

# גלים קרדניים א'

שלמה שחואלי

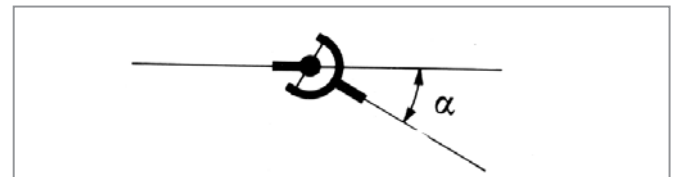
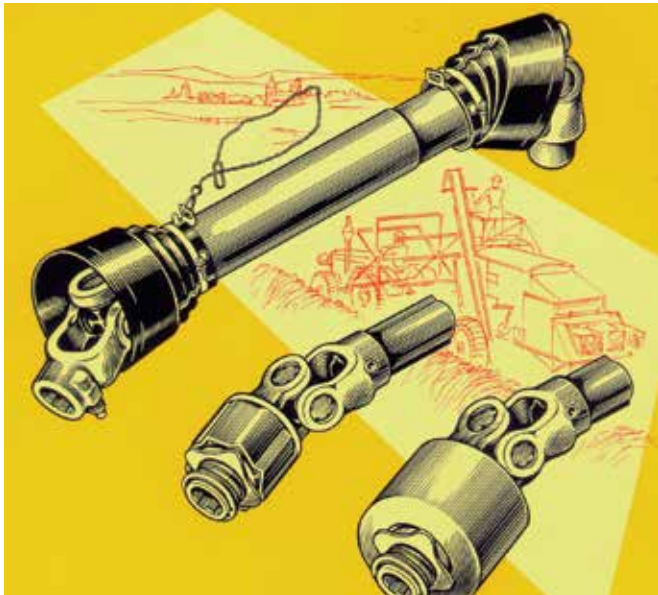
## חבוא

הגלים הקרדניים משמשים אותנו ברכב, בהינעי מכונות חקלאיות ובמכונות תעשייה. חשוב להבין את עקרונות הפעולה, ההתקנה וההפעלה הנכונה, על מנת להפיק מהם משך שירות ארוך וללא תקלות.

## עקרון המפרק האוניברסלי

(בסלנג עברי - "צלב").

המיפרק עשוי משתי יחידות מלגז, אשר קשורות ביניהן בחלק דמוי צלב. מבנה זה מאפשר להעביר תנועה סיבובית מגל אחד לשני. איור 1 מראה מיפרק בזווית נטייה  $\alpha$ . במצב זה אם נסובב את אחד הגלים ב-90 מעלות, הגל השני לא יסתובב בדיוק באותה מידה. הסיבה לזה נעוצה בכך שהגל המונע, מפגר אחרי הגל המניע ומשיג אותו פעמיים בכל סיבוב מלא. מידת הפיגור גדלה ככל שתגדל זווי הנטייה של המיפרק.



איור מס' 1



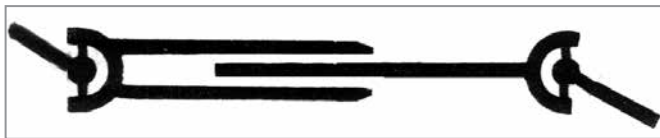
איור מס' 2

שניהם במהירות שווה בדיוק. היחס בין המהירויות הוא 1.1 ואילו ב-א' ו-ב', היחס הוא  $\infty$ : 1 מכך נוכל להבין, את איור 3, אשר מתאר כיצד תגדל נטיית הגל המונע לפגר ולמהר, ככל שתגדל הזווית וזה יקרה פעמיים בכל סיבוב. אידך ככל שתקטן הזווית יקטנו גם ההפרשים במהירויות, עד שבזווית של 0 מעלות, תהינה המהירויות שוות. איור זה מראה כמה הגל מפגר וממהר בכל חצי סיבוב וגם כיצד גודל השינויים, עומד ביחס ישר לזווית הנטייה של המיפרק ב-5 מעלות, הסטייה מן הממוצע היא 2 מעלות. ב-30 מעלות, היא כ-3.5 מעלות וב-15 מעלות, היא כ-9 מעלות. כמובן שהשינויים במהירות הם בין שני הערכים הקיצוניים, כלומר 4 ו-18 מעלות. עובדות אלה מסבירות מדוע מיפרק הפועל בזווית גדולה ומפעיל יחידה בעלת אינרציה גבוהה, יפעל ברעידות ורעשים, שהרי היחידה תפעיל התנגדות, ברבע אחד של הסיבוב ו"תמשוך" ברבע הבא וחוזר חלילה (ראה עומס חילופין בפרק על סוגי העומס). על המיפרק יפעלו כוחות מנוגדים בכל רבע סיבוב ואלה יגרמו לרעש ולרעידות.

