

Projektering van waterbehoefte in stedelike gebiede (Deel 1): Metodologiese oorsig

CJ Pretorius¹, MF Viljoen², RB van der Merwe¹ en IE van Niekerk¹

¹ Instituut vir Sosiale en Ekonomiese Navorsing, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Posbus 339, Bloemfontein 9300, Suid-Afrika

² Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Posbus 339, Bloemfontein 9300, Suid-Afrika

Summary

The need for accurate forecasting of water demand in South Africa should become increasingly important, since the supply of water is progressively becoming more limited, while the demand continues to grow in accordance with population increase and development. The first step in forecasting the demand for water is to determine which factors influence the demand in a specific area. The most common factors influencing the demand for water are briefly discussed in this article, followed by an exposition of various forecasting methods such as analytical and phenomenological extrapolation, regression and economical mathematical models, interviews, analogical models and structure analysis. After a suitable method has been decided upon, the model has to be developed. Models that are considered are a general, the IWR-MAIN and the TEHERAN model.

Samevatting

Die behoefte aan akkurate watervraagprojeksies in Suid-Afrika behoort in die toekoms al belangriker te raak, aangesien die aanbod van water toenemend beperk raak, terwyl die vraag saam met bevolkingsgroei en ontwikkeling toeneem. Die eerste stap in die projektering van watervraag is gewoonlik om te bepaal watter faktore die vraag in 'n spesifieke gebied beïnvloed. Die algemeenste faktore wat die vraag na water kan beïnvloed, word kortliks in die artikel bespreek, gevolg deur 'n uiteensetting van verskillende projeksiemetodes soos analitiese en fenomenologiese ekstrapolasie, regressiemodelle, ekonomiese wiskundige modelle, onderhoude, analogiese modelle en struktuurontledings. Nadat op 'n gepaste metode besluit is, moet die model ontwikkel word. Modelle waarna gekyk word, is 'n algemene, die IWR-MAIN en die TEHERAN-model.

Inleiding

Die ontwikkeling van waterbronne om in die behoeftes van stedelike verbruikers te voorsien, neem heelwat tyd in beslag. Dit is dus gewens dat toekomstige waterbehoefte periodiek geprojekteer word ten einde te verseker dat die nodige ontwikkeling betyds plaasvind. Die Instituut vir Sosiale en Ekonomiese Navorsing aan die Universiteit van die Oranje-Vrystaat het in 1981 so 'n waterbehoefteprojeksie vir Bloemfontein en omgewing en weer in 1992 vir die belanggebied van Bloemarea Waterraad onderneem. Die resultaat van dié navorsing word in 'n reeks van vier artikels bespreek. Die eerste hiervan (**Deel 1**) behels 'n metodologiese oorsig vir die projektering van waterbehoefte in 'n stedelike gebied. **Deel 2** handel oor 'n ex post analise van die akkuraatheid van verskillende projeksiemetodes in 'n stedelike gebied, terwyl **Deel 3** die meervoudige regressiemodel as makro-projeksiemodel vir 'n stedelike gebied evalueer. Die reeks artikels word afgesluit met **Deel 4** waarin die struktuuranalise as makroprojeksiemodel vir 'n stedelike gebied van nader beskou word.

In die huidige artikel (**Deel 1**) word faktore wat die vraag na water beïnvloed van nader beskou, waarna enkele projeksiemetodes toegelig word. Die artikel word afgesluit met 'n bespreking van projeksiemodelle waarin onder andere na 'n algemene, die IWR-MAIN en TEHERAN-model gekyk word.

Faktore wat die vraag na water beïnvloed

Ten einde die vraag na water te kan projekteer, is dit voor die hand liggend dat alle relevante veranderlikes wat 'n invloed op die vraag het, by 'n voorspellingsmodel ingesluit moet word. Die onderskeie veranderlikes word vervolgens bespreek.

