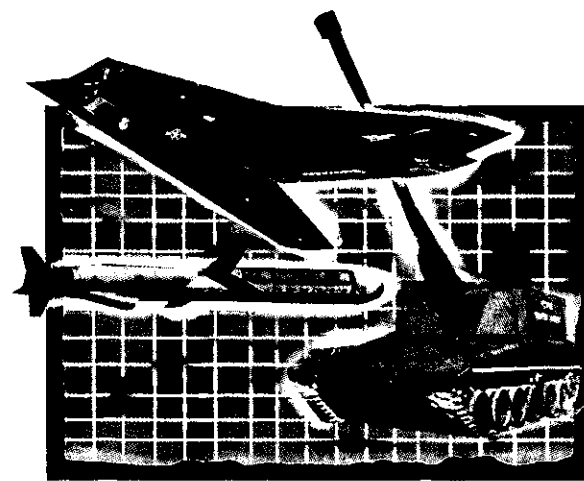


# רק"ם היברידי-חשמלי



חידושים טכנולוגיים  
בעולם

מטרתם של יצרני הרכב - הצבאיים והאזרחיים כאחד - היא לפתח יכולת לייצר כלי-רכב בעלי מערכת הנעה חשמלית. אולם עד שייפתרו כל הקשיים הטכנולוגיים המעכבים את השגת החזון הזה, ייכנסו לשירות בתוך זמן קצר כלי-רכב ורק"ם שמשולבים בהם מנועי שריפה פנימית רגילים עם מנועים חשמליים

אל"ם (מילי) יעקב צור

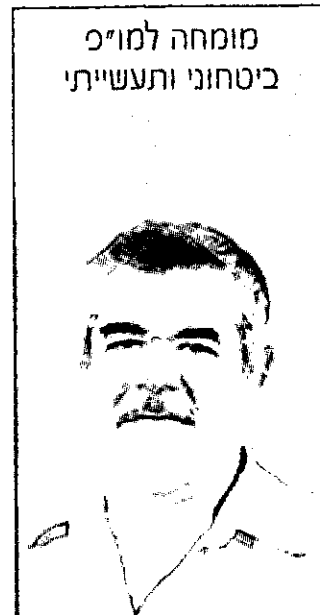
## מבוא

כבר הרבה עשרות שנים לא חל כל חידוש משמעותי במערכות ההנעה והאנרגיה של כלי-הרק"ם, אך בשנים האחרונות אנו עדים לתהליך של פריצת דרך לכיוון חדש במערכות ההנעה והאנרגיה של כלי-הרק"ם: מערכת חשמלית.

הטנקים והנגמ"שים הנמצאים כיום בשירות מונעים כולם על-ידי מערכת "קלסית": מנוע דיזל חזק (בעבר מנוע בנזין), תיבת ממסרת והילוכים ותמסורת מכנית של ההנעה עד לגלגלים או לזחלים.

משום שכלי-הרק"ם, ובעיקר הטנקים, הלכו ונעשו גדולים וכבדים יותר ויותר (טנק ה"מרכבה", למשל, שוקל הרבה יותר מ-60 טון), נדרשה להם מערכת הנעה יותר חזקה. התוצאה היא שאיש כבר אינו מתרגש ממנועי דיזל ענקיים, שההספק שלהם הוא 1,500 כוחות

סוס. מנוע כזה הוא לא רק גדול בממדיו, אלא גם כבד מאוד וזולל הרבה דלק. להספק כה גדול יש גם השפעה על הרכיבים, כמו הממסרת או מכלי הדלק, שגם



מומחה למו"פ  
ביטחוני ותעשייתי

הם נעשים גדולים וכבדים יותר ותורמים את חלקם למשקל הכללי ואף תופסים נפח נכבד בתוך הכלי. הרעיון הפשוט לכאורה - להניע את הטנק באמצעות מנועים חשמליים - נתקל במשך שנים רבות במשוכות

**בשנים האחרונות אנו עדים לתהליך של פריצת דרך לכיוון חדש במערכות ההנעה והאנרגיה של כלי-הרק"ם: מערכת חשמלית**

טכנולוגיות שהפכו אותו ללא רלוונטי. לטכנולוגיה ולהנדסה לא היתה יכולת - עד שנות ה-90 של המאה ה-20 - לפתח רכיבים שנדרשו למערכת של הנעה חשמלית, ובמיוחד לא רכיבי הפיקוד והבקרה האלקטרוניים. אלה לא היו מסוגלים לפעול בהספקים חשמליים כה גדולים (האלקטרוניקה הקלסית ידעה לטפל במה שנקרא "זרם חלש", ורכיביה לא תיפקדו במתקנים של "זרם חזק").

