

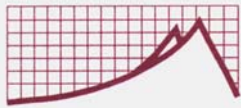
**עירוב אגרטים ממקורות שונים
בתערובות אספלט
והשפעה על מקדם החיכוך בכבישים**

סקר ספרות

ינואר 2008

הוכן ע"י : חברת גיאופוס בע"מ

עבור : מעצ – החברה הלאומית לדרכים בע"מ



גיאוקום בע"מ
הנדסה אזרחית וגיאוטכניקה



מס' הדו"ח :	
תאריך הגשת הדו"ח : 8/1/08, 2/8/07	עירוב אגרגטים ממקורות שונים בתערובות אספלט וההשפעה על מקדם החיכוך בכבישים
מספר הדו"ח של גוף מבצע העבודה: 24.08	המחברים : אמנון רבינא
מספר החוזה : 3189/06	גיאוקום בע"מ – הנדסה אזרחית וגיאוטכניקה תד 7402, חיפה 31073
סוג הדו"ח : סקר ספרות	
הערות נוספות: סקר הספרות מוגש בתבנית המעודכנת לפרסום מחקרי מעצ	
<p>תקציר: מתוך שלב עבודה זה עולה כי דילול מבוקר של אגרגטים, עם ערכי התנגדות לשחיקה גבוהים, בתערובות אספלט הינו נוהל מקובל המיושם באופן שוטף ע"פ הנחיות המוסדרות במפרטי העבודה. עירוב האגרגטים באיכויות השונות לא מפחית את ערך הקריטריוני הנדרש לביצועי תערובת האספלט מבחינת העמידה בדרישות ההתנגדות להחלקה של המסעה. השיקולים אשר נדרשו לאשור דילול האגרגט העמיד לשחיקה לרמה אופטימלית נגזרו מסיבות של מצאי נמוך של חומרי גלם ובהמשך לכך שיקולי עלות תועלת. נסיבות אלה דומות למצב הקיים בארץ מבחינת הזמינות הנמוכה של האגרגט הבזלתי באיכות הגבוהה.</p> <p>1. מטרות : מטרת המחקר הינה לבדוק את היכולת לצמצם את כמות האגרגט הבזלתי בתערובות האספלט העליונות, תוך שמירה על ערכי התנגדות להחלקה גבוהים של תערובת האספלט. הקטנת כמות האגרגט הבזלתי למידה אופטימלית, עשויה לשפר את הנצילות של המשאב האיכותי המצטמצם ולשפר את כלכליות היישום של התערובות האספלט העליונות.</p> <p>2. ממצאים : מתוך שלב עבודה זה עולה כי דילול מבוקר של אגרגטים, עם ערכי התנגדות לשחיקה גבוהים, בתערובות אספלט הינו נוהל מקובל המיושם באופן שוטף ע"פ הנחיות המוסדרות במפרטי העבודה. עירוב האגרגטים באיכויות השונות לא מפחית את ערך הקריטריוני הנדרש לביצועי תערובת האספלט מבחינת העמידה בדרישות ההתנגדות להחלקה של המסעה.</p> <p>3. המלצות : ע"פ ממצאי הסקר בהליך עירוב אגרגטים מומלץ כי תכולת האגרגטים העמידים לשחיקה לא תפחת ממינימום של 50% מתכולת האגרגטים המשתתפים על נפה #4. האפשרות לירידה ממינימום זה, מתאפשרת באם לאגרגט הקרבונטי המשמש לדילול יש ערכים גבוהים יחסית של התנגדות לשחיקה – יש לבחון נושא זה עם בדיקות ייעודיות לכל מחצבה/מרבץ. יש ללוות את הבדיקות עם ניסויי שדה להוכחת היכולת כמקובל במספר מדינות בהם נעשה השימוש בטכנולוגיה זו.</p>	
מילות מפתח: אגרגטים, בזלת, ערך PSV, התנגדות לשחיקה, עירוב אגרגטים.	
סוג תפוצה (של הדו"ח):	סוג תפוצה (של עמוד זה):
לא מוגבל	לא מוגבל
מס' עמודים :	מס' עמודים :
22 (בתוספת נספחים)	22 (בתוספת נספחים)

זכויות יוצרים והסרת אחריות

א. כללי

האמור בסעיפים ב' ו'ג' שלהלן מתייחס אך ורק לכל משתמש ו/או צד ג' – למעט צוות המחקר ו/או גיאוקום, אשר ביחס אליהם יחול האמור בהסכם שבינם ובין מעצ החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

ב. זכויות יוצרים

- (1) זכויות היוצרים בדו"ח זה שייכות באופן בלעדי לחברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ (להלן: "החברה"). למען כל ספק, זכויות יוצרים אלו חולשות, בין השאר, על ניסוח, עימוד, עריכה, תמליל, תמונות, איורים, שרטוטים, מפות, גרפיקה וכל מידע אחר הכלול בדו"ח זה.
- (2) אין לבצע שום שינוי או עיבוד בדו"ח זה, אין לשעתק את כולו או חלקו ואין לשלבו בשום מאגר מידע אחר לרבות שילובו מכל סיבה שהיא באתרי אינטרנט, בחומר מודפס, מאמרים, הוראות שימוש ומפרטים שאינם של החברה ושאינם מיועדים לשימוש עבור מיזמים של החברה. כמו כן, אין להעתיק, להפיץ, לשדר או לפרסם את הדו"ח, כולו או חלקו, להשכירו או לסחור בו בכל דרך. כל זאת כאמור למעט, אם ניתן לכך אישור, מראש ובכתב, מאת החברה.

