

## HỆ THỐNG HỖ TRỢ VẠCH TUYẾN ĐƯỜNG ỐNG CUNG CẤP NƯỚC SẠCH TRONG BẢO TRÌ VÀ MỞ RỘNG MẠNG LƯỚI CUNG CẤP NƯỚC SẠCH ỨNG DỤNG HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐỊA LÝ(GIS)

Chu Thị Hồng Hải\*

Trường Đại học Kinh tế quốc dân Hà Nội

### TÓM TẮT

Vấn đề sửa chữa và mở rộng mạng đường ống cung cấp nước sạch là nhiệm vụ thường xuyên và có ý nghĩa quyết định đối với việc đáp ứng yêu cầu ngày một cao của xã hội cả về số lượng, chất lượng với giá thành chấp nhận được của các công ty cấp nước. Bài báo trình bày một quy trình thiết kế tối ưu mạng cấp nước cần sửa chữa hay mở rộng trên cơ sở sử dụng công nghệ GIS để mô hình hóa bài toán và giải tự động khi dùng thuật toán cây bao trùm ngắn nhất. Một hệ trợ giúp xây dựng theo quy trình này sẽ giúp các công ty cung cấp nước có thể thiết kế các mạng ống nước cần thiết một cách nhanh chóng, trực quan và đảm bảo các điều kiện cấp nước an toàn, có tính khả thi cao và giá trị kinh tế lớn

**Từ khóa:** *Mạng đường ống cấp nước, Cấp nước an toàn, Công nghệ GIS, Mô hình hóa, Thuật toán cây bao trùm*

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm qua, hệ thống đô thị nước ta không ngừng mở rộng cả về quy mô và số lượng. Đến nay, cả nước có gần 100 doanh nghiệp cấp nước, quản lý trên 500 hệ thống cung cấp nước sạch (HTCCNS) lớn, nhỏ với tổng công suất cấp nước đạt 7 triệu m<sup>3</sup>/ngày-đêm. 80% dân cư thành thị được cấp nước qua HTCCNS tập trung, đạt mức bình quân 105 lít/người/ngày-đêm. Tuy nhiên, tỷ lệ thất thoát, thất thu còn rất lớn: bình quân khoảng 25,5%[6]. Các tỷ lệ trên là rất thấp so với các nước phát triển. Với sự tăng trưởng của kinh tế và dân số, nhu cầu nước sạch trong tương lai của chúng ta là rất lớn. Việc đặt chỉ tiêu phân đấu là 99% dân cư thành thị được cấp nước sạch, tỷ lệ thất thoát, thất thu dưới 18% vào năm 2020 là một thách thức lớn. Hai nhiệm vụ có tính quyết định để đảm bảo thực hiện các mục tiêu trên thường xuyên đặt ra là: *bảo trì, thay thế đường ống cũ - hỏng và mở rộng hệ thống mới, và xử lý trực tiếp các rò rỉ*. Hiện nay chúng ta làm công việc này dựa vào mức độ rò rỉ, và thay thế đường ống cũ chỉ ở những điểm cụ thể, chưa xem xét một cách tổng thể các nhân tố tác động trên quy mô một ô cấp nước hoặc toàn vùng cấp nước.

Do chưa tính toán đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống cả hiện tại và sau này như: *mức độ rò rỉ, tuổi thọ mạng ống, toàn bộ các chi phí liên quan đến việc thay thế, mức độ ảnh hưởng của môi trường đến chất lượng nước...* và lại làm thủ công nên công việc diễn ra chậm chạp, hiệu quả rất thấp. *Vi vậy, để sớm đáp ứng được yêu cầu cấp bách về nước, giảm thiểu việc mất nước, nâng cao tính hiệu quả, tính kinh tế trong việc bảo trì hay phát triển mới mạng ống nước, bài toán thiết kế tối ưu với tính toán tự động có ý nghĩa to lớn.*

Hiện nay, trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu và phần mềm dựa trên GIS để quản lý HTCCNS [5]. Gói phần mềm này đã được giới thiệu ở Việt Nam từ nhiều năm nay, nhưng rất ít công ty cấp nước sử dụng vì còn nhiều bất cập như: phần mềm được viết theo yêu cầu của các nước phát triển, nên sử dụng chưa thích hợp và thêm nữa kinh phí để triển khai cao. Một số công ty cấp nước Việt Nam đã tự nghiên cứu và xây dựng ứng dụng GIS theo nhu cầu của đơn vị mình [9]. Các sản phẩm còn đơn giản và cũng chưa có chức năng để giải quyết bài toán nêu ra.

