

Drukverhogingsinstallaties in gebouwen

Wie durft te zeggen, dat een werk af is?

Inleiding

Reeds voor 1940 kwamen er in Nederland een aantal hoge gebouwen voor, die qua watervoorziening niet rechtstreeks uit het betreffende waterleidingnet konden worden voorzien. Na de oorlog heeft in toenemende mate en meer speciaal in de grotere steden de hoogbouw, vooral ook in de woningbouw, een hoge vlucht genomen. Deze nieuwe gebouwen zijn alle toegerust met een drukverhogingsinstallatie, bestaande uit één of meer drukketels met compressor en één of meerdere pompen; een en ander uitgevoerd volgens de Algemene Voorschriften voor Drinkwaterinstallaties, de Norm NEN 1006. Sinds kort zijn aan de markt de drukketelloze installaties (over het algemeen ware beter te spreken van installaties met mini-drukketels).

Bij het Haagse bedrijf zijn in overleg met een aantal fabrikanten op proef enkele van deze installaties geplaatst geworden.

Nu er ca. 25 jaar op meer uitgebreide schaal ervaring met de conventionele drukverhogingsinstallaties is opgedaan en thans de eerste proefnemingen met de nieuwe constructies zijn verricht is het nuttig over de opgedane ervaring mededeling te doen en de voor- en nadelen van beide typen tegen elkaar af te wegen.

Waarom een nieuwe conceptie?

Nu zich na een langdurige ervaring met drukverhogingsinstallaties nieuwe uitvoeringen gaan aandienen, moet de conclusie getrokken worden, dat zich rond de conventionele drukverhogingsinstallatie een aantal problemen voordoet. Welke zijn de praktijkervaringen hiermede? Belangrijke aspecten, die daarbij een rol spelen zijn: de hoge installatiekosten, de veiligheid van de installatie en de kwaliteit van het afgeleverde water.

Theoretische grondslagen

Het is nuttig alvorens de voorschriften uit de huidige A.V.W.I. te toetsen aan de praktijkervaringen en -metingen, allereerst nader in te gaan op de fundamentele grondslagen voor de berekening van de drukverhogingsinstallatie.

Het ontwerp van een drukverhogingsinstallatie dient zodanig te geschieden, dat te allen tijde in de drinkwaterinstallatie over de gewenste hoeveelheid water onder voldoende druk kan worden beschikt. Hoewel in de bestaande A.V.W.I. niet nader wordt aangegeven wat onder voldoende druk moet worden volstaan, mag uit de inleidende paragrafen ter bepaling van de grootte van drukverhogingsinstallaties worden afgeleid, dat een goed ontwerp van een drinkwaterinstallatie inhoudt, dat de statische druk boven het maatbepalend tappunt te allen tijde 10 m wk groter is dan de hoogte van dat tappunt. Dit betekent, dat uitgaande van die waarde de drukverhogingsinstallatie het maximaal optredend momentverbruik moet kunnen leveren.

Uitgaande van dit beginsel kan worden gekozen uit twee mogelijkheden:

a. De grootte van de pomp wordt zodanig bepaald, dat het pompvermogen bij de inschakeldruk p_i gelijk moet zijn aan het maximaal optredende momentverbruik in de installatie. Tot voor kort was het uit technische overwegingen noodzakelijk om daarbij een drukketel op te stellen. De zo genoemde nuttige inhoud V_n (de inhoud van de ketel tussen de in- en de uitschakeldruk van de pomp, zie afb. 1) hiervan, werkt in feit als schakelvoorraad.

b. Indien het pompvermogen bij de inschakeldruk kleiner wordt gekozen dan het maximaal optredende momentverbruik in de installatie zal een deel van het verbruik uit de bijbehorende drukketel moeten worden gesuppleerd. Daarom is een hoeveelheid water nodig van bijvoorbeeld V_n^1 (zie afb. 1), in het vervolg de piekvoorraad genoemd. Indien deze hoeveelheid water wordt aangesproken, zal de druk dalen van p_i tot p_o , waardoor niet meer wordt voldaan aan de gestelde minimale druk voor het tappunt. Om een oplossing te kiezen, die gelijkwaardig is aan de eerdergenoemde mogelijkheid, zal p_o in dit geval dezelfde waarde moeten bezitten als p_i in de alternatieve oplossing.

Nadat de in- en uitschakeldruk, alsmede V_n , respectievelijk V_n^1 , nader

zijn vastgesteld en bovendien een keus is gedaan voor de grootte van de vaste voorraad V_r (zie afb. 1), kan met behulp van de Wet van Boyle de totale ketelinhoud voor beide oplossingen nader worden bepaald.

De hoge installatiekosten

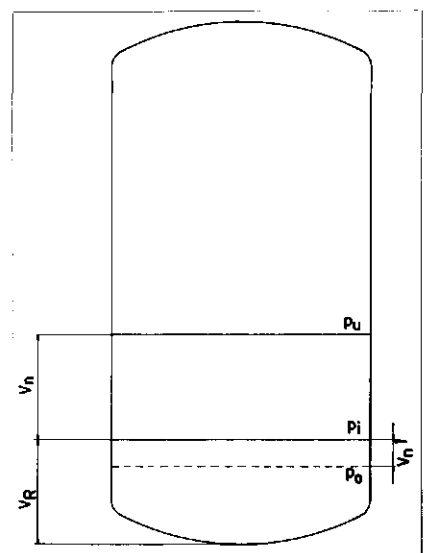
De volgens de conventionele methode (overeenkomstig de eisen in de AVWI) ontworpen drukverhogingsinstallatie steunt min of meer op het tweede beginsel. De gekozen grootte van de pomp komt, zoals zal blijken, in elk geval niet overeen met het maximale momentverbruik. De berekening van de installatie volgens de in de huidige AVWI opgestelde eisen en die sinds 1933 in wezen niet meer zijn gewijzigd, heeft duidelijk tot gevolg, dat naarmate het gebouw (c.q. het aantal woningen) groter wordt, de grootte van de drukketels eveneens belangrijk toeneemt.

