

Funderingsadvies Permeoblokken[®]



1 Inleiding

Waterdoorlatende elementen zijn uitermate geschikt voor het bufferen en infiltreren of lokaal afvoeren van hemelwater. Oppervlakten aangelegd met waterdoorlatende lijnelementen*, die een goede structuuropbouw hebben kunnen volledig worden afgekoppeld van het referentieoppervlak. 'Afkoppelen' is het treffen van voorzieningen waarbij het relatief schone hemelwater en verontreinigd afvalwater worden gescheiden. Het hemelwater wordt dan afgevoerd via een infiltratievoorziening die het water laat bezinken in de bodem en naar het oppervlaktewater.

** Waterdoorlatende permeoblok-elementen worden niet enkel toegepast op plaatsen waar onmiddellijke infiltratie in de ondergrond mogelijk is, maar ook als buffersysteem. Als er geen infiltratie mogelijk is, wordt het water tijdelijk in de constructie opgeslagen en vertraagd naar een nabijgelegen infiltratiebekken (wadi) of sloot afgevoerd (transportfunctie).*

Als waterdoorlatende elementen worden vaak waterpassende bestratingen gebruikt, maar ook waterdoorlatende lijngoten als bovengronds toegepaste permeoblok als lijnelement kunnen voor het infiltreren, bergen en vertraagd afvoeren van hemelwater worden toegepast. Regenwater kan via de permeoblokken worden getransporteerd naar watergangen en wadi's, maar ook via de fundering en het zandbed wordt het water gebufferd en naar de ondergrond afgevoerd. Hierdoor worden enerzijds rioleringen ontlast. Anderzijds wordt tegelijk de steeds verder dalende grondwaterstand door infiltratie op peil gehouden. Aldus ontstaat een efficiënte, waterneutrale oplossing, die bovendien tegemoetkomt aan een toenemend milieubewustzijn en de grondwatersituatie verbeterd.

Een goed ontwerp en een goede uitvoering, rekening houdend met het aanwezige type ondergrond en bijbehorende infiltratiemogelijkheden is hierbij cruciaal. In dit funderingsadvies worden hand-reikingen gegeven voor het ontwerp met permeoblok waterdoorlatende lijnelementen in een wegconstructie. Bij het ontwerpen met permeoblokken zijn twee zaken van belang. Zo moet een langdurige aanwezigheid van water in de wegconstructie in verband met verweking worden vermeden en moeten de Permeoblokken op een goede wijze zijn gefundeerd om verzakken te voorkomen.

Voordelen van afkoppelen op een rijtje

- bij hevige regenval geen plassen op straat;
- met als gevolg minder onkruidgroei, en daardoor
- een rustiger straatbeeld;
- verbetering van het leefmilieu (grondwater, sloten, beken, rivieren);
- geen overbelasting van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

1.1 Werkingsprincipe waterdoorlatende Permeoblokken

Het werkingsprincipe van de waterdoorlatende elementen en waterinfiltratie is gebaseerd op de volgende elementen:

- Opnemen van water aan het oppervlak: dit gebeurt met Permeoblok elementen met een voldoende grote waterdoorlatendheid. De elementen brengen het water zo snel mogelijk naar de onderliggende lagen;
- Buffering van hemelwater: dit gebeurt bij voorkeur onder de verharding in de onderbouw (het zandbed). De fundering moet immers de nodige draagkracht hebben om het water enkel naar de ondergrond doorlaten. Het zandbed doet dienst als buffer, zeker als de grond weinig doorlatend is;
- Afvoer van hemelwater door infiltratie in de ondergrond. Belangrijk hierbij is dat de waterafvoer door middel van een knijpleiding voldoende wordt vertraagd om geen verweking te krijgen en buffering in de waterdoorlatende laag te laten plaatsvinden.'
- Transport van regenwater en afvoer naar een nabijgelegen infiltratiebekken of sloot. Voor deze vrije uitloop kan een PVC-leiding onder in de inspectieputten worden aangesloten.

Voor verhardingsconstructies met Permeoblokken gelden de gebruikelijke eisen ten aanzien van drooglegging. De drooglegging is het hoogteverschil tussen bovenkant van de weg en de grondwaterstand. De afstand van de ondergrond van de constructie tot het grondwaterpeil dient bij lagere orde wegen ten minste 60 cm te bedragen om te vermijden dat de onderbouw en de fundering continu verzadigd is.