Bài toán bảo trì và phát triển mạng đường ống mới phần lớn hiện nay vẫn thực hiện một

\* Tel: 0913 381027, Email: honghai.vie@gmail.com

cách thủ công (bằng tay). Đã có nhiều nghiên cứu của nước ngoài về bài toán này [7], nhưng ứng dụng GIS để giải quyết nó thì còn rất ít. Một nghiên cứu của nhóm tác giả C. Jun a, J. Koo b và J. Koh[3] đã nghiên cứu mở rộng hệ thống mạng lưới cấp nước ở Seoul dựa trên ứng dụng GIS. Trong đó đề cập tới vấn đề: *sử dụng bản đồ đường giao thông để chia vùng, chia ô mạng đường ống, đưa ra công thức tính chi phí xây dựng, công thức tính tuổi thọ của đường ống, từ đó lập kế hoạch bảo trì và thay thế đoạn đường ống tối ưu bằng cách sử dụng giải thuật DISKTRA để tìm đường đi ngắn nhất cho đoạn đường ống được thay thế*. Tuy nhiên, bài toán đặt ra còn đơn giản. Một số ràng buộc cơ bản từ thực tế yêu cầu (đặc biệt có ở Việt Nam) còn chưa tính đến (hoặc có nhưng không nêu ra) trong bài toán, như: *hiện trạng của cơ sở hạ tầng, địa hình và sử dụng đất, các yếu tố tác động của môi trường*. Các tiêu chí này có ảnh hưởng đáng kể đến sự khả thi thì công, đến chi phí xây dựng của công trình, cũng như đến tuổi thọ đường ống, và có hậu quả về ô nhiễm nguồn nước sau này.

Nội dung bài báo này tập trung giải quyết bài toán đặt ra bằng cách ứng dụng công nghệ GIS và thuật toán cây bao trùm ngắn nhất.

Bài toán đặt ra là *thiết kế mạng cấp nước tối ưu* về chi phí và hiệu quả mang lại cho một ô (block - vùng nhỏ sử dụng nước theo cách phân vùng quản lý cấp nước hiện tại) cấp nước có các điểm nguồn cấp nước đã cho, các điểm tiêu dùng nước đã xác định, và thỏa mãn các yêu cầu ràng buộc của thực tiễn đặt ra dựa trên cơ sở ứng dụng công nghệ GIS và sử dụng thuật toán tìm cây bao trùm ngắn nhất [4]. Bộ công cụ tạo ra sẽ giúp cho việc thiết kế trở nên nhanh chóng hơn (nhờ tự động hóa) và cho một bản thiết kế vừa khả thi, vừa đạt được hiệu quả kinh tế cao. Công cụ này có thể áp dụng cho một vùng cấp nước bất kỳ (bao gồm nhiều ô).

