

1 Berekeningsmethode

1.1 Achtergronden berekening ontgronding volgens NEN 3651

De wijze van berekenen van de afmetingen van een maximale ontgrondingskuil bij een breuk of lekkage van een drinkwaterleiding wordt beschreven in NEN 3651 [2, 5]. In deze nationale norm (die in het Drinkwaterbesluit [4] wordt genoemd) is een vereenvoudigde berekeningswijze opgenomen. In een evaluatie daarvan adviseert Mastbergen [1] om een meer nauwkeurige berekening met de bestaande formule van het Waterloopkundig Laboratorium [3] te hanteren, als gegevens over de volumestroom (Q) en drukhoogte (h) in de leiding ter plaatse van het gat bekend zijn. Deze formule is weergegeven in § 1.1.1.

In de paragrafen 1.1.2 en 1.1.3 worden twee factoren in deze formule verder uitgewerkt om te komen tot de vier formules in § 1.1.4. De te berekenen 'ontgrondingsstraal' (R_B) is daarmee uitsluitend nog een functie van Q en h .

1.1.1 Formule berekeningsmethode NEN 3651

Voor het berekenen van de afmetingen van een ontgrondingskuil bij een breuk of lekkage van een drinkwaterleiding wordt de rekenmethode NEN 3651 [2, 5] gebruikt, zoals is aanbevolen door Mastbergen [1]. Onder de uitgangspunten van een rond gat in de leiding en een fijnkorrelige waterverzadigde bodem wordt de volgende formule in de drie literatuurreferenties gehanteerd:

$$R_B = 7,8 d_g \left(\frac{Qh}{g^{1/2} \mu d_g^{7/2}} \right)^{0,243} \quad (1)$$

waarbij:

R_B	Straal van ontgrondingskuil	(m)
Q	Volumestroom van het lek	(m ³ /s)
h	Drukhoogte in de leiding ter plaatse van het lek	(mwk)
d_g	Diameter van het gat in de leiding	(m)
g	Versnelling zwaartekracht	(m/s ²)
μ	Afvoercoëfficiënt gat	(-)

1.1.2 Afvoercoëfficiënt afhankelijk van h

In formule (1) kan de afvoercoëfficiënt μ volgens Mastbergen [1] worden benaderd met de volgende formules.

Voor het traject $0 < h \leq 50$ m geldt:

$$\mu = 0,0002h^2 - 0,02h + 1 \quad (2)$$

en voor $h > 50$ m:

$$\mu = 0,5 \quad (3)$$

1.1.3 Berekening van de diameter van het gat

De factor d_g , de diameter van het gat in formule (1) wordt via de volgende stappen beschreven als functie van Q , h en μ . Hierbij zijn de volgende parameters van belang:

v_{uit}	Snelheid van de lekstraal uit het gat	(m/s)
A_{str}	Oppervlakte van de uitkomende waterstraal uit het gat (netto oppervlakte)	(m ²)
A_g	Oppervlakte van het gat (bruto oppervlakte)	(m ²)

KWR

De snelheid van de straal uit het gat is een functie van h:

$$v_{uit} = (2gh)^{1/2} \quad (4)$$

De (netto) oppervlakte van de uitkomende waterstraal ter plaatse van het gat bedraagt:

$$A_{str} = Q / v_{uit} \quad (5)$$

De (bruto) oppervlakte van het gat is:

$$A_g = A_{str} / \mu \quad (6)$$

Uit formules (4), (5) en (6) volgt:

$$A_g = Q / \mu (2gh)^{1/2} \quad (7)$$

De diameter van een rond gat wordt berekend met:

$$d_g = (4A_g / \pi)^{1/2} \quad (8)$$

Uit formules (7) en (8) volgt de formule voor de diameter van het gat beschreven als functie van Q, h en μ :

$$d_g = \left(\frac{4Q}{\mu \pi (2gh)^{1/2}} \right)^{1/2} \quad (9)$$

1.1.4 Samenvatting formule berekeningsmethode NEN 3651

Uit de voorgaande formules blijkt dat met de hydraulische gegevens Q en h van een locatie een ontgrondingsstraal kan worden berekend. De volgende vier formules worden daarin gecombineerd:

$$R_B = 7,8 d_g \left(\frac{Qh}{g^{1/2} \mu d_g^{7/2}} \right)^{0,243} \quad (1)$$

Voor het traject $0 < h \leq 50$ m geldt:

$$\mu = 0,0002h^2 - 0,02h + 1 \quad (2)$$

en voor $h > 50$ m:

$$\mu = 0,5 \quad (3)$$

en verder:

$$d_g = \left(\frac{4Q}{\mu \pi (2gh)^{1/2}} \right)^{1/2} \quad (9)$$

waarbij:

R_B	Straal van ontgrondingskuil	(m)
Q	Volumestroom van het lek	(m ³ /s)
h	Drukhoogte in de leiding ter plaatse van het lek	(m _{wk})
d_g	Diameter van het gat in de leiding	(m)
g	Versnelling zwaartekracht	(m/s ²)
μ	Afvoercoëfficiënt gat	(-)

1.2 Maatgevende hydraulische gegevens Q en h

Omdat op voorhand niet bekend is bij welke Q/h -relatie op het lek de maximale ontgrondingsstraal optreedt, wordt de hydraulische berekening uitgevoerd voor een aantal verschillende waarden van de inwendige leidingdruk h ter plaatse van het lek, waarbij de verschillende volumestromen worden berekend.

