

## השפעת מערכת הבלמים על הבטיחות

רכב נע במהירות גבוהה יוצר אנרגיה קינטית אדירה. מערכת הבלמים נועדה לבלום את התנועה, באמצעות הצמיגים המפתחים חיכוך בינם ובין הכביש. על הבלמים לספק את הכוח לבלימת הגלגלים ככל שנדרש כדי לעצור את הרכב ביעילות. הבלימה מתבצעת על ידי חיכוך שבין רפידות הבלם לבין משטח הפלדה של דיסק הבילום. ככל שמשטחי פני החיכוך מתחממים יותר, יורד שיעור החיכוך ביניהם, עד לאובדן כושר הבילום. קירור דיסקי הבלימה והתופים נחוץ לפעולתה התקינה של המערכת. הקירור נעשה על ידי הגדלת שטח פני החיכוך כדי לזרז את העברת החום לאוויר, וכן על ידי הזרמת אוויר רב לכיוון הדיסקים או התופים. כוונת דיסקים מאווררים היא לשתי צלחות הדיסק המחוברות ביניהן באמצעות רגליות מרווח, כדי לאפשר את הזרמת האוויר בין השתיים. בכך מכפילים את שטח המגע עם האוויר ומזרזים את זרימת החום מהדיסק אל האוויר החיצון. החום הנוצר מחיכוך זה מועבר גם לנוזל הבלמים, ועל כן חשוב להשתמש בנוזל מתאים לתקן. יכולת בלימה חזקה ומאוזנת תורמת לבטיחות האקטיבית של הרכב המודרני, ולרוב מותקנים ארבעה בלמי דיסק כשהקדמיים מאווררים. בדור הבא של הבלמים, יחליפו כבלים חשמליים את מערכות הבלמים ההידרואלית. כשהנהג ילחץ על הדוושה, יועבר אות אלקטרוני למחשב, שיפעיל את משאבות האופן האלקטרו-מכנית בכל גלגל וגלגל. פעולת בלימה חלקית תוכל להתבצע גם ללא שהנהג לוחץ על "דוושת" הבלם. המטרה היא לייצב את הרכב בלי שהנהג מתערב בתהליך. השפעת הבלמים על מרחק הבלימה, כיוון הבלימה, ויציבות הרכב היא קריטית מבחינה בטיחותית. מערכת למניעת נעילת גלגלים משפרת את אחיזת הרכב בכביש, תוך שמירת היכולת לשליטה במערכת ההיגוי.

## דוושה בודדה למצרת ובלם

המצאה בטיחותית זו נועדה לקצר את פרק הזמן העובר מרגע ההחלטה לבלום ועד לביצוע הפעולה עצמה. הפיתוח שמקורו בשבדיה משלב את דוושת ההאצה ודוושת הבלימה לדוושה אחת, המשמשת כמצערת ובלם. ההמצאה עברה בדיקות של הרשות לבטיחות בדרכים בשבדיה ואושרה לשימוש.

בדיקות שנערכו הוכיחו כי לנהג הממוצע נדרשות 0.2 שניות להעברת הרגל מדוושת תאוצה לדוושת הבלם במקרה חירום. זמן שווה למרחק של 5 מטרים במהירות של 90 קמ"ש. לדברי הממציא, הדוושה המשולבת יכולה להציל חיים.

הדוושה הבודדה נעה על שני צירים שונים. הראשון, בדומה לתנועת הדוושות המוכרות לנו, משמש כמצערת. עקב הרגל משמש כנקודת ציר ותנועת כף הרגל בתנועה רגילה מיועדת להאצה. הציר השני משמש לתנועה אופקית לאחור, ואחראי על הבלימה.

מנגנון אלקטרומגנטי נועל את הבלם למקומו ומונע בלימה כלשהי בעת ההאצה. ההסתגלות לדוושה מהירה מאוד ואינה דורשת התאמה או אימון מיוחד. אולם, החשש הוא שתחושת הבטיחות תעודד נהיגה פזיזה מדי.

## דוושה אלקטרונית לבלם

הדוושה האלקטרונית היא רק עוד צעד לקראת שיטת "בלימה על ידי חוטי". על פי שיטה זו תסולק כל ההידרואליקה מהרכב, אלא שלכך מתנגדים מומחי הבלמים בתעשיית הרכב, המצהירים כי גם בעתיד הם רוצים להגיע בריאים ושלמים הביתה. מרצדס הצליחה להכניס את מרבית תכונות בקרת הבלמים המודרנית ליחידה אחת, המכונה "סנסיטרוניק". בליבה של המערכת ישנה אספקה הידרואלית בלחץ גבוה עם הפעלה חשמלית, היכולה להפעיל כוח רב משל בלמי כוח רגילים ובמהירות רבה יותר. בעת לחיצה על דוושת הבלם המכוננית מתייחסת כך כאל המלצה דיגיטלית, ולא כאל הוראה פיסית. הודות למערך חיישנים דיגיטליים, המערכת מסוגלת למדוד את מהירות העברת הרגל מדוושת ההאצה לדוושת הבלם, כשתנועה מהירה מכינה את הבלמים לעצירת חירום. אם לוחצים לאחר מכן על הדוושה במלוא העוצמה, פועל הבלם בכל כוחו לעצירת הרכב במרחק הקצר ביותר. בביצוע פניות, מעביר הבלם לחץ אל הגלגלים החיצוניים שבהם יש אחיזה רבה יותר. במידה והרכב מתחיל להסתחרר, מועבר לחץ גבוה יותר לגלגל המתאים על מנת לתקן את ההחלקה.

