

# The Oresund Fixed Link - Oresund ה- מעבר

אינג' רמי בלס



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

## מעבר ה-Oresund - The Oresund Fixed Link

### אינג' רמי בלס

תהליך הבניה של מעבר הקבע החוצה את ה-Oresund ומקשר בין שוודיה ודנמרק נמצא בשלבי סיום. הבניה החלה ב- 1996 בהמשך להסכם בין הממשלה הדנית והשוודית משנת 1991.

בכוונתן להביא לשפור של הקשר התחבורתי בין שתי המדינות ובכך להביא לחיזוק שתוף הפעולה הכלכלי והתרבותי, מצפות הממשלות ממעבר הקבע שיביא להמרצת ההתפתחות של שוק עבודה ובינוי משותף בכל צד של ה-Oresund.

בקיצור, מצופה מהמעבר שיביא לקידום האינטגרציה של איזור ה-Oresund כולו, ויסלול את הדרך לתחרות מוצלחת במרכזים אזוריים חשובים אחרים באירופה.

המעבר החוצה את ה-Oresund, אחת מהשקעות התשתית הגדולות ביותר אי פעם בסקנדינביה, ימומן באמצעות הלוואות משוק ההון הבינלאומי, בערבות של שתי הממשלות. המשתמשים - כלי רכב, חברות רכבות המטען ורכבות הנוסעים ישלמו אגרת מעבר.

המעבר מורכב משילוב של זוג מסילות ברזל וכביש בן ארבע נתיבים. המבנה הפיננסי שלו תוכנן כך שהמשתמשים בכביש ישאו במימון החלק העיקרי של הוצאות הבניה הכוללות. באמצעות פתרון זה ניתן היה להשיג שימוש אופטימלי בקווי הרכבת אשר בגשר היכולים לקלוט חלק משמעותי מהעליה הצפויה של תנועת הנוסעים והמטענים ובכך למנוע השפעות שליליות על הסביבה.



*The 7,845 m bridge between  
Lerhaken in Sweden and the  
artificial island.*

### מעבר ה-Oresund

\* אינג' רמי בלס

ש. בן אברהם מהנדסים בע"מ

ש. בן אברהם - מ. כהן

ר. בלס - א. אילוז

\*המאמר נכתב בהמשך להשתתפותו של כותב המאמר בסימפוזיון בנושא גשר ה-Oresund שהתקיים ב-Malmo שוודיה, ביוני 1999.

שיתוף הפעולה הכלכלי בין שוודיה ודנמרק היה נרחב ביותר באופן מסורתי. היבוא והיצוא בין שתי המדינות מוערך ביותר מ- 10 אחוז מסחר החוץ היחסי שלהן. חלק משמעותי מהסחר של דנמרק עם ארצות סקנדינביה עובר דרך שוודיה, כאשר דנמרק עצמה משמשת מסלול מעבר לסחר הסקנדינבי עם אירופה.

עם תוצר לאומי גולמי שנתי של 75 מיליארד דולר, מיועד אזור ה-Oresund להפוך בעתיד למרכז כוח כלכלי באירופה. בהשוואה, התוצר הלאומי הגולמי (תל"ג) של שוודיה ודנמרק ביחד מסתכם בכ- 360 מיליארד דולר.

האוכלוסייה העירונית החיה באזור כולו (סקניה חילנד) מונה כ- 3.2 מליון נפש, אשר מתוכם מוערך כוח העבודה בכ- 1.5 מליון נפש. על פי מדד התל"ג נחשב האזור כשמיני בגודלו באירופה בעוד שבמונחים של מוסדות חינוך ומחקר מדורג האזור במקום החמישי. כמרכז תנועה אירי האזור הוא השישי בגודלו באירופה.

כשלעצמו לא יביא מעבר הקבע לצמיחה ופיתוח. אך כבר עכשיו קיימות מגמות משמעותיות בתחום התרבות, החינוך, המחקר והעסקים, המראות שהתקוות לאינטגרציה יתמלאו והונחו היסודות לאזור אורבני גדול וחשוב. התוצאות נמדדות בפעילות כלכלית מוגברת, ניצול טוב יותר של משאבים, יכולת גדולה יותר בתחום המחקר וסביבה נוחה להשקעות אשר יניבו מיליונים בשנים שיבואו.

במשך תקופת הבניה עצמה, יביא מעבר הקבע לעליה בתעסוקה וכמו כן לפעילות כלכלית נרחבת ומוגברת הן בשוודיה והן בדנמרק. ההשפעה החיובית של הפרויקט על התעסוקה מוערכת ב- 24,000 איש בשנה בקרב כל הסקטורים בענף הבניה. כאשר לוקחים בחשבון גם את ההשפעה על הספקים מצפים לתעסוקה כוללת של 42,000 איש בשנה.

צוות ההיגוי של פרויקט ה-Oresund פיתח את הקונספט של "תכנון ובניה" אשר קבע דרישות פונקציונליות מדויקות לפרויקט כולו. משמעות הדבר היא שהקבלנים היו אחראיים הן לתכנון המפורט והן לבניה של המעבר לאורך ה-Oresund. כל החוזים עם קבלני הבנין הראשיים נחתמו זה מכבר.

בתוקף דרישות סביבתיות קפדניות לווה תהליך הבניה של המעבר ונבדקה ההשפעה של המעבר המושלם על הסביבה הקרובה. אחת הדרישות העיקריות היתה שמעבר הקבע לא יחסום את זרימת המים ב-Oresund לכוון הים הבלטי, אשר הקשר היחיד שלו לים הפתוח הוא דרך המיצר השוודי והדני. תחת פיתוח זהיר של הקונספט, הוקטן אפקט החסימה המחושב של זרימת המים מ- 2.3 אחוז ל- 0.5 אחוז לפני ההתאמה הסופית. בשלב הסופי תפצה תפירה נוספת בקרקעית הים בתוואי הגשר ובסביבתו, ותקטין את אפקט החסימה לאפס. דרישה נוספת היתה שהשפך מעבודות התפירה בקרקעית הים לא יעלה על 5 אחוז בממוצע.

## תאור טכני

מעבר הקבע באמצעות כביש ומסילת ברזל על פני ה-Oresund יתפרש על פני 15.8 ק"מ בין Kastrup בחוף הדני ו-Lernacken בחוף השוודי.

האלמנטים העיקריים במעבר הם :

- \* חצי אי מלאכותי המתפרש לרוחב 430 מ' מהחוף הדני ב-Kastrup.
- \* מנהרה באורך של 4050 מ' מתחת לתעלת Drogden המורכבת ממנהרה תת מימית באורך של 3510 מ' עם שני מבני כניסה.
- \* אי מלאכותי באורך של 4055 מ' הנמצא מדרום ל-Saltholm.
- \* גשר גישה מערבי באורך של 3014 מ' בין האי המלאכותי ובין הגשר הגבוה.
- \* גשר גבוה תלוי על כבלים באורך 1092 מ' מעל נתיב הנווט של תעלת - Flinterenden.
- \* גשר גישה מזרחי באורך של 3739 מ' מהגשר הגבוה לחוף השוודי ב-Lernacken.
- \* אזור טרמינל עם תחנות לגביית אגרה ומרכז בקרה לקשר הקבוע הממוקם בחוף השוודי ב-Lernacken.

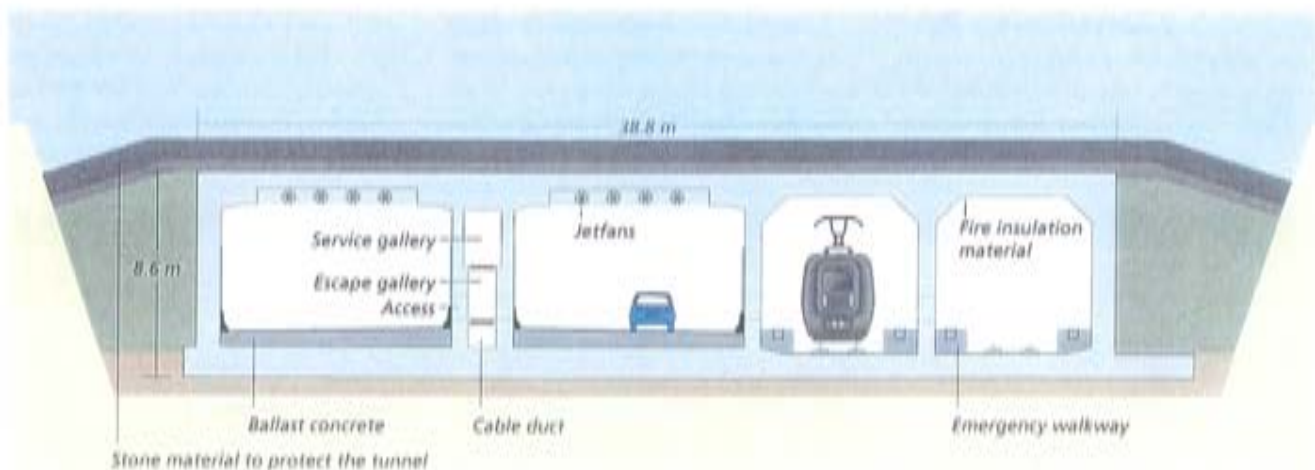


## המנהרה

החלק המערבי של מעבר ה-Oresund כולל מנהרה באורך של כ- 4 ק"מ בין חצי האי המלאכותי והאי המלאכותי. פרויקט המנהרה כולל שלושה מרכיבים עיקריים :  
\* רמפות ובנייני הכניסה על חצי האי המלאכותי,  
\* מנהרה תת מימית מתחת לנתיב הנווט של Drogden,  
\* רמפות ובנייני כניסה על האי המלאכותי.

מבני הכניסה מאכסנים את בנייני השירות התת קרקעיים עם חדרים יעודיים לאינסטלציה של המנהרה כגון תאורת דרך, אוורור, ניקוח, תקשורת ואספקת אנרגיה.

החלק התת מימי של המנהרה עשוי מעשרים אלמנטים אשר אורך כל אחד מהם כ- 176 מ', כך שבסך הכל מתקבלת מנהרה תת מימית באורך של 3510 מ'. כל אלמנט עשוי מ- 8 קטעים המחברים יחדיו בדריכה זמנית עד אשר מניחים אותם במקומם בחפירה בקרקעית היס. המנהרה בגובה של 8.6 מ' ורוחב 38.8 מ' (מידות חוק), מכילה בתוכה 2 שפופרות למסילת ברזל, 2 שפופרות לכביש מהיר, וגלריה מרכזית למילוט ואינסטלציה (ראה תרשים 1).



Cross section of the tunnel.