## PHÁT BIỂU BÀI TOÁN

### Mô tả bài toán

Mạng lưới cấp nước của một khu vực thường được chia thành các khối cấp nước, có ranh giới thường lấy theo ranh giới hành chính quận-huyện. Mỗi khối chia nhỏ thành 5 - 12 ô cấp nước, mỗi ô cấp nước quản lý một số lượng các hộ được cấp nước. Cách tổ chức hệ thống thành từng khối-ô giúp dễ dàng quản lý tốt được khả năng cấp nước cũng như nhu cầu sử dụng nước ở mỗi khối. Do vậy, việc lập kế hoạch bảo trì hoặc mở rộng đường ống trong một số ô cấp nước có thể xem là trường hợp phổ biến. Về mặt nhận dạng, mạng con được xét là một đồ thị con hình cây của một đồ thị mạng cấp nước lớn hơn. Trong đó các điểm được cấp nước và các điểm dùng nước là các đỉnh của đồ thị được gán các tọa độ, đường đi của ống nối các điểm trên là các cạnh của đồ thị. Chi phí để lắp đặt đường ống nước ứng với từng cạnh sẽ gồm các chi phí như: *chi phí cho đường ống và thiết bị, chi phí xây dựng, chi phí quản lý, chi phí vốn đầu tư và chi phí khác*. Nhiệm vụ là phải thiết kế một mạng đường ống đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật đặt ra và chi phí là ít nhất, và có thể lợi ích mạng lại nhiều nhất.

Vì các điểm được cấp nước trong một ô thường lấy từ một điểm nguồn cấp chính, vì vậy, mạng ống nước được xét luôn có thể xem là một cây đồ thị có một gốc. Khi đó chi phí cho các cạnh thêm vào của cây được xét hay những đoạn đường ống không cần thay thế sẽ cho chi phí bằng không. Giả thiết này làm đơn giản hóa việc tính toán cây bao trùm ngắn nhất mà không ảnh hưởng đến nội dung bài toán đặt ra. Hàm mục tiêu bài toán có dạng.

$$\text{Min } \sum c(i) \quad (1)$$

$$i \in U$$

Trong đó: U là tập các cạnh đồ thị, i là một cạnh và c(i) là chi phí cho cạnh đó.

Có rất nhiều cách để tính chi phí c(i), tùy theo điều kiện dữ liệu có được. Theo C. Jun , J.

Koo và J. Koh, tính chi phí này sử dụng hai hàm hồi quy tuyến tính dành cho hai loại ống nước có đường kính khác nhau và có một tham số là độ dài đường ống[3].

Ở Việt Nam hiện tại, ta có thể sử dụng công thức:

$$c(i) = cf(d_i)l_i \quad (2)$$

Trong đó  $cf(d_i)$  là chi phí toàn bộ để lắp đặt cho 1 mét ống có đường kính  $d_i$  (xem bảng 1) và  $l_i$  là độ dài đường ống  $i$ .

**Bảng 1. Khái toán 1m ống**

STT	Đường kính ( $d_i$ )	$cf(d_i)$ = Số tiền(đồng)
1	50	12.179.000
2	75	12.319.000
3	90	12.521.000
4	110	12.529.000
5	150	13.023.000
6	200	13.499.000
7	250	13.853.000
8	300	14.777.000
9	400	15.351.000
10	450	16.297.000
11	600	21.713.000

*Nguồn: Số liệu do Phòng Kỹ thuật Công ty nước sạch Hà Nội cấp [8]*

### Các ràng buộc của bài toán

Mạng ống nước được thiết kế phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

1. Mạng liên thông với nhau (đảm bảo nước từ nguồn đến nơi sử dụng).

2. Các tuyến đường ống phải bám theo đường giao thông hoặc có thể đi theo đường khác nhưng không được xuyên qua các đối tượng kiến trúc như: nhà dân, công trình,... (đảm bảo thi công được).

3. Các tuyến đường ống phải đảm bảo thỏa mãn các tiêu chí của chương trình Cấp nước an toàn [1,2], cụ thể là:

a. Không đi qua địa hình có độ dốc cao, mức độ sụt lún lớn, vùng đất gây ô nhiễm lên nguồn nước.

b. Tránh các cơ sở hạ tầng đường giao thông, cầu, cáp quang,... có nguy cơ gây ảnh hưởng đến chất lượng nước trong ống

c. Tránh khu vực môi trường như nhà tiêu, bãi rác, vùng nhiễm chất độc hại,... là nguồn ô nhiễm có thể thấm thấu vào đường ống.

Tùy môi trường thực tế mà ở nơi mạng ống nước được phát triển, các ràng buộc trên đây có thể thêm hay bớt mà không ảnh hưởng gì đến quá trình giải bài toán. Vấn đề cốt yếu là ở chỗ, CSDL GIS được sử dụng phải có sẵn các dữ liệu cần thiết.

