



לא להשאלה

תכן אופטימלי לגודל מתקני רשת אספקת מים ותפעולם

חיבור על מחקר

לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת התואר
מגיסטר למדעים בהנדסה וניהול משאבי מים

אלעד זלומונס

הספריה המרכזית ע"ש אלישר

מס' 2238703 מערכת

הוגש לסנט הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

יולי 2001

חיפה

תמוז תשס"א

תקציר

רשת אספקת מים (Water distribution network) הינה מערכת של רכיבים הידראוליים שמטרתה להעביר כמויות של מים ממקורות המים אל הצרכנים, תוך קיום אילוצי ספיקה ועומד.

מקובל לחלק את הבעיה הכללית לשלושה שלבים:

1. תכנון כללי (Planning) – בשלב זה נקבעים מקורות המים, הצרכנים ודרישותיהם ותנוחת הרשת המקשרת ביניהם.
2. תכן (Design) – בשלב זה נקבעים הגדלים הפיזיים של הרכיבים ההידראוליים במערכת. כמו-כן, נקבעת צורת תפעולם תחת סדרה של מצבי עומס טיפוסיים (למשל שעה ממוצעת) וקיצוניים (למשל שעת שיא או אספקת מים לכיבוי אש).
3. תפעול (Operation) בזמן אמת – בשלב זה, כאשר המערכת קיימת, יש לקבוע את צורת תפעול הרכיבים ההידראוליים במערכת.

שלושת שלבי התכנון תלויים זה בזה ומשפיעים אחד על השני. עד-כה, התרכזו העבודות הקודמות בבעיית התכן בלבד עקב מורכבות הבעיה שהיא לא קמורה ולא חלקה. בעבודה זו תוצג שיטה לפתרון בעיות התכן והתפעול במשולב. לפתרון זה יש צורך בתהליך של סימולציה בזמן התכנון לאורך תקופת התכן כגון יום שיא. בניגוד לשיטה של מצבי עומס, בה אין קשר הידראולי בין המצבים השונים, דרושה שיטה בה ייווצר הקשר על-ידי הכנסת גודל האוגר כמשתנה החלטה.

הנתונים המגדירים את הבעיה בעבודה זו הנם מיקום מקורות המים, הצרכנים ודרישותיהם על פני תקופת התכנון (לדוגמא 24 שעות), תנוחת הרשת, עלויות הרכיבים ההידראוליים ועלות האנרגיה המשתנה על פני תקופת התכנון. משתני ההחלטה בעבודה זו יהיו קוטרי הצינורות, הספקי המשאבות וצורת תפעולם על פני תקופת התכנון ונפח האיגום הדרוש לתפעול אופטימלי של המערכת.

שיטת הפתרון שנבחרה היא באמצעות אלגוריתמים גנטיים. אלגוריתמים גנטיים הם שיטת חיפוש המבוססת על עיקרון הברירה הטבעית ועקרונות הגנטיקה. תחילה נבחר, באופן אקראי, אוסף של פתרונות התחלתיים המיוצגים בצורה של מחרוזת בינרית. על אוסף זה מופעלים מספר אופרטורים המדמים תהליכים גנטיים טבעיים ובכך נוצרת אוכלוסייה חדשה של הדור הבא. בכל דור מקבלים הפרטים הטובים ביותר את הסיכוי הגבוה ביותר לעבור לדור הבא ובכך למעשה, האוכלוסייה החדשה מכילה אוסף פתרונות טובים יותר. על-ידי שימוש בשיטת חיפוש, כדוגמת האלגוריתמים הגנטיים, ניתן להימנע מהבעייתיות המאפיינת את בעיית האופטימיזציה של תכנת רשת אספקת מים, שהיא בעיה לא קמורה ולא חלקה.

שיטת הפתרון שפותחה נבחנה על מספר בעיות לדוגמא אשר חלקן לקוח מהספרות. בכל המקרים, בהם ניתן היה להשוות את הפתרון עם פתרונות מהספרות, נתקבל פתרון שאינו נופל מהפתרון הטוב ביותר הידוע ובמקרה אחד אף טוב ממנו.