Afhankelijk van de bodemgesteldheid (waterdoorlatendheid) en de grondwaterstand zijn verschillende oplossingen mogelijk. Onder waterdoorlatendheid van grond wordt de snelheid in m/sec of m/24 uur verstaan waarmee water in volledig verzadigde grond stroomt (wet van Darcy). In het geval van een ondoorlatende of weinig doorlatende grond kan water accumuleren en dient een knijpleiding met drainagebuizen (met een uitstroom met vertraagde afvoer) onderaan de onderfundering aangebracht te worden, bij zeer doorlatende gronden hoeven geen extra voorzieningen genomen te worden.

1.2 Toepassingsgebied

Permeoblokken kunnen in principe overal in de openbare ruimte toegepast worden, aangezien dezelfde eisen gesteld worden aan de onderbouw en wegconstructie incl. fundering betreffende de draagkracht. Het is evenwel zo dat ten tijde van zware regen de onderbouw verzadigd zal zijn wat een invloed op de draagkracht heeft. Om hiermee rekening te houden worden toch bijkomende beperkingen opgelegd, voornamelijk aan zwaar, intensief verkeer. Dit resulteert in de volgende toepassingsgebieden:

- Licht belaste wegen in woongebieden zoals buurtontsluitingswegen, wijkstraten, woonerf, parkeerterreinen voor personenauto's;
- Wegen in verblijfsgebieden: winkelerf, plein, voet- en fietspaden.

Vaak worden Permeoblok lijnelementen in een bestaande situatie toegepast. Hiertoe kan een ontwerper door het plaatsen van peilbuizen de drooglegging en door het uitvoeren van handboringen, de dikte van het zandbed en de soort ondergrond bepalen. Vervolgens kan op basis van de drooglegging en de waterdoorlatendheid van de bodem, worden bepaald of het Permeoblok zonder extra drainage-voorzieningen kan worden toegepast.

2 Minimale waterdoorlatendheid

De doorlatendheid van het geheel (verharding, fundering en eventueel onderfundering) dient ten minste gelijk te zijn aan $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. Dit komt overeen met een regenbui van 16 mm of omgerekend 270 l/s/ha, rekening houdend met een veiligheidsfactor 2. Een 10 minuten durende bui heeft statistisch gezien een terugkeerperiode van dertig jaar. Uitgaande van een drooglegging van ten minste 100 cm en een minimale waterdoorlatendheid van $5,4 \times 10^{-5}$ m/s kan worden bepaald of de Permeoblok-elementen zonder bijkomende maatregelen in een bestaande situatie kunnen worden ingepast. De waterdoorlatendheid van een Permeoblok is aanmerkelijk hoger (ca. factor 55) en bedraagt $1,5$ à $4,5 \times 10^{-3}$ m/s.

Maatregelen als drainagevoorzieningen kunnen nodig zijn wanneer de doorlatendheid lager is dan de kritische waarde van $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. Regen- of oppervlaktewater dringt de grond in (infiltrert) tot het een niet-doorlatende laag bereikt. De snelheid van infiltratie is o.a. afhankelijk van de waterdoorlatendheid van de grond. Boven de niet-doorlatende laag raakt de grond verzadigd.

Afhankelijk van het type van ondergrond zal onder in de constructie drainage moeten worden aangebracht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen sterk doorlatende bodem ($k > 10^{-4}$ m/s), voldoende doorlatende bodem (10^{-6} m/s $< k < 10^{-4}$ m/s) en niet-doorlatende bodem ($k < 10^{-6}$ m/s):

- in het eerste geval is geen drainage nodig. Water kan via het zandbed uitzakken naar de ondergrond. De waterdoorlatendheid voor 'zand voor zandbed' bedraagt 30 m/dag ($3,5 \times 10^{-4}$ m/s), zodat water te alle tijde kan worden verwerkt;
- in het tweede geval kan drainage worden toegepast ter hoogte van de onderzijde van de fundering. Deze drainage dient als overloop. Dit heeft het voordeel dat het meeste water nog in de bodem zal dringen. Bij zeer zware neerslag of aanhoudende regen zal de noodoverloop voorkomen dat het water te hoog in de structuur komt;
- bij een ondoorlatende bodem, of als het water onderin wordt opgevangen door een waterdicht membraan, moet men er zeker van zijn dat al water uit de constructie kan wegvloeien. Hiervoor moet onder in de constructie een drainagevoorziening worden aangebracht. Deze voorziening hoeft niet in de bodem te worden ingegraven, aangezien een open verharding zelf drainerend werkt en het water automatisch naar het laagste punt zal vloeien. Daar is het van belang dat het water via een knijpleiding verder wordt afgevoerd.