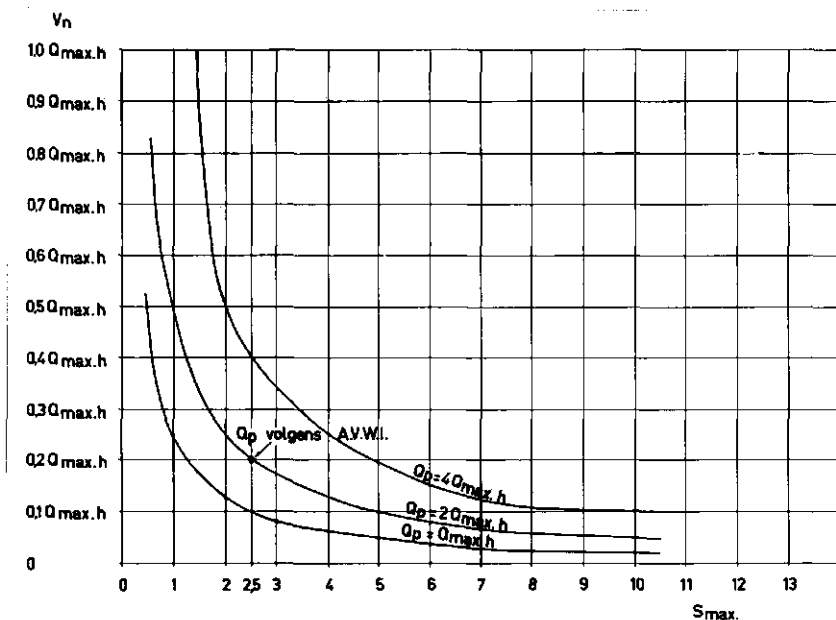
In verschillende bouwprojecten van enige omvang is deze grootte al zodanig, dat de ketels praktisch niet meer in een redelijke ruimte kunnen worden ondergebracht. De indruk bestaat bovendien, dat te zamen met de opgestelde pompen — althans voor het Haagse voorzieningsgebied — de installatie duidelijk te groot is.

De grootte van de nuttige inhoud V_n

Bij nadere beschouwing blijkt, dat de grootte van de nuttige inhoud V_n bij een bepaalde pompcapaciteit alleen

Afb. 1 - De drukketel.





Afb. 2 - Het verband tussen pompgrootte, aantal schakelingen en nuttige inhoud.

afhankelijk is van het maximaal toegestane aantal schakelingen van de pomp. Een en ander kan worden bepaald met de formule, zoals is gegeven in het Handboek voor het Waterleidingvak 1969, deel III, blz. 116:

$$V_n = \frac{Q_p}{4 S_{\max}} \quad (1)$$

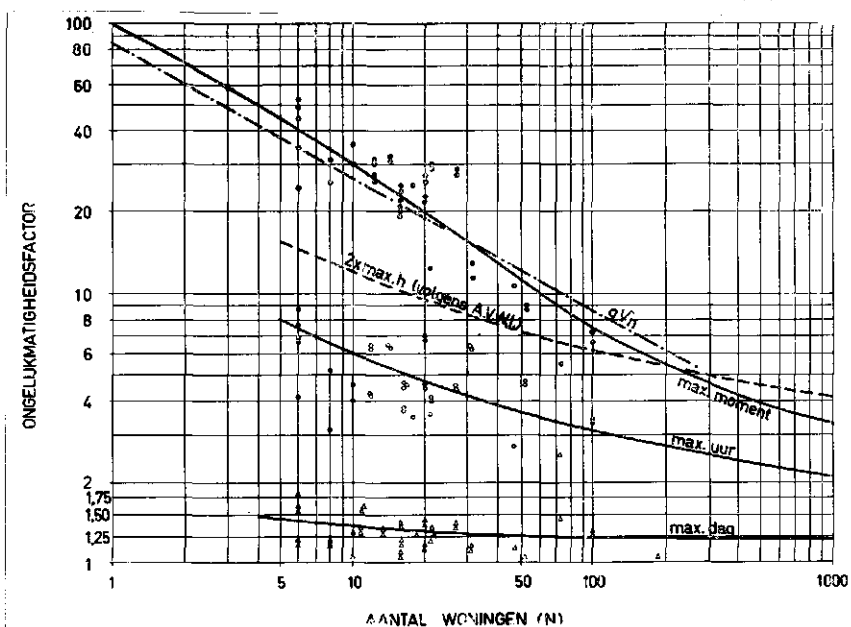
waarin Q_p de gemiddelde pompcapaciteit in m^3/h tussen in- en uitschakeldruk voorstelt en S_{\max} het maximaal toegestane aantal schakelingen per uur is.

In afb. 2 is de grafische voorstelling van deze formule weergegeven. Naarmate S_{\max} hoger wordt gekozen, kan V_n kleiner worden.

In de AVWI wordt voorgeschreven dat de nuttige inhoud van de drukketel ten minste gelijk moet zijn aan $1/5$ deel van het grootste verbruik per uur, terwijl het pompvermogen bij de inschakeldruk ten minste tweemaal het maximale uurverbruik moet zijn. Uit afb. 2 is te zien dat het maximale aantal schakelingen in 1 uur bij deze conceptie $2\frac{1}{2}$ bedraagt. Tevens is duidelijk waarneembaar, dat slechts een kleine variatie in deze keuze van het maximaal aantal schakelingen per uur (welke keus reeds in 1933 gebaseerd was op de technische mogelijkheden van de schakelapparatuur op dat moment) bij de gekozen pompgrootte belangrijke invloed op de grootte van V_n ten gevolge heeft. De verbeterde schakelapparatuur van de laatste jaren maakt het mogelijk, dat in feite onbeperkt kan worden geschakeld. Toch zal het bij voortdurend in- en uitschakelen van de pomp(en)

door te snelle drukwijzigingen in de installatie worden vermeden en wordt voor het maximaal aantal schakelingen een waarde gekozen tussen 6 en 10. Dit heeft tot gevolg dat V_n belangrijk kleiner kan worden gekozen dan in de AVWI wordt voorgeschreven (tussen $1/12$ en $1/20$ deel van het maximale uurverbruik). Bovendien blijkt dat het opvoeren van het aantal schakelingen verder betrekkelijk nut heeft omdat V_n daardoor nog slechts weinig zal wijzigen. Hiermede is reeds een deel van de verklaring gevonden, dat de drukketelinstallatie, ontworpen volgens de AVWI naar de huidige maatstaven tot een te grote en dus te dure installatie leidt.

Afb. 3 - Het verband tussen het aantal woningen en de ongelijkmatigheidsfactor(en).



Geconcludeerd moet verder worden, dat V_n als regelhoeveelheid alleen afhankelijk is van de grootte van de pomp. Immers, indien het maximaal aantal schakelingen wordt vastgesteld op 8, kan V_n worden bepaald met

$$V_n = \frac{1}{32} Q_{\text{pomp}}$$

Dit betekent, dat indien een te grote pomp wordt opgesteld — hetgeen in de praktijk nog wel voorkomt — tevens een te grote nuttige inhoud en daarmee een te grote drukketel wordt gekozen!

