Adviesnota

Movares
adviseurs & ingenieurs
Kennislijn Gebouwen en Infra

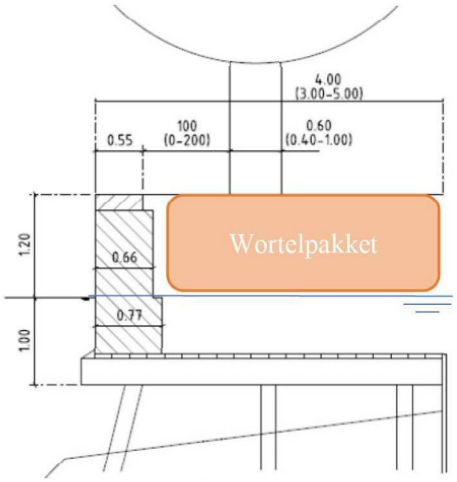
Aan	[redacted]
Van	[redacted]
Telefoon	[redacted]
Opsteller	[redacted]
Controleur	[redacted]
Kenmerk	D80-TOL-KA-2000018 Voorlopig Ontwerp Palenwand boombehoud
Projectnummer	MN001276
Onderwerp	Voorlopig ontwerp palenwand
Datum	21 juli 2020

Inleiding

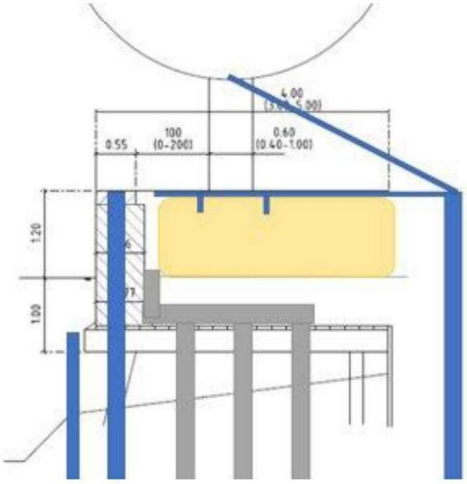
Een groot gedeelte van de kademuren in Amsterdam verkeert in slechte staat en staat geprogrammeerd voor vernieuwing. Veel van deze kademuren hebben raakvlakken met bestaande (monumentale) bomen. Kademuurvernieuwing met behoud van bomen vormt een uitdaging waarin creatieve technische oplossingen nodig zijn om binnen de randvoorwaarden een kademuurvernieuwing uit te voeren. Gemeente Amsterdam heeft binnen het kader boombehoud een uitvoeringmethode met behoud van bomen (SO) geselecteerd, namelijk een palenwand met gefundeerde boom-ontlastvloer. Deze bijlage is een onderdeel van het kader boombehoud bij kademuurvernieuwing en het ontwerp van de palenwand wordt in deze adviesnota uitgewerkt.

Uitgangspunten ontwerp

Dit ontwerp is gebaseerd op een fictieve casus. De totstandkoming van de uitgangspunten is uitgewerkt in het hoofdrapport van Boombehoud bij kademuurvernieuwingen. De huidige situatie is weergegeven in Figuur 1. De kademuur wordt vervangen door een palenwand met een gefundeerde ontlastvloer (Zie Figuur 2).



Figuur 1: Dwarsprofiel kademuur



Figuur 2: Ontwerprichting

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367

De fasering van de kademuurvervanging is als volgt:

1. Plaatsen hulpdamwand *(Ontwerp uitgewerkt in deze adviesnota)*
    a. Stabiliseren kademuur met zandaanvulling
    b. Het opspuiten van zand onder de bestaande houten vloer tot de hulpdamwand
2. Groutvloer
    a. Maken groutpalen tot boven de houten vloer
    b. Maken van groutvloer met de groutpalen
    c. Maken van een opstort achter de kademuur verbonden met de groutvloer. De hoogte is tot waterlijn.
    d. Controle van dikte en locaties van grout
3. Boomanker *(Ontwerp uitgewerkt in deze adviesnota)*
    a. Aanbrengen buispalen achter de boom
    b. Aanbrengen boomverankering (horizontaal met verankeringspennen)
4. Buispalen in bestaande kademuur aanbrengen *(Ontwerp uitgewerkt in deze adviesnota)*
    a. Het slopen van de bestaande kademuur tot aan bestaande fundatie.
    b. Doorboren van de bestaande fundatie
    c. Buispalen aanbrengen
    d. Damwandplanken achter buispalen aanbrengen
    e. Aanbrengen van verankering
    f. Voorspannen anker
5. Realisatie definitieve situatie
    a. Verwijderen zandaanvulling
    b. Verwijderen hulpdamwand
    c. Verwijderen boomanker
6. Aanbrengen afbouwconstructie
    a. Aanbrengen schort (incl. natuurstenen deksteen, metselwerk afwerking en grijpsteen)

