

מגדל משרדים ראשי - קרית הממשלה חיפה

היבטי תכנון וביצוע

אינג' רמי בלס



ש. בן - אברהם מהנדסים בע"מ
ש. בן - אברהם - מ. כהן
ר. בלס - א. אילוז
רחוב יגאל אלון 120, תל-אביב
טל': 03-6959382, פקס: 03-6959482

מגדל משרדים ראשי - קרית הממשלה חיפה

היבטי תכנון וביצוע

* אינג' רמי בלס

תאור כללי של הפרויקט

פרויקט מגדל המשרדים הראשי במתחם קרית הממשלה בחיפה, הנמצא בשלבי ביצוע מתקדמים, תחום בין רח' דרך העצמאות מצפון ורח' נתנזון מדרום. המגדל הינו מבנה בן 37 קומות אשר יתנשא לגובה של כ- 140 מ' ממפלס רחוב דרך העצמאות.

הפרויקט כולל :

מגדל המשרדים

מגדל המשרדים כולל 37 קומות ממפלס היסודות לפי פרוט כדלהלן :

- * קומת מרתף תת-קרקעית המיועדת לארכיבים של משרדי הממשלה.
- * שתי קומות מרתף שחלקן פונה לחזית רח' נתנזון אשר מיועדות למסחר.
- * קומת כניסה בגובה כפול במפלס הרחבה הציבורית (13.00 +) הנמצאת מדרום, ומקשרת בין שדי פל-ים דרך בנין האוצר, מגשרת מעל רח' נתנזון ומתחברת למגדל המשרדים. תחום הגרעין של קומה זו יועד לאזור טכני למערכות שונות.
- * 25 קומות משרדים המיועדות למשרדי הממשלה השונים.
- חלוקת המשרדים בוצעה כך שהמשרדים אשר בהם קיימת קבלת קהל מרובה מוקמו בקומות התחתונות והוקצו להן 2 מעליות יעודיות ומהלך מדרגות נפרד. בקומה 16 מוקמו המטבח והקפיטריה לשמוש עובדי הבנין.
- * קומות 28 ו- 29 הינן קומות טכניות ובהם מוקמו חדרי המכונות של המעליות, מאגר המים, חדרי מפוחים למזוג אוויר וכו'.
- * מעל הקומות הטכניות מתנשאות 5 קומות נוספות המשלימות את המבנה האדריכלי של הרביעים המרחביים.
- * ס"ה קיימות 34 קומות ממפלס קומת הכניסה.

שטח הקומות במגדל נע בין כ- 850 מ"ר בקומות התחתונות והעליונות של המגדל עד כ- 1250 מ"ר בקומות המרכזיות. גובה קומה טפוסיית 370 ס"מ.

* אינג' רמי בלס - שותף במשרד ש. בן-אברהם - מהנדסים בע"מ

קומות המגדל מתוכננות כך שבמרכז הקומה הטיפוסית נמצא הגרעין המרכזי ומסביבו ארבעה אגפים (ראה תרשים 1). שני רביעים נגדיים הינם בצורת רבע גליל אנכי ברדיוס של 16.15 מ' והשניים האחרים הינם בצורת רבע סיגר מרחבי (צורת רבע צפלין) עם רדיוס מקסימלי של 16 מ'. הרביעים המרחביים נשענים על הגרעין המרכזי ועל העמודים הנמצאים בהיקפם, אשר מתכנסים כלפי מטה ומעלה, ונשענים בבסיסם על קונוס בטון מסיבי המחובר לגרעין המרכזי.

המבנה כולו, המזכיר צורת אוניה עם מפרשים מנופחים, מצופה בקירות מסך המשלבים אלומיניום וזכוכית. עמודי הבטון מצופים בלוחות אלומיניום.

החניון ו"חוות האנגריה"

החניון ובו 140 מקומות חניה הינו בן 3 קומות. החניון צמוד למבנה המגדל ומופרד ממנו על ידי קירות כפולים ותפרים סייסמיים ברוחב 10 ס"מ בתקרות. לחניון 2 קומות תת-קרקעיות וקומת חניה עילית כאשר הכניסה לחניון מרח' נתנון.

בצמוד לחניון, לכוון דרך העצמאות, נמצא האזור אשר הוקצה ל"חוות האנגריה" של הפרויקט. באזור זה מוקמו מגדלי הקירור, השנאים, הגנרטורים ומאגר המים. התקרות של האזור הטכני בנויות בצורה מדורגת והטרסות משמשות לגינון ובאמצעותן מגשרים על פערי המפלסים בין דרך העצמאות מצפון ורחבת הכניסה במפלס 13.0 +. שטח הפרויקט הכולל כ- 30,000 מ"ר.

תכנון וביצוע הפרויקט

הפרויקט הינו פרויקט יזמי שנבנה על קרקע אשר הקצתה הממשלה לצורך בניית מגדל המשרדים והחניונים.

הפרויקט נבנה על ידי שותפות של שתי חברות הבניה "אשטרוס" ו- "סולל בונה" בהתאם לפרוגרמה אשר הוכתבה מראש על ידי מנהלת הקמת קריות הממשלה. לאחר השלמתו יושכר הבנין לממשלה לתקופה מוגדרת בשכר דירה קבוע, אשר היה נושא לתחרות בין מספר קבוצות של קבלנים אשר ניגשו למכרז.

התכנון האדריכלי נעשה על ידי משרד האדריכלים של דינה אמר וקוריאל אברהם מחיפה, אדריכל אחראי - יעקב בן-אברהם.

תכנון הקונסטרוקציה נעשה על ידי משרד ש. בן-אברהם מהנדסים בע"מ מתל-אביב, מהנדס אחראי - אינג' רמי בלס.

הצוות במשרד כלל את: תכנון - אינג' עזר בן-בסט. שרטוט - ריבי דנציגר, אילנה חקלאי, ולדיסלב קסלר, יוסי אליהו ויוסי מנצור.

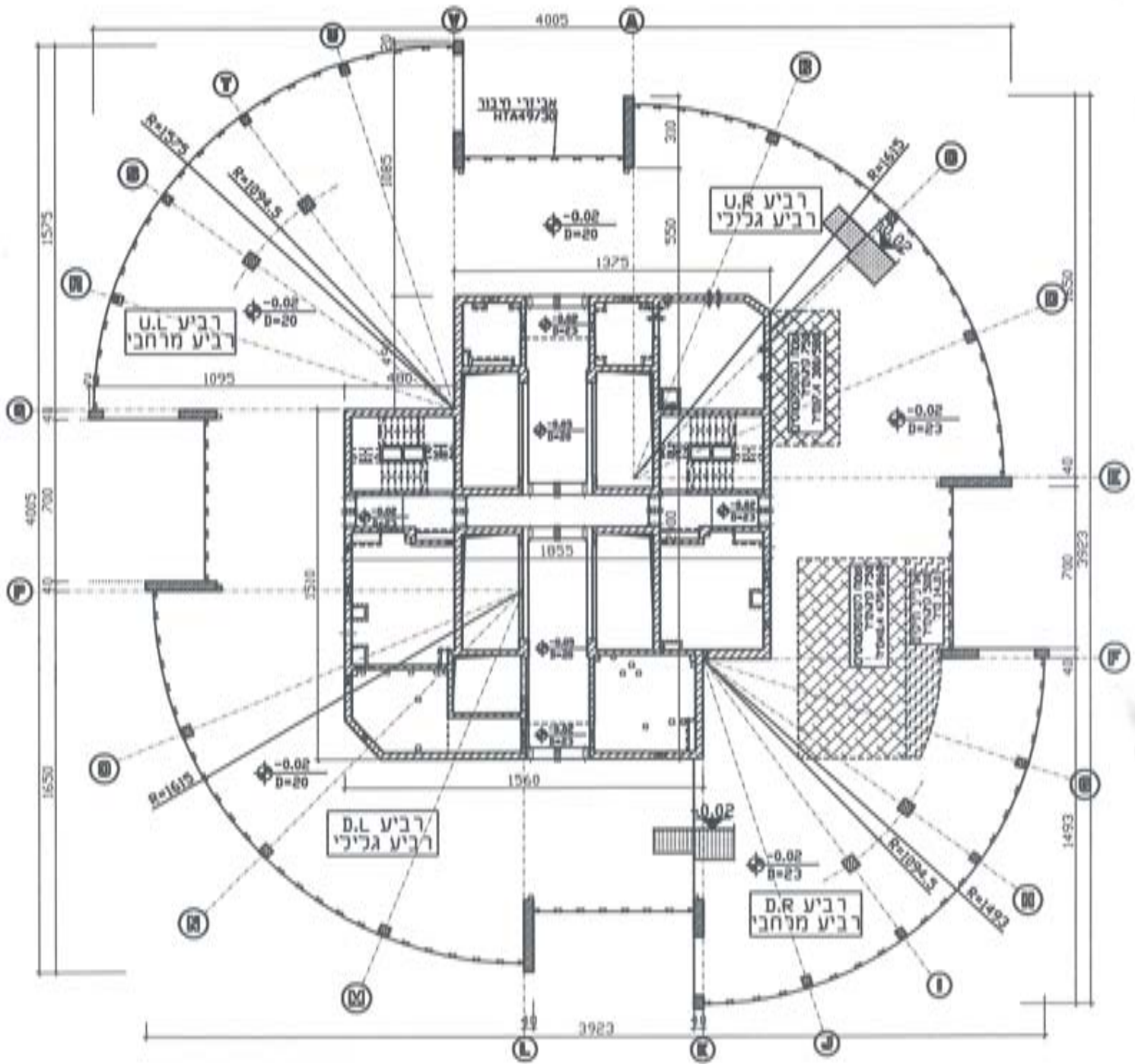
תיאום התכנון - אינג' יורם גנור מחב' אשטרוס נכסים.

מנהל הפרויקט באתר - אינג' יוסי לזר.

חרשים מס' 1

קומה טיפוסית במגדל

תקרת קומה 14



מגדל המשרדים

שלד מגדל המשרדים מורכב משלושה אלמנטים עיקריים - כולם מבטון מזוין : גרעין מרכזי, תקרות מסיביות ועמודים.

