

voor het warmwatertoestel. Er zijn evenwel geen aanwijzingen verkregen, dat het gebruik hiervan invloed heeft op de metaalgehalten van het water.

Indien we op de koperwaarden van monster 2 de toets van Wilcoxon toepassen blijkt er geen significant verschil te bestaan tussen de koperwaarden welke verkregen zijn uit watertoestellen zonder ontharder en watertoestellen met ontharder.

Evenmin werden aanwijzingen verkregen voor de invloed van de ouderdom van de toestellen op de aanwezigheid van metalen.

4. Conclusies en aanbevelingen

1. Slechts voor enkele metalen is een toename van het gehalte geconstateerd in water verwarmd in een warmwatertoestel.

2. Van de onderzochte zware metalen blijven de gehalten aan arseen, cadmium, chroom, kwik, lood, nikkel en seleen onder de maximaal toelaatbare concentraties genoemd in de EEG-Richtlijn betreffende water voor menselijke consumptie, behoudens één enkele, ondanks herhaald onderzoek niet reproduceerbare, uitschieter voor lood.

De waarden voor koper en zink liggen ook steeds beneden het in de EEG-Richtlijn voor deze elementen genoemde richtniveau. Iets verhoogde waarden werden vooral gevonden bij water dat lang in de leidingen had gestaan.

3. Het warme water uit de *onderzochte toestellen* is voor zover het de aanwezigheid van zware metalen betreft, zonder meer geschikt voor de bereiding van voedsel. Het onderzoek geeft geen aanleiding om warm water uit warmwatertoestellen *in het algemeen* hiervoor ongeschikt te verklaren.

4. De onder punt 1. genoemde toename betreft met name koper, maar er zijn duidelijke aanwijzingen dat de toename van het kopergehalte niet zozeer moet worden toegeschreven aan de invloed van het warmwatertoestel zelf, maar aan de soms lange koperen leidingen die het water na verwarmen nog doorstroomt.

5. In het onderzoek is geen invloed gevonden van ontharding van het water of de leeftijd van het warmwatertoestel op het gehalte aan zware metalen van het water.

6. Het verdient aanbeveling het onderzoek te herhalen in gebieden met andersoortig water. Hierbij zou gedacht kunnen worden aan van nature zacht of zeer hard water.

• • •

commentaar

Naar aanleiding van het artikel van ir. P. S. Grashoff (*H₂O* 17, 148) kan het volgende worden opgemerkt.

De formule van Forchheimer voor de stroming naar een half-bolvormige put in een half-oneindig stromingsveld kan worden geschreven als:

$$\Delta \phi = \frac{Q_0}{2\pi k} \left\{ \frac{1}{r_b} - \frac{1}{R} \right\} \quad (1)$$

waarin $\Delta \phi$ het verschil is in stijghoogte tussen een punt op een afstand R uit het middelpunt en een punt op de omtrek van de put, op afstand r_b van het centrum.

Ook bij de aanwezigheid van een ondoorlatende laag, op een diepte H beneden dit middelpunt, blijft deze formule bij benadering geldig in de onmiddellijke omgeving van de put. De invloed van deze laag wordt eerst op enige afstand van de put merkbaar.

De exacte oplossing van het vraagstuk is reeds geruime tijd bekend. Het eerst is de oplossing gegeven voor de verdeling van de elektrische potentiaal in de omgeving van een reeks op een rechte lijn gelegen puntladingen [Madelung, 1918]. Later is deze oplossing door Muskat [1942] toegepast op grondwaterstromingen naar reeksen van onttrekkingspunten. Daarvoor geldt, in de thans gebruikte notatie:

$$\Delta \phi = \frac{q}{2\pi k} \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} K_0(2\pi n \rho_p) - \sum_{n=1}^{\infty} K_0(2\pi n \rho) + \ln(\rho/\rho_p) \right]$$

met

$$q = Q_0/H \quad \rho_p = r_b/2H \quad \rho = R/2H \quad (2)$$

en waarin K_0 de gemodificeerde Bessel-functie is van de tweede soort en orde nul. Overeenkomstige formules gelden voor de stroming naar geperforeerde drainbuizen [Dierickx en Van der Molen, 1981]. Als ρ_p of ρ klein is ten opzichte van 1, dan convergeert de betreffende reeks slechts langzaam. Zij kan dan beter worden vervangen door gebruik te maken van:

$$2 \sum_{n=1}^{\infty} K_0(2\pi n x) = C + \ln \frac{x}{2} + \frac{1}{2x} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{\sqrt{x^2 + m^2}} - \frac{1}{m} \right\} \quad (3)$$

waarin $C = 0,577216$ (constante van Euler). Deze vervanging wordt voordelig als $2\pi x < 1$. Het uitwerken van deze formules op een programmeerbare rekenmachine (bijv. HP 41CV) levert geen bijzondere moeilijkheden op en verloopt snel. Voor de functie K_0 kan daarbij gebruik worden gemaakt van poly-

noombenaderingen [Abramowitz & Stegun, 1972, p. 379].

Een vergelijking met de uitkomsten volgens de formule van Grashoff leert, dat de overeenkomst uitstekend is, mits $R \geq H$. In dat geval is de veel eenvoudiger formule van Grashoff duidelijk in het voordeel (tabel I). Voor kleinere R treden afwijkingen op en kan men, althans voor $R \ll H$, de formule van Forchheimer, (1), als snelle benadering gebruiken.

Tabel I – Waarden voor $\Delta \phi(m)$, indien $r_b = 0.81 m$; $Q = 3.54 m^3/d$; $k = 1.00 m/d$; $H = 10 m$.

R (m)	Exact (2,3)	Grashoff	Forchheimer (1)
5.000	1.0001	.9989	—
1.000	.9094	.9082	—
500	.8703	.8691	—
100	.7797	.7785	—
50	.7406	.7394	—
20	.6889	.6878	—
10	.6465	.6487	(.6392)
5	.5849	(.6097)	.5829
2	.4141	(.5581)	.4139
1	.1322	(.5190)	.1322

Literatuur

- Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (1972). *Handbook of mathematical functions*. 9e druk, New York.
- Dierickx, W. and Molen, W. H. van der (1981). *Effect of perforation shape and pattern on the performance of drain pipes*. Agr. Water Management 4, 429-443.
- Grashoff, P. S. (1984). *Gegraven putten en hun debiet*. *H₂O* (17), nr. 7, 148.
- Madelung, E. (1918). *Das elektrische Feld in Systemen von regelmässig angeordneten Punktladungen*. Physik. Zeitschr. 19, 524-533.
- Muskat, M. (1942). *The effect of casing perforations on well productivity*. Petr. Technology 5, 175-187.

W. H. van der Molen

• • •