

# עלון

## אי שח"מ

### עלון האיגוד הישראלי לשיטות חישוביות במכניקה

מספר 24

מרץ 2011

**עורך:** זהר יוסיבאש, המחלקה להנדסת מכונות, אוני' בן-גוריון בנגב, באר-שבע 84105, טל. 6477103 (08), פקס 6477101 (08), דואר אלקטרוני: [zohary@bgu.ac.il](mailto:zohary@bgu.ac.il)

**חברי ועד אישח"מ:** עמנואל אור, מיכאל אנגלמן, פנחס בר-יוסף, דן גבעולי (נשיא), יצחק הררי, עמיאל הרשגה (מזכיר-גזבר), יונתן טל (אחראי האתר), זהר יוסיבאש

**איש-קשר עם ECCOMAS:** מישל ברקובייר

**ועדת ביקורת:** משה איזנברגר ושמואל קידר

**אתר אישח"מ (IACMM) באינטרנט:** <http://www.iacmm.org.il>

**רישום לחברות באגוד ופרטים נוספים:** באתר האיגוד הנ"ל, או פנו למזכיר-גזבר,

ד"ר עמיאל הרשגה, טל. 8183709 (04), פקס 8183723 (04), דואר אלקטרוני: [amiel@iec.co.il](mailto:amiel@iec.co.il)

#### ISCM-30

יום העיון ה-30 יתקיים ב-31 במרץ, 2011, באוניברסיטת ת"א. פרטים – ראו באתר האיגוד ובהודעות לתפוצה.

#### חקר ביצועים הסתברותי ליחידה פירוטכנית

#### דינאמית, תוך שימוש בטכניקות של תכן

#### מבוסס מודלים

#### **אופיר שור**

חטיבת מערכות חימוש והגנה, רפאל מערכות הגנה  
מתקדמות בע"מ [ofirso@rafael.co.il](mailto:ofirso@rafael.co.il)

#### מבוא

ביצועי מערכות מכאניות מושפעות מפרמטרים רבים. פיזור בערכי פרמטרים אילו מביא במקרים רבים לפיזור בביצועי המערכות בעת פעולתן. מטרת המאמר להדגים שימוש בתהליך אוטומאטי של חקר ביצועים, באמצעותו ניתן כבר בשלב התכן לספק מידע לגבי מעטפת הביצועים הצפויה מהמערכת הנבחנת. תהליך זה מאפשר לבחון כיצד ישפיעו הפרמטרים השונים על ביצועי המערכת ועל אמינותה. העבודה שמוצגת במאמר זה בוצעה בין השאר באמצעות תוכנות  $LS-Dyna^{\circledR}$  ו  $LS-Opt^{\circledR}$ , אשר מאפשרות ביצוע חקר ביצועים בצורה אוטומאטית.

#### מ-"שולחן העורך" (הנכנס):

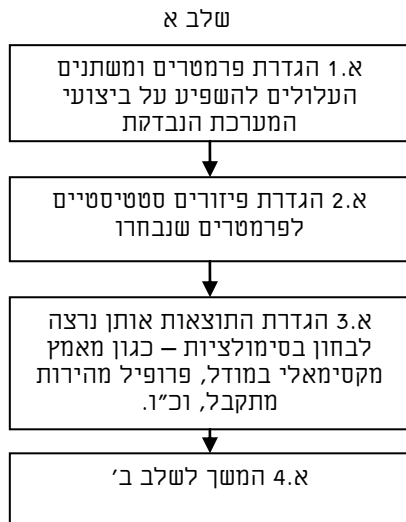
לאחר למעלה מעשור שפרופ' דן גבעולי ערך את העלון של אישח"מ בכישרון רב והביא לדפוס כתבות מעניינות רבות, בשמי ובשם כל חברי ועד אישח"מ אני מבקש להודות לו על פועלו היוצא מהכלל. כבוד גדול הוא לי ואני שמח לחזור ולערוך את העלון שיזמתי וערכתי לתקופה קצרה לפני למעלה מ-13 שנים, אז בשם הבטאון של אישח"מ. הצלחתו תלויה במידה רבה בכם הקוראים, ואני פונה אליכם לשלוח אלי רעיונות לכתבות, נושאים שהייתם מעוניינים שיופיעו, או תגובות לפרסום על כתבות שכבר הופיעו בעבר. את החומר נא שלחו אלי לכתובת האלקטרונית. ניתן ורצוי לצרף ציורים ותמונות. ניתן גם לפרסם חומר מסחרי- פרסומי בתשלום.