תרשים מס' 1 : חתך רוחב טפוסי של המנהרה

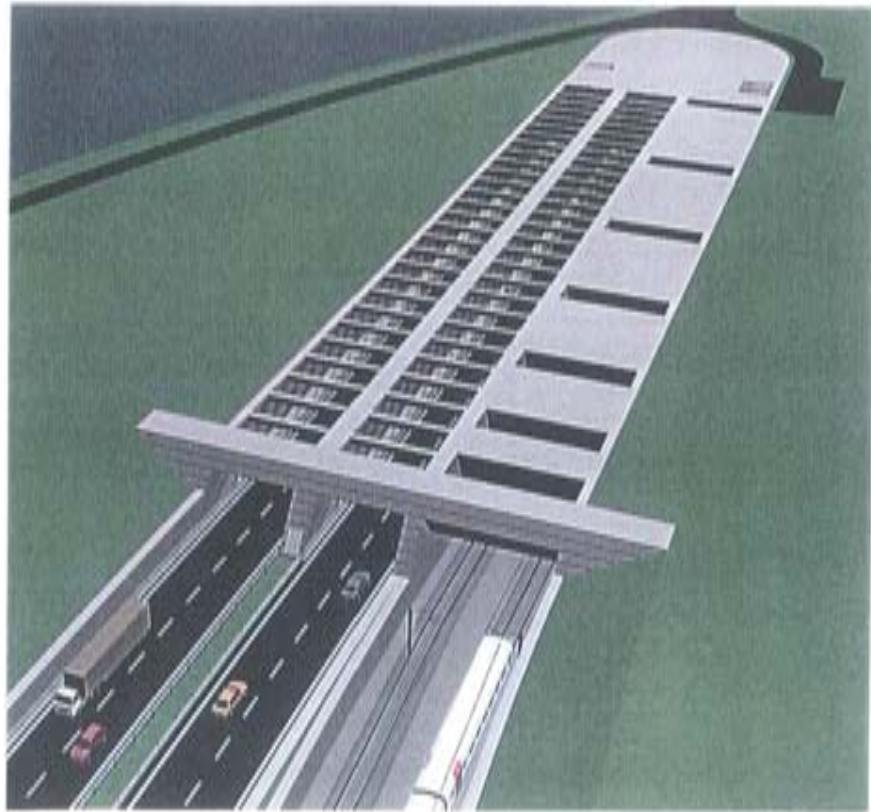
האלמנטים מונחים בתעלות חפורות מראש בקרקעית היס ומבוססים על גבי מצע חצץ. על מנת להגן על המנהרה בכל מצב מפגיעת אוניות, בוצע המילוי החוזר לאורך צידי המנהרה והונחה שכבת מצעים בעובי מסר מעל תקרתה. במצב הסופי ממוקם חתך המנהרה מתחת למפלס קרקעית היס ובמרכז המנהרה באיזור תעלת הנווט - Drogden נמצאת שכבת המילוי בעומק של 10 מ' מפני היס.

השפופרות לכבישים המהירים מצוידות במעקות בטיחות מסוג ניו ג'רסי, ציפויי קיר אקוסטיים מוגני אש ותעלת ניקוח מרכזית. התאורה לאורך המנהרה הינה רצופה עם אזורי מעבר בכל קצה, על מנת לאפשר לנהגים להתרגל לעוצמת האור המשתנה. מעל הכניסות למנהרה הותקנו מסכי אור מיוחדים, אשר מקטינים את אפקט "החור השחור", ונותנים לנהגים זמן על מנת להתרגל להבדלי התאורה במנהרה (ראה תרשים מס' 2).

תקרות וקירות כל שפופרות המנהרה מוגנים על ידי חומר בידוד מוגן אש והתקני חירום בהם נמצאים טלפונים וציוד לכיבוי שריפות הממוקמים כל 100 מ' לאורך המנהרה. דלתות בטיחות הנותנות גישה לגלרית המילוט מוקמו כל 50 מ' בין 2 שפופרות מסילות הרכבת, כל 100 מ' בין שפופרת הכביש המהיר והרכבת וכל 100 מ' בקירות מסדרון המילוט.

### תרשים מס' 2 :

מבנה הכניסה  
למנהרה בחצי האי  
המלאכותי  
ב- Kastrup



*The tunnel portal at the artificial peninsula at Kastrup. Note the sun latticing above the motorway to soften the transition from the artificial light in the tunnel to daylight and vice-versa.*

### בנית הרמפות

- בצוע הרמפות מחולק ל - 4 חלקים :
- \* מנהרה יצוקה באתר בשיטת "חפור וכסה".
- \* בניני הכניסה.
- \* רמפות.
- \* השקעים הפתוחים.

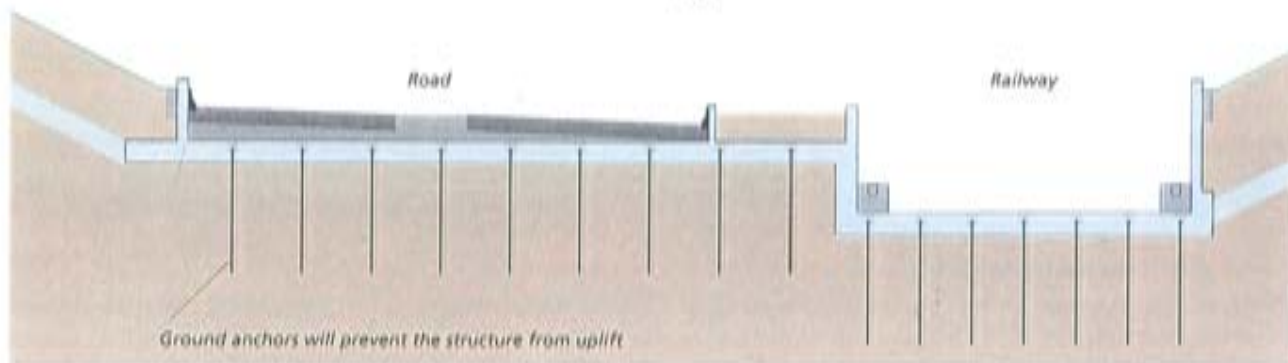
העבודה התחילה בחפירה פתוחה עבור המנהרה והתקנת המערכת הזמנית להשפלת המים. המנהרה בשיטת "חפור וכסה" מחולקת לשני קטעים עם פרטי חיבור הזהים לאלו הקיימים בקטעי המנהרה התת מימית. הבניה החלה היכן שיטובע קטע המנהרה הראשון, ולפיכך מותאם החתך לזה של החלק המטובע. חתך המנהרה מבוצע כך שבשלב ראשון נוצקת טבלת הרצפה, אחר כך הקירות הפנימיים ולבסוף הקירות החיצוניים והגג, כל זאת תוך כדי שימוש בצנורות קירור במטרה למנוע סדיקה טרמית.

לאחר השלמת היציקות בוצע מילוי חוזר על מנת לנטרל את לחץ המים שיפעל כאשר תופסק פעולת מערכת השפלת המים הזמנית. מבני הכניסה למנהרה נבנו באותה השיטה של "חפור וכסה", מבנה השירות הכולל ציוד בקרה ממוקם מעל המנהרה, אך מתחת למפלס האדמה המיובשת אשר נמצא 3.5 מ' מעל פני המים.

כוחות העילוי הפועלים על המבנה השקוע הפתוח, מתקבלים על ידי עוגני קרקע קבועים, עם כוח עבודה של 60 טון כל אחד, הקדוחים אל תוך אבן הגיר. עוגני הקרקע הדרוכים הינם בעלי הגנה כפולה כנגד קורוזיה (ראה תרשים מס' 3).

במטרה לקבל יותר משטחים ירוקים במקום קירות בטון, השתמשו בחפירה פתוחה עם ממברנה. חתך זה מתחיל במקום בו המשקל העצמי של האדמה המונחת על הממברנה יכול להתנגד לכוחות העילוי של המים. הממברנה נמשכת עד המקום בו עולה הכביש המהיר מעל פני הקרקע לגובה של 3.5 מ'.





**תרשים מס' 3 :** חתך רוחב ברמפה הפתוחה על האי המלאכותי

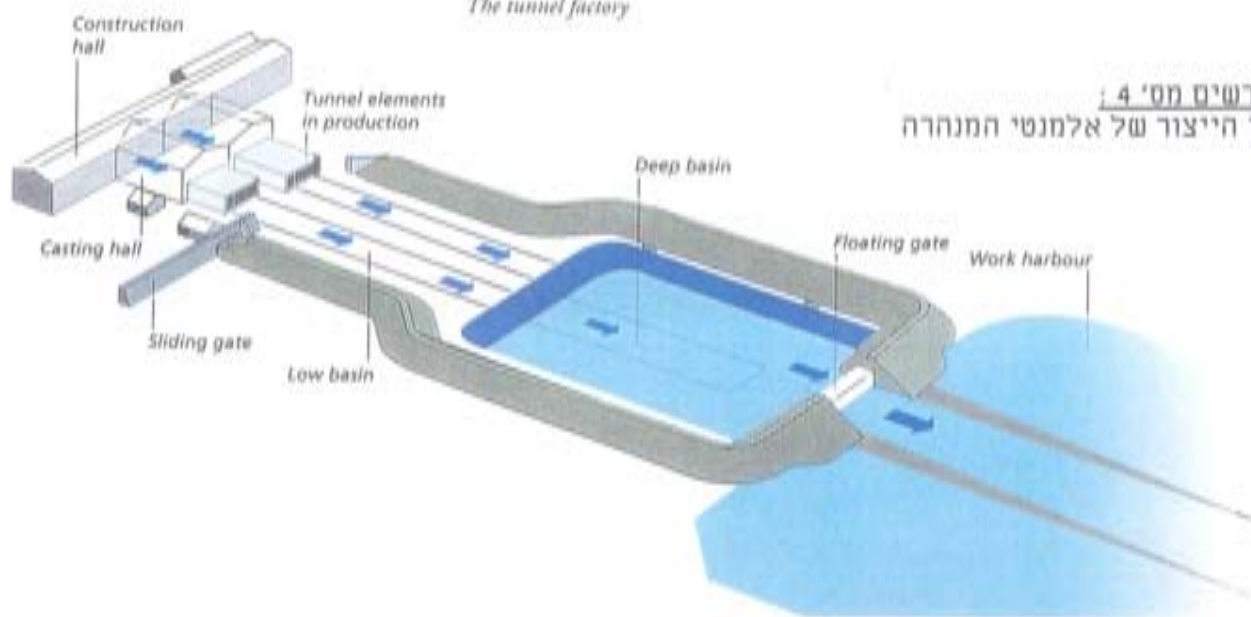
*Cross section of open ramp on the artificial island.*

### יצור האלמנטים

כל 20 האלמנטים המרכיבים את המנהרה מיוצרים באתר יציקה שנבנה במיוחד לצורך כך בנמל הצפוני של קופנהאגן, כאשר כל אלמנט מיוצר משמונה מקטעים באורך של 22 מ'. בהתאם לעקרון חדשני, המבוסס על רמה גבוהה ביותר של ייצור חרושתי, ניתן היה לצקת כל מקטע באורך של 22 מ' ביציקה אחת שאורכה כ- 24 שעות, על ידי היציקה של כל מקטע ביציקה אחת הואץ מאוד קצב הייצור והוקטנו באופן משמעותי הבעיות הטרמיות בזמן האשפורה של הבטון, תנאי המפעל הושגו על ידי הקמה של סככות אשר בהן בוצעה עבודת הקשירה של פלדת הזיון לכלובים שלמים מיוצרים מראש. הסככה המרכזית כיסתה את שני קווי הייצור אשר בהם יוצרו בו זמנית 2 מקטעים בכל שבוע. כל מקטע יוצר על גבי תבניות שהוכנו במיוחד לפרויקט זה.

אחרי שלושה ימים של אשפורה היו המקטעים מוכנים לשלב הבא. תבניות הבסיס שוחררו והמקטע נדחף קדימה כאשר התבנית נשארה במקומה. לאחר שהתבנית המשוכללת שוחררה נשאר המקטע מונח על גבי 6 קורות החלקה הממוקמות מתחת לקירות המנהרה. קורות תמיכה אלו נמשכות לאורך של 300 מ'. 6 סמכים נושאים מונחים על גבי כל קורה, כך שבסך הכל נתמך כל מקטע על גבי 36 סמכים. הדחיפה קדימה מושגת על ידי לחץ כלפי קצה המקטע, והזחת הסמכים לאורך פחית הפלדה. לאחר מכן ניתן היה לבצע את המקטע הבא, החל מהנחת כלובי הזיון המוכנים מראש במקומם על תבניות הבסיס, ולאחר מכן מיקום התבניות לקירות הפנימיים והחיצוניים ויציקת המקטע כנגד המקטע הקודם (ראה תרשים מס' 4).

