

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

**AFLEIDING EN BESCHOUWING
VAN ENKELE VERGELIJKINGEN
DIE HET LEKZOEKPROBLEEM
BESCHRIJVEN**

door ir. A. de Lathouder

**MEDEDELING No 3
VAN DE COMMISSIE WATERVERLIES (Cowa)
VAN HET KIWA**

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

Van Speykstraat 34 — Den Haag

**AFLEIDING EN BESCHOUWING
VAN ENKELE VERGELIJKINGEN
DIE HET LEKZOEKPROBLEEM
BESCHRIJVEN**

door ir. A. de Lathouder

MEDEDELING No 3
VAN DE COMMISSIE WATERVERLIES (Cowa)
VAN HET KIWA

k. Es scheint im allgemeinen ziemlich zwecklos, die Umlaufzeit viel grösser als die Laufzeit der betreffenden Schadenstellen zu wählen, weil die Anzahl der aufgefundenen Schadenstellen bei Zunahme von k , von $k = 1$ ab, stark abnimmt.

l. Wenn von der Voraussetzung ausgegangen wird, dass die Ausflussmengen der Schadenstellen gegen Ende ihrer Laufzeit am grössten sind, ist es angezeigt, den Umlaufturnus ungefähr gleich oder etwas kleiner als die normale Laufzeit der Schadenstellen zu wählen. Die mittlere Laufzeit und die Anzahl der vorhandenen Leckstellen werden dann ungefähr bis zur Hälfte reduziert.

d. Für die Periode, in der ein Versorgungsgebiet zum ersten Mal abgehört wird, ist es möglich, aus einer gegebenen Anzahl sich an der Strassenoberfläche zeigenden Leckagen a_1' , der Anzahl der aufgefundenen Leckagen b_1 und der Umlaufzeit Z , die übrigen wichtigen Grössen mit Hilfe einer Anzahl einfacher Gleichungen zu berechnen.

e. Die unter d angegebene Schlussfolgerung gilt auch für systematisches Abhören, aber mit der Einschränkung, dass für $k < 1$ die Laufzeit L' und die Anzahl der Leckagen A' nur für den diesbezüglichen Zustand ohne weiteres berechnet werden können. Die Laufzeit L und die Anzahl der Leckagen A , die zu dem Zustand ohne systematisches Abhören gehören, können aber in diesem Fall aus den Angaben, die aus dem ersten Abhörtturnus entnommen wurden, festgestellt werden.

f. Am Ende des ersten Abhörtturnusses sind die Anzahl der im Boden vorhandenen Schadenstellen und die Laufzeit auf die Werte, die beim systematischen Abhören auftreten, reduziert worden. Die mittlere Laufzeit L' und die Anzahl der Schadenstellen A' werden für $k < 1$ und $k > 1$ durch unterschiedliche Formeln (siehe Tabelle I) bestimmt. Für $k < 1$ ist die mittlere Laufzeit gleich der halben Umlaufzeit.

g. Mit steigender Grösse von k nimmt das Verhältnis zwischen der Anzahl der Schadenstellen A' beim systematischen Abhören und A ohne Abhören zu. Für $k = 1$ beträgt dieses Verhältnis 0,5; dasselbe gilt für die Laufzeiten L' und L .

h. Der Zusammenhang zwischen der Anzahl Schadenstellen a die entsteht, der Anzahl b die beim Abhören aufgefunden wird und der Anzahl a' die sich an der Strassenoberfläche zeigt, ist beim ersten Abhörtturnus anders (siehe Tabelle II) als beim systematischen Abhören (siehe Tabelle I). Ueberdies ist er unterschiedlich für $k < 1$ und $k > 1$.

i. Beim systematischen Abhören ist die Anzahl der aufgefundenen Leckagen für $k < 1$ konstant und gleich der Anzahl der entstehenden Schadenstellen. Bei Zunahme von k , von $k = 1$ ab, zeigt sich eine schnelle Abnahme der Anzahl der aufgefundenen Schadenstellen und eine schnelle Zunahme der Anzahl der sich an der Strassenoberfläche zeigenden Schadenstellen.

j. Beim erstmaligen Abhörtturnus ist die Gesamtzahl der eliminierten Schadenstellen ($a_1' + b_1$) grösser als beim zweiten und folgenden Turnus. Für $k = 0,5$ ist sie 2,5 mal so gross, für $k = 1,0$ ist das Verhältnis 1,5 und für $k = 2$ nur noch gut 1,1.

1. Inleiding

In een artikel van ir. P. J. v a n d e r Z a n d e n en J. P. C n o s s e n, gepubliceerd in „Water” Nr 16 van 9 augustus 1956, blz. 209 (lit. 1), is een beschouwing gegeven over de reductie van het aantal gelijktijdig in de grond aanwezige lekken, die wordt verkregen indien systematisch naar lekken zou worden gezocht. Uit het artikel blijkt, dat het resultaat nauw samenhangt met de verhouding tussen de omlooptijd (Z), die nodig is om het gehele gebied normaal met lekzoeken rond te gaan en de looptijd (L), die verstrijkt tussen het ontstaan van de lekken en het verschijnen daarvan aan de oppervlakte. Daarbij blijkt, dat voor $Z < L$ andere formules gelden dan voor $Z > L$.

In de praktijk zal het bij toepassing van lekzoeken vaak zo zijn, dat de omlooptijd, het aantal aan de oppervlakte verscheidende lekken en het aantal met lekzoeken opgespoorde lekken bekend zijn. Door ir. V a n d e r Z a n d e n is de aandacht gevestigd op de interessante vraag, of hieruit conclusies kunnen worden getrokken t.a.v. het aantal gelijktijdig aanwezige lekken en de looptijd. De oplossing van dit probleem en de afleiding van het hierbij gebruikte stelsel vergelijkingen worden in dit rapport gegeven.

Bij de beschouwingen in de punten 3 t/m 6 wordt verondersteld, dat wij te maken hebben met een stationaire toestand bij regelmatige rondgang van de lekzoekdienst door een zelfde voorzieningsgebied. De bijzonderheden, die zich voordoen indien voor de eerste maal naar lekken wordt gezocht, dus bij een eerste rondgang van de lekzoekdienst door het gebied, zullen afzonderlijk in punt 7 worden besproken.

Om het probleem voor een eenvoudige mathematische behandeling toegankelijk te maken, is enige schematisering nodig. Daarom worden de volgende veronderstellingen gemaakt.

1. De te onderzoeken lekken zijn van een bepaalde soort, dus bv. lekken in koperen dienstleidingen.
2. De lekken zijn regelmatig over het voorzieningsgebied verspreid.
3. De lekken ontstaan in een regelmatig tempo.
4. De lekken hebben een gelijke looptijd.
5. De lekzoekdienst spoort alle in de te onderzoeken sectie aanwezige lekken op.
6. De lekzoekdienst gaat regelmatig, dus in een bepaald tempo zonder onderbreken langs een bepaald traject rond.

7. De lekken worden onmiddellijk na het verschijnen aan de oppervlakte gerepareerd.

Het is bij toepassing in de praktijk uiteraard niet doenlijk maar ook niet nodig strikt aan deze voorwaarden te voldoen. Het is wel noodzakelijk, dat wij met redelijke gemiddelden werken, door klaarblijkelijke discontinuïteiten te elimineren. Wordt bv. een reeds jaren bestaand voorzieningsgebied in korte tijd uitgebreid met een nieuw gebied, dan lijkt het verstandig het bestaande en het nieuwe gebied voor de berekening afzonderlijk te beschouwen. Een dergelijke afzonderlijke beschouwing zal ook nodig zijn voor verschillende soorten leidingen, bv. voor dienstleidingen en voor hoofdleidingen. Verder kunnen bepaalde secties van het gebied, waar zich bijzondere omstandigheden voordoen, bij de berekening worden uitgeschied of afzonderlijk worden beschouwd. Ook de rondgang van de lekdienst kan moeilijkheden geven. Deze heeft men theoretisch weliswaar in de hand, maar ook hier komen natuurlijk uit de bedrijfsorganisatie onregelmatigheden voort (ziekte, personeelsgebrek), die men, zo zij van enige betekenis zijn voor de berekeningen bv. kan elimineren door uitschakeling van bepaalde perioden. Wat men in het geheel niet in de hand heeft, zijn de onregelmatigheden door atmosferische omstandigheden, met name door het optreden van vorst. Ook hier kan men de regelmaat echter weer herstellen door de „vorstpiek” af te snijden of zelfs door een jaar met strenge vorst geheel buiten beschouwing te laten.