Grondeigenschappen en bodemopbouw

Voor het opzetten van de palenwand berekening zijn de geotechnisch grondparameters en het bodemprofiel aangeleverd door IB Amsterdam d.d. 13-03-2020. Zie Figuur 3.

Type	BK	γ_d / γ_n	C	φ	δ	K1	K2	K3
Toplaag	MV	15,0/18,4	0	28	18	4500	2250	1125
Hollandveen	-2,0	2,5/10,5	5	22	0	2000	800	500
Wadafzettingen	-5,0	13,3/17,9	2	27	18	4000	2000	800
Hydrobiaklei	-12,0	9,0/15,2	8	27	18	4200	2100	1050
Basisveen	-12,5	4,2/11,7	6	21	0	1000	500	250
Eerste zandlaag	-13,0	16,8/19,8	0	33	22	28000	14000	7000
Allerod	-15,0	14,4/18,5	3	28	18	13000	6500	3250
Tweede zandlaag	-17,0	15,9/19,0	0	33	22	31000	15500	7750
[-]	m t.o.v. NAP	[kN/m^3]	[kN/m^2]	[graden]	[graden]	[kN/m^3]	[kN/m^3]	[kN/m^3]

Figuur 3: Bodem- en grondparameters

Normen, richtlijnen en voorschriften

Voor de toetsing van de kadeconstructies is gebruik gemaakt van:

- NEN-EN 9997-1;

- CUR publicatie 166;
- en de CUR 186 Binnenstedelijke kademuren.

Veiligheidsfactoren:
De constructie is ingedeeld in risico klasse 2 (RC2).

Belastingen
De belasting op de kademuur bestaat uit twee componenten: gelijkmatig verdeelde maaiveldbelasting en boombelasting. Voor de maaiveldbelasting is gerekend met een (permanente) gelijkmatig verdeelde belasting van 20 kN/m^2. Voor de boombelasting wordt onderstaand de maatgevende belasting afgeleid.

In de Nederlandse binnensteden staan op veel locaties bomen direct langs kadeconstructies. Deze harde constructies vormen een beperking voor het wortelstelsel waardoor de boom minder goed kan ankeren en de kans op omwaaien groter wordt. De wortels in de grond kunnen tijdens een storm aanzienlijke belastingen op de kadeconstructie genereren. Daarnaast kan de wortelgroei in de loop der tijd ook extra belastingen veroorzaken.

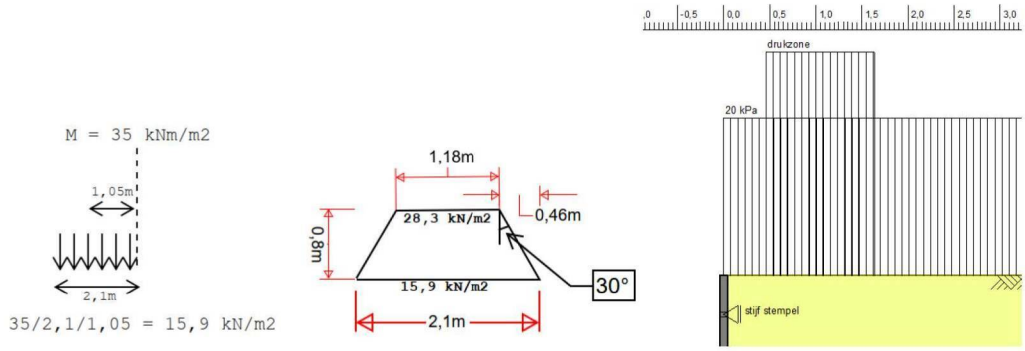
Door de aanwezigheid van bomen binnen de invloedssfeer van een kadeconstructie onderscheiden we hierbij een toename van de belasting op de kade en eventuele verankering als gevolg van:

- eigengewicht van de boom;
- expansiebelasting door het wortelstelsel op de kade of verankeringsconstructie;
- windbelasting op de boom die via het wortelstelsel naar de ondergrond wordt overgebracht;
- omwaaien van de boom waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.