Openbare owerheidsoptrede

Deur 'n verskeidenheid van direkte en indirekte beleidsmaatreëls en optredes is die owerheid van die dag op nasionale, provinsiale en plaaslike vlak besig om die aard en omvang van menslike aktiwiteite te beïnvloed en te rig ten einde in te pas by die oorhoofse nasionale, streek- en plaaslike ontwikkelingsdoelstellings (Kollar en Macauley, 1980). Op nasionale vlak word byvoorbeeld gesorg dat oorhoofse ruimtelike ordening van 'n bepaalde gebied by die breëre nasionale doelwitte inpas. Voorts word die ontwikkelingstempo van bepaalde sektore ook onder andere deur die daarstelling van sekere nasionale infrastruktuur-dienste beïnvloed. Die provinsiale owerhede lewer ook beslisse bydraes in voorgenoemde verband.

Plaaslike owerhede beïnvloed waterverbruik in stedelike gebiede op verskeie maniere. As gevolg van die voorsiening van dienste, wat ook munisipale geboue en parke insluit, is die plaaslike owerheid 'n betekenisvolle verbruiker van water. Waterverbruik word ook beïnvloed deur die grootte van woonerwe, tempo van erfontwikkeling, wyse waarop water aan huisbewoners voorsien word, deursnit van pype en waterdruk, beskikbare fasiliteite vir suiwering en hergebruik, watertariefstruktuur, en aard en

* To whom all correspondence should be addressed.

Received 2 December 1993; accepted in revised form 11 November 1994.

omvang van waterbesparingsmaatreëls wat in spesifieke omstandighede toegepas word.

Demografiese faktore

Bevolkingstoename is die belangrikste demografiese faktor wat by die bepaling van toekomstige waterbehoefte in ag geneem moet word, aangesien dit 'n wesenlike uitwerking op feitlik alle waterverbruiksgroepe het (Gebhardt, 1975). Ander demografiese faktore wat 'n invloed op huishoudelike verbruik kan hê, is gesinsgrootte en ouderdomsamestelling (Darr et al., 1975; Hanson en Hudson, 1966; Wolff, 1961; Linaweaver et al., 1967). Die algemene patroon wat na vore kom, is dat waterverbruik saam met gesinsgrootte toeneem en afneem namate mense ouer word.

Kulturele en etniese faktore

Ten opsigte van kulturele en etniese faktore kan gemeld word dat daar binne die Republiek van Suid-Afrika (RSA) betekenisvolle verskille in *per capita* waterverbruik deur die onderskeie bevolkingsgroepe voorkom (Gebhardt, 1970; Van Duuren, 1978). Die hoogste verbruik kom voor by blankes, gevolg deur Kleurlinge en swartes. Selfs binne die swart bevolkingsgroep word verskille in dié verband tussen etniese groepe aangetref (Gebhardt, 1970).

Sosio-ekonomiese faktore

Sosio-ekonomiese faktore speel nie net 'n rol ten opsigte van verskille in huishoudelike waterverbruik deur die onderskeie groepe nie, maar gee ook aanleiding tot afwykings binne sekere bevolkingsgroepe. Van die vernaamste geïdentifiseerde faktore wat tiperend is van 'n bepaalde lewenstandaard, is gehalte van woonbuurt, waardasie van eiendom, grootte van erf, getal vertrekke in woonhuis, gesinsgrootte, inkomste van huishouding, aanwesigheid van spoelriolering en aard en omvang van waterverbruikstoerusting (Gebhardt, 1970; Ellis en Van Duuren, 1974; Van Duuren, 1978). Verhoging in lewenstandaard, wat positief gekorreleer is met toename in waterverbruik, behoort in die toekoms 'n beduidende invloed op die vraag na water in die RSA uit te oefen.

