

עלון

אישהח"מ

עלון האיגוד הישראלי לשיטות חישוביות במכניקה

מספר 12

ספטמבר 2004

עורך: דן גבעולי, הפקולטה להנדסת אוירונאוטיקה וחלל, טכניון, חיפה 32000, טל. 8292308 (04), פקס 8292030 (04), דואר אלקטרוני: givolid@aerodyne.technion.ac.il
חברי ועד אישהח"מ: עמנואל אור (מזכיר-גזבר), מיכאל אנגלמן, פנחס בר-יוסף, דן גבעולי, יצחק הררי (נשיא), יונתן טל, זהר יוסיבש
איש-קשר עם ECCOMAS: מישל ברקובייר
ועדת ביקורת: איתן כוכבי, משה פוקס
אתר אישהח"מ (IACMM) באינטרנט: <http://www.iacmm.org.il>
רישום לחברות באגוד ופרטים נוספים: באתר האגוד הנ"ל, או פנו למזכיר-גזבר, ד"ר עמנואל אור, טל. 9908640 (04), פקס 9908164 (04), דואר אלקטרוני: emanuelo@rafael.co.il

הערות העורך:

המחלקה להנדסת מכונות. תוכנית ראשונית של יום העיון מצורפת לגליון זה. לפרטים מעודכנים נא ראו אתר האגוד.

נא שלחו לכתובת המערכת (בדואר אלקטרוני או רגיל) חומר לפרסום בעלון. ניתן ורצוי לצרף ציורים ותמונות. לידיעת חברות: ניתן גם לפרסם חומר מסחרי- פרסומי בתשלום. לפרטים נא לפנות למערכת. גריסה צבעונית של עלון זה מופיעה באתר האגוד (ראה לעיל).

אופטימיזציה של תצורות אווירודינמיות למינימום גרר

חידוש רישום באגוד:

בוריס אפשטיין, המכללה האקדמית של ת"א-יפ
epstein@mta.ac.il

אנא הרשמו כחברים באגוד או חדשו את חברותכם! טופס רישום עם פרטים מלאים ניתן למצוא באתר <http://www.iacmm.org.il/member>

סרגיי פייגין, התעשייה האווירית לישראל
speigin@iai.co.il

ISCM- 16

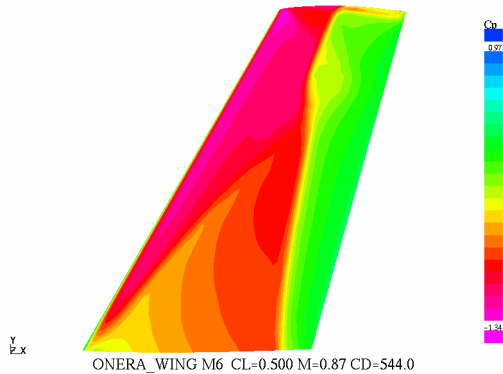
הדרישה לכלי יעיל ועמיד לאופטימיזציה אווירודינמית נובעת מהתפקיד המרכזי שממלא תיכון אווירודינמי מתקדם בתהליך צמצום עלויות בייצור מטוסים. בשנתיים האחרונות המחברים פיתחו כלי מתקדם (התוכנה OPTIMAS) המיועד לאופטימיזציה של תצורות תלת-ממדיות. הכלי משלב תוכנת CFD עדכנית (NES) עם אלגוריתמי אופטימיזציה חדישים בלב ליבו של התיכון האווירודינמי. האמור לעיל מאפשר שימוש רחב בכלי בתיכון תעשייתי של תצורות אווירודינמיות.

יום העיון ה- 16 התקיים ב-25.3.04 במכון קיסריה רוטשילד למדעי המחשב (CRI) באוניברסיטת חיפה. יום העיון כולו, שאורגן ע"י דן גבעולי ו-CRI, היה תחת חסותה הנדיבה של CRI, והוקדש לנושא "שיטות חישוב רכות". אלו שיטות אופטימיזציה חדשניות המבוססות על כלים של אינטליגנציה מלאכותית, כגון אלגוריתמים גנטיים, לוגיקה עמומה, ורשתות עצביות. אלו שיטות רבות עוצמה אך יחד עם זאת פשוטות להבנה ולתכנות. יום העיון היה מרתק ביותר.