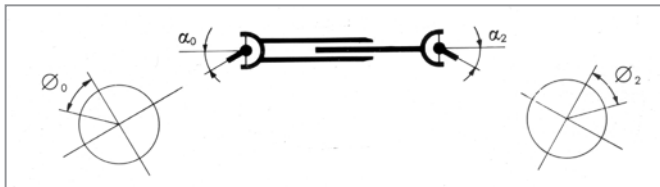
## הגל הקרדני

העובדה שמיפרק אחד לא יכול לפעול בצורה "חלקה" וטובה, פרט לשימושים בעלי מהירות נמוכה וזווית קטנה, מאמצת אותנו להשתמש

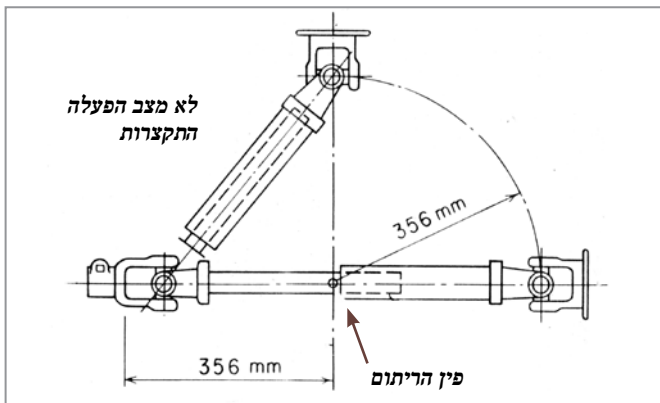
אפשר להסביר זאת בדרך החישוב ההנדסי, אבל נעשה זאת כאן על ידי דוגמאות של מצבים קיצוניים. נציב את המיפרק ב-90 מעלות, כמו באיור 2, ונבחן שני מצבים: במצב א', המלגז המניע אופקי, ובמצב ב', אנכי. במצב א' אפשר לסובב מעט את הגל המניע, מבלי שהמונע יסתובב כלל, כלומר שמהירותו של המניע גדולה משל המונע פי אינסוף לעומת זאת, במצב ב', אין המניע יכול להסתובב ואילו המונע יכול להסתובב מעט, מבלי שהמניע יסתובב. לפיכך מהירות הגל המונע גדולה מזו של המניע פי אינסוף. ברור לכולנו שמיפרק לא יכול לפעול בזווית כזו. אני מביא אותה כמצב קיצוני אחד, לעומת מצב ג', שבו שני הגלים בזווית של 0 מעלות, או בקו אחד. כאן, יסובבו