ג. הגבלת אחריות

בשום מקרה לא תחול על החברה אחריות בגין כל נזק ישיר או עקיף העלול להיגרם למשתמש ו/או לצד ג' כלשהו עקב השימוש בדו"ח זה וכולל, בין היתר אך מבלי לגרוע מן האמור, נזק מקרי, מיוחד או תוצאתי, או כל נזק אחר מכל סוג ומין; לרבות אך ללא הגבלה, כל נזק כספי או נזיקי לגופו או לרכושו של המשתמש ו/או של צד ג', הנובעים או קשורים בכל דרך שהיא לשימוש בדו"ח זה.

ד. שונות

תוכנו של דו"ח זה משקף את דעות מחבריו בלבד בדבר העובדות הנתונים הממצאים המסקנות והלקחים המובאים בו.
תוכן הדו"ח איננו משקף בהכרח את ההשקפות או המדיניות הרשמית של החברה.
אין לראות בדו"ח זה כשלעצמו תקן, מפרט או הנחיה מחייבת.
הדו"ח אינו מיועד לצרכי מכרז ואין לראות בו אישור למוצר או טכנולוגיה מכל סוג שהוא.
אין לראות בדו"ח זה עידוד או פרסומת לרכישת מוצר או טכנולוגיה מכל סוג שהוא.
אזכורם של שמות יצרנים/ספקים/קבלנים בדו"ח זה נעשה ממניע חיוניות לתוכן הדו"ח בלבד.



לכבוד

אינג' שמעון נסיכי

מעצ החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ

אור יהודה

תאריך: 8/1/08

מספר: 24.08

שמעון שלום,

הנדון: עירוב אגרגטים ממקורות שונים בתערובות אספלט

והשפעה על מקדם החיכוך בכבישים

סקר ספרות - עדכון מצב מידע ושיטות בדיקה

מוגש לך לעיון דו"ח המסכם את שלב סקר הספרות ומקורות מידע בנושא "עירוב אגרגטים ובקרת ההתנגדות להחלקה בתערובות אספלט".

מתוך העבודה עולה כי דילול מבוקר של אגרגטים, עם ערכי התנגדות לשחיקה גבוהים, בתערובות אספלט הינו נוהל מקובל המיושם באופן שוטף ע"פ הנחיות המוסדרות במפרטי העבודה. עירוב האגרגטים באיכויות השונות לא מפחית את ערך הקריטריוני הנדרש לביצועי תערובת האספלט מבחינת העמידה בדרישות ההתנגדות להחלקה של המסעה.

השיקולים אשר נדרשו לאשור דילול האגרגט העמיד לשחיקה לרמה אופטימלית נגזרו מסיבות של מצאי נמוך של חומרי גלם ובהמשך לכך שיקולי עלות תועלת. נסיבות אלה דומות למצב הקיים בארץ מבחינת הזמינות הנמוכה של האגרגט הבזלתי באיכות הגבוהה.

עומד לרשותך במתן הבהרות נוספות ע"פ הצורך.

בברכה

אמנון רבינא M.Sc.

חברת גיאוקום בע"מ

העתקים:

לריסה ליאחובצקי – סמנכ"ל הבטחת איכות ומו"פ

ליאוניד סוסקין – מ"מ ראש אגף לה"א

ויטה פולונובסקי – אגף מו"פ

גיאוקום בע"מ

כתובת המשרד: רחוב יוזמה 2, בנין שער העיר, טירת הכרמל

טלפון: 8581999-04 פקס: 8574448-04

כתובת למכתבים: ת"ד 7402, חיפה, 31073

דואר אלקטרוני: office@geokom.co.il

3/22

עירוב אגרגטים ממקורות שונים בתערובות אספלט

והשפעה על מקדם החיכוך בכבישים

סקר ספרות - עדכון מצב מידע ושיטות בדיקה

תכן העניינים

1. מבוא, המחסור בבזלת ובאגרגטים הנדרשים להעלאת מקדם החיכוך בתערובות אספלט 5.....
2. מטרת העבודה 5.....
3. רקע כללי – הגורמים המשפיעים על החיכוך בכבישים 5.....
4. התרומה הצפויה מהפרויקט 7.....
5. שיטות בדיקה ומדידה לאומד תכונות המשפרות חיכוך 7.....
- 5.1 כללי 7
- 5.2 מדידות חיכוך במיסעות 7
- 5.2.1 מדידה בנקודות דגימה במכשור נייד 7.....
- 5.2.2 מדידת ההתנגדות להחלקה במכשור נייד 8.....
- 5.3 מדידות יכולת העמידה בליטוש של האגרגטים 10.....
- 5.3.1 בדיקות ישירות להתנגדות לליטוש 10.....
- 5.3.2 בדיקות בלתי ישירות לקביעת ההתנגדות לליטוש 12.....
6. השפעת המינרולוגיה והרכב האגרגטים על תכונות החיכוך של התערובות האספלטיות 13.....
7. נסיונות לעירוב אגרגטים לשיפור תכונות בתערובות אספלט 14.....
8. התייחסות אנשי מקצוע ורשויות בעולם לנושא ערבוב אגרגטים 15.....
9. סיכום, בחינת הפוטנציאל לשיפור מקדם החיכוך. 18.....
10. מראי מקום 20.....
- נספח א: השגת ערכי חיכוך טובים מתערובות אספלט 22.....