Met deze enkele voorbeelden is bedoeld aan te geven, dat het nodig is de in de praktijk verzamelde gegevens kritisch te bezien en zonedig aan te passen ter benadering van de stationaire toestand, waarvoor de berekening geldt. Dit neemt natuurlijk niet weg, dat de praktijk ons steeds slechts meer of minder ruwe benaderingen oplevert, die tot een berekeningsresultaat leiden, dat onnauwkeuriger is naarmate de werkelijke waarden meer van het gemiddelde afwijken. De resultaten, die men verkrijgt door toepassing in de praktijk van de in dit rapport gegeven berekeningswijze, zullen derhalve dan ook niet méér kunnen zijn dan een ruwe benadering van de werkelijkheid. Toch zal dit veelal een zeer welkome aanvulling kunnen zijn van de schaarse gegevens waarover men beschikt.

Behalve als handleiding voor het verkrijgen van nadere gegevens over een bepaald gebied is dit rapport bedoeld om het inzicht in het lekzoekprobleem in het algemeen te verdiepen en om, mede in verband met de economische zijde van het probleem, beter te kunnen over-

ZUSAMMENFASSUNG

von

Mitteilung Nr 3 des Ausschusses für Wasserverluste des Prüfungsinstituts für Wasserleitungsartikel A.G. KIWA

„Ableitung und Betrachtung einiger Gleichungen die das Lecksuchproblem beherrschen”

Eine Anzahl von Gleichungen, die den Einfluss des spontanen Auftretens von Schadenstellen an der Strassenoberfläche zeigen, wird abgeleitet. Diese Gleichungen werden beherrscht durch den Verband zwischen der Umlaufzeit in der das Versorgungsgebiet abgehört wird und der mittleren Laufzeit der Lecke, die zwischen der Entstehung und der Erscheinung an der Strassenoberfläche der Schadenstellen liegt, verläuft. Bei einer gegebenen Anzahl von aufgefundenen Schadenstellen, sich an der Strassenoberfläche zeigenden Schadenstellen, und der Umlaufzeit des Abhorddienstes können die Laufzeit und die Anzahl der im Boden anwesenden Schadenstellen berechnet werden. Das gilt nicht nur beim systematischen Abhören, sondern auch wenn ein Versorgungsgebiet zum ersten Mal abgehört wird.

Aus den Betrachtungen folgt, dass es sich empfiehlt, die Umlaufzeit gleich oder etwas kleiner als die Laufzeit der Lecke zu wählen.

Die Schlussfolgerungen können wie folgt zusammengefasst werden.

a. Die gegebene Berechnungsmethode, um die Anzahl und die Laufzeit der im Boden vorhandenen Schadenstellen festzustellen, wird durch die in der Praxis anwesenden Diskontinuitäten im allgemeinen nicht mehr als eine grobe Annäherung der Wirklichkeit sein können. Mit Rücksicht auf die beschränkten Angaben, worüber man meistens verfügt, werden die Berechnungsergebnisse in verschiedenen Fällen aber zweifellos von Nutzen sein können.

b. Der Bericht gibt eine Einsicht in das Lecksuchproblem im allgemeinen, wodurch auch, behufs der wirtschaftlichen Seite des Problems, eine bessere Prognose bezüglich der Folgen, die bestimmte Massnahmen in Zusammenhang mit dem Lecksuchen haben können, gestellt werden kann.

c. Die Formeln, die das Abhörproblem beschreiben, werden durch das Verhältnis k zwischen der Umlaufzeit Z und der Laufzeit L beherrscht.

$k = 1$ le rapport est de 1,5 et pour $k = 2$ il est encore voisin de 1,1.

k. Il semble en général de peu d'utilité de choisir une périodicité de recherches plus grande que la durée des fuites, car le nombre des fuites découvertes diminue rapidement lorsque k croît à partir de $k = 1$.

l. Partant de l'hypothèse que les fuites ont leur débit le plus important à la fin de leur durée, on peut conseiller de choisir une périodicité de recherches à peu près égale ou un peu inférieure à la durée normale des fuites. Le nombre moyen de fuites et la durée moyenne des fuites seront ainsi réduits à peu près de moitié.

zien wat het gevolg zal zijn van het nemen of wijzigen van bepaalde maatregelen.

2. Notaties

- A = aantal lekken, gelijktijdig in de grond aanwezig zonder toepassing van lekzoeken.
- A' = aantal lekken, gelijktijdig in de grond aanwezig met toepassing van lekzoeken.
- L = gemiddelde looptijd in dagen van de lekken zonder toepassing van lekzoeken, gerekend van het moment af van ontstaan tot verschijnen aan de oppervlakte.
- L' = gemiddelde looptijd in dagen van de lekken met toepassing van lekzoeken, gerekend van het moment af van ontstaan, óf tot het aan de oppervlakte verschijnen, óf tot het moment van opsporen.
- Z = gemiddelde omlooptijd in dagen, waarin de lekzoekdienst het beschouwde voorzieningsgebied onderzoekt.
- a = aantal lekken, dat per dag in het voorzieningsgebied ontstaat; ook:
aantal lekken, dat per dag aan de oppervlakte verschijnt, zonder toepassing van lekzoeken.
- a' = aantal lekken, dat per dag aan de oppervlakte verschijnt, met toepassing van regelmatig lekzoeken.
- a₁ = aantal lekken, dat gemiddeld per dag aan de oppervlakte verschijnt gedurende de periode, waarin voor de eerste maal naar lekken wordt gezocht.
- b = aantal door de lekzoekdienst opgespoorde lekken per dag, met toepassing van regelmatig lekzoeken.
- b₁ = aantal door de lekzoekdienst opgespoorde lekken per dag, gedurende de periode, waarin voor de eerste maal naar lekken wordt gezocht.
- $k = \frac{Z}{L}$

3. Verband tussen het aantal aan de oppervlakte verschijnende en het aantal opgespoorde lekken

Gezien de belangrijke rol, die de verhouding $\frac{Z}{L}$ in het probleem speelt, wordt hiervoor een factor k ingevoerd, zodat

$$Z = kL \quad (1)$$

Zowel voor k groter als kleiner dan 1 geldt voor een stationaire toestand, dat het aantal lekken dat in de grond ontstaat (a) gelijk is aan de som van het aantal lekken dat aan de oppervlakte verschijnt (a') en het aantal dat door de lekzoekdienst wordt opgespoord (b), dus

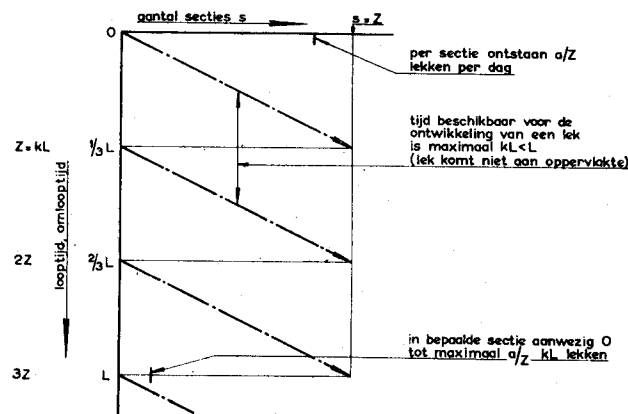
$$a = a' + b \quad (2.1.)$$

Indien de omlooptijd Z dagen bedraagt, is het gebied als het ware verdeeld in Z secties, die elk in 1 dag worden onderzocht. Het aantal „dag”-secties waarin het gebied kan worden verdeeld is dus gelijk aan de omlooptijd Z

in dagen. Is s het aantal secties, dat op een bepaald tijdstip na de aanvang van een rondgang onderzocht is, dan is het aantal onderzochte secties na het verstrijken van de omlooptijd dus $s = Z$. Per sectie treden dan zander lekzoeken per dag $\frac{a}{Z}$ lekken aan het licht. Is de looptijd L dan zijn dus, zoals eenvoudig is in te zien (zie ook punt 4, formule (5)) per sectie $\frac{aL}{Z}$ lekken „onder weg”, indien niet naar lekken wordt gezocht.