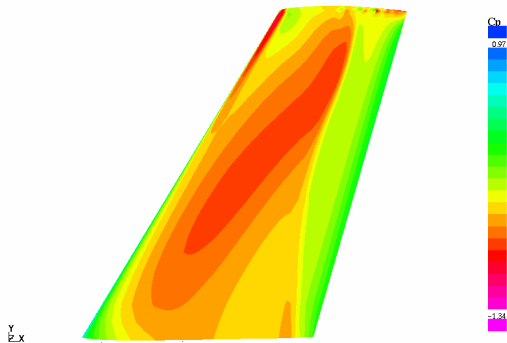
ISCM- 17

יום העיון ה- 17 יתקיים ב-14.10.2004 באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. המארגן המקומי הוא פרופ' זוהר יוסיבש

תוצאות האופטימיזציה בתנאי התיכון $C_L = 0.50$ ו- $M=0.87$ מוצגות באיורים 3 ו-4 (פילוגי לחצים על פני המשטח העליון של הכנף) ואיורים 5 ו-6 (פילוגי לחצים לאורך המיתר באמצע הכנף). נקודת תיכון זו הנה מאתגרת ביותר כיון שהיא משלבת מספר מאך ומקדם עילוי גבוהים מאוד. ההשוואה בין הכנף המקורית לבין הכנף המיטבית מראה שגל ההלם, שגרם בכנף המקורית לערך גרר גבוה במיוחד (544 יחידות גרר), נחלש בצורה ניכרת בעקבות האופטימיזציה, מה שהביא לירידה משמעותית בגרר (300 יחידות גרר).



איור 3: כנף המקורית. פילוג לחצים על המשטח העליון של הכנף ב- $M=0.87$, $C_L = 0.5$.



איור 4: כנף מיטבית. פילוג לחצים על המשטח העליון של הכנף ב- $M=0.87$, $C_L = 0.5$.

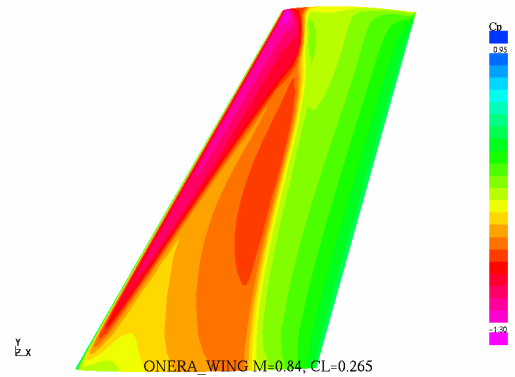
תצורות מקוריות של הפרופילים בשורש הכנף ובקצה הכנף הושאו עם תצורות שנתקבלו כתוצאה מאופטימיזציה: ראו איורים 7 ו-8. כאן ניתן ללמוד את משמעותו של פרמטר נוסף המופיע באופטימיזציה תלת-ממדית לכנפיים: מספר N_{ws} של הפרופילים העומדים לאופטימיזציה.

ניתוח התוצאות מראה שבחלק האמצעי של הכנפיים המיטביות נוצרת עקמומיות נמוכה מחוץ לאזור של שפת ההתקפה. נטייה זו מתבטאת בעוצמה שונה כפונקציה של N_{ws} .

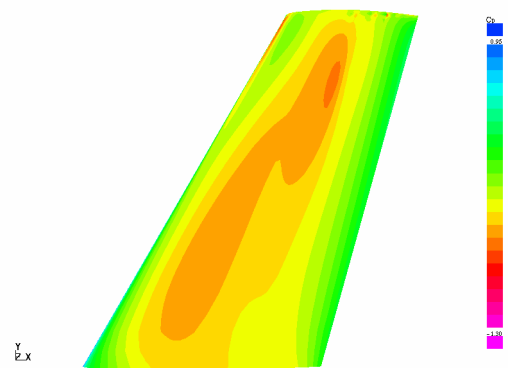
את התנהגות הכנפיים המיטביות מחוץ לתחום התיכון ניתן ללמוד באמצעות עקומות גרר בעילוי קבוע כפונקציה של מספר מאך (Mach drag rise). עקומות אלה, המוצגות באיור 9, משוות את הביצועים של כנפיים מיטביות שעברו אופטימיזציה למספרי מאך שונים, עם עקומת הגרר של הכנף המקורית ב- $C_L = 0.5$. כתוצאה מאופטימיזציה תחום הגרר הנמוך התרחב באופן משמעותי, מה שגרם להזדה