אמנם עברה שנה מאז הופעתו של העלון הקודם, אולם הכוונה לחזור ולהוציא לדפוס 2 עלונים בשנה, באביב ובסתיו.

אנא בקרו באתר האיגוד <http://www.iacmm.org.il>, בו תמצאו מידע על האיגוד ועל מכניקה חישובית בארץ ובעולם. באתר תוכלו לצרף עצמכם (ללא תשלום) לרשימת התפוצה האלקטרונית. באתר תוכלו גם להרשם כחברים באגוד או לחדש את חברותכם. טופס רישום עם פרטים מלאים ניתן למצוא ב-

<http://www.iacmm.org.il/member>

תהליך ביצוע חקר הביצועים הינו תהליך מורכב, הבנוי ממספר שלבים שונים, אשר מוצגים בצורה סכמטית באיור 3 ובאיור 4.



איור 3 – שלב א' בתהליך ביצוע חקר הביצועים

חשוב לציין כי בתכנון נכון, שלב ב' מבוצע בצורה רציפה ואוטומאטית ללא התערבות המשתמש. במנגנון המבחן, נבחרו כמה פרמטרים החשודים כמשפיעים ביותר על הביצועים, ביניהם מקדם החיכוך, מהירותו ההתחלתית של פין הנצירה בתחילת החישוב, קשיחות הקפיץ, טולרנסים איאומטריים שונים ופיזורים בתכונות חומרי המבנה.

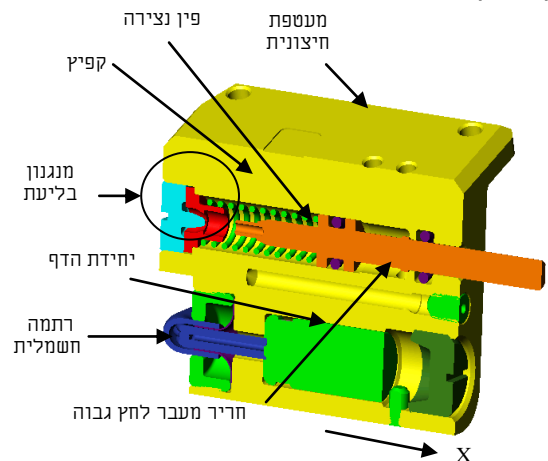
עבור המודל הנבדק, הפרש הסופי בין קוטרו החיצוני של פין הנצירה לבין קוטרו הפנימי של המשטח הקוני המונע ממנו לחזור חזרה בסוף המהלך, הוגדר כפרמטר מרכזי בחישוב (איור 5). ערכים שליליים של הפרש הקטרים מלמדים על כשל ודאי של המערכת, מאחר ופין הנצירה יוכל לחזור לאחור. חשוב לציין כי גם ערכים חיוביים קטנים אינם רצויים, שכן על המערכת להישאר במצב נצור גם עם חשיפה לתנאי סביבה כגון רעידות וטמפרטורה.

לאחר שלב הגדרת הפרמטרים הנבחרים, מבוצע שלב תכנון הניסויים הוירטואליים: בשלב זה מבוצע תהליך של תכנון "ניסויים" (סימולציות המדמות ניסויים) אשר ישמשו לצורך ביצוע החישובים. המטרה היא לתכנן כמות מינימאלית של "ניסויים", אך כזו שתספיק לצורך בניית מודל מתמטי המתאר את המערכת. ישנן שיטות רבות לבצע משימה זו, במודל זה נעשה שימוש ב D-Optimal Design Method.