הגרעין המרכזי

הגרעין המרכזי עשוי מבטון מזוין מסוג ב-40. החלק העיקרי של הכוחות האנכיים והאופקיים מתקבל על ידי הקירות ההיקפיים שעוביים נע בין 40 + 35 ס"מ בקומות התחתונות, וקטן ל- 30 + 25 ס"מ החל ממרכז הגובה של המגדל עד לראשו. הגרעין המרכזי הינו בצורת מרובע ברוחב של 18.5 מ' ואורך של 20 מ', עם מגרעות של 3.00/4.35 מ' ו- 4.90/4.80 מ' בשתי פינותיו הנגדיות (ראה תרשים 2). שטח הגרעין 333 מ"ר וגודלו נקבע בעיקר מהצורך לאכלס בו את כל הפונקציות שהוא צריך להכיל.

בתחום הגרעין המרכזי 4 מעליות LOW-ZONE לחלק התחתון של המגדל הנעות במהירות של 4 מ"שנייה, 4 מעליות HIGH-ZONE לחלק העליון של המגדל הנעות במהירות של 7 מ"שנייה, מעלית משא, 2 חדרי מדרגות, מרחב קומתי מוגן בשטח של 22 מ"ר, חדרי שרותים לגברים ונשים, חדרי חשמל ותקשורת, מטבחונים, חדר לפינת צילום, חדרי עישון, פירים למערכות חשמל, צנרת מזוג אויר ואינסטלציה ופירים למנדפים ואויר צח. יש לצייין שחלק מהפונקציות הנ"ל כגון חדרי תקשורת, מטבחונים וחדרי עישון אינן קיימות בפרויקטים לבניה פרטית.

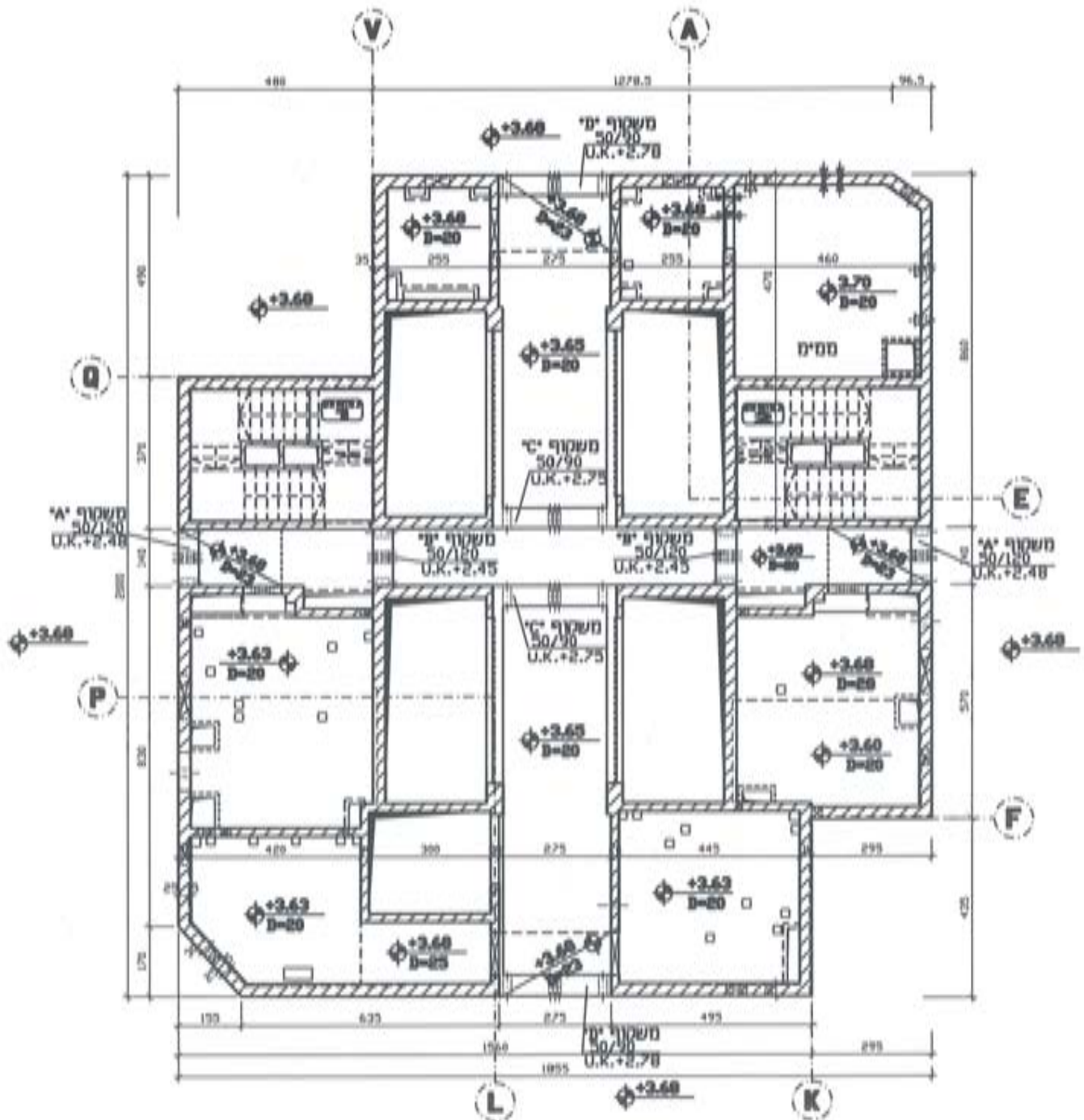
לובי המעליות הראשי ברוחב של כ- 300 ס"מ (בכוון צפון-דרום), ומסדרון השירות ברוחב 140 ס"מ (בכוון מזרח-מערב) מחלקים את הגרעין ל- 4 חלקים. הקשר בין חלקים אלו מושג על ידי מערכת קורות קשר (משקופים), אשר מתוכננת לקבל את כוחות הגזירה המתפתחים בין חלקי הגרעין בפעולת כוחות רוח ורעידות אדמה. בכל כוון תוכננו 4 קורות קשר : בכוון צפון-דרום 4 קורות בחתך 50/120 ס"מ ובכוון מזרח-מערב 4 קורות בחתך של 50/90 ס"מ. סידור הזיון הראשי במשקופים אלו הינו על ידי קבוצות מוטות זיון המסודרים בצורת מספריים, להלן - "צלבים", ונקבע בהתאם לדרישות התקן הישראלי מס' 413 לרעידות אדמה.

סידור הזיון בצלבים מאפשר את העברת כוחות הגזירה כאשר מתחשבים במודל של מסבך הבנוי כך שאת כוחות המתיחה מקבלים הברזלים האלכסוניים (בשני הכוונים) ואת כוחות הלחץ מקבל הבטון העטוף כולו בחישוקים המצופפים באזור המפגש עם קירות הגרעין. הזיון בקורות הקשר הוכן מראש בצורת כלובי זיון מושלמים הכוללים הן את זיון הקורה האופקית עם חישוקים אנכיים ומוטות זיון אופקיים, והן את שתי קבוצות הזיון האלכסוניות בכוונים מצטלבים, המורכבים מ- 4 + 8 מוטות זיון בכל כוון ועטופים בחישוקים בקצב של כל 10 ס"מ. כלובי הזיון הוכנסו למקומם בקירות הבטון של הגרעין על ידי המנוף (ראה תרשים 3).

תכנית מס' 2

תכנית הגרעין המרכזי בקומה טיפוסית

LOW ZONE



תרשים מס' 3

קשירת כלובי הזיון של קורות הקשר כולל הזיון בצלבים



קירות הבטון אשר אליהם הוכנסו ה"צלבנים" הינם בעובי מינימלי של 30 ס"מ, מאחר וזיון ה"צלב" צריך להכנס בתחום המרווח שבין שתי הרשתות החיצוניות של קיר הגרעין. רוחב קורות הקשר הוגדל מ- 30 ס"מ ל- 50 ס"מ הן בכדי להקטין את מאמצי הגזירה בתחום הקורה האופקית, והן על מנת להקטין את צפיפות הזיון המורכב מחישוקים אנכיים, מוטות זיון אופקיים ומוטות זיון אלכסוניים בכמות גדולה ובקטרים של 25, 32 ו- 36 מ"מ כולל חישוקים הקושרים אותם.

במשקופים אלו הוכנו שרוולים למעבר צנרת חשמל, אינסטלציה ומזוג אויר בהתאם לדרישות היועצים ובכפוף לאפשרות הגיאומטרית למקס את השרוולים ובהתחשב בצורת סידור הזיון במשקוף (ראה תרשים 4).

סידור הזיון בגרעין בוצע באמצעות מוטות זיון מצולעים בודדים באורך של כ- 900 + 850 ס"מ עבור 2 קומות, וזאת במטרה לחסוך הן בעבודת ההרכבה והקשירה והן במשקל הזיון האנכי. בזכות ביצוע החפיות רק בקומות הזוגיות מקבלים חצי מכמות החפיות הקיימת בסידור זיון רגיל של כל קומה בנפרד.

לדוגמא: עבור מוט זיון בקוטר 20 מ"מ וחפיה של 120 ס"מ (60 קטרים) אשר מתבצעת בכל קומה בגובה 370 ס"מ - הפחת על החפיה הוא 32.5%. לעומת זאת, אם מבוצע הזיון בשתי קומות כמתואר כנ"ל, יורד הפחת עבור החפיה ל- 16% - זוהי ירידה משמעותית בכמות הכוללת של הזיון האנכי.

בגין המקדם הסייסמי הגבוה במיוחד באזור שבר יגור, העובר בקרבת הפרויקט לאורך רח' דרך העצמאות ($Z = 0.2g$), מתקבלים כוחות מתיחה בקירות ההיקפיים של הגרעין. בהתאם לדרישות התקן לרעידות אדמה בוצעה החפיפה בין המוטות האנכיים לסירוגין, כך שלא כל מוטות הזיון הופסקו בקומה אחת. סידור הזיון בוצע כדלהלן:

כל קיר הנמצא בהיקף הגרעין ובסמוך לו, ונמצא במתיחה, חולק למקטעים ברוחב של כ- 175 ס"מ. בקטע הראשון נקשר הזיון האנכי באורך של 900 ס"מ ($2 \times 370 + 160 = 900$) - לגובה שתי קומות עם חפיפה בקומות הזוגיות. בקטע השני נקשר הזיון האנכי באורך של 530 ס"מ ($370 + 160 = 530$) - לגובה קומה אחת - עם חפיפה בקומות האי זוגיות וכן הלאה.