ציורים

- ציור מס 1 : ההבדל בין מאקרו ומיקרו טקסטורה 6.....
- ציור מס 2: מערכת למדידת התנגדות להחלקה המותקנת על רכב 9.....
- ציור מס 3: מכשיר לליטוש לתבנית אגרגטים לבדיקת PSV 11.....
- ציור מס 4: מטוטלת בריטית לבדיקת ערך ההתנגדות להחלקה 12.....
- ציור מס 5: השפעת הליטוש על תערובות עם אגרגטים בעלי מינרולוגיות שונות 13.....

1. מבוא, המחסור בזולת ובאגרגטים הנדרשים להעלאת מקדם החיכוך בתערובות אספלט

הדרישה לאגרגט בזלתי איכותי הולכת וגוברת במשק התשתיות בישראל. הצריכה המוגברת נובעת מהיכולת של האגרגט הזלתי להעלות את ערכי החיכוך לתערובות אספלט. המסקנות הראשונות בנושא זה פורסמו ע"י מע"צ [מ"מ 1] כבר בתחילת שנות השמונים בעבודה שנערכה ע"י המחלקה לחומרים ומחקר ברשות נדביה ד. ואחרים. תערובות עם אגרגט בזלתי נמצאו כמתאימות ביותר לשימוש כאגרגט משפר חיכוך הן מבחינת הזמינות והן מבחינת והאיתנות ההנדסית של האגרגט. הדרישה השנתית של האגרגט הזלתי במשק הסלילה הישראלי עומדת על כ 800,000 טון אגרגט איכותי. כושר הייצור הקיים במדינה לרוב אינו עומד בביקושים. סקירה של מצב משק הזולת בענף התשתיות במדינת ישראל מובאת ב [מ"מ 2] "העדר המשאבים של חצץ בזלתי לענף התשתיות במדינת ישראל".

לשיפור המצב יוזמת מעצ עבודות מחקר אשר באמצעותו ניתן יהיה לפתח תערובות אספלט אשר ישפרו את הנצילות של האגרגט הזלתי תוך שמירה על קריטריוני האיכות הנדרשים מתערובות אספלט בעלות מקדם חיכוך משביע רצון.

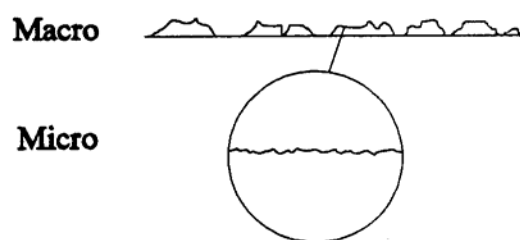
2. מטרת העבודה

מטרת המחקר הינה לבדוק את היכולת לצמצם את כמות האגרגט הזלתי בתערובות האספלט העליונות, תוך שמירה על ערכי התנגדות להחלקה גבוהים של תערובת האספלט. הקטנת כמות האגרגט הזלתי למידה אופטימאלית, עשויה לשפר את הנצילות של המשאב האיכותי המצטמצם ולשפר את כלכליות היישום של התערובות האספלט העליונות.

3. רקע כללי – הגורמים המשפיעים על החיכוך בכבישים

רמת ההתנגדות להחלקה של מרקם פני שכבת האספלט העליונה הינה תכונה הנדסית בעלת חשיבות בטיחותית גבוהה, בעיקר כשפני הכביש רטובים. ניטור מידת החלקלקות או ההתנגדות להחלקה ("מקדם החיכוך") מהווה פרמטר חשוב לבחינת מצב תפקוד פני שכבת האספלט של מיסעת הכביש. מידת ההתנגדות להחלקה של תערובת אספלטית מושפעת משני גורמים [מ"מ 16]:

- סוג מינרל הסלע ("אגרגטי") שנמצא בתוך תערובת האספלט. סוג הסלע משפיע בעיקר על ה"מיקרוטקסטורה" – המרקם העדין של פני האספלט. המיקרוטקסטורה משפיעה על ההתנגדות להחלקה בעיקר במהירויות נסיעה נמוכות (ר ציור מס 1).
- המירקם הגס של תערובת האספלט המכונה "מאקרוטקסטורה". המאקרוטקסטורה משפיעה על ההתנגדות להחלקה בעיקר במהירויות נסיעה גבוהות.