Conform het Handboek Binnenstedelijke kademuren ligt het eigengewicht van een aantal representatieve boomsoorten tussen de 15kN en 20kN. Dit gewicht wordt gespreid over de wortelkluit waardoor de representatieve verdeelde belasting lager uitvalt. In de berekeningen is echter vanuit conservatief oogpunt voor zowel de doorsnede ter plaatse van de boom als de doorsnede zonder een boom gerekend met een verdeelde bovenbelasting van 20 kN/m^2. Wanneer de ontlastvloer gerealiseerd is, zal er geen eigengewicht van de boom op de palenwand in rekening worden gebracht.

De horizontale boombelasting en het moment is op een vergelijkbare wijze geschematiseerd zoals gehanteerd bij het ontwerp van de kadevervanging van de Prinsessegracht (voorbeeld uit Handboek binnenstedelijke kademuren):

- Hierbij is een horizontale kracht van 20 kN/m^1 gehanteerd op het niveau onderkant wortelkluit op NAP -0,4m.
- Het moment is aangehouden op 35 kNm/m^2 uit het voorbeeld. Gezien de omstandigheden is dit een goede eerste indicatie. Het moment wordt uitgedrukt in een druk en trekzone op het niveau onderkant wortelkluit. De drukzone bedraagt conform opgave boomspecialist 2,1m. Dit komt neer op een verdeelde belasting van 15,9 kN/m^2, zie Figuur 4.
- De belasting in de drukzone is in D-Sheetpiling gemodelleerd als een verdeelde belasting op het maaiveld conform onderstaande figuur. Door belastingspreiding in de ondergrond wordt de gewenste belasting op NAP -0,4m verkregen.



Figuur 4: Belastingschematisatie boom

Een deel van de drukzone zal worden opgenomen door de ontlastvloer rond de boom. Als (conservatief) uitgangspunt is de volledige drukzone meegenomen als belasting in de palenwand.

Berekeningen

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Sheet Piling versie 19.3. De resultaten van de damwandberekeningen worden deze paragraaf gepresenteerd voor drie situaties:

1. Bepaling hulpdamwand;
2. a. Kadeconstructie ter plaatse van kade met boom;
   b. Kadeconstructie ter plaatse van kade zonder boom.
3. Boomanker met behulp van een buispaal