### GIẢI BÀI TOÁN

#### Sử dụng Cơ sở dữ liệu GIS

Bài toán được giải với sự trợ giúp của công nghệ GIS. Vì vậy, ta giả thiết rằng, đã xây dựng được một Cơ sở dữ liệu GIS có đủ dữ liệu cho việc giải quyết bài toán này. Cụ thể là đã có các dữ liệu sau đây có thể lấy ra từ CSDL để sử dụng.

#### Nguồn dữ liệu không gian

Các bản đồ hành chính, bản đồ địa hình, bản đồ địa chính (ở các định dạng AutoCAD, Microstation, MapInfo...) tỉ lệ từ 1/50000 (cho cấp quận, huyện) đến 1/2500 (cho cấp xã phường) được thành lập từ năm 2005 đến năm 2010 bằng phương pháp đo vẽ, khảo sát, thống kê thực địa.

#### Cơ sở dữ liệu nền

Lớp dữ liệu đường ống nước

Lớp dữ liệu điểm đầu nổi (dạng điểm)

Lớp dữ liệu điểm cấp nước (dạng điểm)

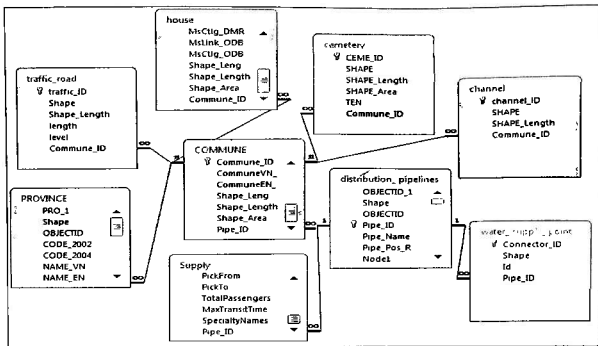
Lớp dữ liệu giao thông (dạng đường)

Lớp dữ liệu phường xã (dạng vùng)

Lớp dữ liệu quận huyện (dạng đường)

#### Cơ sở dữ liệu thuộc tính

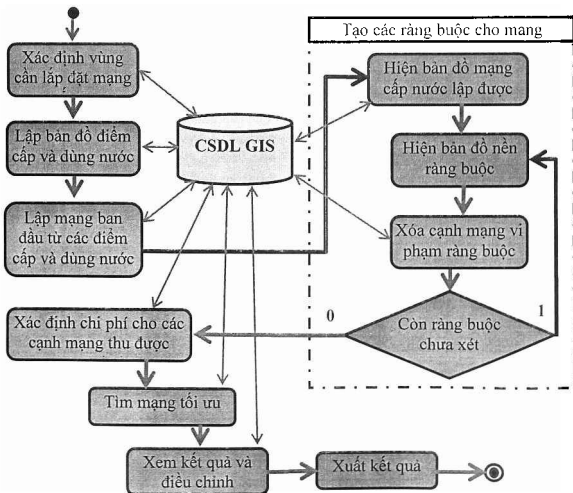
Cơ sở dữ liệu thuộc tính có rất nhiều bảng và mỗi bảng có nhiều thuộc tính. Ở đây chỉ đưa ra một số bảng chính và mối quan hệ tiêu biểu giữa các bảng đó (hình).



Hình 1. Một số dữ liệu chính về bảng thuộc tỉnh

**Quy trình tổng quát giải bài toán**

Quy trình thực hiện bài toán vạch tuyến tối ưu được chỉ ra trên sơ đồ hình.