*The tunnel factory*



**תרשים מס' 4 :** קו הייצור של אלמנטי המנהרה

כאשר מוכן המקטע האחרון ולאחר שחובר למקטע הקודם, נוצר אלמנט המנהרה המורכב מ- 6 מקטעים, אשר נדחף החוצה מהסככה. משני צידי תפר היציקה בין המקטעים מוקמו עצרי מים רציפים (פנים וחץ), והוכנו שפופרות להזרקה דיים בלחץ להבטחת האטימות למים. המקטעים של אלמנטי המנהרה הוחזקו ביחד באופן זמני על ידי כבלי זריכה עד אשר הונחו בתעלה ובוצע המילוי החוזר במלואו.

משני קצוות אלמנט המנהרה הוכנו מסגרות פלדה עבור אביזר תפר תת מיימי הכולל פרופיל גומי מטיפוס GINA. השלמת ההכנה של אלמנטי המנהרה לטיבוע כללה מיקום מיכלי מים בתוך חלל האלמנט.

שני אלמנטי המנהרה יוצרו במקביל, וכאשר הושלמו נדחפו החוצה לקצה קורות ההחלקה. לאחר מכן נסגרו השערים המתרוממים של מתקן הייצור לקראת הצפת האלמנטים בתוך אגן ההצפה.

### הגרירה והשיקוע של האלמנטים

כאשר מסתיים תהליך האטימה של השערים המתרוממים ושער היציאה, ממלאים את האגן במי ים עד לגובה של כ- 10 מ' מעל פני הים. שני האלמנטים המונחים על גבי קורות ההחלקה, מאחזים על ידי מיכלים המלאים מים, אשר נמצאים בתוך חלל האלמנט ואשר תפקידם הוא להבטיח שהאלמנטים יצופו במצב מאוזן. לאחר שצפו האלמנטים, הם נגררים לכוון הקצה העמוק יותר של אגן ההצפה וכל אחד מהם נקשר לשני דולפינים. לאחר מכן מונמך מפלס המים באגן לגובה פני הים, שער היציאה נפתח והאלמנטים נגררים החוצה, אחד אחרי השני, ישירות לכוון אתר החפירה למנהרה או למקום עגינה זמני הקרוב לאתר היציקה, תלוי בהתאם לתנאי מזג האוויר או התקדמות העבודה באתר החפירה.

מרחק ההובלה לאתר המנהרה הוא 20 ק"מ. גרירת האלמנטים בים מתבצעת על ידי שתי ספינות גרר מובילות מלפנים ושתי ספינות גרר מסייעות מאחור, כאשר כל אחת מהן מחוברת לפינה אחרת של האלמנט. מאחר ומיד לאחר הובלת האלמנטים מתחיל תהליך הטיבוע, נקשר האלמנט בנקודות ההרמה אל סירות מסוג Catamaran עוד לפני תחילת פעולת הגרירה (ראה תרשים מס' 5). כאשר מגיע האלמנט למקומו הוא מחובר לכבלי מתיחה המעוגנים בקרבת אזור החפירה למנהרה, לפני שמתחיל מבצע הטיבוע מנקים את תחתית החפירה בכדי להבטיח שלא נשאר בה כל חומר רך. מדידה מתמדת של החפירה נעשית באמצעות מכשיר Echo Sounder המותקן על גבי כלי רכב המופעלים בשלט רחוק, מבטיחה שהחפירה נקיה.



*The first tunnel element is towed  
in the tunnel trench in Drogden.*

תרשים מס' 5 :

אלמנט המנהרה הראשון נגרר אל החפירה למנהרה ב- Drogden.



תרשים מס' 6 : כל אחד מאלמנטי המנהרה באורך 176 מ' שוקל כ- 55,000 טון



*Each of the 176 m long tunnel elements weighs approx. 55,000 tons.*

תהליך הטיבוע מתחיל על ידי הזרמת מים לתוך האלמנטים והוצאתם ממצב של ציפה. נקודות ההרמה מחוברות באמצעות כבלי פלדה אל קורות הרוחב של סירות ה-Catamaran ובאמצעות מבטיחים את השליטה על הגובה והיציבות האנכית של האלמנט. האלמנט מונח כלפי מטה בצעדים קטנים, תוך כדי שמוש במערכת בקרה השולטת בהנמכה בכל שלב ושלב. בכיוון האופקי נשלטת הזזת האלמנט על ידי כבלי עיגון המחוברים אל מרכז תקרת האלמנט, כאשר אחד הכבלים מושך את האלמנט כנגד האלמנט שהותקן קודם לכן (ראה תרשים מס' 7).

האלמנטים מונחים במקומם בחפירה למנהרה על גבי מצע חצץ מפולס. לאחר שנמדד ואושר מיקום האלמנט בטולרנסים המותרים, נשאבים המים הנמצאים בחלל שנוצר בין שתי הדיאפרגמות אשר נמצאות בקצוות האלמנטים, באמצעות שסתום מיוחד הממוקם בהן. כתוצאה מפעולת השאיבה לוחץ הלחץ ההדרוסטטי את פרופיל ה-GINA ומחזיק את האלמנט במקומו. לאחר מכן משלימים את תוספת המשקל העצמי המינימלי הנדרש לבטחון כנגד הזזה, על ידי יציקת בטון שפועים ברצפת המנהרה ובזאת הושלם תהליך הטיבוע.

### מצעים ומילוי חחר

לפני שמטבעים את אלמנטי המנהרה, מרפדים את תחתית החפירה במצע חצץ מפולס ומיושר בקפדנות. מצע החצץ מכסה את כל שטח הבסיס של התעלה החפורה ועל ידי כך מסופקת תמיכה אחידה לאלמנטים לאחר שהם מוטבעים. לאחר שהאלמנטים מוקמו במקומם בתוך החפירה, מבצעים מילוי חחר במרווח שבין קירות המנהרה ובין דופן החפירה האנכית. המילוי החחר נועל את האלמנט במצבו, ומאחר ושכבת המילוי מונחת בחלקה גם על הבליטות האופקיות הנמצאות משני צידי המנהרה, מתקבלת תוספת עומס קבוע פסיבי נוסף למבנה כולו. המנהרה מוגנת על ידי שכבה של סלעים בעובי מסר המונחת על תקרת המנהרה. שכבה זו תוכננה לעמוד במשקל של אונייה טבועה או בנפילה או פגיעה של עוגן אונייה. כמו כן, מיוצבת שכבת ההגנה כנגד בליה או סחף הנגרם על ידי הזרמים בים או ממדחפי האוניות שעוברות מעליה.

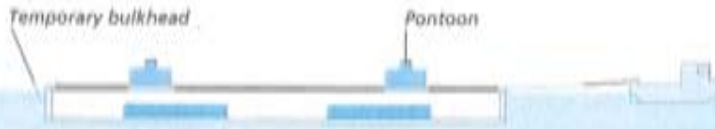
### עבודות גמר במנהרה

לאחר השלמת המילוי החחר נדרש לסלק את קירות הדיאפרגמה הנמצאים ליד קצוות האלמנטים ואת מיכלי המים שהוכנסו פנימה קודם לכן. לאחר מכן יש לצקת את בטון השפועים ברצפת המנהרה, לבצע את עבודות הציפוי בחומר מוגן אש ולהשלים את דיוס התפרים. הפעילות הסופית קשורה בקביעת אטם גומי מסוג Omega על גבי התפרים בין האלמנטים הנותן את האטימות הקבועה כנגד חדירת מים.

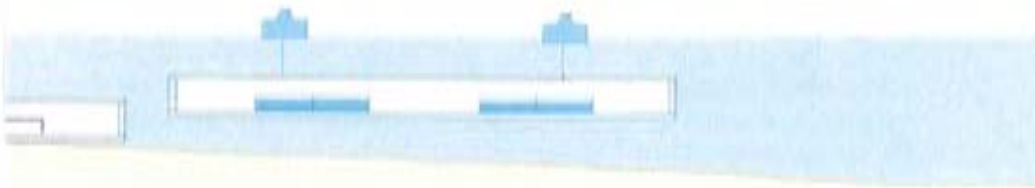
המנהרה תושלם לאחר גמר העבודות הקשורות בכבישים וכוללות את קבוע מעקה הבטיחות מסוג ניו ג'רסי, הרכבת ציפויי הקיר והשלמה של הגלריה המרכזית והתקנת מערכת האינסטלציה המיכנית והחשמלית. ציפויי הקיר המבוססים על פנלים זכוכיתיים נותנים גימור חלק ואסתטי לקירות ותקרת המנהרה. כושר ההחזרה של פנלים אלו נוצל בכדי לתת פיזור אור אחיד בתוך המנהרה, אשר יתן לנהגים הנוסעים בה מעבר נעים וראות טובה וברורה.



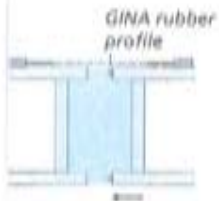
תרכיבים מס' 7 : תהליך שיקוע האלמנטים , ביצוע המצעים והמילוי החוזר



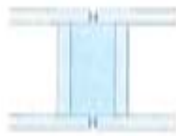
The floating tunnel element is towed from the construction area at Copenhagen North Harbour to the excavated trench in the Drogden Channel.



The tunnel element is ballasted and lowered into the trench where a gravel-bed has been prepared.



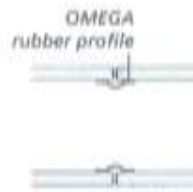
The immersed element is pulled against the previously installed one.



Due to the rubber profile (GINA), a small reservoir is created between the two bulkheads.



Water is pumped out of the reservoir. The water pressure on the other end of the element compresses the GINA profile which seals the joint.



The bulkheads are removed and a second rubber profile (OMEGA) completes the joint.



The tunnel is backfilled with sand/gravel on each side.



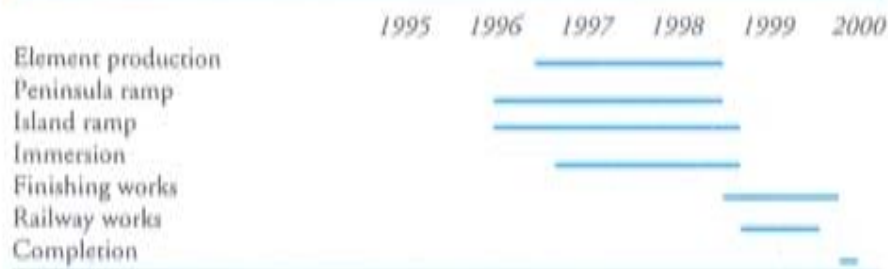
A rock protection layer is placed on top of the elements.

