

DoubletCalc

Hoe om te gaan met putten die de aquifer scheef doorboren

In de praktijk staat de injectie- en/of productieput vaak niet loodrecht op de aquifer. Deze zogenaamde “scheve putten” hebben effecten op:

- het verloop van de afstand tussen de putten in de aquifer
- de waterstroming naar en van de put

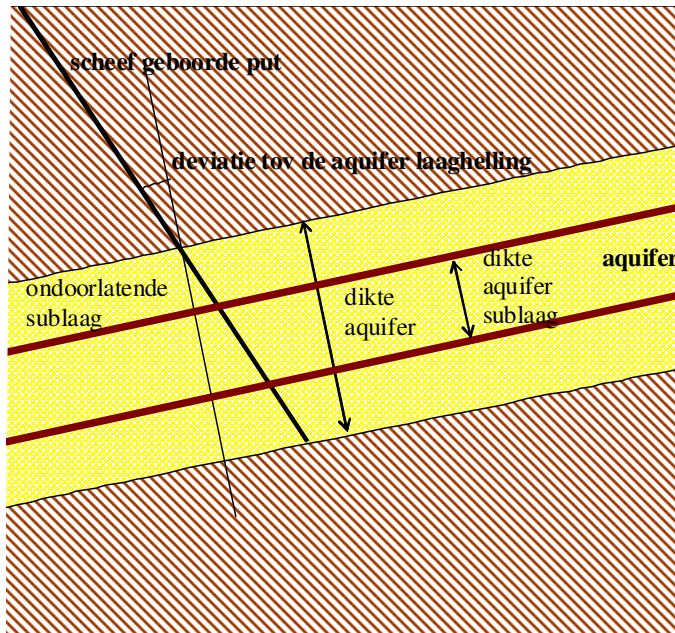
Deze twee effecten worden hieronder besproken.

Afstand tussen produktie- en injectieput

Een scheef geboorde put heeft tot gevolg dat de afstand tussen de produktie- en injectieput in de aquifer afhankelijk is van het traject van de geboorde put. Voor de onderlinge putafstand kan met het scheve karakter van de put rekening worden gehouden door de afstand te nemen tussen de putten op halve aquifer hoogte.

Effect op waterstroming

De scheve doorboring van de aquifer heeft ook gevolgen voor de stroming van het grondwater. Ten gevolge van de scheve doorboring van de aquifer zal in het algemeen de filterlengte groter zijn dan de aquiferhoogte. Dit effect kan in rekening worden gebracht door een extra skin in te voeren. Bij scheve doorboring zal de skin negatief zijn: de stroomsnelheid is dan groter dan bij een verticale put. In Choi et al (2008) en Rogers & Economides (1996) wordt een overzicht gegeven van de relatie tussen deze skin en de deviatiehoek van de put, de anisotropie, de aquifer dikte en de putdiameter.



De formule van de extra skin t.g.v. scheef doorboorde aquifer is (zie ook Figuur 1):

$$s_{\theta} = -2.48 \frac{(\sin \theta)^{5.87} h_d^{0.152}}{I_{ani}^{0.964}} \text{ voor } I_{ani} \geq 1$$

(1)

Met:

s_{θ} = scheve put-skin (dimensieloos)

θ = hoek van de put t.o.v. de vertikaal

h_d = dimensieloze aquifer(sub)laag-dikte = $\frac{h}{r_w}$

h = aquifer(sub)laag-dikte

I_{ani} = anisotropie-index = $\sqrt{\frac{k_h}{k_v}}$

k_h = horizontale permeabiliteit

k_v = verticale permeabiliteit

r_w = uitwendige putdiameter

De laagdikte wordt gemeten loodrecht op de aquifergelaagdheid (zie figuur 1). Dit geldt ook voor de deviatiehoek. Formule 1 geldt voor deviatiehoeken tot 85 graden.

Indien er in de aquifer ondoorlaatbare lagen voorkomen is de laagdikte is de dikte van de sublaag (zie Figuur 1). Aanwezigheid van ondoorlaatbare lagen verkleint dus het effect van de scheve put.