איור מס' 5



איור מס' 6

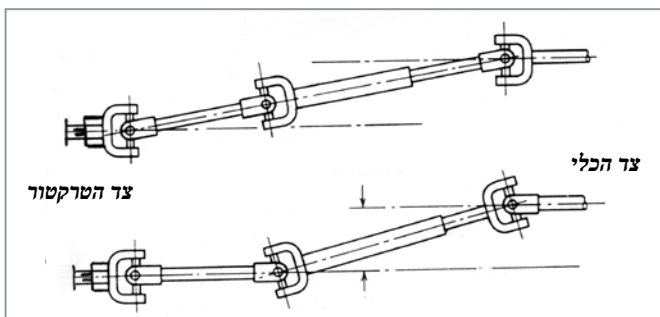


איור מס' 7

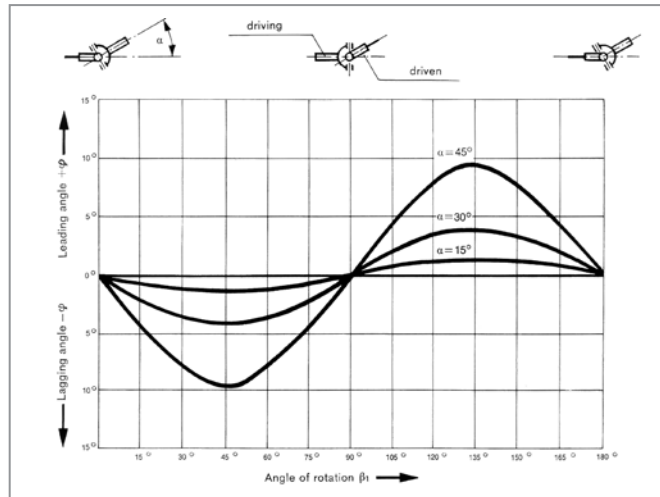
פעולה טובה נקבל, אם שני המלגזים הפנמיים, או הקיצוניים, ימצאו על קו אחד, ושני המיפרקים יפעלו בזוויות נגדיות שוות ובמישור אחד. (גם משתי זוויות שוות באותו כוון). ראה איור 6.

אם אנו רוצים שבפנייה יקבלו שני המיפרקים זוויו שוות, יש לתכנן ולהתקין את הכלי כך שפיץ הריתום ימצא במחצית הדרך בין שני המיפרקים, כמו באיור 7.

כאשר יש בכלי גל בעל שלושה מיפרקים, צריך להקפיד להרכיב אותם בצורה נכונה, בהתחשב במיקום היחסי ביניהם, כפי שמראים שני הציורים שבאיור 8. בציור העליון נראה כאילו שיש שגיאה בהרכבה, אבל חשוב לזכור שבמקרה זה המיפרק האמצעי הוא בזווית 0 ולכן כאילו אינו קיים ואין להשתחשב בו.



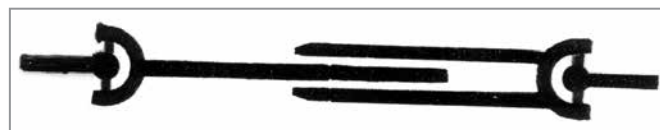
איור מס' 8



איור מס' 3

בשני מיפרקים. שני מיפרקים, המותקנים, בצורה נכונה, על גל אחד, יפתרו את הבעיה, כי בזמן שמפרק אחד "ממהר", השני "מפגר" וכאשר הראשון "יפגר", השני "ימהר". כך יקוז מיפרק אחד את ה"שגיאות" של השני וכל עוד פועלים בתחום המותר, תהיה הפעולה רציפה וחלקה. לא סתם הדגשתי את המלים "בצורה נכונה", כי התקנה לא נכונה, לא רק שלא תפתור את הבעיה, אלא שתחמיר אותה עוד יותר. "השגיאה" של המיפרק השני תתווסף לזו של הראשון, במקום לבטל אותה, וכתוצאה תהיה, כמובן, רעש ורעידות חזקות.

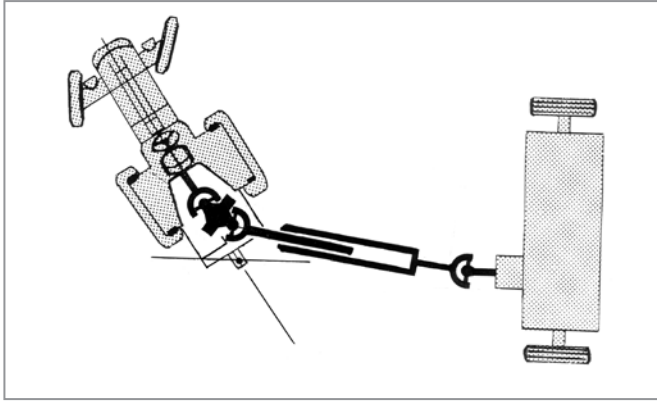
התקנה נכונה, משמעותה ששני המלגזים של הקטע האמצעי יהיו בקו אחד (איור 4). אמנם, ברוב גדמי הגלים, כמו ה"לימוני" ה"משולש", ה"מלבן" ואחרים, דאג היצרן שאפשר יהיה להשחיל את החלקים זה בזה רק בצורה הנכונה, אך קיימים גם דגמים בעלי מוט ריבועי, או עגול עם שינון הזוחה אורכי (Spline), אשר נפוצים בעיקר בכלי רכב שונים. לפעמים חסר בהם הזימון באמצעות קוים או חיצים, אשר מצביעים על הקו הנכון, או שהסימון נמחק, ואז חשוב לשים לב לוודא שהחלקים באמת יושחלו כראוי זה בזה.



