

Twisted B.V.

Kalverstraat 78
5642 CJ Eindhoven

Kenmerk: 2023-09-002 - versie 2.0

Betreft: Infiltratieonderzoek en hemelwateropvang locatie Kalverstraat 72 in Eindhoven.

Best, 16 november 2023

Geachte [REDACTED],

Op uw verzoek heeft Landslide milieu-adviesbureau een infiltratieonderzoek uitgevoerd op de locatie Kalverstraat 72 in Eindhoven. Deze locatie (figuur 1) heeft een oppervlakte van 1.595 m² en wordt heringericht waarbij een nieuw kantoorpand gerealiseerd wordt, evenals de bijbehorende infrastructuur zoals een toegangsweg, parkeervoorzieningen en groen. Voor het verlenen van de benodigde vergunningen wil de gemeente Eindhoven inzicht krijgen op welke wijze in de toekomstige situatie met het hemelwater wordt omgegaan. Leidend daarbij is de maatgevende berging die met de rekentool van de gemeente is vastgesteld en de wijze waarop deze berging op locatie gerealiseerd wordt, zonder dat daarbij overlast op locatie of in de omgeving optreedt.

Deze briefrapportage beschrijft de uitkomsten van het infiltratieonderzoek en de daarop gebaseerde uitwerking voor de berging en infiltratie van hemelwater op deze locatie. Op verzoek van de opdrachtgever heeft op donderdag 26 oktober aanvullend overleg plaatsgevonden om de uitvoerbaarheid van verschillende bergings- en infiltratievarianten samen met de gemeente Eindhoven (contactpersoon [REDACTED]) nader te bespreken. De uitkomsten van deze bespreking en een schriftelijke reactie van Waterschap De Dommel zijn in voorliggend plan verwerkt.



Figuur 1: Impressie ontwikkellocatie Kalverstraat 72 in Eindhoven (panoramafoto 5 oktober 2023).

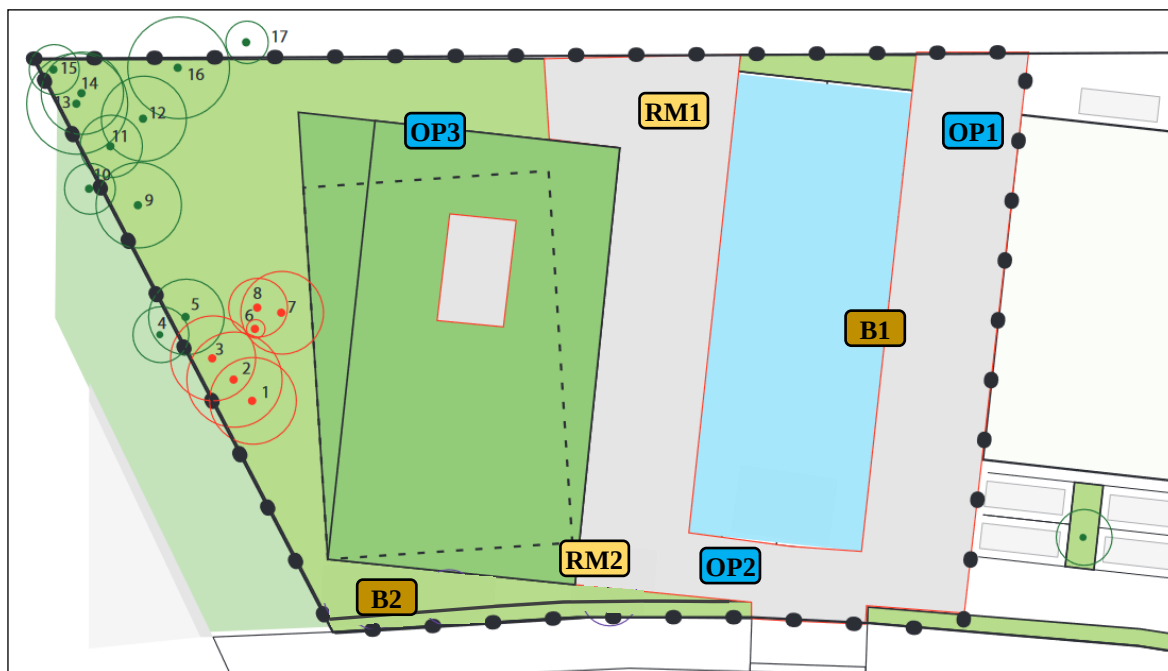


1. Opzet en uitkomsten van het infiltratieonderzoek

Ter plaatse van de onderzoekslocatie zijn 2 handmatige boringen uitgevoerd tot een diepte van maximaal 3,63 m-mv en zijn 5 doorlatendheidsmetingen uitgevoerd in de onverzadigde zone (boven de grondwaterspiegel). De doorlatendheidsmetingen zijn uitgevoerd als dubbele-ring-infiltratiemeting (RM1 en RM2) om de verticale waterdoorlatendheid (K_v) te meten en als omgekeerde putproef (OP1, OP2 en OP3) om tevens de horizontale doorlatendheid (K_h) te meten. Uit de boringen blijkt, dat het opgeboorde profiel voornamelijk uit bruin tot crèmekleurig, matig fijn zand bestaat. Leemlagen werden in geen van de boringen aangetroffen, maar wel puin op wisselende diepte. Naar verwachting is deze zandige bodemopbouw overwegend redelijk tot goed waterdoorlatend en kunnen k-waarden in orde van grootte van 5 tot 10 m/d verwacht worden, waarbij in de regel geldt dat de horizontale waterdoorlatendheid hoger is dan de verticale doorlatendheid. Dit is het gevolg van de veelal horizontaal gelaagde bodemopbouw. Om de waterdoorlatendheid van de onverzadigde zone op verschillende locaties en op verschillende diepten te kunnen kwantificeren en een passend ontwerp te maken, zijn op 5 locaties doorlatendheidsmetingen uitgevoerd. De situering van de meetpunten en van de boringen op de onderzoekslocatie is weergegeven in figuur 2. De boorprofielen zijn opgenomen in bijlage B en de uitwerking van de veldmetingen in bijlage C (dubbele-ring-infiltratiemetingen) en in bijlage D (omgekeerde putproeven).



Figuur 2: Situering van de 2 dubbele-ring-infiltratiemetingen (RM1 en RM2), de 3 omgekeerde putproeven (OP1, OP2 en OP3) en de 2 boringen (B1 en B2) om de variatie in bodemopbouw, grondwaterpeil en waterdoorlatendheid te bepalen.



Uit de meetresultaten blijkt, dat de bodemopbouw een goede indicator is voor de gemeten waterdoorlatendheid. Dat geldt voor zowel de metingen waarbij de verticale (ringmetingen) als waarbij de horizontale infiltratiecapaciteit (omgekeerde putproeven) gemeten is. Met k-waarden die variëren van 2,8 tot 10,3 m/d zijn de onderzochte bodemlagen in de onverzadigde zone (boven het grondwaterpeil) goed tot zeer goed waterdoorlatend, waarbij opgemerkt dient te worden, dat de horizontale waterdoorlatendheid (4,1 tot 10,3 m/d) hoger ligt dan de gemeten verticale waterdoorlatendheid (2,8 tot 3,6 m/d). De variatie in meetwaarden, de meetdiepte, de bijbehorende bodemopbouw en de gemeten grondwaterpeilen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht variatie in waterdoorlatendheid en grondwaterstand Kalverstraat 72 in Eindhoven.

	Nr.	k-waarde	richting	meetdiepte (m-mv)	bodemopbouw	grondwaterstand
1.	RM1	3,6 m/d	verticaal	0,90	matig fijn zand	> 3,63 m-mv
2.	RM2	2,8 m/d	verticaal	0,95	matig fijn zand	> 3,63 m-mv
3.	OP1	6,4 m/d	horizontaal	0,96-1,75	matig fijn zand	> 3,63 m-mv
4.	OP2	10,3 m/d	horizontaal	1,08-1,92	matig fijn zand	> 3,63 m-mv
5.	OP3	4,1 m/d	horizontaal	0,95-1,50	matig fijn zand	> 3,63 m-mv

Deze locatie heeft een goede waterdoorlatendheid van de bodem en daarom zouden in principe infiltratiekratten, waterdoorlatende bestrating, een infiltratie- en transportriool en/of een wadi (en combinatie daarvan) toegepast kunnen worden, zolang dit boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand plaatsvindt. Tijdens het veldwerk op donderdag 5 oktober 2023 bevond het grondwaterpeil zich op ± 4 m-mv (zie tabel 1). Omdat het grondwaterpeil gedurende de winterperiode zal stijgen, wordt voor het gemiddeld hoogste grondwaterpeil (GHG) een stand van ongeveer 2,5 tot 3,0 m-mv aangehouden.

