

## על בדיקת כוחם של ברגים חזקים במיוחד

György Posgay<sup>1</sup>  
Lajos Imre<sup>2</sup>  
Zoltán Marek<sup>1</sup>  
Norbert Takacs<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Metalelektro Ltd  
<sup>2</sup>ÉMI-TÜV Bayern Ltd

**תרגום ועריכה:** מעין שנדרוביץ, רונית גלעד, ר.ב.מ. בע"מ בקרה ומיכון

### תקציר

במאמר זה מתוארת שיטה לבדיקת כוחם של ברגים חזקים במיוחד, על ידי שימוש בשיטת ה-MBN-Magnetic Barkhausen Noise- רעש מגנטי על-שם בארקהאוזן (רמ"ב). נמצאה התאמה בין כוח הגוף של הבורג לבין הלחץ על ראשו, שיכולה להפחית את מדידת כוחו של הבורג למדידת הלחץ על ראשו. מפותח תהליך לכייל את אביזר הרב"מ לגבי סוגים שונים של ברגים. בשמונה השנים האחרונות למעלה מ-5,000 ברגים נוסו ונבחנו בטכניקה זו.

מילות מפתח: בורג, לחץ, עומס.

### 1 הקדמה

ברגים חזקים במיוחד יוצרים מחברי-סגירה בעזרת חיכוך בין האלמנטים המחוברים, בניגוד למסמרות. כוח החיכוך תלוי בכוח הגוף של הבורג עצמו. על מנת לשמור על בטיחות מבנה חיבור זה, חשוב מאד שיהיה כוח גוף ידוע. היחס בין כוח הגוף לבין המומנט המופעל נקבעת לפני הבנייה בפועל.

לאורך תהליך הבנייה הפרמטר היחיד הנמדד הוא המומנט המופעל על הגוף. בבדיקות תקופתיות שיטת מדידת כוח הגוף מבוססת (בהתאם לסטנדרטים הרלוונטיים של ה-DIN) על התאמה בין רמת הסיבוב הנוסף שמעניקים לבורג ומומנט הפועל עליו.

מתוך ניסיון, ניתן להעלות את הטעונוים הבאים כנגד שיטה זו: היא פוגעת בציפוי המגן מפני קורוזיה של הבורג, דורשת מערכת פיגומים נוספת ויכולה למדוד רק חלק קטן מהבורג.

בעיה חמורה נוספת היא שהמומנט אינו תלוי רק בכוח הגוף, אלא גם במקדם החיכוך בין האום לגוף הבורג, ובין האום לדיסקית. לאורך חייו של מבנה ערכו של מקדם החיכוך גדל בשיעור נכר בשל קורוזיה. פירוש הדבר שעבור כוח גוף מסויים נדרש מומנט גבוה יותר מאשר בעת הבנייה. תוצאות ניסויים שערכנו מראות כי כוח גוף מסויים יכול להגיע למומנט גבוה יותר ב- 30-50% בברגים שפורקו מגשר בין 25 שנה, לעומת חדשים.

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

בשל החסרונות שלעיל, נדרשת שיטת אל-הרס שתאפשר מדידה של כוח הגוף (ולא של המומנט המופעל) ישירות לברגים רבים, ללא גרימת נזק לציפוי ההגנה.

טכניקת הרעש המגנטי של בארקהאוזן (MBN) נמצאת בשימוש רחב בבדיקות עומס [1-3], ולכן חשבנו שזו שיטה המתאימה לבדיקת כוח גוף.