# מערכת למניעת נעילת גלגלים בבלימה –

## A.B.S

החיכוך בין הגלגל לכביש – חשוב במיוחד לבטיחות הנסיעה. ככל שיש כוח חיכוך רב יותר בין הגלגלים לכביש – הנסיעה בטוחה יותר.

גלגל נעול – אינו מסוגל להעביר כוחות צד יעילים. אפילו כוחות קטנים ביותר – גורמים לסטייה של גלגל נעול ממסלול התקדמותו. רק כאשר הגלגלים מסתובבים – הם מסוגלים להעביר כוחות לכביש, להיצמד אליו ולהפנות את הרכב על פי הנחיות הנהג. ככל שהחלקתם קטנה יותר – העברת הכוח משתפרת. הדבר נכון גם בעת בלימה ובעת האצה.

בבלמים רגילים, במצב חירום דרושות לחיצות חוזרות על הבלמים (פמפום) כדי להאט. על הנהג מוטל להרגיש מתי הגלגלים ננעלים, ולהרפות מהבלמים לפני שהמכונית תיהפך לטיל בלתי ניתן לניהוג. כשגלגל אחד ננעל, אין עוד תועלת ביכולת הבלימה של כל הארבעה.

מומחים רבים רואים בבלימה הממוחשבת את המערכת הראשונה בה תרם המחשב תרומה קרדינלית ביחסי הגומלין בתנועה שבין הנהג, הרכב והסביבה. השיטה של בלימת A.B.S היא הפיתוח החשוב ביותר בתחום הבטיחות האקטיבית, ומאפשרת להגיע למלוא פיצוי הפוטנציאל של הבלימה בדרכים משובשות ובכביש רגיל.

בלחיצה מיידית על דוושת הבלם, נוטים גלגלי האופן להינעל. סוליית הצמיגים נשחקת, אך חמור יותר הוא אובדן היציבות הכיוונית והחלשות כושר האחיזה בכביש. מכאן לא רב המרחק לאובדן שליטה, התהפכות ותאונה. ומעשית, נתונים לחסדיהם של הכוחות הפועלים על הרכב, כגון: משקל, מצב הכביש, מצב הצמיגים וכוח ההתמדה.

בבלימת מכונית פרטית, הנהג מעביר כוח, באמצעות רגלו, למשאבת בלם מרכזית, וממנה אל משאבות האופן בכל הגלגלים. בתנאים רגילים, חיכוך הרפידות מול תופי הבלימה ודיסקיות הבלימה מאט את תאוצת הגלגלים עד לעצירה הסופית, אך בבלימת חירום ננעלים הגלגלים עוד לפני העצירה המוחלטת של הרכב. מערכת מניעת נעילת גלגלים, שהינה צורך בטיחותי מובהק, נכנסת בשלב זה לתמונה ומבצעת אוטומטית את פעולת ה"פמפום" על כל גלגל בנפרד. מרחק הבלימה במרבית המקרים הוא הקצר ביותר, היציבות נשמרת ואחיזת הכביש מעולה. תכונה חיובית נוספת היא אפשרות השליטה בהיגוי – לאורך כל הדרך, ללא קשר עם מידת חלקלקות הכביש, באותם שברירי שנייה בהם ננעלים הגלגלים.

צמיגי הרכב מפתחים את החיכוך הגדול ביותר בינם לבין הכביש. מעטים הנהגים שבמצב שבו הגלגלים ממשיכים להסתובב אך נמצאים על סף החלקה, מסוגלים לשלוט על כוח הלחיצה בדוושת הבלמים ולהביא את הצמיגים למצב זה של טרם החלקה. לכן, בשנים האחרונות התרחב השימוש במערכת בלמים מבוקרי מחשב (A.B.S), שמונעת מצמיגי הרכב להגיע למצב החלקה, ללא קשר לחוזק הלחץ על דוושת הבלמים.

מערכת בלמי A.B.S מבוקרת על ידי מיקרו-מחשב, המגיב במהירות רבה מאוד על שינוי אותות המגיעים מחיישני הגלגלים. האותות מופיעים בצורת גלים סינוסואידליים, ובתדירות עד 6000 הרץ. ביכולתה לאתר נטייה לנעילה של גלגל בתוך מילי-שניות, להעביר הוראות להפעלת ססתומים אלקטרו-מגנטיים עד 15 פעמים בשנייה, ובו זמנית להפעיל את משאבת נוזל הבלמים.

בשעת הפעלת מערכת ה-A.B.S, דושת הבלם רוטטת בצורה מורגשת למדי. הקרקוש שנשמע אינו מעיד על תקלה. זה פשוט קול הלפיתה והשחרור בפעולה. חשים ברטט הזה גם בנהיגת חורף, ויש לקבל זאת כאזהרה בנסיעה על כביש חלק.