Op basis van aanvullende overleg ten kantore van de opdrachtgever op donderdag 26 oktober jl. is de berekening van de bergingsopgave geactualiseerd (paragraaf 2) en een masterplan (paragraaf 3) uitgewerkt om de maatgevende hoeveelheid neerslag overlastvrij op locatie te bergen en deels te infiltreren. Wanneer de gemeente zich in deze aanpak kan voor de Kalverstraat 72 kan vinden, dan wordt het masterplan voorafgaand aan de aanleg tot in detail nader uitgewerkt.

2. Berekening nominale en locatiespecifieke berging

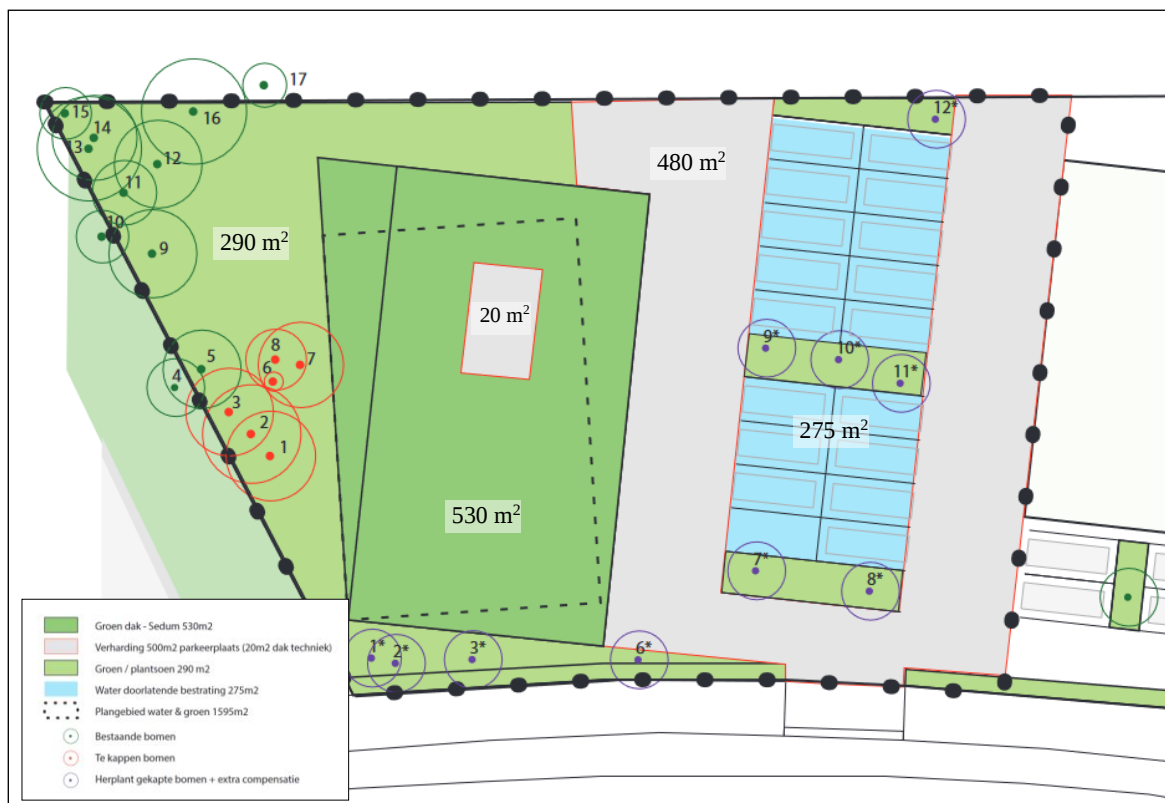
Uit de toekomstige verdeling verhard versus onverhard oppervlak en de maatgevende neerslag volgt de benodigde berging en infiltratie die op eigen terrein boven de GHG moet plaatsvinden. De benodigde berging is berekend met de Rekentool Klimaatopgave van de gemeente Eindhoven (versie 2.3) aan de hand van het meest recente inrichtingsontwerp van de locatie (figuur 3). Met deze rekentool is, op basis van de verhouding verhard-onverhard oppervlak, het toepassen van een vegetatiedak (tenminste 30 mm berging), het gebruik van halfverharding voor de parkeerplaatsen en het planten van 10 nieuwe bomen, een **resterende waterbergingsopgave** van **10 m³** berekend.

De berekeningswijze is opgenomen in bijlage A en via de mail d.d. 3 november 2023 door de gemeente Eindhoven akkoord bevonden. De volledige berekening is als pdf-bestand (Hemelwateropgave Kalverstraat 72 Eindhoven d.d. 27-10-2023.pdf) opgeslagen en maakt onderdeel uit van deze rapportage.

Om te kunnen anticiperen op eventuele kleine veranderingen in het ontwerp is de bergingsopgave vergroot. Bij het ontwerpen van het toekomstige watersysteem voor deze locatie is daarom uitgegaan van een **locatiespecifieke robuuste waterbergingsopgave** van tenminste **12 m³**.



Figuur 3: Oppervlakteverdeling Kalverstraat 72 (1.595 m²) na herinrichting en realisatie van de nieuwbouw (bron: opdrachtgever d.d. 27 oktober 2023).



3. Ontwerp en toelichting toekomstig hemelwatersysteem

Naar aanleiding van het uitgevoerde infiltratieonderzoek, een eerdere versie van het waterhuishoudkundige plan en het aanvullende overleg met de opdrachtgever en de gemeente Eindhoven op 26 oktober 2023 is een robuust en praktisch uitvoerbaar masterplan tot stand gekomen. Een plan dat ook rekening houdt met locatiespecifieke omstandigheden, zoals de ligging van het naastgelegen spoor en het gedraineerde viaduct (Insulindelaan).

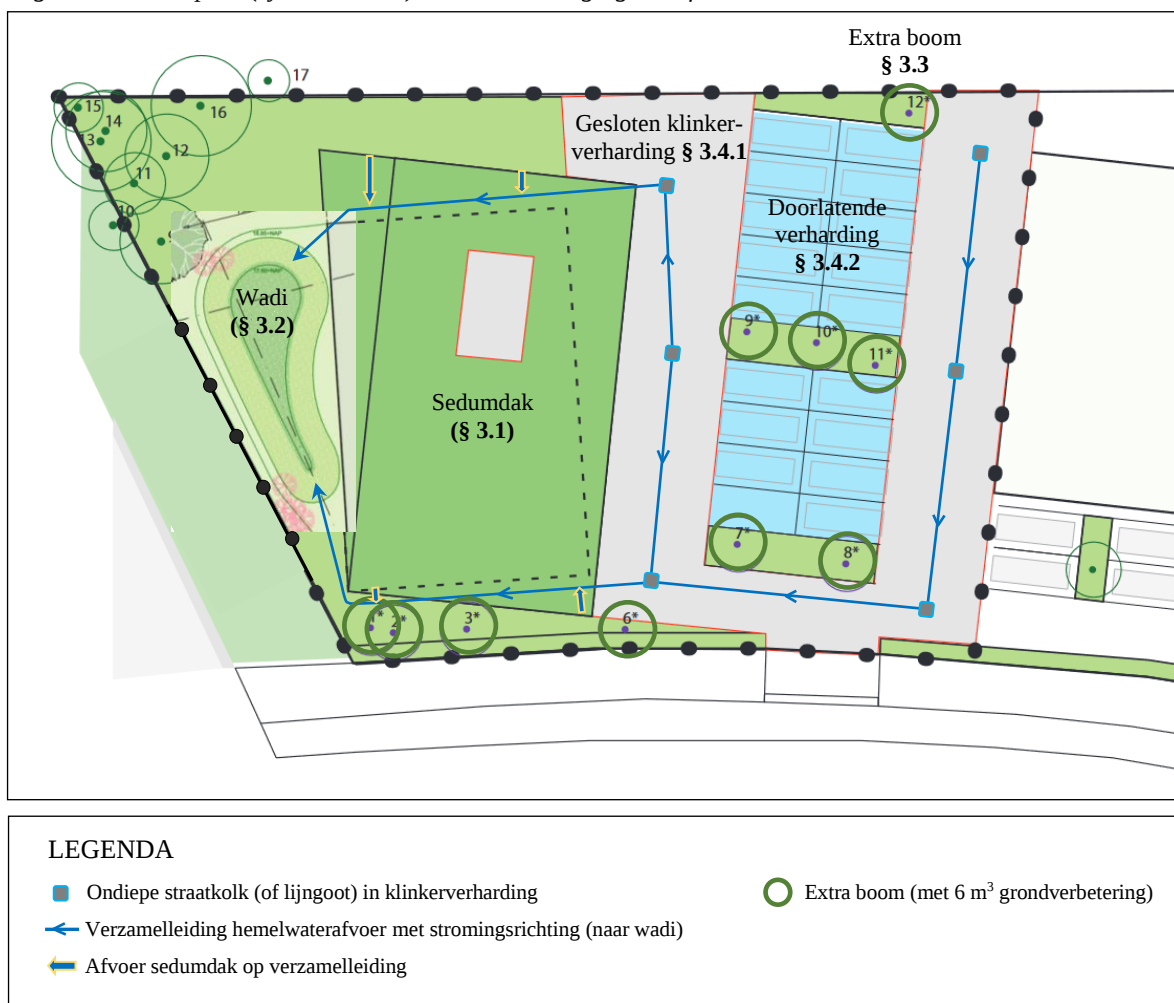
Wanneer de nieuwbouw van een **sedumdak** (530 m²) met tenminste 30 mm waterberging wordt voorzien¹, de **parkeerplaatsen met waterdoorlatende bestrating** (275 m²) worden uitgevoerd, **10 nieuwe bomen worden aangeplant met elk 6 m³ verbeterde en doorlatende grond**, niet meer dan (480 m²) klinkerverharding wordt gerealiseerd en de rest groen (290 m²) blijft, dan bedraagt de resterende waterbergingsopgave 10 m³. Na uitvoering van het infiltratieonderzoek en na overleg met alle betrokkenen is besloten om deze resterende wateropgave te realiseren door een goed te onderhouden **wadi**² aan te leggen met een natuurlijke uitstraling.