התכונות העיקריות של השיטה כוללות: אסטרטגיה חדשה לטיפול יעיל באילוצים לא-ליניאריים במסגרת אלגוריתמים גנטיים, סריקה של מרחב האופטימיזציה באמצעות שילוב של חישובי Navier-Stokes בשיטת Reduced Order Model, ומקבול מדובה רמות של כל המסגרת החישובית תוך כדי שימוש בכוח חישובי המסופק על-ידי רבי-מעבדים מקביליים. המטרה היא למזער את פונקציית היעד Q (מקדם גרר כללי של כנף תלת-ממדית בכפוף לאילוצים אווירודינמיים וגיאומטריים מגוונים).

אנו מציגים את תוצאות האופטימיזציה למינימום גרר עבור כנף ONERA-M6 כאשר ערכו של מספר ריינולדס שווה ל- $Re=11.72 \cdot 10^6$. מקדמי העילוי ומספרי מאך של התיכון מייצגים תחום רחב של תנאי טיסה. בתנאי התיכון $M = 0.84$, $C_L = 0.265$, הזרימה מסביב לכנף המקורית מאופיינת בגל הלם כפול בעל עוצמה גדולה לאורך כמעט כל המוטה. האופטימיזציה שינתה לחלוטין את אופי הזרימה ע"י הריסת גל ההלם. ראה איור 1 ואיור 2 המשווים את פילוג הלחצים לפני ואחרי האופטימיזציה.

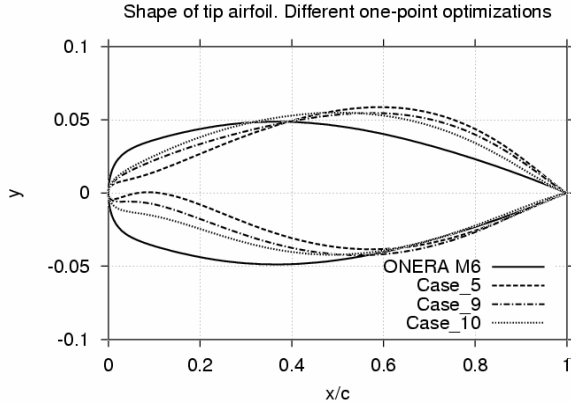


איור 1: כנף המקורית. פילוג לחצים על המשטח העליון של הכנף ב- $M=0.84$, $C_L = 0.265$.

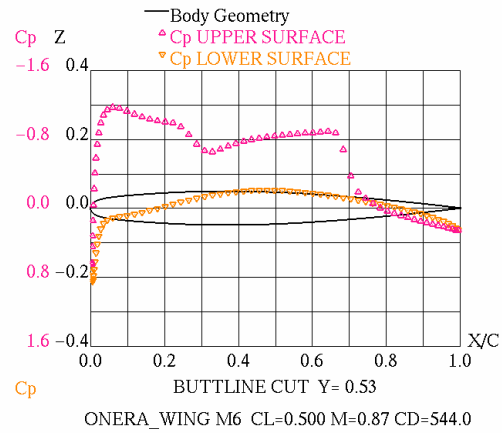


איור 2: כנף מיטבית. פילוג לחצים על המשטח העליון של הכנף ב- $M=0.84$, $C_L = 0.265$.