## מספר נקודות לציון

- הנהג יכול לנתק את המערכת, מבלי לעצור את הרכב.
- במקרה של תקלה באחד האופנים מתנתק האופן הנגדי.
- בהפעלת המערכת, אין הצמיגים משאירים סימני בלימה רציפה, ובעת תאונה קיימת בעיה לאמוד את מהירות הרכב.
- אורך חיי הצמיגים יגדל, אך אין אפשרות לבדוק במדויק את מרחק הבלימה ולקבוע את מהירות הנסיעה.
- המערכת אינה משנה את ביצועיה, לפי מצב הכביש, בין אם הוא רטוב או יבש.
- על אף הפעולות הרבות שעושה המערכת, עד לעצירה המוחלטת של הרכב – מרחק הבלימה קצר יחסית במירב תנאי הנסיעה. בתנאי דרך מסויימים, כגון בשלב ובכביש מצופה, מרחק הבלימה מתארך.

## בלימה עם בקרה אלקטרונית – E.B.S

מערכת E.B.S (Electronic Braking System) היא מערכת בלימה אלקטרונית שפותחה כדי להבטיח את ביצועי הבלימה המירביים ואת אמינותם. המערכת משפרת את ביצועי ה-A.B.S. אולם אינה מחליפה אותה.

### יתרונות מערכת בלימה פנאומטית עם בקרה אלקטרונית

1. בלימה בטוחה יותר ומרחקי בלמים קצרים יותר, היות שהמערכת מפעילה את הבלמים בצורה שווה.
2. בלאי רפידות בלם מופחת ואמינות לטווח ארוך.
3. שימוש במיכלי אוויר קטנים יותר, נדרשים פחות צינורות אוויר ופחות רכיבים במערכת הבלימה.
4. קצב שחיקת רפידות אחיד מלפנים ומאחור. בנוסף על כך מיעוט חלקים מצמצם את שירותי התחזוקה.
5. חיישנים מזהים תקלות ומספקים מידע לתחזוקה מונעת ודיאגנוסטיקה אמינה יותר.

כמערכת בלמי אוויר רגילה, דושת הבלם המשמשת כשסתום, מעבירה את לחץ האוויר לבלמי השירות באמצעות ווסת. לעומת זאת, בשיטה החדשה, משתמשים בבקר אלקטרוני. הנהג אינו מפעיל יותר את דושת הבלם לצורך אספקת לחץ למערכת הבלמים, אך כאשר הוא לוחץ על

הדושה נקבעת ההאטה הדרושה באופן אלקטרוני וללא השהייה. לנהג יש תחושה רגישה יותר בעת לחיצה על דוושת הבלמים והבלימה הופכת לבטיחותית יותר. בעת לחיצה על דוושת הבלם, אות חשמלי נשלח ליחידת הבקרה האלקטרונית, במקום אוויר. חיישנים מודדים את המשתנים, כגון: שחיקת רפידות הבלם, טמפרטורת הרפידות, עומס על הסרנים ומהירות הגלגל. הבלמים מופעלים על ידי לחץ אוויר כשל המערכת הרגילה וכל התהליך מתרחש כמעט ללא זמן תגובה.

## בלימה אלקטרו-הידראולית

למערכת זו יש יתרונות בטיחותיים עצומים, שבאים לידי ביטוי בהקטנת מרחק העצירה ובשיפור יציבותו הדינמית של הרכב, באמצעות מערכת ה-EPS שמאפשרת למחשב לבלום כל גלגל וגלגל בנפרד, תוך התרחקות מסף ההתהפכות. בשנים הקרובות נראה יותר ויותר יצרנים העוברים למערכות בלימה אלקטרו-הידראולית, וזאת עד שהתקינה תאפשר להשתמש במערכות אלקטרוניות לחלוטין. קצה מערכת הבלמים עודו קונבנציונלי, עם מערכת הידראולית ודיסקיות בלימה. אולם במקום מגבר בלם (בוסטר) הידראולי כבד מותקנת משאבה חשמלית שיוצרת לחץ הידראולי על פי הנחיות חשמליות המתקבלות מחיישן שמותקן תחת דוושת הבלם. באמצעות ארבעה שסתומים נשלטים חשמלית, המערכת מפזרת לכל אחד מארבעת הגלגלים עוצמות בלימה שונות, וזאת בהתאם להנחיית מערכת בקרת היציבות.

## מערכת בקרת סחרור A.S.R / T.C.S

מערכת בקרת סחרור היא במידה מסוימת תחליף להנעה כפולה. היא שולטת על הגלגל המסתחרר – הן על ידי המנוע באמצעות המצערת, תזמון ההצתה או ההזרקה, או על ידי פעולת בלימה. עם שילוב בקרת מנוע ובלמים, מערכת זו עדיפה על דיפרנציאל בעל נעילה אוטומטית, ובמיוחד אם הרכב מצויד במערכת למניעת גלגלים בבלימה – A.B.S, כאשר אותות מהירות סיבוב הגלגלים כבר מצויות ברכב. זו יכולה להיות הסיבה לדרישה הגוברת והולכת למערכות A.S.R, המשולבות עם A.B.S, בסוגי כלי רכב שונים. סחרור, כידוע, מונע את יכולת העברת הכוח למשטח הכביש שתחת הגלגל וגורם להחלקת האופנים המניעים בעת האצה. ברכב בעל הנעה קידמית, גורם סחרור האופנים להפחתת יציבות ההיגוי – תופעה הדומה בתוצאותיה לנעילת האופנים הקדמיים, כאשר האחוריים מסתחררים. התוצאה היא, אובדן יציבות הנסיעה, קרי – הרכב מוטה לצד. מעגלי בטיחות בודקים במחזוריות של שתי שניות, את תפקוד ותקינות המרכיבים האלקטרוניים. בנוסף, מבוקרים זמני תגובת השסתומים הסולונואידיים וכן תפקוד המחשב המרכזי. בדרך כלל,