¹ 20 m² dak wordt niet van sedum voorzien, omdat daar technische voorzieningen geplaatst worden.

² Met een bergingsvolume van ≥ 12 m³.

Deze gecombineerde aanpak wordt in figuur 4 schematisch weergegeven, waarbij de afzonderlijke onderdelen in § 3.1 t/m 3.4 verder worden uitgewerkt. Na goedkeuring van deze aanpak door de gemeente Eindhoven wordt het ontwerp aan de hand van technische tekening(en) tot in detail uitgewerkt en definitief gemaakt. Hierin worden onder meer de materiaalkeuzes, definitieve locatie van de onderhouds- en inspectievoorzieningen uitgewerkt. Daarbij geldt in elk geval, dat alleen van niet-uitloogbare bouwmaterialen gebruik gemaakt mag worden.

Figuur 4: Masterplan (systeemschets) hemelwaterberging en infiltratie locatie Kalverstraat 72 in Eindhoven.

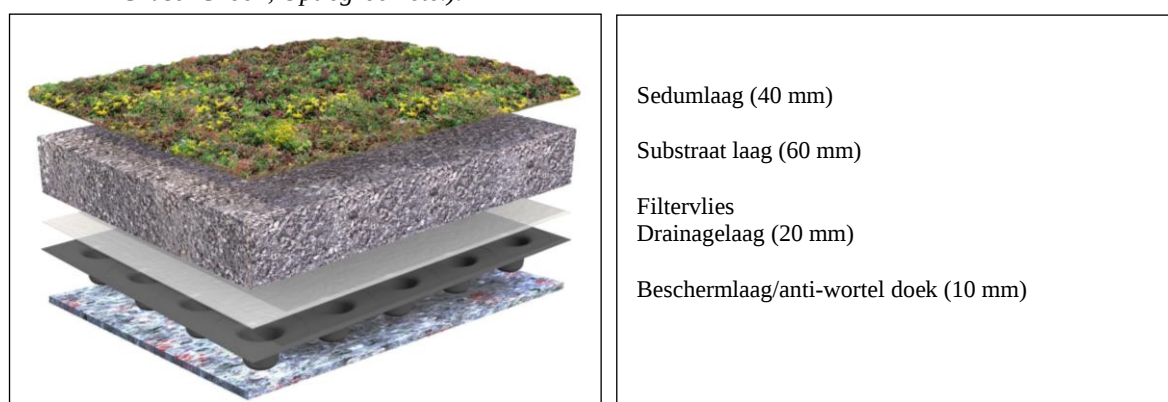


3.1 Sedumdak (530 m²)

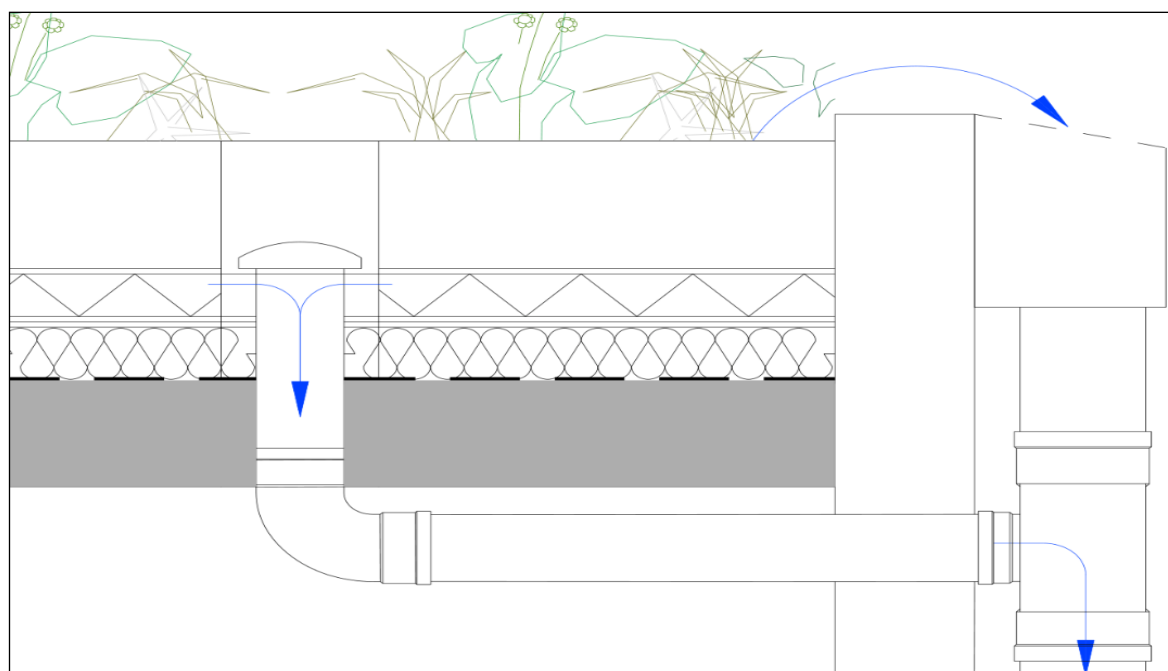
Het dak van het nieuwe kantoorpand wordt, met uitzondering van een klein deel (20 m²), helemaal voorzien van een sedumdak met een bergingscapaciteit van 30 mm of meer. Wanneer meer neerslag valt dan het dak kan opvangen, wordt dit via regenpijpen die op een verzamelleiding aansluiten, vertraagd afgevoerd naar de wadi. Deze leiding mondt op 2 plaatsen in de wadi uit (figuur 4). De opbouw van het sedumdak bestaat uit 5 lagen (figuur 5), maar variaties hierop zijn mogelijk afhankelijk van de definitieve keuze van het daktype en de gewenste berging.

Voornaamste aandachtspunten bij de definitieve uitwerking³ vormen het realiseren van de vereiste minimale berging van 30 mm en een aanleg van vertraagde afvoer, bijvoorbeeld volgens opgave van de gemeente Eindhoven (figuur 6). Daarnaast moet het kantoorpand zodanig ontworpen worden, dat het voldoende draagkracht heeft om het sedumdak met inbegrip van de maximale hoeveelheid hemelwater⁴ te kunnen dragen. Na de aanleg van het dak vindt zodanig onderhoud plaats, dat de bergingscapaciteit in stand blijft. Bij de leverancier van het sedumdak kan hiervoor een onderhoudscontract worden afgesloten.

Figuur 5: Voorbeeldopbouw sedumdak met circa 35 mm (35L/m²) berging (bronnen: SedumSpecialist, GrasenGroen, Optiegroen etc.).



Figuur 6: Voorbeeld vertraagde leegloop overtollig hemelwater sedumdak (bron: gemeente Eindhoven).



³ De leverancier maakt het definitieve sedumdak-ontwerp, dat aan de gemeente Eindhoven wordt toegestuurd.

⁴ Het gewicht van een sedumdak, dat 30-35 mm hemelwater kan opvangen, bedraagt bij benadering 100 kg/m² waarbij het werkelijke gewicht afhankelijk is de nog definitief te bepalen opbouw.