Ekonomiese faktore

Hoewel sekere ekonomiese faktore, soos die prys van water, inkomste van die gesin, nywerheidsaansporingsmaatreëls en ander subsidies deur die Sentrale Owerheid, 'n invloed op verbruik het (Katzman, 1977), is daar 'n reeks ander faktore wat op 'n meer indirekte wyse 'n rol speel. Dit is naamlik daardie faktore wat die samestelling, aard en omvang, sowel as die winsgewendheid van sakeondernemings en nywerhede in 'n gebied bepaal, of meer spesifiek, vestigings- en markfaktore.

Tegno-ekonomiese faktore

Tegno-ekonomiese faktore het, op hul beurt, betrekking op masjinerie, installasies en toerusting wat die ekonomie van watervoorsiening en -verbruik beïnvloed. Aan die voorsieningskant behels dit onder andere die hoogteplasing van reservoirs, die grootte van pompe en die deursnee van toevoerpype (Gebhardt, 1975; Bobee et al., 1980). Aan die verbruikskant behels dit die plasing, aantal en effektiwiteit van krane en kleppe, die aanwending van water in nywerheidsproduksieprosesse, soos verkoeling,

prosessering en reiniging (Kollar en Macauley, 1980), en die doeltreffendheid van spoelriolering in openbare en ander geboue, sowel as van waterverbruikstoerusting soos outomatiese wasmasjiene en skottelgoedwassers.

Natuurlike faktore

Die natuurlike faktor wat aan die voorsieningskant die grootste invloed op waterverbruik het, is die fisiese hoeveelheid water wat beskikbaar gestel word. In dié verband kan die aanwesigheid van private boorgate binne stedelike woongebiede die hoeveelheid water wat van owerheidsweë beskikbaar gestel moet word, beïnvloed. Ook klimaatsfaktore, soos temperatuur en reënval, het 'n betekenisvolle invloed, veral op die hoeveelheid water wat byvoorbeeld in tuine verbruik word (Van Duuren, 1978; Linaweaver et al., 1967).

Waterbeperkings

Die hooforsaak van waterbeperkings is die feit dat die hidrologiese siklus tot gevolg het dat daar periodiek te min water aan die verskillende verbruikers beskikbaar gestel word. Andersins mag dit ook gebeur dat fasiliteite vir die beskikbaarstelling van water, soos damme, pypleidings, kanale, suiweringswerke, ensovoorts onvoldoende blyk te wees. Wat ookal die oorsaak, die gevolg is dat dit soms nodig is om vir bepaalde periodes sekere maatreëls in te stel. Eerstens, ten einde te voorkom dat 'n totale watertekort ontwikkel en, tweedens, om 'n regverdige/billike verdeling van beskikbare water tussen verskillende verbruikers te bewerkstellig (Van Zyl en Viljoen, 1986).

Diverse faktore

Benewens bogenoemde faktore is daar ook verskeie ander, soos spitstydskommeling, wat neig om met verloop van tyd groter te word, wat die vraag na water beïnvloed. Hierdie faktore moet ook deeglik in die beplanning van watervoorsieningstelsels verreken word ten einde te verseker dat in die vraag voorsien kan word.

Projeksiemetodes

Vervolgens word 'n oorsig gegee van verskillende metodes en klassifikasies van metodes om toekomstige waterbehoefte te bepaal. Elke metode sou geklassifiseer kon word as 'n vooruitskatting, 'n projeksie of 'n kombinasie van die twee.

Lauria (1974) definieer 'n vooruitskatting as 'n beraming van die toekomstige staat van 'n veranderlike gebaseer op 'n aantal eksplisiete aannames. Sou die hoeveelheid water wat deur 'n gemeenskap verbruik word deur faktore soos bevolking, *per capita* inkomste, prys en reënval bepaal word, sal 'n beraming van die toekomstige waterbehoefte gebaseer wees op spesifieke waardes wat die veroorsakende veranderlikes kan aanneem. Hierdie veranderlikes, tesame met die interverwantskappe en waardes, verteenwoordig dan die aannames waarop die vooruitskatting gebaseer is. 'n Projeksie, daarenteen, is 'n beraming van die toekomstige staat van 'n veranderlike gebaseer op die ekstrapolasie van historiese tendense. By projeksië word derhalwe aanvaar dat daar slegs een veroorsakende veranderlike, naamlik tyd, is.

