

## גישה השוואתית לפגיעות סיסמית של מיכלי פלדה בתוך ארובה מבטון מזוין

כותבי המאמר:

יניב כהן – חברת החשמל, אוניברסיטת פאביה, [yaniv.cohen@iec.co.il](mailto:yaniv.cohen@iec.co.il)

ד"ר ארקדי ליבשיץ – חברת החשמל, [arkady.livshits@iec.co.il](mailto:arkady.livshits@iec.co.il)

פרופ' רוברטו נאשימבנה – איטליה, אוניברסיטת פאביה ומרכז ארופאי EUCENTRE,

European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering

[Roberto.nascimbene@eucentre.it](mailto:Roberto.nascimbene@eucentre.it)

שם העיתון בו פורסם המחקר לראשונה: Periodica Polytechnica Civil Engineering

<https://pp.bme.hu/ci/article/view/9311/7201>

### תקציר

במסגרת מחקר זה בדקנו את התגובה הסיסמית של מיכל מים מפלדה המוגבה בתוך ארובה מבטון מזוין, כדי לבחור מיקום אופטימלי למיכל, וכדי ולבדוק מגוון אופציות גיאומטריות במונחים של היחס בין הגובה לרדיוס (H/R). בין ההנחות השונות והתקנים לתכן מיכל מוגבה, כגון: AWWA D100-11 ו-ASCE 7-10, המספיקים לרוב במקרים ספציפיים של הליכי תכנון מיכלים מוגבהים, לא נמצא אחד העונה על הדרישות המדויקות של המקרה הנוכחי, כאשר המסה של המבנה התומך גדולה יחסית בהשוואה למיכל האגירה. המיכל ממוקם בגובה של 63 מטר מתחת לגובה האמצע של הארובה שגובהה 200 מטר, וכתוצאה מכך ההתנהגות היא שונה מאשר במקרה של זיז פשוט עם המסה בחלקו העליון. יתר על כן, עבור יחסי H/R מסוימים, ייתכנו תופעות צימוד בין זמן המחזור הבסיסי של הארובה לבין זה של רכיב הגל במיכל. במקרה שלנו, נבחן מודל אקוויוולנטי פשוט, אך כזה שעדיין ניתן להעריך באמצעותו בצורה מדויקת את תאוצה לתכן המיכל, את ההגברה הדינמית, את אפקט הריסון, את האפקט הפיתול במיקום שבחרנו למיכל, וכן לקלוט תופעות ספקטרום מקומיות כגון הגברה מקומית.

ביצענו בדיקה של המיכל בגובה הקרקע על פי AWWA D100-11, ובעקבותיו ערכנו ניתוח ליניארי—מהלך הגיוני בהתחשב בעובדה שהמבנה התומך הוא ארובה, ועל כן ניתן לצפות באופן סביר להתנהגות אלסטית. בהמשך, כאשר המיכל בגובה 63 מטר, הוא נבדק על פי שלוש שיטות קיימות/מקובלות, תוך שימוש בספקטרום התקן ובספקטרום ספציפי לאתר, כאשר התוצאות מצביעות על השתנות רבה בתוצאות. שיטה רביעית וחדשנית מוצעת בהמשך, שבניגוד לשיטות המקובלות, יכולה לקלוט במדויק את התנאים של המקרה שלנו, על ידי שילוב בין היתרונות של כל השיטות לבין המלצות הלקוחות ממסמכים נוספים. את תזרים העבודה המתואר להלן ניתן ליישם בקלות במקרים אחרים של מיכלים מוגבהים במתקנים/מבנים אלסטיים אשר לגביהם הפרוצדורות הנהוגות והתקינה אינן מתאימות.

*מילות מפתח:* מיכל פלדה; מיכל בגובה; ארובה מבטון מזוין; רכיבים לא מבניים; הגברה דינאמית.

## ABSTRACT

This study provides a framework for investigating the seismic response of an elevated steel water tank within a reinforced concrete chimney, to assist optimal tank placement and analyse different tank geometries in terms of height to radius ( $H/R$ ) ratio. Elevated tank design procedures in different guidelines and codes such as API 650, AWWA D100-11 and ASCE 7-10 are adequate for specific cases, none of which meets the exact requirements of this case study, in which the supporting structure mass is large relative to the storage tank. The tank is located at an elevation 63 m below the mid-height of the 200 m chimney, resulting in a different behaviour than a simple cantilever with a mass at the top. Furthermore, for certain  $H/R$  ratios, coupling effects may exist between the fundamental period of the chimney and that of the sloshing wave. An equivalent model is examined that is simple enough yet able to accurately produce the design acceleration, dynamic amplification, damping and torsional effects at the chosen tank location, and to capture site effects. An analysis of the tank at ground level is conducted according to AWWA D100-11, followed by a linear analysis - a sensible procedure since the supporting structure is a chimney, reasonably expected to behave elastically. Subsequently, the tank at elevation 63 m is analysed within the framework of three existing methods using code spectra and site-specific spectra, with highly variable results. A novel fourth method is then proposed which, contrary to the existing methods, can accurately capture the conditions of this case study by combining the benefits of all methods with recommendations from other documents. The workflow described here can be readily applied to other cases of elevated tanks for which the standard procedures are inadequate.

*Keywords:* steel tank; elevated tank; reinforced concrete chimney; non-structural component; dynamic amplification.