במצב זה בוצעה למעשה החפיפה של 50% מכל מוטות הזיון האנכיים בכל קיר וקיר בקומות הזוגיות ו- 50% הנותרים בקומות האי זוגיות. ראה תרשים מס' 5, 6.

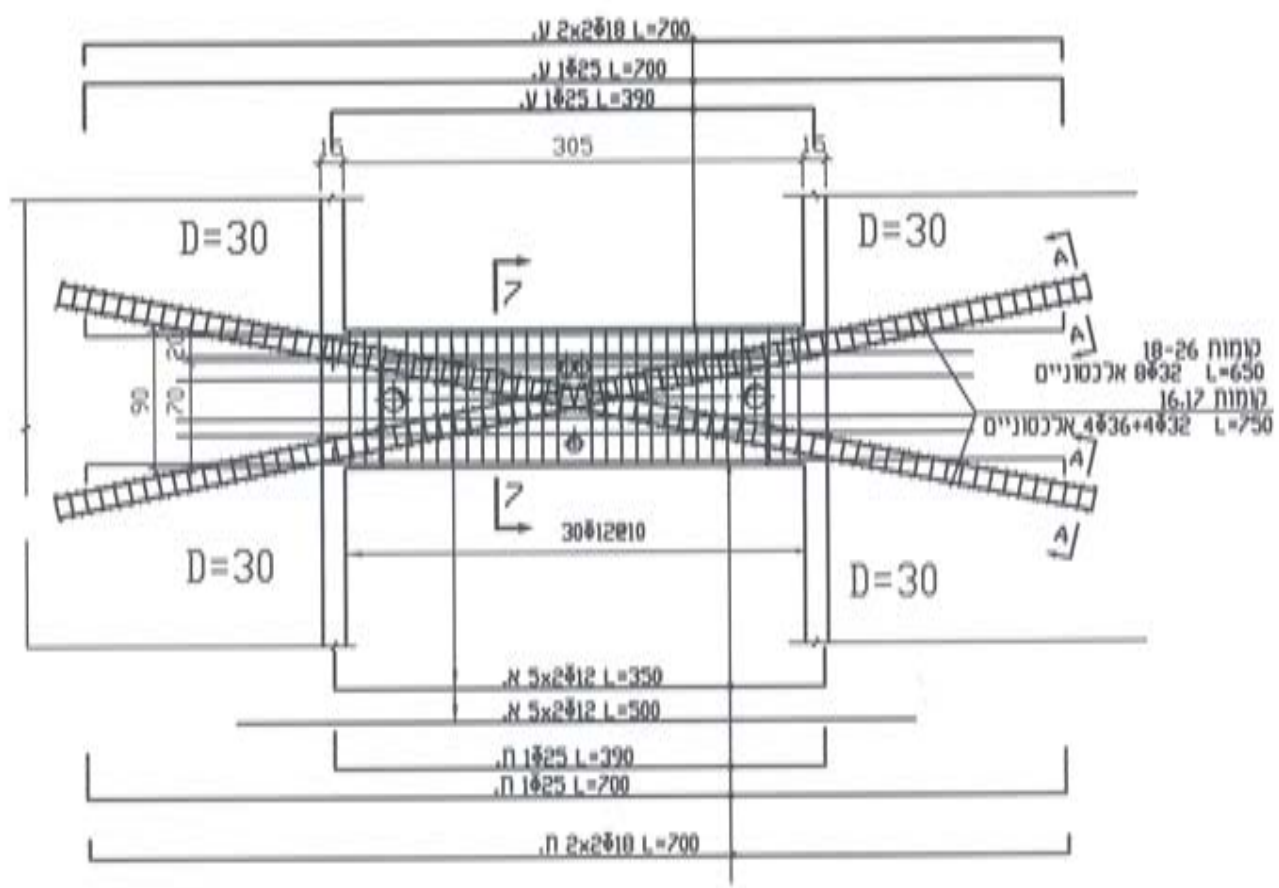
שיטה זו של קשירת מוטות הזיון האנכי בגרעין המרכזי בבנין גבוה אמנם הכבידה על הקבלן, אך יושמה בהצלחה בפרויקט זה בפעם הראשונה בארץ, וזאת בהתאם ובכפוף להנחיות התקן הישראלי ת"י 413 לרעידות אדמה.

לקראת מחצית גובה המגדל, כאשר נעלמה התופעה של מתיחה בקירות ההיקפיים של הגרעין כתוצאה מפעולת כוחות אופקיים, הופסק השימוש בשיטה זו של ביצוע החפיפות בזיון האנכי. קירות הגרעין נוצקו תוך שימוש בתבניות גדולות מתוצרת "PERI" - המשלבות קורות תמיכה ראשיות ומשניות העשויות ממסבכי עץ ולוחות עץ לבוד מסוג "טגו". סט התבניות לגרעין כלל כ- 55% משטח הגרעין והוא נוצק בשני חלקים, כאשר לאחר יציקת החצי הראשון הועברו התבניות לחציו השני.

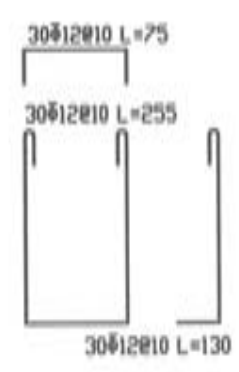
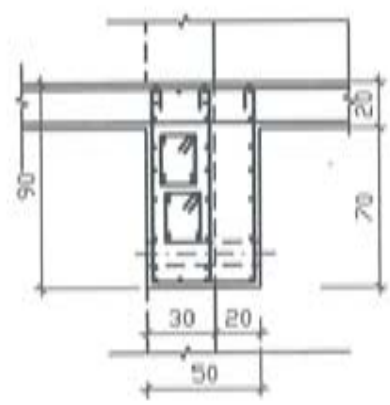
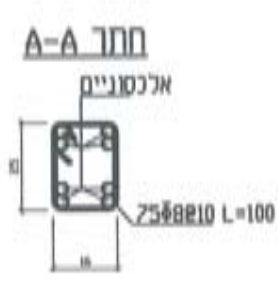
חריטים מס' 4

פריסת משקוף מטיפוס "C" - 50/90 ס"מ

סידור הזיון בקורת הקשר כולל זיון בצלבים וסידור שרוולים לצנרת



חתך 7-7



תרשים מס' 5

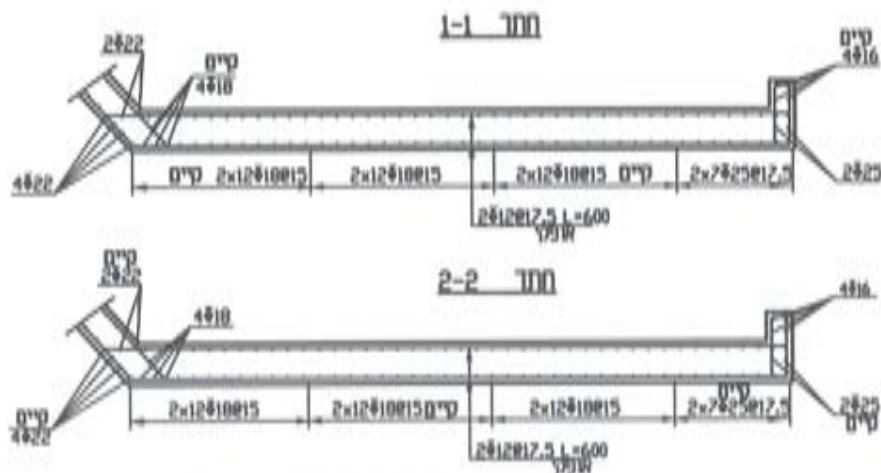
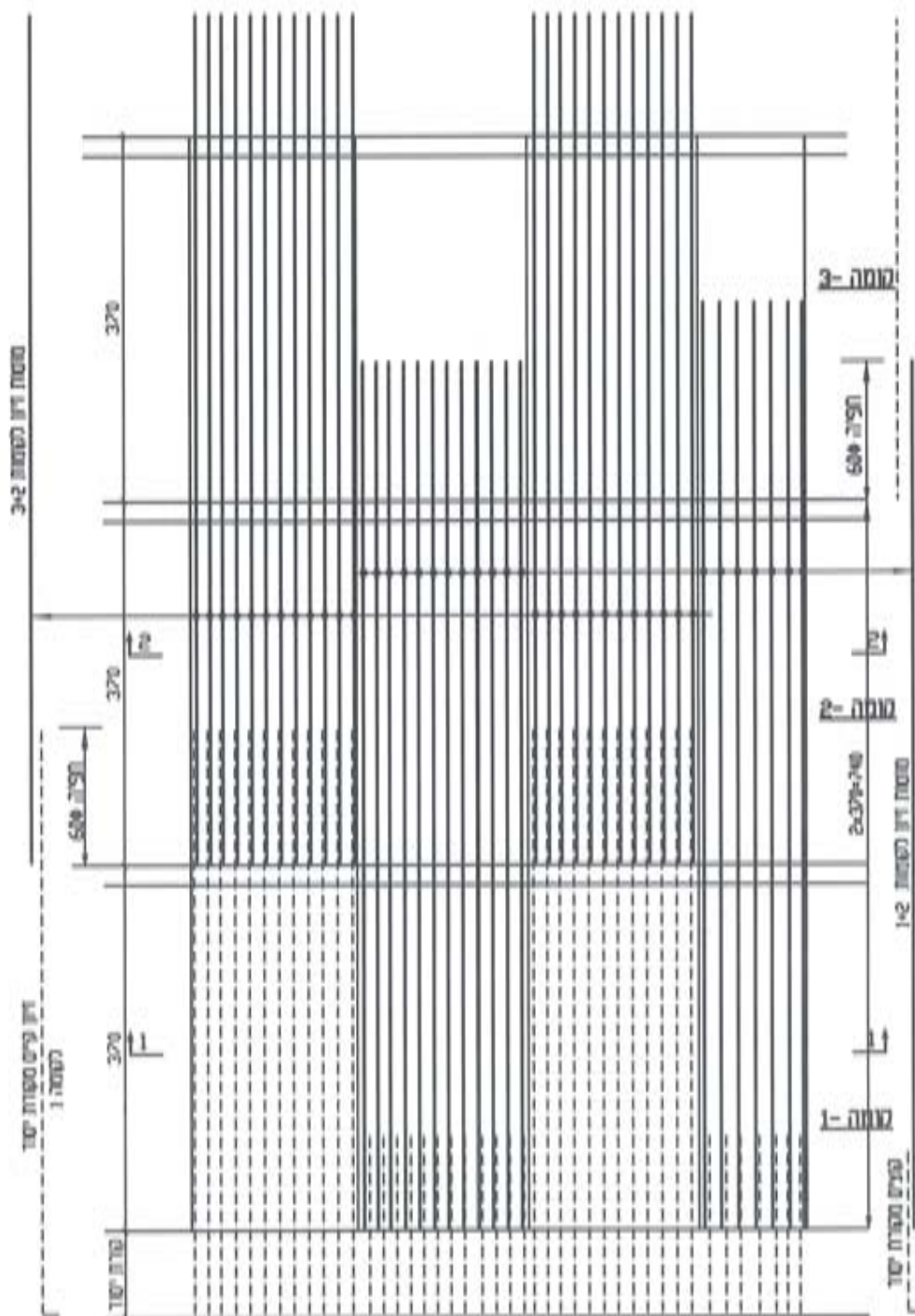
סידור זיון אנכי בגרעין ל- 2 קומות החל מקורות היסוד
החפיפה בוצעה לסירוגין בקטעים של 175 ס"מ לאורך הקיר