לכל גלגל מורכבים שסתומי בלימה דיפרנציאליים נפרדים. אם אחד מהגלגלים המניעים מתחיל להסתחרר, מהירות המנוע מוקטנת מייד באמצעות מעגל בקרה אלקטרוני. האטת המהירות מתבצעת עד שמומנט הפיתול של המנוע מגיע לערך המתאים. הבקרה מגדילה את לחץ הבלימה באורח אוטומטי, מבלי שהנהג יצטרך ללחוץ על דוושת הבלם. יש לציין כי שינוי הפיקוד האלקטרוני מתרחש תוך מליונית השניה.

## מערכת סיוע לבלימת חרום E.B.A

מערכת סיוע לבלימה, המפרשת לחיצה מהירה ופתאומית על דוושת הבלימה כבלימת חרום ומוסיפה אוטומטית לחץ נוסף על הדוושה כדי להגיע לעצירה מלאה. כשמרפס מהדוושה, מתאימה המערכת את עצמה ומפחיתה מהלחץ שסופק. מהנדסי פיתוח של מספר ייצרניות רכב מצאו שנהגים רבים לא מפעילים מספיק כוח על דוושת הבלם על מנת להפעיל את מערכת ה-A.B.S כבלימת חרום. מגבר בלם מכני, אשר מגביר בפועל את הכוח המופעל על דוושת הבלם ללא תלות בנהג (משקל / גיל / מין), מביא לביצוע עצירה אופטימלית בבלימת חרום.

## מערכת חלוקת עוצמת הבלימה E.B.D

מערכת E.B.D מקצה באופן דינמי את עוצמת הבלימה לגלגלים בעלי האחיזה הגבוהה ביותר, כדי לשפר את הבלימה. עיקר החלוקה מבוצע בין הבלמים הקדמיים לבין הבלמים האחוריים, על ידי בקרה אלקטרונית. תפקוד המערכת מושג על ידי שילוב התוכנה הייחודית במודול מערכת למניעת נעילת גלגלים בבלימה – A.B.S. כמו כן נכללים בה מספר רכיבים ושסתומים הידראוליים. למעשה, מערכת חלוקת עוצמת הבלימה האלקטרונית ממלאת את מקומם של שסתומי מגבילי הבלמים האחוריים, ובכך מפשטת ואף מוזילה את מערכת הבלמים ההידראולית הרגילה של הרכב. ניתן להפעיל את הבלמים בעוצמה מירבית שונה – גבוהה יותר בקדמיים ופחותה יותר באחוריים. הבקרה האלקטרונית הינה חלק בלתי נפרד ומשלים למערכת מניעת גלגלים בבלימה. התוצאה בפועל היא חלוקה יעילה יותר של הפעלת בלמי הרכב ושיפור התנהגותו הדינמית. בבלימת חרום נמנע אובדן השליטה במערכת ההיגוי ובד בבד מעניקה שליטה על גלגל ההגה.

## נוזל בלמים

אובדן תכונותיו של נוזל הבלמים הוא יותר פונקציה של זמן, מאשר מרחק הנסיעה שהרכב גמע. למען בטיחות הנסיעה, נחוץ להחליף את נוזל הבלמים מעת לעת; הוא סופח אליו לחות ומים, גם כשהרכב חונה, או מאוחסן. בדרך כלל היצרנים ממליצים להחליפו כל שנתיים או שלוש. נוזל הבלמים עשוי לרוב מגליקול, שהוא חומר סינטטי, שתפקידו להעביר את כוח לחיצת דוושת הבלם אל עבר בוכנות האופן בגלגלים, לצורך בלימת הרכב. התקנים הבינלאומיים מגדירים תכונות רבות ומחייבות, כגון: צמיגות מתאימה, יציבות בטמפרטורות גבוהות, יציבות כימית, עמידה בפני קורוזיה, נקודת רתיחה יבשה ונמוכה, עמידות בחמצון, נדיפות נמוכה, עמידות בטמפרטורות נמוכות ומניעת תקיפת אטמי גומי.

## בלם דיסק מגע מלא

בלם המגע המלא מספק כוח באמצעות דחיסת דיסקית חיכוך בין שתי דיסקיות אחרות, כאשר סרעפת עגולה מפעילה עליהם לחץ הידראולי. יש כמה יתרונות לבלם זה: הוא נתון להרבה פחות שחיקה ולבעיות כגון עיוותים בדיסקיות וזה יאריך את חיי הבלמים, הוא מאפשר בלימה בעלת עוצמה רבה יותר, והלחץ הנמוך של המערכת ההידראולית יכול לאפשר את יצור המכלול המרכזי מפלסטיק.