**Optimal Design of Water Distribution Systems
Facilities and Operation**

Research Thesis

**Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for
the Degree of Master of Science in Engineering and
Management of Water Resources**

Elad Salomons

**Submitted to the Senate of the
Technion – Israel Institute of Technology**

Tamuz 5762

Haifa

July 2001

Abstract

A water distribution network is a collection of hydraulic elements - pipes, reservoirs, tanks, pumps, and valves - that are combined into a system for conveying defined amounts of water, within specific pressure limits, from the water sources to the consumers.

Due to the high cost of the hydraulic elements, their installation and operation, distribution network designers are required to design a system that will supply the consumers needs, on one hand, and will have the lowest cost, on the other.

Three stages can be distinguished in the overall design process:

1. Planning – in this stage the consumers and their needs are identified, the water sources are defined and the water distribution networks layout and proposed elements are determined.
2. Design – in this stage, the hydraulic elements' sizes are determined: pipe diameters, pump sizes etc. The operation plan of the control elements (pumps, valves) is set under a number of loading patterns, for example peak hour demand, average hour demand and fire fighting demands.
3. Operation – in this stage, when the water distribution network already exists, the operation plan of each controlled element is determined for each period of the design time horizon.

These three stages are mutually dependent, and should in principle be dealt with and solved as a single decision problem. The network layout is determined according to the consumers and water sources locations, the topography and some other considerations. The layout influences the diameters of the pipes, the sizes of the pumps and the storage levels

needed. The operation of the network is influenced by the layout and the design since, for example, it is preferable to operate the pumps at times of low electricity tariff rates and the appropriate storage is determined accordingly.

In fact, the entire problem is too complex to solve, and it is therefore dealt with in an iterative fashion: each stage provides the one below with "directives" (fixed data) and receives from it information on the consequences of these "directives", which indicates whether the system is feasible and what its cost is. This information is then used to revise at the stage above, with the intention of improving at the next iteration.

Optimal design of water distribution systems has challenged engineers for over 30 years. Most of the published papers deal with the second stage of the problem, the design stage. The third (operation) stage is carried out for existing systems, where the pipes, pumps and storage were already designed. The operational considerations in the design stage are included through the loading patterns. Because the loading patterns are not linked over time, with this approach it is impossible to size the storage at the same time as sizing the pipes and pumps. The storage in this case is determined separately according to some "rule of thumb", or by following the imposed regulations. Since there is no direct connection between the storage design and the rest of the system design, frequently an operational problem occurs.

Another factor that affects the operation, and therefore also its design, are the electricity tariffs. These tariffs change over the day and the seasons (in Israel only for large energy consumers, including water supply systems). The principle is that when the demand for electricity is

low (for example night hours), so are the tariffs, and vice versa. When the electricity tariffs are to be considered, the problem becomes more difficult. An optimal compromise must be found between large pumps, large storage with short pumping hour, and small pumps, small tanks but long pumping hours. This compromise affects also on the pipe sizes.

For the solution that combines the design with the operation there is a need for a hydraulic simulation along the design period (peak day, average week etc.). As opposed to loading patterns, with the hydraulic simulation the hydraulic solutions at sequential time steps are linked through the storage, which then becomes one of the decision variables.

This work focuses on the combined problem, the design with the operation: **Given the network layout and the demand pattern, minimize the system cost and find the pipe diameters, storage volume, maximal power of the pumps and their operation in each time period over the planning horizon (usually 24 hours) subject to the demands and the pressure constrains.**

A Genetic Algorithm (GA) is used to obtain the optimal design of a water distribution system, considering its operation over the day, and thus including in the optimization the sizing of its storage. Each candidate solution (a member of the examined GA population) is defined by the sizes of all design variables (pipe diameters and pump sizes) and the operating schedule of the pumps over the day. The candidate solution is submitted to simulation with EPANET and the size of the operational water tank is determined by a cumulative calculation of the water balance at the node to which the reservoir is connected. The merit function for the candidate solution includes the cost of the system and its operation, and

penalties for infeasible solutions. The method has been implemented on a PC and tested successfully on a number of moderate size sample networks.