Vir doeleindes van die bespreking word die metodes wat in die literatuur geïdentifiseer is eger in 6 groepe ingedeel, naamlik ekstrapolasie, regressiemodelle, ekonomiese wiskundige modelle, onderhoude, analogiese modelle en struktuurontledings.

Ekstrapolasie

Voorstanders van die ekstrapolasiemethode voer aan dat die toekoms 'n voortsetting van die hede in 'n algemene rigting is, wat derhalwe deur ontleding van die verlede bepaal kan word. Ten opsigte van dié metode kan onderskei word tussen analitiese en fenomenologiese ekstrapolasie.

Analitiese ekstrapolasie

Analitiese ekstrapolasie is op tydreeksontledings gebaseer, met tyd as die enigste onafhanklike veranderlike. Die wiskundige vorm van die voorspellingsmodel by analitiese ekstrapolasie word aan die hand van statistiese toetsingsmaatstawwe bepaal (Viljoen en Vivier, 1981).

Fenomenologiese ekstrapolasie

By fenomenologiese ekstrapolasie word die voorspellingsmodel op grond van logiese beredeneringe van ter sake aspekte bepaal en is dit, soos in die geval van analitiese ekstrapolasie, ook op tydreeksontledings gebaseer. Die wiskundige vorm van die voorspellingsmodel by fenomenologiese ekstrapolasie word egter op grond van logiese beredenering van ter sake aspekte bepaal (Viljoen en Vivier, 1981). Wiskundige modelle met logistiese en eksponensiële vorme is gewoonlik hier van toepassing.

Regressiemodelle

In teenstelling met ekstrapolasie, ressorteer regressiemodelle onder vooruitskattingsmetodes. Waar analitiese ekstrapolasie net tyd as onafhanklike veranderlike benut, behels regressiemodelle gewoonlik verskeie onafhanklike veranderlikes. Die uitgangspunt by die toepassing van regressiemodelle is dat die onafhanklike veranderlikes moontlike verandering in die afhanklike veranderlike kan verklaar (Viljoen en Vivier, 1981). Die modelle wat in paragraaf 4 bespreek word, is voorbeelde hiervan.

Ekonomiese wiskundige modelle

Ekonomiese wiskundige modelle is betreklik omvattend en omskryf verwantskappe tussen ekonomiese veranderlikes wiskundig. Drie sodanige tipes modelle is al in waterverbruikvooruitskattings gebruik, naamlik inset-uitset-, aanbod- en vraag-, en determinantmodelle.

Weens verskeie praktiese probleme word inset-uitsetmodelle nog nie algemeen in die praktyk toegepas nie. Met aanbod- en vraagmodelle kan vooruitskattings gemaak word, terwyl die ekonomie van watervoorsiening terselfdertyd verreken word. Die determinantmodel, daarenteen, is 'n ander meervergelykingsmodel wat komponente van beide voormelde twee modelle bevat. Dit is besonder geskik vir waterverbruikvooruitskattings vir 'n streek wat uit 'n sentrale bron van water voorsien word (Viljoen en Vivier, 1981).

Onderhoude

Deur middel van onderhoude kan die menings van individue en groepe bepaal, geëvalueer en as basis van vooruitskattings benut word. Twee tipes benaderings kan gevolg word, te wete deskundige beraming en die Delphi-metode (Viljoen en Vivier, 1981). By

deskundige beraming word inligting wat deur 'n aangewese paneel van deskundiges verskaf is, benut. Die Delphi-tegniek is gebaseer op stapsgewyse evaluering van die menings van deskundiges, byvoorbeeld deur dit herhaaldelik te hersien na gelang die menings van ander persone ook ingewin word.