De infiltratiesnelheid of de doorlatendheid (kd - factor) van een bodem

De waterdoorlatendheid van de natuurlijke ondergrond kan aan de hand van de soort grond worden geschat:

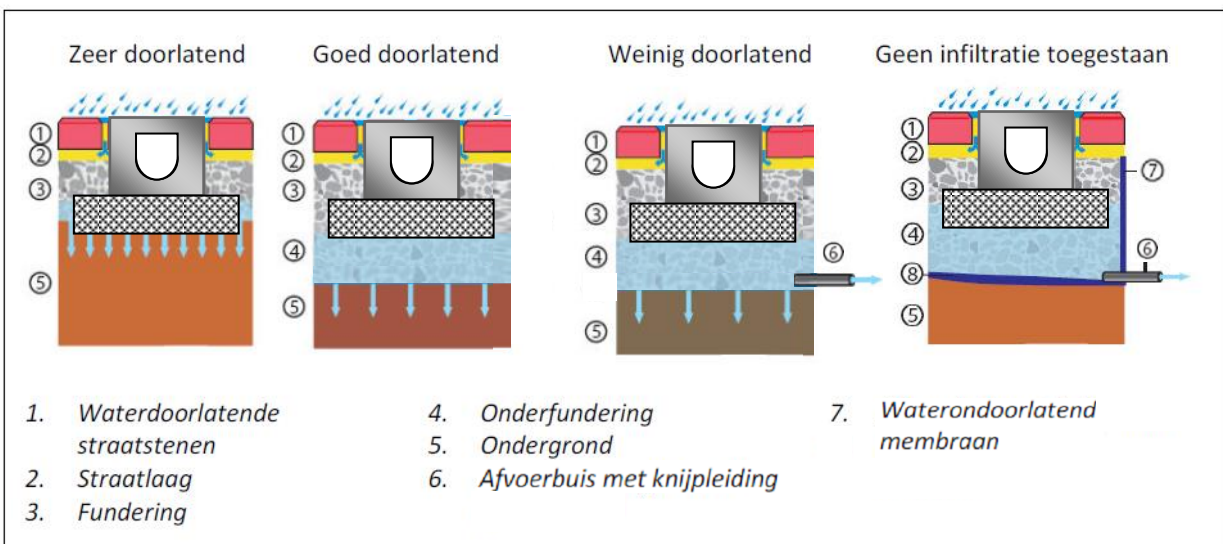
- zand/grind $10^{-3} - 10^{-5}$ m/s;
- lemig zand $10^{-4} - 10^{-7}$ m/s;
- zandig leem $10^{-5} - 10^{-8}$ m/s;
- leem $10^{-6} - 10^{-9}$ m/s;
- klei $10^{-9} - 10^{-11}$ m/s.

Meer nauwkeurig kan met veldmetingen de snelheid waarmee water in de bodem kan infiltreren worden bepaald. De verticale infiltratiesnelheid of de doorlatendheid (kd-factor) van een bodem kan op kwantitatieve wijze met een 'open-end test' worden bepaald. Bij deze methode wordt een waterkolom van 1 m op de grond aangebracht. Uit een continue meting van het aangevoerde water gedurende ten minste 20 minuten kan de doorlatendheid van de ondergrond worden bepaald.

Een eenvoudigere, maar minder nauwkeurige proef is de 'putmethode'. Hierbij wordt een put van 50 cm x 50 cm gegraven, ongeveer 50 cm diep. Op de vlakke bodem wordt een dunne laag steenslag aangebracht. Vervolgens wordt 5l water opgegoten en de tijd gemeten waarin dit water in de bodem verdwijnt. De proef wordt drie keer herhaald. De doorlatendheid is dan gelijk aan:

Waterdoorlatendheid [m/s] = Hoeveelheid water [l] / tijd [s] / oppervlakte van de put [m²] / 1000

Opgemerkt wordt dat regenwater dat na een hevige regenbui in de lijnelementen blijft staan, zal langzaam in de bodem filtreren. Bij een hevige regenbui, als de infiltratie- en bergingcapaciteit van de bodem en de blokken lager is dan het aanvoerdebiet, transporteert de Permeoblok-lijnafwatering het regenwater via een inspectieput naar een opvangbekken, Wadi of naar bijvoorbeeld een overstortriool.