Hình 2. Sơ đồ quy trình giải bài toán lập mạng tối ưu

### Thiết lập mô hình bài toán

Trước hết cần lập bản đồ các điểm cấp nước và dùng nước làm các đỉnh đồ thị. Sau đó tạo một đồ thị ban đầu liên thông, có đủ các cạnh cần thiết (mức tối đa là đầy đủ) và nối đến mọi đỉnh đã cho. Tại phương án ban đầu, bằng trực quan, có thể loại bớt đi các cạnh không hợp lý (nối 2 đỉnh quá xa nhau) để đơn giản đồ thị. Để tạo ràng buộc bài toán, dùng đồ thị này để loại dần các cạnh vi phạm ràng buộc. Cụ thể là, mỗi lần dùng một đồ thị nền ràng buộc hiện cùng đồ thị mạng đang có, làm cơ sở đối sánh để nhận biết cạnh vi phạm ràng buộc và loại nó đi. Cách thiết lập ràng buộc bằng cách này là trực quan, thao tác đơn giản, vừa dễ dàng thực hiện, vừa tốn rất ít thời gian và công sức. Nếu mô tả các ràng buộc này bằng các biểu thức toán học sẽ rất khó khăn do các biến là các đối tượng không gian (có nhiều chiều). Sau nữa, các ràng buộc có thể được biểu diễn, nhưng không đủ dữ liệu để sử dụng. Tiếp đến, khi bài toán được thiết lập với các ràng buộc phức tạp như vậy, có thể khó tìm được một thuật toán thích hợp để giải.

Khi đã có đồ thị mạng đã thỏa mãn các ràng buộc, ta xác định chi phí cho các cạnh còn lại của đồ thị. Bây giờ bài toán đã đầy đủ và có thể giải nó.

### Giải bài toán bằng thuật toán cây bao trùm ngắn nhất

Mạng ống nước được vạch ra ban đầu là một đồ thị phẳng, liên thông (với tất cả các cạnh được lựa chọn). Một cây (không có chu trình kín) bao trùm sẽ gồm các cạnh nối từ điểm gốc (nguồn cấp) đến tất cả các đỉnh (điểm sử dụng nước). Bài toán tìm mạng tối ưu dẫn đến tìm cây bao trùm ngắn nhất có độ dài cạnh là chi phí toàn bộ để lắp đặt ống cho cạnh đó.

Giải thuật Prim được chọn để giải quyết cho bài toán nêu ra.

*Thuật toán có thể mô tả như sau:* Giả sử mạng ống là một đồ thị liên thông có  $n$  đỉnh và một đỉnh gốc  $s$ . Thuật toán bắt đầu từ đỉnh gốc  $s$  của đồ thị. Đầu tiên ta nối  $s$  với đỉnh lân cận gần nó nhất, chẳng hạn là đỉnh  $y$ , nghĩa là cạnh  $(s, y)$  có chi phí nhỏ nhất trong số các cạnh đi ra từ  $s$ . Tiếp theo, từ hai đỉnh  $s$  và  $y$  có được lấy làm tập gốc, và thực hiện theo cách làm tương tự. Quá trình này sẽ tiếp tục cho đến khi ta thu được một đồ thị là một cây gồm  $n$  đỉnh và  $n-1$  cạnh được chọn. Đó chính là cây khung nhỏ nhất cần tìm.

### XÂY DỰNG BỘ CÔNG CỤ

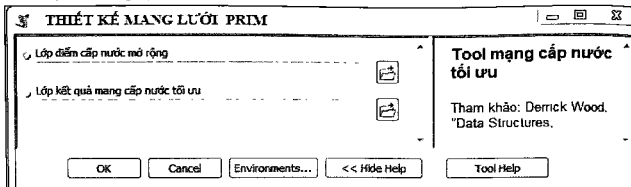
#### Ngôn ngữ lập trình

Python là ngôn ngữ được chọn lựa để xây dựng công cụ hỗ trợ thiết lập và giải bài toán thiết kế vạch tuyến cấp nước tối ưu. Python là một ngôn ngữ lập trình hướng đối tượng, chạy được trên nhiều hệ điều hành khác nhau như Windows, Linux, Unix, Mac. Nó đơn giản để phát triển ứng dụng, và được đánh giá là ngôn ngữ có số lần gõ phím ít nhất khi viết chương trình so với các ngôn ngữ khác như C/C++, Java, .... Từ phiên bản ArcGIS 10.0 ESRI đã xây dựng thư viện ArcPy được viết bằng ngôn ngữ Python. Thư viện ArcPy rất nhanh và mạnh trong việc xử lý dữ liệu của ArcGIS.