Wij zullen nu het verband tussen a , a' en b voor verschillende waarden van k nader onderzoeken.

Geval $k < 1$ (omlooptijd $<$ looptijd)



Afb. 1. Schema voor lekzoeken indien $k = Z/L \leq 1$

(Als voorbeeld is het geval $Z = \frac{1}{3} L$ gegeven)

In afb. 1 is het probleem schematisch weergegeven. In horizontale zin is het aantal secties, dat per rondgang Z bedraagt, uitgezet. In verticale richting loopt de tijd, waarlangs de looptijd L en de omlooptijd Z in dagen zijn uitgezet. De voortschrijding van de lekzoekdienst door het gebied (in de afbeelding naar rechts) en met de tijd (in de afbeelding omlaag) komt in dit schema dus als een schuine lijn te voorschijn. Deze loopt van de oorsprong naar een punt aan het einde van de rondgang, op welk moment Z secties in Z dagen zijn onderzocht (zie streep-puntlijn). In de afbeelding is $k = \frac{1}{3}$ gekozen, zodat de lekzoekdienst in een niet onderbroken looptijd drie maal rond gaat. De situatie is voor $k < 1$ zo, dat de lekzoekdienst telkens alweer terug is eer de looptijd is

che des fuites sont commandées par le rapport k entre la périodicité des recherches Z et la durée L .

d. Pour la période pendant laquelle le service de recherche des fuites opère pour la première fois sur un réseau, il est possible, connaissant le nombre de fuites apparaissant en surface a_1' , le nombre de fuites découvertes b_1 et la périodicité de recherche Z , de calculer les autres grandeurs importantes grâce à un ensemble d'équations simples.

e. En cas de recherches des fuites régulièrement poursuivies, les conclusions d sont encore valables, avec la restriction que, ce n'est que pour $k < 1$, que l'on peut calculer sans plus le nombre des fuites A' et la durée des fuites L' en rapport avec la situation étudiée. La durée L et le nombre des fuites A qui existeraient s'il n'y avait pas de recherches peuvent cependant dans ce cas être déterminées d'après les données dérivées du premier passage du service de recherches.

f. A la fin du premier passage du service de recherches, le nombre de fuites existant dans le sol et leur durée sont rapportés aux valeurs qui ressortent des recherches de fuites régulières. La durée moyenne L' et le nombre de fuites A' sont calculés par des formules différentes suivant que $k < 1$ ou $k > 1$ (voir tableau I). Pour $k < 1$, la durée moyenne est égale à la moitié du temps d'apparition en surface.

g. Lorsque k croît, le rapport entre le nombre des fuites A' en cas de recherches régulières et A en l'absence de recherches croît également. Pour $k = 1$, ce rapport est de 0,5. Il en va de même pour les durées L' et L .

h. La relation entre le nombre de fuites qui se produisent a , le nombre des fuites découvertes par le service de recherches b et le nombre de fuites qui apparaissent en surface a' et diffèrent lors du premier passage du service de recherches des fuites (voir tableau II) de ce qu'il est en cas de recherches régulières (voir tableau 1). En outre il est différent pour $k < 1$ et $k > 1$.

i. En cas de recherches régulières, lorsque $k < 1$, le nombre des fuites découvertes est constant et sensiblement égal au nombre de fuites existantes. En conséquence, aucune fuite n'apparaît en surface. Lorsque k croît, depuis $k = 1$, il y a une diminution rapide du nombre des fuites découvertes et une augmentation rapide du nombre des fuites apparaissant en surface.

j. Lors du premier passage, le nombre total des fuites éliminées ($a_1' + b_1$) est plus grand que lors des passages réguliers. Pour $k = 0,5$ il est 2,5 fois plus grand, pour

RÉSUMÉ

de

la Communication no 3 de la Commission des Pertes d'Eau (Cowa) de l'Institut pour la Réception et la Vérification du Matériel des Services de Distribution d'Eau S.A. KIWA

„Etablissement et examen de quelques formules pour l'étude du problème de la recherche des fuites”

Un certain nombre d'équations ont été établies pour montrer l'influence de la recherche des fuites sur la durée de ces fuites et sur leur nombre simultané, les fuites découvertes et celles qui apparaissent à la surface dans le réseau. Ces équations sont commandées par la relation k entre la périodicité avec laquelle le territoire desservi est examiné et l'intervalle de temps moyen qui sépare le début d'une fuite et son apparition en surface. Pour un nombre donné de fuites découvertes, de fuites apparues en surface et une périodicité de recherche donnée, on peut calculer la durée et le nombre de fuites cachées dans le sol. Ceci est valable non seulement lorsque la recherche des fuites est régulièrement organisée, mais aussi pour un réseau où cette recherche est entreprise pour la première fois.

De ces considérations il résulte qu'il est recommandé de choisir une périodicité de recherches égale à ($k = 1$) ou plus petite que la durée des fuites.

Les conclusions peuvent être résumées de la façon suivante.

a. Le mode de calcul donné pour la détermination du nombre et de la durée des fuites se produisant dans le sol, ne peut, en général, étant donné la discontinuité rencontrée en pratique, être plus qu'une grossière approximation de l'équation. Considérant la rareté des données avec lesquelles, bien souvent, il faut opérer, le résultat des calculs peut en divers cas être incontestablement utile.

b. Le rapport donne un aperçu du problème de la recherche des fuites en général, grâce auquel, du point de vue économique, on peut faire de meilleures prévisions au sujet des conséquences des mesures envisagées pour la recherche des fuites.

c. Les équations qui définissent le problème de la recherche

verstreken, dus vóór de lekken gelegenheid krijgen aan de oppervlakte te komen. De looptijd van de lekken kan hier maximaal slechts kL bedragen. Per sectie zijn er dan ook slechts $\frac{akL}{Z}$ lekken aanwezig, wanneer de lekzoekdienst verschijnt. Aangezien de lekzoekdienst b lekken per dag opspoort, is

$$b = \frac{akL}{Z}$$

Hieruit volgt met formule (1)

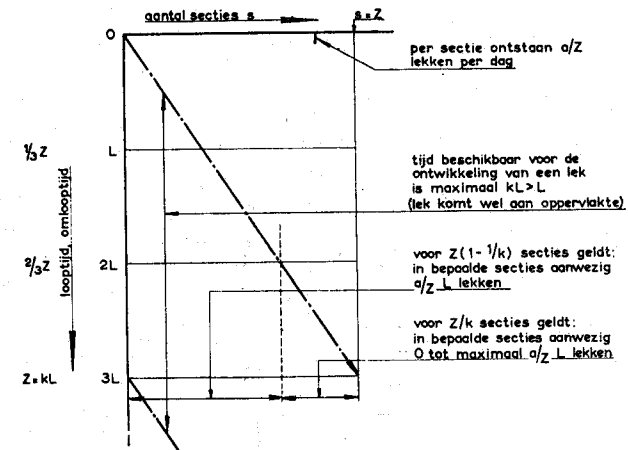
$$a = b \quad (3.1, k < 1)$$

Uit formule (2.1) blijkt nu

$$a' = 0 \quad (4.1, k < 1)$$

hetgeen dus de reeds gemaakte opmerking bevestigt, dat geen lekken aan de oppervlakte verschijnen. Voor $k < 1$ zijn de waarden a' en b dus constant en onafhankelijk van k . Nadert k tot nul dan kan dit het gevolg zijn van het tot nul naderen van Z of het oneindig groot worden van L . Dit betekent, dat de lekzoekdienst in uiterst korte tijd het gehele gebied rondgaat, of dat de lekken oneindig lang blijven lopen.