מבט על קיר גרעין טיפוסי

סידור הזיון לאגבה 2 מומות

עם חפיה לסרוגין



תקרות מסיביות

תקרות הקומות הטיפוסיות תוכננו כתקרות מסיביות מבטון מזוין מסוג ב-40 הרתומות בקירות הגרעין בצידן האחד, ונשענות על שורת עמודים וקורה סמויה מעגלית או ישרה בצידן האחר.

עובי התקרות במרבית הקומות הינו 20 ס"מ עם עיבויים ל- 23 ס"מ באזורים בהם היה צורך לחזקן בעבור קומפקטוסים ושטחי ארכיון. עובי הרצפה בקומת המסעדה והמטבח ובגג המגדל 30 ס"מ.

לבחירת סוג הבטון היו מספר סיבות :

- (א) שימוש בבטון מסוג ב-40 נותן אפשרות להקטין את עובי התקרות בכ- 15% בזכות מודול האלסטיות הגבוה יותר ועל ידי כך ניתן לחסוך בבטון ובמשקלן העצמי של התקרות.
- (ב) עקב הצורך לבצע קומה ב- 6 ימי עבודה יש לפרק את התבניות בתוך יומיים עד שלושה ימים ממועד היציקה. על ידי שימוש בבטון מסוג חזק יותר (ב-40 במקום ב-30) ניתן להגיע לפירוק מוקדם של התבניות, להקטין את מספר התמיכות הזמניות ולגשת לביצוע של הקומות הבאות.

ריתום התקרות בקירות הגרעין התקבל על ידי קשירת מוטות זיון מעל גבי קיר הגרעין שנוצק עד מפלס תחתית התקרה. עגון מוטות הזיון בתוך הקיר הושג על ידי כפוף מוטות הזיון בצורת האות העברית "כ" ועיגולם בתחום עובי התקרה בלבד.

תקרות הבטון נוצקו על גבי שולחנות גדולים מתוצרת PERI (ראה תרשים 7).

סט התבניות לתקרות כיסה כ- 55% משטח הקומה הגדולה ביותר והקבלן יצק כל קומה בשני חלקים. באיזורים בהם לא ניתן היה להשתמש בשיטת השולחנות נוצקו התקרות על גבי תבניות מתועשות בשיטת "PERI - MULTI FLEX", המשלבת שימוש בעמודי תמיכה מאלומיניום, קורות תמיכה ראשיות ומשניות העשויות ממסבכי עץ קלים להרמה וכסוי בלוחות עץ מסוג "טגו". התבניות פורקו בשלבים לאחר 3 ימי עבודה ונתמכו מחדש על ידי רגלי תמיכה, אשר הוחזרו למקומם לפי סימון אשר הוכן מראש (ראה תרשים מס' 8).

התמיכות סודרו כך שבכל מצב לפני יציקת תקרה חדשה קיימות תמיכות לגובה 3 קומות מתחת למפלס אשר כבר יצוק. (ראה תרשים מס' 9, 10).

דרישה זו נובעת הן מאחר וחוזק הבטון בגיל 3 ימים נמוך מהחוזק הסופי של הבטון הנוצק, והן מאחר ומשקל הבטון הטרי אשר יוצקים מגיע לכ- 500 ק"ג/מ"ר (עבור תקרות בעובי 20 ס"מ), ובתוספת משקל התבניות ועומס הבניה הנדרש לפי התקן (כ- 150 ק"ג/מ"ר) מגיע ס"ח העומס לכ- 650 ק"ג/מ"ר. עומס זה הינו כפול מהעומס אשר עבורן מתוכננות רצפות קומות המשרדים - ולפיכך יש לשתף 3 רצפות בכדי לשאת עומס זה.

הזיון בתקרות הקומות תוכנן תוך שמוש ברשתות פלדה מרותכות עם תוספת חישובים ומוטות זיון בודדים בקורות השפה הרדיאליות ובנקודות הריתום של התקרה אל הגרעין המרכזי.

תרשים מס' 7

ביצוע התבניות לתקרות המסיביות על ידי שולחנות גדולים - בשיטת "PERI"



תרשים מס' 8בצוע תמיכת התקרות לאחר היציקה

תרשים מס' 9

יציאת התקרות ברביע הגלילי בשיטת השולחנות

ותמיכת 3 קומות כלפי מטה ע"י רגליים



תרשים מס' 10יציקת התקרות ברביע המרחבי בשיטת השולחנות

תרשים מס' א 10

ביצוע הרביע המרחבי
מבט מכיוון דרום - מזרח



תרשים מס' B 10

קשירת הברזל של בסיס הקונוס התומך את הרביע המרחבי



תרשים מס' 11

סידור הזיון בקורה ההיקפית כולל זיון מיוחד לתפיסת העמודים



במפגש הקורה ההיקפית עם העמודים הקיצוניים נקשרו מוטות זיון מיוחדים הקושרים את העמוד ומעגנים אותו אל חלקה הפנימי של התקרה - וזאת לפי הנחיות התקן לרעידות אדמה ת"י 413 (ראה תרשים 11). כמו כן, הוכנס באזור זה זיון לקבלת מאמצי הגזירה המתקבלים מתופעת החדירה.

רשתות הזיון הונחו על גבי שומרי מרחק רציפים בגובה 2.5 ס"מ מסוג "TRACK SPACER" העשויים מפלסטיק בצורת האות "ח", אשר מוקמו במרחקים של כ-1 מ' בין אחד לשני. בצורה זו נפתרה הבעיה החוזרת ונשנית מפרויקט לפרויקט של אי שמירה על כסוי הבטון הנדרש לפלדת הזיון (ראה תרשים 12).

עמודי המגדל

לאורך היקף הקומות מסודרים העמודים התומכים לפי פירוט כדלהלן:

ברביעים הגליליים:

- א) 2 עמודים מלבניים במידות 40/310 ס"מ הממוקמים בצירים P,L,E,A, תוחמים את הרביע ונשארים בגודל אחיד עד הגג.
- ב) 3 עמודים רבועיים המפוזרים שווה לאורך היקף הרביע במידות המשתנות בין 50/55 ס"מ בקומות התחתונות עד 35/35 ס"מ בקומות העליונות (בצירים D,C,B ו-O,N,M). החלפת גודל העמודים מתבצעת כל 4 קומות. ראה תרשים 13.

ברביעים המרחביים:

- א) זוג עמודים פינתיים במידות 40/60 ס"מ התוחמים את הרביע ונמצאים בצירים V,Q,K,F.
- ב) זוג עמודים מלבניים במידות 40/160 ס"מ אשר תוחמים אף הם את הרביע המרחבי ומקשרים אל התקרות הנסוגות במפרכי הקומות הטפוסיות, בצירים V,Q,K,F.
- ג) 4 עמודים מרובעים המפוזרים שווה לאורך היקף הרביעים המרחביים בצירים J,I,H,G, ו-U,T,S,R. העמודים במידות שבין 65/67.5 ס"מ בקומות התחתונות עד 35/35 ס"מ בקומות העליונות.
- ד) זוג עמודים פנימיים התומכים את התקרות ברביע המרחבי ומתחילים לעלות כלפי מעלה כאשר רדיוס התקרות מגיע ל-1132 ס"מ. תפקידם של עמודים אלו הינו להקטין את מפתחי התקרות אשר היה מגיע עד 1580 ס"מ בקומה הרחבה ביותר ללא זוג עמודים אלו. העמודים הינם בצירים I,H, ו-T,S בהתאמה. העמודים בחתך רבועי במידות 55/55 ס"מ בקומות התחתונות עד 45/45 ס"מ בקומות העליונות. ראה תרשימים 14, 15.

סוג הבטון בעמודים נע בין ב-50 בקומות 15 + 1, ב-40 בקומות 16 + 19, וב-30 בקומות 20 + 34. עומס התכן בעמודים ברביעים הגליליים מגיע ל-600 טון, וברביעים המרחביים ל-360 ו-1100 טון בעמודים הקטנים והגדולים בהתאמה.