Deze (negatieve) skin ten gevolge van de scheve put wordt opgeteld bij eventuele skins ten gevolge van andere factoren (bijvoorbeeld putbeschadiging of putstimulatie).

In het navolgende wordt voor twee voorbeelden van veel voorkomende waarden van de aquiferdikte en van de anisotropie-index de scheve-put-skin berekend.

Deze parameterwaarden zijn:

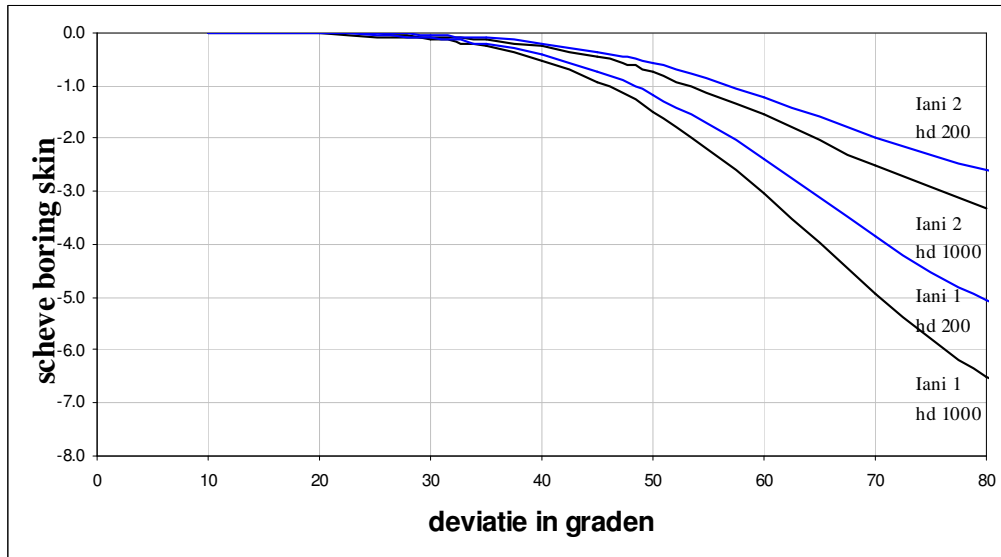
h = 20 of 100 m

h_d = 200 of 1000

r_w = 0.10 m (putdiameter ca 8 inch)

I_{ani} = 1 of 2

In Figuur 2 is de skin uitgezet als functie van de deviatiehoek voor bovenstaande waarden van h_d en I_{ani} .



Figuur 2. De scheve-put-skin als functie van de deviatiehoek

Zoals uit formule 1 is af te leiden en te zien is in Figuur 2 neemt de (negatieve) scheve-put-skin toe met toenemende deviatiehoek en toenemende (sub-)laagdikte. Het scheve-put-effect neemt echter af bij toenemende anisotropie.

De verhouding van de productiviteitindex met en zonder scheve-put-skin geeft een beter inzicht in het effect van het scheve karakter van de put dan de skin.

De formule voor de productiviteitindex luidt (zie. A. Verruijt 1970, formule 6.5 en Dake 1978):

$$J = \frac{Q}{p_w - p_{aq}} = \frac{2\pi k H R_{ntg}}{\mu \left(\ln \left(\frac{L}{r_w} \right) + S \right)} \quad (2)$$

Waarbij

- p_w = druk in de put bij aquifer (bottom hole pressure)
- p_{aq} = initiële hydrostatische druk in de aquifer ter hoogte van de put
- Q = Q_m / ρ = debiet, positief voor stroming van put naar aquifer
- μ = water viscositeit (functie van temperatuur en zoutgehalte)
- k = permeabiliteit van de aquifer
- H = hoogte van de aquifer
- R_{ntg} = netto/bruto verhouding (net-to-gross ratio)
- L = afstand tussen productie- en injectieput
- r_w = buitenstraal van de put (filter)
- S = skin