מרבית הקשיים האלה כבר נפתרו, ועתה מפתחים בקצב מואץ כלי-רק"ם שכל מערכותיהם הן חשמליות (All Electric Combat Vehicle). דחיפה גדולה למגמה הזאת ניתנה על-ידי התוכנית האמריקנית הגדולה לשינוי פני צבא היבשה - תוכנית בעלת חזון

מתקדם ושאפתני הנקראת - FCS - Future Combat Systems. מובילי התוכנית הציבו דרישה מראש, שהכלים יהיו בעלי מערכת חשמלית, וזאת מסיבות רבות, שהעיקריות שבהן: הדרישה לכלים קטני ממדים וקלי משקל שיהיו חסכוניים מאוד בצריכת הדלק. חשוב להדגיש כי הצורך לעבור לכלים חשמליים אינו רק בגלל ממד הניידות. החזון גורס שכלים עתידיים יפעילו מערכות נשק המבוססות על אנרגיה חשמלית (כמו נשק לייזר או נשק מיקרוגל), והם גם ישתמשו בחשמל לצורכי מיגון. לפיכך ברור שבכל כלי כזה נדרשת מעין תחנת כוח חשמלית קטנה, אשר תשרת את כל הצרכים המבצעיים גם יחד: כוח אש, שרידות וניידות.

## כיצד פועלת מערכת הרק"ם

**החשמלי** (ראו תיאור סכימטי בעמ' 75) בשלב הראשון (שיימשך עוד שנים רבות, נניח עד 2015) אין עדיין סיכוי לממש מערכת חשמלית "טהורה", שתייצר לעצמה את ההספק החשמלי הדרוש ללא אלמנט מכני. לכן בשלב הזה מדובר בכך שהמקור הראשוני לכוח יישאר עדיין מנוע דיזל משולב בגנרטור, המייצר את החשמל (חלופה אחרת: טורבינת גאז). זרם החשמל עובר דרך מערכת בקרה אלקטרונית ממוחשבת, אשר מחלקת ומנתבת אותו - לפי צורכי התנועה - אל הגלגלים המניעים את

הכלי. בכל גלגל (או זר מניע), בדרך כלל בתוך טבור הגלגל עצמו, מותקן מנוע חשמלי מיוחד, אשר מקבל את החשמל ומסובב את הגלגל במהירות ובכיוון

■ אין בכלי ממסרת מכנית, הילוכים, גלי הנעה ("דרייושאפט", "דיפרנציאלים") לאורך ולרוחב הכלי כמקובל. השליטה במהירות הנסיעה ובכיוונה היא

על כל מערכותיו, ללא הפעלת המנוע הראשי בזכות המצברים החשמליים. בדרך זו הוא גם יכול לנוע בשקט ובחשאי (אם כי במהירות מוגבלת ולטווח קצוב), כשמנועו אינו פועל.

