

Gemeente Heusden
T.a.v. de heer W. Peters
Postbus 41
5250 AA VLJUMEN

Uw ref.: 00568195

Onze ref.: 1210-172777.B01/WRH

Betreft: **Vestingwallen Heusden – Gevoeligheidsanalyse bovenbelasting**

Utrecht, 13 augustus 2020

Geachte heer Peters,

Op 23 juli 2020 ontvingen wij uw opdracht om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren van de stabiliteit van de vestingwallen in Heusden bij verschillende soorten bovenbelasting. In deze brief zijn de resultaten beschreven.

Inleiding

De stabiliteit van de vestingwallen van Heusden is door Fugro onderzocht. De resultaten zijn gerapporteerd in het document met kenmerk 1218-0093-000 op 6 mei 2020 (zie bijlage 1). Hieruit volgt dat de stabiliteit van een deel van de vestingwallen op dit moment kan worden gegarandeerd, uitgaande van een bovenbelasting van 5 kN/m^2 over een strook van 2,5 m op de bovenkant van de stadswallen. Deze belasting is gebaseerd op inspecties of onderhoudswerkzaamheden met licht materiaal.

Voor maaiwerkzaamheden van de hoge stadswallen is de afgelopen jaren gebruik gemaakt van een rupskraan van ca. 8 ton met een driedelige giek (figuur 1). Het heeft de voorkeur om dit te blijven doen, omdat andere maaimethoden minder effectief zijn. De veronderstelling is dat bovengenoemd uitgangspunt voor de bovenbelasting van 5 kN/m^2 over een breed representatief is voor een dergelijke rupskraan. Het vertalen van de bovenbelasting uit stabiliteitsberekeningen naar bestekseisen roept echter een aantal vragen op:

- 1) Hoe kan de vertaalslag worden gemaakt van een continue bovenbelasting in een dwarsprofiel naar een toelaatbaar gewicht van een maaivoertuig?
- 2) Hoe ver moet een maaivoertuig van de rand van de wallen blijven?
- 3) In hoeverre vormt een dynamische, excentrische belasting door een overhellende rupskraan met een ver uitstekende giek een risico?
- 4) Wat zijn de risico's van machinaal maaien met een rupskraan op hoge wallen met onvoldoende stabiliteit en hoe kunnen deze worden beheerst?

Analyse

Om onderbouwde beantwoording van bovenstaande vragen mogelijk te maken, heeft Fugro gevoeligheidsanalyses uitvoeren. In de reeds beschikbare rekenbestanden van de stabiliteitsanalyse

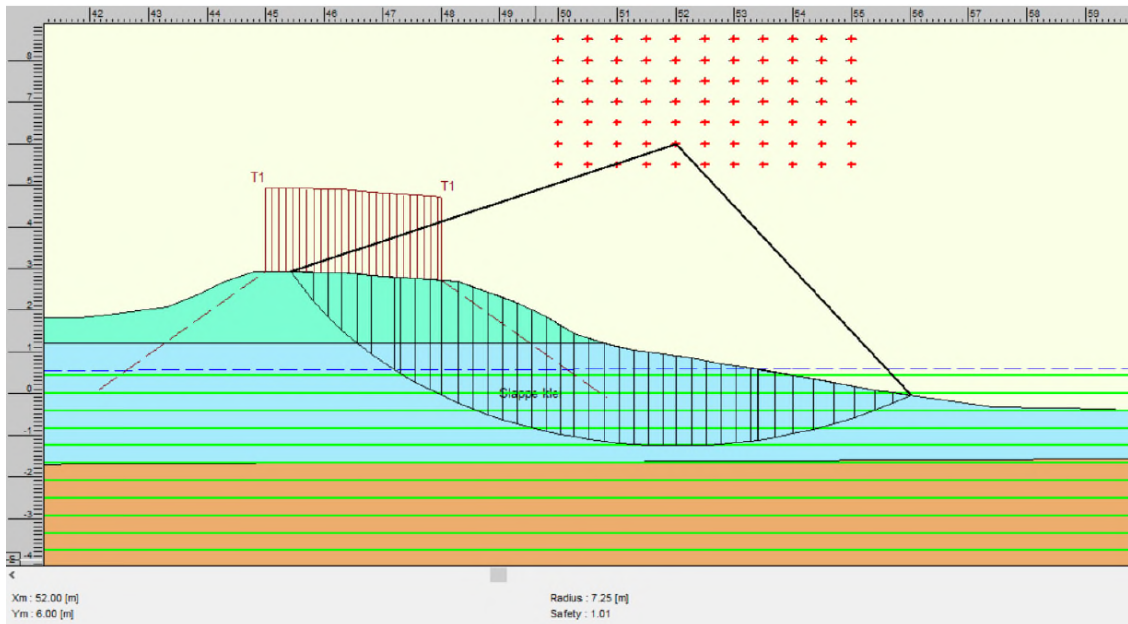
van de hoge wallen zijn de ligging, vorm en intensiteit van de bovenbelasting gevarieerd. De invloed ervan op de berekende stabiliteitsfactor en de ligging van de glijvlakken is beschouwd.