תרשים מס' 12

סידור הזיון בתקרות המסיביות ע"י שימוש ברשתות פלדה מרותכות
כולל שימוש בשומרי מרחק רציפים מפלסטיק



תרשים מס' 13

הרביע הגלילי - ביצוע קומה 17

מבט מכיוון דרום - מערב

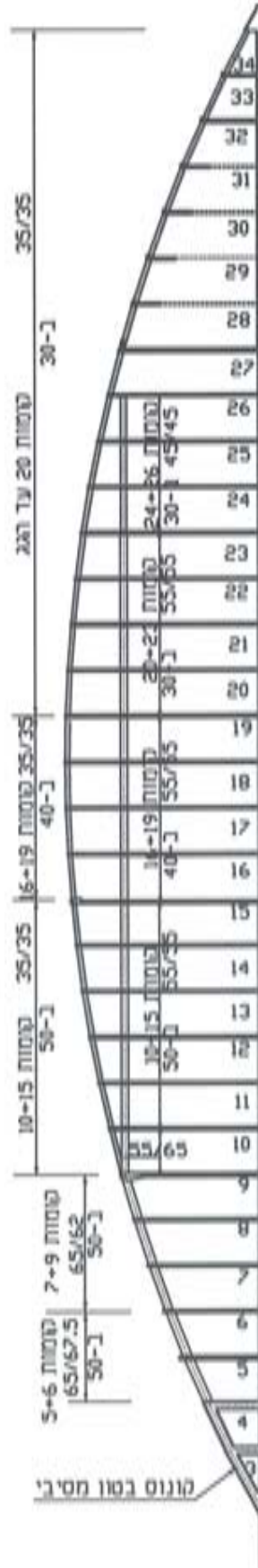
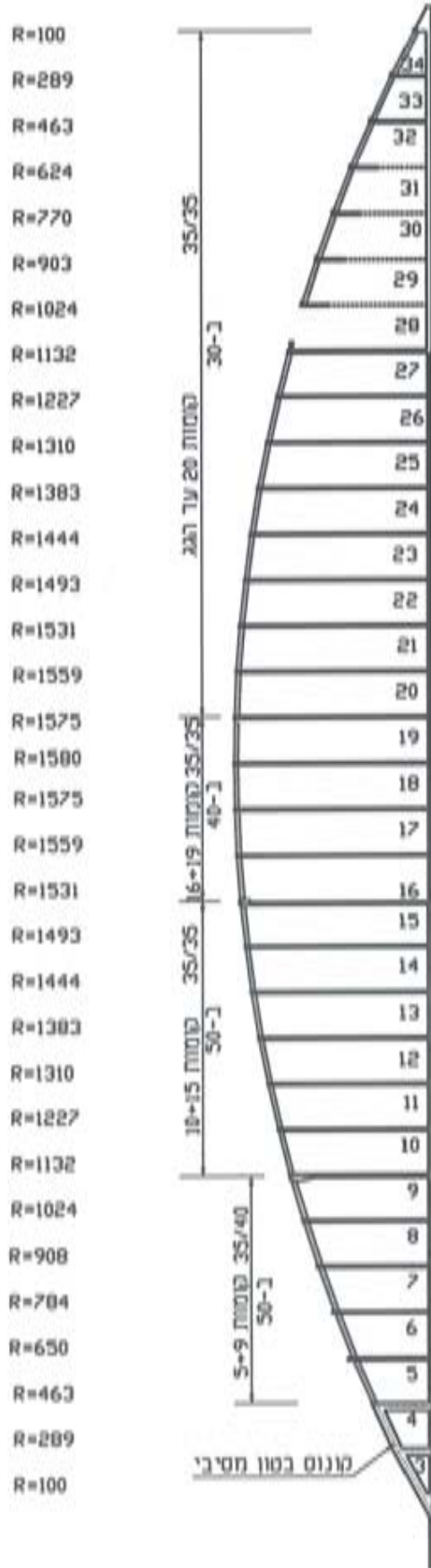


חרשים מסי 14

מבט על עמודי הרביעים המרחביים

עמודים צדדיים
בצירים J.G

עמודים מרכזיים
בצירים I.H



תרשים מס' 15

הרביע המרחבי בשלבי ביצוע מתקדמים

מבט מכוון דרום - מזרח

העמודים החזיתיים מתכנסים אל קונוס הבטון המסיבי בקומה 3



בקומת הקרקע תוכננו העמודים של הרביעים הגליליים בצורה אובלית עם פינות חדות (דוגמת סירת קאנו) במידות 60/120 ס"מ לעומס תכן של 660 טון. בקומות התת-קרקעיות בוצעו העמודים בחתך עגול בקוטר 70 ס"מ לעומס תכן של 915 טון.

סידור הזיון בעמודי המגדל הינו בכלובי זיון מוכנים מראש לגובה של 2 קומות עם הכנה של "בקבוקים" בראש העמוד, בכדי להקטין את צפיפות מוטות הזיון במקום המפגש עם כלוב הזיון של הקומות הבאות. אחוזי הזיון נעים בין 3% בקומה הראשונה בכל קבוצת עמודים עד 0.8% בקומה העליונה בכל קבוצה, כאשר יש הקטנה של כמות הזיון בכל קומה.

הכנת כלובי הזיון לשתי קומות חסכה בעבודות ההרכבה ובכמויות הזיון בחפיות (ביצוע חפיה רק בקומות הזוגיות - ומשמעו חצי מכמות החפיות הנדרשות בבנין רגיל) (ראה תרשים 16, 17).

כל העמודים נוצקו בתבניות פלדה מתוצרת חברת "שבא", כולל שימוש במרפסות מיוחדות לגישה מסיביב לעמודים.

לביצוע העמודים האלכסוניים נמצא פתרון יצירתי על ידי שימוש בתבנית פלדה מיוחדת הכוללת שתי דפנות ארוכות החוסמות את צללית העמודים בכל קומות המגדל ושתי דפנות צרות הניתנות לכוון לפי הזווית הספציפית של עמוד הבטון הרבועי בכל קומה וקומה (ראה תרשים 18, 19).

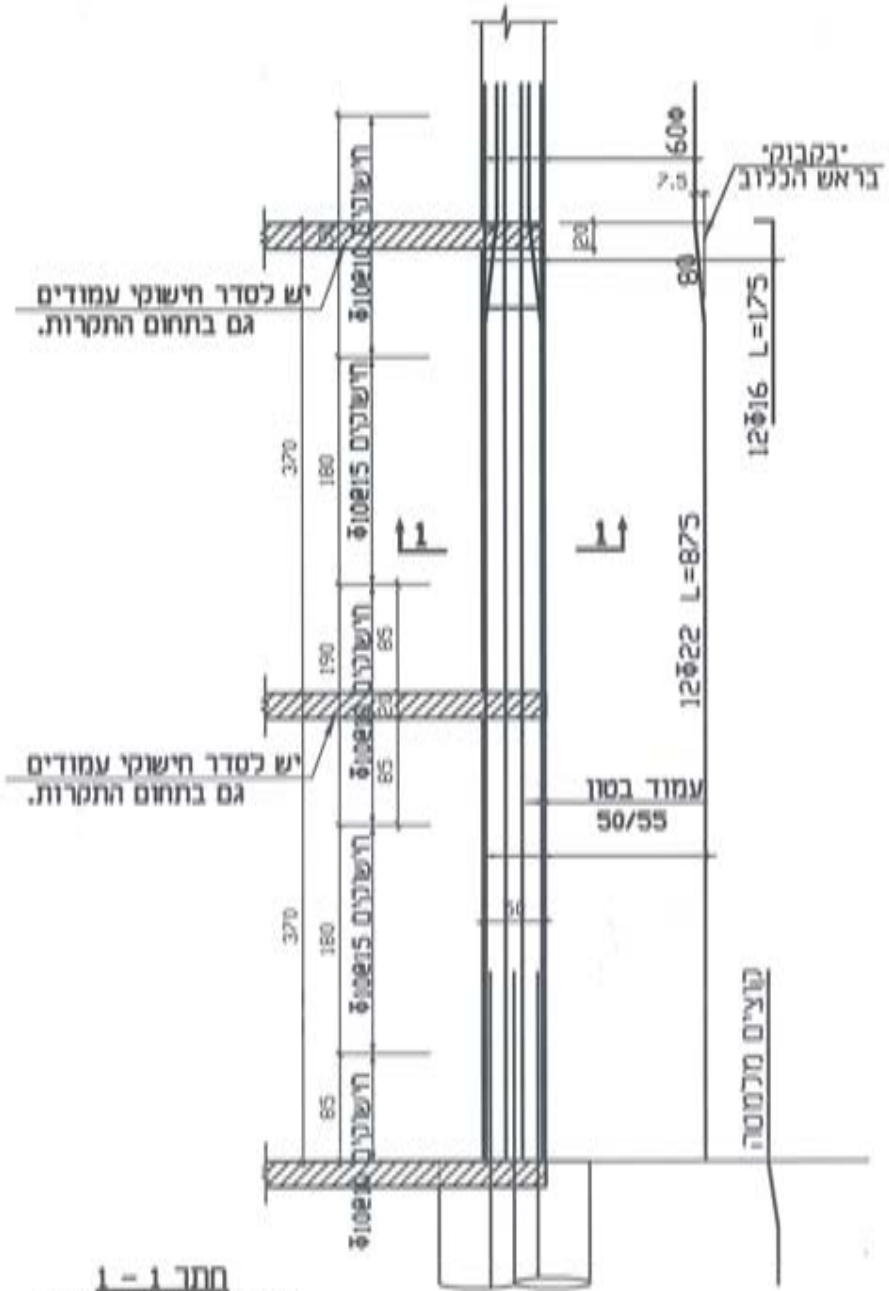
יציקת הבטון בעמודים בוצעה באמצעות המנוף תוך כדי שימוש בדודים גדולים בקיבולת 1.5 מ"ק.

