

מגדלי כיכר המדינה: כשחזון אדריכלי שאפתני פוגש יצירתיות הנדסית

פרויקט מגדלי כיכר המדינה הוא פרויקט יוצא דופן השובר את גבולות התכנון הקונבנציונלי עם גיאומטריה ייחודית: בכל אחד משלושת מגדלי הספירלה, כל קומה מסתובבת ב-1.25 מעלות, ויחד הן יוצרות מופע אדריכלי מרהיב ודינמי המתכתב בהרמוניה עם הכיכר האייקונית בלב תל אביב. יישום החזון האדריכלי השאפתני דרש פתרונות הנדסיים פורצי דרך - חלקם בוצעו לראשונה בישראל

מהנדס רונן גוליוורסקי, מהנדס יואב אבידור*



תכנון גיאומטרי ייחודי בלב תל אביב. הדמיה

לקירו, מלתחות, סאונה רטובה ויבשה, חדרי טיפולים ואולם אירועים רב תכליתי.

המגדלים הוקמו מעל חניון תת קרקעי בן שלוש קומות הכולל 1,620 מקומות חניה, לשימוש פרטי וציבורי. את המתחם יעטוף פארק ציבורי רחב ידיים שבמרכזו אגם מלאכותי וסביבו שבילי הליכה ואופניים, מתקני כושר ומשחקים לילדים, גינת כלבים, קיוסקים בעיצוב רטרו ועוד.

3 מגדלי ספירלה מוקפים ריאה ירוקה

מתחם המגורים היוקרתי של **אשטרום קבלנות ואלקטרה בנייה** משתרע על פני שטח כולל של 49 דונם וכולל שלושה מגדלי ספירלה ייחודיים בלב תל אביב - שני מגדלים בני 40 קומות ומגדל נוסף בן 39 קומות. יחד יציעו המגדלים 453 דירות יוקרה בגודל 150 מ"ר כל אחת. בקומת המרתף של אחד הבניינים הוקם מתחם ספא יוקרתי ובו חדר כושר, בריכה חצי אולימפית עם סקיילייט

3 מגדלים עם גרעין עגול מסתובב, תכנון עבודת המנופים, וביצוע עבודות אלומיניום במבנים מסתובבים, ללא פיגומים תלויים ותוך תזמון מדויק עם עבודות השלד.

האתגר: ביסוס המגדלים

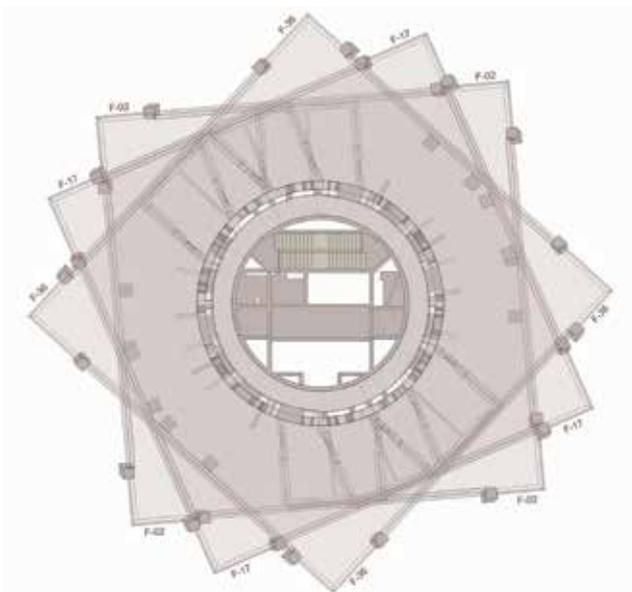
הפתרון: שלוש רפסודות מרוסנות באמצעות כלונסאות

עבודות הביסוס של המגדלים היו מורכבות במיוחד, ודרשו הקמה של שלוש רפסודות בטון בגובה 260 ס"מ ובנפח של כ-3,600 מ"ק כל אחת. כל אחת מהרפסודות רוסנה באמצעות כלונסאות ריסון שתוכננו לספק יציבות מרבית למבנה. ביסוס החניון בוצע באמצעות פלטות יסוד ורצפה מונחת, אשר כיסתה את כל שטח החניון – כ-30,000 מ"ר.