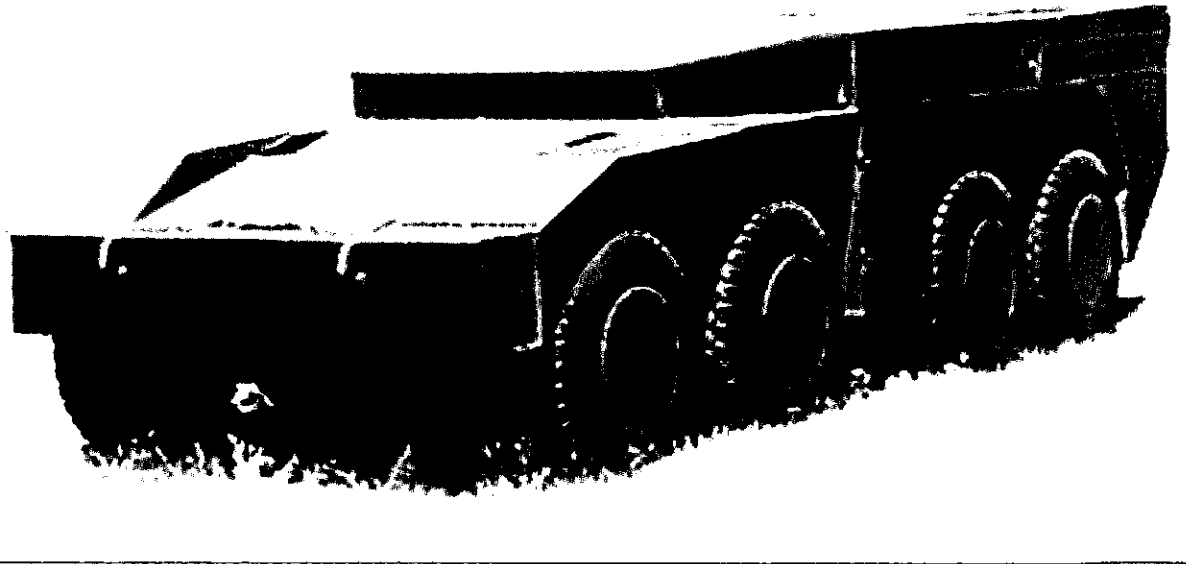
■ כל המערכת בשלמותה היא קלת משקל, יחסית למה שמקובל היום. ממדיה ונפחה מצומצמים, והיא מקנה אפשרויות רבות יותר וגמישות רבה יותר בתכנון הארכיטקטורה של הכלי. כך ניתן ליצור כלים יותר קומפקטיים. ■ התחזוקה של מערכת כזאת תהיה זולה ופשוטה יותר.

■ כאמור לעיל, המערכת מייצרת חשמל גם לצרכים חשובים אחרים, כגון להפעלת המטע"דים והחישנים של הכלי, למערכת השו"ב ולחימוש החשמלי. מעבר לכך היא תורמת למיגון ולשרידות (אך הנושא הזה ראוי לכתבה נפרדת).

ברבות הימים, כאשר תבשיל הטכנולוגיה של מקורות חשמל אלטרנטיביים, כמו תאי-דלק, ניתן יהיה להיפטר ממנוע השריפה הפנימית (הדיזל או הטורבינה) ולפתח כלי שמונע רק באמצעות מנוע חשמלי. זה יהיה, כמובן, כלי שקט לחלוטין ובלי אלמנט הנעה מכני.

חשמלית. אל כל גלגל מגיע כבל חשמלי, שאותו ניתן לפרוס בגמישות בהתאם לתכנון הכלי. כל גלגל מקבל פיקוד והנעה משלו, בנפרד, ואינו מותנה באחרים. דבר זה תורם גם לעבירות, ליתירות ולשרידות של הכלי במקרה שאחד הגלגלים נפגע (למשל ממוקש) ומאפשר יתר זריזות וזינוקים מהירים.

## רכב הלחימה העתידי AHED שנבנה בהתאם לתוכנית FCS ("מערכות קרב עתידיות") של צבא ארה"ב



הרצויים. עודף החשמל המיוצר - כאשר נוצר עודף כזה (למשל כשהרכב נייח או נוסע ללא מאמץ) - מופנה אל סוללה של מצברים ונאגר שם. כאשר נדרש הספק גבוה (מעל הספק המנוע הראשוני) נמשך ההספק הזה באופן אוטומטי מתוך המצברים ומתגבר את המערכת. (ראו בתרשים הסכמטי שבעמוד 75).