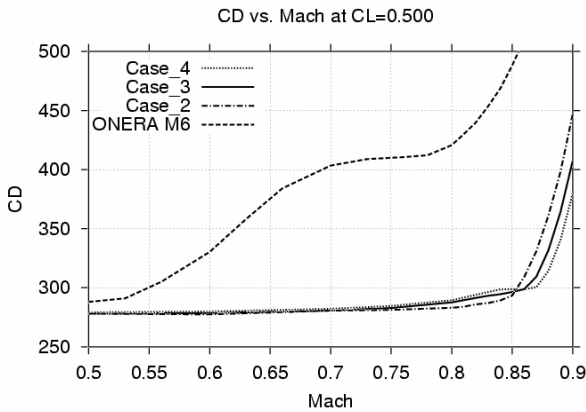
הכנף המיטבית היא נטולת גלי הלם, מה שהביא לצמצום משמעותי בגרר הכללי: מ-168 יחידות גרר ל-128 יחידות. נציין שהגרר התיאורטי המושרה בתנאים אלה שווה ל-59 יחידות גרר, והערך המזערי של הגרר הוא כ-71 יחידות עבור שתי הכנפיים. המסקנה היא שתרומת גרר הגלים לגרר הכללי היא בעלת אופי משני.



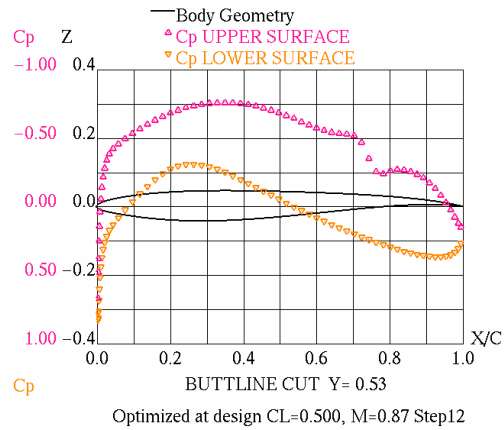
איור 8: צורת הכנפיים המיטביות בקצה הכנף. ב- Case_10 ו- Case_9, ההתייחסות היא ל- $N_{ws}=2$, $N_{ws}=3$ ו- $N_{ws}=4$ בהתאמה.



איור 5: כנף ONERA M6 המקורית. פילוג לחצים לאורך המיתר באמצע הכנף ב- $M=0.87$, $C_L = 0.5$.



איור 9: התבדרות הגרר של כנפיים מיטביות כנגד כנף ONERA M6 המקורית. Case_4, Case_3, Case_2 מתייחסים ל- $M = 0.84$, $M = 0.86$ ו- $M = 0.87$ בהתאמה.



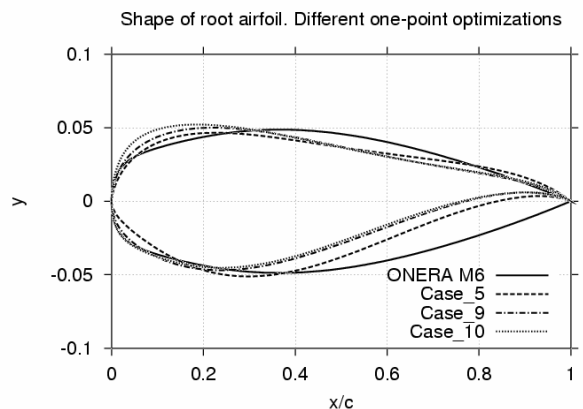
איור 6: כנף מיטבית. פילוג לחצים לאורך המיתר באמצע הכנף ב- $M=0.87$, $C_L = 0.5$.

ניכרת של נקודת התבדרות הגרר (MDD) בכיוון מספרי מאך גבוהים.

אילוצים אווירודינמיים כגון האילוך על מומנט העלרוד C_m , חשובים במיוחד באופטימיזציה תלת-ממדית. סוג אילוצים אלה במיוחד קשה ליישום. הסיבה נעוזה בכך שמיקום נקודת הניסוי במרחב החיפושים ביחס לשפת האילוצים אינו ידוע מראש, מה שמצריך ריצת CFD כבדה.

השיטה הנוכחית מסוגלת לטפל באילוצים מסוג זה בעילות ובדיוק רב. עקומות עילוי-גרר במאך $M = 0.87$ מוצגות באיור 10. בתנאי תיכון $M = 0.87$, $C_L = 0.5$, אופטימיזציה ללא אילוך על מומנט העלרוד השיגה $C_m = -0.15$ כאשר הגרר הסתכם ב-300 יחידות גרר. הטלת האילוך בשיעור של $C_m \geq -0.1$ הביאה לתצורה מיטבית בעלת ערך גרר דומה (300.5 יחידות גרר), כאשר הטלת האילוך בשיעור גבוה יותר ($C_m \geq -0.075$) הביאה לעליה מתונה בגרר המיטבי (סה"כ 305 יחידות גרר).