ציור מס 1 : ההבדל בין מאקרו ומיקרו טקסטורה [מ"מ 16]

בשנת 1981 [מ"מ 1] פרסמה מעצ "הישנה" מחקר מקיף בנושא בעית החלקקות של כבישים רטובים. במחקר זה נבחנו אגרגטים מסוגים שונים המצויים בארץ (בזלת, קוורצית, גיר ודולומיט) ונמצא כי האגרגט הבזלתי עדיף על האגרגטים האחרים מבחינת תרומתו להעלאת מקדם החיכוך שכבת האספלט העליונה וזאת למרות שלחלק מהאגרגטים האחרים (כגון: דולומיט) יש תכונות הנדסיות מצוינות בכל שאר ההיבטים הרלוונטיים לתפקוד האספלט. במהלך שנות ה-90 החלה מעצ באופן הדרגתי בשימוש בתערובות בזלתיות, כאשר כיום ישנה הנחיה גורפת לשימוש בתערובות בזלתיות בשכבות העליונות בכבישים ראשיים. ואולם כאמור, מקורות ייצור האגרגט הבזלתי האיכותי מוגבלים בארץ. הדרישה השנתית של האגרגט הבזלתי במשק הסלילה הישראלי עומדת על כ-800,000 טון אגרגט איכותי. כושר הייצור הקיים במדינה לרוב אינו עומד בביקושים – מצב הגורם לתחרות קשה, העלאת מחירים ועלול לגרום גם לפשרות לא רצויות בנושא איכות האגרגט. בספרות פורסם כי במספר מקומות נעשו ניסיונות של שילובי אגרגטים ליצירת תערובת מעורבות, מבחינת סוג סלע המקור של האגרגט, אשר ביצועיהן אינן נחותות מבחינת מקדמי החיכוך מתערובות המכילות רק אגרגטים מבזלת. בתנאי הארץ השילובים הרלוונטיים שיש מקום לבחון

הינה של תערובות שבהם חלק מהבזלת תוחלף ע"י אגרגטים שזמינים בשוק בכמויות גדולות (דלומיט וגיר דלומיטי).

4. התרומה הצפויה מהפרויקט

שיפור הכלכליות יאפשר שימוש נרחב יותר בתערובות אספלט בעלות מקדם התנגדות להחלקה גבוה יותר, לאורך זמן. יכולת זו תשפר את הבטיחות (מבחינת החיכוך) בכבישים רבים יותר. צמצום שכיחות האגרגט הבזלתי בתערובות האספלט תוך שמירת ערכי ההתנגדות להחלקה עשוי לשפר את הנצילות במשאב האגרגט הבזלתי האיכותי המצטמצם ולשפר את הכלכליות של תערובות האספלט העליונות. לדוגמא, החלפת כ 45% מחצץ הבזלת בתערובות בזלת S עשוי להוזיל את עלות התערובות בכ 6 ₪/טון (כ 6 מליון ₪ על כל מליון טון אספלט) החיסכון גבוה יותר בתערובות SMA ועשוי להגיע עד לערך של כ 25 ₪ לטון עבור תערובת SMA עם גרגר מקסימלי של 1/2".

5. שיטות בדיקה ומדידה לאומד תכונות המשפרות חיכוך

5.1 כללי

ישנן מספר שיטות לבדיקות תכונות חלקלקות של המיסעות. יש להבחין בין התכונות הנמדדות של ההתנגדות להחלקה של המיסעות (Skid Resistance) אשר הרשויות מיישמות על פי השיטות הנהוגות ; ושיטות הבדיקה של חומרי הגלם – האגרגטים בעיקר – אשר מהם למדים על הכשר הפוטנציאלי של מרכיבי התערובת ליצור תערובת אספלטיית אשר תציג ביצועים משופרים מבחינת ערכי חיכוך גבוהים. התכונה העיקרית הנמדדת באגרגטים היא ההתנגדות לליטוש המיוחסת למקור הסלע והמיקרוטקסטורה של האגרגט.

5.2 מדידות חיכוך במיסעות

5.2.1 מדידה בנקודות דגימה במכשור נייד

בשיטות בדיקה אלו נדגמים קטעים מקומיים מהמיסעה בהם נמדדת באופן מקומי ההתנגדות להחלקה. המדגמים נבדקים באמצעות מכשור ניח אשר מועבר מנקודת בדיקה אחת לשניה. שיטה המיושמת גם פה בארץ, אם כי לא באופן מבוקר, היא מדידת באמצעות מטוטלת בריטית.

• **AASHTO T278 (ASTM E303)** Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

המכשיר ממוקם ע"פ קטע מישורי ונקי בכביש הניסקר. ערכי ההתנגדות להחלקה נמדדים ביחס לאיבוד האנרגיה של זרוע המטוטלת כאשר היא מחליקה ע"פ השטח הנמדד. המטולת הבריטית משמשת גם לבדיקות מעבדה כפי שיפורט לעיל.

שיטה אחרת המיושמת בארצות הברית, היא וריאציה של השימוש בזרוע המטוטלת ביחס למיסעה הנמדדת. השיטה מתוארת ב:

• **ASTM E707 -90 (2002)** – Skid Resistance Measurements Using North Carolina State University Variable-Speed Friction Tester

בשיטה זאת מחובר לקצה מטוטלת גלגל גומי סטטי המונח על המיסעה הנדגמת. אל שטח המגע בין הגומי לכביש מוזרמים מים במהירות מבוקרת. מידת התנודה של המטוטלת מיוחסת למקדם החיכוך של המיסעה הנמדדת. במהירויות ההזרמה השונות של המים ניתן גם להעריך את ההתנגדות במהירויות נסיעה שונות. הערך הנמדד (VSN – Variable Speed Number) מייצג את ערך החיכוך הנמדד באמצעות המכשיר. ע"פ תקן הבדיקה ערך ה VSN אינו בהכרח תואם, או מקיים קורלציה עם ערכים הנמדדים באמצעות מכשור אחר.