Figuur 1 Plaatsing drainage naar gelang van het type ondergrond bij sterk doorlatende bodem ($kd > 10^{-4}$ m/s), voldoende doorlatende bodem (10^{-6} m/s $< kd < 10^{-4}$ m/s), weinig tot niet-doorlatende bodem ($kd < 10^{-6}$ m/s en geen infiltratie toegestaan (bijvoorbeeld waterwingebied).

Figuur 1 geeft aan waar de drainage dient aan te sluiten, afhankelijk van het type ondergrond. De grootte van de draineerbuis is afhankelijk van de hoeveelheid water die moet worden afgevoerd, en dus van de grootte van het oppervlak en de capaciteit van het opvangbekken. Het afvoerdebiet wordt bepaald door de toegestane lozing van hemelwater. De drainage zelf dient geen rekening te houden met buffering van hemelwater en kan bijgevolg in afmeting worden beperkt. Bij voorkeur wordt een knijpleiding aangebracht, zodat aan de vereisten kan worden voldaan.

3 Funderingsloof onder Permeoblok-elementen

Om problemen met verzakking van Permeoblok-elementen te voorkomen, moet deze worden gefundeerd opdat de belasting op het element voldoende wordt gespreid. Om de druk op het element goed te kunnen afbouwen wordt als lastspreidende laag een funderingsloof toegepast. Een Permeoblok element is 315 mm breed, 385 mm hoog en 750 mm lang (zie bijlage 1). Het eigengewicht bedraagt 152 kg.

Vervorming treedt op als onder de fundering op kleine schaal vervormingen optreden waardoor korrels zich gaan rangschikken. Als de korrelspanningen groter worden dan ca. 400 kPa, zal de 'zakking' door de dynamische herhalingen zich continue voortzetten. Door de toename van de korrelspanning als gevolg van de belasting door vrachtverkeer toe beperken tot maximaal 100 kPa zal verzakking niet snel optreden.

Als funderingsloof kan een (open) cementgebonden granulaatfundering worden toegepast of een korrelfundatie van betongranulaat 4/22. De waterdoorlatendheid van beide fundaties is bij voorkeur ten minste gelijk aan die van de Permeoblok-elementen. De bepaling van de afmetingen van de funderingsloof wordt aan de hand van een voorbeeldberekening uitgelegd.

3.1 Funderingsloof van cementgebonden granulaat

De berekening van de funderingsloof is een controleberekening waarbij als uitgangspunt een maximale drukverhoging onder de sloof van 100 kPa geldt. Uit de geotechniek is bekend dat bij deze grenswaarde van de korrelspanning geen extra zakking door dynamische belasting ontstaat. Naast de afmetingen van de sloof is ook de belasting van de maatgevende vrachtwagen van belang. De wettelijk maximale aslast van een aangedreven as bedraagt 115 kN. De rekenwaarde (UGT) van de wielbelasting bedraagt $1,5 \times 115/2 = 86,25$ kN. Overigens kunnen ook zwaardere assen dan de wettelijke optreden. De grootte zal door de ontwerper moeten worden ingeschat.

De afmetingen van deze sloof met doorlatende betonspecie, wordt met een constructieve berekening bepaald. In eerste instantie wordt de druk op de ondergrond zonder sloof berekend. Bij deze berekening wordt gesteld, dat het element zelf geen last spreidt. De optredende spanning onder het infiltratie-element bedraagt derhalve:

- $P_k = F_k / A = 57,50 / (0,315 \times 0,750) = 243 \text{ kN/m}^2 = 0,24 \text{ MPa}$
- $P_d = F_d / A = 86,25 / (0,315 \times 0,750) = 365 \text{ kN/m}^2 = 0,36 \text{ MPa}$ (365 kPa)

De drukspanning van 365 kPa is aanmerkelijk groter dan de toelaatbare 100 kPa zodat een funderingsloof met een breedte van $3,65 \times 0,315 = 1,15$ m nodig is. De overbreedte van de fundering is 0,42 m. Als funderingsdikte kan als minimale dikte 0,20 m worden toegepast.

