

הנדסת בנייה ותשתיות

כתב העת המקצועי של איגוד המהנדסים לבנייה ותשתיות בישראל

גליון 59

מאי 2014



בהוצאת

הירוק
הוצאה לאור בע"מ

איגוד המהנדסים
קניית חלופות בישראל

הקמת מגדל הפיקוח חדש בנתב"ג

מהנדס אריק הקטר, מנהל פרויקט מגדל הפיקוח החדש,
עבור רשות שדות התעופה



תמונת הדמיה של משרד "פלאג אדריכלים", שתכנן את מגדל הפיקוח החדש בנתב"ג, הממחישה כיצד ייראה לאחר השלמתו

בציר אחד שכיוונו מזרח-מערב). גיאומטריה זו נבחרה הן משיקולים אדריכליים והן משיקולים פונקציונאליים. מאמר זה יתאר בעיקר את השיקולים ואת האתגר ההנדסי בבניית מעטפת וגרעין המגדל, לאור העובדה כי צורת המעטפת שלו היא ייחודית ומחייבת גישה הנדסית שונה וגיבוש פתרונות הנדסיים מיוחדים, בין השאר בשל לוח הזמנים הקצר שהינו חודשים לביצוע העבודה בשלמותה. מטבע הדברים וכמקובל בענף תכניות אדריכליות מכילות מידע לגבי כל קומה מתוכננת, והשלמת המידע נעשית באמצעות חתכים, חזיתות ופרטים. במקרה שלפנינו מידע זה אינו מספיק, שכן על המבצע לדעת את הגיאומטריה בכל נקודת גובה נתונה ברצף. על מנת לפתור בעיה זו הוכן בהתאם לדרישות המפרט, באמצעות הקבלן, מודל תלת-מימדי ממוחשב. המודל נבנה בעבודה משותפת בין משרד האדריכלים לבין חברת "מבט D3" והתוצאה הסופית היא תיאור רציף של גיאומטריית המגדל בכל גובה ולמעשה בכל נקודה.

המודל שימש לבניית מעטפת המגדל, כפי שיתואר בהמשך, וישמש למעשה גם לצורך תכנון ביצוע החיפוי. עם סיום בניית שלד המעטפת, מתבצעת סריקה בציוד לייזר מיוחד של המעטפת, הממפה את המעטפת ברשת צפופה של נקודות. השוואת תוצאות הסריקה למודל התיאורטי מאפשרת תכנון ביצוע של חיפוי אלומיניום ושל רכיבים

מסיבות הקשורות בבטיחות טיסה בוצעו שינויים במערך מסלולי ההמראה והנחיתה בנתב"ג. שינויים אלו משפיעים על זוויות הראייה של פקחי הטיסה במגדל הפיקוח הקיים וחייבו הקמת מגדל פיקוח חדש. מיקום המגדל החדש וכן גובהו נבדקו ונבחנו תוך שימוש באמצעים מגוונים, החל בהדמיות מחשב וכלה בשימוש בבלון ובמסוק. המגדל החדש תוכנן על-ידי משרד "פלאג אדריכלים" בשיתוף פקחי טיסה, ותכנון הקונסטרוקציה נעשה על ידי משרד "ש. אנגל מהנדסים בע"מ". בניית המגדל הולכת ונשלמת בימים אלה על-ידי חברת "דניה סיבוס". גיאומטריית המגדל מורכבת, בהיטל אופקי, ממעגלים שהולכים וקטנים לקראת מחצית גובה המגדל ולאחר מכן הולכים וגדלים לקראת שיא גובהו. מרכז המעגלים אינו אחיד והוא משתנה בכל נקודת גובה. כתוצאה מכך הצורה המתקבלת איננה סימטרית (למעט

* כתבתו זו של מהנדס אריק הקטר זכתה בפרס הראשון בסך 1,000 ש"ח בתחרות המאמרים המקצועיים של האיגוד, שהסתיימה בחודש פברואר 2014. מהנדסים חברי האיגוד מוזמנים לשלוח מאמרים וכתבות בנושאים הקשורים בהנדסת בנייה ותשתיות, ולספר על פרויקטים מיוחדים להם הם שותפים, על חידושים ופתרונות יצירתיים לבעיות שנתקלו בהן במהלך התכנון או ביצוע פרויקטי בנייה ותשתיות. מאמרים אלה יועלו לאתר האינטרנט של האיגוד והמצטיינים יפורסמו גם בעיתון האיגוד.