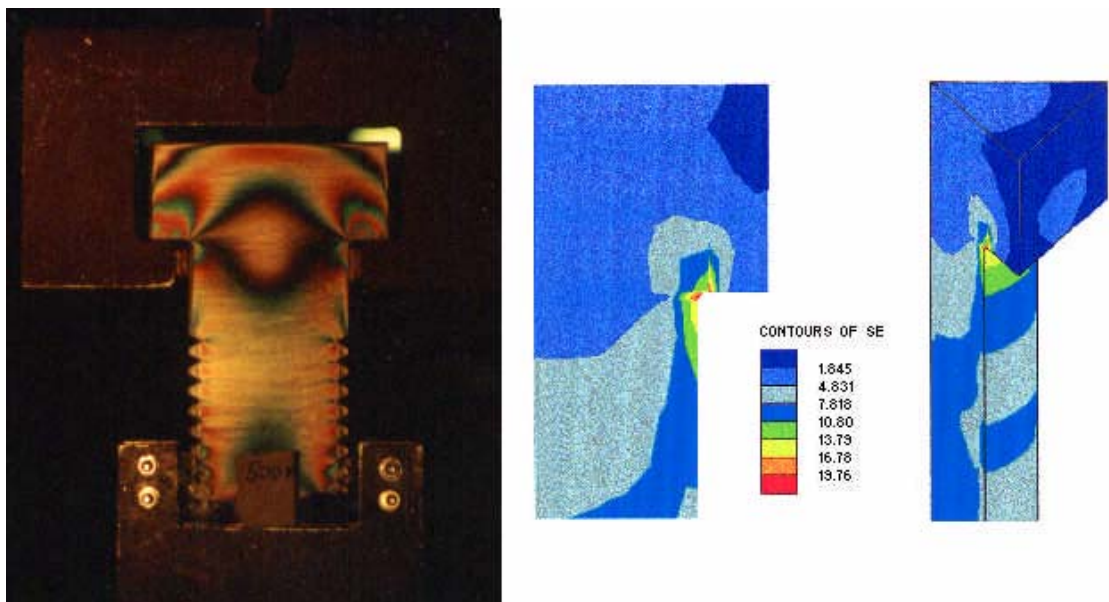
## 2 קורלציה בין כוח גוף לבין העומס על ראש הבורג

התיאוריה שלנו גורסת כי עומס מתיחה על הגוף גורמת עומס דחיסה פרופורציוני על ראש הבורג. כדי לבדוק תיאוריה זו, ערכנו מדידות באמצעות שיטת *finet element*, המודל הפוטו-אלסטי, מודדי עומס (strain gauges) ו-MBN.

### 2.1 חישובים שנעשו על מודלים

מודל שיטת האלמנט פינט מוצגת בצדו הימני של תרשים 1. התוצאות חוזות לחץ דוחק ברמה של 110MPa על ראש הבורג בעת הפעלת כוח הגוף המוסכם (220kN). תוצאות אלו נבדקות באמצעות מד עומס הממוקם במרכז הראש. העומס הנמדד הוא בקירוב 100MPa.

על מנת לחקור את כלל מצב העומס של הבורג יצרנו מודל פוטו-אלסטי (מוצג בצדו השמאלי של תרשים 1). כל תוצאות המודל הראו כי במרכז ראשו של הבורג קיים אזור של לחץ דוחק, שעוצמתו עומדת ביחס ישר לכוח הגוף. קשר זה הנו די בלתי תלוי באורך גוף הבורג, או במיקום האום.



תרשים 1. מודלים פוטו-אלסטיים ועל פי אלמנט פינט של החיבור.

את מוקד הלחצים ניתן לראות בתרשים 2, כפי שנקבעו על ידי המודל הפוטו-אלסטי.

במטרה לבדוק תוצאות אלה ערכנו מדידות באמצעות מדי עומס. שני מדי ציר מוקמו במרכז ראש הבורג. מימדי מדי העומס היו 3.5x3mm. את הלחץ שנמדד ניתן לראות בתרשים מס' 3. בעומס מקסימאלי נמדדו במרכז ראש הבורג לחצים של 100MPa בשני הכיוונים.