למדידה מקומית של מרקם הכביש נעשה שימוש במדידת טלאי חול. בשיטה זו נעשה שימוש מקומי בלבד ולא מבוקר היות ואינה מדויקת.

5.2.2 מדידת ההתנגדות להחלקה במכשור נייד

בשיטות בדיקה מסוג זה נמדד כל הכביש ברצף או באינטינטרולים קבועים (כל 1 או 5 מ' וכיו"ב) באמצעות ציוד המותקן על רכב יעודי. שיטות המדידה משתנות ממדידה ישירה של החיכוך על פני המסעה בצורה מבוקרת ומדידות עקיפות של תכונות המיסעה באמצעות מדידות מרקם פני המסעה.

המדידה ישירה של החיכוך בפני במיסעה קיימות מבוססת בד"כ על מערכת הכוללת גלגל עם צמיג גומי הנמצא במגע עם פני המסעה הנמדדת בעת הנסיעה (ציור מס 2). במהלך הנסיעה מותז על שטח המגע זרם מים באופן מבקר. ההתנגדות של סיבוב הגלגל ואו תנועת ציר הגלגל נמדדים באופן מבוקר. ההתנגדות מיוחסת למקדם ההחלקה של המיסעה.

ציור מס 2: מערכת למדידת התנגדות להחלקה המותקנת על רכב



שיטת מדידה זאת מיושמת באופן שוטף בידי עשרות רשויות של שדות תעופה ורשויות המנהלות מערכות כבישים. במ"מ 19 ו 23 מתארות שיטות מדידה שכיחות המיושמות בארצות הברית ובבריטניה.

בארץ נמדדת ההתנגדות להחלקה באמצעות ציוד ROAR מתוצרת חברת Northmeter הנורבגית. המכשור מתופעל באמצעות מעבדת הטכניון.

למדידה העקיפה של ההתנגדות להחלקה נעשה שימוש במערכות RSP-Roughness Surface Profilers למדידת מרקם פני המסעה. מערכות אלה משמשות גם למדידות פרופיל אינרציאלי של פני השטח. המדידות לפני המרקם נעשות עם לייזרים מהירים יותר מאשר הלייזרים למדידת הפרופיל לצורך חישוב הגליות. תוצאת המדידה מבטאית את מורכבות המרקם המיוחסת למקרו-טקסטורה. מרקם חלק יעיד על רגישות להחלקה בהתאם.

במכרז מעצ שפורסם (מועד הגשה תחילת 2008) למדידת חלקלקות בכבישי המדינה הוגדר הצורך בשימוש במכשור המשלב את שתי שיטות המדידה, מדידה רצופה וישירה של פני המסעה המשולבת עם מדידת מרקם פני השטח באמצעות מערכות לייזר מתקדמות.

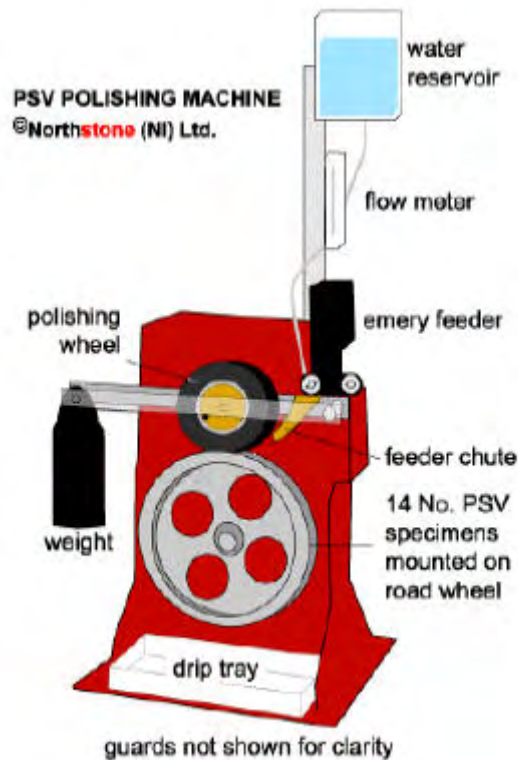
5.3 מדידות יכולת העמידה בליטוש של האגרגטים

5.3.1 בדיקות ישירות להתנגדות לליטוש

ריכוז שיטות לבדיקת אגרגטים מובא ב [מ"מ 3]. ממגוון הבדיקות המשמשות לבחינת התאמת אגרגט לשימוש בתערובות האספלט נפוץ השימוש בבדיקה לקביעת ערך לקביעת ה **Polished-Stone Value (PSV)**. השיטה מיושמת באירופה ע"פ התקן הבריטי [מ"מ 20] ובארה"ב ע"פ תקן ASTM [מ"מ 22] ואולם קיימים הבדלים בין שיטות בדיקה אלה כפי שיובהר להלן.