Om aan de wens naar een kleinere installatie tegemoet te komen, is nog-aleens de oplossing gekozen, waarbij de drukketels hoog werden opgesteld, bijvoorbeeld op de hoogste verdieping van een flatgebouw. Hoewel op grond van de AVWI V_n gelijk blijft, zorgt de Wet van Boyle in dit geval voor een kleinere inhoud van de drukketel.

Invloed van het aantal woningen

Een volgend punt, dat de aandacht vraagt, is de bepaling van het maximale momentverbruik ter bepaling van de grootte van de pomp. Evenals dat bij het ontwerp van een distributienet het geval is (zie mijn artikel in H_2O van 11 juni 1970) dient ook bij het ontwerp van drukverhogingsinstallaties rekening te worden gehouden met de ongelijkmatigheidsfactor. Deze factor geeft de verhouding weer tussen het optredende maximale verbruik gedurende een vastgestelde tijdsperiode (een moment, een kwartier, een uur) en het gemiddelde jaarver-

bruik. Door het Haagse bedrijf zijn binnen haar voorzieningsgebied een serie metingen verricht die verwerkt in een grafiek het verband weergeven tussen diverse ongelijkmatigheidsfactoren en het aantal woningen.

De resultaten worden weergegeven in afb. 3. Onder meer zijn de ongelijkmatigheidskrommen aangegeven voor het maximale momentane verbruik, het maximale uurverbruik en het maximale dagverbruik.

Volgens de bestaande AVWI dient een pomp te worden gekozen die bij de inschakeldruk een capaciteit bezit overeenkomende met tweemaal het maximale uurverbruik. In afb. 3 is de lijn, die daarbij behoort eveneens aangegeven. Duidelijk blijkt, dat deze lijn bij een aantal van ca. 200 woningen de ongelijkmatigheidskromme voor het maximale moment snijdt. Dit betekent, dat bij een installatie, die een groot aantal woningen moet voorzien, een pomp volgens de AVWI een capaciteit verkrijgt, die groter is dan het maximale momentverbruik, dat ooit op zal treden. In verband met de wetmatigheid tussen Q_p en V_n volgens (1) kan worden geconcludeerd dat in dat geval naast een te grote pomp ook een te grote drukketel wordt opgesteld.

Anders ligt de situatie ten aanzien van een installatie voor een klein aantal woningen. Daar blijkt de AVWI-pomp aanzienlijk kleiner te zijn dan wenselijk ware. In die situatie zal nu en dan aanspraak moeten worden gemaakt op de piekvoorraad van de drukketel.

Resumerend kan worden gesteld, dat de opstelling van een pomp volgens de AVWI voor een groot aantal woningen tot een te grote installatie leidt en voor een klein aantal woningen tot een pomp van te kleine capaciteit.

Voor de volledigheid is in afb. 3 ook nog de lijn aangegeven, waarmede drinkwaterinstallaties worden berekend overeenkomstig de formule $Q_{\text{max. mom.}} = q \sqrt{n}$.

Van de woningen waar de metingen werden verricht bleek het gemiddeld aantal tapeenheden $n = 8$ te bedragen. Het hoofdelijk verbruik bedroeg gemiddeld 88 l pppd. Duidelijk valt te constateren dat althans voor het Haagse voorzieningsgebied de geconstateerde momentane verbruiken goed met de gehanteerde formule overeenstemmen.

De grootte van de piekvoorraad

Het is bijzonder gewenst iets meer te weten te komen over de grootte van

de piekvoorraad V_n^1 , indien een pomp zou worden gekozen, die kleiner is dan het maximale momentverbruik aangeeft. De piekvoorraad heeft dezelfde functie als een reinwaterkelder in het distributienet. Indien het verbruik hoger is dan het pompvermogen kan opleveren, zal, nadat de centrifugaalpompe aanvankelijk het verbruik heeft gevolgd, uit de piekvoorraad worden gesuppleerd. Door vele waterleidingbedrijven wordt voor de vaste voorraad waarin de piekvoorraad is begrepen in aansluiting op de overige bepalingen in de AVWI een waarde aangehouden, die overeenkomt met 1/5 deel van de bruto-inhoud van de drukketel. De grootte van de piekvoorraad is uiteraard afhankelijk van het verbruikspatroon in de drinkwaterinstallatie en van de keuze van de grootte van de pomp. Het probleem is nu hoe dit verbruikspatroon eruit ziet.

Hoewel er bij de gedane proefnemingen meetapparatuur is gebruikt, die het verloop van het verbruik weergeeft ten opzichte van de tijd, schoot deze toch te kort om nauwkeurig de grootte van de piekvoorraad te kunnen bepalen. De piekvoorraad dient uiteraard te worden bepaald op grond van het verbruikspatroon gedurende een bepaalde verbruikstijd T . Vaststaat, dat, naarmate de periode T korter wordt gekozen, het maximaal voorkomende gemiddelde verbruik over die periode zal toenemen; het gemiddelde debiet gedurende een kwartier zal hoger liggen dan het gemid-

delde debiet gedurende een uur. Hoewel de meetgegevens ontoereikend waren, kan toch — om een globale indruk te verkrijgen — met enige vrijheid en met behulp van afb. 3 de hierbij afgebeelde afb. 4 worden opgesteld, die het verband aangeeft tussen een gekozen verbruikstijd T en het maximaal voorkomende debiet gedurende die tijd; een en ander in afhankelijkheid van het aantal woningen N . Indien nu bij de berekening wordt verwaarloosd, dat gedurende de periode T nog variaties in het verbruik optreden, kan de piekvoorraad worden bepaald met de volgende formule:

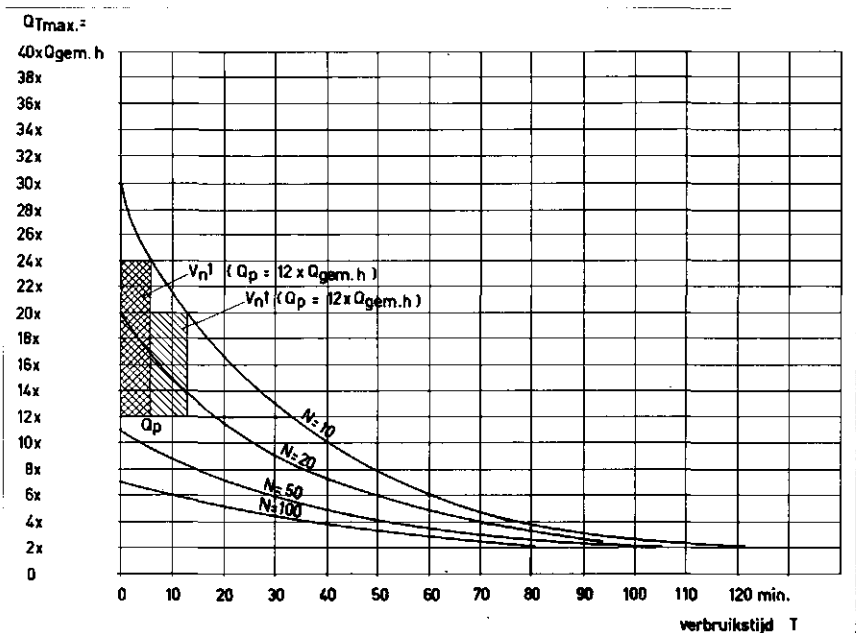
$$V_n^1 = \frac{T}{60} (Q_{T \text{ max}} - Q_p) \quad (2)$$