האתגר: גרעין עגול שמסתובב ב-1.25° בכל קומה

הפתרון: תבנית מחליקה (SlipForm)

בנייתם של מגדלים עגולים מחייבת פתרונות הנדסיים יצירתיים שיתנו מענה למוטיבים אדריכליים ייחודיים כמו פיתול, שיפוע וסיבוב. בפרויקט כיכר המדינה, שלושת המגדלים מבוססים על גרעין עגול הצומח לגובה באופן ספיראלי תוך סיבוב של 1.25 מעלות בכל קומה. עם ההתקדמות מקומה לקומה, משתנה גם מיקום הפתחים בגרעין.



כל קומה מסתובבת ב-1.25 מעלות ביחס לקודמתה

בתוך גרעיני המגדלים נמצאים פירי המעליות, גרמי המדרגות, החדרים הטכניים, וכן המבואה המעגלית שמובילה אל פתחי דירות המגורים שנמצאות בדופן הגרעין. כדי להתמודד עם מורכבותו של מבנה השלד, נבחרה שיטת ביצוע מתקדמת: שימוש ב"תבנית מחליקה" (SlipForm) – מערכת תבניות מתועשת המאפשרת יציקה רציפה לגובה תוך שמירה על דיוק מירבי.

לשם כך, הובאו לישראל 3 תבניות מחליקות מאוסטריה, יחד עם צוותי עבודה ייעודיים שליוו ופיקחו על כל שלב בתהליך. השיטה, שהופעלה בארץ בעבר באופן מוגבל (למשל, במגדל הפיקוח בנתב"ג), יושמה כאן לראשונה להתמודדות עם גרעין עגול שבו הפתחים עצמם נעים במרחב – אתגר הנדסי שאין לו תקדים מקומי.



תרשים קומת הקרקע, החניונים והפארק שיקיף את המתחם

בדצמבר 2022, נמסר לחברות השותפות בפרויקט בור חפור ומדופן בכיכר המדינה. לשלב החפירה והדיפון קדם תהליך העתקת עצים משטח החפירה אל המעגל ההיקפי של הכיכר או למשתלה - עד לסיום הבנייה. עצים אלה ימצאו מחדש את מקומם בפארק רחב הידיים אשר יוקם בהמשך בשטח הכיכר.



אגם מלאכותי בלב פארק רחב ידיים. הדמיה

בין חזון למציאות: האתגרים שמאחורי הפרויקט

מאחורי היוזמה להקמת פרויקט היוקרה בכיכר המדינה עומדים כ-120 בעלי קרקע, שנרכשה בשנות ה-40 על ידי גורמים פרטיים, ויורשיהם התאגדו לטובת הפרויקט. בניגוד לפרויקטים יזמיים אחרים, העובדה שכלל הדירות שייכות לבעלי הקרקע וכולן אמורות להימסר בו זמנית, חייבה בנייה של 3 המגדלים במקביל, ולא בשלבים. מדובר בתהליך מאתגר במיוחד ברמה ההנדסית והביצועית, בעיקר במקרה של מגדלים גבוהים בעלי תכנון גיאומטרי יוצא דופן.

אותו תכנון ייחודי הציב בפני צוותי העבודה אתגרים נוספים הנוגעים ל-4 אלמנטים עיקריים: אופן ביסוס המבנה, שלד הכולל



מבור חפור ומדופן למתחם מגורים שלא נראה כמותו בישראל

יחד עם העמודים, יוצרות מראה מפותל, לא שגרתי ומרשים במיוחד - מהבסיס ועד לקצה.

האתגר: התבנית המחליקה מחייבת שימוש בבטון מיוחד המתקשה מהר

הפתרון: וויסות שכבת הבטון

השימוש בתבנית המחליקה חייב שימוש בחומרי יציקה ייעודיים - בטון מיוחד בעל זמן התקשות מהיר. העובי המשתנה של קירות הגרעין יצר הבדלים בקצב ההתקשות: בקירות העבים יותר קצב התקשות הבטון הטהר מהיר יותר מאשר בקירות הדקים. כדי להתמודד עם הפערים, הוחלט לווסת את גובה שכבת הבטון הנשפכת בכל קיר, על מנת להבטיח שהבטון יתקשה בצורה אחידה ככל הניתן לאורך כל היקף התבנית. האתגר המרכזי היה למצוא את האיזון: מצד אחד, הרמה של התבנית כדי למנוע היצמדות של הבטון אליה, ומצד שני - הרמה מוקדמת מדי עלולה לגרום לבטון שטרם התקשה לזלוג החוצה.