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

**Office:**  
21<sup>st</sup>, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel  
**Mail:**  
P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel

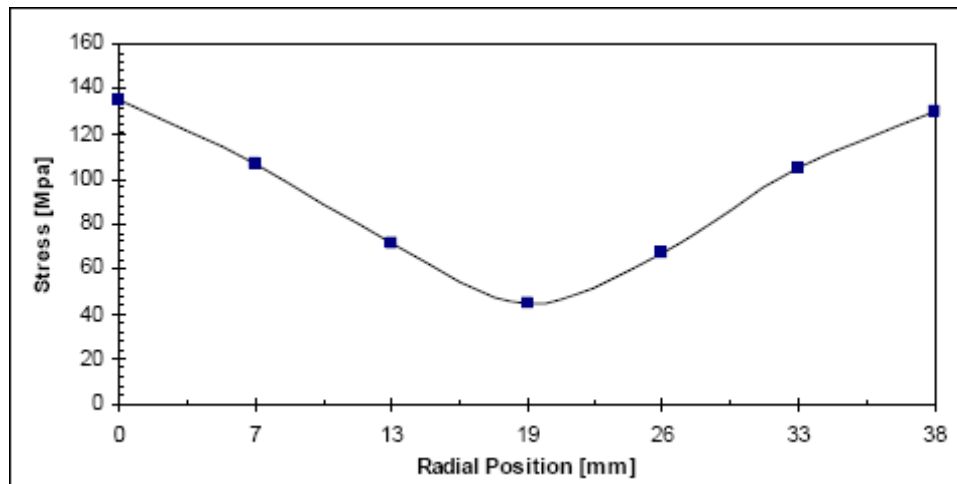
**Phone:** +972-9-7674431  
**Fax:** +972-9-7676898  
**Web:** www.rbmltd.co.il  
**e-mail:** rbmltd@rbmltd.co.il

ISO 9001:2015  
**RONET**  
Quality Management System

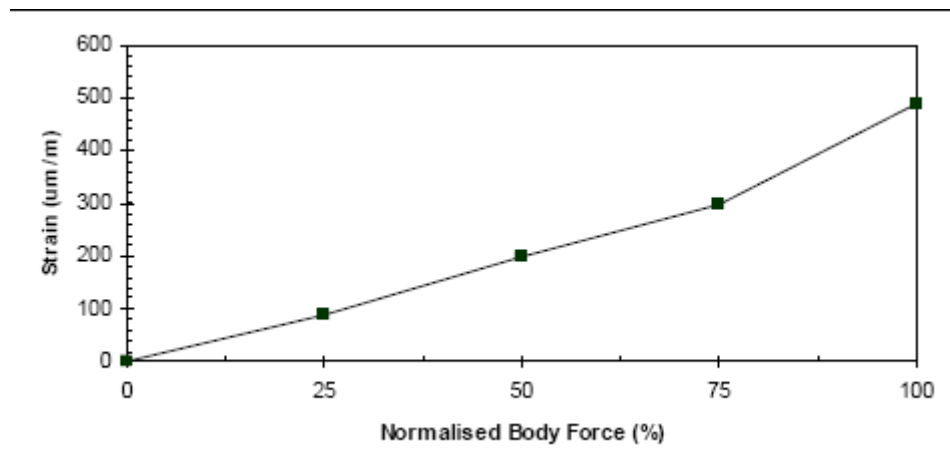
**משרדים:**  
עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316  
**דואר:**  
ת.ד. 3008, הוד-השרון, 4513001

## 2.2 משתנים המשפיעים על יחס ההתאמה

במקרה של הנחה לא סימטרית של הבורג ייתכן ותהיה הפרעה לחלוקת העומס על ראש הבורג. ניתן לפצות על אפקט זה באמצעות מדידה בשלושה כיוונים. באמצעות המודל הפוטו-אלסטי נבדקה התלות של חלוקת הלחץ באורך הבורג המועמס. התוצאות אליהן הגענו הדגימו כי אם אורך הבורג גדול יותר מרוחבו, אזי חלוקת הלחץ הנה בלתי תלויה במיקום האום.



תרשים 2. מצב הלחץ על ראש החיבור במוקדים שונים. (כפי שנמצא באמצעות מודל פוטו-אלסטי)



תרשים 3. הלחצים שנמדדו על מרכז הראש כפונקציה של מידת כוח הגוף (נמדד באמצעות שיטת מדי הלחץ).