לאחר הגדרת הפרמטרים הנבדקים ופילוגיהם, נעשה שימוש בתוכנה, המשנה את המודל הנומרי ומבצעת באופן אוטומאטי את השינויים השונים בקבצי ההרצה לצורך יצירת קבצי ההרצה המייצגים את הניסויים שהוגדרו. תוצאות החישובים נאספות, ובהן נעשה שימוש לצורך בניית מודל מתמטי המייצג את המערכת הנבדקת – קרי, מקיים קשר בין התוצאות שהתקבלו לפרמטרים שנבחנו בחישוב: שלב זה כולל שימוש באלגוריתמים מתקדמים לצורך מציאת קשר בין כל הפרמטרים שנבחנו בחישוב, ובין ביצועי המערכת.

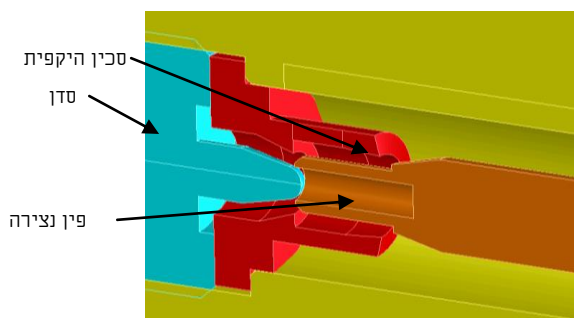
מנגנון שנבחר בניסוי מעבדה רבים, בהם פעל כשורה, נכשל בניסוי שדה. חקר המנגנון ישמש דוגמה להצגת השיטה.

המנגנון הנבדק בחישוב מובא באיור 1. מעטפת מתכתית מכילה יחידת הדף ופין נצירה המהודק בכוח קבוע כנגד המעטפת באמצעות קפיץ. יחידת ההדף מופעלת באמצעות פקודה המועברת אליה דרך רתמה חשמלית. כתוצאה מהפעלתה, נוצרים גזים בלחץ גבוהה המועברים אל חלקה השני של המעטפת דרך חריר מעבר לחץ גבוה. כתוצאה מבינוי הלחץ מאחורי פין הנצירה, מואץ פין הנצירה בכיוון ציר X השלילי. מטרת התכן הקיים היא לבלום את פין הנצירה בסוף המהלך, ולמנוע את חזרתו לאחור. לצורך כך תוכנן מנגנון בליעת האנרגיה.



איור 1 – מבט חתך על המנגנון הנבחר

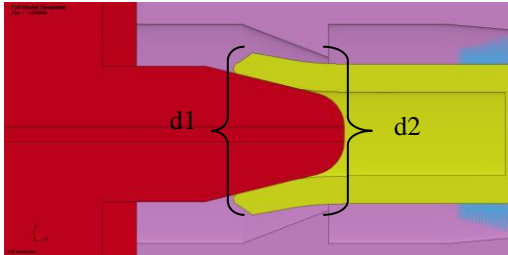
מנגנון בליעת האנרגיה מבוסס על שני תהליכים עיקריים, המוצגים באיור 2: תהליך עיבוד השבבי, בו מתבצעת דפורמציות פלסטיות כתוצאה מתהליך חיתוך שמתבצע ע"י סכין היקפית, ומנגנון ההפשה, המתבסס על הגדלת קוטרו החיצוני של הפין באמצעות חלק ניח בו פוגע הפין - ה"סדן".



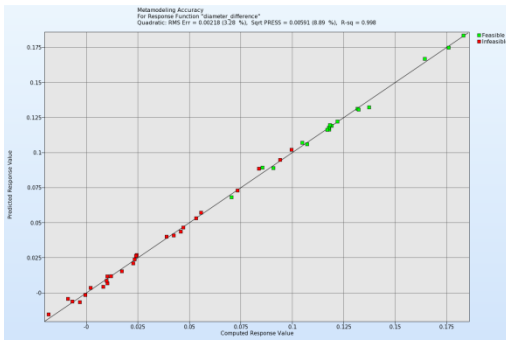
איור 2 – מבט מקרוב על מנגנון בליעת האנרגיה

בתקלה שהתרחשה בניסוי השדה, פין הנצירה לא ננעל במקומו בסוף המהלך, והיה חופשי לנוע לאחור לאחר הפעלת המנגנון.