De benodigde minimale druksterkte van het cementgebonden granulaat wordt bepaald door de oplegdruk van 0,36 MPa te delen door 0,7 zodat er geen slijtwapening nodig is.

- $f'_b = p_d / 0,7 = 0,36 / 0,7 = 0,52 \text{ MPa}$
- $f'_{ck} \geq 0,52 \times \gamma_m = 0,62 \text{ MPa}$

De druksterkte van het materiaal van de funderingsloof moet ten minste 0,62 MPa bedragen. Dit kan worden gerealiseerd door een cementgebonden materiaal sterkteklasse $C_{1,5/2,0}$ met een 28-daagse karakteristieke sterkte van ten minste 2,0 MPa toe te passen (NEN -EN 14227-1:2004). Dit funderingsmateriaal kan af betoncentrale worden besteld of worden vervaardigd door ca. 100 kg per

m³ cement toe te voegen aan een goed gegradeerd mengsel van cementgebonden granulaat 4/22. Een vooronderzoek zal nodig zijn om de hoeveelheid cement te bepalen.

3.2 Funderingssloof van betongranulaat 4/22

De tweede mogelijkheid bestaat uit een fundatie van betongranulaat 4/22. Ook deze fundering is door het weglaten van de zee fractie tot 4 mm waterdoorlatend. Voor het stellen van het blok kan een dunne stellaag van split 2/5 worden gebruikt.

Een fundering van betongranulaat 4/22 wordt niet gezien als een constructief element maar als een grondverbetering met als doel de belasting te spreiden en af te dragen naar de ondergrond. Dit houdt in dat niet met een veiligheidsfactor van 1,50 (UGT) maar met een veiligheidsfactor van 1,15 (BGT) wordt gerekend.

De minimale dikte van een funderingssloof van betongranulaat bedraagt praktisch 0,30 m. Aangenomen is dat de lastspreiding in dwars- resp. lengterichting 0,915 en 1,05 m bedraagt. De spanningstoename aan de onderzijde van de sloof bedraagt dan $P_d = F_k / A = 1,15 \times 57,50 / (0,915 \times 1,050) = 69 \text{ kN/m}^2 = 69 \text{ kPa}$ hetgeen toelaatbaar is.

3.3 Toepasbaarheid Permeoblokken

De grafiek in Figuur 2 geeft een snelle indicatie van de toepasbaarheid van Permeoblokken in verschillende situaties. In de grafiek is aangesloten op de bij De Hamer in gebruik zijnde methode voor het bepalen van minimale en maximale grensdekkingen per type buis¹.

Uitgangspunten:

Voldoende grote drooglegging, mede door aanwezigheid van 'zand voor zandbed'.

Als belasting is gekozen voor de verkeersklassen uit de VBB (NEN 6723) en de VOSB (NEN 1008):

- Klasse 30: één wagen met 3 assen van 100 kN + gelijkmatig verdeelde belasting van 2 kN/m²;
- Klasse 45: één wagen met 3 assen van 150 kN + gelijkmatig verdeelde belasting van 3 kN/m²;
- Klasse 60: één wagen met 3 assen van 200 kN + gelijkmatig verdeelde belasting van 4 kN/m².


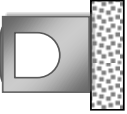
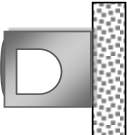
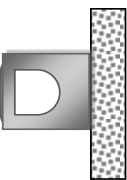

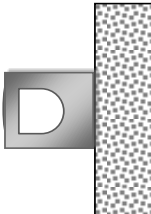
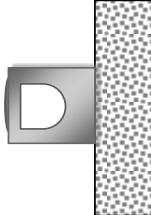
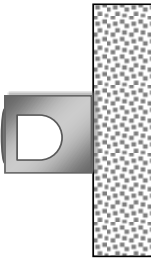
Voor de berekening van de fundering is het type grond minder van belang. Wel moet de weg voldoende draagkrachtig en drooggelegd zijn.

Voor een specifieke situatie/toepassing kan een berekening worden gemaakt.