הדיסקיות נתונות במארז דמוי תוף, המשגר את עוצמת הבלימה באמצעות חריצים התואמים את קצה הדיסקית. הלחצים השווים מחלקים את העומס על פני שטח גדול בהרבה לעומת בלמי דיסק גיליים. לחץ ההידוק מפוזר בצורה שווה, ומפחית את הרעידות הנוצרות לעתים כאשר שטח המגע אינו עגול לחלוטין או מחוספס.

## מגבר בלם אלקטרוני

ישנם נהגים שאינם מסוגלים להפעיל את הבלמים במלוא כוחם במצבי חירום, בשל מגבלותיהם הגופניות. בכך הם מסכנים את עצמם ואת האחרים. במשאיות קלות ובאוטובוסים מקבלים הבלמים תגבור על ידי מגבר אוויר דחוס, המעלה את הלחץ במידה ומשולבת מערכת הידראולית בהן. ואילו מערכת בלמים, שבה אוויר דחוס מוזרם על ידי הדוושה ישירות אל סנדלי הבלם, אינה מתוגברת כי אין בה מגבר.

בלמי כוח הם מערכת בלמים המתוגברת על ידי מגבר. במערכת כזאת מופעלים על דוושת הבלם שני כוחות: כוח רגלו של הנהג וכוח המסופק על ידי המגבר כמנגנון נוסף. על פי חקר שערכה חברת טויוטה לבדיקת תגובתם של 208 נהגים בני 18 עד 70, הובהר כ-53% הפעילו את הבלמים כהלכה, 42% הפעילו את הבלמים במידה לא מספקת, 5% הנותרים כמעט ולא יכלו להפעיל את הבלמים.

בלם מכני חדש שפותח על ידי חברת ניסן כולל יחידת הגברת לתת-לחץ. היחידה רגישה למהלך של דוושת הבלם. מהלך ארוך יותר מתגבר על כוחו המכוון מראש של קפיץ בקרה. בכך מוכנס אוויר רב יותר לתא האחורי של המגבר ובזאת מתווסף כוח למוט הדחיף של הצילינדר הראשי. אין במערכת זו מיכל וואקום חיצוני ולכן מבנהו פשוט. מרחק העצירה מתקצר ב-15% כאשר מפעילים 75% מכוח הבלימה.

חברת טויוטה הציגה מגבר בלם הידראולי מבוקר אלקטרונית הפועל בשילוב עם מערכת מניעת גלגלים בבלימה ובקרת יציבות הרכב. המערכות המשולבות מפעילות אוטומטית של הבלם, בכל אופן בנפרד, כדי לקיים יציבות ומשיכה מבוקרת.

## מאיטים ברכב כבד

בעתיד סביר כי נראה מערכות האטה אלקטרוניות במכוניות הפרטיות והקלות, היות ושמירת מרחק בכביש ושמירת מהירות קבועה, כך מסתבר, היא משימה בטיחותית חשובה מכדי שניתן להפקיד את ביצועה בידי נהג אנושי.

נכון להיום, נהוג להשתמש במאיטים באוטובוסים, משאיות ורכב כבד לשיפור ביצועים, או ליתר דיוק: לקבלת רמת בטיחות רצויה במהירות גבוהה יותר. סוגי המאיטים שבשימוש:

### מאיט בלם פליטת מנוע

מאיט זה הוא למעשה מצערת, המותקנת בצינור הפליטה. המבנה שלה פשוט וזול, דומה לשסתום פרפר. הפעלת המאיט חוסמת את פתח יציאת גזי הפליטה ממנוע הדיזל, ובכך מגדילה את הלחץ על הבוכנות בעת מהלך הפליטה. יעילות בלם הפליטה אינה גבוהה. השימוש במאיט בלם פליטה רגיל – מוגבל על כן, למשאיות קלות יחסית.

### מאיט מנוע מסוג ג'ייקובס

בלם מנוע "ג'ייקובס" – מבוסס על עקרון השחרור של לחץ הדחיסה עם סיום מהלך הפליטה. השחרור מבוצע על ידי פתיחה של שסתומי הפליטה (בסוף מהלך הפליטה). כך מבוטל הלחץ, אשר היה חוזר ודוחף את הבוכנה כלפי מטה, לאחר סיום הדחיסה. בשיטה זו – הפתיחה של שסתומי הפליטה מבוצעת בשלב ההתחלה של הזרקות הדלק. על כן – היא מתאימה למנועי דיזל בלבד עם גל שסתומים מתאים.

מאיט "ג'ייקובס" הינו יעיל מאוד, ומגדיל במידה רבה את כוח הבלימה של המנוע. בתחילה הותקן מאיט "ג'ייקובס" במנועי "קאמינס" האמריקאיים בלבד. עם השנים שופר המאיט והותקן גם במנועי משאיות ורכב כבד של יצרנים אחרים.

## מאיט הידראולי

ברכב כבד פועל מאיט הידראולי, בדרך כלל, ישירות על גל ההינע – בין תיבת ההילוכים לסרן המניע. עוצמת מומנט הבלימה – נקבעת לפי כמות השמן הנדחסת בין להבי הרוטור והסטטור במאיט (אלה בנויים בשיפוע – כדי לקבל מומנט בלימה גבוה). הנהג מפעיל באמצעות דוושת הבלם, או ידית, את שסתום האוויר והדוחק שמן לעבר כפות המאיט ההידראולי. האנרגיה הקינטית של הבלימה – מומרת לחום. המאיט אינו יכול לפזר על פני המשטחים שלו את כל החום – על כן עובר חלק מהחום למערכת הקירור של הרכב.

