

9.9.2014

תקציר של טיוטת התזה לדוקטורט של חיים שולמן, על הנושא:

שלוש ערים צמאות
שיטות אספקת המים החדשניות של טולדו, לונדון ופריס במחצית
השניה של המאה השש עשרה

תקציר

מטרת מחקר זה היא להציג ניתוח השוואתי של שלושה פרויקטים של מערכות אספקת מים שבוצעו בערים טולדו, לונדון ופריז במחצית השנייה של המאה השש עשרה ובשנים הראשונות של המאה השבע עשרה. עבודה זו שואפת לתרום לידע הנוגע לבנייה של מערכות אספקת מים עירוניות בעת החדשה המוקדמת, וזאת, על ידי לימוד וניתוח התהליכים שהובילו ערים אלו לבצע פרויקטים מסוג זה. הפרויקטים הנידונים התאפיינו במורכבותם, שכן, בנוסף למכונות עצמן, הן היו כרוכים בהתקנה של מובילי מים ליעדים ספציפיים, בהחלטות לגבי חלוקת המים בין השליט לבין האוכלוסייה, בדרכי תשלום בעבור השירות, בנהלי תחזוקה ובנושאים אחרים. לאחר תיאור המאפיינים הטכניים של כל אחת מהמכונות האלה, עבודה זו בוחנת באיזו מידה נבעו ההבדלים בין הפרויקטים מתנאים חיצוניים שלא היו קשורים ישירות לבעיה באספקת המים, מהניסיון האישי של היזמים והמהנדסים שבנו אותן, מההקשרים האזוריים השונים שבהם נבנו או מגורמים אחרים.

שישים השנים הכלולות במסגרת הכרונולוגית שמחקר זה מכסה (1548-1609) מהוות שלב מכונן בהתפתחות הטכנולוגיה של אספקת מים עירונית. תחום זה היה מפותח בתקופה הרומית אך נזנח בהדרגה לאחר נפילתה של האימפריה. השלכות הזנחה זו היו הרות אסון: ירידה באיכות החיים של האוכלוסייה וחוסר יכולת לעמוד בסטנדרטים היגייניים הנדרשים למניעת תחלואות ומגפות, בעיקר בימי הביניים המאוחרים. רק בתקופת הרנסנס נעשו ניסיונות ראשונים להשתמש במיכון במקום בשיטות לאספקת מים במאות הקודמות, שכללו שאיבה ממעיינות, חפירת בארות, איסוף מי גשמים והעברת מים ממקורות רחוקים באמות מים. המהנדסים שבנו מכשירים מתוחכמים אלה, אשר ניצלו את זרם הנהרות כמקור של אנרגיה להעלאת מים לערים הסמוכות, היו ממבשרי המהפכה התעשייתית.

הפרק הראשון של מחקר זה דן בהתייחסות של אוכלוסיות שונות למים כצורך אנושי בסיסי בשלוש הארצות הנדונות במאות השש עשרה והשבע עשרה. מן העדויות הכתובות מצטייר

שוני בין נהגי צריכת המים בארצות השונות, ובמעמדות החברתיים בכל אחת מהן. לקראת סוף המאה השש עשרה התלהט ויכוח בקרב רופאים ומדענים על היתרונות והחסרונות של מי שתייה. הדעה הרווחת הייתה כי יין ובירה בטוחים ובריאים יותר לשתיה. קשה להעריך את היקף צריכת מים באירופה בעת החדשה המוקדמת מאחר שהמים היו משאב חופשי בניגוד למשקאות אלכוהוליים, שהיו בפיקוח ונתונים למיסוי.

הפרק השני מתאר את ראשית בניית מתקנים של הרמת מים בעולם היווני והרומי, שהתבססו על פתרונות פשוטים שהשימוש בהם נמשך עד לרנסנס. הסברים קצרים מוצגים באשר לשיטות השונות שהיו ידועות בשלהי ימי הביניים הרלוונטיות לאלה הנדונות בדיסרטציה זו, ובכללן הרמת מים ישירה באמצעות גלגלי מים מחולקים, ברגים "ארכימדיים" ומשאבות שפעלו לפי העיקרון של קטסיביוס (Ctesibius).

