bij de asfaltverharding. Op maaiveld wordt bij een klinkerverharding een trillingsniveau van circa 7,0 mm/s berekend en bij een asfaltverharding circa 0,7 mm/s.
 - Overige maatregelen:
 - De grootste reductie is gevonden bij plaatsen scherm met een dikte van 0,5 m direct naast de weg (of tegen de fundering), met een reductie van ca. 60% op de trillingssnelheid aan de gevel.
 - Een tweede optie waarbij een reductie van 27% is gevonden betreft een EPS-scherm onder de weg of een scherm van 10 cm naast de weg.
 - De overige oplossingen (betonbanden, kleikisten) zijn minimaal effectief.

Validatie voorkeursoplossing

Wanneer door de opdrachtgever een voorkeursoplossing is gekozen kan worden overwogen om, voorafgaand aan het doorvoeren van de oplossing over het gehele tracé, eerst een proefvak te realiseren. Hier kunnen de berekeningen met behulp van praktijkproeven (bijvoorbeeld simulaties met zwaar verkeer) getoetst worden voordat de oplossing op grote schaal wordt toegepast.

Bij het uitvoeren van de maatregelen is het noodzakelijk om draagvlak te creëren onder bestuurders, zodat deze vrijwillig zachter gaan rijden. Bij geforceerde maatregelen ontstaat een gevoel van “automobilisten pesten”, waardoor vaker onveilige situaties kunnen ontstaan.

5.3 Geluid en duurzaamheid

In de onderstaande opsomming zijn de bevindingen ten aanzien van de geluidsaspecten opgenomen:

- Het verkeersgeluid bestaat uit motorgeluid en bandengeluid. Bij het toepassen van een asfaltverharding zal het motorgeluid niet veranderen.
- Het bandengeluid zal in beperkte mate afnemen, waarbij (ten opzichte van een klinkerverharding) een afname van circa 1 (licht verkeer) tot circa 2 decibel (zwaar verkeer) kan worden verwacht. Gevoelsmatig zal het bandengeluid afnemen, maar is dit niet te onderscheiden door het menselijk gehoor. Pas bij een afname van circa 5 decibel is dit te onderscheiden.
- Bij toepassing van een print op het asfalt kan (ten opzichte van een klinkerverharding) een afname van circa 1 decibel worden verwacht.
- Een snelheidsverlaging van de huidige 41 km/uur (V85) naar 30 km/uur (V85) zal qua geluidsniveau geen merkbaar verschil geven.
- Het toepassen van EPS (0,5 x 1,0 – b x h) naast de weg heeft geen invloed op het bandengeluid.
- Het nemen van verdere geluidsreducerende maatregelen is (op het weren van zwaar verkeer na) niet mogelijk.

In de onderstaande opsomming zijn de bevindingen ten aanzien van uitstoot en duurzaamheid opgenomen:

- Voor de duurzaamheid en emissies van de weg dient de gehele levenscyclus te worden beschouwd. Indien de aanleg van de asfaltverharding wordt overwogen kan tijdens de onderzoeksfase een analyse worden gemaakt op de CO₂-uitstoot en/of milieuimpact (MK).
- Het vrijkomen van fijnstof vindt plaats door de remmen en banden. Voor de bandenslijtage (en bijbehorende uitstoot) is er geen noemenswaardig verschil tussen een klinkerverharding en asfalt. Stagnatie (remmen) van het verkeer zorgt voor een iets hogere uitstoot.
- De uitstoot van CO₂ vindt met name plaats door de uitlaatgassen van het verkeer. Deze is afhankelijk van het accelereren, de snelheid van het verkeer en de rolweerstand. Een lagere rolweerstand zorgt voor lager energieverbruik, dus een lagere lokale uitstoot van verkeer.
- De uitstoot van CO₂, stikstof en fijnstof is ook van belang in de bouwfase. De uitstoot van het gebruikte materiaal is bij de aanleg van asfalt gewoon hoger dan bij de aanleg van een klinkerverharding. Om de uitstoot tijdens de bouwfase te beperken wordt aanbevolen het aspect duurzaamheid mee te nemen in de aanbesteding. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het voorschrijven van Euro 6 vrachtwagens, STAGE V materieel, elektrische materieel, de toepassing van biobrandstoffen of een emissieloze bouwplaats.

6 SSK-Raming

6.1 Uitgangspunten

Het doel van de SSK-raming is het inzichtelijk maken van de benodigde investeringskosten voor het uitvoeren van de maatregelen. In deze SSK-raming is het asfalteren van de Dorpsstraat beschouwd en het aanbrengen van EPS als meerwerkprijs meegenomen.

De volledige SSK-raming, inclusief uitgangspunten, is opgenomen in bijlage 2. De voornaamste opmerkingen en uitgangspunten zijn:

- De gehanteerde eenheidsprijzen zijn kostenkennallen uit het Algemene Kostenbestand Aveco de Bondt, prijspeil januari 2021.
- Deze raming met een bepaalde bandbreedte mag gezien worden als een budgetcalculatie en mag in dit stadium niet gezien worden als een trefzekere raming.
- Wegprofielen zoals weergegeven in figuren 3, 4 en 5. De breedte van het trottoir en de weg is bepaald op basis van een gemiddelde breedte van circa 10 profielen bij het onderzoeksgebied.
- De geschatte trefzekerheid bij deze deterministische raming bedraagt circa 85 % met een onder- en bovenwaarde van 15%.
- De scope bestaat uit:
 - Vervangen klinkerverharding voor asfalt.
 - Geen werkzaamheden aan de riolering.
- Er is geen rekening gehouden met de kosten voor het verleggen van kabels en leidingen.

6.2 Samenvatting resultaten

Tabel 5: Samenvatting van de investeringskosten

Investeringskosten (indeling naar categorie)	Totale kosten (Euro)
Bouwkosten aanbrengen asfalt	837.449,--
Engineeringskosten	251.235,--
Overige bijkomende kosten	27.873,--
Objectoverstijgende risico's	71.578,--
Investeringskosten exclusief BTW	1.188.135,--
Investeringskosten inclusief BTW	1.432.104,--
Meerprijs EPS naast de weg	86.967,50