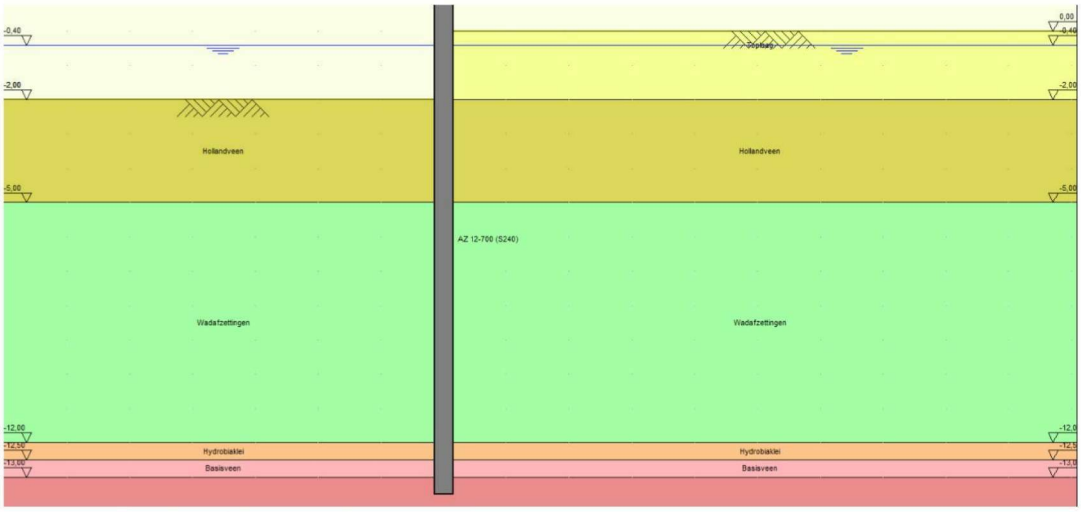
1. Bepaling hulpdamwand

De dimensionering van de hulpdamwand vindt plaats door een vrijstaande hulpdamwand in het water te plaatsen. Hierbij is tevens rekening gehouden met een zandaanvulling tot NAP. Gezien het tijdelijke karakter van deze damwand en het feit dat deze alleen in de uitvoering wordt gebruikt, wordt een grotere damwandverplaatsing acceptabel geacht en wordt deze doorgerekend in RC1. De gehanteerde fasering is weergegeven in Tabel 2. Uit de berekeningen volgt dat de AZ 12-700 damwand voldoet aan de sterkte- en stabiliteitseisen.

Fase	Omschrijving
1	Bodemniveau = NAP -2,0m. Freatische grondwaterstand = NAP -0,4m. Plaatsen damwand.
2	Aanvullen met zand tot NAP.
3	Horizontale stempelkracht vanuit de kade.

Tabel 1 Aangehouden fasering – hulpdamwand

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367



Figuur 5 Schematisatie hulpdamwand

		Hulpdamwand
Veiligheidsklasse		**RC1**
Profieltype	[-]	AZ 12-700
Staalkwaliteit	[-]	S240
Opneembaar moment $M_{r;d}$	[kNm/m^1]	289
Inbeddingsdiepte damwand	[m NAP]	-13,5
Maaiveldniveau	[m NAP]	-1,0
Bodemniveau	[m NAP]	-2,0
Resultaten berekening		
rekenwaarde optredend buigend moment $M_{s;d}$ (UGT) *(unity check $M_{s;d}$ / $M_{r;d}$)*	[kNm/m^1]	40 *(uc 0,13)*
rekenwaarde optredende dwarskracht $D_{s;d}$ (UGT)	[kN/m^1]	14
ankerkracht (axiaal) P_{max} (UGT) *(aangrijpniveau)*	[kN/m^1]	n.v.t.
Voorspanning ankers	[kN/m^1]	n.v.t.
maximum uitbuiging u_{max} (BGT)	[mm]	11
Stabiliteitsfactor	[-]	6,42
Gemobiliseerde weerstand	[%]	22
Verticale draagkracht	[-]	Voldoet

Tabel 2 Samenvatting resultaten hulpdamwand

2. Berekening kademuur

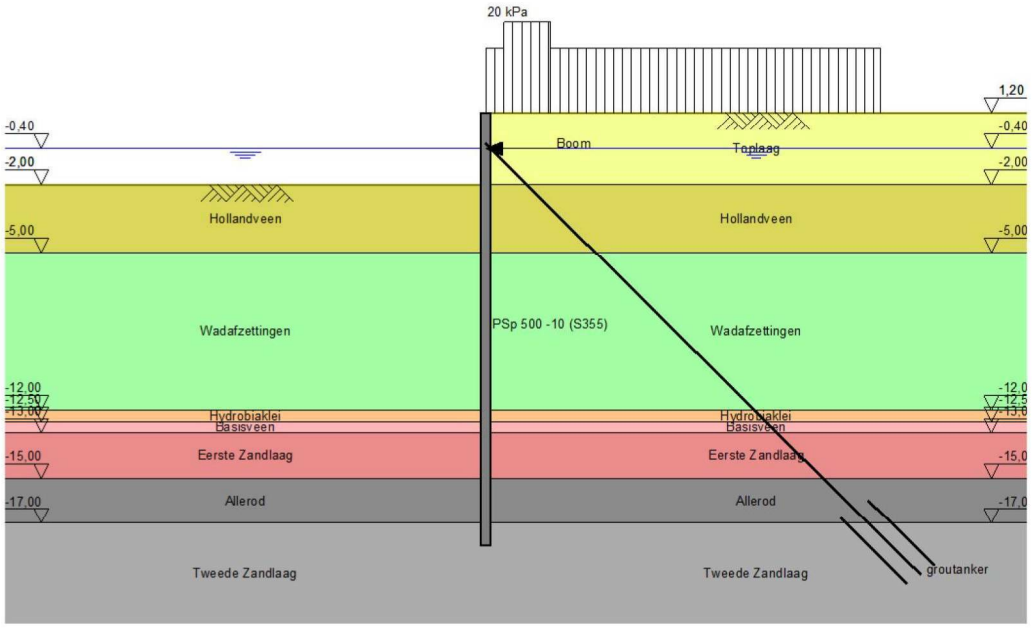
Er is indicatief gerekend met een in D-Sheet standaard stalen profiel PSp 500-10 (S355). Hierbij is de buispalenwand gemodelleerd als doorgaande wand met versmeerde stijfheid van de buispalen h.o.h. 1,0 m. Het toe te passen stalen buisprofiel dient minimaal aan deze eigenschappen te voldoen. De wand is verankerd met groutankers (h.o.h. 2m) onder een hoek van 60 graden en met een aangrijpingspunt op NAP-0,2m. De gehanteerde fasering is weergegeven in Tabel 2. Uit de berekeningen volgt dat de PSp 500-10 (S355) palen voldoet aan de sterkte- en stabiliteitseisen.