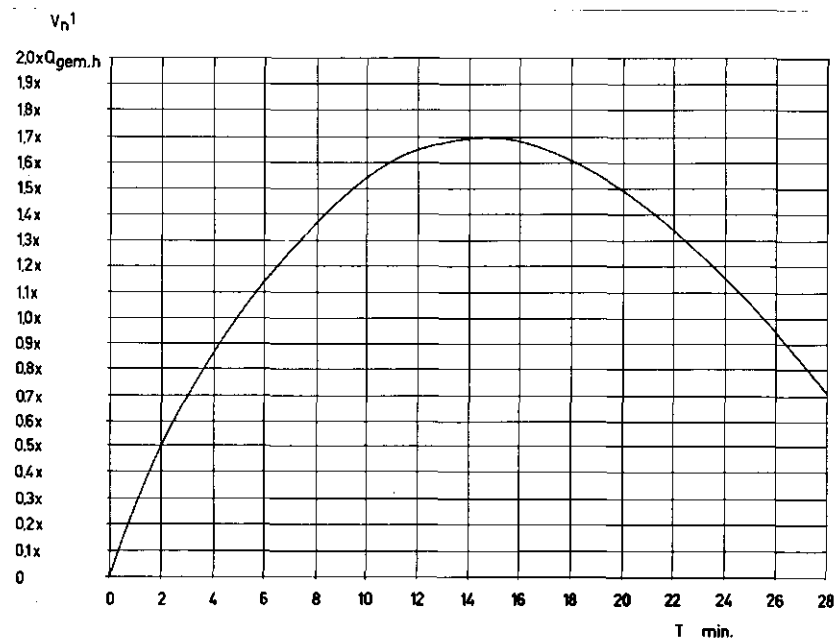
Hierin is $Q_{T \text{ max}}$ de waarde van het maximaal optredende verbruik gedurende een gekozen tijdsperiode T . Bij een gekozen aantal woningen kan nu bij een aangenomen grootte van de pomp voor elke willekeurige verbruikstijd T de piekvoorraad worden bepaald.

Gezocht moet worden naar de optimale waarde van V_n^1 . De waarde van de piekvoorraad volgens (2) is klein, als T klein is, of als het verschil van $Q_{T \text{ max}}$ en Q_p klein is.

Daartussen ligt het te bepalen optimum. Als voorbeeld is in afb. 5 voor 10 woningen en $Q_p = 12 Q_{\text{gem. h}}$ het verloop van de piekvoorraad V_n^1 in afhankelijkheid van T nader aangegeven. De gevonden optimale waarden van de piekvoorraad behorende bij

Afb. 4 - Het verband tussen het aantal woningen, de verbruikstijd en het maximale voorkomende verbruik gedurende die tijd.





Afb. 5 - De bepaling van de optimale waarde van de piekvoorraad (10 woningen en $Q_p = 12 Q_{gem, h}$).

diverse aantallen woningen en bij diverse grootten voor Q_p zijn weergegeven in afb. 6. Zowel de grootte van V_n^1 als de grootte van de pomp is in dit verband uitgedrukt in het gemiddelde verbruik per uur ($Q_{gem, h}$). Dit is namelijk de enige grootte, die bij een toename van het aantal woningen per woning niet varieert. Tevens is ingetekend de pompgrootte volgens de AVWI.

Geconcludeerd moet worden, dat de Q_p volgens de AVWI tot een variabele waarde voor de grootte van de piekvoorraad leidt. Verder neemt Q_p relatief toe als het aantal woningen, dat de drukverhogingsinstallatie bedient, kleiner wordt.

Praktische invloed van de te kleine pomp

Waartoe leidt het voorgaande voor de praktijk? De doelstelling is om een oplossing te creëren, waarbij de drukketel een zo klein mogelijke omvang heeft. Dat betekent dat de som van $V_n + V_n^1$ minimaal moet zijn. Berekeningen aan de hand van de voorgaande tonen aan dat deze waarde minimaal is bij een pomp, die het maximale moment zelf geheel kan opvangen. Bovendien leidt deze keus nog tot een minimaal stroomverbruik. De conclusie is derhalve, dat aan het opstellen van een pomp ter grootte van het maximale momentverbruik de voorkeur moet worden gegeven.

Het is tenslotte nuttig om voor een aantal — Haagse — gevallen een overzicht te geven van de pompgroot-

te, de nuttige inhoud V_n en de piekvoorraad V_n^1 en deze te vergelijken met de waarden volgens de AVWI. De resultaten ervan worden weergegeven in afb. 7. Uit deze tabel kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken:

- De nuttige inhoud van drukketels kan bij een toenemend aantal woningen per installatie belangrijk worden beperkt.
- De pompcapaciteit dient vooral voor kleine installaties te worden vergroot. In de praktijk zal dit nauwelijks een probleem opleveren, omdat

het thans reeds moeilijk is om pompen van een dergelijke kleine capaciteit te verkrijgen.

c. De vaste voorraad V_r kan belangrijk kleiner worden gekozen. Indachtig het feit dat de ongelijkmatigheidskrommen van afb. 3 het gemiddelde zijn van een betrekkelijk aantal metingen dient uit veiligheidsoverwegingen toch wel enige reserve aanwezig te zijn. Voorkomen moet worden, dat het luchtkussen in de installatie verdwijnt. Een redelijke waarde lijkt om 10 % van de totale ketelinhoud aan te houden.