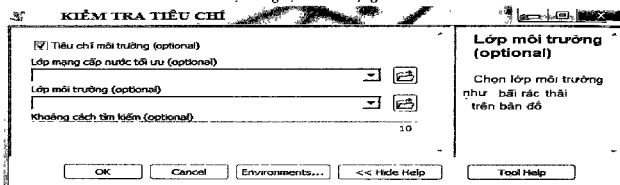
#### Các chức năng của bộ công cụ

Hệ thống hỗ trợ vạch tuyến đường ống tối ưu đa ràng buộc, hỗ trợ công tác bảo trì và mở rộng mạng lưới được thực hiện thông qua hai công cụ: **Thiết kế mạng lưới** nhằm tạo ra mạng ban đầu thỏa mãn các điều kiện ràng buộc đặt ra, và **Tìm mạng tối ưu** bằng thuật toán cây bao trùm ngắn nhất. Ngoài ra có chức năng **tìm kiếm** và **xem mạng kết quả**, và chức năng **xuất kết quả** ra một thiết bị nào đó.

**Giao diện của công cụ**



Hình 3. Giao diện công cụ thiết kế mạng lưới theo PRIME



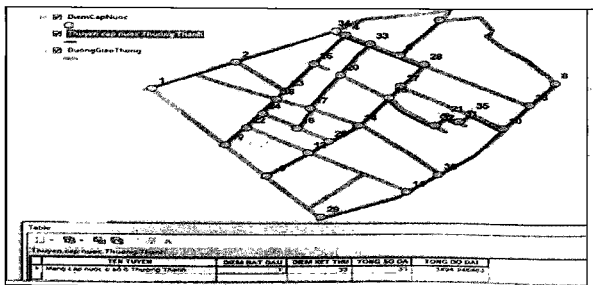
Hình 4. Giao diện công cụ kiểm tra tiêu chí

**KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM**

**Giới thiệu khu vực thử nghiệm**

Khu vực thử nghiệm là một ô cấp nước trong hệ thống cấp nước phía Bắc Sông Hồng, do Công ty cấp nước số 2 Hà Nội quản lý. Mạng đường ống của ô cấp nước này được xây dựng từ thời Pháp thuộc nên số lần xảy ra sự cố rất cao. Đơn vị chủ quản đang có kế hoạch thay thế toàn bộ mạng đường ống cho ô cấp nước này vào năm 2016.

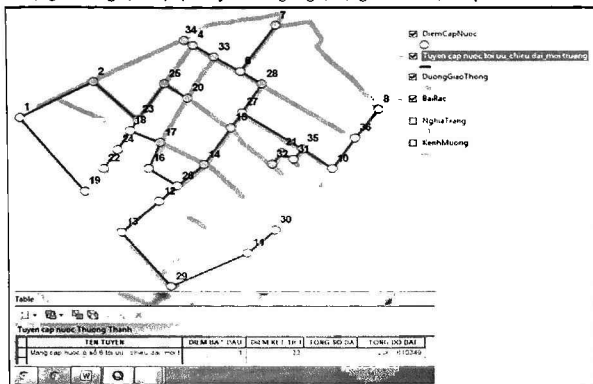
Ô cấp nước được thử nghiệm có tên là BSH\_06 gồm 32 điểm cần cấp nước được đánh số từ 2 đến 33 và một nguồn cấp nước được đánh số 1. BSH\_06 được thiết kế như hình 5.



Nhận xét thực trạng:

**Tổng độ dài toàn mạng của BSH\_06: 3494m****Tuyến ống 19-22 vị phạm chuẩn thiết kế do gần bãi rác (<=10m)****Kết quả sử dụng công cụ thiết kế tự động**

Sử dụng hai công cụ trên, vạch tuyến đường ống tự động đa tiêu chí, kết quả Hình 6.