חלופה לביצוע בעמודי פלדה

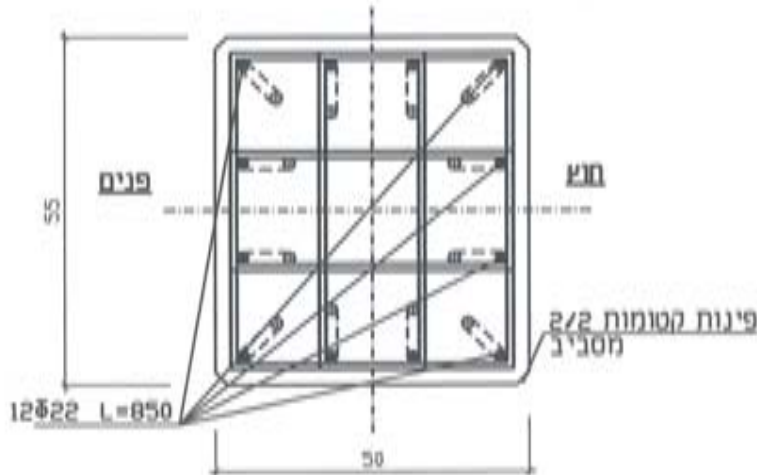
- בתחילת תהליך התכנון של עמודי המגדל ברביעים המרחביים והגליליים נבדקה חלופה לבצוע העמודים מפלדה (ראה תרשים 20). לחלופה זו היה יתרון ברור משלושה אספקטים עיקריים:
- מהירות - ניתן להרכיב עמודים אלו לגובה 3 קומות בכל שלב, דבר שמקדם את השלד וחוסך בזמן.
 - גודל העמודים - עקב שמוש בפלדה מעולה מסוג Fe-460, עם חוזק 4600 ק"ג/סמ"ר, קבלנו עמודים בחתך קטן יחסית. העמודים שהתקבלו הם מסוג HD400/187 (187 ק"ג/מ"א) במידות 368/391 מ"מ בקומות התחתונות, עד HD260/54 (54 ק"ג/מ"א) במידות 244/260 מ"מ בקומות העליונות של המגדל. נלקחה בחשבון הגנה נגד אש בעובי 25 מ"מ מכל צד בקומות התחתונות עד 4.5 ס"מ בקומות העליונות.
 - דיוק - בשיטה זו ניתן לקבל דיוק מירבי בבצוע: על ידי שימוש בזויתני קשר בהיקף התקררות אשר מחברים בין העמודים ניתן לקבוע את המקום המדויק של העמודים, ובאמצעות זויתני קשר רדיאלים היוצאים ממרכז הרדיוס של הרביע אל העמודים ניתן לקבוע את מיקומם פנימה והחוצה.
- היתרון הגדול בשימוש בעמודי הפלדה היה ברביעים המרחביים, שם היתה בעיה בקביעת הזווית של העמודים כלפי חוץ ופנים כולל השתנות הזווית בכל קומה וקומה.

ח'שים מ'ס 16

סידור הזיון לשתי קומות בעמודים

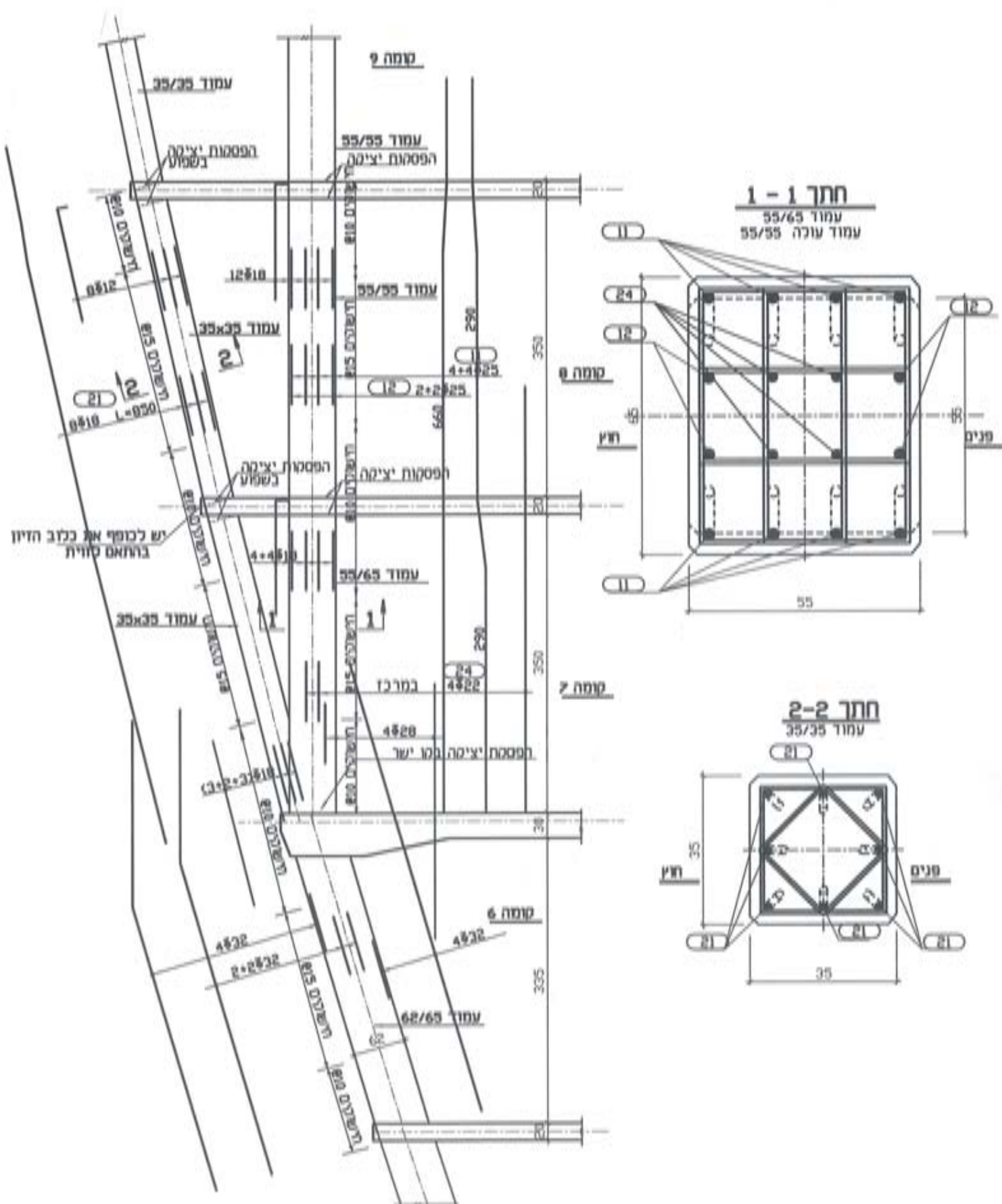


ח'מר 1 - 1
עמוד 50/55 מ'ס 12φ22



חריש מס' 17

סידור הזיון בעמודים האלקטרוניים



תרשים מס' 18

תכניות הפלדה המיוחדות לעמודים האלכסוניים, הזיון לגובה 2 קומות



תרשים מס' 19

העמודים האלכסוניים - מבט מכוון פנים הקומה לפני יציאת התקרה



החיסרון היחיד של השיטה היה המחיר !

לצורך הבדיקה נלקחו הנתונים הבאים :

א) מ"ק בטון מסוג ב-50	-----	850 ש"ח/מ"ק.
ב) טון פלדת זיון - ברזל מצולע	-----	2,900 ש"ח/טון.
ג) עמודי פלדה - מסוג Fe-460	-----	1,300 \$/טון - 5,525 ש"ח/טון.
ד) הגנה נגד אש לעמודי הפלדה	-----	300 \$/טון - 1,275 ש"ח/טון.
ה) סה"כ עלות עמודי הפלדה כולל הגנה נגד אש	1,600 \$/טון -	6,800 ש"ח/טון.

הבדיקה נעשתה לעמוד בודד לפי הפירוט :

עמודי פלדה - העמוד הממוצע הוא מסוג HD320/98 במשקל כ- 100 ק"ג/מ"א.

עלות עמוד ממוצע (כולל הגנה נגד אש) כאשר גובה קומה 370 ס"מ :

$$P2 = 3.7 \times 0.1 \times (1,300 + 300) \times 4.25 = 2,516 \text{ ש"ח/קומה}$$

עמודי הבטון

סוג הבטון ב-50, אחוזי הזיון בין 0.8% + 2.0% (בקומות עליונות עד התחתונות) ולפיכך אחוזו זיון הממוצע 1.4%, גודל העמודים 60/60 + 40/30 ס"מ לפיכך העמוד הממוצע 45/45 ס"מ.

כמות הפלדה למ"ק - חישוקים - 45 ק"ג/מ"ק

זיון אורכי (כולל תוספת 15% עבור חפיות) - 135 ק"ג/מ"ק

סה"כ פלדת זיון למ"ק - 180 ק"ג/מ"ק

סה"כ כמות הפלדה לעמוד ממוצע - $G = 0.45 \times 0.45 \times 180 \times 3.5 = 128 \text{ kg}$

עלות עמודי הבטון

א) פלדת זיון מצולעת - $P = 128 \times 2900/1000 = 372 \text{ ש"ח}$

ב) עלות הבטון ב-50 - $P = 0.45 \times 0.45 \times 3.5 \times 850 = 603 \text{ ש"ח}$

סה"כ עלות עמודי הבטון - $P1 = 975 \text{ ש"ח/עמוד}$

השוואת העלות לכל הפרויקט

עבור 14 עמודים בקומה (6 ברביע גלילי ו- 8 ברביע מרובי) ועבור 28 קומות התקבלה הערכת

העלות הכוללת לפי פרוט כדלהלן :

1) מחיר עמודי הבטון - $P1 = 28 \times 14 \times 975 = 382,000 \text{ ש"ח } (\sim 90,000 \$)$

2) מחיר עמודי הפלדה (כולל הגנה נגד אש) - $P2 = 28 \times 14 \times 2,516 = 986,000 \text{ ש"ח } (\sim 232,000 \$)$