מניתוח מפורט ניתן להסיק את המסקנות הבאות: מחד ביצועי אופטימיזציה בלתי-מאולצת ניתן להשיג (במקרים רבים) על-ידי שימוש באופטימיזציה מאולצת, אפילו כאשר הגידול בשיעור המומנט המרבי המותר הוא משמעותי למדי. מאידך ערכי גרר כמעט זהים ניתנים להשגה



איור 7: צורת הכנפיים המיטביות בשורש הכנף. ב- Case_10, Case_9, Case_5, ההתייחסות היא ל- $N_{ws}=2$, $N_{ws}=3$ ו- $N_{ws}=4$ בהתאמה.

להביא לצמצום במטען יעיל (pay-load) בשיעור של 7.6% (באותו טווח טיסה).

פינת הלשון

שיטות חישוביות רבות קשורות בשימוש ברשת או בסריג. באנגלית קיימות המילים: *network, grid, mesh*, המביעות מושגים דומים. כאשר הדיסקרטיזציה מבוססת על קובץ של נקודות ללא חיבור ביניהן, כמו בשיטת ההפרשים הסופיים, משתמשים במילה סריג=*grid*. כאשר מדובר על נקודות הקשורות ביניהן באמצעות אלמנטים או תאים משתמשים במילה רשת=*mesh*. לעיתים משתמשים ב"סריג" גם עבור רשת אלמנטים סדורה. כאשר מדובר ב-*network* משתמשים בעברית ב"רשת" (רשת עצבית – *neural network*). גם דיגיטל משתמשים ברשת (*net*).

חידת אישח"מ מס' 5

להלן 22 הגדרות, כמספר אותיות הא'-ב', של מושגים הקשורים למכניקה חישובית. בסוגריים מצויין מספר האותיות לכל מושג:

1. מרכיבי הרשת (7)
2. כך מרגיש מנתח החיבורים במפעל גדול (4)
3. סוג חומר שזורם למרות שהוא עשוי מחלקיקים מוצקים (5)
4. המתכנן מציב אותן בפני מבצע האנליזה (6)
5. חלומו של מי שמפתח או מפעיל שיטה נומרית (7)
6. חומר המתנהג מעט כמו מוצק ומעט כמו זורם (10)
7. עולם עם 4 מימדים (4-3)
8. נע עם החלקיקים בזמן הדפורמציה וחושב על כסף (5)
9. סוג של תנאי שפה בשיטה ואריאציונית (4)
10. ללא תכונה זו כל הפרעה קטנה תגרום לסטיות גדולות (6)
11. רוח מפעילה אותו על מכונית (2,3)
12. הציע אינטגרציה עם נקודות הכוללות את הצמתים, יחד עם גאוס (5)
13. רב-סריג (9)
14. שני חבריה שהבינו משהו בזרימה צמיגה (5-5)
15. שקשור לפונקציות העצמיות או לערכים העצמיים (7)
16. מה שיש לעשות לרשת כדי לשפר או לשמור דיוק תוך כדי תהליך הפתרון (7,4)
17. סוג פונקציה פופולרי בשיטת האלמנט הסופי (7)
18. נקודה ברשת (4)
19. פתרון שונה מהפתרון המדויק (4)
20. היא לא תביא לתוצאות מדויקות (3,3)
21. החלק האחורי של משטח כנף (5,3)
22. דרושים להגדרת בעיות בנוסף למשוואה הדיפרנציאלית (3,4)

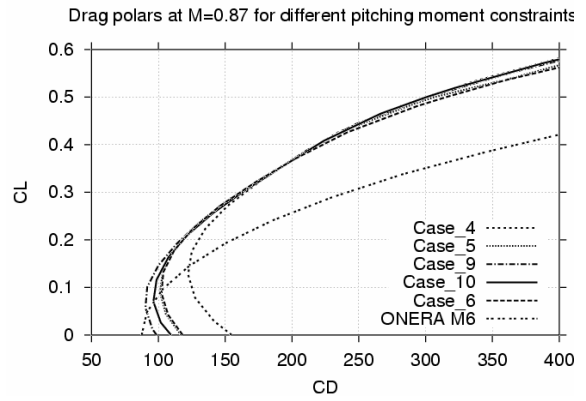
הסימון (4-3) פירושו מילה בת שלוש אותיות, מקף, ואז מילה בת ארבע אותיות. הסימון (4,3) פירושו דומה, אך עם רווח במקום מקף. לגבי כתיב חסר לעומת מלא: נסו את מזלכם...