האתגר: קירות חדרי ממ"ד משופעים

הפתרון: מערכת תבניות מטפסת על תרנים הידרומיכניים



תבנית להקמת קירות הממ"ד

גם קירות הממ"ד בקירות המגורים הציבו אתגר ייחודי בפני צוותי העבודה, בשל צורתם המשופעת. כדי להתמודד עם הגיאומטריה המורכבת, נעשה שימוש במערכת מטפסת של תבניות מיוחדות על גבי תרנים ייעודיים, אשר יחד עם פרופילי פלדה איפשרו את הסעתן קדימה ואחורה ואת הרמתן מקומה לקומה. התרנים מחליקים באמצעות סמכים השתולים בקומות דרך פתחים אשר נשארים בזמן יציקת התקרה, ובכך איפשרו את הרמת הטפסות מעל למפלס המתוכנן של התקרה, ואת יציקת התקרה ללא צורך בשינוע אופקי של אותן טפסות אנכיות. שיטה זו ייתרה את הצורך בהפעלת מנוף, ואיפשרה להרים את כל קירות הממ"ד בבת אחת, בצורה רציפה ומדויקת, תוך שימוש במנגנון הרמה הידרו-מיכני.

האתגר: מעטפת מסתובבת בה המנוף פוגש את התקרה בכל פעם במקום אחר

הפתרון: גרעין "בורח" עם מנוף לאפר קשור מחוץ למגדל

התכנון הגיאומטרי הספירלי של המגדל יצר אתגר ייחודי: כיוון שהמעטפת מסתובבת ב-1.25 מעלות בכל קומה, נקודת המפגש של המנוף עם המבנה השתנתה בכל שלב בבנייה - מה שעלול היה לגרום לפגיעה בקירות המסך. לאחר שנפסלו פתרונות כמו הצבת מנוף מטפס על גבי המעטפת, הגרעין או התקרה, נבחר פתרון יצירתי: שימוש בגרעין "בורח" בשילוב מנוף לאפר חיצוני, הקשור למבנה מבחוץ. הקשר בין המנוף

התבנית המחליקה מחוברת לגשרונים ("יוקים") ומטפסת מעלה באמצעות ג'קים הידראוליים הנשענים על צינורות טיפוס הטמונים בקירות הבטון. הרמת התבנית התבצעה בקצב ממוצע של כ-1.5 מטר ליום, בצעדים מדודים של כ-2.5 ס"מ בכל פעם, כשהתבנית כולה - כולל כל מפלסי העבודה - עולה כיחידה אחת.

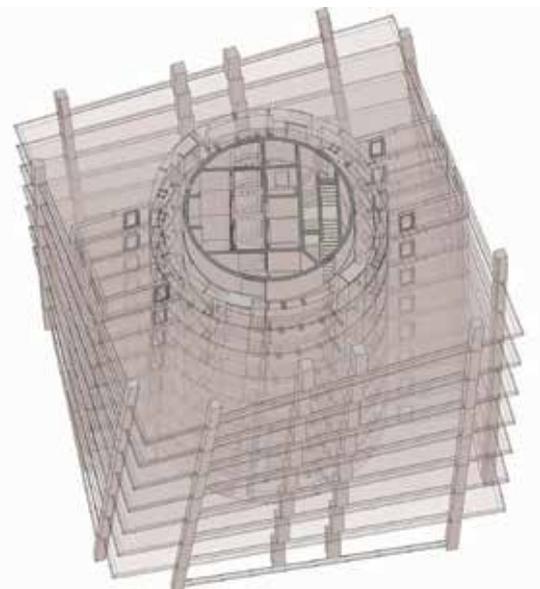


התבנית המחליקה בראש גרעין אחד המגדלים

קצב התקדמות זה איפשר להשלים כ-7 קומות בחודש, לעומת כ-3 קומות בלבד בתכנון קונבנציונלי, ולקצר את משך הבנייה הממוצע של כל מגדל ל-11.3 חודשים בלבד.

מעבר לקצב הבנייה המהיר, לשימוש בתבנית המחליקה ישנם יתרונות רבים נוספים כמו חיסכון בכוח אדם ואפשרות לסינכרון של קצב התקדמות הבנייה לבין שאר התבניות המאפיינות את הפרויקט. בנוסף, עבודת התבנית התבצעה תוך דיוק מקסימלי וסיפקה מענה אופטימלי לגיאומטריה המפותלת של הפתחים בגרעין. התבנית היוותה שטח סגור ובטיחותי אשר אף צימצם את הצורך בעבודה בגובה. הקצב המהיר של התרוממות הגרעין איפשר להתחיל בבניית קומות המגורים כבר בשלבים מוקדמים - תוך כדי המשך התרוממותו של הגרעין עצמו - מהלך יוצא דופן בפרויקטים מסוג זה.