Figuur 1 - Voorbeeld van een rupskraan van ca. 8 ton met een driedelige giek

Modellering van rupskraan in stabiliteitsberekeningen

Gebruikelijk afmetingen van het grondvlak van een rupskraan van ca. 8 ton met een driedelige giek zijn 2,3 x 2,3 m. Een standaard breedte van rupsbanden is 0,45 m. Een massa van 8 ton, ofwel 8000 kg, komt overeen met 78,5 kN. Onder het grondvlak van rupskraan geeft dit een bovenbelasting van ca. 15 kN/m². In de stabiliteitsberekeningen kan zo'n belasting over een beperkt grondvlak niet worden ingevoerd, maar wel een belasting over een oneindig lange strook met een beperkte breedte. Er is in de berekeningen een bovenbelasting van 5 kN/m² aangenomen over een strook van 2,5 m op de bovenkant van de stadswallen. Dit betekent dat de kraanbelasting is gespreid over een lengte van $78,5 \text{ kN} / (2,5 \text{ m} \times 5 \text{ kN/m}^2) = 6,3 \text{ m}$. Dit is een reële aanname, omdat breedte van de maatgevende glijcirkel 10 à 15 m is. De onderliggende veronderstelling is, dat een glijcirkel in werkelijkheid bolvormig is en dat de lengte en breedte ongeveer gelijk zijn. Een voorbeeld van de modellering is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 - Voorbeeld van een glijcirkel met een breedte van ca. 10 m met een 2,5 m brede bovenbelasting op de vestingwal

Voor 6 dwarsprofielen is de omvang en de ligging van de bovenbelasting op de bovenkant van de wal gevarieerd in de stabiliteitsberekeningen om de invloed ervan op de macrostabiliteit inzichtelijk te krijgen. Het betreft 5 hoge wallen en 1 lage wal / buitenwerk. Bij 2 van de beschouwde hoge wallen kan niet worden gegarandeerd dat de macrostabiliteit voldoende is, bij de overige wel. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gepresenteerd in tabel 1 en onderstaand nader omschreven.

Tabel 1 - Resultaten gevoeligheidsanalyse stabiliteit (ligging profielen is weergegeven in bijlage 2)

Dwarsprofiel	Basissom 5 kN/m ² bovenbelasting 2,5 m breed, Op 1 à 2 m van rand	Dubbele bovenbelasting 10 kN/m ² i.p.v. 5 kN/m ²	Geen bovenbelasting	Bovenbelasting langs rand Tegen kruinrand i.p.v. op 1 à 2 m	Excentrisch langs rand 25 kN/m ² i.p.v. 5 kN/m ² 0,5 m breed i.p.v. 2,5 m Tegen kruinrand i.p.v. op 1 m
2	1,00	0,97	1,02	1,00	1,01
3	0,86	0,84	0,86	0,84	0,83
8 (lage wal)	1,15	1,09	1,20	1,10	1,10
10	1,01	0,98	1,03	1,00	1,00
14	1,12	1,09	1,14	1,12	1,13
18	0,95	0,92	0,97	0,94	0,95

