

26/07/2007

חסכון בהוצאות לאנרגיה בחברת מקורות
תכנון ותפעול אופטימלי של מערכות אספקת מים

ד"ר יגאל כדר

1. כללי

פיתוח מערכות אספקת המים ו/או חידושם של מערכות קיימות בחברה, תוך דרישה להתייעלות ולהקטנת ההוצאות השוטפות לאנרגיה, מחייב תכנון וקבלת פתרון אופטימלי של המערכת. התכנון האופטימלי קובע את נפח הבריכה/מאגר, קטרי הצנרת וכושר העברה מירבי של תחנות השאיבה, כך שההוצאות לאנרגיה יהיו מינימליות.

ברשותנו כלי תוכנה ייעודיים למטרה זו אשר פותחו במחלקה בשנים האחרונות ומשמשים לבחינת הכדאיות הנדסית-כלכלית לביצוע פרויקטים במסגרת התכנית לחיסכון בהוצאות לאנרגיה.

2. הגדרת האתגר

מבחינה מתמטית ניתן להגדיר את בעיית התכן כבעיית אופטימיזציה לינארית/ לא לינארית, בהתאם להתנהגות ההידראולית של המערכת.

פונקציית המטרה מוגדרת כאחת מהשתיים:

- סה"כ הוצאות שנתיות מינימליות לאנרגיה, או ערך נוכחי מינימלי להוצאות אנרגיה.
- ערך נוכחי נקי מירבי של הפרויקט.

כאשר פונקציית המטרה היא הוצאות מינימליות לאנרגיה, כבמקרה הראשון, יש לבצע תחשיב כדאיות כלכלית נפרד ע"י הגדרת גודל ההשקעה בפרויקט וחישוב משלים של הע.נ.נ. ושעור התשואה הפנימית, בהתאם למשך חיי הפרויקט והריבית השנתית על ההון.

ניתן לשלב ההון בפונקציית המטרה, כבמקרה השני הנ"ל, ע"י גזירת ההוצאות הקבועות מההון המושקע והוספתם להוצאות המשתנות.

מכיוון שבעיית האופטימיזציה מאוד מורכבת (כפי שיובהר בהמשך) אנו משתדלים להגדיר הבעיה כבעיה לינארית כדי להימנע ככל האפשר מהצורך לבצע פתרון של משוואות לא לינאריות הנוגעות להפסדי העומד החכוכי בצנרת

(נוסחת הייזן-וויליאמס). במפעלי מים בהם למשטר ההידראולי השפעה קטנה יחסית על ההפסדים האנרגטיים, במונחים של ווט"ש/מ"ק, כמו למשל במקרים של קטרי צינורות גדולים, הפרש סטטי גבוה בין מקור לצרכן וכד', השגיאה הנובעת מהגדרת הלינאריות קטנה.

תכנון אופטימלי של מערכות מים שונה באופן מובהק מבעיית התפעול משתי סיבות עיקריות, כדלקמן:
א. שילוב הוצאות הון הנדרשת בבעיית התכן.

ב. באופטימיזציה של התפעול ניתן לבצע פתרון של מצב רגעי/שעתי לאורך היממה או השבוע. לעומת זאת בעיית התכנון מחייבת פתרון אופטימלי המביא בחשבון את כל שלבי התפעול לאורך היממה, השבוע ועונות השנה תוך שילוב משך חיי הפרויקט או אופק התכנון. זאת אומרת שקיימת אינטגרציה של כל מצבי התפעול הרגועים/שעתיים לאורך השנה.

בעיית התכן קיים קשר ורציף בין שלשת המשתנים העיקריים: נפח מאגר, קטר צינור וספיקת ת"ש. למשל, הגדלה בנפח המאגר מאפשרת תמרון מירבי בתעו"ז אך מחייבת הגדלה של יכולת השאיבה אשר עלולה להגדיל הפסדי האנרגיה ומחייבת הגדלת קטרי הצנרת. סה"כ ההוצאות לאנרגיה יקטנו אך ההשקעות הכוללות במערכת יגדלו. יש למצוא את האיזון המתאים בין השניים, באמצעות הפרמטרים הכלכליים המקובלים בחברה.

משתני החלטה עיקריים של הבעיה הם:

■ נפח המאגר/בריקה

■ כושר שאיבה מירבי

■ קטרי צינורות.

משתני החלטה אחרים הם:

■ זמן עבודה של כל הרכב שאיבה

■ כמות המים המועברת בצנרת.

ערכי המשתנים הנ"ל הם עבור כל אחד ממקבצי שעות הביקוש בתעו"ז לאורך היממה, השבוע ועונות השנה. האילוצים השונים בבעיית התכן דומים לאילוצים המקובלים בכל בעיית רשת מים או בעיית אופטימיזציה שגרתית ומנוסחים, כדלקמן:

■ תנאי רציפות הזרימה בכל צומת של רשת המים: כמות המים נכנסת לצומת שווה לכמות המים שיוצאת מהצומת

■ הפסדי עומד בצינורות מחושבים לפי נוסחת הייזן-וויליאמס

■ נפח המאגר בזמן מסוים שווה לנפח המאגר בזמן הקודם מינוס כמות המים שיצאה מהמאגר פלוס כמות המים שנכנסה למאגר

■ זמן עבודה של הרכב שאיבה כל שהוא לא יעלה על מס' השעות במש"ב של התעו"ז

■ נפח המאגר צריך להיות מכסימלי בתחילת כל תקופה, דהיינו, ברמה יומית- בתחילת שעות הפסגה, ברמה שבועית- ביום א', ברמה עונתית- בתחילת עונת הקיץ.

הפרמטרים בבעיה הם :

- לוח תעו"ז שעותי, יומי, שבועי ועונתי
- צריכת המים - כמות שנתית ופילוג לפי עונות השנה ומש"ב התעו"ז בתוך היממה
- זמינות בתעו"ז.

3. פתרון הבעיה

לפתרון בעיית אופטימיזציה התכן נעשה שימוש בתוכנת :

GAMS (General Algebraic Modeling Systems).

התוכנה כוללת אלגוריתם ושפת תכנון, הבנויים כדי להקל בניסוח ופתרון בעיות של תכנון מתמטי גדולות ומורכבות. היא כתובה בשפת ו-FORTRAN ומאפשרת לפתור בעיות לינאריות ולא לינאריות. תוכנת ה-GAMS נבחרה ע"י הבנק העולמי כשפת התכנון לפתרון בעיות כלכליות. מסי גדול של חברות עסקיות בעולם עושה שימוש בכלי זה.

במחלקה לאנרגיה והנדסת מערכות פותחו מסי גירסאות תוכנה המאפשרות פתרון בעיית האופטימיזציה שהוצגה לעיל על בסיס תוכנת ה- GAMS הכוללת אלגוריתם הפתרון (Solver) - MINOS ושפת ה- INTERFACE המאפשרת ארגון הנתונים לצורך פתרון.