## יתרונות המאיט ההידראולי

- מומנט הבלימה קבוע, ללא תלות בהילוך המשולב.
- עיקר עומס הבלימה – נספג על ידי המאיט ההידראולי (בכך פוחת העומס על יתר מכלולי הרכב הכבד).
- חיסכון ניכר בעלויות התחזוקה – בשל צמצום השימוש בבלמי השירות והרפידות.
- אמינות גבוהה ופעולה שקטה מאוד בכל תנאי דרך ונסיעה.
- יעילות בלתי מוגבלת, גם בבלימה ממושכת (שומר על חום המנוע בנסיעה ארוכה במדרון. החום מסולק על ידי מערכת הקירור).
- אין חשש להפעיל את בלמי השירות, גם לאחר פעולה ארוכה וממושכת של המאיט.
- מתאים וחשוב במיוחד ברכב המוביל חומרים מסוכנים ודליקים (כי אין חשש להופעה של ניצוץ חשמלי או השראה אלקטרו-מגנטית).

## מאיט חשמלי-אלקטרוני (אלקטרומוגנטי)

מאיט חשמלי-אלקטרומוגנטי מעניק לרכב כבד המצויד בו כוח האטה מדויק, אמין וזמין. שימוש נכון במאיט כזה מביא לחיסכון ניכר בחיי הבלמים, כי הוא מפחית את הצורך להשתמש בהם, הבלמים אינם מתחממים ונשארים זמינים ויעילים לבלמת חירום. מאיט חשמלי מוכן לפעולה מיד עם תחילת הנסיעה. הנהג יכול לווסת את פעולת המאיט לכמה מצבים. כדי לשמור על יציבות הרכב – רצוי לערוך הפסקה קצרה כאשר עוברים ממצב אחד לאחר ביחידת המאיט (במיוחד כאשר הרכב נוסע עם מטען קל או ללא מטען כלל). **בנסיעה עירונית:** השימוש במאיט חוסך בלאי של הבלמים, מונע עצירה פתאומית ותורם לנוחות הנסיעה.

**בנסיעה מחוץ לעיר:** המאיט מאפשר נסיעה מהירה יותר, חיסכון בדלק והאטה יעילה. **בנסיעה בתנאי שטח קשים:** מומלץ לשלב שימוש במאיט, יחד עם מומנט ההאטה של תיבת ההילוכים – כדי לנצל את אפקט הבלימה של המנוע עצמו ולשמור על מהירות רצויה בעיקולים, ירידות ופניות חדות.

**בנסיעה במורד תלול:** לאחר שהרכב מגיע למהירות המבוקשת – רצוי להשאיר את יחידת המאיט במצב 2, כדי להשיג יציבות מירבית. יתכן כי יהיה צורך מדי פעם להשתמש בבלמים – כדי לווסת את מהירות הרכב בהתאם למסלול, במיוחד בפניות.

**נסיעה בתנאי שלג, קרח ובוץ:** מחייבת זהירות יתרה. יש לעיין בהוראות יצרן הרכב. בדרך כלל ניתן להשתמש ביחידת המאיט ביעילות גם בכביש חלק. השימוש במאיט במצבים כאלה – מחייב נקיטת אמצעי זהירות נוספים. רצוי לנסות תחילה את שני השלבים הראשונים של המאיט ולראות כיצד הרכב מגיב.

**בנסיעה ברכב כבד במיוחד:** על הנהג להעזר גם בבלמי השירות וגם באפקט הבלימה של המנוע. על הנהג לוודא כי כל המערכות פועלות ביעילות מירבית.

## מערכת אינטגרלית לבלימת משאית

לאלקטרוניקה יש תפקיד חשוב ברכב כבד: לצמצום זמן התגובה המכנית של בלמי האוויר ושיפור יעילות הבלימה. מרגע שהנהג לוחץ על דוושת הבלמים במשאית הרגילה ועד שהם מופעלים ביעילות חולף זמן ממושך, הנדרש לבניית לחץ אוויר גבוה בבוסטרים. זהו חסרון בטיחותי מובהק, היות וכל חלקיק שנייה נוסף גורם להתארכות מרחק הבלימה.

מערכת אינטגרלית חדישה, שעברה אנסוף בדיקות בטיחותיות, משלבת בתוכה את בלמי האוויר יחד עם פיקוד אלקטרוני. היתרון הוא בהפחתת זמן ההשהייה ליצירת לחץ אוויר מקסימלי. השסתומים המבוקרים חשמלית מצויים קרוב לבוסטרים, וזמן בניית הלחץ מתקצר.

ההפעלה האלקטרונית של הבלמים מאפשרת בנייה מיידית בכל הבוסטרים, ובכלל זה בנגרר או בנתמך המרוחקים מהמדחס. היתרון הגדול של החשמל, בניגוד לאוויר הדחוס, הוא שהוא מועבר בצורה מיידית. בעת לחיצה על דוושת הבלימה מועבר זרם חשמלי לסולנואידים הממוקמים ליד הסרנים ומוכנס מיידית לחץ אוויר לבוסטרים. בפועל, מרחק הבלימה הכללי של הרכב מתקצר, וכך גם מספר תאונות הדרכים.