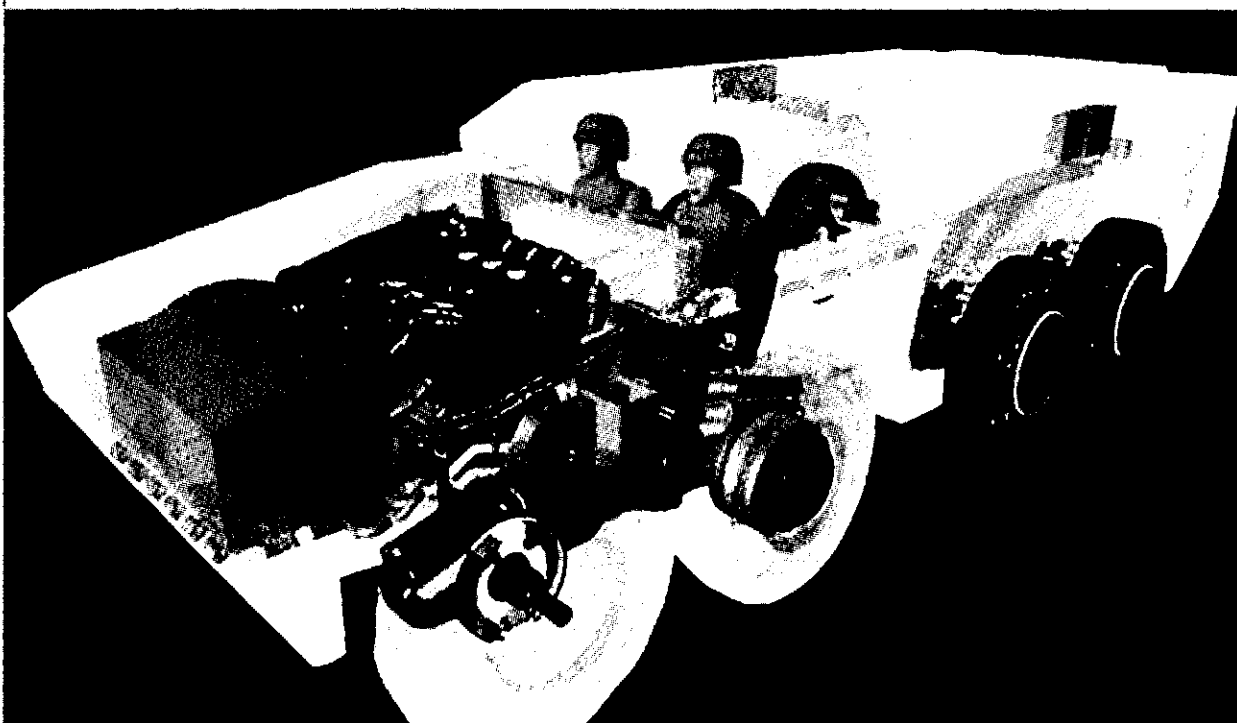
מאחר שמדובר בשילוב של מנוע שריפה פנימית עם המערך החשמלי נקראת המערכת היברידית-חשמלית. ואלה הן תכונות המערכת הזאת:

■ מנוע ראשי יותר קטן, כי הוא איננו צריך לענות לבדו על מצבים קצרים של צריכת הספק שיא. במצב כזה הוא מקבל תגבור מהמצברים.

■ המנוע פועל כל הזמן, במהירות סיבובים קבועה (אינו מאיץ ואינו מאט), בנקודת הפעולה האופטימלית שלו, כי הוא רק מייצר חשמל, בלי קשר לצריכה בפועל באותו רגע. עובדה זו תורמת ליעילותו וגם מקלה על השתקתו לצורך הקטנת חתימות.

■ עקב שתי התכונות הנ"ל צריכת הדלק קטנה משמעותית בהשוואה לצריכת הדלק של מנוע בטנק "קלסי". הירידה הצפויה היא של כ-30%, ולכך יש השפעה על גודלם של מכלי הדלק ועל "הזנב הלוגיסטי" של היחידה.

## המבנה הפנימי של AHED



להנעה חשמלית יש יתרון בולט במיוחד כשמדובר בכלי-רק"ם גלגליים, אשר נעשו מאוד מקובלים באחרונה. נגמ"ש 8x8 או 6x6 בעל הנעה חשמלית, כשכל אחד מהגלגלים מונע במנוע חשמלי "פרטי", מפגין כבר היום

■ כאשר מתבצעת פעולת בלימה, הופך המנוע שבגלגל למעין גנרטור קטן, ואנרגיית הבלימה הופכת לחשמל המוטען בחזרה אל המצברים. גם זה מביא לחיסכון באנרגיה. ■ הכלי יכול לפעול במשך זמן מסוים,

"הדגמת קונספט טכנולוגי" לשלב של פיתוח מלא.

להלן שתי דוגמאות של פרויקטים מתקדמים לפיתוח רכב היברידי המתנהלים בארה"ב:

### **רכב לחימה גלגלי תואם FCS (כינויו: AHED)**

חברת "ג'נרל דינמיקס" (GDLS) פיתחה רכב לחימה בעל שריון קל, 8x8, היברידי-חשמלי, לצורך הדגמת יכולת לתוכנית FCS. הפרויקט מתבצע בשיתוף פעולה עם צבא ארה"ב במסגרת פיתוחם של כלי-רכב לפי תפיסת FCS במשקל של 16-20 טון. הדגם הראשון נמצא בשלב של ניסויים ושל הערכה.