Analogiese modelle

Analogiese modelle word onder logikamodelle geklassifiseer en baseer vooruitskattings op die aanname dat verwagte toekomstige omstandighede óf 'n vroeëre sogenaamd historiese analogie het, óf 'n ooreenkoms elders, naamlik die sogenaamde geografiese analogie, vertoon (Csérmak, 1976). Die historiese analogie is volgens Csérmak gerig op die identifisering van verwantskappe aan die hand van tydreeksontledings uit die verlede en die toepassing daarvan op toekomstige gebeure. Vanweë die feit dat verwantskappe wat in die verlede bestaan het met verloop van tyd in ooreenstemming met sosiale en ekonomiese omstandighede mag verander, word die bruikbaarheid van die metode bevraagteken. Gevolglik word vooruitskattings aan die hand van dié metode slegs komplementêr tot ander metodes benut (Viljoen en Vivier, 1981).

Struktuurontleding

Struktuurontleding behels ontleding aan die hand van aspekte soos verwagte ekonomiese, sosio-ekonomiese, sosiopolitieke en/of tegno-ekonomiese ontwikkeling, wat 'n invloed op die toekomstige vraag na water in 'n bepaalde geografiese gebied kan hê. Dit sluit onder andere in demografiese ontledings, ontledings van industriële groeipotensiaal en die ruimtelike ordening van ekonomiese aktiwiteite (Spies, 1981). Hierdie tipe ontleding inkorporeer gewoonlik ook ander voorspellingsmetodes soos tydreeksontledings en groeimodelle (Viljoen en Vivier, 1981)

Die ontwikkeling van 'n projeksiemodel

Nadat op 'n gepaste metode of kombinasie van metodes om die toekomstige vraag na water te beraam, besluit is, moet die model ontwikkel word.

Die ontwikkeling van 'n model behels gewoonlik die volgende stappe:

- Seleksie van die modelstruktuur (byvoorbeeld deur die keuse van veranderlikes)
- Keuse van die funksionele vorm (byvoorbeeld lineêr of logaritmes of 'n kombinasie van die twee)
- Berekening van modelkoëffisiënte (meestal deur middel van regressie-analise)
- Verifiëring en toetsing van die model
- Gebruik van die model om toekomstige waardes te beraam.

Die model moet in staat wees om, met inagneming van verskillende faktore, soos reënval, prys, bevolking, en dies meer, historiese waterverbruik redelik goed te verklaar. Verder moet dit watervraag kan projekteer deur gebruik te maak van voorspelde waardes van die tersaaklike veranderlikes. Ten einde die model op 'n spesifieke stad of belangegebied te kan toepas, moet sover moontlik van plaaslik beskikbare data gebruik gemaak word. Vervolgens word verskillende modelle vir die projektering van watervraag ter illustrasie bespreek.

'n Algemene model

'n Algemene wiskundige model vir die voorspelling van watervraag bestaan uit een of meer vergelykings wat waterverbruik of -vraag verklaar. Die volgende vergelyking dui byvoorbeeld die verband tussen watervraag, bevolkingsgrootte en *per capita* verbruik aan:

$$Q = cP + e$$

waar:

- Q = hoeveelheid water verbruik of die vraag na water vir 'n spesifieke periode (byvoorbeeld 'n jaar)
- c = *per capita* waterverbruik of -vraag
- P = bevolkingsgrootte
- e = foutfaktor of reswaarde met 'n verwagte waarde van nul

Volgens Lauria (1974) kan 'n meer algemene spesifisering van die model soos volg lees:

$$Q = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e$$

waar:

- Q = die hoeveelheid water wat oor 'n gegewe tydperk, byvoorbeeld 'n jaar, verbruik word
- b_0 = 'n konstante
- b_1, b_2, \dots, b_n = koëffisiënte
- X_1, X_2, \dots, X_n = waardes van verskillende veranderlikes
- e = foutfaktor

Alhoewel die ontwikkeling van 'n model vir die projeksie van watervraag in 'n groot mate deur beskikbare data bepaal word, is dit tog insiggewend om modelle wat reeds elders gebruik is, kortliks te bespreek.