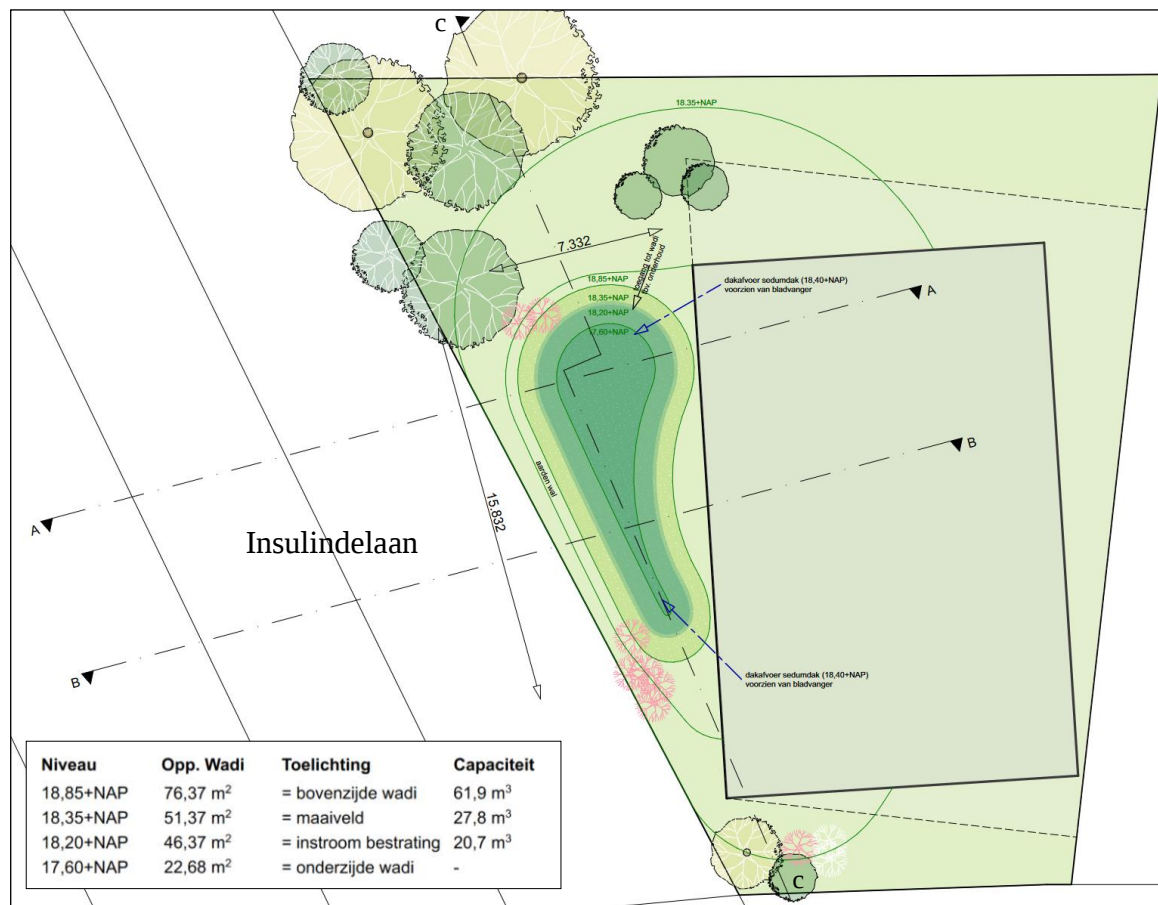
3.2 Wadi

3.2.1 ALGEMEEN

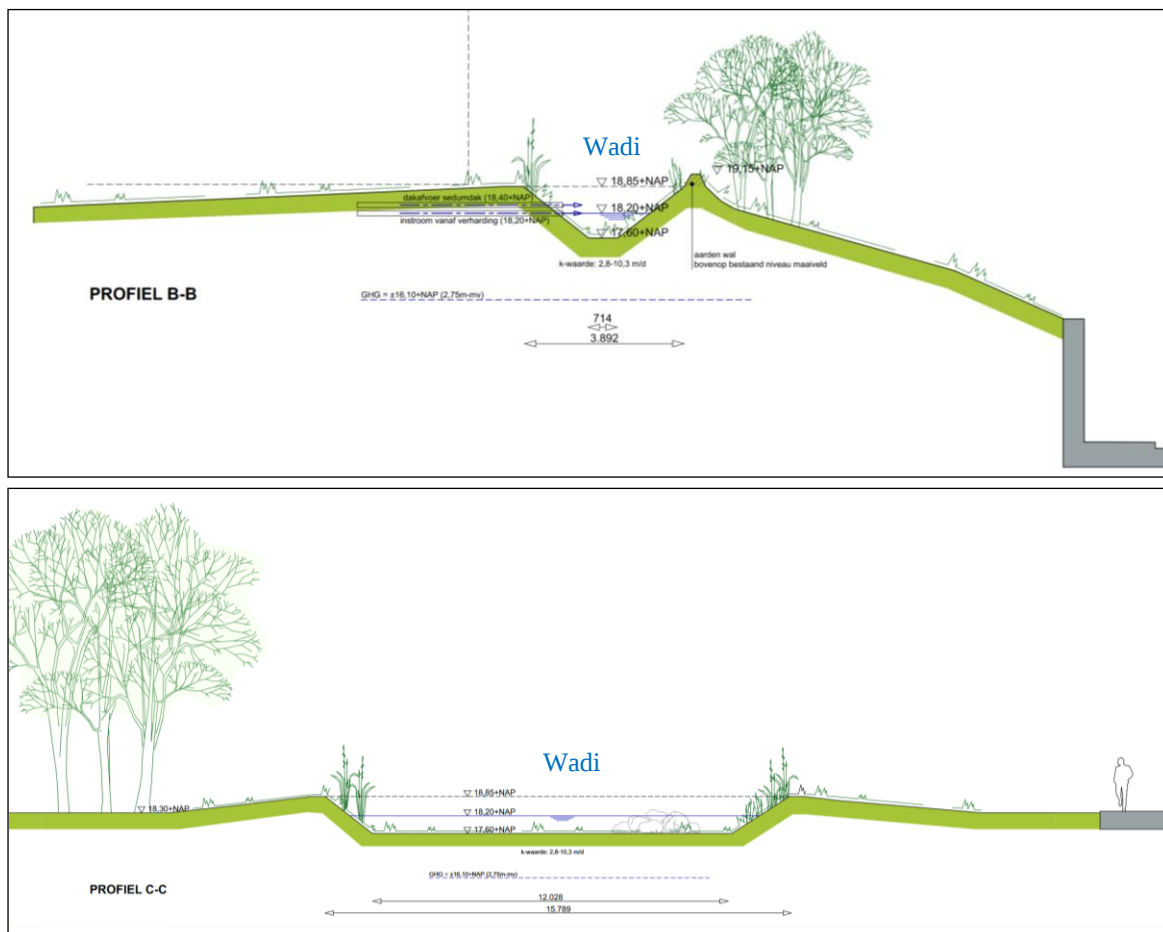
Omdat sprake is van een diepe grondwaterstand en bijbehorende GHG (2,5 tot 3,0 m-mv), de zandige bodem goed waterdoorlatend is (k-waarden variëren van 2,8 tot 10,3 m/d) en omdat de opdrachtgever voorkeur heeft voor een groene inrichting rondom de nieuwbouw is gekozen voor de aanleg van een wadi.

In deze wadi wordt het hemelwater afkomstig van de gesloten bestrating en de vertraagde overloop van het vegetatiedak opgevangen. De wadi heeft een diepte van 1,25 m (17,60 m +NAP), aan het maaiveld (18,85 m +NAP) een oppervlak van afgerond 76 m² en wordt in de groene zone aan de westzijde van de nieuwbouw aangelegd (figuur 7). Vanuit de wadi infiltreert het hemelwater naar de goed waterdoorlatende ondergrond om daar vertraagd het grondwaterpeil aan te vullen. Verdere details ten aanzien van de dimensionering en werking van de wadi worden in paragraaf 3.2.2 beschreven.