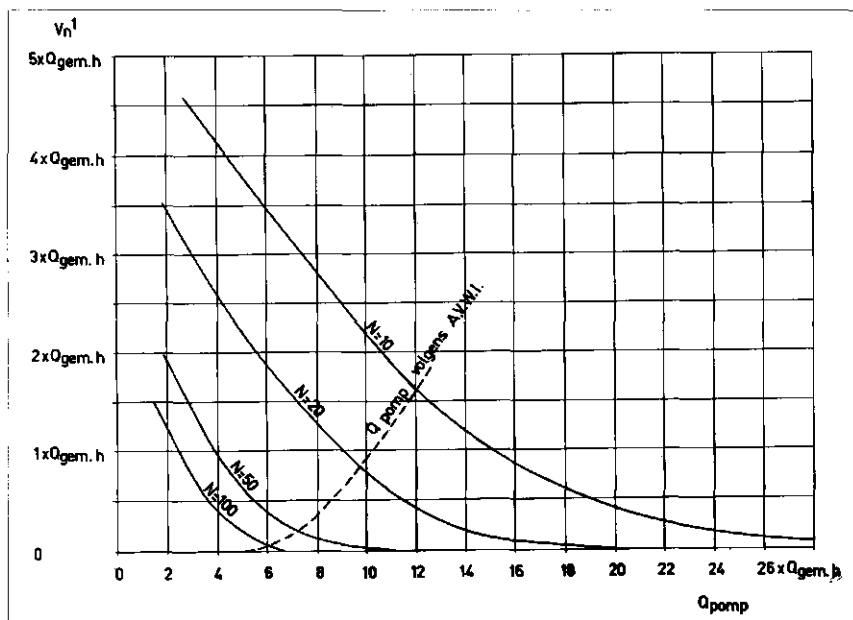
De drukketellose aanjaaginrichting

De techniek is thans zover voortgeschreden, dat er geen technische bezwaren meer bestaan om een pomp gedurende langere tijd op zijn nullast te laten lopen. Indachtig de theoretische grondslagen, die een pomp vereisen met een capaciteit gelijk aan het maximale momentverbruik, komt uiteraard de gedachte op om de drukketel geheel weg te laten en alleen te volstaan met het gewenste pompvermogen.

Daaraan zijn een aantal voordelen verbonden te weten:

- Er is ook ten opzichte van de verbeterde conventionele oplossing minder opstellingsruimte vereist.
- De installatie is qua explosiegevaar veiliger geworden. Bij de conventionele installatie kunnen in dat opzicht problemen ontstaan, bijvoorbeeld indien de pomp of de compressor worden vervangen door exempla-

Afb. 6 - Het verband tussen de grootte van de pomp en de piekvoorraad in afhankelijkheid van het aantal woningen.



Afb. 8 - Aantal pompschakelingen bij toepassing van vertragsrelais.

DAG	AANTAL SCHAKELINGEN PER UUR VAN RESP. POMP 1-2-3																							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
28-2-70 Za.	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1-3-70 Zo.	12	-	9	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-
2-3-70 Ma.	11	-	5	-	3	-	4	-	6	-	17	-	20	-	17	-	20	-	17	-	20	-	17	-
3-3-70 Di.	9	-	5	-	4	-	3	-	6	-	16	-	20	-	16	-	20	-	16	-	20	-	16	-
4-3-70 Wo.	10	-	6	-	5	-	4	-	8	-	15	-	21	-	15	-	21	-	15	-	21	-	15	-
5-3-70 Do.	8	-	5	-	4	-	5	-	8	-	8	-	9	-	8	-	9	-	8	-	9	-	8	-
6-3-70 Vr.	7	-	6	-	6	-	5	-	8	-	8	-	9	-	8	-	9	-	8	-	9	-	8	-
7-3-70 Za.	9	-	5	-	5	-	4	-	5	-	10	-	9	-	10	-	9	-	10	-	9	-	10	-
8-3-70 Zo.	9	-	8	-	6	-	6	-	9	-	7	-	9	-	9	-	10	-	9	-	9	-	9	-

2 min vertraging
6 min vertraging

AANTAL SCHAKELINGEN PER UUR VAN RESP. POMP 1-2-3

UREN

AANTAL WONINGEN N	VOLGENS THEORETISCHE GRONDSLAGEN			VOLGENS A. V. W. I.			
	Q _{pomp}	V _n (+V _n ¹ =0) ¹⁾	Q _{max} .h	Q _{pomp}	V _n	V _n ¹	V _n + V _n ¹
10	30 Q _{gem} .h	0,94 Q _{gem} .h	60 Q _{gem} .h	120 Q _{gem} .h	1,2 Q _{gem} .h	17 Q _{gem} .h	290 Q _{gem} .h
20	20 Q _{gem} .h	0,62 Q _{gem} .h	4,8 Q _{gem} .h	96 Q _{gem} .h	0,96 Q _{gem} .h	0,86 Q _{gem} .h	1,82 Q _{gem} .h
50	11 Q _{gem} .h	0,34 Q _{gem} .h	3,6 Q _{gem} .h	7,2 Q _{gem} .h	0,72 Q _{gem} .h	0,16 Q _{gem} .h	0,88 Q _{gem} .h
100	7 Q _{gem} .h	0,22 Q _{gem} .h	3,0 Q _{gem} .h	6,0 Q _{gem} .h	0,6 Q _{gem} .h	0,02 Q _{gem} .h	0,62 Q _{gem} .h

1) S_{max} = 8

Afb. 7 - Overzicht van de „ontwerp” resultaten.

ren, die voor de berekende c.q. geteste drukketel te hoge drukken geven. Bovendien kan de drukketel door veroudering in dit opzicht moeilijkheden veroorzaken. In de praktijk heeft dit nog weinig problemen gegeven. Anderzijds is het thans moeilijk door de geringe ervaring aan te geven, waar de begrenzingen zullen liggen. De vraag wanneer een installatie opnieuw moet worden gekeurd, kan dan ook niet volledig worden beantwoord.

c. De mogelijkheid van infectie door verontreinigde lucht, ingebracht door de compressor is afwezig. Eveneens kunnen geen smaakbezwaren ontstaan veroorzaakt door de inwendige bescherming van de drukketel.

d. Het pompbedrijf zonder schakelingen is rustiger, er zijn geen drukstoten of stroompieken.

e. Bij de bestaande installaties bestaat de mogelijkheid, dat bij een onderbreking van de watertoevoer of door het doorlopen van de compressor bij een automatische installatie de lucht uit de ketel in de binnenleiding geraakt, waardoor geisers kunnen worden beschadigd. Bij de drukketelloze installatie bestaat deze mogelijkheid niet.

f. De verwachting bestaat, dat door het ontbreken van een luchtkussen en een ketel het onderhoud aan de drukketelloze installatie minder zal zijn dan met de conventionele opstelling. In veel gevallen moet de drukketel door het oplossen van lucht in het water regelmatig worden bijgesteld.