Geval $k > 1$ (omlooptijd > looptijd)



Afb. 2 Schema voor lekzoeken indien $k = Z/L \geq 1$
(Als voorbeeld is het geval $Z = 3L$ gegeven)

In afb. 2 is de gang van zaken weer schematisch aangegeven, in dit geval echter voor $Z > L$. De lekzoekdienst

zal nu na een rondgang weer in een bepaalde sectie terugkeren, nadat meer dan de volle looptijd verstreken is. De lekzoekdienst controleert dus een gebied waarin inmiddels weer lekken aan de oppervlakte verschenen zijn. Per sectie is hier het volle aantal lekken, dat ook zonder

lekzoeken „onderweg” was, aanwezig, dus $\frac{aL}{Z}$. De lekzoekdienst vindt b lekken per dag, dus

$$b = \frac{aL}{Z}$$

Na substitueren van Z volgens vergelijking (1) vinden wij hieruit

$$a = kb \quad (3.2, k > 1)$$

Elimineren wij b uit (2.1) en (3.2) dan volgt

$$a' = a \left(1 - \frac{1}{k} \right) \quad (4.2, k > 1)$$

De grootheden a' en b zijn in dit geval dus niet constant, maar worden bepaald door de waarde van k.

Voor $k = \infty$ wordt $Z = \infty$ en is $b = 0$ en $a' = a$. Er worden geen lekken meer opgespoord door de lekzoekdienst en alle lekken verschijnen aan de oppervlakte. Dit is dus het geval, waarin geen lekzoeken wordt toegepast. Uiteraard wordt k ook oneindig voor $L = 0$, maar een dergelijke looptijd kan buiten beschouwing worden gelaten.

4. Het aantal gelijktijdig in de grond aanwezige lekken

Beschouwen wij eerst het geval, waarin niet naar lekken wordt gezocht. Het aantal lekken, dat in de grond aanwezig is, gerekend van het moment van ontstaan tot het verschijnen aan de oppervlakte, is zonder lekzoeken maximaal. Ontstaan er a lekken per dag, die steeds L dagen „onderweg” zijn eer zij aan de oppervlakte verschijnen, dan bedraagt het totale aantal lekken dat gelijktijdig in de grond aanwezig is

$$A = aL \quad (5)$$

Dit is de belangrijke grondvergelijking, die in andere vorm ook reeds in punt 3 ter sprake kwam.

Wordt er wel naar lekken gezocht, dan wordt dus een aantal lekken (b per dag) vóór het verschijnen aan de

time much longer than the running time, because the number of detected leaks reduces rapidly, when k increases from $k = 1$ upwards.

1. Starting from the assumption, that leaks show the greatest loss of water by the end of their running time, it seems advisable to choose the sounding time broadly the same as or somewhat shorter than the normal running time of the leaks. Then, the mean running time and the number of leaks outstanding are reduced by one half of the corresponding values when not operating a leak detection service.

sounding time Z , all referring to the period, during which the leak detection service makes its *first* inspection tour of a given distribution area, it will be possible to calculate the other important magnitudes from a set of simple equations.

e. When continuous leak detection is applied, the conclusion given under d holds as well, except in so far that if $k < 1$ only the running time L' and the number of leaks A' can be calculated. In this case, however, the running time L and the original number of leaks A , factors of the situation without detection of underground leakage, are determined from data taken from the first inspection cycle of the leak detection service.

f. At the end of the first cycle of inspection the number of leaks outstanding and the running time are reduced to the values occurring when continuous waste control is applied. For $k < 1$ the mean running time L' and the number of leaks A' are determined by a different set of equations to those holding for $k > 1$ (see table I). For $k < 1$ the mean running time equals half the sounding time.

g. For increasing values of k , the ratio between the number of leaks A' when sounding continuously and A without leak detection, increases also. For $k = 1$ this ratio is 0,5. The same applies to the running times L' and L .

h. For the first inspection cycle of the distribution area, the relation between the number of new leaks starting (a), the number of leaks detected (b) and the number appearing at the surface (a') (see table II) is different from that found in case of continuous leak detection (see table I). Moreover there is a difference for $k < 1$ and $k > 1$.

i. When continuous leak detection is operated at a ratio $k < 1$, the number of leaks detected is constant and equal to the number of new leaks starting, and no leaks are showing on the surface. When k increases from $k = 1$ upwards, there is a marked fall in the number of leaks detected, whereas the number of leaks appearing at the surface shows a corresponding rise.

j. The sum of leaks appearing at the surface and leaks detected by sounding ($a'_1 + b_1$) during the first cycle of inspection, is greater than the number of leaks ($a' + b$) being eliminated in case of continuous leak detection. For $k = 0,5$ this is 2,5 times as much, the ratio for $k = 1$ and $k = 2$ being 1,5 and only just over 1,1 respectively.

k. In general it seems of little use to choose the sounding

oppervlakte opgespoord. Door dit vroegtijdig ontdekken van lekken wordt het aantal op een bepaald moment aanwezige lekken tot A' verminderd. Ook hierbij speelt de factor k weer een belangrijke rol. Wij zullen de gevallen $k < 1$ en $k > 1$ daarom weer afzonderlijk nagaan.

Geval $k < 1$ (omlooptijd < looptijd)

Onder punt 3 hebben wij voor het geval $k < 1$ gezien, dat per sectie $\frac{akL}{Z}$ lekken aanwezig zijn op het moment, dat de lekzoekdienst verschijnt. Is deze juist gepasseerd, dan zijn er 0 lekken. Het totale aantal lekken over Z secties wordt dus gevormd door een rekenkundige reeks van Z termen, waarvan de som bedraagt

$$A' = \frac{1}{2} akL$$

Met $A = aL$ en $kL = Z$ volgen hieruit resp. de vergelijkingen

$$A' = \frac{Ak}{2} \quad (6.1, k < 1)$$

$$A' = \frac{aZ}{2} \quad (7, k < 1)$$

Geval $k > 1$ (omlooptijd > looptijd)

In dit geval wordt de bepaling van het totale aantal aanwezige lekken iets gecompliceerder (zie hiervoor afb. 2). In de secties, waar de lekzoekdienst langer dan L dagen geleden gepasseerd is, komen lekken met een looptijd L aan de oppervlakte. Hier treffen wij dan weer $\frac{aL}{Z}$

lekken per sectie aan, terwijl per dag $\frac{a}{Z}$ lekken per sectie

aan het licht treden (vergelijk de algemene inleiding van punt 3). Stel dat er p secties zijn, waarin de lekken tot een looptijd L komen, zodat deze aan de oppervlakte

lekken per sectie aan, terwijl per dag $\frac{pa}{Z}$ lekken te voorschijn. Per definitie was echter het aantal lekken, dat in geval van lekzoeken aan de oppervlakte komt = a' gesteld. Hieruit volgt

$$\frac{pa}{Z} = a'$$

waaruit blijkt

$$p = \frac{a'Z}{a}$$

Elimineren wij uit deze vergelijking a' met behulp van vergelijking (4.2), dan volgt hieruit