הספקו של מנוע הדיזל הראשי, המשולב בגנרטור, הוא 536 כ"ס. הספק השיא שניתן לקבל (למשך שתי דקות לכל היותר) הוא 850 כ"ס. מערכת המתלים היא פניאומטית.

כעשר שנים, נדרשים - בהגדרת הדרישה המבצעית של תוכנית FCS -

**הצורך לעבור לכלים  
חשמליים אינו רק בגלל  
ממד הניידות. החזון גורם  
שכלים עתידיים יפעילו  
מערכות נשק המבוססות  
על אנרגיה חשמלית (כמו  
נשק לייזר או נשק  
מיקרוגל), והם גם ישתמשו  
בחשמל לצורכי מיגון**

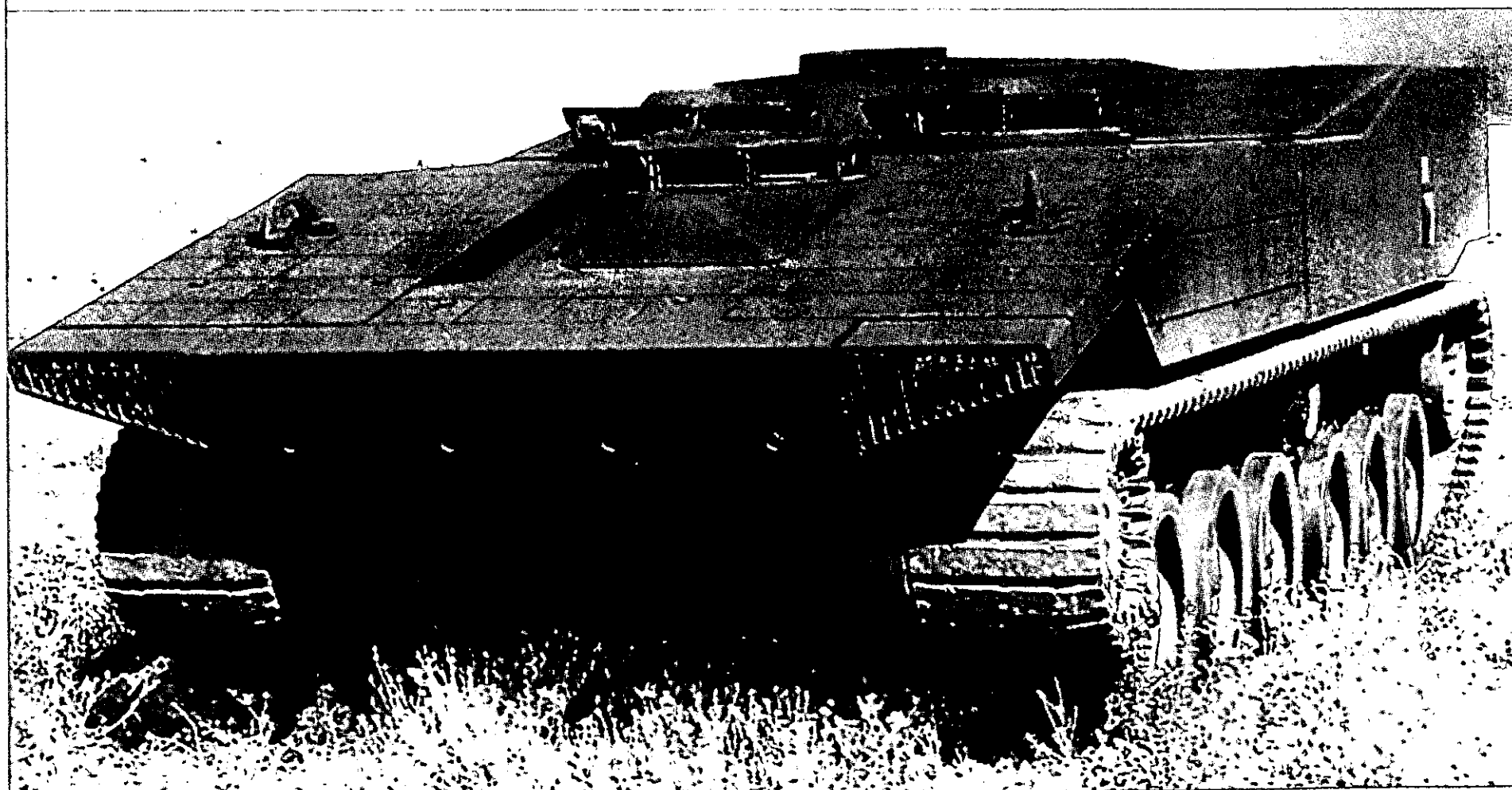
לשקול פחות מ-20 טון, להפעיל מערכות מתקדמות של חימום ושל כלי-נשק חדישים, להיות זריזים ובעלי כושר הישרדות גבוה ולצרוך פחות דלק. נראה שרק מערכת היברידי-חשמלית תוכל לתת מענה לדרישות האלה. כך