Figuur 7: Bovenaanzicht beoogde nieuwe wadi voor de berging en infiltratie van hemelwater op de locatie Kalverstraat 72 in Eindhoven (bron: Open Architecture Office, VO-02-16-11-2023)



Figuur 8: Dwarsdoorsnede B-B (boven) en lengteprofiel C-C (onder) van de wadi voor de berging en infiltratie van hemelwater op de locatie Kalverstraat 72 in Eindhoven (bron: Open Architecture Office, VO-02-16-11-2023)



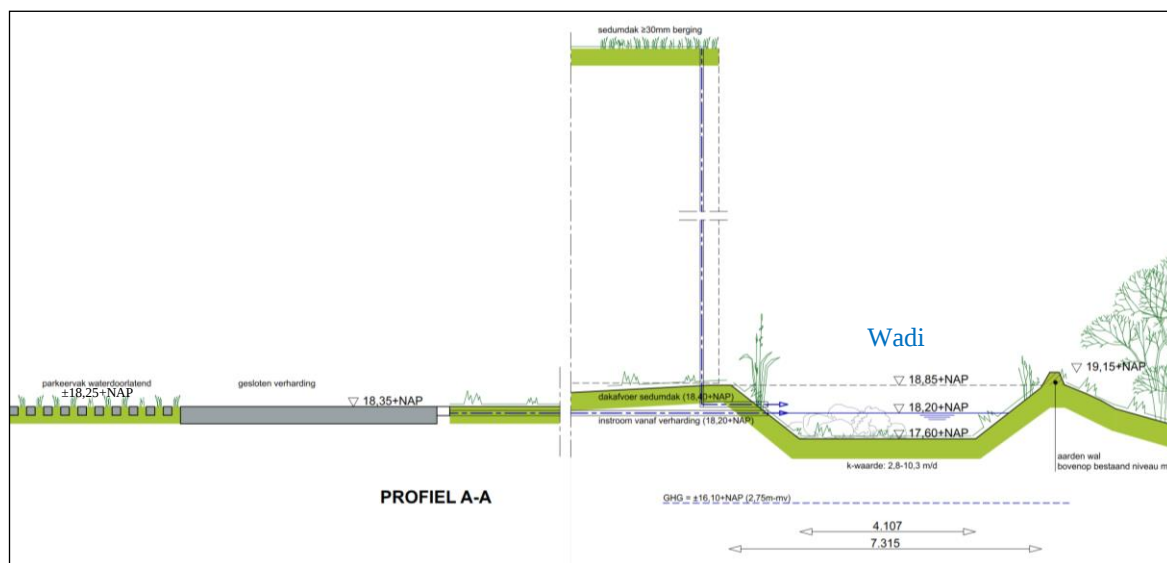
De wadi (figuur 7 en 8) kan om 3 redenen zonder vertraagde leegloopvoorziening naar het gemeentelijk rioolstelsel of een aangrenzende spoorgreppel worden aangelegd omdat 1) de bergings- en infiltratiecapaciteit van de wadi veel groter is dan de benodigde waterbergingsopgave van 10 m³ die volgt uit de rekentool, 2) de bodem zeer goed water doorlatend is waardoor de bergingscapaciteit in de praktijk verder vergroot wordt en 3) in zeer bijzondere omstandigheden, als de wadi volledig gevuld is, uitstroom naar de wadi-omringende groenstrook kan plaatsvinden zonder dat overlast op eigen terrein of de omgeving plaatsvindt. Om in dat geval afstroming over het talud naar de lageregelegen Insulindelaan (figuur 7) te voorkomen, wordt op voorstel van de gemeente Eindhoven een aarden walletje aangelegd met een hoogte van circa 0,3 m, wat overeenkomt met 19,15 m +NAP. Dit walletje is weergegeven in figuur 8 (profiel B-B) en kan aangelegd worden met de grond die vrijkomt bij de graven van de wadi.

3.2.2 AANVULLENDE DIMENSIONERING

De bodem van de wadi (17,60 m +NAP) heeft een oppervlakte van afgerond 23 m² en op het instroompeil van de gesloten klinkerverharding (18,20 m +NAP) een oppervlak van circa 46 m². Hieruit volgt een bergend volume⁵ van circa 20 m³. Bij een minimale k-waarde van 1 m/d (gemeten werden hogere k-waarden: 2,8-10,3 m/d) zal gedurende een regenbui van 49 mm die in 2 uur⁶ valt circa 4 m³ kunnen infiltreren⁷. De effectieve bergingscapaciteit tot een peil van 18,20 m +NAP bedraagt daarmee circa 24 m³. Wanneer deze hoeveelheid neerslag verspreid over 24 uur valt, wordt de infiltratiecapaciteit⁸ vergroot tot circa 46 m³.

De wadi (figuur 7) zonder overloopvoorziening kan echter volstromen met hemelwater tot aan het maaiveldpeil dat een hoogte heeft van gemiddeld 18,85 m +NAP (figuur 8). Bij dit peil bedraagt het maximale bergingsvolume zonder infiltratie⁹ circa 62 m³.

Figuur 9: Schematische weergave functioneren hemelwatersysteem Kalverstraat 72 in Eindhoven aan de hand van dwarsprofiel A-A (bron: Open Architecture Office, VO-02-16-11-2023)



⁵ Door Open Architecture Office op 16-11-2023 met een 3D-model berekend (zie tabel in figuur 7).

⁶ STOWA en KNMI (De Bilt) met een herhalingsijd van 1x per 50 jaar (T=50).

⁷ 46 m² (infiltrerend oppervlak) * 1 m/d (minimale k-waarde) * 2/24 uur (duur piekbui).

⁸ 46 m² (infiltrerend oppervlak) * 1 m/d (minimale k-waarde) * 24/24 uur (duur piekbui).

⁹ Door Open Architecture Office op 16-11-2023 met een 3D-model berekend (zie tabel figuur 7).

Wanneer bij dit maximale bergingsvolume ook nog de infiltratie opgeteld wordt, die plaatsvindt tijdens een 2 uur durende piekbui waarbij 49 mm neerslag valt¹⁰ of langdurige neerslag gedurende 24 uur, dan bedraagt de effectieve bergingscapaciteit bij maximale vulling van de wadi respectievelijk 68 m^3 ($62 \text{ m}^3 + 6 \text{ m}^3$)¹¹ en 138 m^3 ($62 \text{ m}^3 + 76 \text{ m}^3$)¹². Uit deze berekeningen, die uitgaan van de aan te leggen wadi-omvang zoals in figuur 7 en 8 weergegeven en van een conservatieve k-waarde van 1 m/d, volgt dat in alle gevallen ruimschoots voldaan wordt aan de benodigde bergingsopgave van 10 m^3 . En dat een vertraagde leegloopvoorziening naar het gemeentelijk rioolstelsel niet noodzakelijk is. De wadi is ruimschoots overgedimensioneerd en omdat de bodem goed waterdoorlatend is, is de wadi altijd binnen 6 uur (half gevuld) tot 24 uur (nagenoeg volledig gevuld) beschikbaar voor de volgende bui en zeer incidenteel als de wadi volledig tot aan het maaiveld gevuld is, na 30 uur.

3.2.3 FUNCTIONEREN (VOLGORDELIJK)

Tot een neerslaghoeveelheid van 30 mm komt het sedumdak niet tot afstroming. Vanaf de gesloten klinkerverharding (480 m^2) komt in dit geval $14,4 \text{ m}^3$ water tot afstroming naar de wadi. Deze hoeveelheid (en meer) kan volledig geborgen worden tussen het instroompeil en de bodem van de wadi (figuur 9) omdat de bergings- en infiltratiecapaciteit circa 24 m^3 bedraagt (zie paragraaf 3.2.2). Wanneer meer neerslag valt, komt ook het sedumdak vertraagd tot afstroming en kan het waterpeil in de wadi uiteindelijk stijgen tot boven het instroompeil ($18,20 \text{ m} + \text{NAP}$) van de klinkerverharding.

Om te voorkomen dat in dergelijke gevallen het dakwater via de wadi afstroomt naar de klinkerverharding is het nodig om de 2 instroomvoorzieningen afkomstig van deze erfverharding van een terugslagklep te voorzien. Wanneer de terugslagklep zich sluit, kan de wadi zich tot aan het maaiveldpeil vullen met water afkomstig van het vegetatiedak (het sedumdak ligt immers veel hoger), maar kan op de klinkerverharding tijdelijk een laagje water komen te staan. Op basis van de beschikbare metingen, omvang van de wadi en uitgevoerde (bui)berekeningen kan deze situatie zich eens circa eens per 50 jaar ($T=50$) voordoen. Door een deel van de parkeerplaats met verlaagd aangelegde doorlatende bestrating en de aangrenzende groenstroken met nieuwe bomen verlaagd aan te leggen (zie paragraaf 3.4.2) en omdat de werkelijke infiltratiecapaciteit van de wadi hoger is dan de conservatief gehanteerde 1 m/d (zie figuur 9), zal deze situatie zich in de praktijk zelden of nooit voordoen.

¹⁰ STOWA en KNMI (De Bilt) met een herhalingsstijd van 1x per 50 jaar ($T=50$).