$$p = \left(1 - \frac{1}{k}\right)Z$$

Het aantal in deze p secties aanwezige lekken bedraagt

$$\frac{paL}{Z} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)aL$$

In de overige secties is de lekzoekdienst minder dan L dagen geleden gepasseerd. In deze secties treden dus geen lekken te voorschijn. Waar de lekzoekdienst juist zijn werk gedaan heeft is geen enkel lek aanwezig. In de sectie, die L dagen geleden onderzocht is, komen juist de lekken weer aan de oppervlakte, zodat hier weer $\frac{aL}{Z}$

lekken aanwezig zijn. De aantallen lekken in deze secties vormen weer een rekenkundige reeks, waarvan de eerste en laatste term resp. 0 en $\frac{aL}{Z}$ zijn. Stel dat er q secties zijn, waarin de looptijd van 0 tot L toeneemt, dan is

$$q = Z - p = Z - \left(1 - \frac{1}{k}\right)Z = \frac{Z}{k}$$

Het aantal in deze q secties aanwezige lekken blijkt na sommering van de reeks te bedragen

$$\frac{qaL}{2Z} = \frac{aL}{2k}$$

Het totale aantal lekken dat in de Z secties aanwezig is bedraagt

$$A' = \left(1 - \frac{1}{k}\right)aL + \frac{aL}{2k} = \left(1 - \frac{1}{2k}\right)aL$$

Met $A = aL$ kunnen wij hiervoor schrijven

$$A' = A \left(1 - \frac{1}{2k}\right) \quad (6.2, k > 1)$$

Voor $k = \infty$ volgt hieruit, dat $A' = A$, zodat wij weer op het geval zonder toepassing van lekzoeken komen, waarvoor vergelijking (5) geldt.

5. De gemiddelde looptijd, indien regelmatig naar lekken wordt gezocht

De gemiddelde looptijd die optreedt, indien het gebied regelmatig op lekken wordt onderzocht, is met behulp

SUMMARY

of

Communication no 3 of the Committee for Waste of Water (Cowa) of the Institution for the Testing of Waterworks Materials Ltd. KIWA

„Derivation and consideration of some equations describing the problem of leak detection”

Equations are derived which demonstrate the influence of leak detection on the running time of leaks and on the numbers of them, which are detected or not before they appear at the surface in the distribution area of water undertakings. These equations are governed by the ratio k between the „sounding time”, required to inspect the whole distribution area and the average „running time” between the instant of pipe failure and that when a leak shows at the surface. For given numbers of leaks detected, and leaks appearing at the surface, and for a given sounding time, it is possible to calculate the running time and the number of leaks underground. This calculation is also possible in the special case of sounding a distribution area for the first time.

From these considerations it is recommended to take the sounding time equal to or a little shorter than the running time of the leaks (i.e. $k \leq 1$).

The conclusions may be summarized as follows.

a. Because of the discontinuities occurring in practice, the method of calculating the number and the running time of the leaks outstanding, will generally be no more than a rough approximation of reality. However, in view of the scarce data often available, the results of the calculations will certainly be of some use in a number of cases.

b. The report gives an insight into the leak detection problem in general. This means a better forecast of the consequences of certain measures, taken in relation to leak detection. It may also be of importance for working out the economics of the problem.

c. The equations, describing the problem of waste detection are governed by the ratio k between the sounding time Z and the running time L .

d. For a given number of leaks a_1 appearing at the surface, a given number of detected leaks b , and a given

1. Uitgaande van de veronderstelling, dat de lekken hun grootste verlies geven tegen het einde van hun looptijd, moet het raadzaam worden geacht de omlooptijd ongeveer gelijk aan of iets kleiner dan de normale looptijd van de lekken te kiezen. De gemiddelde looptijd en het aantal aanwezige lekken worden dan ongeveer tot de helft teruggebracht.

van het voorgaande eenvoudig te bepalen. Bij het toepassen van lekzoeken komen twee soorten lekken voor. In de eerste plaats de lekken, die aan de oppervlakte verschijnen en dus alle eenzelfde looptijd L hebben. In de tweede plaats die, welke door de lekzoekdienst worden opgespoord en looptijden hebben, die variëren tussen 0 en L dagen. Stellen wij de gemiddelde looptijd van alle lekken op L' . Het aantal lekken dat ontstaat is, evenals in het geval zonder lekzoeken, a . Het totale aantal lekken, dat met A' wordt aangeduid, bedraagt dan, analoog aan vergelijking (5), aL' , dus

$$L' = \frac{A'}{a} \quad (8)$$

Deze formule kan met behulp van vergelijking (5) ook aldus worden geschreven

$$\frac{L'}{L} = \frac{A'}{A} \quad (9)$$

Hieruit volgt dat de looptijd zich bij toepassing van lekzoeken in de dezelfde verhouding wijzigt als het aantal aanwezige lekken.

De formules (8) en (9) gelden algemeen onafhankelijk van de waarde van k . Voor $k < 1$ kan met behulp van vergelijking (7) uit vergelijking (8) nog de volgende eenvoudige uitdrukking voor de looptijd worden verkregen.

$$L' = \frac{Z}{2} \quad (10, k < 1)$$

6. Berekening van het aantal aanwezige lekken en de looptijd, indien regelmatig naar lekken wordt gezocht

Om de afgeleide formules, o.a. voor het uitvoeren van berekeningen, gemakkelijk te kunnen overzien, zijn deze systematisch samengevat in tabel I.

Met behulp van de in tabel I verzamelde formules kan nu op eenvoudige wijze het voor de praktijk van belang zijnde probleem, dat in de inleiding werd aangestipt, worden doorgerekend.

Gegeven zijn in dit geval de omlooptijd Z van de lekzoekdienst, het aantal lekken b dat per dag door deze dienst wordt opgespoord en het aantal lekken a' dat per dag aan de oppervlakte verschijnt.

TABEL I — Overzicht van de belangrijkste formules

zonder lekzoeken		met regelmatig lekzoeken			
$k = \infty$	for- mule	$k < 1$	for- mule	$k > 1$	for- mule
$Z = \infty$		$Z = kL$	(1)	$Z = kL$	(1)
$a = a' + b$	(2.1)	$a = a' + b$	(2.1)	$a = a' + b$	(2.1)
$b = 0$		$a = b$	(3.1)	$a = kb$	(3.2)
$a' = a$		$a' = 0$	(4.1)	$a' = a(1 - \frac{1}{k})$	(4.2)
$A = aL$	(5)	$A' = \frac{Ak}{2}$	(6.1)	$A' = A(1 - \frac{1}{2k})$	(6.2)
		$A' = \frac{aZ}{2}$	(7)		
		$L' = \frac{A'}{a}$	(8)	$L' = \frac{A'}{a}$	(8)
		$\frac{L'}{L} = \frac{A'}{A}$	(9)	$\frac{L'}{L} = \frac{A'}{A}$	(9)
		$L' = \frac{Z}{2}$	(10)		

Gevraagd worden het aantal gelijktijdig in de grond aanwezige lekken en de gemiddelde looptijd van deze lekken. *Oplossing.* Het totale aantal lekken a dat per dag ontstaat volgt uit vergelijking (2.1). Wij beschouwen nu weer beide gevallen $k > 1$ en $k < 1$.

Voor het geval dat $k > 1$ is, kan de grootte van k direct uit (3.2) worden bepaald. Met de gegeven omlooptijd Z vinden wij dan voor de toestand zonder lekzoeken de looptijd L uit (1) en het aantal aanwezige lekken A uit (5). Tenslotte volgen dan A' en L' uit de formules (6.2) en (8). Hier blijken dus het aantal lekken en de looptijd zowel voor de toestand met als zonder lekzoeken te kunnen worden berekend. Speciaal de mogelijkheid tot berekening van de oorspronkelijke looptijd is uitermate interessant.