איור מס' 4

### זוויות ההפעלה

על מנת שמפרק אחד יוכל לבטל את ה"שגיאות" של השני, הם צריכים להיות מוצבים בקו אחד, כפי שהוסבר קודם, אך בזה לא די. הם צריכים גם לפעול בזוויות שוות. רק "שגיאות" שוות והפוכות זו לזו, יכולות לבטל זו את זו. כיוון הזווית לא משנה, העיקר שתהיינה שוות ובאותו מישור (איור 5). רק בהפעלה נכונה נקבל פעולה במהירות סיבוב אחידה = Constant Velocity, או בקיצור: C.V.



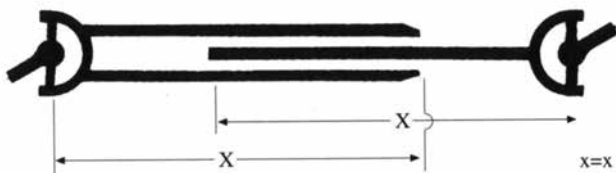
איור מס' 11

הריתום במקרה זה יהיה שונה ובמקום במחצית הדרך, על פין הריתום להימצא במרחק של מעט יותר משליש הדרך (כ-36%) מן המיפרק הכפול אל הבורד. המיפרק הכפול לא יוכל להשוות את הזווית, אך יקטיץ במידת מה את חומרת הבעיה, אם הכלי תוכנן עם גל אחד ארוך, כמו באיור 11.

### קיצור גלים לאורך הנכון

כאשר אנו קונים גל חילופין ארוך, אנו צריכים לחתוך אותו למידה הנכונה. כאן צריך למצוא את הפשרה הטובה ביותר בין דרישות, שלפעמים הן מנוגדות זו לזו. לדוגמה: רצוי שתהיה חפיפה גדולה ככל האפשר, בין החלק הפנימי לחיצוני, אך זה עלול לגרום לכך שבפנייה, הטלסקופ לא יוכל להתקצר די הצורך, והחלקים יתנגשו זה בזה. מצב כזה יפעיל כוחות גדולים, שייגרמו נזק לכל המכלול וגם למעביר הכח בטרקטור. עוד דוגמה: אם החפיפה תהיה קטנה מדי, הבלאי בשטח המגע יהיה רב. ובמעבר על תלולית, עלול החלק הפנימי להישלף מן החיצוני. אם זה יקרה שלא בעבודה, ניחא, אבל אם זה יקרה בעבודה, יתחיל הגל "להצליף" ללא שליטה וזו סכנה גדולה מאוד.

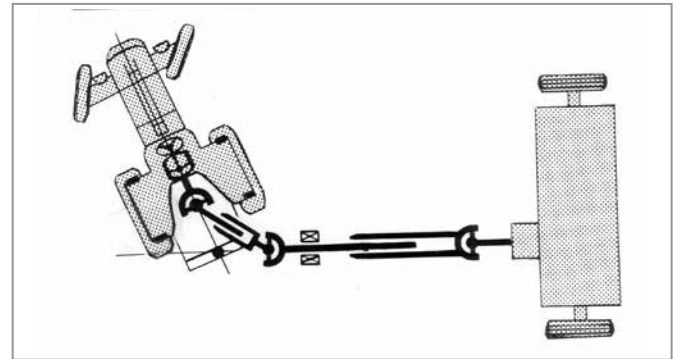
הדרך הנכונה היא למצוא (ע"י מדידה או חישוב) מה אורך הגל בפניה החדה ביותר שתידרש, ולהחזיר ממידה זו כ-3 ס"מ. זו המידה שצריכה להיות לשני החלקים המושחלים זה על זה עד הסוף. רצוי לחתוך את שני החלקים למידה שווה, כמו באיור 12. אחר כך יש להחליק את הקצוות, לנקות היטב את השכבים ולמרוח את שטחי המגע במנה נדיבה של גריז.



איור מס' 12

עניין זווית ההפעלה המקסימלית בעומס, אינו ברור די הצורך ואנסה כאן להסביר מניין נובעות הטעויות. הוראות ההפעלה לא תמיד מציינות זווית בצורה מפורשת, ולעתים הן אפילו כוללות איור שבו נראה הטרקטור בזווית ישרה לייצול של הכלי הנגרר, כמו באיור 7. איור זה לא נועד להסביר שמותר לפעול בצורה כזו תחת עומס, אלא להבהיר את עובדת ההתקצרות של החלק הטלסקופי בפנייה (על עניין זה נדון בהרחבה יותר מאוחר).