## 2.3 מדידת בארקהאוזן

תוך שימוש בתוצאות שלעיל, ניתן להפחית את מדידת כוח הגוף למדידת העומס על ראש הבורג בלבד. נערכו ניסויים בברגים מסוגים שונים, למדידת ערך ה-MBN כפונקציה של כוח הגוף. בתרשים 4 ניתן לראות את התוצאה עבור סטנדרט 10.9 DIN7990 בחוזק 24M על בורג באורך 90 מ"מ.

כפי שניתן לראות בתרשים 5, אות ה-MBN הופחת במרכז ראש הבורג. הדבר מעיד על כך שהראש היה נתון ללחץ מעיכה כתוצאה מכוח העולה של הגוף. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם תוצאות המודל. המדידות, שנערכו על סוגים שונים של ברגים הראו כי ערך ה-MBN עבור כוח מסויים הנו בין 45-60% בהשוואה למצב ללא כוח.

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

Office:  
21<sup>st</sup>, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel  
Mail:  
P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel

Phone: +972-9-7674431  
Fax: +972-9-7676898  
Web: www.rbmltd.co.il  
e-mail: rbmltd@rbmltd.co.il

ISO 9001:2015  
**RONET**  
Quality Management System

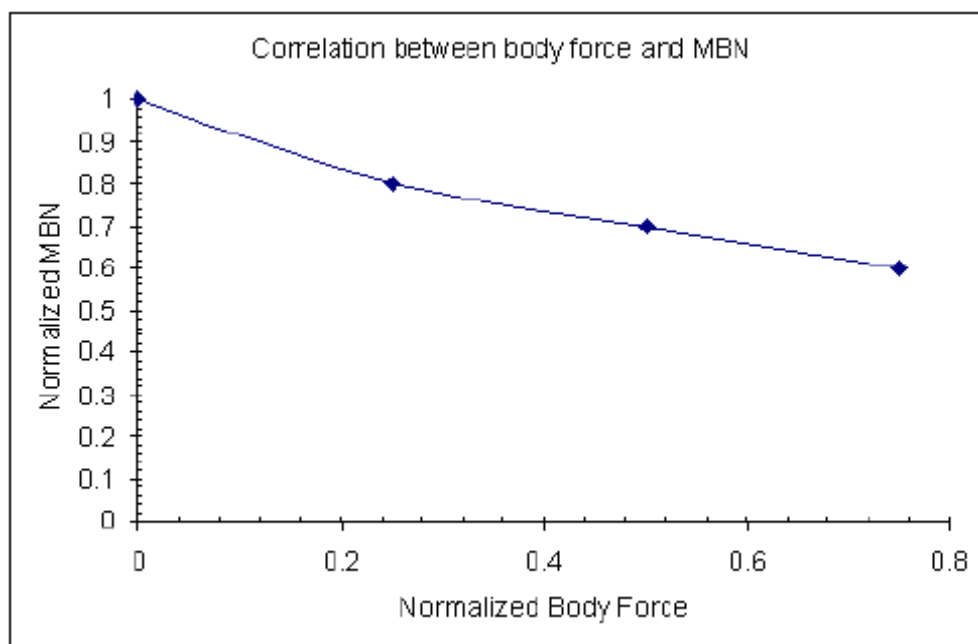
משרדים:  
עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316  
דואר:  
ת.ד. 3008, הוד-השרון, 4513001

קיימים מספר גורמים המשפיעים על ההתאמה בין ה-MBN לכוח הגוף. עובדה ידועה היא כי מדידות ה-MBN רגישות לעומסים המופעלים והשיוריים. אי לכך, פיזור של עומס שיורי עשוי להשפיע על ערכי ה-MBN. למזלנו, השלב האחרון בייצור הברגים הנו טיפול בחום הנועד לשחרור לחץ. לכן פיזור של עומס שיורי באותו סוג של ברגים אינו גדול במיוחד.

גורם חשוב נוסף הוא הציפוי מונע הקורוזיה. רוחבו של זה יכול להגיע ל 0.2-0.5 mm, ולרוב משתנה מאד בין ברגים שונים. לכן מכשיר ה-MBN (שנראה בתמונה 4) צריך להכיל יחידה שתפצה על מרווח אויר, ותוכל להגביר או להנמיך את רמת העירור בהתאם למרווח האוויר בין שטח פני הבורג ולבין רכיב העירור.