Is $k < 1$ dan zijn de aantallen opgespoorde en aan de oppervlakte verschijnende lekken constant en wel resp. $b = a$ (3.1) en $a' = 0$ (4.1). Deze waarden zijn dus onafhankelijk van k en Z . Hoewel k alsmede A en L hier niet zonder meer kunnen worden bepaald, is het toch ook in dit geval weer mogelijk de grootheden A' en L' te berekenen en wel direct uit Z met de zeer eenvoudige formules (7) en (10). Om de nog ontbrekende grootheden te bepalen kunnen wij een van de volgende kunstgrepen toepassen.

d. Voor de periode, waarin de lekzoekdienst een voorzieningsgebied voor de eerste maal onderzoekt, is het mogelijk bij gegeven aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken a_1' , aantal opgespoorde lekken b_1 en omlooptijd Z , de overige belangrijke grootheden te berekenen met een stelsel eenvoudige vergelijkingen.

e. Bij regelmatige toepassing van lekzoeken geldt de onder d genoemde conclusie eveneens, echter met die beperking, dat voor $k < 1$ slechts de op de onderzochte toestand betrekking hebbende looptijd L' en het aantal lekken A' zonder meer kunnen worden berekend. De looptijd L en het aantal lekken A behorende bij de toestand zonder lekzoeken kunnen in dit geval echter worden bepaald uit de gegevens, ontleend aan de eerste rondgang van de lekzoekdienst.

f. Aan het einde van de eerste rondgang van de lekzoekdienst zijn het aantal in de grond aanwezige lekken en de looptijd teruggebracht tot de waarden die bij regelmatig lekzoeken optreden. De gemiddelde looptijd L' en het aantal lekken A' worden voor $k < 1$ door andere formules bepaald dan voor $k > 1$. (Zie tabel I). Voor $k < 1$ is de gemiddelde looptijd gelijk aan de halve omlooptijd.

g. Met toenemende waarde van k neemt de verhouding tussen het aantal lekken A' bij regelmatig lekzoeken en A zonder lekzoeken toe. Voor $k = 1$ bedraagt deze verhouding 0,5. Voor de looptijden L' en L geldt hetzelfde.

h. Het verband tussen het aantal lekken a dat ontstaat, het aantal b dat door de lekzoekdienst wordt opgespoord en het aantal a' dat aan de oppervlakte verschijnt is bij een eerste rondgang van de lekzoekdienst anders (zie tabel II) dan bij regelmatige rondgang (zie tabel I). Bovendien is het verschillend voor $k < 1$ en $k > 1$.

i. Bij regelmatige rondgang is het aantal met lekzoeken opgespoorde lekken voor $k < 1$ constant en wel gelijk aan het aantal lekken dat ontstaat. Er verschijnen dan geen lekken aan de oppervlakte. Bij toeneming van k , van $k = 1$ af, treedt een snelle vermindering van het aantal opgespoorde lekken en een snelle toeneming van het aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken op.

j. Bij een eerste rondgang is het totale aantal lekken $a_1' + b_1$ dat wordt geëlimineerd, groter dan bij regelmatige rondgang. Voor $k = 0,5$ is het 2,5 maal zo groot, voor $k = 1,0$ is deze verhouding 1,5 en voor $k = 2$ nog slechts ruim 1,1.

k. Het lijkt in het algemeen gezien van weinig nut de omlooptijd veel groter dan de looptijd te kiezen, omdat het aantal opgespoorde lekken bij toenemende k van $k = 1$ af sterk vermindert.

SAMENVATTING

van

*Mededeling no 3 van de Commissie Waterverlies (Cowa)
van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen
N.V. KIWA*

*„Afleiding en beschouwing van enkele vergelijkingen, die
het lekzoekprobleem beschrijven”*

Een aantal vergelijkingen, die de invloed van het lekzoeken op de looptijd van lekken en op het aantal gelijktijdig aanwezige, de opgespoorde en de aan de oppervlakte verschijnende lekken in waterleidingen demonstreren, wordt afgeleid. Deze vergelijkingen worden beheerst door de verhouding k tussen de omlooptijd, waarin het voorzieningsgebied wordt gecontroleerd en de gemiddelde looptijd, die verstrijkt tussen het ontstaan en het aan de oppervlakte verschijnen van lekken. Bij een gegeven aantal opgespoorde lekken, aan de oppervlakte verschijnende lekken en omlooptijd kunnen de looptijd en het aantal in de grond aanwezige lekken worden berekend. Dit geldt niet alleen bij regelmatig lekzoeken maar ook indien in een voorzieningsgebied voor de eerste maal naar lekken wordt gezocht.

Uit de beschouwingen volgt, dat het aanbeveling verdient, de omlooptijd gelijk aan ($k = 1$) of iets kleiner dan de looptijd der lekken te kiezen.

De conclusies kunnen als volgt worden samengevat.

a. De gegeven berekeningswijze voor het vaststellen van het aantal en de looptijd van de in de grond aanwezige lekken zal wegens de in de praktijk voorkomende discontinuïteiten in het algemeen niet meer kunnen zijn dan een ruwe benadering van de werkelijkheid. Gezien de schaarse gegevens, waarover men veelal beschikt zullen de berekeningsresultaten in verschillende gevallen echter ongetwijfeld van nut kunnen zijn.

b. Het rapport geeft een inzicht in het lekzoekprobleem in het algemeen, waardoor mede ten behoeve van de economische zijde van het probleem een betere prognose kan worden gemaakt ten aanzien van de gevolgen die bepaalde maatregelen in verband met het lekzoeken kunnen hebben.

c. De vergelijkingen, die het lekzoekprobleem beschrijven, worden beheerst door de verhouding k tussen de omlooptijd Z en de looptijd L .

1. De gegevens uit de eerste periode van het lekzoeken, dus betreffende de eerste rondgang van de lekzoekdienst door het voorzieningsgebied, analyseren. Hier voor zij verwezen naar punt 7.
2. De omlooptijd tijdelijk zodanig vergroten, dat de berekening voor $k > 1$ kan worden uitgevoerd. Deze methode is minder elegant dan die genoemd onder 1, omdat de normale gang van zaken hierdoor wordt verstoord.

Om een indruk te verkrijgen van het verloop van de diverse grootheden, zijn deze voor verschillende waarden van k berekend (zie tabel III) en als functie van deze grootheid uitgezet in afb. 3. De grootheden zijn hierbij steeds uitgedrukt in de waarden A , a of L die bepalend zijn voor de toestand zonder lekzoeken en bij variatie van k als constant zijn te beschouwen.

Uit afb. 3 blijkt, dat het aantal opgespoorde lekken constant en maximaal is voor waarden van $k \leq 1$, doch voor $k > 1$ met toenemende waarde van k sterk vermindert. Het heeft daarom weinig zin de omlooptijd groter dan bv. 1 à 2 maal de looptijd te kiezen. Voor $k = 1$ wordt het aantal aanwezige lekken tot de helft gereduceerd. Voor $k = 2$ bedraagt het aantal lekken, dat wordt opgespoord, nog slechts 25% van het aantal, dat zonder lekzoeken aanwezig is. Voor nog grotere waarden van k wordt dit percentage nog geringer. Tenslotte nadert het aantal gelijktijdig aanwezige lekken het aantal, dat zonder lekzoeken aanwezig zou zijn ($Z = \infty$).