¹¹ 62 m^3 berging + $[76 \text{ m}^2 \text{ (infiltrerend oppervlak)} * 1 \text{ m/d (minimale k-waarde)} * 2/24 \text{ uur (duur piekbui)}]$

¹² 62 m^3 berging + $[76 \text{ m}^2 \text{ (infiltrerend oppervlak)} * 1 \text{ m/d (minimale k-waarde)} * 24/24 \text{ uur (duur piekbui)}]$

3.3 Extra bomen (10 stuks)

Om het plan groener te maken en daarmee tegelijkertijd de infiltratie van hemelwater in de bodem te vergroten, worden 10 nieuwe bomen geplant, waarvan 6 in de verlaagd aangelegde groenstroken tussen de eveneens lagergelegen waterdoorlatende parkeerplaatsen. Voor elk van deze bomen wordt een plantgat met grondverbetering ter grootte van 6 m³ gerealiseerd. Hierin is niet alleen ruimte voor wortelgroei, maar ook voor de infiltratie van hemelwater. De optimale samenstelling van deze boomaarde wordt voorafgaand aan de realisatie van het plan door een deskundig hovenier uitgewerkt.

3.4 Terreinverharding (750 m²)

In de toekomstige situatie (figuur 4) bestaat de terreinverharding uit 480 m² gesloten klinkerverharding (paragraaf 3.4.1) en 270 m² verlaagd aangelegde parkeervakken met waterdoorlatende bestrating geflankeerd door groenstroken met nieuwe bomen (paragraaf 3.4.2).

3.4.1 GESLOTEN KLINKERVERHARDING

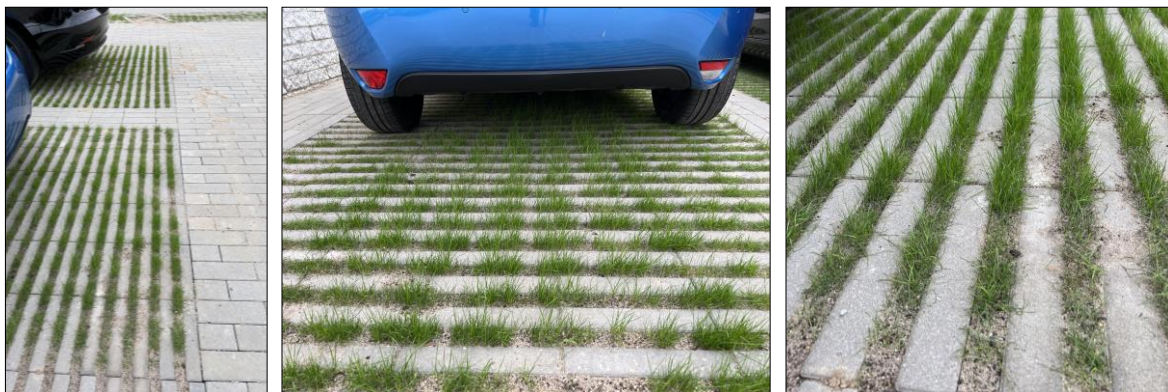
De gesloten klinkerverharding rondom de waterdoorlatende parkeerplaatsen heeft een oppervlakte van 480 m² en watert rechtstreeks naar de wadi af. Deze afwatering vindt oppervlakkig plaats door het toepassen van afschot bij de aanleg van de bestrating al dan niet in combinatie met het gebruik van (lijn)goten tot aan de rand(en) van de klinkerverharding. Daar stroomt het water in straatkolken die het water via ondergrondse hemelwaterleidingen naar de wadi afvoeren. Beide afvoerleidingen worden voorzien van een terugslagklep. Het afwateringsprincipe van de klinkerverharding is schematisch weergegeven in figuur 4. In een later stadium wordt dit principe door de aannemer in detail uitgewerkt.

3.4.2 WATERDOORLATENDE VERHARDING PARKEREN

In het plan wordt 270 m² parkeerplaats voorzien van waterdoorlatende bestrating. Ter plaatse van deze parkeervoorzieningen worden eveneens 3 groenstroken met 6 nieuwe bomen aangelegd (zie paragraaf 3.3). Ter plaatse van de waterdoorlatende bestrating en de groenstroken infiltreert het hemelwater via een cunet met goed doorlatende drainagezand en via het bomenzand in de plantgaten naar de oorspronkelijke bodem die eveneens goed waterdoorlatend is. Daarom vindt vanaf dit oppervlak geen afvoer naar de wadi plaats. Om een goede infiltratie van de parkeerplaatsen ook op langere termijn te waarborgen, wordt onder de halfopen betonelementen een onderlaag (cunet) met drainagezand aangebracht. Bij een laagdikte van circa 0,40 meter kan voldoende hemelwater opgevangen worden. Dit komt overeen met het type waterdoorlatende bestrating dat op locatie al toegepast wordt en goed functioneert (figuur 9).



Figuur 9: Bestaande en goed werkende waterdoorlatende parkeerplaatsen Kalverstraat 72 in Eindhoven.



Wanneer de waterdoorlatende parkeerplaatsen en de groenstroken met nieuwe bomen circa 10 cm verlaagd worden aangelegd, dan kan op deze deellocatie circa 27 m³ extra water geborgen en geïnfiltreerd worden. Dit voorkomt tijdelijke wateroverlast ter plaatse van de klinkerverharding gedurende zeer uitzonderlijke neerslagsituaties¹³.

4. Bodemverontreiniging

Ter plaatse van de ontwikkellocatie zijn in de bovengrond licht verhoogde gehalten aan kwik en PAK aangetoond. De ondergrond is licht verontreinigd met PAK en PCB's. Deze bodemvreemde stoffen houden waarschijnlijk verband met het sporadisch voorkomen van puin in de grond (bron: rapportage Inpijn-Blokpoel Milieu B.V. d.d. 31 maart 2016). In het grondwater komen marginale verhogingen aan benzeen en naftaleen voor. Aangezien de geconstateerde bodemverontreinigingen zeer gering zijn, met het graven van de wadi eventueel aanwezige puinresten verwijderd worden en infiltratie van hemelwater in de huidige situatie ook al plaatsvindt, vormt de aanleg van de voorgestelde wadi naar verwachting geen belemmering voor de bestaande milieukundige situatie.

Wel wordt in het milieukundig bodemonderzoek opgemerkt dat “bij afvoer van de grond, afhankelijk van de bestemming en toepassing, om een partijkeuring conform het protocol uit het Besluit bodemkwaliteit kan worden gevraagd”.

¹³ Als vanaf de klinkerverharding tijdelijk geen water meer naar de wadi kan afstromen, omdat het maximale peil van 18,20 m +NAP (figuur 9) bereikt is. Deze situatie doet zich naar verwachting minder dan 1x per 50 jaar voor.

Conclusies en aanbevelingen

Wanneer ter plaatse van de ontwikkellocatie Kalverstraat 72 in Eindhoven worden aangelegd:

1. een sedumdak met een opvangcapaciteit voor tenminste 30 mm neerslag en
2. een wadi zonder vertraagde leegloopvoorziening met een gezamenlijke bergings- en infiltratiecapaciteit van minimaal 24 m³ en
3. verlaagd aangelegde doorlatende parkeervakken met groenstroken en
4. in totaal 10 nieuwe bomen (waarvan 6 ter plaatse van de parkeervoorzieningen),

dan wordt ruimschoots aan de wateropgave voldaan, zoals die met de Rekentool Klimaatopgave van de gemeente Eindhoven (versie 2.3) is berekend en 10 m³ bedraagt. Het opgestelde ontwerp is praktisch uitvoerbaar en leidt niet tot wateroverlast op eigen terrein of in de directe omgeving. In dit plan zijn tevens de suggesties van de gemeente Eindhoven en van Waterschap De Dommel verwerkt. Tenslotte is bij de planuitwerking rekening gehouden met het uitgevoerde infiltratieonderzoek waaruit een goede waterdoorlatendheid in verticale en in horizontale richting blijkt en diepe grondwaterstanden.

Het in figuur 4 gepresenteerde bergings- en infiltratieplan voor deze locatie betreft een systeemschets waaruit blijkt, dat aan alle gestelde eisen en wensen voldaan kan worden. Door de aannemer kan vervolgens de nadere detaillering worden uitgewerkt ten aanzien van het aantal en de situering van (lijn)goten en straatkolken of het aantal regenpijpen voor de afvoer van hemelwater van het sedumdak. Omdat het voorliggende plan ruimschoots overgedimensioneerd is, vormen eventuele kleine aanpassingen niet direct een belemmering voor het realiseren van de berekende bergingsopgave.

Drie ontwerpaspecten zijn van belang voor het slagen van het ontwerp:

- ten eerste het sedumdak. Aanbevolen wordt om een expert op dit gebied een dak-ontwerp te laten uitwerken met tenminste 30 mm berging en dit ook aan de gemeente Eindhoven voor te leggen;
- ten tweede het bestratingsplan. De meest praktische wijze van hemelwaterafvoer van de klinkerverharding kan in een bestratingsplan nader uitgewerkt worden en
- ten derde het onderhoud. Voor het functioneren van het gehele systeem is het noodzakelijk om voldoende regelmatig onderhoud uit te voeren ter plaatse van de kolken en/of lijngoten, de wadi, het sedumdak en de waterdoorlatende parkeerplaatsen.

