מר בלנק הנכבד,

הנסיון שנרכש מבניית הרכבת התחתית בגארכינג (תחנת גארכינג-מרכז מחקר; [https://en.wikipedia.org/wiki/Garching-Forschungszentrum\_(Munich\_U-Bahn)](https://eur02.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FGarching-Forschungszentrum_(Munich_U-Bahn)&data=04%7C01%7Cshlomi.bachar%40biu.ac.il%7Cadf6a7ca6c1c4984a60a08d942b5fd2e%7C61234e145b874b67ac198feaa8ba8f12%7C1%7C0%7C637614172892501754%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWIjoiMC4wLjAwMDAiLCJQIjoiV2luMzIiLCJBTiI6Ik1haWwiLCJXVCI6Mn0%3D%7C1000&sdata=C3C4HtfDf0bjRdo7EoJtjDFeEULtMgIaoU01js%2BJegM%3D&reserved=0) יכול לסייע במקרה של שאלות בעת בדיקה של מעבר תחתי במוסד מחקר דרך תוואי רכבת.

בעת תכנון פרוייקט הארכת קו הרכבת התחתית לגארכינג לא עסקתי עדיין, אישית, בבניית הרכבת התחתית. עמיתי המוערך מאד והמנהל שלנו בתחום טכנולוגית מדידה בהווה, מר ברנהרד לרנר, שהיה מעורב בתכנון, מתאר כדלקמן את הניסיון המהותי בקשר למיקום הרכבת התחתית בסביבה רגישה:

גב' טולדנו נכבדה,

בבנייה החדשה של הרכבת התחתית לגארכינג-מרכז מחקר נאלצנו להתמודד עם בעייתיות דומה.

בסביבה הקרובה (מרחק 20 מ'... 120 מ') היו ממוקמים כאן מוסדות האוניברסיטה הטכנית מינכן, המצפה האירופי הדרומי ומכון-מקס-פלאנק לאופטיקה קוונטית.

מוסדות מחקר נדרשים לעיתים קרובות לעמוד בדרישות גבוהות במיוחד להגנה מפני רעידות, החורגות הרבה מעבר לערכים המומלצים בתקן DIN4150-2 / -3 (רעידות בבנין, השפעות על אנשים בבניינים או על בניינים), או מעבר להנחיות רלוונטיות בנוגע לצליל מוטס משני.

על כן פעלנו בגארכינג כדלקמן:

1. מצגת מידע ומכתב שנשלח לכל מוסדות המחקר (ארגון המצפה האירופי הדרומי ((ESO, מכון-מקס-פלנק-אופטיקה קוונטית, אוניברסיטה טכנית מינכן) בנוגע לבניית הרכבת התחתית החדשה המתוכננת ובירורים אודות ניסויים על רגישות לרעידות.

2. פגישות באתר והערכת הבדיקות או אזורי המעבדה הרלוונטיות:   
בדיקות קצרות טווח (שניות עד דקות) היו חסרי משמעות לחלוטין, מכיוון שניתן היה לבצען ללא בעיות בין שתי רכבות חולפות בהתאם ללוח הזמנים. כמו כן, תפיסות המוסדות השונים לגבי משמעות הרגישות לרעידות היו שונות בתכלית. רובם הצליחו לבצע את הניסויים שלהם ללא השפעה על אף התחבורה הציבורית וטכנולוגיית תפעול בניין, הגורמים אף הם לרעידות. עם זאת, אחדים ביצעו את הניסויים הרגישים שלהם אך ורק בלילה כשמערכות האוורור אינן בפעולה. לעיתים קרובות מערכי הניסוי מוגנים היטב מפני רעידות (למשל תקרות בעובי 2 מ', יסודות מבודדים מאסיביים - מנותקים משאר הבניין, בולמי רעידות פעילים וכד').

3. לעיתים יצרני המכשירים מצהירים על רעידות מותרות (משרעת ותדירות).

4. לכן ביצענו מדידות ביוזמתנו באמצעות חיישני רעידות רגישים ביותר על מנת לתעד את הרעידות במהלך הניסויים הרגישים העלולות להתרחש מבלי להשפיע על הבדיקות (למשל פסיעות בבניין, טריקת דלתות וכו').