בפניה חדה כזו, חייב המפעיל להפסיק את פעולת מעביר-הכוח ואם הגל לא כולל מחגר (Ratchet) מותר לגל להמשיך להסתובב מכוח ההתמדה של הכלי, אך ללא עומס. מקובל שהזווית המקסימלית המותרת לפעולה תחת עומס, לגל רגיל בעל שני מיפרקים, היא - 60 מעלות (30 לכל מיפרק, כמו באיור 9), וגם זה רצוי לפרקי זמן קצרים בלבד. לפעולה ממושכת, זווית קטנה יותר, פירושה פחות בלאי רעידות ומאמצים (ראה איור 21). ביישומים כמו מתחחה או מכסחת שרשראות צמודה, עלולים מיפרקי הגל לעבור את הזווית המותרת, בזמן שהכלי מורם למלוא הגובה בקצה שורה. במקרים כאלה חשוב להגביל את דרך ידית ההרמה על הגזרה, או להפסיק את העברת הכח עד לגמר הסיבוב והנמכת הכלי.



איור מס' 9

### מיפרקים כפולים

הזווית המותרת של שלושים מעלות למיפרק, מהווה מגבלה בעבודות שדה רבות ולא מאפשרת להסתובב בשוליים צרים, או לעבור משורה אחת במטע, לסמוכה לה ועוד. המיפרק הכפול המשולב (איור 10), בא לפתור בעיה זו, על ידי כך שהוא "מחלק" את הזווית לשתים שוות (המבנה שלו לא מאפשר זוויות שונות). כעת באמת מותר לטרקטור לפנות ב-90 מעלות, כי בהנחה שהריתום נכון, יפעל כל מיפרק מן השלושה, בזווית המותרת של 30 מעלות.



איור מס' 10

מיפרק כפול משולב (שווה זווית)

## אבחון תקלות

איור 13 א' מראה מלגז מפותל. הגורם היה כמובן, עומס יתר ואפשר היה למנוע זאת בעזרת מגביל מומנט מתאים, או בהתקנת גל מדרגת חוזק גבוהה יותר. איור 13 ב' מראה מלגז מפושק. הגורם הוא גל ארוך מדי שבפניה, הגיע לסוף המהלך ואז הפעיל על המלגז כוח צד עצום. הגורם כאן הוא הפעלה בזווית מופרזת מאוד, או אי ניתוק ההינע בפניות בקצה השדה. ואיור 13 ג'+ד' מראים מלגז שקיבל "טיפול אכזרי" בפטיש, בזמן תיקון, או לצורך העלאה על הגל. האם לא מוטב היה אילו הפטיש היה נותן "למישהו על הראש"? להתחממות של מיפרק, יש כמה סיבות: חוסר סיכה, עומס יתר, הרכבה לא נכונה לתוך המלגז, שגרמה ל"כוסיות" להילחץ בכוח אל ה"צלבי", או שהמלגז עצמו מעוות.