Die IWR-MAIN model

Die basiese struktuur van dié model lyk soos volg:

$$Q_{t,d,s,i} = f(P, V, H, W, C, N, E) \quad (1)$$

waar:

- $Q_{t,d,s,i}$ = gemiddelde daaglikse waterverbruik in jaar t in seisoen d (somer of winter) in sektor s (byvoorbeeld enkelgesin residensiële verbruik) deur 'n verbruiker in kategorie i (byvoorbeeld huise met 'n spesifieke markwaarde)
- P = prys van water
- V = markwaarde van die behuisingseenheid
- H = aantal persone per behuisingseenheid
- W = weersomstandighede of klimaat
- C = omgewingsprogramme
- N = getal verbruikers
- E = getal werknemers

Verskillende groeperings van die veranderlikes, soos in Vgl. (1), kan gebruik word om waterverbruik deur die verskillende verbruikersektore en -kategorieë te voorspel. Individuele waterverbruik kan byvoorbeeld, met die oog op die uiteindelijke projektering van totale munisipale verbruik, soos volg bereken word:

$$Q_{t,d} = \sum_{s=1}^k \sum_{i=1}^n Q_{t,d,s,i}$$

waar k en n die aantal kategorieë en verbruikersektore in die voorspelling verteenwoordig, en die ander veranderlike soos bo gedefinieer is. Die feit dat 20 empiriese studies oor watervraag bestudeer is voordat die IWR-MAIN model ontwerp is, maak die model redelik gewild vir waterprojeksies in ander gebiede (Dziegielewski en Boland, 1989).

Die TEHERAN-model

'n Ekonometriese studie is gebruik om die invloed van stedelike bevolking, die aantal persele wat bedien word, *per capita* inkomste, die aantal residensiële/kommersiële eenhede en die prys van water op verbruik te beraam. In wiskundige vorm lyk die model soos volg (Vaidya en Tavakoli, 1979):

$$W_d = f(N, I, M, C, P)$$

waar:

- W_d = jaarlike residensiële/kommersiële verbruik van water (miljoen m^3)
- N = bevolking (miljoen)
- I = *per capita* inkomste (per jaar)
- M = getal residensiële/kommersiële eenhede
- C = getal aansluitings (byvoorbeeld getal persele wat bedien word)
- P = die prys van water (per m^3)

'n Groot struikelblok wat laasgenoemde model moes oorkom, was die hoë graad van saamlynigheid tussen 4 van die 5 veranderlikes, prys uitgesonderd. Dit impliseer dat die verhouding tussen die vraag na water en die ander veranderlikes nie sinvol deur 'n reglynige meervoudige regressie ontleed kan word nie.

Die "hoofkomponentmetode" is gebruik om die struikelblok te oorkom. In hoofsaak behels dié benadering die uitvoering van die volgende regressie:

$$W_d = f(P, Z_i)$$

waar W_d en P bly soos gedefinieer, terwyl Z_i geïnterpreteer kan word as die "prosperity index" en 'n lineêre kombinasie van 'n transformasie van die oorblywende veranderlikes is. 'n Voltooide vraagfunksie kan verkry word deur die Z_i in die regressie te vervang. Die prosedure het tot hoogs bevredigde ekonometriese resultate gelei, met die gevolg dat die TEHERAN-model met groot vrug vir die projektering van watervraag aangewend kan word (Vaidya en Tavakoli, 1979).