הפרק השלישי דן במעבר לטכנולוגיות המבוססות על זרימת מים ככוח מניע להעלתם, תופעה שהלכה והתפשטה בערים שונות במרכז אירופה במאה החמש עשרה, והשתכללה מאוד בתחילת המאה השש עשרה. שינוי משמעותי זה היה גם גורם מניע וגם, בשלב מאוחר יותר, תוצאה של הצמיחה הבלתי מבוקרת של האוכלוסייה בערים. הגידול העצום באוכלוסייה, בעיקר במקרים של לונדון ופריז, היה הכוח שדירבן את החיפוש אחר פתרונות לאספקת מים. שלב זה מתאפיין בשילוב של השיטות הפשוטות ביותר המוכרות כבר מאות בטכנולוגיות מורכבות יותר של העלאת מים בלחץ אטמוספירי. הפתרונות שנמצאו מגלים כושר התמודדות עם מכשולים טכניים מגוונים, כגון העברת כוח למרחקים, ניטרול הרגישות של גלגלי המים לשינויים בגובה המים בנהרות ומציאת שיטות לפילוס של רשתות צנרת.

הפרק הרביעי מתאר בקצרה כמה מהמיזמים המוקדמים שאותרו בערים שונות באירופה, כגון ליבק, ציריך, ברמן, פראג, גדנסק, ברלין ואחרות. הפרק החמישי מוקדש לאוגסבורג, עיר שסללה את הדרך ליישום טכנולוגיות חדישות לאספקת מים. מחקר התקדימים הללו מתברר כי ידע טכנולוגי בתחום המים פותח בגרמניה ובפולין לפני שיושם ושופר בטולדו, לונדון ופריז.

הפרק השישי מוקדש לטולדו, ובו מוצג תחילה המבנה השלטוני והדרך שבה נוהלה העיר במחצית השנייה של המאה השש עשרה. כמו כן מתוארים הניסיונות שנעשו כדי לפתור את בעיית החוסר במים מאז ימי הרומאים והמאמצים שהושקעו במאה השש עשרה למטרה זו לפני יישומו של הפרויקט שבו מתמקד הפרק. המפעל פורץ הדרך (1565-1569) שהצליח בסופו של דבר לפתור את בעיית הבדלי הגובה של למעלה מ-100 מטר בין הנהר לעיר היה פרי עמלו של המהנדס האיטלקי גיובאני טוריאני, או בשמו הספרדי – חואנלו טוריאנו [Juanello Turiano]. התיאוריות המתחרות המסבירות את עקרון הפעולה של מכונה זאת, הידועה בשם ארטיפיסי

(Artificio) נדונות בפירוט, תוך דיון בחתרונותיהן וחסרונותיהן. כמו כן נדונים הקשיים הבריורקטיים והפוליטיים שליוו מפעל זה לאורך כל הדרך.

הפרק השביעי מוקדש ללונדון. הוא פותח בתיאור מנגנון השלטון העירוני במחצית השנייה של המאה השש עשרה וסוקר בהמשך את ההיסטוריה של יוזמות אספקת מים מאז הקמתה של העיר ועד להקמת המנגנון להעלת מיים מנהר התמזה, פרי יוזמתו של המהנדס ההולנדי פיטר מוריס (1582-1581). טבעו של המנגנון משוחזר על פי מגוון של עדויות כתובות ואיקונוגרפיות, וכן מובאות ראיות הדוחות ראיות רווחות לגבי כמות המים שסופקה באמצעות מפעל זה. הפרק מסתיים בהצגת יוזמות אחרות לאספקת מים מן הנהר וממקורות אחרים למטרופולין של לונדון, תוך ניתוח היתרונות והחסרונות שלהם.

הפרק השמיני עוסק בפריס. הוא פותח בביאור הייחודיות של הרשויות המקומיות של בירת צרפת במאה השש עשרה והשבע עשרה ואת ההיסטוריה של המיזמים לאספקת המים שקדמו להקמת הסמריטן [La Samaritaine] ע"י הפלמי ז'אן לינטלאר [Jean Lintlaer] בגשר פונט נף [Pont Neuf] בשנת 1604. גם מפעל זה התבסס על ניצול זרם הנהר להעלת מים בעזרת סדרה של משאבות. נכללת בפרק התייחסות למיזמים נוספים שתרמו לפתרון בעיית אספקת המים של העיר במאה השבע עשרה, לרבות הצגת המכונה של מרלי [La machine de Marly], שסיפקה מים לארמון ורסיי.