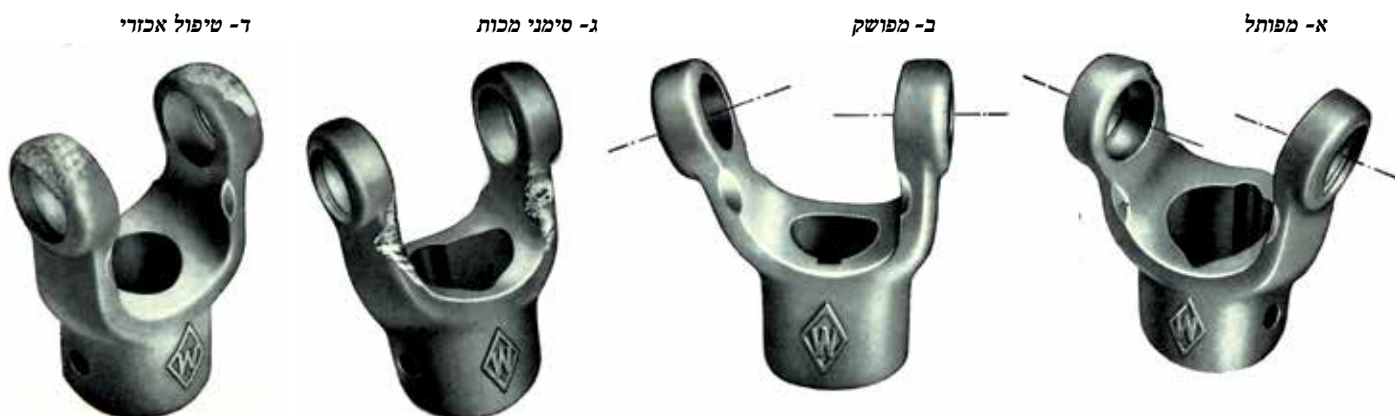
## בטיחות

אי אפשר לעסוק בנושא זה מבלי להתייחס לבטיחות, כי הרבה תאונות קורות כתוצאה מזלזול בהוראות הבטיחות של הפעלה בטוחה. על מנת להוסיף לענין מימד אישי, אביא מקרה שקרה, אמנם מזמן, לחבר שלי. הוא הפעיל בשדה מרוחק מכונה מונעת במעביר הכח. המגן נשבר מזמן ולא תוקן. המכונה נסתמה והבחור ירד מן הטרקטור מבלי לנתק את מעביר הכח, אבל במקום להקיף את הטרקטור, עבר מעל לגל המסתובב... את ההמשך אתם יכולים לנחש. מזלו של הבחור, שהמכנסים היו ישנים והבד נחלש מהרבה כביסות. המכנסים נתלשו

תוך גרימת כאבים וחבלות לא חמורות ודוקא באזור רגיש. אך בזה לא תם הענין. הוא גמר את המשמרת (כמו צ'ק שאין לו כיסוי) וכעת צריך, אוי לאותה בושה, לחזור הביתה. מה עושים? הוא המשיך לעבוד עד שהחשיך והצליח לחזור למשק ולחדרו, מבלי שאיש ראה אותו בקליונו, חוץ מחברו לחדר... שאינו אחר, אלא החתום מטה. חבל שאדם צריך לעבור התנסות שכזו, על מנת להעריך את נושא הבטיחות, ואת הנקודות שלהלן.

### עשרת הריכרות לבטיחות:

1. אל תפעיל גל ללא מגינים תקינים.
2. ודא שהמגן מסתובב על הגל בצורה חפשית, אך עשה זאת רק כשההינע לא פועל.
3. אל תקשר את מצמד מעביר הכח כאשר המנוע אינו פועל.
4. נתק את ההינע כאשר אין בו צורך מידי.
5. חולצה בתוך המכנסים ושרוולים מקופלים, או רכוסים, יימנעו "הפתעות" מסוכנות.
6. אל תפעיל את ההינע בזוויות קיצוניות.
7. אל תסיע אנשים, או ציוד, על יצול הכלי.
8. לעולם אל תפעיל גל ומכונה המיועדים לפעול ב-540 סב"ד, במהירות של 1000 סב"ד.
9. אל תתקרב לגל מסתובב, אפילו אם יש עליו מגן.
10. אל תבצע תיקונים, כיוונונים, או סיכה, כשההינע מופעל.