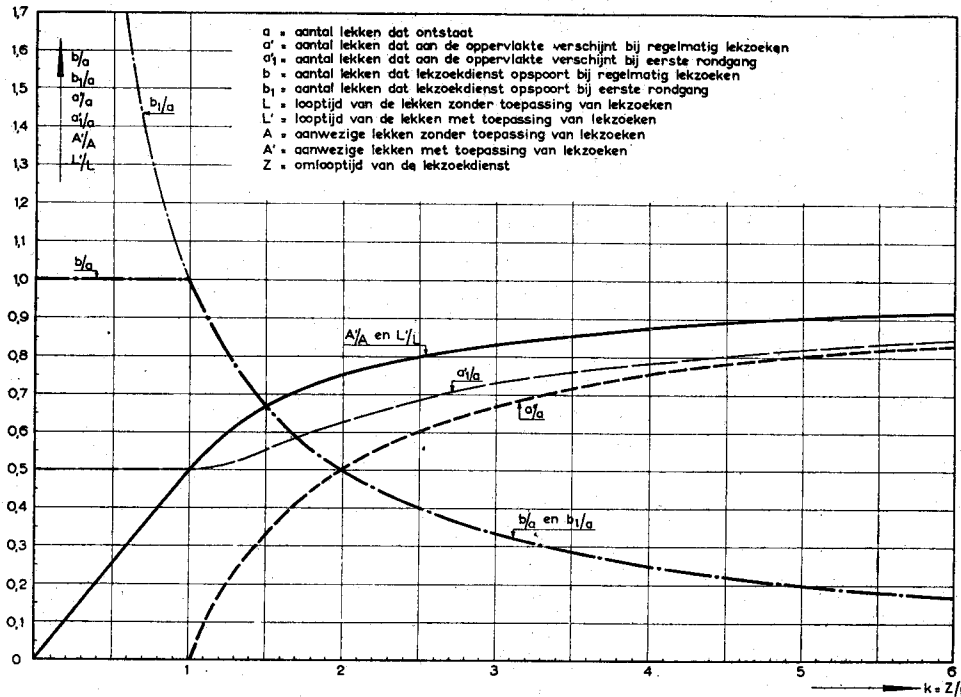
Wordt de omlooptijd kleiner dan de looptijd gekozen, dan worden weliswaar niet méér lekken gevonden, maar het totale aantal in de grond aanwezige lekken wordt evenredig met afnemende k verminderd. Het optredende lekverlies wordt dus verder verkleind. Nu is het waarschijnlijk (lit. 2), dat de lekken in de beginperiode na het ontstaan slechts klein zijn en weinig waterverlies geven. Het „vangen” van deze lekken is dus in het algemeen niet zó belangrijk. Tegen het einde van de looptijd schijnen de lekken vrij snel in grootte toe te nemen, zodat reeds een grote vermindering van het lekverlies wordt verkregen, indien de gemiddelde looptijd tot de helft wordt verkleind, hetgeen voor $k = 1$ het geval is. In

dit geval is $\frac{a'}{a} = 0$, zodat de langst lopende lekken juist

aan de oppervlakte komen. Wil men het verschijnen van deze grote lekken vermijden, dan moet men k iets kleiner dan 1 stellen. Het is dus uit dit oogpunt aan te bevelen de omlooptijd gelijk aan of iets kleiner dan de gemiddelde

looptijd van de lekken te kiezen. Deze conclusie stemt overeen met die welke in het in de inleiding genoemde artikel werd getrokken (lit. 1).

Uiteraard moeten bij de bepaling van de omlooptijd ook andere met het bedrijf samenhangende factoren in ogenschouw worden genomen.



Afb. 3 Het verloop van enkele grootheden als functie van k

Aan de hand van een eenvoudig voorbeeld, ontleend aan uit de praktijk afkomstige gegevens, zullen nu de looptijd en het aantal aanwezige lekken worden berekend.

Gegeven: In een voorzieningsgebied, dat regelmatig met lekzoeken wordt gecontroleerd, komen per dag 3 lekken aan de oppervlakte. Verder worden 5 stuks door de lekdienst opgespoord. Het gebied wordt bij regelmatige controle in 400 dagen rondgegaan.

Gevraagd: De looptijden en het aantal aanwezige lekken voor de toestand zonder zowel als met lekzoeken.

Berekening: Gegeven zijn $a' = 3$, $b = 5$ en $Z = 400$ dagen. Het totale aantal lekken, dat per dag ontstaat, bedraagt volgens vergelijking (2.1)

$$a = a' + b = 8$$

omlooptijd veel groter dan de looptijd te kiezen, omdat het aantal opgespoorde lekken bij toenemende k van $k = 1$ af sterk vermindert.

12. Uitgaande van de veronderstelling, dat de lekken hun grootste verlies geven tegen het einde van hun looptijd, moet het raadzaam worden geacht de omlooptijd ongeveer gelijk aan of iets kleiner dan de normale looptijd der lekken te kiezen. De gemiddelde looptijd en het aantal aanwezige lekken worden dan ongeveer tot de helft teruggebracht.

Literatuur

1. „De Economie van het Lekzoeken”, door ir. P. J. van der Zanden en J. P. Cnossen; „Water”, 9 augustus 1956, blz. 209.
2. „Rapport betreffende het door de Commissie Watervlies ingestelde onderzoek naar de looptijd van lekken in dienstleidingen”, Mededeling No. 2 van de Commissie Watervlies van het KIWA; „Water”, 13 juni 1957, blz. 165.

December 1958.

ven, worden beheerst door de verhouding k tussen de omlooptijd Z en de looptijd L .

4. Voor de periode, waarin de lekzoekdienst een voorzieningsgebied voor de eerste maal onderzoekt, is het mogelijk bij gegeven aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken a_1 , aantal opgespoorde lekken b_1 en omlooptijd Z , de overige belangrijke grootheden te berekenen met een stelsel eenvoudige vergelijkingen.

5. Bij regelmatige toepassing van lekzoeken geldt de onder 4 genoemde conclusie eveneens, echter met die beperking, dat voor $k < 1$ slechts de op de onderzochte toestand betrekking hebbende looptijd L' en het aantal lekken A' zonder meer kunnen worden berekend. De looptijd L en het aantal lekken A behorende bij de toestand zonder lekzoeken, kunnen in dit geval echter worden bepaald uit de gegevens ontleend aan de eerste rondgang van de lekzoekdienst.

6. Aan het einde van de eerste rondgang van de lekzoekdienst zijn het aantal in de grond aanwezige lekken en de looptijd teruggebracht tot de waarden die bij regelmatig lekzoeken optreden. De gemiddelde looptijd L' en het aantal lekken A' worden voor $k < 1$ door andere formules bepaald dan voor $k > 1$ (zie tabel I).

Voor $k < 1$ is de gemiddelde looptijd gelijk aan de halve omlooptijd.

7. Met toenemende waarde van k neemt de verhouding tussen het aantal lekken A' bij regelmatig lekzoeken en A zonder lekzoeken toe. Voor $k = 1$ bedraagt deze verhouding 0,5. Voor de looptijden geldt hetzelfde.

8. Het verband tussen het aantal lekken a dat ontstaat, het aantal b dat door de lekzoekdienst wordt opgespoord en het aantal a' dat aan de oppervlakte verschijnt is bij een eerste rondgang van de lekzoekdienst anders (zie tabel II) dan bij regelmatige rondgang (zie tabel I). Bovendien is het verschillend voor $k < 1$ en $k > 1$.

9. Bij regelmatige rondgang is het aantal met lekzoeken opgespoorde lekken voor $k < 1$ constant en wel gelijk aan het aantal lekken dat ontstaat. Er verschijnen dan geen lekken aan de oppervlakte. Bij toeneming van k van $k = 1$ af treedt een snelle vermindering van het aantal opgespoorde lekken en een snelle toeneming van het aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken op.

10. Bij een eerste rondgang is het totale aantal lekken dat wordt geëlimineerd groter dan bij regelmatige rondgang. Voor $k = 0,5$ is het 2,5 maal zo groot, voor $k = 1,0$ is deze verhouding 1,5 en voor $k = 2$ nog slechts ruim 1,1.