**Hình 6. Bản đồ mạng lưới cấp nước tối ưu đa tiêu chí cho BSH\_06**

**Nhận xét kết quả thử nghiệm**

Mạng cấp nước được thiết kế mới thỏa mãn các chuẩn thiết kế và có tổng độ dài: 2061m. So với mạng lưới hiện tại kết quả thử nghiệm ngắn hơn 1433m và không vi phạm chuẩn thiết kế.

**KẾT LUẬN**

Xây dựng mới, duy tu, bảo trì hệ thống đường ống dẫn nước thường đòi hỏi nhiều thời gian và nguồn kinh phí lớn. Nhu cầu thay thế và phát triển mạng lưới cấp nước hiện nay là rất lớn. Do vậy, xây dựng một bộ công cụ dựa trên công nghệ GIS để trợ giúp đắc lực cho hoạt động này là một đòi hỏi cấp bách, vừa có ý nghĩa khoa học vừa có ý nghĩa thực tiễn cao. Công cụ đã thử nghiệm cho kết quả tốt. Mong muốn của chúng tôi là sớm đưa công cụ này vào sử dụng trong thực tế để tiếp tục hoàn thiện cho phù hợp với thực tiễn hơn.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Bộ Xây dựng, 2000. Quy trình và quy phạm quản lý kỹ thuật hệ thống cấp nước. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
2. Bộ xây dựng, 1999. Tiêu chuẩn TCXD 233 /1999/BXD. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
3. C. Jun, J. Koo and J. Koh, 2000. Developing a water pipe management system in Seoul using the GIS Korea Science & Engineering Foundation.
4. Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford (2001). Introduction to Algorithms (second edition). MIT Press và McGraw-Hill. ISBN 0-262-03293-7
5. Lê Phước Thành, 2005. Áp dụng hệ thống GIS trong việc nâng cao năng lực quản lý mạng và chống thất thoát nước. Hội thảo Khoa học Công nghệ Thông tin Địa lý (tháng 08/2005).
6. Nguyễn Thị Hạnh, 2015. Thực trạng quản lý, phát triển cấp nước và giải pháp đảm bảo, nâng cao chất lượng nước sạch các đô thị Việt Nam. Truy cập ngày 10 tháng 9 năm 2015 từ: <http://congnghepxanh.wordpress.com/tag/nang-cao-chat-luong-nuoc-sach-do-thi/>

7. Neelakantan, CR Suribabu, Srinivasa Lingireddy(2008). *Optimisation procedure for pipe-sizing with break-repair and replacement economics*. Water SA Vol. 34 No. 2, trang 217-224
8. Phòng kỹ thuật tổng công ty cấp nước Hà Nội, 2013. *Tài liệu nội bộ*,

9. Thái Hà, 2013. *Tạo bước đột phá trong quản lý cấp thoát nước*. Truy cập ngày 28 tháng 9 năm 2013 tại:  
<http://www.baophuyen.com.vn/79/102394/tao-buoc-dot-pha-trong-quan-ly-cap-thoat-nuoc.html>.

## SUMAMRY

## DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OPTIMAL PIPE LINE ROUTING IN MAINTAINING AND EXTENDING WATER SUPPLY NETWORK APPLYING GIS

Chu Thị Hồng Hải\*

National Economics University

Repairing and extending water supply network of water supply companies is a regular task and has important role to meet increasing requirements about using water of society in quantity, quality and cost. This paper presents an optimal design process of repairing and extending water network using GIS technology and automation processing based on modeling technology and applying the shortest spanning tree algorithm. A decision support tool built on this process can help water supply company to design a water networks quickly, intuitive and secure the water supply conditions safe, feasibility and costly.

**Keywords:** *water supply network, safe water supply, GIS, modeling, spanning tree algorithm*

Ngày nhận bài: 08/01/2016; Ngày phân biện: 07/02/2016; Ngày duyệt đăng: 15/3/2016

**Phân biện khoa học:** PGS.TS Phan Đình Bình – Trường Đại học Nông Lâm - ĐHTN

\* Tel: 0913 381027, Email. honghai.vie@gmail.com