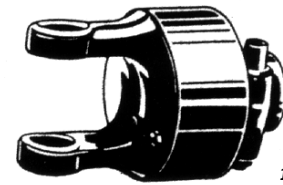


איור מס' 13



### אבזרי עזר

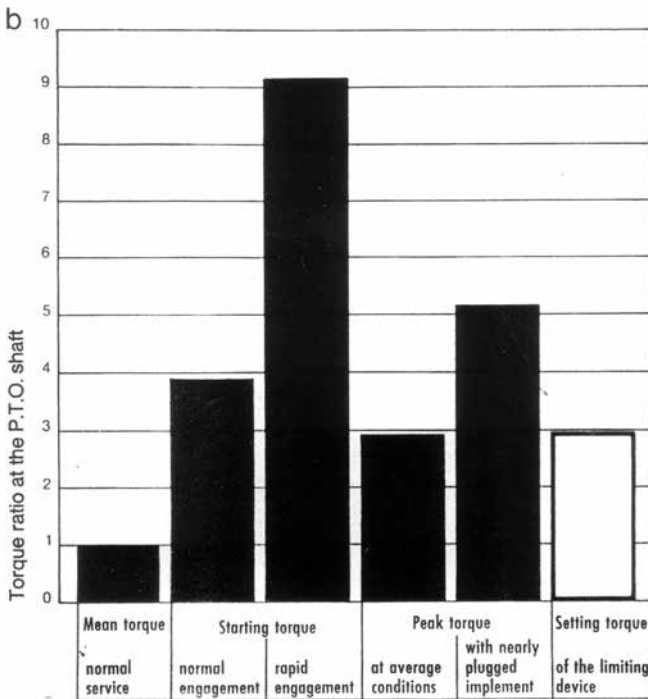
ברוב הטרקטורים המודרניים בעלי מעביר כוח בלתי תלוי, המופעל הידראולית על ידי מצמד מרובה דיסקיות, יש נטייה לגל מעביר הכוח להמשיך "לזחול" גם כאשר המצמד מנותק. בכדי למנוע זאת ולאפשר חיבור נוח ובטוח של הגל, כולל מכלול מעביר הכוח בלם אשר מופעל אוטומטית כאשר ההינע מנותק. אם הטרקטור מניע מכונה בעלת אינרציה גבוהה וגל ההינע לא כולל מחגר (רצ"ט), הרי אם מנתקים את ההינע, תמשיך המכונה להסתובב מכוח ההתמדה ואיתה הגל. גל מעביר הכוח יסתובב למרות הבלם וזה יתחמם ויינזק. במקרה כזה כדאי מאוד להוסיף לגל מחגר (איור 14) ואם אפשר, כדאי למקום אותו בצד האחורי של הגל. כך, בזמן שההינע מנותק, יפסיק גם גל להסתובב ואפשר יהיה לבצע פניה חדה ללא סיכון לגל ולמפרקים. מאידך, מיקום המחגר בקידמת הגל, לא ימנע ממנו להסתובב ואף ימקם את פין הגרירה, מחוץ לאמצע הדרך שבין המיפרקים ואז, בפנייה, לא יקבלו המיפרקים זוויות שוות.



איור מס' 14

### הפעלה נבונה

- ההגנות על ההינע טובות כמו תעודת ביטוח: "טוב שיש, אך מוטב שלא נזדקק להן בכלל" ולכן:
- כדאי תמיד להניע את מעביר הכוח במתינות ובסיבובי מנוע נמוכים, ואחר כך להעלות את הסיבובים בהדרגה. כך מונעים מאמצים והטרחה מיותרת לגל. הטבלה שבאיור 16, מראה את העומסים הפועלים על הגל בהפעלת מכבש שחת. אפילו חיבור מתון של מצמד מעביר הכוח, בסיבובי מנוע בינוניים, מפעיל על הגל מומנט גדול יותר מזה של פעולה בעומס רגיל. אבל... חיבור מהיר של מצמד מעביר הכוח בסיבובי מנוע גבוהים, יפעיל על הגל מומנט גדול פי שלושה מזה של הפעלה בעומס עבודה רגיל, וגדול פי 1.8 מזה של פעולה במאמץ שעל סף ה"סתומה".
  - להקפיד על סיכה תקופתי של המגינים, של המיפרקים ושל הטלסקופ. (אמנם נכון! צריך לפרק, למרוח את הגרזי ולכלוך את הידיים).
  - חשוב להמנע מפניות חדות תחת עומס.
  - הקפדה על קו ריתום נכון ומניעת "חופשים" מיותרים בהינע, ימנעו תקלות ויאריכו את חיי המכלל.



איור מס' 16: עבודה במכבש שחת

אם המכונה שמפעיל הטרקטור עלולה לפתח התנגדות גדולה יותר ממה שהגל יכול לשאת, יש סכנה שהגל יינזק. יש מכונות הכוללות אמצעי כלשהו להגבלת המומנט שהגל יוכל להעביר. במידה ולא, מומלץ להוסיף יחידה מתאימה. בשוק קיימים סוגים רבים של מגבילי-מומנט, החל מן הפשוטים בעלי בודג גזירה (איור 15 א') ואחרים (שנוהגים לקרוא, להם "מצמד ביטחון"), בעלי קרקש רועש (איור 15 ב'), בעלי מצמד החלקה קבוע (איור 15 ג') וכלה בבעלי מצמד מתכוונן (איור 15 ד'). הסוג שנבחר יהיה לפי היישום והמחיר. גם יחידה זו כדאי להתקין בצד האחורי של הגל, מאותן סיבות שמנינו קודם.

א- בודג גזירה



ב- קרקש



ג- מצמד חיכוך



ד- מצמד חיכוך מתכוונן



איורים מס' 15