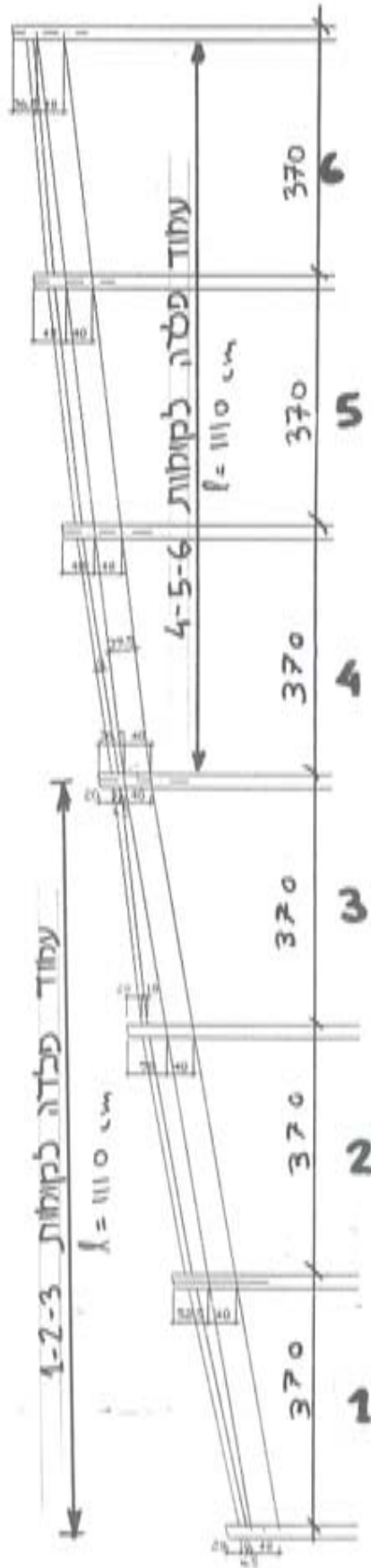
סיכום : עלות עמודי הפלדה היתה גבוהה פי 2.5 מעלות עמודי הבטון .

הפרש זה גבר על כל היתרונות אשר צוינו קודם לכן ושקולי המחיר הובילו לכוון הפתרון של

שמוש בעמודי בטון מזוין לתמיכת הרביעים הגליליים והמרוביים.

תרשים מס' 20

הצעה לביצוע העמודים מפרופילי פלדה לגובה 3 קומות



חניונים

תכנון החניון שונה לעומת תכניות המכרז שהוציאה המנהלת ובוצע חניון בשיטת ה"בורג", כאשר ממפלס הכניסה קיימת מצד אחד עליה לקומת חניה עילית ומצד שני ירידה לשתי קומות חניה תת-קרקעיות. החניה מתבצעת על המשטחים המשופעים אשר תוכננו בשפוע של 5% והסבובים מתבצעים על משטחים ישרים. בשיטה זו ניתן היה למזער את החדירה למים, לעומת התכנון המקורי אשר כלל שלושה מפלסי חניה תת קרקעיים מלאים, ולחסוך בשטחי בניה על ידי ביטול 2 רמפות ירידה ועליה אשר נמצאו משני צידי החניון וגזלו שטח רב. מבנה השלד של החניונים מורכב מעמודים בחתך אובלי במידות 40/80 ס"מ, קורות בטון יצוקות במקום בחתך 100/52 ס"מ, אשר מעליהן מורכבות תקרות חלולות דרוכות במפתחים של בין 4 + 9 מ' ומעליהן השלמת יציקה בעובי 5 ס"מ עם רשת זיון. גובה קומות החניון 270 ס"מ.

ביסוס

מאחר שהמגדל נמצא בקרבת שבר יגור, הנמצא בסביבת רחוב דרך העצמאות, ננקטו פעולות מיוחדות בתכנון כנגד רעידות אדמה, כולל שימוש במקדם סייסמי, לתאוצת הקרקע הצפויה, הכפול מהנדרש בת"י 413 לרעידת אדמה לאיזור חיפה $Z = 0.2$ g במקום $Z = 0.1$ g (g תאוצת הכובד).

התוצאה הישירה של הגדלת המקדם z היא קבלת כוחות אופקיים הגדולים פי 2 מאלו אשר היו מתקבלים עבור בנין זהה, אשר היה נבנה במקום אחר בחיפה או כוחות אופקיים הגדולים פי 3 מאלו אשר היו מתקבלים עבור בנין זהה אשר היה מתוכנן באזור השפלה - ת"א, נתניה או ראשון לציון - אשר בו מקדם התאוצה הסייסמית הצפויה הוא $Z = 0.075$ g.

משמעות הדבר היא שמקבלים כוחות אופקיים הגדולים פי 3 והמתאימים לבנין בגובה של כ- 60 קומות (לעומת 37 קומות בבנין שלנו) אך המסה והמשקל המתנגדים להיפוך המבנה הינה של מבנה בן 37 קומות בלבד. עובדה זו גורמת להופעת מתיחה בקירות ההיקפיים של הגרעין בפעולת הכוחות האופקיים הנובעים מרעידות אדמה.

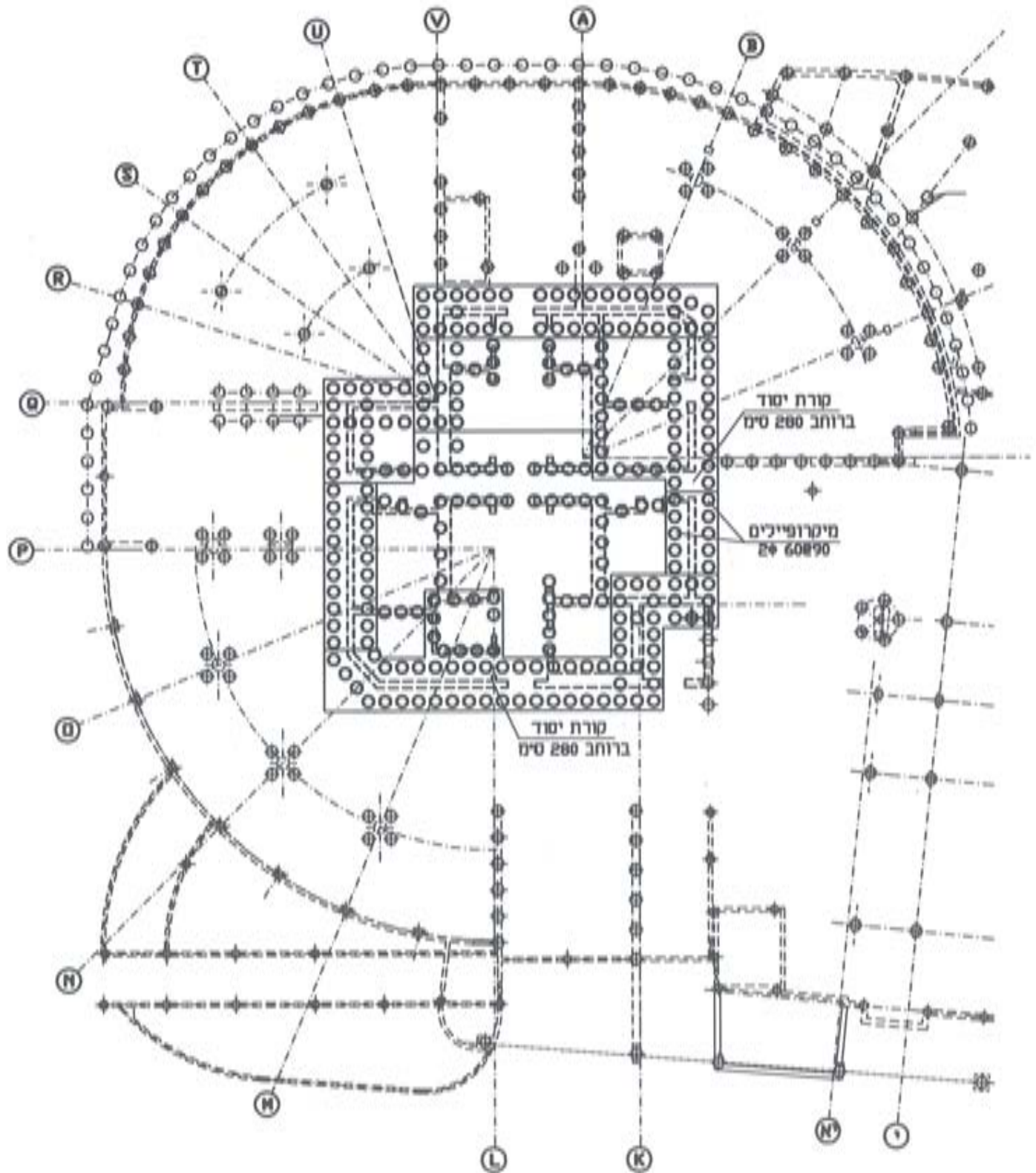
כוחות מתיחה אלו התקבלו על ידי זוגות כלונסאות בקוטר 60 ס"מ בקצב של כל 90 ס"מ אשר מוקמו מתחת לקורות היסוד ברוחב 280 ס"מ שתומכות את הקירות ההיקפיים של הגרעין. ביסוס כל המגדל והחניונים תוכנן ובוצע על גבי קבוצות כלונסאות קטני קוטר - "מיקרופיילים", בקוטר 60 ס"מ ומעליהם ראשי כלונסאות אשר שמשו לקבלת העמודים וקירות הגרעין המרכזי, (ראה תרשים מס' 21, 22, 23).

באתר נערך ניסוי העמסה דינמי לקביעת התסבולת המקסימלית האפשרית בסלע הדולומיט ובעקבותיו הוגדלו המאמצים המותרים לחכוך בכ- 25 אחוז. מהנדס הביסוס של הפרויקט הוא אינג' ישראל קלר מחיפה.