בשיטת בדיקה זאת נבדקים מדגמי אגרגטים בגדלים של 12.5 מ"מ – 9.5 מ"מ. ע"פ השיטה הבריטית מתוך מקטע זה (בקירוב) נבדקים רק האגרגטים אשר עוברים נפה 10 מ"מ ואולם נשארים על תבנית הפחיסות בגדלים שבין 10 ל 14 מ"מ. באופן זה האגרגטים הנבדקים הם קוביים ובגדלים כמעט זהים. האגרגטים מונחים בפני תבנית מעוגלת, המהווה חלק מגלגל הבדיקה. קיבוע האגרגטים בתוך התבנית מבוצע באמצעות חול ודבק אפוקסי, מהיר התקשות ובצמיגות נשלטת (שלא יחדור דרך החול ויכסה את פני האגרגט הנבדק). התבניות הכוללות את המדגם הנבדק מורכבות לאורך היקפו של גלגל השחיקה. בין התבניות הנבדקות מורכבות שתי תבניות של מדגם בקרה אשר ערך ה PSV שלו ידוע. גלגל הליטוש מורכב על מערכת הבדיקה כך שנוצר מגע עם גלגל עם צמיג (ר ציור מס 3) המדמה את פעולת השחיקה. אל שטח המגע בין שני הגלגלים מוזרמים מים ואבקה מיוחדת להאצת השחיקה. האבקה השוחקת (Emery Corn בריטי, Silica Carbide Grit אמריקאי) מורכבת ממינרלים בעלי קושי גבוה במיוחד (קרבורונדום מגנויט וכיו"ב) המאיץ את שחיקת פני האגרגט הנבדק אשר לו קושי נמוך יותר. מהירות הסיבוב בזמן הבדיקה הנה כ 320 RPM. תהליך הליטוש ע"פ התקן האמריקאי הינו פשוט יותר ונמשך לאורך 10 שעות. בשיטה הבריטית הבדיקה נערכת בשלב ראשון באנטרולים של שעה עד להשלמת 6 שעות בדיקה. לאחר מכן מוחלף צמיג הגומי באחר ואבקת הבדיקה מוחלפת באחרת (Emery Flour) עם גרגירים דקים יותר (עובר 53 מק"מ) להשלמת פעולת הליטוש ליצירת פני אגרגטים חלקים.

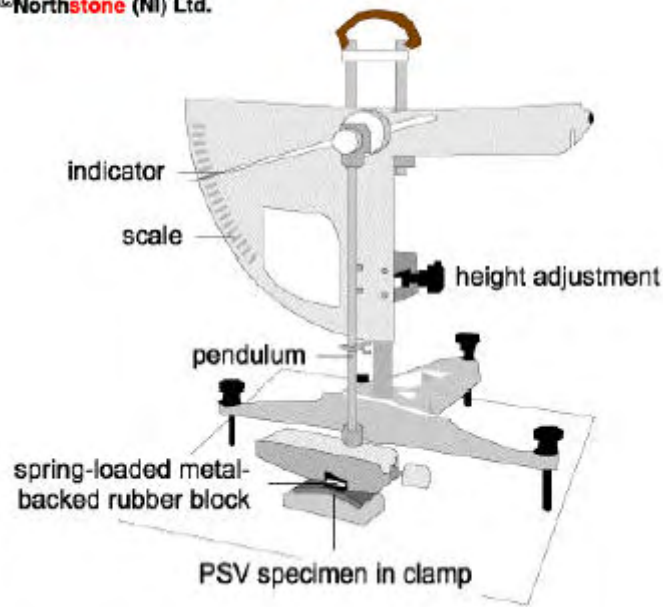
ציור מס 3: מכשיר ליטוש לתבנית אגרוגטים לבדיקת PSV [מ"מ 4]



התבנית שעברה את הליטוש מקובעת בסנדל מיוחד המונח בתחתית מתקן מטוטלת בריטית כך שנוצר מגע בין פני המטוטלת למדגם בעת התנועה. דוגמא למכשיר מטוטלת בריטית מובאית בציור מס 4. באמצעות המטוטלת נבדקת ההתנגדות להחלקה של המדגם המלוטש. הבדיקה מבוצעת גם על מדגמי הבקרה שנוספו לבדיקה הספציפית. באם תוצאת מדגם הבקרה חורגת מהתחום הנדרש (49.5 – 55.5 בתקן הבריטי) הבדיקה נפסלת. מדגמי הבקרה משמשים גם לקביעת ערך התוצאה בבדיקה הספציפית. ערך גבוה של התנגדות, מעיד על פוטנציאל גבוה של המדגם הנמדד לשפר את ההתנגדות להחלקה של תערובת האספלט אשר תיוצר באמצעותו.

POLISHED STONE VALUE TESTER

©Northstone (NI) Ltd.



ציור מס 4: מטוטלת בריטית לבדיקת ערך ההתנגדות להחלקה [מ"מ 4]

ערך ה PSV נקבע כקריטריון מפרטי בעבודת מעצ לקביעת איתנות האגרנט בתנאי שחיקה. בדיקה זאת אינה מיושמת בשלב זה באופן שוטף עקב חוסר אמצעי הבדיקה בשלב זה במעבדות בישראל. עם קליטת אמצעי הבדיקה במעבדות בארץ רצוי לבחון בקפידה את אופן יישום הבדיקה הנדרש לתנאי הארץ, באם ע"פ השיטה הבריטית (המורכבת יותר) או האמריקאית (הפשוטה יותר). בפרויקט המחקר הנוכחי מבצעת המעבדת המלווה את הבדיקה ע"פ השיטה הבריטית במעבדה בסקוטלנד.