De produktiviteitindex verhouding voor een put met en zonder scheve-put-skin is dan na enige bewerking:

$$(3) \frac{J_{\text{scheef_geboorde_put}}}{J_{\text{vertikaal_geboorde_put}}} = \frac{\ln\left[\frac{L}{r_w}\right]}{\ln\left[\frac{L}{r_w}\right] + s_\theta}$$

Met:

J = put productivity index

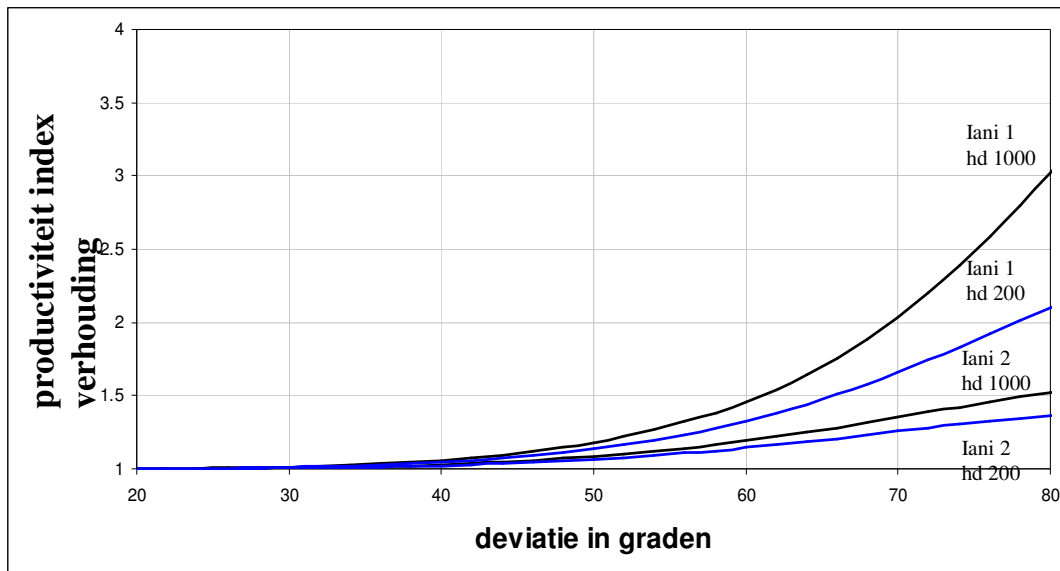
L = putafstand in m

s_θ = scheve put-skin (dimensieloos)

r_w = uitwendige putdiameter in m

Aangezien L typisch 1500-2000 m is en r_w ongeveer 0.1 m zal $\ln(L/r_w)$ 9.6-9.9 zijn. Dit betekent dat het effect van de extra skin pas zichtbaar wordt als deze skin in absolute waarde groter dan 1 is.

Als voorbeeld is voor een onderlinge afstand van 1600 m en r_w van 0.10 m de verhouding van de produktiviteitindex met en zonder deviatehoek uitgezet tegen de deviatehoek in Figuur 3.



Figuur 3. De verhouding van de produktiviteitindex met en zonder scheve-put-skin

Conclusie

Uit figuur 3 kan worden geconstateerd dat voor put-deviatie kleiner dan 40 graden het effect hiervan op de produktiviteitindex te verwaarlozen is. Voor deze deviatie is het effect met ongeveer 10% het grootst voor $I_{\text{ani}}=1$ en $h_d = 1000$.

Referenties

Choi, S.K., Ouyang,L.-B. and Huang,W-S. (2008): A comprehensive comparative study on analytical PI/IPR correlations. SPE 116580

Dake, L.P.(1978): Fundamentals of reservoir engineering, Elsevier, Developments in Petroleum Science 8,

Rogers, E.J., Economides, M.J. (1996): The skin due to slant of deviated wells in permeability-anisotropic reservoirs. SPE 37068

Verruijt, A. (1970): Theory of Groundwater Flow. Macmillan, 1970.

TNO

8 December 2009