תרשיס מס' 8 : כמויות ולוח זמנים לביצוע המנהרה

**Quantities**

		<i>Peninsula portal</i>	<i>Immersed tunnel</i>	<i>Island portal</i>
Foundation sand	m <sup>3</sup>	-	150,000	-
Ground anchors	m	20,000	-	6,000
Geomembrane	m <sup>2</sup>	39,700	-	12,300
Formwork	m <sup>3</sup>	62,000	576,000	60,500
Reinforcement	tons	5,400	50,000	4,300
Structural concrete	m <sup>3</sup>	67,500	445,500	55,000
Ballast concrete	m <sup>3</sup>	16,500	57,000	14,000
Road pavement	m <sup>2</sup>	26,500	63,500	23,500
Wall cladding	m <sup>2</sup>	3,000	38,000	3,000
Fire insulation	m <sup>2</sup>	5,000	168,000	5,000

**Time schedule for the tunnel**



*The map shows the road and rail connections to the Oresund Link.*

תרשיס מס' 9 : מפה המראה את מעבר ה- Oresund המחבר בין Lærnaeken בשוודיה ובין Kastrup אשר בדנמרק



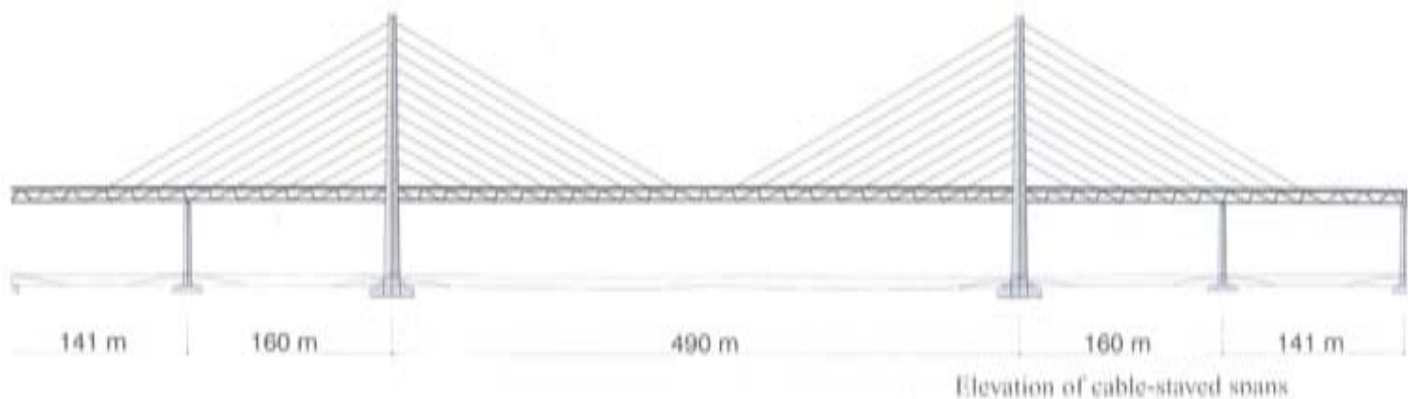
## הגשרים

החלק המזרחי של מעבר ה-Oresund מורכב מגשר באורך של 7.85 ק"מ המחבר בין האי המלאכותי ובין שוודיה. הגשר מחולק לשלושה מרכיבים עיקריים:  
\* גשר גישה מערבי המוביל מהאי המלאכותי לכיוון מעלה הגשר הגבוה.  
\* גשר תלוי על כבלים באורך 1092 מ', עם שדה עיקרי באורך 490 מ' החוצה את תעלת -  
Flinterenden. הגשר נמצא בגובה של 57 מ' מעל פני הים.  
\* גשר גישה מזרחי המוביל מהגשר הגבוה במרד לכיוון החוף השוודי ב-Lernacken.

לאורך כל אורכו בנוי המבנה העיקרי של הגשר מחתך מרוכב (Composite) פלדה-בטון עם קורות ממסבכי פלדה מסוג "Warren". הסיפון העליון כולל את הכביש המהיר בן 4 הנתיבים ועל הסיפון התחתון מונחים 2 מסלולים למסילת ברזל (ראה תרשים מס' 10). הגשר הוא הגדול מסוגו בעולם הנושא הן רכבות נוסעים ומטען והן תנועת כלי רכב מכל הסוגים.

## הגשר הגבוה

הגשר החוצה את תעלת - Flinterenden הוא מבנה תלוי על כבלים כאשר הכבלים מסודרים במערך קלאסי בצורת נבל, ומעוגנים למסבכי הגשר במרווחים של 20 מ'. הגשר הנתמך בעיקר על שני זוגות של עמודי שער (Pylons) הינו סימטרי ביחס למרכז מפתח הנווט המרכזי. לצד השדה המרכזי תוכננו שני שדות ביניים באורך של 160 מ' כל אחד, אשר תפקידם להקטין את השקיעות של השדה המרכזי במפתח של 490 מ'. אורכו הכולל של הגשר התלוי בין תפרי ההתפשטות הנמצאים על עמודי המעבר הוא 1092 מ'.



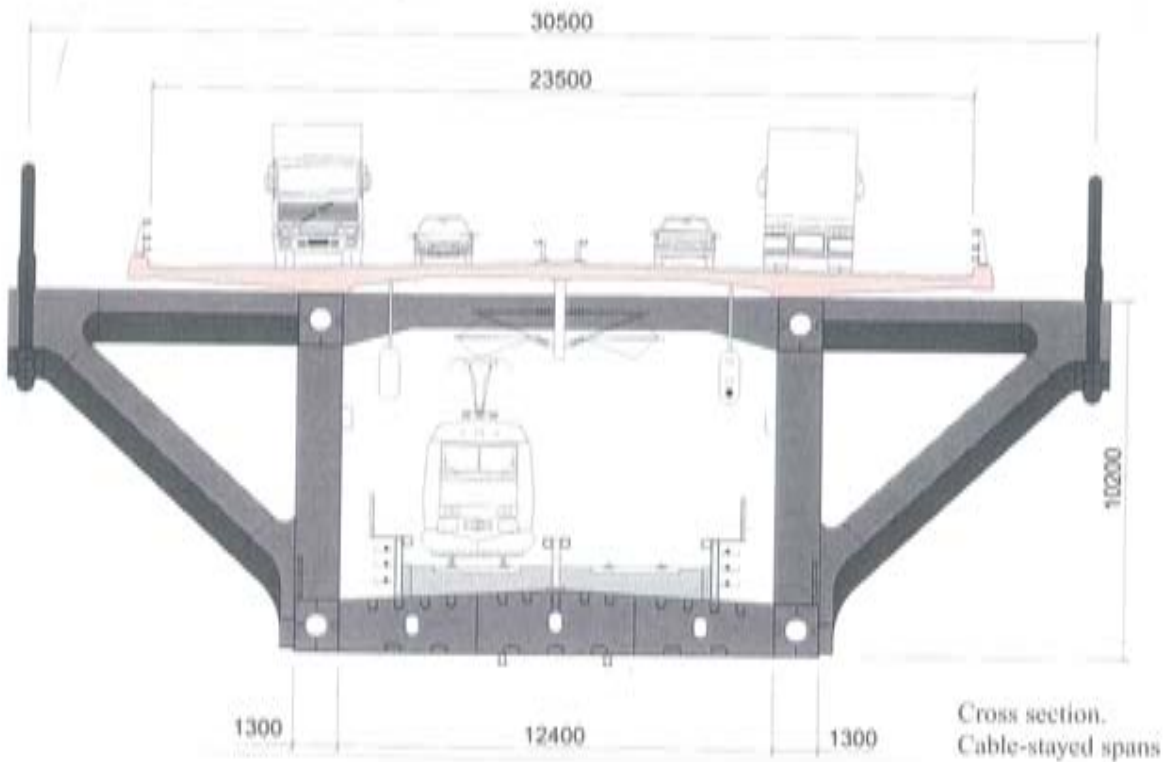
הסיפון העליון של מבנה הגשר הנושא את הכביש המהיר מורכב מטבלת בטון יצוקה באתר על גבי החגורה העליונה של המסבכים, ופועלת באופן מרוכב (Composite) ביחד עם קורות מסבכי הפלדה. הסיפון התחתון הנושא את מסילות הברזל עשוי מקורות פלדה בצורת קופסא (ראה תרשים 11).

כל עמוד שער (Pylon) מורכב משני מגדלי בטון יצוקים באתר המתנשאים לגובה של 204 מ' מעל פני הים. הכבלים מעוגנים לעמודים במרווחים של כ- 12 מ' לגובה העמוד. משורי הכבלים הינם אנכיים לחלוטין. דבר המאפשר לבטל את הקורה המחברת בין המגדלים מעל מפלס המסעה (ראה תרשים מס' 12).

עמודי שדות הביניים מורכבים מעמודי בטון טרומיים בודדים בחתך קופסא (ראה תרשים מס' 13). עם סמכים ניידים לתמיכת קורות הגשר בראשם. עמודים אלו מצויידיים בסיזור לקשירה כלפי מטה בכדי להתנגד לכוחות עילוי הנובעים מהעומסים על השדה המרכזי (ראה תרשים מס' 14).

יסודות עמודי השער (Pylons) ועמודי שדות הביניים עשויים מקייסונים (Caissons) טרומיים מבטון מזוין אשר מוקמו על גבי סלע הגיר של קופנהאגן בעומק של 14 עד 17 מ' מתחת לפני הים. כל אחד מהיסודות מוקף על ידי שונית מגן תת מימית (Reef) אשר תפקידה לספוג את המכה במקרה של התנגשות אוניה בעמודי הגשר, ולהקטין את הכוחות אשר יקבל היסוד.

תרשים מס' 10 : חתך רוחב טפוסי במפתחי הגשר התלוי

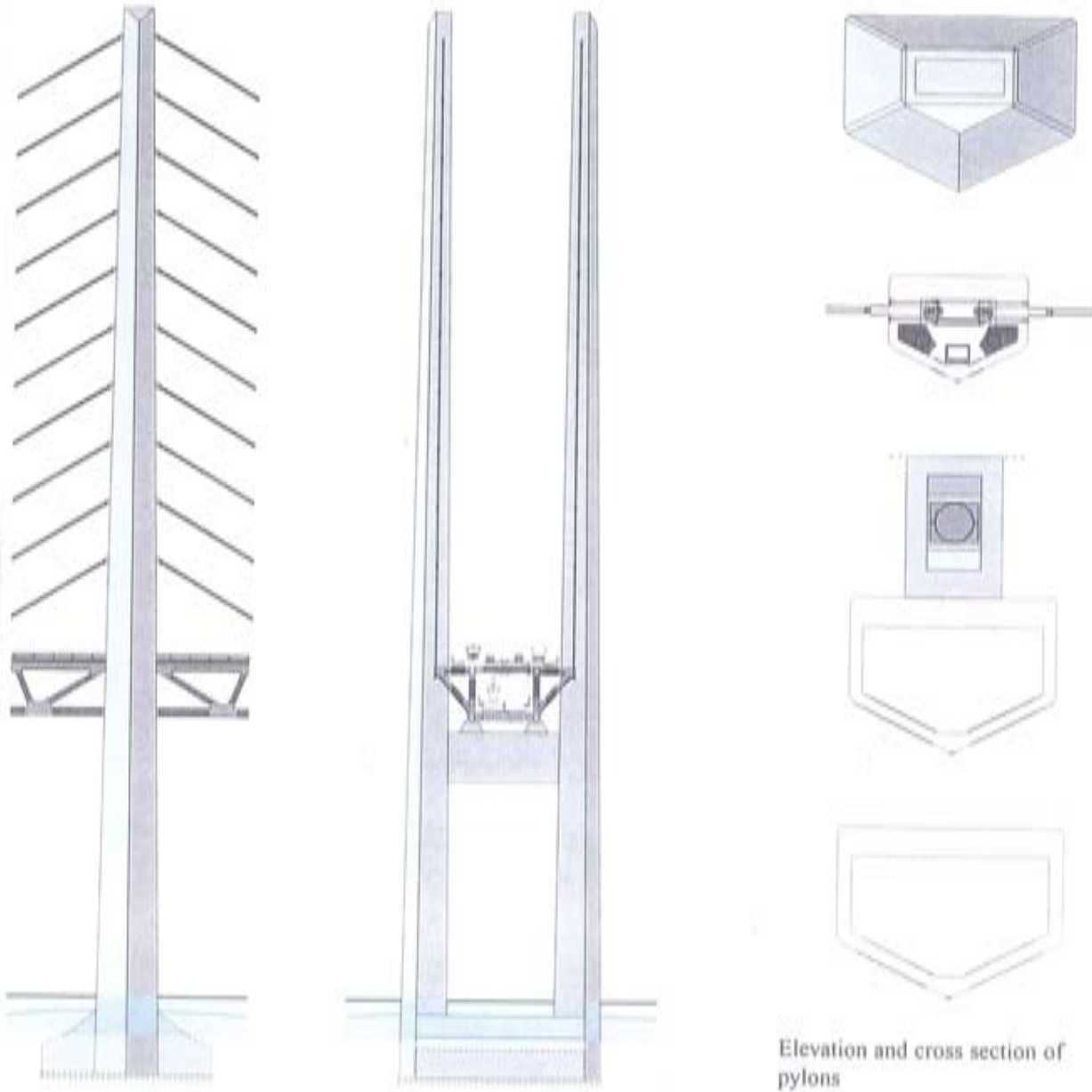


תרשים מס' 11 : חתך קופסה טפוסי עשוי מפחים מרותכים





תרשים 10 א : חזית וחתך טפוטי של עמודי השער  
(Bridge Pylons)