5.3.2 בדיקות בלתי ישירות לקביעת ההתנגדות לליטוש

בדיקת ה"שאריית הבלתי מסיסה באגרנטים קרבונטיים" (שב"מ) ע"פ התקן אמריקאי:

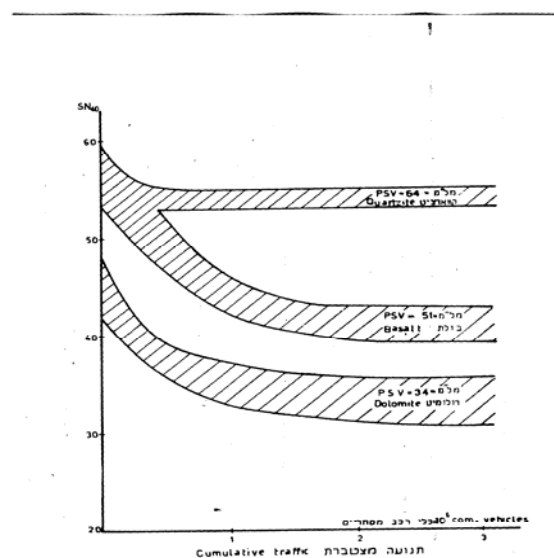
• **ASTM D3042** Insoluble Residue in Carbonate Aggregate

בוחנת את כמות החומר אשר אינו מתמוסס במהלך הבדיקה בחומצה בתנאים שונים (בדיקה כימית המתבצעת באמצעות מנדף). ההנחה היא כי ככל שכמות החומרים הבלתי מסיסים מעידים על שכיחות גבוהה יותר של מינרלים סילקטיים אשר משפרים את יכולת ההתנגדות להחלקה של האגרנטים. בדיקה זו מיושמת לאגרנטים שמקורם במשקעי נחלים. מדגם אגרנטים עם ערך הגבוה

מ 10% של שב"מ נחשב כבעל פוטנציאל לשפר את את מקדם החיכוך [מ"מ 9]. יש לציין כי במקורות החצץ בסלעי הדולומיט השכיחים בארץ ישראל כמות סליקטים נמוכה יותר מהערך הנ"ל. יחד עם זה בדיקה זאת אינה מיושמת באופן שוטף בישראל. בשלב זה של העבודה הכוונה היא להשיג את שיפור החיכוך באמצעות עירבוב עם אגרגטים מבזלת. יתכן ובהמשך לאחר שניתן יהיה להצביע על שוני בתרומה של אגרגטים דולומיטיים ממקורות שונים יהיה מקום לבצע את בחינת השוני בשארית הבלתי מסיסה.

6. השפעת המינרולוגיה והרכב האגרגטים על תכונות החיכוך של התערובות האספלטיות

המינרולוגיה וההרכב הפטרוגרפי של סלע המקור, של האגרגט, הם המשפיעים העיקריים על קביעת יכולתו של האגרגט לתרומה פוטנציאלית לשיפור ההתנגדות להחלקה של התערובת. הקוורצית (מונה בריטי, Gritstone) טובה ותורמת יותר מהבזלת, וזו טובה יותר מהדולומיט והגיר [מ"מ 6]. על ההבדלים ניתן לעמוד בציור מס 4 להלן [מ"מ 1].



וח 1: השפעת הליטוש, המופעל ע"י התנועה, על הבדיקות סטוריה של אגרגטים בעלי ערך מ"מ שונה ועל ירידת ההתנגדות לזחלקה של ציפויים עשויים מאגרגטים אלה.
 PLATE 1: THE EFFECT OF POLISHING, MADE BY TRAFFIC, ON THE MICROTEXTURE OF AGGREGATES OF VARIOUS PSV VALUES AND ON THE DECREASE OF SKID-RESISTANCE OF SURFACINGS MADE WITH THESE AGGREGATES.

ציור מס 5: השפעת הליטוש על תערובות עם אגרגטים בעלי מינרולוגיות שונות

עירוב של מינרולוגיות לרבות ממקורות סלע בהם יש הבדלי חוזק בין חלקי המינרלים והמטריקס (סלעי יסוד ומטמורפים) נוטה לשמר הבדלי מרקם לאורך זמן [מ"מ 8] עובדה המשפרת את ההתנגדות להחלקה של שכבת האספלט לאורך זמן.

מבחיני השוואה שנערכו בסדרת בדיקות PSV, הראו כי השימוש בחלוקי נחל גרוסים [מ"מ 10] [מ"מ 13] משפר ההתנגדות להחלקה של תערובות אספלט. חלוקי הנחל הגרוסים (Crushed Gravel) מורכבים מטבעם מתערובות של מינרולוגיות שונות בהתאם לאזורים המרכיבים את אגן ההיקוות של הנחל בו נמצא מרבץ החלוקים. חומרי הגלם בנחלים מורכבים ברובם מחלוקים קשים ויחסית איתנים, שכן מרכיבי הסלע הרכים במקורות התפוררו ונשטפו עם המים. בדיקת של ההשארית הבלתי מסיסה, כנ"ל, מסייעת להבחין באם המסה של חלוקי הנחל מכילה סלעים עמידים לשחיקה, עתירי מינרלים סיליקטיים, בכמות מספקת מבלי לבצע מיון מינרולוגי מפרך לכל מדגם. יחד עם זה השימוש במדד של ערך ה PSV או מבחן אחר לעמידות לשחיקה אינו יכול להוות פרמטר עקרי, שכן בהרבה מקרים שימוש במינרולוגיה הלא נכונה עלול להוביל ליצירת תערובות עמידות לשחיקה ואולם ללא קיים [מ"מ 6] [מ"מ 11].