1.3 Toepassingsgebied van de berekeningsmethode NEN 3651

In het rapport van Mastbergen [1] worden de navolgende kanttekeningen gemaakt.

- De toepassing van de uitgebreide formule uit NEN 3651 [2, 5] geeft in vergelijking met onderzochte praktijkgevallen een overschatting van de te verwachten kuilafmetingen bij leidingbreuk. De afgeleide formule berekent een **bovengrens met een veiligheidsmarge** van 1,6 en een overschrijdingskans van 5%.
- Bij de formules is uitgegaan van een **ronde ontgrondingskuil** waarbij de kuilbreedte en -lengte dus gelijk zijn. De kuilbreedte is de kuilafmeting vanuit het hart van de pijp dwars op de lengterichting van de pijp.
- De formules gaan uit van een constante volumestroom en drukhoogte gedurende een **zekere tijd**. Om verontreiniging van het drinkwater te voorkomen, wordt in het hydraulische systeem bij drinkwaterbedrijven bij drukdaling veroorzaakt door een grote lekkage, vaak getracht de druk te handhaven. Het pompstation zal op een bepaalde voorgeprogrammeerde manier reageren op een plotselinge toename van de uitgaande volumestroom; om de druk te handhaven, worden bijvoorbeeld extra pompen ingezet. Bij twee praktijkproeven met fijn zand blijkt dat een stationaire stromingssituatie zich meestal direct na het ontstaan van een gat in een leiding instelt. Ook de vorming van de ontgrondingskuil verloopt vervolgens vrij snel; de eindsituatie had zich al na **enkele minuten** ingesteld.
- In de afleiding van de formules is uitgegaan van een **rond gat**. Bij scheurvorming of afwijkende gatvormen wordt uitgegaan van een afgeleide rekenkundige diameter voor een rond gat. Verder is de locatie van het gat in de leiding van belang. Een klein gat aan de zijkant van de leiding is maatgevend voor de grootste kuilbreedte.
- De formules gelden in principe voor een **gronddekking tot maximaal 3 m**. Bij een grotere dekking zal geen ontgrondingskuil ontstaan, maar kan de grond door de vloeistofdruk inwendig bezwijken door plastische vervorming of scheurvorming.
- Indien bij een lekkage of breuk ondergronds water en zand kan worden afgevoerd, kan een gat ontstaan dat vervolgens kan instorten. Naast ontgrondingskuilen dient dus ook rekening te worden gehouden met **zinkgaten** bij bijvoorbeeld kelders, rioolbuizen, grotten en tunnels.
- De formules zijn afgeleid voor **fijn, waterverzadigd zand**. In sterk cohesieve grond, zoals klei, zijn de kuilafmetingen naar verwachting kleiner; het zelfde geldt ook voor grof zand, zand-klei-veenmengsels en steenslag. Bij de opzet van het modelonderzoeken ter onderbouwing van de formules is destijds bewust gekozen voor schoon fijn zand als meest erosiegevoelig materiaal. In slappe veengrond kunnen de kuilafmetingen echter groter zijn. Wanneer constructies zich in deze grondsoort in de buurt van een leiding bevinden, dient een extra marge te worden aangehouden.
- De formules zijn afgeleid voor een situatie met een **horizontaal maaiveld**. De snelheid van het uitstromende water komt volledig uit de verhoogde druk in de leiding. Kan de vrijkomende vloeistof echter langs een talud naar een lager gelegen niveau afstromen, dan kan daarmee veel meer grond worden afgevoerd.

1. Mastbergen, D.R. (2010): 'Ontgronding bij persleidingbreuk- of lek: evaluatie rekenmethode NEN 3651', Rapportkenmerk 1201743-000-ZKS-0002, Deltares, Utrecht
2. NEN 3651 (2003): 'Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken', Nederlands Normalisatie-instituut, juli 2003, Delft
Katern 1: Hoofdstuk 1 t.m. 7
Katern 3: Hoofdstuk 11, bijlagen A t.m. E en bibliografie
3. Mastbergen, D.R. (1991): 'Ontgronding bij persleidingbreuk, herinterpretatie M1007', rapport J640, Waterloopkundig Laboratorium, Delft
4. Staatsblad 2011: 'Drinkwaterbesluit' van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011
5. NEN 3651 (2012): 'Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken', Nederlands Normalisatie-instituut, juni 2012, Delft