Benadrukt wordt dat een bovenbelasting op de bovenkant van de vestingwallen maatgevend is voor de stabiliteit, omdat deze leidt tot een vergroting van het aandrijvende moment van een potentiële afschuiving. Een bovenbelasting op de voorberm langs de teen van de vestingwallen is voor de

macrostabiliteit van de wallen niet kritiek, omdat deze juist leidt tot een vergroting van het weerstandbiedende moment van een potentiële afschuiving. Wel kan een bovenbelasting op de voorberm leiden tot schade aan de bestaande oeverbescherming, omdat deze nog niet berekend is op deze belasting en deels in slechte staat is. Dit valt echter buiten de scope van deze notitie, mede omdat het bezwijken van de oeverbescherming door bovenbelasting gepaard gaat met een beperkt veiligheidsrisico.

Omvang van de bovenbelasting

Ten eerste is als referentie de situatie zonder bovenbelasting beschouwd. Hieruit volgt dat het aanbrengen van een bovenbelasting van 5 kN/m^2 over een strook van 2,5 m op de bovenkant van de stadswallen leidt tot een 2 à 4% lagere stabiliteit. Als deze verkeersbelasting zou worden verdubbeld, dan zou de stabiliteit nogmaals met 2 à 4% afnemen.

Afstand van rupskraan tot de rand van de wallen

In de stabiliteitsberekeningen is in de basissom aangenomen dat de bovenbelasting niet precies bij de rand van de kruin van de vestingwallen begint, maar op 1 à 2 m van de rand. Dit komt enerzijds, omdat er veelal geen sprake is van een harde rand, maar een geleidelijke verlopende overgang (zie figuur 3) en anderzijds omdat inspectie- en onderhoudsvoertuigen vanuit veiligheidsoverweging bij voorkeur niet precies langs het randje zullen rijden.

Het kan echter niet worden uitgesloten dat een machinist voor het maaien van het gras zijn kraan wel precies op de rand wil opstellen, omdat hij het talud dan beter kan bereiken. Het effect hiervan op de macrostabiliteit is beschouwd. Dit leidt tot een 2 à 4% lagere stabiliteit.



Figuur 3 - Bovenkant vestingwal

Effecten van dynamische, excentrische belasting

Als een kraanmachinist de giek van zijn kraan ver uitsteekt, dan zal er sprake zijn van een excentrische belasting, waarbij de meest druk wordt uitgeoefend op de rupsband die zich het dichtst bij de kruinrand bevindt. Dit verschijnsel is gemodelleerd door in de berekeningen ervan uit te gaan dat de bovenbelasting zich concentreert onder één rupsband, die precies langs de kruinrand staat. De bovenbelasting is dan 25 kN/m^2 over een breedte van 0,5 m, ofwel een zelfde gewicht, maar verdeeld over een kleiner oppervlak. Aangenomen wordt dat de trillingen door het bewegen van de kraan geen significant effect hebben, omdat de snelheid tijdens het maaierwerk beperkt is.

Het effect hiervan op de totale taludstabiliteit is volgens de berekeningen beperkt en kan afhankelijk van de situatie positief of negatief zijn, afhankelijk van de precieze ligging van de maatgevende glijcirkel. Toch wordt uitdrukkelijk afgeraden om tot het uiterste gaan met het excentrisch belasten van de kraan langs de taludrand. Het valrisico van de kraan en het risico voor de machinist nemen hierdoor immers toe en er bestaat, vooral na een periode van extreme neerslag, risico op schade aan de grasmat door het wegdrukken van kleine schollen grond door geconcentreerde druk bij de taludrand.