לאחר בניית המודל המתמטי המתאר את המערכת, מגיע השלב בו נבנית מטריצה הכוללת אלפי "ניסויים" תוך שימוש בפיזורים הסטטיסטיים שהוגדרו למשתנים השונים. התוצאות שיוצגו בהמשך מבוססות על שימוש ב **500,000 ניסויים שונים** שהוזנו למודל המייצג. כאן מתבטאת הגדולה של תהליך חקר הביצועים – היכולת לבצע בזמן קצר מאות אלפי ניסויים וירטואליים, בעלות נמוכה וזניחה לעומת ביצוע כמות כזו של ניסויים במציאות (אשר במקרים רבים כלל לא ניתנת לביצוע).

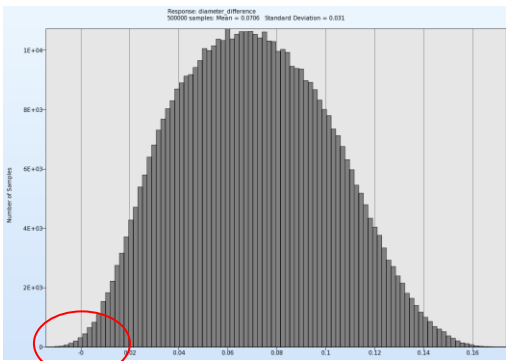


**איור 5 – קוטרו הסופי של קצה פין הנצירה (d1) וקוטרו הפנימי של המשטח הקוני המונע ממנו לחזור לאחור (d2)**



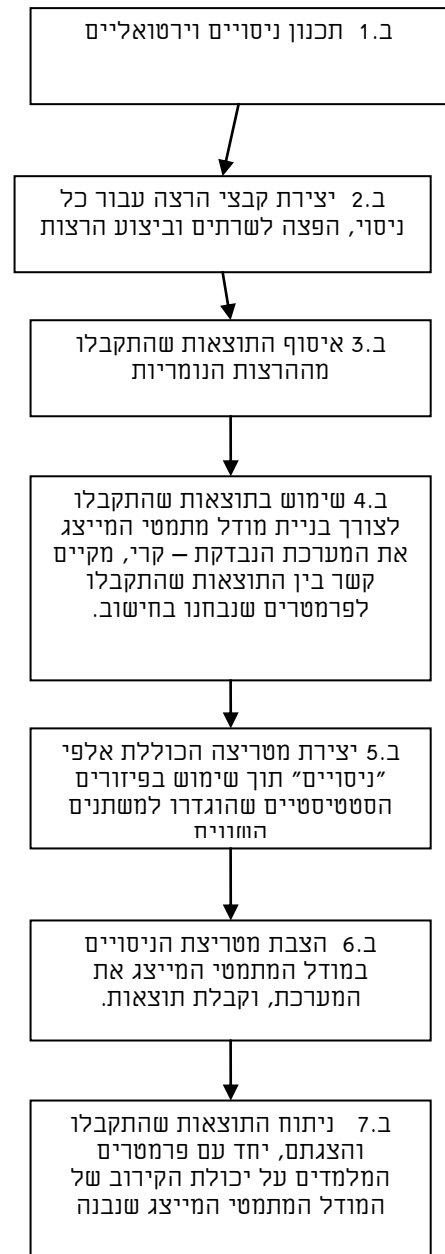
**איור 6 – דיוק המודל המתמטי המתאר את המערכת**

איור המציג את התפלגות הפרש הקטרים הסופי, המבוסס על 500,000 ניסויים וירטואליים, מובא באיור 7. ניתן לראות כי ישנו אחוז קטן אך משמעותי של מקרים בהם הפרש הקטרים הוא שלילי או קטן מאוד, כאשר ברור כי במצבים אילה המערכת תיכשל!