Tenslotte wordt aanbevolen om deze geactualiseerde rapportage waarin diverse suggesties van de opdrachtgever en het bevoegd gezag zijn verwerkt ter goedkeuring aan de gemeente Eindhoven en Waterschap De Dommel voor te leggen.

Mocht u naar aanleiding van het uitgevoerde infiltratieonderzoek en het opgestelde waterplan nog vragen of opmerkingen hebben, dan verneem ik die graag.

Met vriendelijke groeten



Landslide milieu-adviesbureau

Bijlage A Rekentool Klimaatopgave gemeente Eindhoven (27 oktober 2023)

Bijlage B Boorprofielen

Bijlage C Dubbele-ring-infiltratiemetingen

Bijlage D Omgekeerde putproeven



Bijlage A

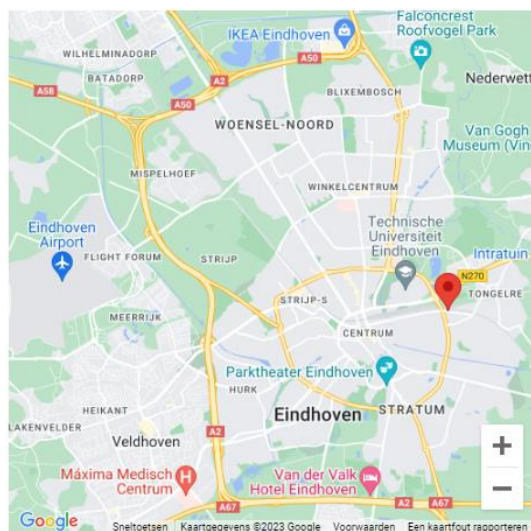
Rekentool Klimaatopgave gemeente Eindhoven (27 oktober 2023)
(tevens als pdf-bestand aangeleverd)



1 KERNGEGEVENS VAN HET PROJECT

① WAAR VINDT DE ONTWIKKELING PLAATS?

Geef in de kaart aan waar de ontwikkeling plaatsvindt door zo nauwkeurig mogelijk in het hart van het plangebied te klikken. Zoom daarvoor een aantal malen in door op '+' te klikken en schuif de kaart door deze te verschuiven met de muis ingedrukt, net zolang tot het plangebied duidelijk te herkennen is.



De ontwikkeling vindt plaats in een groenarme buurt van Eindhoven.

① WAT IS HET OPPERVLAKE VAN HET PLANGEBIED?

1595 m²

① IS ER BINNEN HET PLANGEBIED EEN GEDEELTE WAARVAN DE INRICHTING OF BEBOUWING ONGEWIJZIGD BLIJFT?

ja nee

① IS EEN DEEL VAN HET PLANGEBIED NA OPLEVERING GEMEENTELIJK OPENBAAR TERREIN?

ja nee

① IS HET BOUWWERK 30 M HOOG OF HOGER?

ja nee

① MAAKT DE ONTWIKKELING EEN (VERDIEPTE) KELDER?

ja nee

Kerngegevens van het project

Locatie (hart van het plangebied)	51.4447,5.5033
Oppervlak plangebied	1595 m²
Is er binnen het plangebied een gedeelte waarvan de inrichting of bebouwing ongewijzigd blijft?	ja
Is een deel van het plangebied na oplevering gemeentelijk openbaar terrein?	nee
Is het bouwwerk 30 m hoog of hoger?	nee
Maakt de ontwikkeling een (verdiepte) kelder?	nee
De ontwikkeling vindt plaats in een groenarme buurt van Eindhoven.	

Maatregelen

Grote tuinen bij woningen en/of (bedrijfs)panden	-
Kleine tuinen bij woningen en/of (bedrijfs)panden	-
Traditioneel dak	20 m²
Groen dak (≥ 60 mm waterberging per m²)	-
Groen dak (≥ 45 mm waterberging per m²)	-
Groen dak (≥ 30 mm waterberging per m²)	530 m²
Groen dak (< 30 mm waterberging per m²)	-
Waterdak	-
Nieuw (particulier) groen	-
Ongewijzigd bestaand groen	290 m²
Water met bergende functie	-
Gesloten- of elementenverharding	480 m²
Halfverharding of open bestrating	275 m²
Ongewijzigd bestaand dak/bestration	-
Geveloppervlak boven 30 m gezien vanuit het zuidwesten	-
Bovenstaande invulling van het plan resulteert in een (nog) te realiseren waterbergingsopgave van 19,1 m³	

Extra maatregelen

Extra substraatberging nieuw groen dak	-
Extra waterberging op maaiveld (wadi/sloot/verlaagd groen, geen parkeerterrein)	10 m³
Extra waterberging in ondergrondse voorzieningen met leegloop op het gemeentelijk riool	-
Nieuwe boom (min. 6 m³ ondergrondse groeiruimte per boom)	10 stuks
Faunavoorziening	-
Groene gevel	-
Regenton	0 stuks

Met de genomen extra maatregelen is de waterbergingsopgave tot -0,2 m³ teruggebracht en wordt aan de opgave voldaan.

Aangemaakt op 27-10-2023 / Rekentoolversie 2.3

[Deze planeigenschappen opnieuw invoeren in de rekentool](#)



Bijlage B

Boorprofielen





Boring 1

+0,10 - 0,00 straatklinker (10 cm)
0,00 - 0,15 m-mv grijs/beige matig grof cunet-zand
0,15 - 1,34 m-mv donkerbruin/zwart matig fijn zand (geroerd)
1,34 - m-mv boring gestaakt i.v.m. puinresten

Maaiveldhoogte: 18,45 m +NAP (bron: AHN-4)





Boring 2

0,00 - 0,28 m-mv	lichtbruin, matig fijn zand (perk/plantsoen)
0,28 - 0,39 m-mv	beige, matig fijn zand
0,39 - 0,93 m-mv	lichtbruin, matig fijn zand
0,93 - 1,01 m-mv	zwart, matig fijn zand met puinresten
1,01 - 2,56 m-mv	lichtbruin, matig fijn zand
2,56 - 2,70 m-mv	zwart, veen (veraard)
2,70 - 3,03 m-mv	donkerbruin, matig fijn zand
3,03 - 3,45 m-mv	donkerbruin/oranje, matig fijn zand
3,45 - 3,63 m-mv	beige, matig fijn tot fijn zand

Maaiveldhoogte: 18,85 m +NAP (bron: AHN-4)

Grondwaterstand op 5 oktober 2023: ± 4 m-mv (14,85 m +NAP)



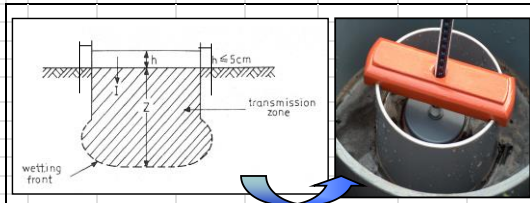
Bijlage C

Dubbele-ring-infiltratiemetingen



Berekenen van de verticale doorlatendheid (K_v) in de onverzadigde zone met behulp van de dubbele-ring-infiltrometer

Methode:



Uitvoering:

1. Ringen correct installeren (h maximaal 5 cm!)
2. Onverzadigde zone voldoende (voor)verzadigen
3. Infiltratiemeting per meettraject maximaal 3x uitvoeren
4. Meettabel invoeren en indien van toepassing gemiddelde berekenen

minuten cm	1 ^e serie	2 ^e serie	3 ^e serie
09:24	27,1		
09:37	23,0		
09:44	22,1		



3,6 m/d K_{sat} gemiddeld (berekend via I_{final})

Berekening:

1. K_{sat} berekenen volgens rekenmethode 1
2. Indicatieve foutmarge in rapportage vermeld

Rekenmethode 1 (Bron: Smedema en Reycroft, Londen, 1983)

Determination of the hydraulic conductivity 353

16.3.1 Infiltrometer-method

An infiltration measurement is carried out, using either a single or a double ring infiltrometer. Measurements can be made at the surface or at different depths below the soil surface (on 'steps' in a profile pit see figure 16.1). The infiltration rate (I) of water into the soil is governed by Darcy's Law:

$$I = K_s \frac{h+z-P}{z} \quad \dots \dots \text{(eq. 16.4)}$$

where: I = infiltration rate (m.day^{-1})
 K_s = hydraulic conductivity of the soil at moisture content θ (m.day^{-1})
 h = water depth on the soil surface (m)
 z = depth to the wetting front (m)
 P = soil water pressure at the wetting front, inside the transmission zone (m)

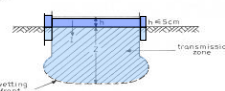


FIGURE 16.10 Single ring infiltration measurement

The moisture content in the transmission zone becomes virtually saturated so that $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ and $P \rightarrow 0$ (this applies to most medium/heavy textured soils, but not for coarse textured soils). When $\theta \rightarrow \theta_{sat}$, also $K_s \rightarrow K_{sat}$. After prolonged infiltration, z becomes relatively large compared to $(h-P)$ so that the hydraulic gradient approaches unity ($\frac{h+z-P}{z} \rightarrow 1$).

$$\text{So: } I_{final} = K_s \frac{h+z-P}{z} \sim K_{sat}$$

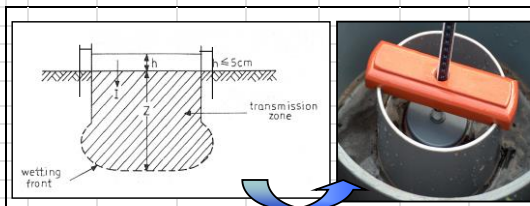
Evaluation

- (a) This method measures K_s (vertical hydraulic conductivity).
- (b) The method is simple but is not very accurate due to:
 - I_{final} only approximates K_{sat} (see above)
 - soil variability (small volume of soil involved; at least 3 replicates should be made to arrive at a reasonably reliable value)
 - disturbance of soil when driving the infiltrometer ring into the soil.