Naast de vele voordelen, die aan de ketelloze aanjaaginrichting kunnen worden toegekend, mogen ook een

aantal nadelen worden verwacht. Bij de Haagse proefopstellingen is daar een onderzoek naar ingesteld. Dat waren:

a. temperatuurverhoging. Door het draaien in „dood” water wordt het drinkwater in temperatuur verhoogd. Speciaal in kantoorgebouwen, waar gedurende het weekend geen water getapt wordt kan dit mogelijk een probleem zijn. De metingen zijn verricht in woongebouwen, die derhalve alleen 's nachts weinig verbruik hebben gehad. De temperatuur bij een kleine installatie (21 woningen, 1 pk motor) liep in de pomp op met ca. 25° C, terwijl op een ver van de pomp gelegen tappunt (de 7e bouwlaag) toch altijd nog een temperatuurstijging van 5° werd gemeten.

Overigens werden tijdens de proefperiode door de bewoners geen klachten geuit. Verwacht kan echter worden, dat bij grotere installaties en bij installaties voor kantoorgebouwen in verband met de weekend-pauze de temperatuurstijging een probleem kan worden.

b. het energieverbruik. In verband met het doorlopen van de pomp, ook tijdens uren dat geen of weinig water wordt verbruikt kost de drukketelloze installatie meer energie. Bij de gehouden proefnemingen zijn diverse proefinstallaties parallel geschakeld aan bestaande installaties. Aangezien de opgestelde pompen van de proefinstallaties niet identiek waren aan de pompen van de bestaande installaties, was een zuivere vergelijking niet mogelijk. Het energieverbruik van een drukketelloze installatie kan echter wel tot het dubbele bedragen van de waarden van de conventionele installatie.

Overigens werden tijdens de proefperiode door de bewoners geen klachten geuit. Verwacht kan echter worden, dat bij grotere installaties en bij installaties voor kantoorgebouwen in verband met de weekend-pauze de temperatuurstijging een probleem kan worden.

c. geluidshinder tijdens „stille” uren.

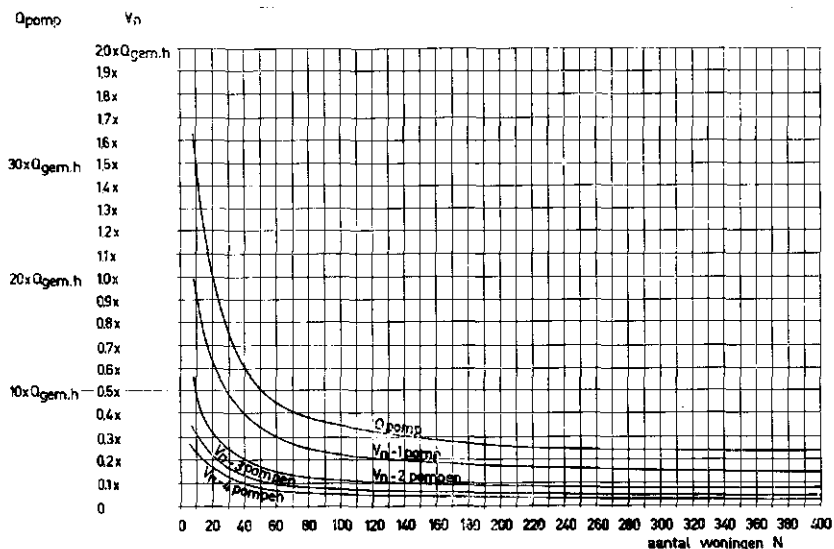
Bij de proefopstellingen bleek, soms na correctie, dat uiteindelijk bij een goede, dus geïsoleerde, opstelling van de pompen de bewoners geen last van geluidshinder ondervonden.

d. de bedrijfsveiligheid is minder. Bij de conventionele installatie zal het installeren van een te kleine pomp in vergelijking met het te verwachten maximale momentverbruik niet snel tot klachten leiden. Het zal immers niet vaak voorkomen, dat het maximale momentverbruik juist optreedt op het tijdstip, dat het niveau in de ketel ongeveer gelijk is aan de inschakeldruk. Bij de drukketelloze installatie zal een te klein gekozen pomp praktisch direct opvallen.

De installatie met miniketel

Het hogere energieverbruik bij de drukketelloze installatie wordt als een belangrijk bezwaar ondervonden. Over een geheel jaar gezien en gekapitaliseerd zal dit tot een zodanig bedrag leiden dat de financiële voordelen van de minder ruimtevergende en compactere opstelling teniet wordt gedaan. Speciaal ook in kantoorgebouwen is er dan nog het bezwaar, dat de installatie gedurende het week-end volledig in bedrijf is, zonder dat er enig noemenswaardig verbruik is. Praktisch alle fabrikanten hebben dan ook een opstelling geconstrueerd, waarbij een drukketel van kleine omvang aanwezig is.

Met het oog op afb. 2 betekent dit, indien geen bijzondere maatregelen worden genomen, dat de pomp bij-



Afb. 9 - Ontwerfgrafiek voor het Haagse voorzieningsgebied.

zonder vaak zal schakelen. Bij de gehouden proeven was een aantal schakelingen van 40 maal per uur geen zeldzaamheid. Dit effect wordt nog versterkt indien een te grote pomp wordt opgesteld. Zijn er oplossingen om aan deze bezwaren tegemoet te komen? De volgende mogelijkheden dienen zich aan:

a. een vlakke karakteristiek van de pomp

Het opstellen van een pomp met een vlakke karakteristiek, die overigens voldoet aan de eis, dat de opbrengst bij de inschakeldruk gelijk is aan het maximale momentane verbruik, heeft tot gevolg dat het vermogen van de pomp bij de uitschakeldruk kleiner is dan van een pomp met een steile

karakteristiek. Omdat bij de bepaling van de grootte van V_n gerekend wordt met de gemiddelde pompopbrengst heeft een en ander tot gevolg dat bij de vlakke pompkarakteristiek V_n kleiner kan worden gekozen en/of het aantal schakelingen vermindert. Het bezwaar van de vlakke pompkarakteristiek is met name indien de druk tijdens nullast van de pomp slechts weinig hoger ligt dan het niveau van de uitschakeldruk, dat de installatie erg gevoelig is voor de voordruk van de installatie. Bij een iets lagere druk in het hoofdleidingnet dan waarop was gerekend blijft de pomp reeds doorlopen. Het verschil tussen de opvoerhoogte bij nullast en het uitschakelniveau moet om die reden 5-10 m wk blijven bedragen. Dit houdt in dat

Afb. 10 - Overzicht van de controleproeven.