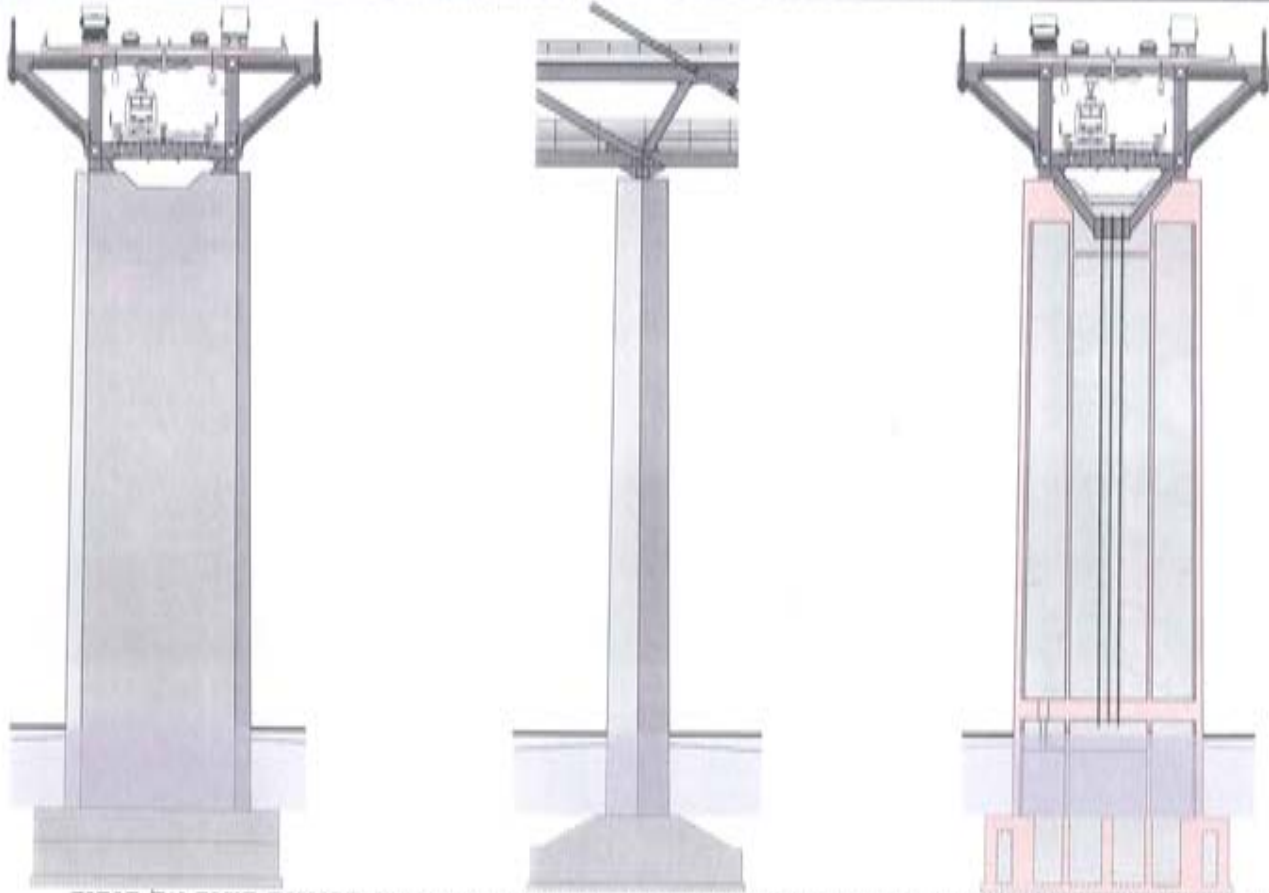


Elevation and cross section of pylons

תרשים מס' 13 : עמודי הגשר העשויים מאלמנטי בטון טרומיים בחתך קופסא מוכנים להובלה לאתר.



תרשים מס' 12 : עמוד השער המזרחי (Pylon) הגשר.



תרשים מס' 14 : מבט על עמודי שדות הביניים. מבנה הגשר העיקרי בשדות הביניים קשור אל היסוד כנגד התרוממות באמצעות כבלי פלדה דרוכים.



## גשרי הגישה

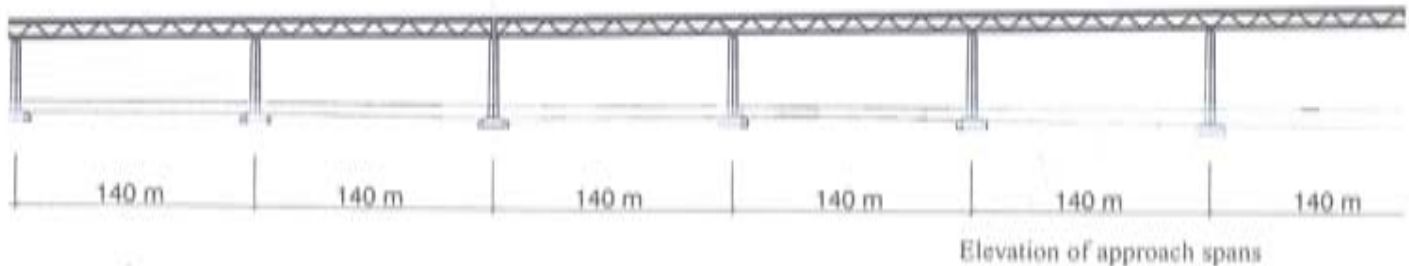
אורכו של גשר הגישה המערבי 3014 מ', והוא כולל 22 שדות, מהם 18 שדות באורך של 140 מ' ו- 4 שדות באורך של 120 מ'. אורכו של הגשר הגישה המזרחי 3739 מ', והוא כולל 27 שדות, מהם 24 שדות באורך של 140 מ' ו- 3 שדות באורך של 120 מ' (ראה תרשים מס' 15).

למבנה העיקרי של הגשר סיפון בטון עליון הנושא את הכביש המהיר, ופועל באופן מרוכב (Composite) ביחד עם קורות מסבכי הפלדה, ופלטפורמת בטון תחתונה הנושאת את מסילות הברזל (ראה תרשים מס' 16).

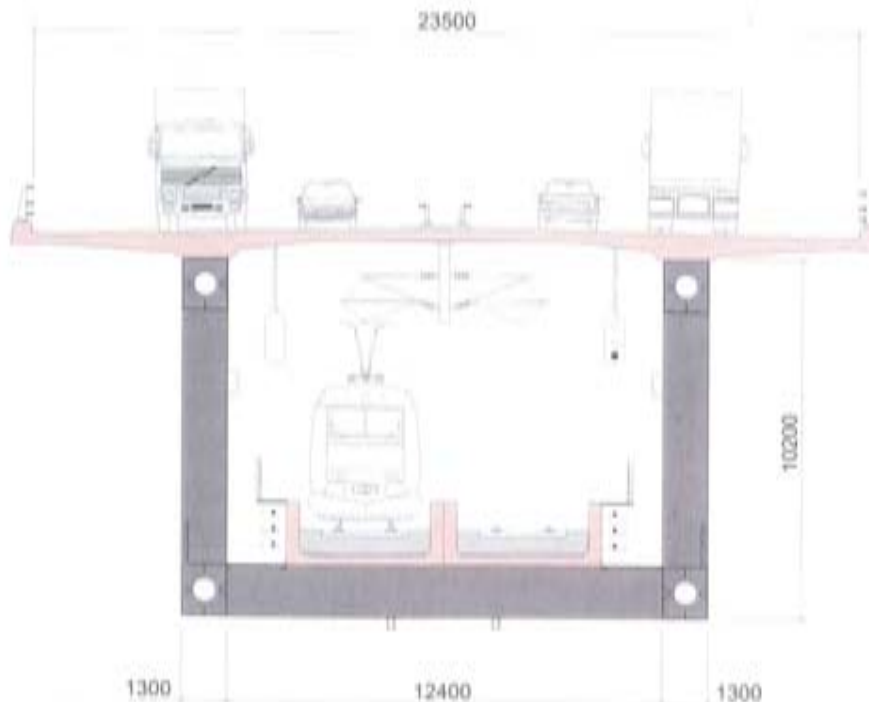
מבנה הגשר העיקרי מחולק לקטעים באורך של כ- 1270 מ' כל אחד, על מנת לאפשר התפשטות והתכווצות. כל קטע כולל בדרך כלל 9 מפתחים כאשר תפר ההתפשטות בין הקטעים נמצא מעל עמוד המעבר הנושא את שני קצוות הקטעים (ראה תרשימים 29 + 33). העקומה האופקית של תנוחת הגשר מושגת על ידי שינוי קטן בזווית של אלמנטי המסבך מעל כל עמוד.

גשרי הגישה נתמכים על ידי עמודי בטון טרומיים בודדים בחתך קופסא, ויטודות העשויים מקייסונים (Cassons) טרומיים מבטון אשר מבוססים ישירות על גבי סלע הגיר של קופנהאגן בעומק של עד 15 מ' מתחת לפני הים (ראה תרשים מס' 17). העמודים הנמצאים בסמיכות לגשר הגבוה מוגנים מפגיעת אוניות על ידי שונית מגן תת מימית.