חריש מס' 21

תכני יסודות של המגדל

ביסוס על ידי מיקרופיילים בקוטר 60 ס"מ



תרשים מס' 22

ביצוע יסודות המגדל ע"י מיקרוסיילים בקוטר 60 בסלע דולומיט

אוקטובר 1999



תרשים מס' 23

ביצוע יסודות והתחלת הביצוע של קורות היסוד

אוקטובר 1999



השפעת הרוחות על מגדל המשרדים

בתחילת עבודת התכנון של הפרויקט בחודש אוקטובר 1999 בוצע מחקר הכולל בדיקות מקיפות של השפעת הרוחות על המגדל בעל הצורה הגיאומטרית המיוחדת והלא רגולרית. עבודת המחקר נמסרה לביצוע במנהרת הרוח בפקולטה למדעי ההנדסה שבאוניברסיטת מערב אונטאריו - קנדה, וזאת בהמשך לנסיון טוב ולרמה הגבוהה אשר הופגנה על ידם במחקר אשר ערכו עבורנו בפרויקט מרכז עזריאלי בת"א (פרויקט מרכז השלום), וזאת בעלות של כ- \$ 38,000 ארה"ב. המחקר בוצע על ידי צוות מהנדסים בראשותו של פרופסור א.ד. דאוונפורט הנחשב מומחה עולמי ובר סמכא בתחום זה.

לצורך הבדיקות נבנה מודל עבודה מדויק של המגדל בקנה מידה 1:300 (ראה תרשים מס' 24). בתוך המודל הותקנו 300 חיישנים ומדידי לחץ בנקודות שונות לאורך ולגובה החזיתות השונות של המגדל, כולל ריכוז חיישנים במקומות העשויים להיות רגישים יותר להשפעת הרוחות. לשם קבלת תוצאות מדויקות המתאימות ככל האפשר למציאות, הוכן מודל גושני מדויק של סביבת הפרויקט הכולל גם את כל המבנים הסמוכים לפרויקט ברדיוס של 370 מ', זאת בהתבסס על נתוני תצלומי אוויר עדכניים וגם על סמך תחזית הבינוי של פרויקטים עתידיים באזור הפרויקט לטווח ארוך (ראה תרשים מס' 25). לפני ביצוע הניסוי, נערך על ידי פרופ' דאוונפורט וצוותו, מחקר מקיף על משטר הרוחות באזור הפרויקט הכולל בדיקה של המחזוריות והעוצמה של הרוחות החזקות אשר נשבו באזור במאה השנים האחרונות. המודל הוכנס למנהרת הרוח המשוכללת בעולם ונבדקה השפעת הרוחות העלולות להתרחש בעוצמה המירבית בהסתברות של פעם במאה שנה. לאחר כל בדיקה נרשמו התוצאות במחשב והמודל סובב ב- 10 מעלות ונבדק שוב. בסך הכל נבדק הפרויקט 36 פעמים מ- 36 כווני רוח. תוצאות הניסוי הוזנו למחשב ובוצעה אינטגרציה של הלחצים שהתקבלו במדידי הלחץ המפוזרים לגובה המגדל. ספר התוצאות כלל נתונים לגבי כוחות הגזירה ומומנטי הכפיפה והפיתול המקסימליים ב- 10 נקודות לגובה המגדל עבור 36 כווני הרוח אשר נבדקו.

כמו כן התקבלו נתונים לגבי כוחות לחץ ויניקה מקסימליים בצפויים במשך תקופת חזרה של 50 שנים, החשובים ביותר לתכנון קירות המסך והחלונות.

בהתחשב בנתונים שהתקבלו ממנהרת הרוח חושבו ההטרחות המקסימליות על המגדל, כאשר במקביל בוצעו חישובים כני"ל בהערכה לפי התקן הישראלי כולל בדיקת ההשפעה הדינמית של הרוח. יש לציין שהאנליזה הסטטית והדינמית לפי התקן הישראלי אינה מדויקת ואינה יכולה לתת תשובה מספקת לחישוב כוחות הרוח על מבנה גבוה בסדר גודל כזה.

כמו כן לא ניתן היה לקחת בחשבון את הצורה המיוחדת של המבנה הכוללת מפרצים שקועים בחזיתות, אגפים מרחביים הבולטים ממשור החזית ונמצאים בגבהים שונים, אלמנטי גגונים שונים והתרוממות של שני חלקי הרביעים המרחביים מעל מפלס הגג. לצורה מיוחדת זו השפעה מכרעת על התנהגות המגדל כולו בזמן פעולת הרוח.

הדו"ח שהוכן בקנדה נמסר לקבלנים אשר השתתפו במכרז לייצור קירות המסך והחלונות והם חוייבו להתחשב בכל הפרמטרים והנתונים הנמצאים בו לצורך תכנון קירות המסך וחיפוי האלומיניום.

עריכת הניסוי במנהרת הרוח במעבדה המנוסה ביותר בעולם בשטח זה נותנת ליזם, למהנדסים ולקבלנים מסמך בעל ערך הן מבחינה מקצועית והן מבחינה ביטוחית אשר מקטין את אי הודאות לגבי פעולת כוחות הרוח על המבנה ועל קירות המסך והחלונות בזמן סופות רוח בלתי שגרתיות, ומאפשר את הקטנת תעריפי הביטוח בעבור הפרויקט כולו.

התוצאות העיקריות של המחקר:

- * מומנט הכפיפה בכוון X - 32,200 טון/מטר.
 - * מומנט כפיפה בכוון Y - 34,300 טון/מטר.
 - * מומנט הפיתול - 1,610 טון/מטר.
 - * התזוזה האופקית המקסימלית בראש המגדל כ- 4 ס"מ בכוון X ו- 3 ס"מ בכוון Y. הערכים הנ"ל הינם עבור ארוע רוח עם תקופת חזרה של פעם ב- 100 שנה, וריסון עצמי בשיעור של אחוז אחד.
 - * הלחץ המקסימלי על קירות המסך הינו בסדר גודל של 150 ק"ג/מ"ר - אשר התקבל בחזית המערבית.
 - * היניקה המקסימלית על קירות המסך הינה בסדר גודל של 180 ק"ג/מ"ר אשר התקבלה בחזית הצפונית (ראה תרשים מס' 26).
 - * יניקה אקסטרימלית בשעור 250 ק"ג/מ"ר התקבלה בקירות מבנה חדר המכונות על הגג בחזית המזרחית אך לא השפיעה על קירות המסך. ערכים אלו הינם עבור ארוע רוח עם תקופת חזרה של פעם ב- 50 שנה.
- לא נבדקה השפעת הרוחות ומידת נוחות השימוש באיזורים שונים של הפרויקט עבור הולכי רגל והקהל הנמצא בסביבתו במפלס הרחוב, מאחר ונושא זה עבר בדיקה מקדימה על ידי מנהלת החקמה של קריות הממשלה והיזם לא ראה טעם להשקיע כספים נוספים בעבור בדיקה זו.

תרשים מס' 24

מודל של המבנה בקנה מידה 1:300
אשר הוכן לצורך הבדיקה במנהרת רוח בקנדה



FIGURE 2 CLOSE-UP VIEWS OF THE PRESSURE MODEL.

תרשים מס' 25

תצלום מודל המגדל בתוך מנהרת הרוח כולל מודל מדויק של סביבת הפרויקט ברדיוס 370 מ'



EXPOSURE 2

PHOTOGRAPHS OF THE MODEL IN THE WIND TUNNEL SHOWING THE UPSTREAM TERRAIN MODELS (EXPOSURES) USED.

תרשים מס' 26

ערכי היניקה הדיפרנציאלית המקסימלית

חזית צפונית

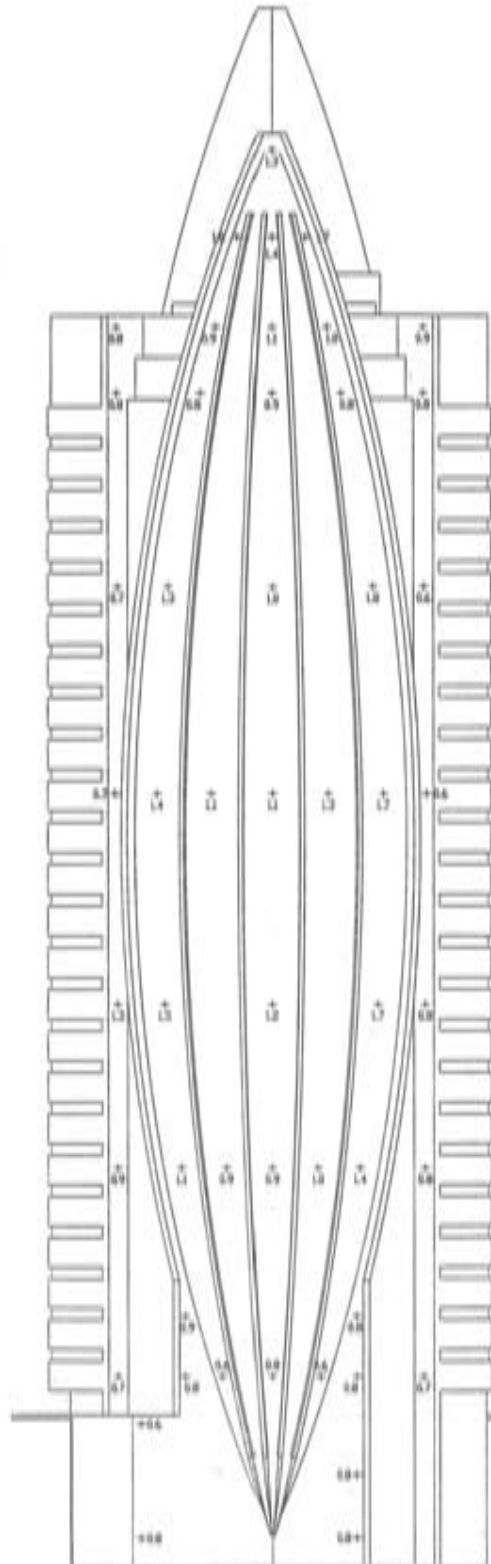


FIGURE 15k PREDICTED PEAK DIFFERENTIAL SUCTIONS (i.e. outward acting-loads) FOR A 50 YEAR RETURN PERIOD. *** NORTH ELEVATION ***

תרשים מס' 27

המגדל בשלבי בצוע סופיים של קירות המסך - מאי 2001

מבט מכיוון מזרח



תרשים מס' 28

השלמת קיר המסך על גבי הרביע המרחבי - מאי 2001

מבט מכוון דרום-מזרח