יתרון נוסף של המערכת האינטגרלית מושג בהקטנת הבלאי על צנרת האוויר והדליפות המטרידות. הדור האחרון של בלמי המשאיות, כולל בתוכו חישן מיוחד המותקן על וו הגרירה או על צלחת הגרירה, כאשר המשאית והגרור בולמים במידה שווה, לא נוצרים כוחות אורכים על התקן הגרירה. בהופעת הפרשי כוחות מופעלת מערכת הבקרה המווסתת אוטומטית את לחץ הבלימה במשאית או בגרור, עד שהכוחות האורכיים שמופעלים על וו הגרירה מתקרבים לאפס. פעולה זו מגדילה את רמת הבטיחות בבלימה ומבטלת את הצורך בידית הבלימה הידנית הקיימת, המאפשרת את בלימת הגרור בלבד.

## בלימה אלקטרונית

הבלימה האלקטרונית (brake wire system) מיועדת להחליף את מערכות הבלימה ההידראולית, המותקנת כיום במכונית. יתרונה הגדול נובע מבקרת המחשב ומאמינות משופרת. בתכנון בדיקת אפשרות שהמערכת תבצע בלימה אוטומטית ברגע שקרני הלייזר של מערכת מזהה את התאונה המתקרבת. שילובה עם בקרת השיוט עשויה להפחית משמעותית את התאונות.

במערכת זו אין ניפלים, צנרת הידראולית וזרנוקי גומי. גם נוזל הבלמים ילך בעקבות שוט המרכבה יתעלם תופעת הנזילות. המערכת עצמה היא פשוטה יותר מההידראולית ומרבית מרכיביה ניתנים למחזור.

דושת הבלם מייצרת אות חשמלי המשודר אל מפעיל אלקטרו-מכני המחובר לבלמים. המפעיל יוצר את כוח החיכוך הבא במגע עם מכלול הבלם. טכנולוגיה זו נועדה לחסוך במשקל, ולשלב יחדיו את מערכת הבלמים עם ההיגוי והמתלים, לשיפור ייצוב הרכב והבטיחות האקטיבית. אבות הטיפוס של הבלמים החשמליים שהוצגו גדולים במימדיהם משל היחידה ההידראולית המוחלפת, אולם המשקל מופחת כתוצאה ממעבר מלהבי בלמים מברזל יצוק ללהבים מתרכובת פחמן. אחת מהדרישות לבלימה על חוט היא מערכת בת 42 וולט, המחליפה את המערכת הסטנדרטית בת 12 וולט. הפעולה המכנית היחידה בבלימה אלקטרונית היא לחיצה של הנהג על דושת הבלמים. הנהג אמנם ממשיך ללחוץ כהרגלו על הדוושה ואילו מערכת הבקרה הממוחשבת מתרגמת את המהלך לכוח שהנהג מעונין להפעיל בעת הבלימה.

## בקרת מחשב לבלימה אלקטרונית

דרישות רשויות הבטיחות באירופה מחייבות שכל בלם יתפקד עצמאית למניעת קריסה במערכת החשמלית. בכדי לעמוד בדרישות הפרידו את מערכת התוכנה, כך שכל יחידה נפרדת. המערכת הבסיסית כוללת את היחידות הבאות:

1. יחידת כוח עצמאית למערכת הבלמים, המתפקדת גם כאשר שאר המערכות החשמליות ברכב תקרוסנה.
2. מערכת בקרה ממוחשבת שמהווה את הליבה של המערכת.
3. ארבע יחידות הפעלה חשמליות שעוצרות בפועל את גלגלי הרכב.
4. מודול דוושה, המתרגם את מהירות תנועת רגלו של הנהג ושל עוצמתו, לפעולה מעשית שנדרשת על ידי נהג מבלמי הרכב.
5. ממשקים אלקטרוניים היוצרים אינטגרציה בין מערכת הבלמים לבין שאר המערכות ברכב.

בפיתוח מצוי כעת מערך תקשורתי חדש, שמטרתו להבטיח שכל המסרים יועברו מיידית ובתזמון מדויק ורציף לייעדם. רכיבי המערכת יכולים לפעול במידה מסוימת של עצמאות, אך יחד עם זאת להוות חלק ממכלול אחד – כאשר בין כל הרכיבים יש תקשורת והעברת מידע תמידית. המערכת צריכה להיות אמינה מאוד לאורך זמן, וכן להבטיח שכשל ביחידה אחת לא יגרום לכשל כללי.

## בלמי דיסק חשמליים לרכב כבד

כמעט בכל המשאיות של היום מותקנים בלמי דיסק בכל הגלגלים, אולם הלקוח יכול לבחור עדיין את אופציית בלמי התוף בגלגלים האחוריים ובגרורים. זו רק שאלה של זמן עד העלמות השריד ההיסטורי של בלמי התוף גם מהמשאיות האמריקאיות המדדות מעט מאחור.