ההפרק האחרון מוקדש להשוואה בין המיזמים ולמסקנות שהופקו מהמחקר בהיבטי השונים. התובנה הראשונה עוסקת במהנדסים כסוכני שינוי וסוכנים של העברת טכנולוגיה. מקצועו של מהנדס במאה השש העשרה והשבע עשרה עדיין היה - כפי שהיה מאות בשנים - קשור קשר הדוק לטכניקות מסורתיות, כגון בניית גשרים, סכרים, כבישים, ביצורים וכו'. עם התערורות החדשנות הטכנית בכלל ופיתוח המכונות בפרט גדל הביקוש לשירותם של מהנדסים-ממציאים, ביקוש שהוביל לשיפור מעמדם החברתי. בה בעת התעורר אצלם הצורך בהגנה על קניינם הרוחני ופירות עבודתם. אחת התוצאות הייתה ההכרה בבעלות על המצאותיהם באמצעות מנגנון של הרשאות או מערכות לרישום פטנטים בפועל. אנשים החלו לחשוך במקצוע זה שאפו לכהן כמהנדס למלך, תפקיד שהעניק יוקרה חברתית, עוצמה והכנסה מתגמלת. יתר על כן, התפקיד המכריע של המהנדס כסוכן של שינוי השולט הן בהיבטים התיאורטיים והן בהיבטים המעשיים של מכונות העלאת המים נחקר בעבודה זאת בשילוב עם סוכני שינוי אינסטרומנטליים אחרים כגון בעלי הון ורשויות שלטון. בעודם מחפשים הצעות עבודה מתגמלות מהנדסים יכלו בקלות לעבור בין הערים, מה שאיפשר למלכים ולמוסדות השלטון לנצל את בעלי הכישרון שהגיעו מבחוץ לביצוע עבודות ציבוריות שדרשו טכנולוגיות מורכבות. ערים ומדינות התחרו אלה באלה על גיוס הכישרונות הטובים ביותר, אבל רק במקרים בודדים לקחו על עצמם

את הסיכון הכלכלי שתקלה טכנית פוטנציאלית הייתה יכולה לגרום. המחקר עוקב אחרי התהליכים של העברת טכנולוגיה מאזור אחד למשנהו והתאמתה לתנאים מקומיים. המהנדסים/היזמים הזרים בטולדו, לונדון ופריז במחצית השנייה של המאה השש עשרה מוצגים כדוגמאות למהנדס הנווד עם הידע והכשרון שלו בין אזורים שונים באירופה באותה תקופה. צדדים אפלים מוצגים גם כן, כגון העברת ידע שקרי במכוון ותפקידה של היוהרה בהחלטות שנגעו לפרויקטים אלה.

ההתייחסויות כלפי המיזמים היו שונות בין הערים. מאז תחילת הפרויקט של חואנלו כיסה מעטה של סודיות את כל שלבי הבנייה ואת דרכי הפעולה של המנגנון הפנימי של המכונה. מה שהפך כמעט מיד למיתוס טכנולוגי נחשב כבר בעת השקתו ליצירת אמנות. השאיפה ליוקרה חלחלה בכל מעשה. ההתייחסויות הנלהבות לארטיפיסי ביצירות הספרותיות של המחברים הספרדיים המפורסמים ביותר של התקופה היו ייחודיות. הדגש בלונדון היה בהיבט המסחרי: העלות של המים שיופקו והמחיר שייגבה בעבורם, התוצאות הפיננסיות ואורכה של תקופת הזיכיון שניתנה על ידי הרשויות. היזם ניהל משא ומתן עם חברי מועצת העיר ללא כל מעורבות מצד המלך מאחר שזכותה של העיר לנהל את ענייניה ניתנה לה בהדרגה על ידי הכתר במהלך המאות הקודמות. כדאיות הדדית נראית המוטיבציה העיקרית למיזם זה. בפריז, לפני שנחנך הסמריטן, היסטוריה ארוכה של שחיתות, גניבת מים ומשוא פנים גרמו לכישלון של מפעלים קודמים. הכוח האבסולוטי של הריבון, שגחמותיו הועדפו על פני הדאגה לנתיניו בא לידי ביטוי בהחלטתו על השקיית גינות ארמונותיו בפריז בכל מחיר. הבניין שבו הותקנו המשאבות עוצב בפאר וכלל פסלים ושעון נפלא. מאוחר יותר ובאותה רוח יזמו יורשיו מפעל מים יקר וראוותני במרלי, שנבנה אך ורק לטובת היהלום שבכתר האחוזות שלהם – ארמון ורסאי.