על מנת להשיג מגע טוב בין גשש (probe) הבדיקה לראש הבורג הנבדק, דרוש עיצוב של חיישן גמיש. עיצוב זה חשוב מפני שלא תמיד לראשו של הבורג יש תיכנון מוגדרת דיה.

לכל סוג בורג הרכב כימי שונה, ועל-כן יש לבצע כיוול של המכשיר עבור כל סוג בורג. שיטת הכיוול היא כלהלן. תא מודד כוח מונח בין שתי הדיסקיות. כוח הגוף מופק על ידי סיבוב של האום. ערך ה-MBN נמדד על ראשו של הבורג בשלושה כיוונים בדרגות שונות של כוח גוף. בדרך כלל הכוח הנע בין 0 ל-110% מכוח הגוף המוסכם, מחולק לארבעה עד שמונה חלקים. עקומת הכיוול האופיינית מוצגת בתרשים מס' 5.



תרשים 4. עקומת כיוול אופיינית למדידות MBN.

במטרה להדגים יישום מציאותי, נבחן גשר בין 25 שנה ובו 1127 ברגים חזקים במיוחד. ערכי כוח הגוף שהוגדרו באמצעות שיטת מדידת המומנט, הושוו לתוצאות שהושגו באמצעות ה-MBN. התוצאות מוצגות בתרשים 5. ניתן לראות כי חלוקת כוח הגוף הנורמלי יורדת ל-85-90% מהערך המוסכם. ניתן

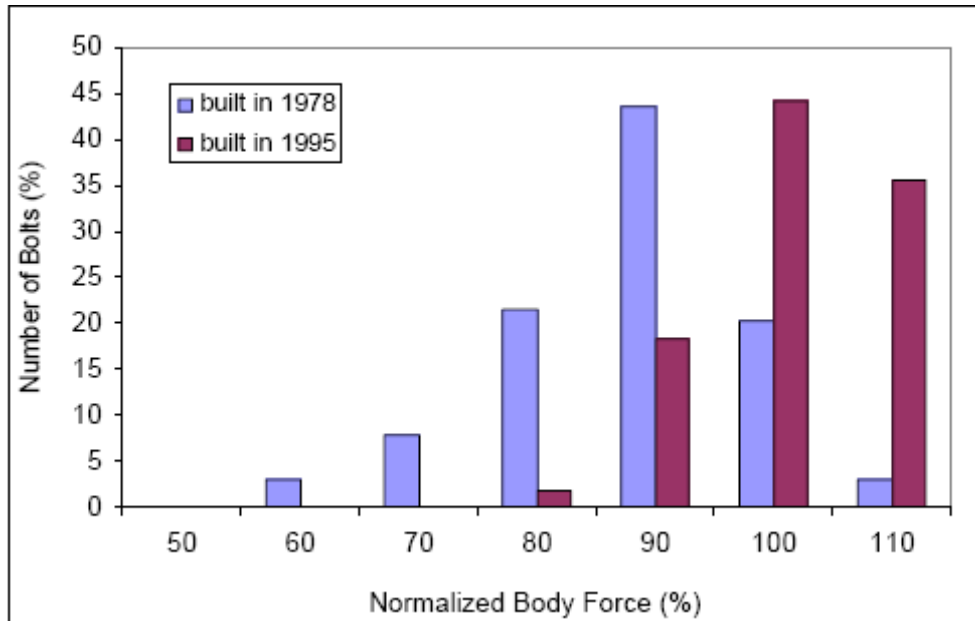
An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

Office: 21<sup>st</sup>, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel  
 Phone: +972-9-7674431  
 Fax: +972-9-7676898  
 Mail: P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel  
 Web: www.rbmltd.co.il  
 e-mail: rbmltd@rbmltd.co.il



משרדים: עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316  
 דואר: 3008, הוד-השרון, 4513001  
 ת.ד.