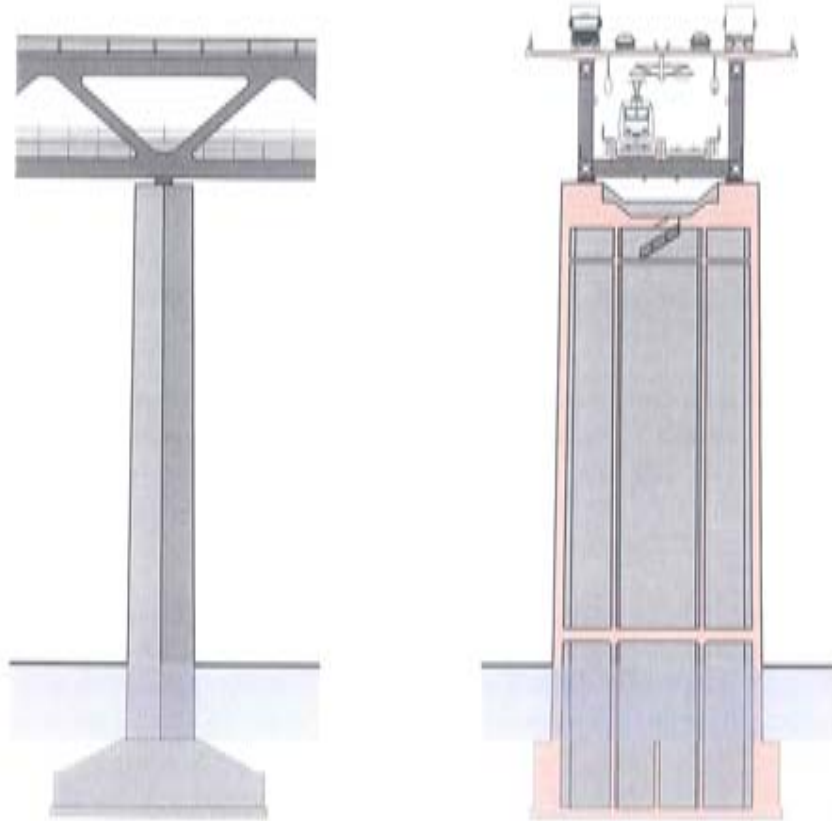
תרשים מס' 15 : סכימה של גשרי הגישה



תרשים מס' 16 : חתך רוחב טיפוסי במפתחי גשרי הגישה



תרשים מס' 17 : מבט על עמוד ויסוד טפוסי של גשרי הגישה



Elevation of pier and foundation at an intermediate support

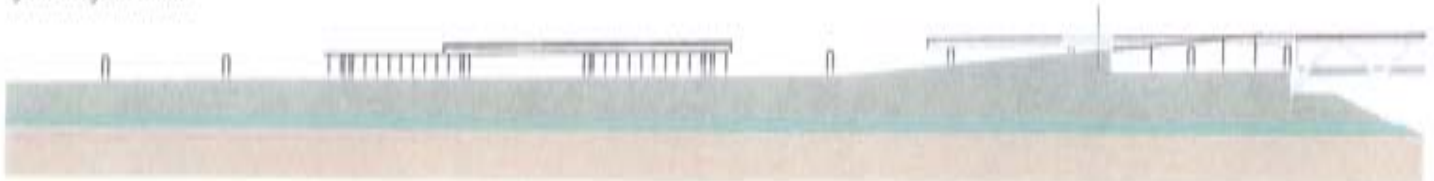
### גשר הטרנספורמציה באי

בקצה האי המלאכותי נבנה גשר דרך מיוחד המספק את הגישה מהמנהרה לגשר בן שני מפלסי התנועה. מבנה הגשר עשוי מבטון דרוך יצוק באתר, אורכו 560 מ' והוא מחולק למפתחים טיפוסיים באורך של 30 מ'. עמודי הגשר עשויים מבטון מזוין והם מבוססים על כלונסאות פלדה המוחדרים לסלע הגיר של קופנהאגן דרך שכבות המילוי. הגשר נבנה תוך כדי שימוש בתבניות קונבנציונליות ותחילת הביצוע שלו היתה בקצה גשר הגישה המערבי במטרה לאפשר את הגישה אליו. לאחר השלמת הגשר נבנו תעלות הניקוז והושלמו עבודות הגמר כולל עבודות עפר למיניהן ועבודת הפיתוח.

תרשים מס' 18 : בניית גשר הטרנספורמציה בקצהו המזרחי של האי המלאכותי

*The viaduct construction on the eastern end of the artificial island*

*Temporary access ramp to the western approach bridge*





## שטח העבודה לבניית הגשר

על מנת לאכסן את המתקנים לייצור האלמנטים הטרומיים ולספק תמיכה כללית לפעילויות הימיות השונות, הן עבור הגשר הגבוה והן עבור גשרי הגישה, הוקמו שטחי עבודה יבשתיים. שטחי העבודה עבור הגשרים נמצאים בנמל הצפוני של Malmo, כאשר הפעילות העיקרית שבוצעה בהם היא ייצור עמודי הבטון החלולים והקייסונים עבור היסודות. שני הקייסונים במשקל 20,000 טון כל אחד, עבור עמודי השער הראשיים של הגשר התלוי (Pylons), ייוצרו ברציף יבש ב-Kockums אשר ב-Malmo. המבנה העיקרי של הגשר הגבוה (The Superstructure) יוצר בעיקר ב-Karlskrona אשר בשוודיה, בעוד שהאלמנטים עבור גשרי הגישה יוצרו ב-Cadiz אשר בספרד. אתרי עבודה נוספים לבניה של קצוות הגשר הוקמו על האי המלאכותי וב-Lernacken.

## ביצוע היסודות

לאחר השלמת הקייסונים הטרומיים הגדולים עבור הגשר הגבוה ברציף ב-Kockums, הוצף הרציף ולאחר שצפו נגררו הקייסונים החוצה לכוון אתר הגשר. לעומת זאת, היסודות הקטנים יותר של עמודי גשר הגישה הוסעו לאתר הגשר על ידי המנוף הצף "Svanen" (ברבור בשוודית), היכול לשאת עד 9000 טון (ראה תרשים מס' 20). הקייסונים אשר כוללים את החלק התחתון של עמודי הגשר החלולים עד לגובה 4 מ' מעל פני הים, הונמכו כלפי מטה והונחו על גבי תמיכות בטון מיוחדות אשר הותקנו בתוך הבורות שנהפרו מראש עבור היסודות (ראה תרשים מס' 21). דייס בטון חזק לחלל אשר נוצר מתחת לקייסונים ויתרת הבור מולא שוב בחול. על מנת לספק משקל נוסף בכדי להתנגד לעומסי פגיעה של אוניה, מולאו הקייסונים בחול ובבטון רזה (ראה תרשים מס' 19). מסביב החלק התחתון של 8 עמודי הגשר הקרובים לתעלת הנווט, כולל עמודי השער הראשיים של הגשר התלוי, נבנו סוללות מגן המסודרות בצורה אליפטית.

תרשים מס' 19 : תהליך ביצוע היסודות משלב החפירה עד המילוי החוזר



*Dredging pits for caissons.*



*The caissons are prefabricated on shore and transported to the bridge site.*



*The void under the caisson is grouted with concrete and the remainder of the pit is backfilled with sand.*

תרשים מס' 20 : המנוף הצף - "Svanen" המסוגל להרים עד 9000 טון



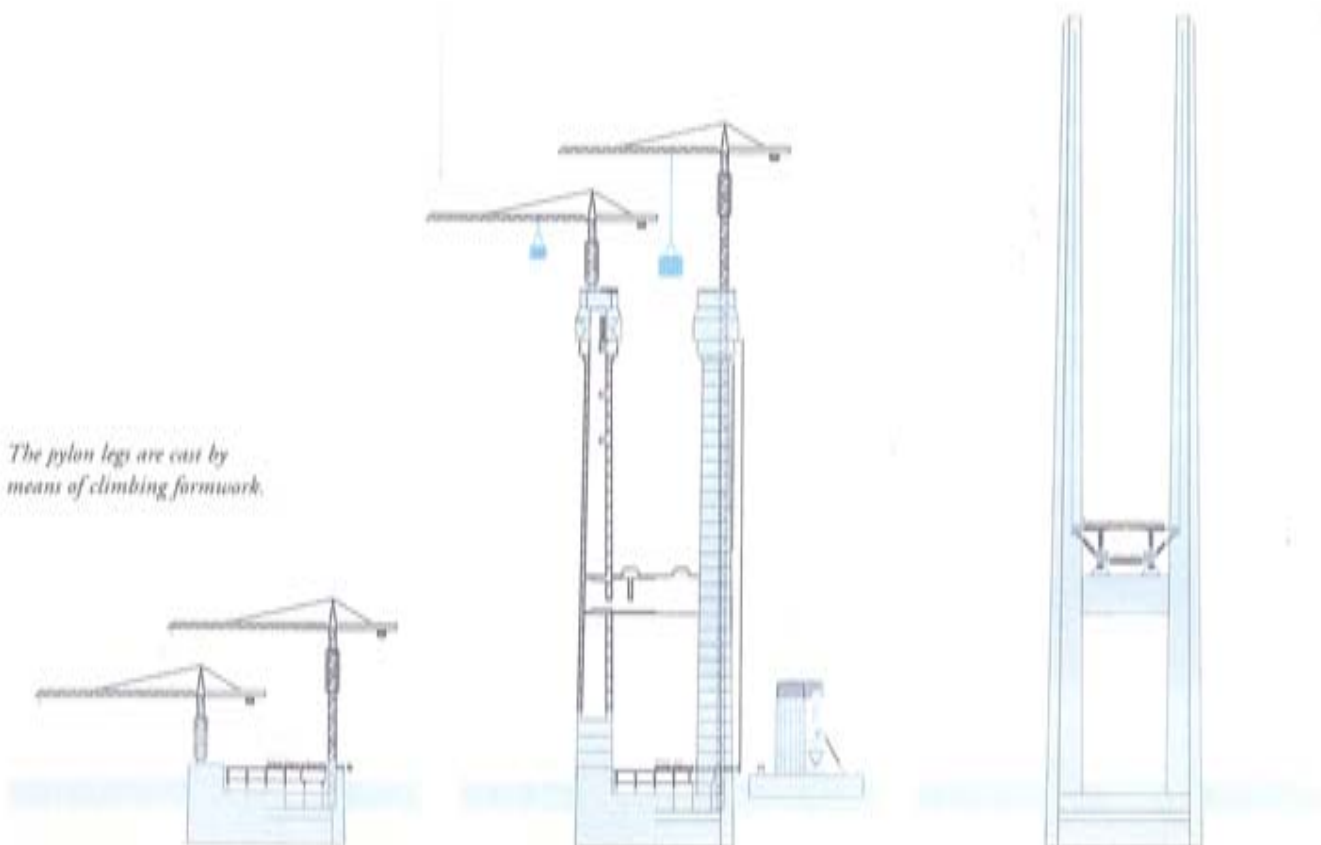
תרשים מס' 21 : הרכבת היסוד הראשון של נשר הגישה ב- Lernacken , יולי 1997

### ביצוע עמודי גשרי הגישה ועמודי השער ( Pylons )

לאחר שהונחו במקומם הקייסונים של עמודי השער ( Pylons ), החלה בנייתם באמצעות תבנית מתרוממת. כלובי פלדת הזיון הוכנו מראש באופן מתועש והורמו למקומם על ידי מנוף. אספקת הבטון היתה ממפעל בטון שמוקם על גבי אסדה אשר עגנה על יד עמודי הגשר (ראה תרשים 22). חלקו התחתון של עמוד השער החלול מולא בבטון רזה בכדי לשפר את התנגדותו לפגיעה של אוניות (ראה תרשים 22).

קורת הקשר של עמודי השער הנושאת את מבנה הגשר העיקרי נוצקה באתר, ואביזרי פלדה מיוחדים הוכנסו לחלקם העליון של מגדלי העמודים בכדי לספק עיגון לכבלים התלויים (ראה תרשים 23).

הן עמודי שדות הביניים של הגשר הגבוה והן עמודי גשרי הגישה הינם אלמנטי בטון טרומיים בחתך קופסא המיוצרים על חוף ב- Malmo ומובלים לאתר הגשר. כל אלמנט הונף והורכב במקומו על גבי קודמו באמצעות ה- "Svanen", מנוף המותקן על גבי אסדה, כאשר ההמשכיות מושגת על ידי קטעים מבטון היצוקים באתר בין האלמנטים הטרומיים (ראה תרשים 23).



תרשים 22 : שלבי הביצוע של עמודי השער הראשיים (Bridge Pylons), העמודים יצוקים באמצעות תבנית מתרוממת.