**איור 7 – התפלגות הפרש הקטרים הסופי של פין הנצירה**

**שלב ב**



**איור 4 – שלב ב' בתהליך ביצוע חקר הביצועים**

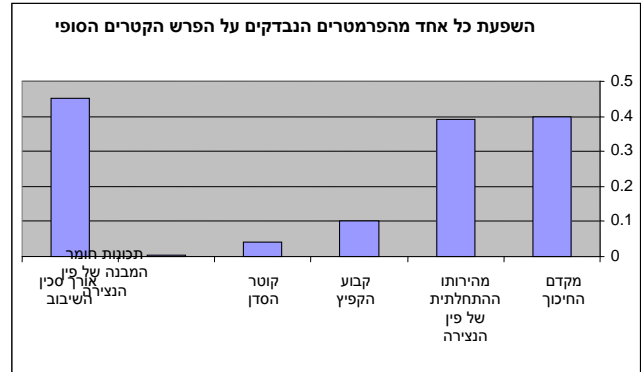
דיוק המודל ויכולתו לנבא את תוצאות החישוב, עבור הפרש הקטרים הסופי, מובא באיור 6. כל נקודה באיור מייצגת סימולציה נפרדת, כלומר "ניסוי" המכיל מקדמי חיכוך, מידות גיאומטריות, מהירות התחלתית של פין הנצירה וכו'. ציר X מייצג את ערכי הפרשי הקטרים שהתקבלו בסימולציה, ציר Y מציג את הפרש הקטרים אותם מנבא המודל המייצג. ישנו קו הנראה באיור בזווית של 45 מעלות, המייצג התאמה מלאה בין תוצאות הסימולציה ליכולת החיזוי של המודל. ככל שהנקודות הסימולציה קרובות יותר לקו זה, המשמעות היא שדיוק המודל המייצג גבוה יותר ויכולת החיזוי שלו טובה יותר, כך גם אמינות התוצאות שיוצגו בהמשך.

א. לפני שנים הועלתה בקשה ליצירת קבוצת דיון בהקשר לשימוש בתוכנת אלמנט סופי ספציפית. האם היית מעוניין/ת להשתתף בקבוצת דיון כזו במהלך ימי העיון? באיזו קבוצת דיון (איזו תוכנה)? מהם הנושאים עליהם היית שמח/ה לדון?

ב. על אילו נושאים היית שמח/ה לשמוע הרצאות בימי העיון הבאים?

ג. אנו מעוניינים להוסיף פינת מינויים/ברכות בה נודיע ונברך על מינויים חדשים, פתיחת סניפים וחדשות אישיות/מקצועיות, כמובן הנוגעות לתחום המכניקה החישובית. אנא העבירו הודעות וחדשות אלו לעורך בדואר אלקטרוני.

מידת השפעתם של הפרמטרים השונים על הפרש הקטרים הסופי של מובאת באיור 8. ניתן לראות כי לאורך סכין השיבוב, למהירות ההתחלתית של פין הנצירה ולמקדם החיכוך בין החלקים יש את ההשפעה הגדולה ביותר על הפרש הקטרים הסופי. חשוב להדגיש כי כל התוצאות מבוססות על תחום הפיזורים שנבחנו בחישוב.

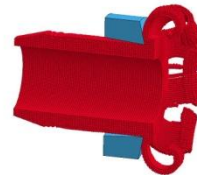


### איור 8 - מידת השפעתם של הפרמטרים השונים על מרחק העצירה של הפין

מבט מקרוב על איזור יצירת השבב בפין מובא באיור 9.

Model Cutting Simulation

123 software



### איור 9 - סימולציית עיבוד שבבי צרית

## סיכום

המאמר מציג עבודת חקר ביצועים שבוצעה למנגנון פירוטכני, אשר הצליחה לחזות כי ישנו שילוב פרמטרים כזה אשר יביא לכשל המערכת.

תכן מבוסס מודלים הינו תהליך בעל פוטנציאל תרומה גדול לפרויקטים הנדסיים בעלי סיכון גבוה. יכולות המחשוב הקיימות היום, שלא היו קיימות בעבר, מאפשרות ביצוע אלפי ניסויים במחשב, ולחזות את מעטפת הביצועים והאמינות הצפויה למוצר. ביצוע סוג זה של חישוב יכול להגדיל את אמינות המוצרים ויכול למנוע תקלות הנובעות מתכן לקוי הגורם למקדמי בטחון נמוכים.

## פינת המידע

ברצוננו לספק את המידע הרלוונטי ביותר והמבוקש ע"י חברי האיגוד. לכן בעלון יובא מדור זה שמטרתו לברר רצונות, שאלות ותשובות בנושאים המעניינים את חברי האיגוד.