Samevatting

Uit die oorsig blyk enersyds dat 'n verskeidenheid van faktore die vraag na water beïnvloed en andersyds dat verskillende modelle toegepas kan word om die vraag na water te beraam. Die keuse van die beste model/metode sal van geval tot geval verskil afhangende van die relatiewe belang van verskillende vraagbeïnvloedende faktore, beskikbare data en kennis van projeksiemetodes. Meermale word van meer as een metode gebruik gemaak ten einde 'n sinvolle projeksie te kan maak. Die drie dele van die artikel wat nog volg, doen verslag van navorsing in dié verband.

Erkenning

Finansiële ondersteuning van die Waternavorsingskommissie vir die onderneem van die navorsing word met dank erken.

Bronnelys

- BOBEE, B, BOUCHER, P and DEMARD, H (1980) A method for estimating peak water demand of multifamily residences. *Water Resour. Bull.* (Urbana III) **16**(4) 729-737.
- CSERMAK, B (1976) *Forecasting of Longrange Water Demands*. United Nations Economic Commission for Europe ECE/Water/015 136-144.
- DARR, P, FIELDMAN, SH and KAMEN, CS (1975) Socio-economic factors affecting domestic water demand in Israel. *Water Resour. Res.* **11**(6) 805-809.
- DZIEGIELEWSKI, B and BOLAND, JJ (1989) Forecasting urban water use: The IWR-MAIN model. *Water Resour. Bull.* **25**(1) 101-109.
- ELLIS, SJP en VAN DUUREN, FA (1974) Waterverbruik in Pretoria. *The Civil Eng. in SA*.
- GEBHARDT, DS (1970) The influence of income on future domestic water consumption. *Water Year 1970: Convention on Water for the Future* (Pretoria: November 1970) 1-7.
- GEBHARDT, DS (1975) The effect of pressure on domestic water supply, including observations on the effect of limited garden watering. Restrictions during a period of high demand. *Water SA* **1**(1).
- HANSON, R and HUDSON, HE (1966) Trends in residential water use. *J. of the Am. Water Works Assoc.* **48**(1).
- KATZMAN, MT (1977) Income and price elasticities of demand for water in developing countries. *Water Resour. Bull.* **13**(1).
- KOLLAR, KL and MACAULEY, P (1980) Water requirements for industrial development. *J. of the Am. Water Works Assoc.*
- LAURIA, DT (1974) Water demand forecasting: Some concepts and techniques. *The State of America's Drinking Water National Symposium* (September 1974) 235-258.
- LINAWEAVER, FPJ, GEYER, JC and WOLFF, JB (1967) Summary report of the residential water use research project. *J. of the Am. Water Works Assoc.* **59**(3).
- SPIES, PH (1981) Projekvoorlegging aan die Direkoraat van Waterwese. Eenheid vir Toekomsnavorsing, Buro vir Ekonomiese Onderzoek, Universiteit van Stellenbosch, Stellenbosch.
- VAIDYA, K and TAVAKOLI, A (1979) Optimal allocation of water for rural and urban use in developing countries with special reference to Iran. *Int. Techn. Coop. Centre Rev.* **1**(29) 1-19.
- VANDUUREN, FA (1978) Daarstelling van Norme vir Waterverbruik in die Verskillende Geografiese Gebiede. Departement Chemiese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria.
- VAN ZYL, JH en VILJOEN, MF (1986) Die Sosio-ekonomiese Gevolge van Waterbeperkings op Besproeiingsboerdery, Mynbou, Elektrisiteitsvoorsiening en die Sentrale Owerheid. Instituut vir Sosiale en Ekonomiese Navorsing, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- VILJOEN, MF en VIVIER, DJ (1981) Projeksie van Waterbehoefes van Bloemfontein en Omgewing tot die Jaar 2010. Instituut vir Sosiale en Ekonomiese Navorsing, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- WOLFF, JB (1961) Peak demands in residential areas. *J. of the Am. Water Works Assoc.* **64**(10).