לאחר כתיבת המושגים ע"פ ההגדרות הנ"ל, שילפו מכל מושג אות אחת, לפי המפתח הבא:

7 4 6 2 2 7 7 6 7 7 3 4 4 3 5 4 6 3 4 3 2 6

כלומר, מהמושג הראשון יש לקחת את האות השישית, מהמושג השני את האות השניה, וכן הלאה, ומהמושג האחרון את האות השביעית. בספירת האותיות יש לדלג על רווחים או מקפים.

עתה יש לקרוא את רצף האותיות שנוצר (נסו קדימה וגם אחורה). תקבלו כלל שיש לזכור בעידן של גרפיקה מרשימה. שלחו למערכת כלל זה, עד 31.12.04. בין הפותרים נכונה יוגרל פרס של חברות-חינם באישח"מ למשך שנה.

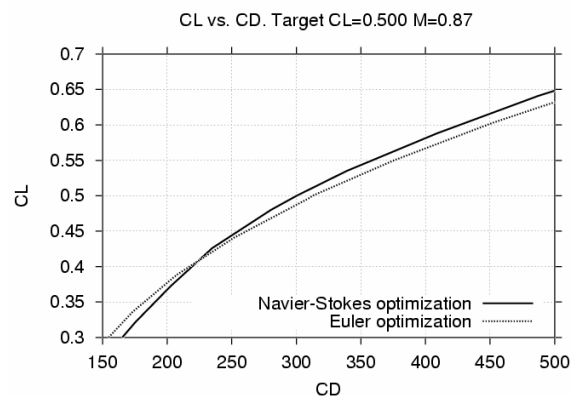


איור 10: עקומות עילוי-גרר ב- $M=0.87$. כנף ONERA M6 המקורית כנגד אופטימיזציות בערכים מאולצים שונים של מומנט עלרווד. $Case_4$: ללא אילוך על C_M , $Case_10$, $Case_5$: $C_M \geq -0.075$, $Case_6$: $C_M \geq -0.1$, $Case_9$: $C_M \geq -0.1$

באמצעות תצורות אווירודינמיות נבדלות בצורה ניכרת. במלים אחרות, בעיית האופטימיזציה אינה מוצגת היטב.

הכלי הנוכחי לאופטימיזציה מונע ע"י חישובי Navier-Stokes כאשר יישומים רבים אחרים ידועים בתחום זה מבוססים על שימוש במודלים אווירודינמיים פשוטים יותר, כגון משוואות Euler. בהקשר זה מעניין להשוות תוצאות אופטימיזציה מונעת ע"י משוואות Navier-Stokes כנגד המנוע של Euler.

ההשוואה נעשתה בנקודת התיכון $C_L = 0.5$, $M = 0.87$. עקומות גרר במאך של התיכון מוצגות באיור 11. נציין ששתי הפולרות חושבו באמצעות חישובי Navier-Stokes מלאים. האופטימיזציה באמצעות המודל המלא (Navier-Stokes) השיגה תוצאות טובות יותר. בתנאי התיכון, השיפור הוא 12 יחידות גרר (300 יחידות כנגד 312 יחידות במקרה של מודל Euler) או כ-4%. שיפור זה נשמר בכל התחום של מקדמי העילוי מעל 0.45, דבר שמצביע על גלובליות האופטימיזציה.



איור 11: עקומות עילוי-גרר ב- $M=0.87$. אופטימיזציה באמצעות חישובי Navier-Stokes כנגד אופטימיזציה באמצעות חישובי Euler.

בתנעיית המטוסים שיפור בגרר בשיעור של 4% הוא משמעותי ביותר, כיון שגידול בגרר בשיעור של 1% יכול