ביצועים טובים במיוחד. אבל ההערכה היא שכך יהיה גם ביחס לכלים בעלי זחלים.

ראוי לציין שסוג הנעה זה מתפתח במהירות גם לצורכי התחבורה הציבורית (ולמשאיות כבדות), ויש כבר אוטובוסים רבים באירופה ובארה"ב שפועלים באופן זה. אלה צורכים פחות דלק ומייצרים פחות זיהום אוויר ופחות רעש - תכונות מבוקשות מאוד בעידן זה של מודעות רבה לחשיבותה של השמירה על איכות הסביבה.

מובן שלא כל הקשיים כבר נפתרו לחלוטין, וגורמי הפיתוח עמלים בעיקר על שיפור הטכנולוגיות של רכיבי הפיקוד והבקרה האלקטרוניים (שלפעמים מתחממים יתר על המידה...) וגם על מבנה המנועים החשמליים, שחייבים להיות קטנים וצרים אבל

### **רכב לחימה זחלי תואם FCS (FCS-T)**

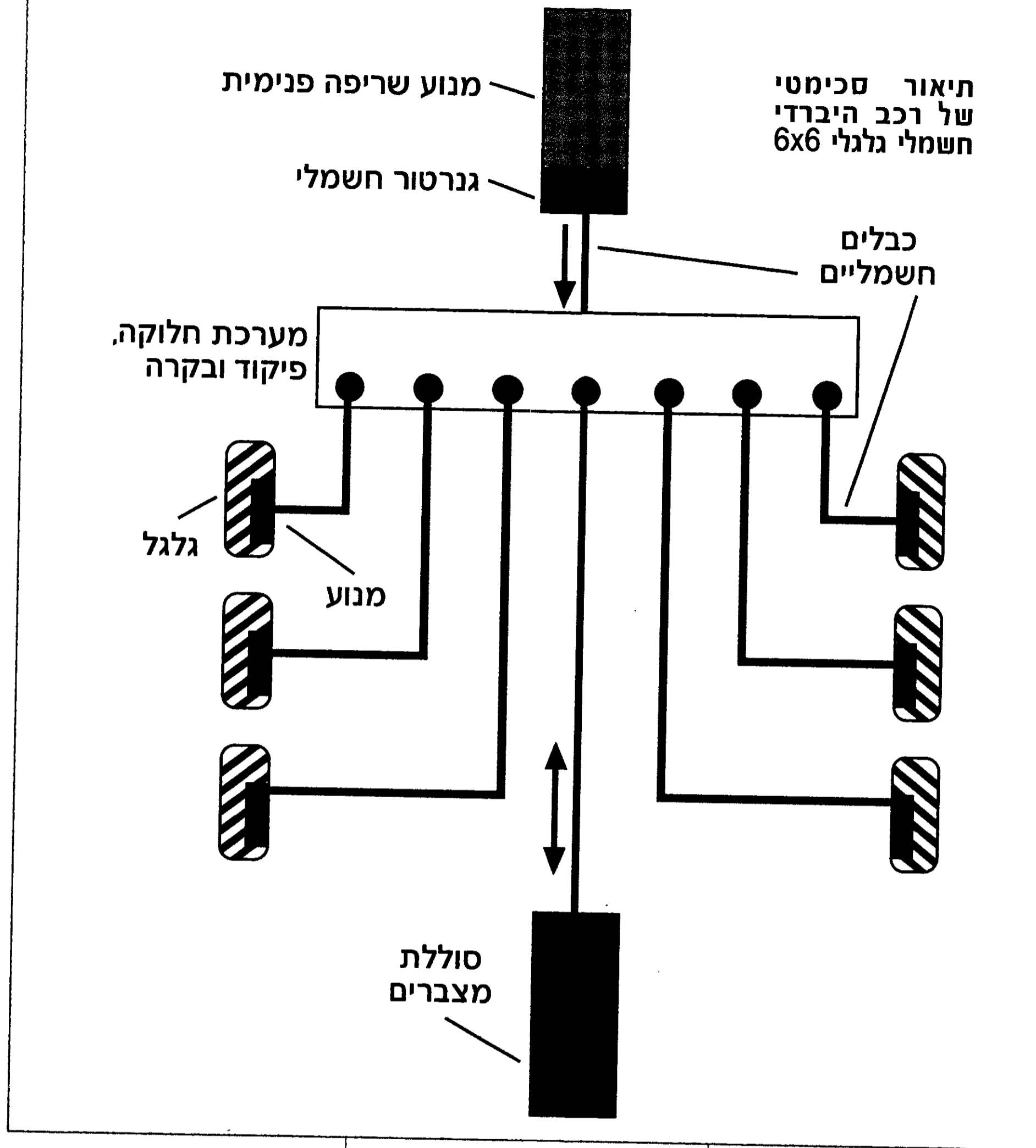


מרווח הגחון ניתן לשינוי: 13-59 ס"מ. הסוללות הן מסוג ליתיום-יון. בכל גלגל מותקן מנוע חשמלי. על כל זוג גלגלים ניתן להרכיב זחל גומי. הכלי יכול להתגבר על מכשול בגובה של 90 ס"מ, לחצות תעלה ברוחב 2.5 מטרים ולנוע בשיפוע של 60%. מהירותו

המצב גם ביחס לתוכנית המקבילה של הבריטים - FRES. גם צבאות אירופיים אחרים - הצרפתי, הגרמני והשוודי - מגלים עניין רב במנועים חשמליים ועוסקים בפיתוח רק"ם חשמלי. ההתקדמות שלהם ניכרת בשטח, ונראה שהמפתחים כבר עוברים מהשלב של