להסביר זאת על ידי טכניקות הרפיה של המבנה. השיטה המסורתית, לעומת זאת, מסוגלת לזהות רק כוחות גוף נמוכים במיוחד.



תרשים 5. תוצאות מדידות שנערכו בשני גשרים. חלוקת הכוח מוצגת הן עבור הגשר הישן (נבנה ב-1978) והן עבור החדש (נבנה ב-1995).

על מנת לקבוע את מידת הדיוק של השיטה, השווינו את התוצאות עם תוצאות תהליך קלאסי של סיבוב נוסף. דיוק השיטה הנו  $\pm 15\%$ . חשוב לציין כי גם השיטה הקלאסית מכילה חוסר ודאות בשל השינויים במקדם החיכוך (כפי שתואר לעיל).

### 3 מסקנות

כתוצאה ממדידותינו ניתן להסיק כי שיטת המומנט המסורתית אינה מדויקת, מפני שקיום של המומנט הנחוץ אינו מעיד בהכרח על קיום כוח הגוף הנחוץ. לעומת זאת, שיטת ה-MBN מכוילת ישירות לכוח הגוף, ולכן כוח הגוף נמדד בדיוק וללא תלות במקדם החיכוך. יתרון נוסף של שיטה זו הוא שאינה פוגעת ביחסי הבורג-אום, אינה פוגעת בציפוי מונע הקורוזיה ואינה מצריכה פיגומים כבדים.

### 4 סימוכין

- 1 Gy. Posgay, P. Molnár, L. Imre, Z.Marek, *15th Symposium Danubia-Adria*, 1998, pp.77-78.
- 2 Gy.Posgay, L.Imre, "Stress examination of bridges using Barkhausen noise measurement", *6th ECNDT Nice*, 1, pp.297-301, 1994.
- 3 Jagadish C; "The influence of stress on surface Barkhausen noise generation in pipeline steels", *IEEE Trans. Magn.* 25, 5 pp3452-3454, 1989.

### המחברים:

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

**Office:** 21<sup>st</sup>, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel  
**Phone:** +972-9-7674431  
**Fax:** +972-9-7676898  
**Mail:** P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel  
**Web:** www.rbmltd.co.il  
**e-mail:** rbmltd@rbmltd.co.il

**ISO 9001:2015**  
**RONET**  
 Quality Management System

**משרדים:** עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316  
**דואר:** ת.ד. 3008, הוד-השרון, 4513001

György Posgay, Metalelektro Ltd., Borszék köz 13., Budapest, 1119, Hungary,  
tel: +36-1-371-22-94, fax: +36-1-371-22-92, e-mail: [posgay@mail.metalelektro.hu](mailto:posgay@mail.metalelektro.hu)

Lajos Imre, ÉMI-TÜV Bayern Ltd., Diószegi u. 37, Budapest 1113, Hungary,  
tel: +36-1-466-99-25, fax: +36-1-466-99-25, e-mail: [imrel@emi-tuv.hu](mailto:imrel@emi-tuv.hu)

Zoltán Marek, Metalelektro Ltd, Borszék köz 13, Budapest 1119, Hungary,  
tel: +36-1-371-22-99, fax: +36-1-371-22-92, e-mail: [marekz@mail.metalelektro.hu](mailto:marekz@mail.metalelektro.hu)

Norbert Takács, Metalelektro Ltd., Borszék köz 13, Budapest, 1119, Hungary,  
tel: +36-1-371-22-98, fax: +36-1-371-22-92, e-mail: [takacsn@mail.metalelektro.hu](mailto:takacsn@mail.metalelektro.hu)

---

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

---

**Office:** 21<sup>st</sup>, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel  
**Phone:** +972-9-7674431  
**Fax:** +972-9-7676898  
**Mail:** P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel  
**Web:** [www.rbmltd.co.il](http://www.rbmltd.co.il)  
**e-mail:** [rbmltd@rbmltd.co.il](mailto:rbmltd@rbmltd.co.il)



**משרדים:** 4464316 כפר-סבא, 21 עתיר ידע  
**דואר:** 4513001, הוד-השרון, ת.ד. 3008