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367

Fase	Omschrijving
1	Initieel
2	Bodemniveau = NAP -2,0m. Freatische grondwaterstand = NAP -0,4m. Plaatsen Buispalen.
3	Ankers aanbrengen
4	Nieuwe constructie met maatgevende belasting

Tabel 3 Aangehouden fasering – kademuur

Het paalpuntniveau is aangehouden op NAP -18,0m, maar dient nader bepaald te worden op basis van verticale paalbelastingen.



Figuur 6 Schematisatie kademuur met boombelastingen

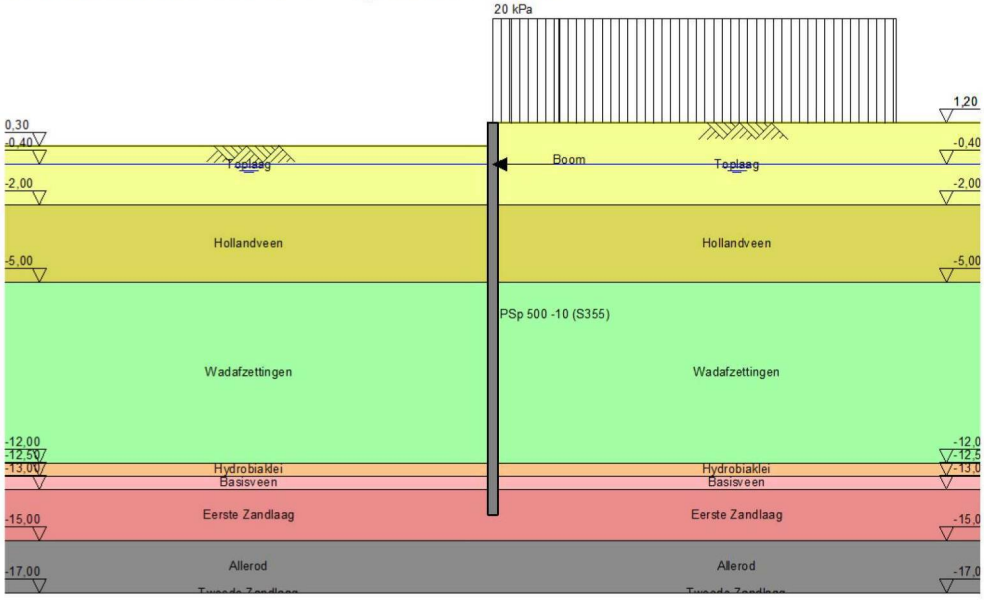
		Buispaal	
Veiligheidsklasse		**RC2**	
Profieltype	[-]	PSp 500-10	
Staalkwaliteit	[-]	S355	
Doorsnede	[cm^2]	173	
Weerstandsmoment	[cm^3]	3278	
Diameter	[mm]	380	
Opneembaar moment $M_{r;d}$	[kNm/m^1]	168	
Inbeddingsdiepte profiel	[m NAP]	-18,0	
Maaiveldniveau	[m NAP]	+1,2	
Bodemniveau	[m NAP]	-2,0	
Resultaten berekening		Met boom	Zonder boom