תרגילים 23 : שלבי הביצוע של עמודי השער הראשיים (Pylons)

התקנת אביזר  
הפלדה לעיגון  
כבלי התליה  
בתוך עמוד  
השער הראשי



Installation of stay anchorage in pylon

הרכבת העמוד  
הטרומי על  
גבי  
ה-Caisson



Installation of pier shaft

עמודי השער  
מבוצעים  
בתבנית  
מתרוממת



Climbing form for pylon legs

השלמת יציקה  
בין ה-Caisson  
והעמוד  
הטרומי



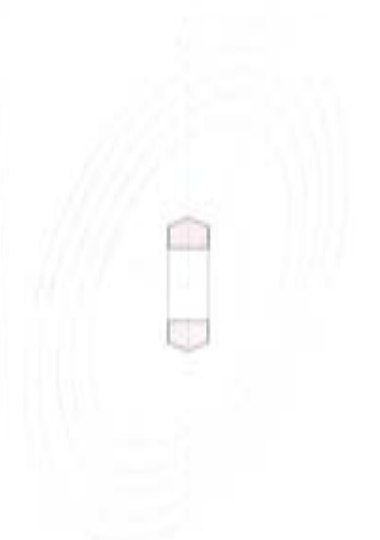
Joint between caisson and shaft

עמודי השער  
עשויים מבטון  
יצוק באתר



Pylon leg in in-situ concrete

שונית הגנה  
אליפסית  
מסביב עמודי  
השער  
הראשיים



Protective island at pylon

### הקמת המבנה העיקרי של הגשר (The Superstructure)

מסבכי הפלדה עבור הגשר הגבוה יוצרו בקטעים באורך של 20 מ', אשר רותכו בכדי לייצור קטעי גשר באורכים של 120 ו- 140 מ' (ראה תרשים 24). לאחר מכן הובלו קטעי הגשר מהמעגן אשר ב-Karlskrona אל אתר הבניה בצפון נמל - Malmo, בו נוצק סיפון הבטון העליון. קטעי הגשר המושלמים הורכבו במקומם לאורך תוואי הגשר על ידי המנוף הצף - "Svanen".



תרשים מס' 24 : קטעי הגשר באורך 120 מ' מוכנים להובלה בצפון נמל Malmo

הקטע הראשון של הגשר הגבוה (140 מ') הורכב במקומו בין עמוד השער המזרחי (Pylon) ועמוד גשר זמני הנמצא 120 מ' ממערב לו. עמוד הגשר הזמני תמך את קצהו האחד של קטע הגשר הראשון בעוד שקצהו השני הונח באופן קבוע על גבי קורת הקשר של עמוד השער הראשי. לאחר מכן הורכב שדה הביניים הראשון ובעקבותיו הורכבו בזוגות 4 כבלי התליה הראשונים משני צידי עמוד השער הראשי. עמוד גשר זמני נוסף הוקם ממערב לקודם, וקטע גשר נוסף באורך של 120 מ' הונח במקומו. מיד לאחר מכן הורכב בשדה הביניים קטע גשר נוסף באורך 140 מ' (ראה תרשים 25).

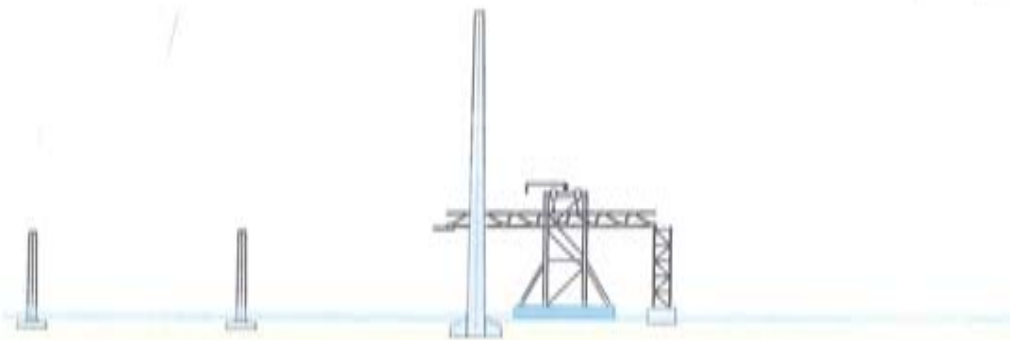
לאחר מכן הוזז עמוד התמיכה הזמני הראשון לכוון עמוד השער (Pylon) המערבי והתהליך חזר על עצמו. לאחר סיום תהליך הרכבת קטעי הגשר הם רותכו באתר בכדי לייצור אלמנט רציף, ורק בסוף חובר ורותך המפתח העיקרי במרכזו. תוך כדי תהליך הרכבת קטעי הגשר, הורכבו בהדרגה כבלי התליה ונזרכו לאחר מכן.



*the approach bridge at Lernacken.*

גשר הגניטה ב-Lernacken

תַּרְשִׁים 25 : עקרונות ההרכבה של כבלי התליה ומפתחי הגשר התלוי

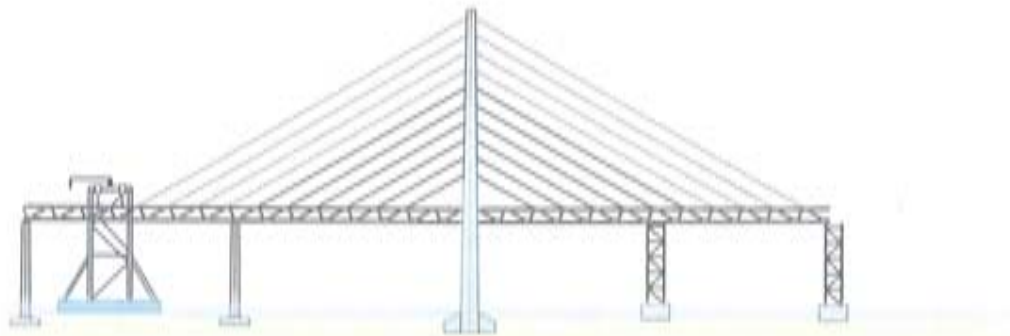


*Principle for assembly of stays and bridge spans for the high bridge.*

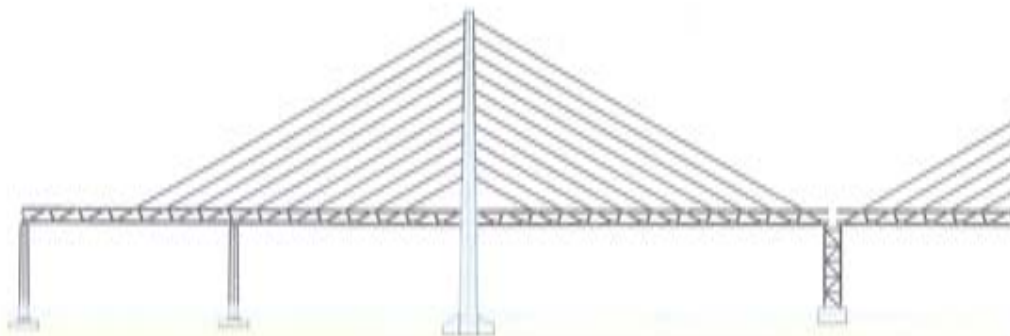
*Erection of the first 140 m of the superstructure supported on the pylon and on a temporary pillar. The floating crane, "Svanen", which formerly worked at the Great Belt's West Bridge, is used for transportation and erection.*



*Erection of the next 140 m section supported by the first section and on a permanent pier. The stippled cables are then mounted.*



*Erection of 120 m spans on two temporary piers followed by erection of a 140 m section between two permanent piers. The stippled cables are then mounted and the one temporary pier can be dismantled and moved to the second pylon.*



*Following the completion of the second bridge half in the same way, the remaining task is to join the two halves and remove the temporary pier.*



תרשים 26 : הרכבת מפתחי הגשר התלוי בשלבי סיום, נובמבר 1998



הסיפול בפני השטח של קונסטרוקצית הפלדה נעשה בשלמותו בבית המלאכה, עם השלמה הנעשית באתר אשר כוללת את ניקוי המשטח כולו, הגנה על השטחים המרוחקים ועבודות תיקונים קטנות. עבור גשרי הגישה יוצרו קורות מסבכי הפלדה באופן דומה והובלו בים על גבי אסדות פתוחות. סיפון הבטון העליון עבור הכביש המהיר נוצק באתר העבודה ב- Malmö. כך שניתן היה להשלים כל קטע גשר, למעט סיפון הבטון התחתון, לפני הובלתו לאתר הגשר. עבודות הצבע התבצעו גם כן באתר העבודה ב- Malmö.

הקורות נשלחו בזוגות הישר מבית המלאכה אל אתר הגשר, שם הונפו למקומם על ידי ה- "Svanen" (ראה תרשים 27, 28). כל מפתח מחובר למפתח הקודם שכבר הורכב על ידי ריתוכי אתר, והשלמות הבטון היצוק באתר של התפרים יצרו את ההמשכיות של סיפון המסעה עבור הכביש המהיר. סיפון הבטון התחתון יוצר מאלמנטי בטון טרומיים באורך של 17 מ', אשר הורכבו על גבי קורות רוחב מפלדה, וחוברו על ידי יציקות משלימות באתר הגשר.

לאחר השלמת עבודות ההקמה של מבנה הגשר, החל בצוע עבודות הגמר שכללו את אטום משטח הסיפון העליון, סלילת משטח הדרך של הכביש המהיר באספלט, הקמת מעקות מגן לכביש המהיר ומעקות להולכי רגל, והכנת אזור הסיפון התחתון לעבודות ההתקנה של מסילות הברזל.



המסבכים לפני הכנת הסיפון התחתון למסילות הברזל



מבט לאורך סיפון מסילות הברזל

תרשים מס' 27 : הרכבת הגשר החלה באפריל 1997.  
אלמנט המפתח הראשון הורכב על ידי החוף השוודי  
בדצמבר 1997 על ידי המנוף הצף "Svanen".  
השלמת הגשר באורך 7.85 ק"מ נקבעה לאוגוסט 1999,  
ופתיחת מעבר ה-Oresund כולו ליולי 2000.



Erection of the bridge started in April 1997. The first span element was installed near the Swedish coast in December 1997, by the 'Heavy Lifting Vessel' Svanen. The 7.85km long superstructure is scheduled for completion in August 1999, with the opening of the Link planned for July 2000



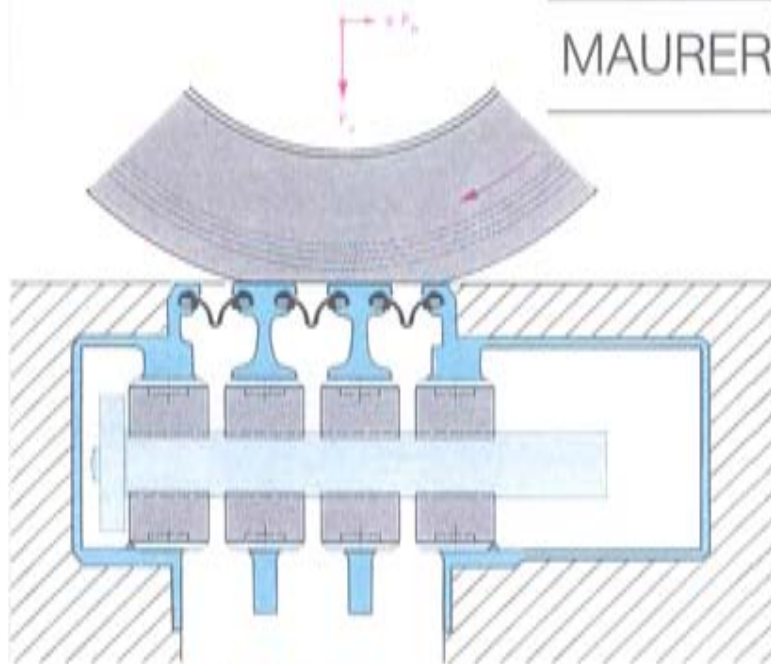
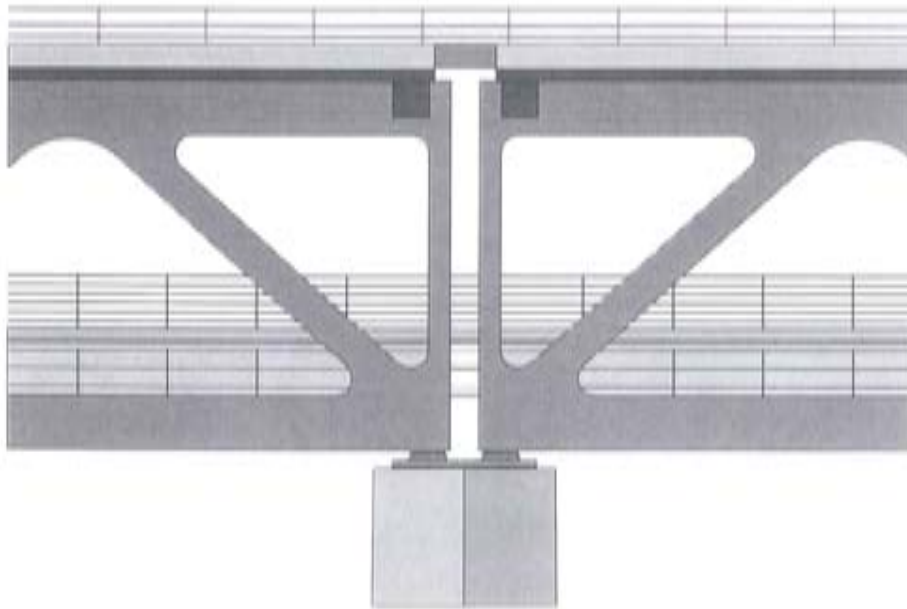
*The floating crane "Svanen" places a bridge section in position.*