DATUM	DAG	UREN																								
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
24-8-70	Ma.																									
31-8-70	Ma.																									
7-9-70	Ma.																									
14-9-70	Ma.																									
21-9-70	Ma.																									
28-9-70	Ma.																									

de mogelijkheid van toepassing van een pomp met vlakke karakteristiek alleen kan worden toegepast bij de grotere installaties.

b. *groter drukverschil tussen in- en uitschakeldruk*

Deze waarde, die normaal 15-20 m wk bedraagt zou kunnen worden vergroot, waardoor de totale ketelinhoud kleiner van afmetingen wordt. Bezwaren zijn, dat de wisselingen in druk voor de tappunten nog groter zullen worden, terwijl de drukketel vanwege de hogere er in optredende druk duurder zal worden; redenen waarom van deze mogelijkheid praktisch geen gebruik kan worden gemaakt.

c. *aanbrengen van een groter aantal pompen*

Gebruikmakend van de wetenschap, dat het maximale aantal schakelingen optreedt op het moment, dat het verbruik de helft van de opbrengst van de pomp bedraagt leidt tot de gedachte om voor de installatie niet één pomp met een capaciteit van het te verwachten maximale momentverbruik op te stellen, maar afhankelijk van de grootte van de installatie twee of meer pompen.

Immers in het geval dat 2 pompen worden opgesteld betekent dit dat de V_n tot de halve waarde kan worden beperkt en de drukketel dus eveneens half zo groot zal worden. Bij het opstellen van drie pompen wordt de drukketel tot 1/3 van de oorspronkelijke grootte teruggebracht! Deze oplossing heeft bovendien het voordeel,

dat de capaciteit van de reservepomp kan worden beperkt.

Deze oplossing, die vooral voor een grotere installatie aantrekkelijk is, heeft bovendien nog het voordeel, dat te hoge drukstoten, die immers afhankelijk zijn van het optredende verschil in snelheid in de leidingen, worden uitgebannen, terwijl ook de toepassing van sterddriehoekschakelingen kunnen worden vermeden.

d. *aanbrengen van vertrags-apparatuur*

Een methode om tot vermindering van het aantal schakelingen, en daardoor tot een kleinere V_n te komen is om de pomp na het bereiken van de uitschakeldruk nog enige tijd te laten doorlopen. Het drukverschil tussen de inschakeldruk en de druk bij nullast van de pomp mag in die situatie gezien het gestelde onder b. niet meer dan 20 m wk bedragen!

Hoelang moet de pomp nog doorlopen. Bij de Haagse proefnemingen zijn bij een installatie voor 72 woningen, waarbij 3 pompen zijn opgesteld, met behulp van een registrerende ampèremeter metingen verricht bij een doorlooptijd van 2 minuten en bij een doorlooptijd van 6 minuten. Afb. 8 geeft daarvan in tabelvorm enige resultaten. Aangegeven is het aantal malen per uur, dat een bepaalde pomp in bedrijf kwam. De resultaten overziende kunnen een drietal conclusies worden getrokken:

a. Het verlengen van de doorlooptijd geeft een rustiger beeld met minder schakelingen te zien.

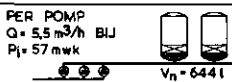
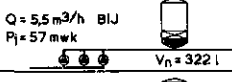
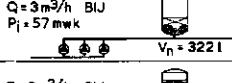
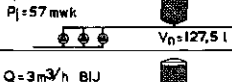
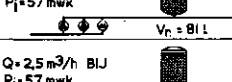

b. Bij de korte doorlooptijd van 2 minuten blijkt de 2e pomp vele malen te worden ingeschakeld, zelfs de 3e pomp nu en dan een enkele maal. Bij de doorlooptijd van 6 minuten wordt slechts nu en dan de 2e pomp ingeschakeld.

De verbruikspieken, die het aanslaan van meerdere pompen veroorzaken duren hier kennelijk langer dan 2 minuten en korter dan 6 minuten; V_n werkt hier overigens als echte nuttige inhoud. Het systeem zorgt ervoor dat V_n altijd zo volledig mogelijk ingeschakeld blijft.

c. De installatie is overdag praktisch altijd werkzaam. Immers bij de doorlooptijd moet nog enige tijd gerekend worden van het moment, dat de pomp wordt ingeschakeld tot het tijdstip, dat het uitschakelniveau wordt bereikt. Bij de 2 minuten doorlooptijd maar zeker bij de 6 minuten doorlooptijd is overdag de installatie praktisch voortdurend werkzaam. Overwogen kan derhalve worden om gedurende de daguren met behulp van een tijd klok de eerste pomp zelfs continu te laten lopen. Het zal op het energieverbruik weinig effect hebben en in die situatie zou kunnen worden volstaan met een drukketel van minimale inhoud.

De grootte van de nuttige inhoud hangt in dat geval af van:

1. het aantal malen dat de tweede pomp wordt ingeschakeld;
2. het verbruik 's nachts;
3. de vermindering van te snelle drukwisselingen voor geisers met water-

GROOTSTE VERBRUIK m ³ /h	ETMAAL VERBRUIK m ³	Qpompen + Vn ketels	TOTAAL AANTAL SCHAKELINGEN			MAX. AANTAL SCHAKELINGEN			MAX. AANEEN GESLOTEN LOOPTIJD min.			TOT. LOOPTIJD PER ETMAAL min.			Qpomp Qgem. uurverbr.	MINIMUM OPGETREDEN DRUK mwk
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3		
4,8	43,6	PER POMP Q = 5,5 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 644 l	36	-	-	3	-	-	96	-	-	503	-	-	3,50	58,0
4,4	42,7	Q = 5,5 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 322 l	77	-	-	5,5	-	-	35	-	-	501	-	-	3,50	59,0
4,3	44,6	Q = 3 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 322 l	31	5	-	3	2	-	280	21	-	845	52	-	1,91	57,3
3,9	42,8	Q = 3 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 127,5 l	74	9	-	6	4	-	254	10	-	798	51	-	1,91	57,4
4,4	45,5	Q = 3 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 81 l	88	20	-	8	7	-	130	8	-	860	88	-	1,91	58,0
4,8	44,9	Q = 2,5 m ³ /h P ₁ = 57 mwk  V _n = 81 l	60	24	4	7	6,5	3	325	57	4	947	196	11	1,59	55,5

hoeveelheidsregelaars, hetgeen zou resulteren in een variabele temperatuur van het warme water.

Verwacht wordt dat met een drukketel met een nuttige inhoud van ca. 10 l — 15 l kan worden volstaan.

Van de vier mogelijkheden, die genoemd zijn om de grootte van de nuttige inhoud in gunstige zin te beïnvloeden blijken de laatste oplossingen — het aanbrengen van een groter aantal pompen en het aanbrengen van vertragingsapparatuur — het meeste effect te hebben.