מגדל הפיקוח בבנייה לקראת השלמתו. לכשיושלם הוא יתנשא לגובה של 100 מ' ושטחו הבנוי יהיה 5,000 מ"ר

התואמת את הביצוע. עיצרה לא מתוכננת של התבנית משמעותה, במקרה זה, גרימת נזק רב לעלויות העבודה וללוחות הזמנים. בביצוע שלד מגדל הפיקוח נעשו רק שתי עצירות מתוכננות מראש של התבנית - האחת לצורך קשירת והגבהת העגורן, והשנייה ביום הכיפורים.

* הערה: איגוד המהנדסים לבנייה ותשתיות אינו אחראי על תוכן המאמר.

נוספים אחרים.

כיוון והתאמה בקרני לייזר לצורך ביצוע המעטפת נבחרה על-ידי חברת "דניה סיבוס" חברה אוסטרית בשם GLEITBAU שברשותה הציוד והידע לביצוע הגיאומטריה המשתנה של המגדל. באתר הוקמה תבנית מחליקה (FORMING), שכל חלקיה, למעט העץ לפיגומים, יוצרו והובאו מאוסטריה. התבנית מורכבת מטפסות מתכת בגובה מטר אחד. צורת המעגל של המגדל חולקה ל-2 גזרות, כל 15 מעלות. בכל אחת מנקודות החלוקה הורכבו בוכנות הידראוליות, המכונות "יוקים", לצורך דחיקת התבנית כלפי מעלה, וכן בוכנות אופקיות ממרכז התבנית, לצורך שינוי הרדיוס ושינוי זווית התבנית. לצורך ביצוע עבודות היציקה, הזיון והתאמות התבנית, נבנו מעל וסביב התבנית פיגומים בשלושה מפלסים: דק עליון, ממנו בוצעה היציקה; פיגום אמצעי לצורך עבודות הזיון והיציקה; ופיגום תחתון לצורך עבודות אשפחה, תיקונים ושונות. על מנת להגיע לתערובת בטון שמאפשרת ביצוע בשיטה זו נעשו ניסיונות רבים בתערובות שונות, אותם הוביל מומחה נורווגי המלווה את הפרויקטים של חברת GLEITBAU במקומות רבים ובתנאי אקלים שונים בעולם. תערובת הבטון שנבחרה מורכבת, בין השאר, מצמנט מסוג CEM-3. בנוסף לכך נעשה שימוש בקרח, כחלק ממנת המים, להקטנת חום הידרציה. תערובת זו אפשרה לתבנית את הגמישות הנדרשת לשינוי הזווית והקוטר תוך כדי ביצוע היציקה, ומצד שני התערובת הגיעה לחוזק מספיק שאיפשר לתבנית לטפס ולהשאיר בטון בלתי תמוך מתחת. קצב עליית התבנית תוכנן לכ-12 ס"מ בשעה שהם כ-300 ס"מ ביממה. לאחר ההתגברות על קשיים ראשוניים ולאחר התאמת תערובת הבטון הנכונה, התקרב קצב העלייה לתחזית. מעטפת המגדל כולה הוקמה תוך פחות מחודשיים של עבודה רציפה במשך 24 שעות ביממה, שבעה ימים בשבוע. קצב זה חייב עבודה במשמרות של כ-40 עובדים במשמרת לצורך ביצוע קשירת הזיון והיציקות. קשירת הזיון חייבה היערכות מיוחדת בשל מספר אילוצים:

- א. אורך הזיון האנכי המירבי שניתן ליישם בשיטה זו הוא 6 מ'.
- ב. כמות הזיון, בשל היות המבנה צר ותמיר, גדולה מאד יחסית.
- ג. בשל מבנה התבנית ניתן לקשור זיון אופקי לגובה של 60 ס"מ בלבד מעל פני הבטון.
- ד. נדרשו הכנות רבות להמשך הביצוע אביזרי HBT ו-HBS לצורך בניית תקרות, קירות וממ"מ עתידיים.
- ה. הזיון האנכי נקשר בשיפוע, במקביל ליוקים המטפסים לאורך קווים גיאודטיים של המעטפת.
- ו. פרטי זיון מיוחדים סביב פתחים. כיוון והתאמת גיאומטריית התבנית בוקר והותאם למודל ברציפות במהלך הטיפוס, באמצעות קרני לייזר אנכיות, שהוקרנו ממפלס בסיס המגדל מנקודות קבועות. יצוין, כי ביצוע עבודה מסוג זה מחייבת היערכות מפורטת ומדוקדקת לכל שלב ושלב. הקבלן המבצע הכין לצורך הביצוע חוברת המפרטת את ההכנות הנדרשות בכל מפלס, כולל הכנות נדרשות ליציקות עתידיות, פירוט הפתחים ומיקומם, וכן תיזמון אספקת פריטים ואביזרים