השפעת התכנון האדריכלי אינה מסתכמת בגרעין המגדל בלבד: גם עמודי המגדל עצמם אלכסוניים ומפותלים. הקומות המסתובבות,



לסיבוב הקומות השפעה גם על עמודי המגדלים



מקומות ייעודיים להנחת ארגזי חומרי האלומיניום, באופן אופטימלי לביצוע העבודה ובמיקומים שלא יפריעו לעבודות טפסנות השלד.



עבודות אלומיניום שדרשו תכנון לוגיסטי מורכב

בניית מגה פרויקט בלב רקמה עירונית צפופה

הקמת הפרויקט התבצעה בלב אזור עירוני פעיל במיוחד, מה שדרש התחשבות מתמדת בדירי הסביבה, בתנועת כלי הרכב ובזרם הולכי הרגל – לאורך כל שעות היום והלילה. אחד האתגרים המרכזיים היה העובדה שלא הוקם מפעל בטון באתר עצמו, יחד עם המגבלות של עיריית תל אביב שהתירה ביצוע יציקות באתר בשעות היום בלבד. חריגה מהכלל התאפשרה רק ביציקות רפסודות הבסיס של המגדלים, עבורן הושג אישור ייעודי לביצוע בשעות הלילה. מעבר לכך, מיקומו של האתר בסמיכות לעורקי תחבורה ראשיים – ובראשם נתיבי איילון – אשר נחסמו לעיתים תכופות בשל אירועים שונים, יצר אתגר לוגיסטי נוסף שהכביד על שגרת העבודה והצריך תכנון מוקדם במיוחד של תנועת המשאיות, אספקת החומרים וסנכרון צוותים באתר.



ביצוע יציקה לילית של אחת מרפסודות המגדלים

בנייה בשיאה של מלחמה

חלק ניכר מעבודות הבנייה בפרויקט התבצע תוך כדי התמודדות עם מציאות ביטחונית מורכבת – בשיאו של מצב חירום ומלחמה פעילה. החברות המבצעות נדרשו להתמודד עם אתגרים לא שגרתיים: עיכובים באספקת חומרים מחו"ל, מחסור בכוח אדם, דאגה לביטחונם של עובדים זרים באתר, היעדרותם של מנהלים בכירים שגויסו לשירות מילואים, ואיומי הטילים. למרות כל אלה,

לשלד בוצע באמצעות קשירות ייעודיות, שתוזמנו בקפדנות עם קצב ההתקדמות של התבנית המחליקה. ההצלחה בביצוע התלויה בתיאום מלא בין צוותי הביצוע באתר לבין צוותי המנופים, הפכה פתרון זה לאחד משלבי המפתח בניהול ההנדסי של הפרויקט.



מנופי לאפר קשורים מחוץ למגדל

האתגר: עבודות אלומיניום במבנים מפותלים וללא פיגומים תלויים

הפתרון: מערכת הגנה היקפית ייחודית עם הרמה הידראולית
מרכיב נוסף ומאתגר בפרויקט היה עבודות האלומיניום. גאומטריית המגדלים המפותלת שכללה חזיתות שאינן אנכיות, והצורך להשלים את העבודות באופן מלא וללא עבודות השלמה בשלבים מאוחרים יותר, הצריכו תכנון לוגיסטי מדוקדק לפרטי פרטים. הצוותים חיפשו פתרון שיאפשר עבודה מדויקת ובטוחה, ללא שימוש במעליות חיצוניות או התקנת מנופים על גבי המגדל. הפתרון שנבחר – מערכת הגנה היקפית ייעודית להרכבת אלומיניום, שהורכבה מ-24 סגמנטים אשר מקיפים את כל המגדל ועולים באופן הידראולי יחד עם קצב ההתקדמות בבנייה.



מערכת הגנה היקפית לבצוע עבודות אלומיניום ללא פיגומים

המערכת נחשבת לפתרון ראשון מסוגו בארץ והיא איפשרה התקנה בזמנית של שתי קומות, שיפרה משמעותית את יכולת השינוע הלוגיסטית באתר, הציעה בקרת איכות טובה יותר, ויצרה סביבה עבודה בטוחה ויציבה שאינה חשופה לגובה.