תרשים מס' 28 : קטע גשר מורכב במקומו על ידי המנוף הצף "Svanen"

## תפרי התפשטות

תרשים מס' 29 : מבט על תפר התפשטות במבנה הגשר העיקרי

### 3.4 Expansion Joints



תרשים מס' 31 : חתך סכימטי של מבנה תפר ההתפשטות מתוצרת Maurer

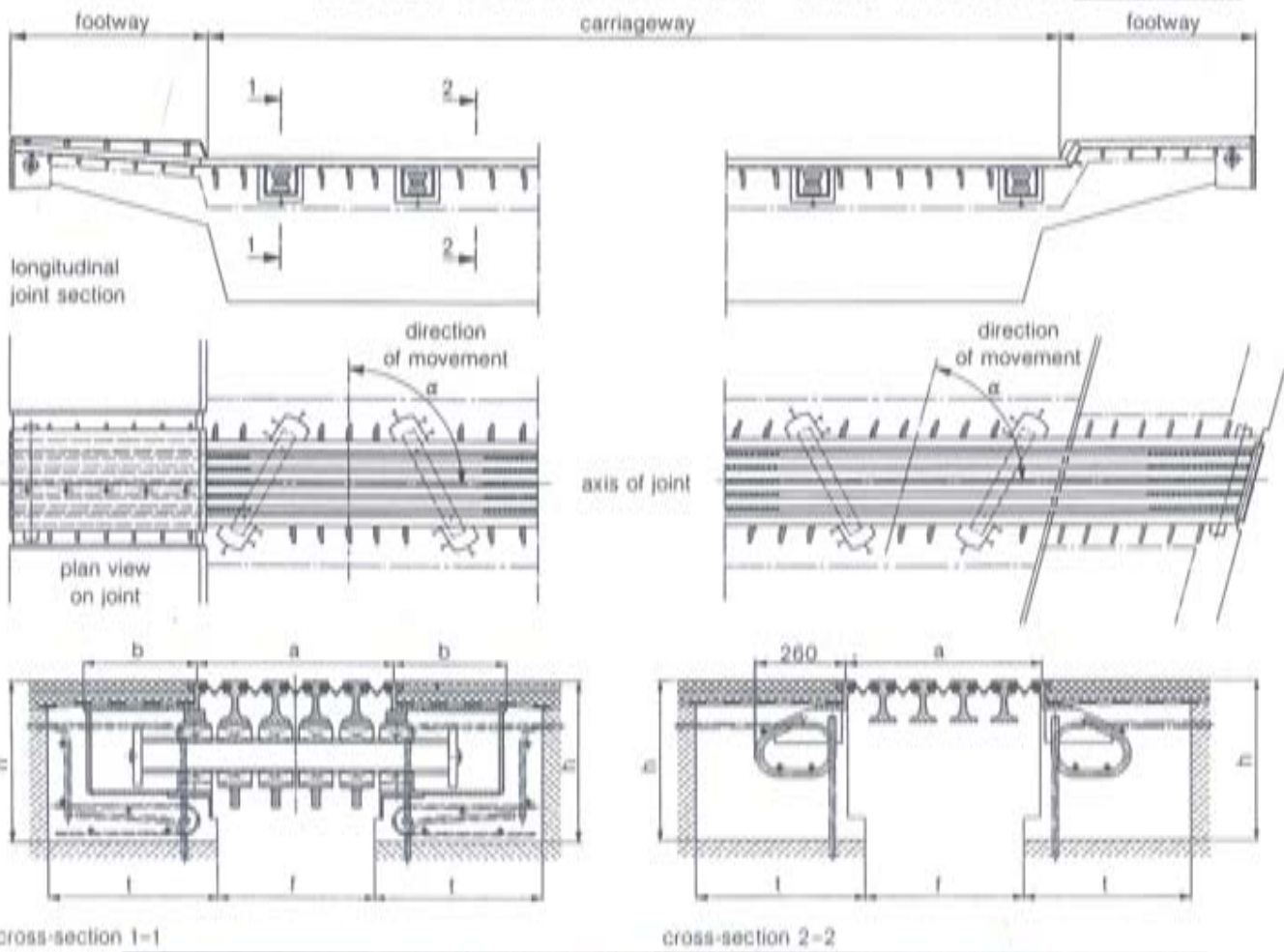
Elevation at expansion joint pier



תרשים מס' 30 : מבט על עמוד מעבר בתפר התפשטות לאחר הרכבת אלמנטי הגשר

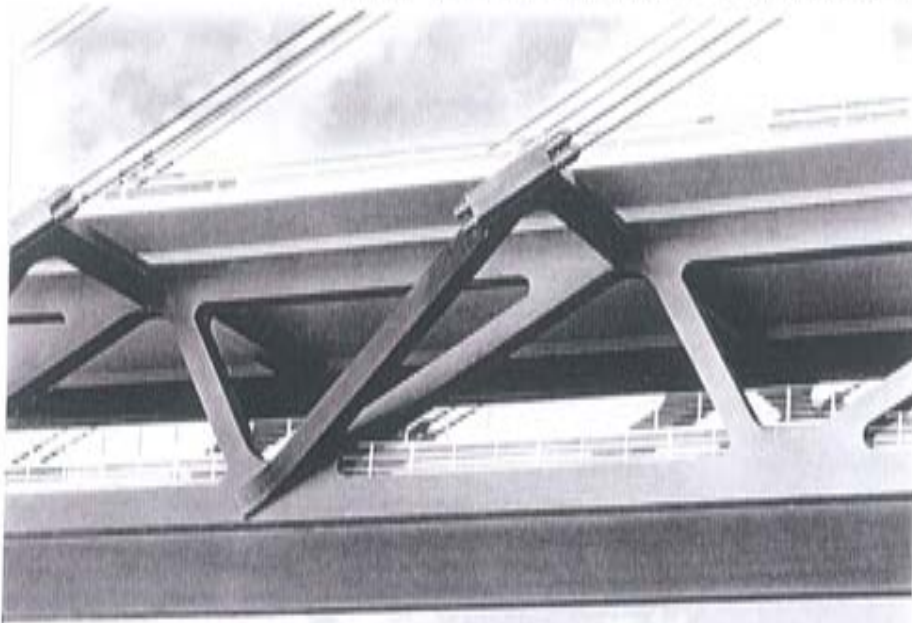


תרשים מס' 32 : פרטים טיפוסיים לתפרי התפשטות ברוחב של 1180 + 140 מ"מ.



תרשים מס' 33 : תפר התפשטות ברוחב 1000 מ"מ (מימין נציב הגשר ומשמאל מסעת הפלדה של הגשר).

תרשים מס' 34 : עגון כבלי התליה אל מבנה הגשר העיקרי



התמוכות לעיגון  
כבלי התליה



Cable anchorage brackets

שפופרות להכנסת עוגני  
כבלי התליה בקצוות התמוכות

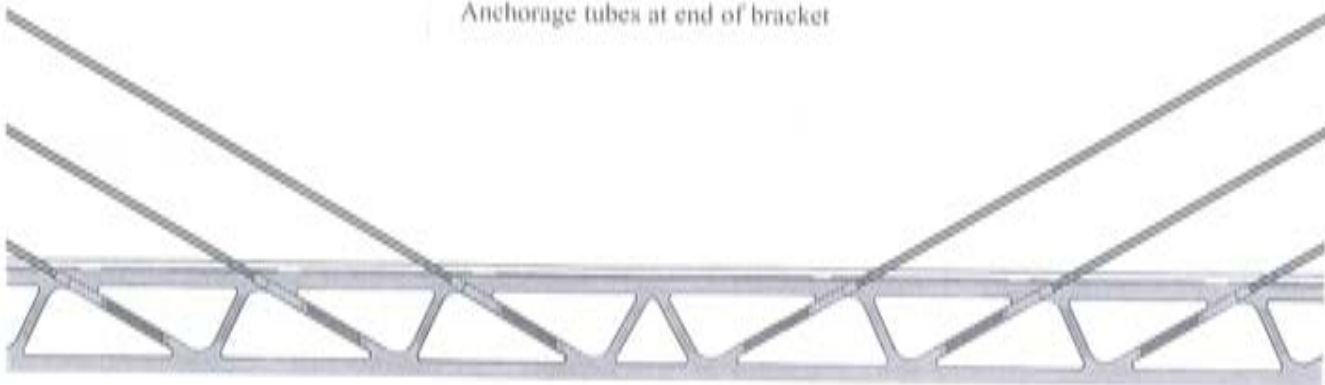


Anchorage tubes at end of bracket

עיגון זוג כבלי תליה  
בקצוות התמוכות



Anchorage of double stay



Centre of cable-stayed main span

תרשים מס' 35 : מרכז המפתח הראשי של הגשר התלוי

העבודות לאורך  
קו הגשר



Work in the bridge line

תרשים מס' 36 : אבני דרך בתהליך  
הבניה של מעבר  
Oresund - ה

אלמנטי גשרי  
הגישה מגיעים  
Cadiz - ה



Approach spans arriving  
from Cadiz



Existing navigation channel in use  
May 1999

תעלת הנווט  
הקיימת -  
מאי 1999

הרכבת הגשר  
התלוי -  
יולי 1998



Cable-stayed bridge  
July 1998



Svanen transporting pier shaft to  
the bridge line

ה- "Svanen"  
מוביל עמוד  
בסון טרומי  
לאתר הגשר

גשר הכבלים  
התלוי -  
נובמבר 1998



Cable-stayed bridge  
November 1998



View from Swedish coast  
April 1998

מבט מהחוף  
השוודי -  
אפריל 1998

הרכבת  
גשר הכבלים  
התלוי -  
מאי 1999



Cable-stayed bridge  
May 1999



Cable-stayed spans  
April 1999

הרכבת  
מפתחי  
גשר הכבלים  
התלוי -  
אפריל 1999



כרשיים מס' 37 : כמויות ולוח זמנים לבצוע הגשרים מעל ה-Oresund

**Quantities**

		<i>High Bridge</i>	<i>Approach Bridges</i>	<i>Viaduct</i>
Stay cable steel	tons	3,000	-	-
Reinforcing steel	tons	10,000	33,000	2,000
Structural steel	tons	20,000	65,000	-
Concrete	m <sup>3</sup>	70,000	190,000	16,000

**Time schedule for the bridges**

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Design		_____				
Western approach bridge						
Substructure			_____			
Superstructure				_____		
Eastern approach bridge						
Substructure		_____				
Superstructure		_____				
High bridge						
Substructure		_____				
Superstructure			_____			
Final works				_____		



גשר ה-Oresund, יוני 1999