חזקים ועמידים בתנאי הדרך הקשים בשדה. ההתקדמות בכל אלה היא בהחלט מרשימה, וסביר להניח שגם העלות של הרכיבים האלה תלך ותרד בהתמדה.

כל כלי-הרק"ם העתידיים של צבא ארה"ב, שאמורים לצאת לדרך בתוך



תיאור סכימטי של רכב היברידי חשמלי גלגלי 6x6

בתוך 12 שניות, לעבור תעלה ברוחב של 210 ס"מ ומכשול בגובה של 90 ס"מ. השיפוע המרבי שבו הוא יכול לנסוע מגיע ל-60%. ניתן לנוע בכלי זה בשקט, ללא עזרתו של המנוע הראשי, ולהפעיל מערכות (בעמידה) במשך שש שעות. לפי נתוני החברה, ניתן להשלים את פיתוחו המלא של הרכב עד שנת 2008.

מערכות נשק שונות. מנוע הדיזל הראשי מותקן מאחור ומשולב בגנרטור. ההספק הוא 275 קו"ט. כל זחל מונע על-ידי מנוע חשמלי נפרד המותקן מקדימה. הסוללות הן מסוג ליתיום-יון ומסוגלות לתת הספק של 200 קו"ט. מערכת המתלים היא הידרופניאומטית. המהירות המרבית של הרכב בכביש היא 90 קמ"ש, ובשטח - 64 קמ"ש. הכלי זריז מאוד: הוא מגיע למהירות של 48 קמ"ש בתוך 7 שניות. ביכולתו לעבור קטע של 200 מטר (מעצירה לעצירה)

המרבית: 105 קמ"ש. הכלי שפותח יכול לשמש כפלטפורמת יסוד למשפחה שלמה של כלי לחימה הדרושים לצבא מודרני עתידי.

**רכב לחימה זחלי תואם FCS (FCS-T)**

חברת "יונייטד דיפנס" פיתחה רכב זחלי היברידי-חשמלי לצורך הדגמת יכולת לתוכנית FCS בתחום של 16-20 טון. כלי זה יוכל לשמש פלטפורמה גנרית לכמה תצורות של רק"ם לחימה נושא