De combinatie van de beide oplossingen leidt tot een optimaal resultaat.

Het verdient aanbeveling de drukverhogingsinstallatie in deze richting verder te ontwikkelen, omdat een dergelijke opstelling een maximaal aantal voordelen inhoudt. Naast de lage investeringskosten en de ruimtebesparing is tevens een minimaal energieverbruik te verwachten. Het aantal op te stellen pompen zal kunnen worden bepaald door de kosten van de „extra” pomp inclusief de duurdere schakelapparatuur af te wegen tegen de kostenbesparing van de kleinere drukketel. Ook de gebruikelijke opstelling van 2 drukketels heeft in dit verband weinig zin meer. Zijn er moeilijkheden met de ketel, dan kunnen de pompen mits goed gekozen gedurende de storingstijd continu blijven lopen.

Conclusies

De voorgaande beschouwingen maken het mogelijk om voor het ontwerpen van een drukverhogingsinstallatie twee goede systemen aan te geven.

a. *het verbeterde conventionele systeem (dus zonder bijzondere hulpmiddelen)*

Met de aangegeven mogelijkheden — groter aantal schakelingen, meerdere pompen etc. — is het thans eenvoudig om — althans voor het Haagse bedrijf — de spelregels te geven, die in acht moeten worden genomen bij de berekening van drukverhogingsinstallaties. De resultaten zijn neergelegd in afb. 9, waaruit op eenvoudige wijze de capaciteit van de op te stellen pomp(en) en de nuttige inhoud van de drukketel, een en ander afhankelijk van het aantal woningen, zijn te bepalen. Het zou bijzonder nuttig zijn indien ook andere bedrijven (waaronder niet bemeterde!) eveneens metingen zouden verrichten aan soortgelijke installaties, zodat het mogelijk wordt in de te wijzigen AVWI nieuwe uniforme en landelijke voorschriften vast te stellen.

b. *het systeem met gebruikmaking van bijzondere hulpmiddelen*

Met de tot nu toe verkregen ervaring lijkt het systeem met een kleine drukketel (nuttige inhoud ca. 10-15 l) met vertragingsapparatuur of met tijd-klokoverbrugging en meerdere pompen zeker een gelijkwaardige oplossing te geven.

Controleproeven

Uiteraard was het nuttig om de verkregen verrassende resultaten in de praktijk te controleren. Daartoe is een bestaande installatie, bestemd voor 182 woningen geleidelijk verkleind. Deze installatie bestaat uit 2 drukketels, elk met een bruto-inhoud van 2500 l en 3 pompen, die bij de inschakeldruk een opbrengst hebben van 5,5 m³/h en bij de uitschakeldruk van 4 m³/h.

Aangevangen is metingen te verrichten aan de bestaande installatie (gemiddeld verbruik per etmaal ca. 43,6 m³, gemiddeld verbruik per woning per etmaal ongeveer 240 liter, grootste tapmoment 8,8 m³/h). Tevens is bepaald het aantal schakelingen per etmaal van de verschillende pompen, het maximale aantal schakelingen in een willekeurig uur, de maximale aangesloten looptijd van de pompen, alsmede de totale looptijd per pomp per etmaal. Overeenkomstig de theoretische grondslagen en uitgaande van het huidige verbruik zou volgens afb. 9 een V_n nodig zijn van ca. 90 liter, terwijl een pomp grootte moet worden gekozen van ca. 10 m³/h; per pomp (reserve niet meeberekend) derhalve ca. 3,3 m³/h. Stapsgewijs is van de bestaande installatie naar deze situatie toegewerkt, waarbij beurtelings de nuttige inhoud V_n en de pomp grootte werden geknepen. De resultaten van de verrichte metingen zijn weergegeven in afb. 10. Duidelijk blijkt, dat bij een verkleining van de pomp grootte het maximale aantal schakelingen, zowel per etmaal als per uur, toeneemt tot een bepaalde waarde en daarna vermindert, omdat de pomp gedurende lange tijd blijft lopen zonder te schakelen. Daarbij gaan automatisch de andere pompen meer schakelen. De parameter ter beoordeling van het resultaat is in feite het minimale drukniveau, dat tijdens de metingen is opgetreden. Uit de gegevens blijkt, dat de kleine installatie ($Q_p = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ $V_n = 81 \text{ l}$) uitstekend heeft gewerkt en aan de verwachtingen heeft voldaan. Verdere verkleining van de pomp heeft tot gevolg, dat de

minimale druk van in dit geval 57 m wk wordt onderschreden.

Drukverhoging in kantoorgebouw en industriële installaties

De gehouden beschouwingen betreffen tot nog toe drukverhogingsinstallaties in woongebouwen. Het aanbrengen van dergelijke installaties in kantoorgebouwen en fabrieken komt eveneens veelvuldig voor. Ook deze installaties zullen, ontworpen naar de huidige AVWI, veel te groot uitvallen. Omdat nog over betrekkelijk weinig gegevens ten aanzien van metingen betreffende dit soort installaties wordt beschikt, is een theoretische benaderingswijze minder eenvoudig als met woningen. Er kan echter worden gesteld, dat de ongelijkmatighedsfactoren van dit soort verbruik, over het algemeen lager zullen liggen dan overeenkomt met een zodanig aantal woningen dat een zelfde piekverbruik heeft. Het lijkt aanbevelenswaardig de industriële installaties te ontwerpen overeenkomstig afb. 9, waarbij met behulp van het maximale te verwachten momentverbruik de installatie wordt omgerekend naar woning-equivalenten.

Slotbeschouwing

Aan de hand van de bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage verrichte metingen alsmede met behulp van de daaraan verbonden beschouwingen is duidelijk aangetoond, dat de in de huidige AVWI vastgelegde voorschriften ter bepaling van de grootte van de drukverhogingsinstallatie sterk zijn verouderd. Vooral voor de grotere installaties leiden deze voorschriften tot een overmatige grootte van de pomp en van de drukketel. Aangegeven wordt op welke wijze deze installaties dienen te worden berekend. Vooral het verhogen van het maximaal aantal schakelingen, alsmede het opstellen van meerdere pompeenheden leiden tot aanzienlijke verkleining van de drukketel. Een installatie voor 100 woningen zal — indien met 3 pompen wordt gewerkt — een drukketelgrootte bezitten die ca. 10 % bedraagt van de volgens de huidige AVWI ontworpen ketel!

Mede wegens de ervaringen met drukketelloze installaties wordt de voorkeur gegeven aan een installatie met een kleine drukketel, meerdere pompen en met vertragingsrelais of tijd-klok.