התכנון הלוגיסטי של ביצוע עבודות האלומיניום החל כבר ביום הראשון שלאחר יציקת קומת המגורים. בשטח הקומה סומנו

הציבורי ובמגזר הפרטי, וידועה בתכנון יצירתי וחכם ובסטנדרט ביצועי יוצא דופן. את הפרויקט בכיכר המדינה ביצעה הקבוצה באמצעות זרוע הפעילות הראשית שלה, אלקטרה בנייה.

זוהי גם הזדמנות מצוינת לומר תודה לכל מי ששותף לתכנון ולביצוע של פרויקט מאתגר זה:

יזם - נציגות בעלי הזכויות בכיכר המדינה

קבלן מבצע - השותפות אשטרום - אלקטרה

ניהול הדיירים - Agilepro LTD

ניהול הפרויקט - וקסמן גוברין גבע, חברה להנדסה בע"מ

אדריכלות - יסקי מור סיון, אדריכלים ומתכנני ערים

קונסטרוקציה - ש. בן אברהם מהנדסים בע"מ

מנהל פרויקט מגדל A: עומרי גזית.

מנהל פרויקט מגדל B ומתחם הספא: חיים זגורי.

מנהל פרויקט מגדל C: דור ויזל

ניהול BIM ותיאום מערכות - בודוסקי מיכאל - מיחשוב

אדריכלים בע"מ

אדריכל נוף: TEMA

הדמיית: משרד האדריכלות, השותפות

צילום תמונות רחפן: ליאור פתאל

*מהנדס **רונן גוליגורסקי** – חבר איגוד, תא ניהול הביצוע, המהנדס הראשי של פרויקט מגדלי כיכר המדינה. משמש כיום כמנכ"ל אשטרום הנדסה ובנייה, חברת הבת של אשטרום קבלנות. בעל תואר בהנדסה אזרחית.

מהנדס יואב אבידור - חבר איגוד, תא ניהול הביצוע. המהנדס הראשי של פרויקט מגדלי כיכר המדינה. משמש כיום כמהנדס הראשי של חברת אלקטרה בנייה. בעל תואר מאוניברסיטת בן גוריון.

הצליחו החברות השותפות להמשיך בעבודות תוך גילוי גמישות תפעולית, אחריות גבוהה והתארגנות מרשימה.

שילוב טכנולוגיות מתקדמות לניהול וביצוע מדויק

כמצופה מפרויקט הנדסי בסדר גודל כזה, הדורש רמת ביצוע ולוגיסטיקה מהגבוהות ביותר, שולבה בתהליך העבודה מהנדסת BIM אינטגרטיבית שליוותה את הפרויקט לכל אורכו. מערכת המידול התלת-ממדית (BIM) יושמה באופן מקיף וכללה שורה של רכיבים תכנוניים ותפעוליים, שסייעו בתיאום בין מערכות, בזיהוי מוקדם של התנגשות בין אלמנטים ובהגברת הדיוק בשלבי ההקמה.

בנוסף, נעשה שימוש במערכת Ebuild – מערכת בטיחות חכמה שתרמה לשמירה על נהלי עבודה מחמירים, ניטור שוטף באתר, וצמצום סיכונים בזמן אמת.

על השותפות בפרויקט

אשטרום קבלנות ואלקטרה בנייה הן שתיים מחברות הבנייה והנדל"ן הגדולות והמובילות בארץ.

קבוצת אשטרום ממלאת תפקיד חשוב בבנייתה של המדינה כבר למעלה מ-60 שנה ורואה עצמה לא רק כגורם יוזם, בונה ומתפעל, אלא כמי שיוצרת תשתיות חיים עבור מיליוני אנשים בארץ ובעולם. לקבוצה 8 זרועות הפועלות בסינרגיה מושלמת ויחד יוזמות ומבצעות פרויקטים בארץ ובעולם בתחום הקבלנות, יזום למגורים, נכסים מניבים, מגורים להשכרה, תעשיות הבנייה ואנרגיה מתחדשת. את פרויקט מגדלי כיכר המדינה ביצעה אשטרום קבלנות באמצעות חברת הבת, אשטרום הנדסה ובנייה. **קבוצת אלקטרה** מובילה בתחומי הקבלנות, בנייה, תשתיות ומערכות אלקטרו-מכניות. החברה פועלת כקבלן ראשי במגזר