Datum: 5 oktober 2023
 Locatie: Kalverstraat 72 Eindhoven
 Meetpuntnummer: RM1
 Projectnummer: 2023-09-002
 Meetdiepte: 0,90 m-mv

Berekenen van de verticale doorlatendheid (K_v) in de onverzadigde zone met behulp van de dubbele-ring-infiltrometer

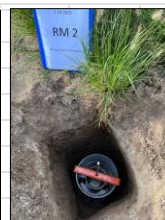
Methode:



Uitvoering:

1. Ringen correct installeren (h maximaal 5 cm!)
2. Onverzadigde zone voldoende (voor)verzadigen
3. Infiltratiemeting per meettraject maximaal 3x uitvoeren
4. Meettabel invoeren en indien van toepassing gemiddelde berekenen

minuten cm	1 ^e serie	2 ^e serie	3 ^e serie
13:55	30,2		
10:01	29,1		
10:08	27,3		
10:18	25,0		
10:30	23,3		



2,8 m/d K_{sat} gemiddeld (berekend via I_{final})

Berekening:

1. K_{sat} berekenen volgens rekenmethode 1
2. Indicatieve foutmarge in rapportage vermeld

Rekenmethode 1 (Bron: Smedema en Reycroft, Londen, 1983)

Determination of the hydraulic conductivity 353

16.3.1 Infiltrometer-method

An infiltration measurement is carried out, using either a single or a double ring infiltrometer. Measurements can be made at the surface or at different depths below the soil surface (on 'steps' in a profile pit see figure 16.1). The infiltration rate (I) of water into the soil is governed by Darcy's Law:

$$I = K_s \frac{h+z-P}{z} \quad \dots \dots \text{(eq. 16.4)}$$

where: I = infiltration rate (m.day^{-1})
 K_s = hydraulic conductivity of the soil at moisture content θ (m.day^{-1})
 h = water depth on the soil surface (m)
 z = depth to the wetting front (m)
 P = soil water pressure at the wetting front, inside the transmission zone (m)

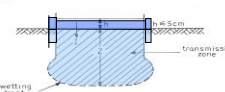


FIGURE 16.10 Single ring infiltration measurement

The moisture content in the transmission zone becomes virtually saturated so that $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ and $P \rightarrow 0$ (this applies to most medium/heavy textured soils, but not for coarse textured soils). When $\theta \rightarrow \theta_{sat}$, also $K_s \rightarrow K_{sat}$. After prolonged infiltration, z becomes relatively large compared to $(h-P)$ so that the hydraulic gradient approaches unity ($\frac{h+z-P}{z} \rightarrow 1$).

$$\text{So: } I_{final} = K_s \frac{h+z-P}{z} \sim K_{sat}$$

Evaluation

- (a) This method measures K_s (vertical hydraulic conductivity).
- (b) The method is simple but is not very accurate due to:
 - I_{final} only approximates K_{sat} (see above)
 - soil variability (small volume of soil involved; at least 3 replicates should be made to arrive at a reasonably reliable value)
 - disturbance of soil when driving the infiltrometer ring into the soil.

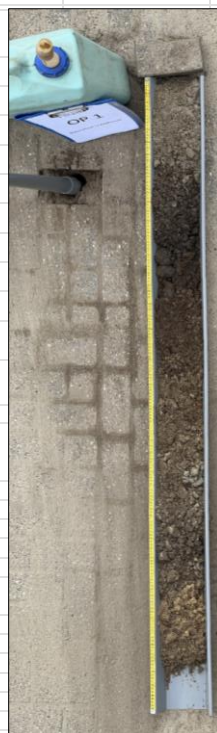
Datum: 5 oktober 2023
 Locatie: Kalverstraat 72 Eindhoven
 Meetpuntnummer: RM2
 Projectnummer: 2023-09-002
 Meetdiepte: 0,95 m-mv

Bijlage D

Omgekeerde putproeven



ALGEMEEN			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Kalverstraat 72 Eindhoven		
Uitvoerder(s) veldwerk:	[REDACTED]		
Projectleider:	[REDACTED]		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 5 oktober 2023		
Meetpuntnummer:	OP1		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	[REDACTED] (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	zondag 17 september 2023		
Projectnummer:	2023-09-002		
MATEN MEETOPSTELLING			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	2.44	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	0.69	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.75	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemlaag:	0.96-1.75	[m-wadibodem]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	4	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5-10	[liter]	
MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)			
Tijd (t) (seconden)	stijghoogte minus meetpunt (m-mp)	stijghoogte minus maaiveld (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	1.58	0.89	0.86
8	1.65	0.96	0.79
23	1.75	1.06	0.69
33	1.80	1.11	0.64
62	1.90	1.21	0.54
108	2.00	1.31	0.44
168	2.10	1.41	0.34
279	2.20	1.51	0.24
438	2.30	1.61	0.14
HORizontale DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)			
$k = 1.15 \cdot r \cdot \frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \quad [\text{m/d}]$			
$K_h = 6,4 \text{ m/d}$ (meettraject: 8 tot 279 seconden & 0,79 tot 0,22 meter boven referentieniveau)			



ALGEMEEN			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Kalverstraat 72 Eindhoven		
Uitvoerder(s) veldwerk:	[REDACTED]		
Projectleider:	[REDACTED]		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 5 oktober 2023		
Meetpuntnummer:	OP2		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	[REDACTED] (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	zondag 17 september 2023		
Projectnummer:	2023-09-002		
MATEN MEETOPSTELLING			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	2.44	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	0.52	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.92	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemlaag:	1,08-1,92	[m-w adibodem]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	4	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5-10	[liter]	
MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)			
Tijd (t) (seconden)	stijghoogte minus meetpunt (m-mp)	stijghoogte minus maaiveld (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	1.45	0.93	0.99
10	1.60	1.08	0.84
18	1.70	1.18	0.74
27	1.80	1.28	0.64
43	1.90	1.38	0.54
69	2.00	1.48	0.44
112	2.10	1.58	0.34
187	2.20	1.68	0.24
269	2.30	1.78	0.14
HORIZONTALE DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)			
$k = 1.15 \cdot r \left(\frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \right) \quad [\text{m/d}]$			
K_h = 10,3 m/d (meettraject: 10 tot 187 seconden & 0,84 tot 0,24 meter boven referentieniveau)			



ALGEMEEN			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Kalverstraat 72 Eindhoven		
Uitvoerder(s) veldwerk:	[REDACTED]		
Projectleider:	[REDACTED]		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 5 oktober 2023		
Meetpuntnummer:	OP3		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	[REDACTED] (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	zondag 17 september 2023		
Projectnummer:	2023-09-002		
MATEN MEETOPSTELLING			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	1.70	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	0.20	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.50	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemlaag:	0.95-1.50	[m-wadibodem]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	4	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5-10	[liter]	
MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)			
Tijd (t) (seconden)	stijghoogte minus meetpunt (m-mp)	stijghoogte minus maaiveld (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	0.95	0.75	0.75
22	1.10	0.90	0.60
36	1.15	0.95	0.55
54	1.20	1.00	0.50
84	1.25	1.05	0.45
129	1.30	1.10	0.40
198	1.35	1.15	0.35
294	1.40	1.20	0.30
430	1.45	1.25	0.25
615	1.50	1.30	0.20
HORizontale DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)			
$k = 1.15 \cdot r \cdot \frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \quad [\text{m/d}]$			
K_n = 4,1 m/d (meettraject: 36 tot 198 seconden & 0,55 tot 0,35 meter boven referentieniveau)			