Risicobeperking bij hoge wallen met onvoldoende stabiliteit

Bij een deel van de wallen kan de stabiliteit op dit moment niet worden gegarandeerd, zie het Fugro-rapport van 6 mei 2020. Bovenbelasting door een kraan op de vestingwallen zal de stabiliteit verder verlagen. Een afname van de stabiliteitsfactor met 6% (door bovenbelasting aan de rand van de wallen), leidt ongeveer tot een 3x zo grote kans op een grootschalige afschuiving. De meeste efficiënte maatregel is beperking van de bovenbelasting door een andere manier van maaien of door beweiding. Een andere manier is het aanhouden van een grotere afstand tot de taludrand van circa 4 m. Dit zal echter niet in alle gevallen mogelijk zijn door de beperkte breedte van de wallen en doordat de kraan dan niet meer ver genoeg kan reiken

Sowieso dient niet te worden gemaaid na een periode met extreme neerslag. Hierop is in de huidige berekeningen al een voorschot genomen door te rekenen met een grondwaterstand, die wordt gedomineerd door het peil in het buitenwater. Impliciet is er dus al vanuit gegaan dat er niet wordt gemaaid na een natte periode. De effecten van neerslag op de grondwaterstand kunnen worden herleid uit het bestaande peilbuizennetwerk, eventueel aangevuld met metingen in de reeds door Fugro in de wallen geplaatste peilbuizen.

Conclusies

Hieronder zijn de vragen uit de inleiding beantwoord:

- 1) *Hoe kan de vertaalslag worden gemaakt van een continue bovenbelasting in een dwarsprofiel naar een toelaatbaar gewicht van een maaivoertuig?*

Deze vertaalslag kan worden gemaakt door naar de afmetingen van de maatgevende glijcirkel in de stabiliteitsberekeningen te kijken. Hieruit volgt dat de continue bovenbelasting van 5 kN/m^2 over een strook van 2,5 m uit de stabiliteitsberekeningen goed overeenkomt met de lokale belasting van een rupskraan van 8 ton.

- 2) *Hoe ver moet een maaivoertuig van de rand van de wallen blijven?*

Het langs de rand van de wallen rijden leidt tot een kleine extra stabiliteitsafname. Aanbevolen wordt om minimaal 1 à 2 m van de taludrand te blijven.

- 3) *In hoeverre vormt een dynamische, excentrische belasting door een overhellende rupskraan met een ver uitstekende giek een risico?*

Het extra stabiliteitsrisico dat wordt geïntroduceerd door het overhellen van de rupskraan aan de rand van het talud is beperkt. Het wordt echter afgeraden om zo te werk te gaan, omdat er een valrisico is voor de kraan met machinist en kans op schade aan de grasmat door het wegdrukken van kleine schollen grond.

- 4) *Wat zijn de risico's van machinaal maaien met een rupskraan op hoge wallen met onvoldoende stabiliteit en hoe kunnen deze worden beheerst?*

De bovenbelasting van een rupskraan zorgt voor een lagere stabiliteit. De kans op een grootschalige afschuiving neemt hierdoor ongeveer met een factor 3 toe. Het risico kan worden beperkt door op deze delen niet machinaal te maaien of door het aanhouden van een afstand van minimaal 4 m tot de taludrand.

Samengevat

Op de volgens berekeningen stabiele delen van de wallen is een bovenbelasting door een rupskraan van 8 ton met een driedelige giek toelaatbaar. Aanbevolen wordt om op 1 à 2 m van de rand van de wallen te blijven en niet te maaien na een periode met veel neerslag.

Op de volgens berekeningen onvoldoende stabiele delen van de wallen is een bovenbelasting door een rupskraan onwenselijk. Het risico kan worden beperkt door op deze delen niet machinaal te maaien of door niet na een periode met veel neerslag te maaien én minimaal 4 afstand te houden tot de rand van de wallen.

Wij vertrouwen erop u hiermee naar tevredenheid te hebben ingelicht.

Met vriendelijke groet,



Werner Halter
Principal Consultant

Gecontroleerd door Carolin Briele

- Bijlagen:
1. Resultaten stabiliteitsonderzoek d.d. 6 mei 2020
 2. Ligging profielen uit stabiliteitsanalyse

Bijlage 1: Resultaten stabiliteitsonderzoek d.d. 6 mei 2020



Bijlage 2: Ligging profielen uit stabiliteitsanalyse