11. Het lijkt in het algemeen gezien van weinig nut de

Uit vergelijking (3.2) volgt

$$k = \frac{a}{b} = \frac{8}{5}$$

Volgens vergelijking (1) is dan

$$L = \frac{Z}{k} = \frac{400 \times 5}{8} = 250 \text{ dagen}$$

Hiermee wordt volgens vergelijking (5)

$$A = aL = 8 \times 250 = 2000 \text{ lekken}$$

Uit vergelijking (6.2) volgt dan

$$A' = A \left(1 - \frac{1}{2k}\right) = 2000 \left(1 - \frac{5}{16}\right) = 1375 \text{ lekken}$$

Tenslotte vinden wij met vergelijking (8)

$$L' = \frac{A'}{a} = \frac{1375}{8} = 172 \text{ dagen.}$$

De waarden voor A' en L' kunnen ook uit afb. 3 worden

bepaald, door hierin voor $k = \frac{8}{5}$ de grootheden $\frac{A'}{A}$ en $\frac{L'}{L}$

af te lezen. Men vindt hiervoor 0,69. De conclusie is dus, dat in dit geval de looptijd en het aantal lekken resp. 250 dagen en 2000 stuks bedroegen en dat deze door lekzoeken worden teruggebracht tot 172 dagen en 1375 stuks.

7. Wijziging van het probleem, indien voor de eerste maal naar lekken wordt gezocht

De situatie die ontstaat, indien voor het eerst naar lekken wordt gezocht, dus als de lekzoekdienst voor het eerst rondgaat, wordt uiteraard ook verkregen, indien het lekzoeken gedurende een periode langer dan de looptijd wordt gestaakt. De lekken hebben dan nl. in het gehele gebied weer de gelegenheid aan de oppervlakte te komen. In de eerste plaats valt het op, dat wij hier niet te maken hebben met een stationaire toestand, maar met een overgangsperiode, waarin meer lekken worden opgespoord en aan de oppervlakte komen dan tijdens het regelmatige lekzoeken. Dit is vooral voor zeer lange looptijd en korte omlooptijd eenvoudig in te zien, als men bedenkt, dat er zich dan zeer veel lekken in de grond bevinden, die in korte tijd „opgeruimd” worden. De voor het stationaire geval afgeleide formule (2.1)

$$a = a' + b$$

gaat hier dan ook niet meer op. Duiden wij a' en b voor de eerste rondgang van de lekzoekdienst aan met een index 1 dan geldt thans

$$a < a'_1 + b_1$$

Hierbij zij opgemerkt, dat het aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken per dag aanvankelijk a is en aan het einde van de eerste rondgang a' bedraagt en in het begin dus van dag tot dag afneemt. Nu is a' het gemiddelde over de eerste rondgang, dat wordt bepaald door het aantal aan de oppervlakte verschijnende lekken, gedurende de eerste rondgang, te delen door de omlooptijd Z .

Daar de grootheden bij een eerste rondgang van de lekzoekdienst niet meer aan vergelijking (2.1) voldoen, moeten de formules (3) en (4) — zie tabel I — opnieuw onder de loep worden genomen. Slechts vergelijking (3.2) blijkt te kunnen worden gehandhaafd en, typisch genoeg, thans zowel voor $k < 1$ als voor $k > 1$ geldig te zijn. De afleiding van de gewijzigde formules (2), (3) en (4) geschiedt op soortgelijke wijze als voor het stationaire geval. Volstaan wordt hier met de vermelding van de uitkomsten. Deze zijn samengevat in tabel II.

TABEL II — Overzicht van de formules die gelden voor een eerste rondgang van de lekzoekdienst

$k < 1$	formule	$k > 1$	formule
$a_1' + b_1 = a(\frac{1}{2} + \frac{1}{k})$	(2.2)	$a_1' + b_1 = a(1 + \frac{1}{2k^2})$	(2.3)
$a = kb_1$	(3.3)	$a = kb_1$	(3.3)
$a_1' = \frac{a}{2}$	(4.3)	$a_1' = a(1 - \frac{1}{k} + \frac{1}{2k^2})$	(4.4)

Voor verschillende waarden van k zijn $\frac{a_1'}{a}$ en $\frac{b_1}{a}$ berekend (zie tabel III) en in afb. 3 uitgezet. Zoals reeds werd opgemerkt, blijkt voor kleine waarden van k tijdens de eerste rondgang een veel groter aantal lekken te worden geëlimineerd dan bij regelmatige controle. Voor $k = 0,5$ bv. is dit 2,5 maal zoveel. Voor $k = 1$ wordt deze verhouding 1,5 en voor $k = 2$ is deze nog slechts 1,13.

Aan het einde van de eerste rondgang van de lekzoekdienst zijn het aantal aanwezige lekken en de looptijd teruggebracht tot de waarden die bij regelmatig lekzoeken optreden. De hiervoor geldende formules kunnen dus weer aan tabel I worden ontleend.

In punt 6 werd reeds erop gewezen, dat k , A en L bij regelmatige rondgang van de lekzoekdienst niet zonder meer konden worden berekend uit de gegeven grootheden, indien $k < 1$ was. De overeenkomstige gegevens

TABEL III — Berekening van enkele grootheden als functie van k

$\frac{Z}{L} = k$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{2k}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{a'}{a}$	$\frac{A'}{A} = \frac{L'}{L}$	$\frac{1}{2k^2}$	$\frac{a_1'}{a}$	$\frac{b_1}{a}$
0			1	0	0		0,500	∞
0,25	4,000		1	0	0,125		0,500	4,000
0,50	2,000		1	0	0,250		0,500	2,000
0,75	1,333		1	0	0,375		0,500	1,333
1,00	1,000		1	0	0,500		0,500	1,000
1,00	1,000	0,500	1,000	0,000	0,500	0,500	0,500	1,000
1,25	0,800	0,400	0,800	0,200	0,600	0,320	0,520	0,800
1,50	0,667	0,333	0,667	0,333	0,667	0,222	0,555	0,667
1,75	0,571	0,286	0,571	0,429	0,714	0,163	0,592	0,571
2,00	0,500	0,250	0,500	0,500	0,750	0,125	0,625	0,500
2,50	0,400	0,200	0,400	0,600	0,800	0,080	0,680	0,400
3,00	0,333	0,167	0,333	0,667	0,833	0,055	0,722	0,333
4,00	0,250	0,125	0,250	0,750	0,875	0,031	0,781	0,250
5,00	0,200	0,100	0,200	0,800	0,900	0,020	0,820	0,200
6,00	0,167	0,084	0,167	0,833	0,916	0,014	0,847	0,167
10,00	0,100	0,050	0,100	0,900	0,950	0,005	0,905	0,100
∞	0	0	0	1	1	0	1	0

← zie tabel I → ← zie tabel II →

voor een eerste rondgang van de lekzoekdienst verschaffen deze mogelijkheid echter wel. Bezien wij de formules van tabel II dan blijkt k direct met de formules (3) en (4) te kunnen worden berekend uit a_1' en b_1 . De looptijd L en het aantal lekken A volgen dan weer, evenals voor $k > 1$ uit de vergelijkingen (1) resp. (5) (zie tabel I).

Uit het voorgaande blijkt wel, dat het van veel belang kan zijn te beschikken over de gegevens uit de periode, waarin voor de eerste maal naar lekken werd gezocht.

8. Conclusies

1. De gegeven berekeningswijze voor het vaststellen van het aantal en de looptijd van de in de grond aanwezige lekken zal wegens de in de praktijk voorkomende discontinuïteiten in het algemeen niet meer kunnen zijn dan een ruwe benadering van de werkelijkheid. Gezien de schaarse gegevens waarover men veelal beschikt, zullen de berekeningsresultaten in verschillende gevallen echter ongetwijfeld van nut kunnen zijn.
2. Het rapport geeft een inzicht in het lekzoekprobleem in het algemeen waardoor, mede ten behoeve van de economische zijde van het probleem, een betere prognose kan worden gemaakt ten aanzien van de gevolgen, die bepaalde maatregelen in verband met het lekzoeken kunnen hebben.
3. De vergelijkingen, die het lekzoekprobleem beschrij-