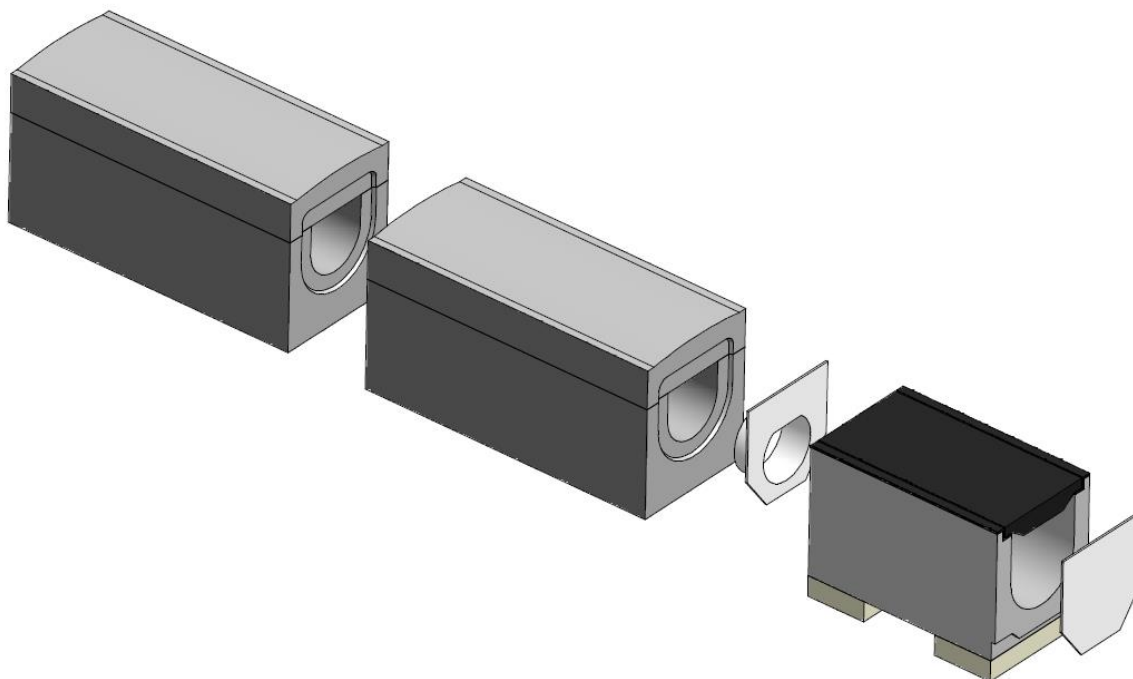
¹ In het document Gronddekkingen gaat Betonindustrie De Hamer conform CUR-rapport 122 uit van drie grondsoorten:

- Grondsoort 1: niet of weinig samenhangende grond.
Bijvoorbeeld zand, grind, zand/grindmengsels, klei- of silthoudend zand en grind (10 gew% < 63 µm);
- Grondsoort 2: samenhangende grond.
Bijvoorbeeld mengsels van zand, klei en silt met 50 gew% < 63 µm;
- Grondsoort 3: samenhangende grond: silt of klei met organische verbinding

Figuur 2 Indicatie fundering voor toepassing van Permeoblokken onder gestelde voorwaarden en uitgangspunten

Uitgangspunten:	geen verkeersklasse	Verkeersklasse 30	Verkeersklasse 45	Verkeersklasse 60
Belasting Veiligheidsfactor UGT Veiligheidsfactor BGT Afmetingen blok Oppervlak	- - - - -	100 kN 1,50 1,15 0,315 x 0,750 m ² 0,24 m ²	150 kN 1,50 1,15 0,315 x 0,750 m ² 0,24 m ²	200 kN 1,50 1,15 0,315 x 0,750 m ² 0,24 m ²
Cementgebonden granulaat Sterkteklasse Cx/y = Afmetingen sloof b = d =		1,5/2,0 415 mm 200 mm 	1,5/2,0 465 mm 200 mm 	1,5/2,0 515 mm 200 mm 
Betongranulaat 4/22 met stallaag 2/5 Afmetingen sloof b = d =		615 mm 300 mm 	615 mm 300 mm 	750 mm 300 mm 

Bijlage 1 Principeschets Permeoblok 2.0 met inspectieput



- Optie 1 : Sluitplaat
- Optie 2 : Inlaat Hamin $\varnothing 160$
- Optie 3 : Inloop $\varnothing 160$
- Optie 4 : $\frac{1}{2}$ tegel