בלמי דיסק חשמליים הם התשובה אולטימטיבית לבלימת המשאיות והאוטובוסים ביום המחר. המערכת החדשה מופעלת במלואה בסיוע זרם חשמלי, ועוצמת הבלימה לכל גלגל וגלגל בנפרד תווסת בהתאם לדרישות הנהג ואילוטי הנסיעה והדרך. יסתיים עידן לחץ האוויר, מדחסים, צנרת, ווסתים, שסתומים ויתר האביזרים.

להפעלת בלמים חשמליים במהירות ובדיוק השפעה של ממש על שיפור הבטיחות הדינמית. להפעלת החשמלית לא נדרש זמן בכדי לבנות לחץ אוויר, כפי שנדרש כיום, ולכן בלימת החירום תהיה מהירה ואפקטיבית, כשהתוצאות באות לביטוי במרחקי בלימה קצרים יותר. השליטה המוחלטת על בלימת כל גלגל וגלגל בנפרד תאפשר תפקוד יעיל יותר של המערכת למניעת נעילת גלגלים בבלימה, תשפר את התנהגות ההיגוי ותפחית את הסבירות שהנהג יגיע לסף התהפכות.

## מקדימור בלם חדיש

חיישן מקדים אור בלם חדיש הוצג לאחרונה, כאשר לחיישן זה עתידים להתווסף מספר תפקידים נוספים. הראשון שבהם הוא להפעיל את אורות בלימת הרכב מיד כשהמערכת מבחינה בתאונה המתקרבת, בדרך זו ניתן להפחית את הסיכון שהרכב יפגע מאחור על ידי רכב אחר שלא שמר מרחק בטחון מתאים.

אות הבלימה האחורי יופעל עוד בטרם הלחיצה על דוושת הבלימה, ובמקרים רבים עוד בטרם עזיבת כף הרגל את דוושת ההאצה. אפשרות נוספת היא להעביר פולסים לכף רגלו של הנהג דרך הדוושה. העברת הרטט מעוררת את הנהג ושומרת על דריכותו ועירנותו בטרם התאונה. פרק הזמן הנוסף מאפשר לנהג לנקוט בפעולות אקטיביות על מנת להפחית את סכנת ההפגעות בתאונה.

## בקרת זינוק בעליה ונסיעה בירידה

מערכת בקרה אלקטרונית משולבת, השולטת על ההינע והבלימה, בו זמנית, ברכבי 4X4 מתקדמים. בתחילת נסיעה בעליה תלולה, כשתוואי הדרך אינו מאפשר אחיזה יעילה, מתחפרים ומסתחררים גלגלי ההינע. הרכב נוטה להדרדר לאחור, מחליק ומאבד שליטה על קו נסיעתו במסלול ההתקדמות הרצוי.

מערכת בקרת זינוק בעליה (HAC) נכנסת לפעולה, מאפשרת התקדמות ללא סחרור גלגלים ושליטה מלאה על קו ההתקדמות. מערכת בקרת נסיעה בירידה, עושה את אותה הפעולה, אבל הפוך. בירידה תלולה, כשתוואי הדרך אינו מאפשר אחיזה יעילה, ננעלים הגלגלים בבלימה, תוך החלקת הרכב ואיבוד שליטה על קו נסיעתו. הרכב צובר תאוצה ומדרדר במדרון.

מערכת בקרת נסיעה במדרון (DAC) נכנסת לפעולה, ומאפשרת דרדור איטי במדרון, תוך בלימה מבוקרת עם שליטה מלאה על יציבות הרכב.

## מערכת V.S.C לבלימה אלקטרונית

מערכת בלימה אלקטרונית ומתוחכמת שנועדה לתת מענה לכל המצבים בהם קיים תת היגוי, היגוי יתר או החלקה של אחד הגלגלים על הכביש ובכך מונעת החלקה בזמן סיבוב בכביש חלק או בתנועה פתאומית של ההגה ועוזרת לשמור על שליטה ויציבות המכונית.

בשילוב בקרת סחרור, מניעת נעילת גלגלים בבלימה וחלוקת כוח הבלימה בין הגלגלים בצורה אופטימלית – נשמרת יציבות המכונית גם אם נתקעים למצב מסוכן המצריך לבלום בבת אחת וגם במצבי תאוצה על כביש חלק.

אם לדוגמא יש מצב של היגוי יתר, המחשב יאט את מהירותו של גלגל אחד, של זוג גלגלים, או אפילו של ארבעתם, וזאת בכדי לאפשר היגוי תקין שיבטיח את יציבותו של הרכב במהלך הסיבוב.

הדור הבא של מערכות הבלימה האלקטרונית, מתוצרת חברות BOSCH, ITT ו- DELPHI - מחליף לחלוטין את המערכות המכניות המבוססות על לחץ שמן או לחץ אוויר. הנהג ימשיך כהרגלו ללחוץ על דוושת הבלם, אלא שכל מה שיפעיל ידמה לפוטנציומטר, המשנה את כמות האלקטרונים הזורמים בעורקי הבלימה.

מנוע חשמלי קטן, שיותקן במקום בוכנה בכל גלגל וגלגל, יוזיל את מחיר המערכת וימנע את הצורך במערכות עזר מתוחכמות להמרת פקודות המחשב האלקטרוניות לפעולות מכניות מורכבות. לא עוד נזילות בלמים, צנרת, משאבה מרכזית ומכניקה.