מערכות אספקת מים בפריז ובלונדון התפתחו כתוצאה מתבקשת ממידת הצלחתם. ההתרחבות הייתה תוצאה של מעגל קסמים חיובי – ככל שהאספקה הייתה טובה יותר באזורים שבהם היו מים בשפע, כך גדלה משיכת האוכלוסייה לאותם אזורים, תופעה אשר בעצמה הניעה את ההתרחבות של מערכות אלה. תופעה זו קיבלה ביטוי בפריז כמה עשורים מאוחר מלונדון, עם בניתן שחל המשאבות בגשר נוטרה דם (Notre Dame). בטולדו, כאשר הטכנולוגיות הידועות של התקופה לא היו מסוגלות להתגבר על האילוצים הטופוגרפיים, דרך בלתי שגרתית הייתה נחוצה כדי לפתור את הבעיה. הסיבות לבעיות הטכניות הקריטיות נפתרו על ידי חואנלו, אם כי לא בקנה מידה גדול דיו. השקיעה היחסית של טולדו ללא ספק הושפעה מעובדה זו. בזמן קצר יחסית לשם מילוי הצרכים העירוניים נדרשה יכולת טובה יותר ויותר מצד מהנדסים ומנהלים לתכנן מערכות חדשות ולהרחיב את אלה הקיימות. הבחירות שנעשו השפיעו על העלויות,

האמינות והיעילות. כך קרה בכל שלוש הערים, עם השגת הצלחה מסחררת בלונדון, השגת יעדים מוגבלים בפריז וכישלון מעשי בטולדו.

עבודת הדוקטורט עוסקת, מצד אחד, במניעים שמאחורי המיזמים הללו ובתוצאות החברתיות והכלכליות שלהם, ומצד שני, באינטראקציה עם הכוחות התרבותיים, השלטוניים והחברתיים שהשפיעו על התפישה שלאורה גובשו הפתרונות שאומצו בכל מקרה ומקרה. בעבודה נגזרות תובנות מהמדיניות של שלוש המונרכיות באשר ליוזמה ולתמיכה בעבודות ציבוריות בקנה מידה גדול, מדיניות אשר השפיעה על הרמה הטכנולוגית של הפרויקטים השונים. הרשויות בכל מדינה הגדירו את המטרות של כל המיזמים באופן שונה, מטרות שנועו מגישת "עבודות למען הציבור" הטהורה בלונדון דרך האינטרס האישי המפורש הבלעדי של המלך בפריז ועד הזלזול המשתמע מיחסו של המלך הספרדי לאוכלוסיית טולדו.

מאז ומעולם היה ידוע כי התקדמות טכנולוגית משפיעה על חברה, לעתים באופן קיצוני. בה בעת הייתה התעלמות במידה רבה מהטענה המנוגדת. תזה מרכזית של מחקר זה היא שפתרונות טכנולוגיים מושפעים מהחוגים התרבותיים, החברתיים, הכלכליים והפוליטיים במקומות שבהם הם מיושמים. המקרה של אספקת המים העירונית לערים אירופיות במחצית השנייה של המאה השש עשרה ובראשית המאה השבע עשרה הוא דוגמה לכך. המחקר עשוי לתרום לשיפור ההבנה על אודות התפתחות מערכות לאספקת מים והדרכים השונות שבהן הן השפיעו על ההתפתחות הדמוגרפית, החברתית וכלכלית של כל עיר. על אף שאותה טכנולוגיה בסיסית הייתה כנראה זמינה באותה עת בכל הערים, התרבות השלטונית, ההנדסית והניהולית של כל אזור היתה שונה ובכל עיר ניתן לזהות "סגנון" שונה ותוצאות שונות באופן ניכר.