5. באמצעות הנתונים המופיעים בסעיפים 2 עד 4, וכן מפליטות ידועות של קווי רכבת תחתית דומים במינכן, פותחה "מערכת מסה*-*קפיץ כבדה" עבור המבנה העילי של המסילה בשיתוף עם יו"ר תשתיות התחבורה של האוניברסיטה הטכנית מינכן. למרות המרחק בין מסלול הרכבת התחתית באורך של כ-120 מטר לבניין של מכון-מקס-פלנק לאופטיקה קוונטית, הותקנה באזור זה מערכת מסה*-*קפיץ בתדר עצמי של 6 הרץ וגובה מבנה עילי של 131 ס"מ. על מנת להימנע מ"אפקט קלידי פסנתר" הנפוץ במקרים של שקתות טרומיות, נעשה שימוש בשקתות בטון יצוקות באורך של כ-120 מ'. אם נעשה שימוש במסילות רכבת קבועות הן יהיו בכל מקרה חובה.

לאחר הביצוע לא קיבלנו דיווחים על בעיות עקב רעידות כתוצאה מתפעול הרכבת התחתית.

עקרונית, היינו יכולים לדמיין נוהל מסוג זה לבדיקות המקדימות המפורטות בסעיפים 1 עד 4 גם בתל אביב.

כאשר משווים בין שני המצבים (תל אביב <-> גארכינג), יש להביא בחשבון הן את תנאי הקרקע השונים (מישור חצץ בגארכינג עם מי תהום גבוהים) והן את ההבדלים הגדולים בעירור הרעידות (רכבת <-> רכבת תחתית) במהירויות ובעומסי סרן שונים מאד זה מזה.לדוגמה, נשלול מסוטים בסביבת מוסד המחקר. בנוסף לבידוד הרעידות במבנה עילי, ניתן לשקול גם מעטפת מנהרה עם כניסה גבוהה (עבה = מסה נוקשה וגדולה). יש לשים לב, במיוחד בחתך מלבני. לתדרים העצמיים של הבניין.

ללא קשר לרעידות במהלך ההפעלה, ישנן בשלב הבניה רעידות חזקות יותר באופן ניכר, תלוי בטכניקת הבנייה. לדוגמה, במקרה של מנהור עם מכונה לכריית מנהרות (TBM), הרעידות אינן מוגבלות רק לשלב הקצר יחסית כאשר מכונת המנהור ממוקמת ממש מתחת לבניין. ככלל, ה- TBM מסופקת עם חומר (קטעי מנהרה, פסולת כרייה) באמצעות רכבת משא, אשר עקב עומסי הציר הגבוהים והמסילות המחוברות ישירות לבסיס, גורמת לפליטות גבוהות יותר מאשר הפעלה שגרתית בשלב מאוחר יותר. שלב זה יכול להימשך מספר חודשים.

משרד תכנון מתאים חייב לקחת בחשבון את כל אלה וכנראה מעבר לכך במהלך בדיקות מקדימות מקיפות. לדעתנו, רק לאחר בדיקות אלה ניתן לקבל החלטה האם בכלל ואם כן, כיצד ניתן להפחית את הרעידות לרמה מותרת.

מבוא טוב ומקיף מאוד לנושא "רעש מובנה בצירי תנועת הרכבות" ניתן למצוא להלן: <https://docplayer.org/49131512-Koerperschall-an-schienenverkehrswegen.html>

בנוסף לבעיית הרעידות יש כמובן להתחשב גם בפליטות אלקטרומגנטיות. במיוחד שדות מגנטיים, שכן אלה חודרים גם לחומרים מוליכי חשמל (קרקע, מנהרות בטון מזוין וכו') כמעט ללא הפרעה. יש לבחון את מידת ההשפעה של שדות אלה על מכון הננוטכנולוגיה בבדיקות הקרובות.

אנו מקווים שהצלחנו לסייע במעט לקראת המשימה שעל הפרק.   
מר לרנר ([bernhard.lerner@muenchen.de](mailto:bernhard.lerner@muenchen.de) | +49 89 233-61896) או מר פוסט (ראה להלן) ישמחו להשיב לשאלות.

בברכה,

ק. פוסט  
ראש תחום בניית רכבת תחתית (J11)

---