rekenwaarde optredend buigend moment $M_{s;d}$ (UGT) *(unity check $M_{s;d}$ / $M_{r;d}$)*	[kNm/m^1]	156 (0,93)	107 (0,6)
rekenwaarde optredende dwarskracht $D_{s;d}$ (UGT)	[kN/m^1]	38	30
ankerkracht (axiaal) P_{max} (UGT) *(aangrijpniveau)*	[kN/m^1]	29 (-0,2)	18 (-0,2)
Voorspanning ankers	[kN/m^1]	40	20
maximum uitbuiging u_{max} (BGT)	[mm]	32	23
Stabiliteitsfactor	[-]	4,9	5,0
Gemobiliseerde weerstand	[%]	12	11

Tabel 4 Samenvatting resultaten

3. Berekening boomanker

Het boomanker is indicatief berekend door de horizontale boombelasting en de verkeersbelasting aan te laten grijpen op en naast de paal. Hierbij is uitgegaan van dezelfde PSp 500-10 (S355) profielen maar met een paalpuntniveau op NAP -14,0m. Het opneembaar moment en buigstijfheid is gereduceerd tot 25% van de initiële waarde om een h.o.h. van 4m te modelleren. Tevens is vanuit conservatief oogpunt uitgegaan van een gemiddeld niveau aan de passieve zijde van het maaiveld en o.k. wortelpakket. Dit om de trekzone enigszins te modelleren hetgeen resulteert in een lagere steun van de paal over het bovenste gedeelte. De algehele stabiliteit van de situatie met palenwand en boom anker is gezien de onbekende afstand tot bebouwing en definitieve locatie boomanker nog niet beschouwd.



Figuur 7 D-Sheet model boom anker

		Buispaal
Veiligheidsklasse		**RC2**
Profieltype (S355)	[-]	PSp 500-10
H.o.h.	[m]	4,0

Inbeddingsdiepte profiel	[m NAP]	-14,0
Maaiveldniveau (passief)	[m NAP]	+0,3
Maaiveldniveau (actief)	[m NAP]	+1,2
Resultaten berekening		
rekenwaarde optredend buigend moment $M_{s;d}$ (UGT) *(unity check $M_{s;d}$ / $M_{r;d}$)*	[kNm/m^1]	27
rekenwaarde optredende dwarskracht $D_{s;d}$ (UGT)	[kN/m^1]	15
maximum uitbuiging u_{max} (BGT)	[mm]	9
Stabiliteitsfactor	[-]	7,5
Gemobiliseerde weerstand	[%]	12

Tabel 5 Samenvatting resultaten

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367

Conclusie

Uit de damwandberekeningen blijkt dat de gekozen damwand- en buispaalafmetingen voldoen. De algehele stabiliteit van de situatie met palenwand en boom anker is gezien de onbekende afstand tot bebouwing en definitieve locatie boomanker nog niet beschouwd. In de onderstaande tabel zijn de keuzes van verschillende constructie elementen samengevat.

Tabel 6 Samenvatting resultaten

		Boomanker (Buispaal)	Kademuur (Buispaal)	Hulpdamwand
Veiligheidsklasse		**RC2**	**RC2**	**RC1**
Profieltype	[-]	PSp 500-10		AZ 12-700
H.o.h. afstand	[m]	4	1	-
Staalkwaliteit	[-]	S355		S240
Doorsnede	[cm^2]	173		123
Weerstandsmoment	[cm^3]	3278		1205
Diameter	[mm]	380 x 15		-
Opneembaar moment $M_{r;d}$	[kNm/m^1]	168		289
Inbeddingsdiepte profiel	[m NAP]	-14,0	-18,0	-13,5
Maaiveldniveau	[m NAP]	+1,2		0
Bodemniveau	[m NAP]	-2,0	0,3	-2,0

Movares Nederland B.V. / Utrecht
Kamer van Koophandel 30124367