7. נסיונות לעירוב אגרגטים לשיפור תכונות בתערובות אספלט

לאחר סדרות של בדיקות [מ"מ 7] נמצא כי נוכחות מסוימת של אגרגטים קרבונטיים, הרגישים לשחיקה, לא פוסלת על הסף תערובות אספלט בהן מיושמת דרישה קריטריונית להתנגדות להחלקה. מעבר לכך, ב [מ"מ 10] הראו כי ערבוב של חצץ קרבונטי עם חלוקי נחל שיפר את הביצועים, מבחינת העמידות לשחיקה, בהשוואה לתוצאות שנתקבלו על תערובות אספלט אשר היו מורכבות מחלוקי נחל או גיר בלבד.

עבודה רחבת היקף מוצגת ב [מ"מ 14] בנוגע לעירוב אגרגטים ליצירת תערובות משופרות מבחינת העמידות לשחיקה. העבודה בוצעה על רקע החסר הקיים באוהיו, ארה"ב באגרגטים אשר מציגים תוצאות משביעות רצון מבחינת העמידות בשחיקה - במבחיני PSV. מטרת המחקר היתה ללמוד על האופן בו ניתן למצות את ההערבוב האופטימלי, מבחינת עלות תועלת, אשר יאפשר את השגת היעדים מבחינת העמידה בשחיקה בעלויות סבירות. תוצאות המחקר הראו כי עירוב ביחסים של 50%, 50% יצר תערובות גבוליות, בהשוואה לקריטריונים מקובלים (במדינות בארה"ב בהן

מיישמים דרישות לשחיקה) ואולם כאשר שיעור האגרטים העמידים לשחיקה היה גבוה מ 60% נתקבלו ערכים העומדים בקריטריונים השונים. יש לציין כי חלק מהאגרטים הנחותים מבחינת השחיקה, אשר נבדקו במסגרת המחקר, הציגו תכונות אשר מתאימות לאגרט סוג ב' ע"פ התקן הישראלי. גם במחקר אחר [מ"מ 12] דווח כי תערובות אספלט המכילות יותר מ 50% אגרטים הרגישים לליטוש, יציגו ירידה מואצת במקדם החיכוך לאורך הזמן בהשוואה לתערובות עם אגרטים עמידים. במדינת אלבמה לעומת זאת ניתן להשתמש באגרטים קרבונטיים בשיעור של עד 80% בתנאי שיעור השחיקה הנמדד באמצעות מטוטלת בריטית (BPN-9) גבוה מ 35.

8. התייחסות אנשי מקצוע ורשויות בעולם לנושא ערבוב אגרטים

במסגרת איסוף המידע הופצו באינטרנט מספר שאלות לפורומים מקצועיים לנושא תערובות האספלט וחומרי סלילה. בסדרת שאלות ראשונה נשאל לגבי האפשרויות:

1. החלפת האגרט העיקרי בתערובות SMA ותערובות ה-S באגרט דלומיטי, היות ותערובות מקיימות מרקם גס הנובע מאופן תכנון התערובות.
2. דילול כמות האגרטים (הבזלתיים) העמידים לשחיקה, בחלק מהמקטעים בתערובות האספלט, באגרטים בעלי עמידות מופחתת לשחיקה.

בתשובה כתב פרופ א.ט. וייזר:

From: **Prof A T Visser** [mailto:avisser@postino.up.ac.za]

Sent: Friday, July 19, 2002 ב

ערכי ה-PSV הגבוהים חשובים לעצירה בנסיעה בתחום המהירות הנמוכה. לעומת זאת במהירויות הגבוהות (מעל 100 קמ"ש), המקרוטקסטורה היא הגורם הדומיננטי. בהתאם עבור כבישים מהירים שני סוגי הפתרונות ניתנים ליישום.

בסדרת שאלות נוספות הופצה בקשה למידע בנוגע לעירוב אגרטים ע"מ ליישם שימוש אופטימלי במקורות האספקה הקיימים של החצץ בישראל. האפשרויות לערבוב שנתבקשו:

1. החלפת מקטע מסוים בתחום גדלים ידוע בתערובת האספלט.

2. עירוב של אגרגטים ממינרולוגיות שונות (דלומיט ובזלת) באותו מקטע תוך כדי שימור

ערכים גבוהים לעמידות בשחיקה.

בתשובה נתקבלו מספר תשובות:

ד"ר ק. צ'אנג כתב:

Carlos Chang, Ph.D.

Texas Transportation Institute

From: Chang-Albitres, Carlos [mailto:c-chang-albitres@TTIMAIL.TAMU.EDU]

Sent: Monday, May 21, 2007 12:32 PM

מחלקת התחבורה של טקסס (Texas DOT) מאפשרת לערבב אגרגטים באיכות A (ערכי PSV

גבוהים) עם אגרגטים באיכות B (ערכי PSV נמוכים) על מנת לקבל תערובת אספלט אשר תעמוד

בדרישות העמידה לשחיקה של תערובת נושאית. כמפורט בהנחיות:

TxDOT Item 341 "Dense Graded Hot Mix Asphalt (Qa/Qc)"

שיעור הערבוב המקסימלי המותר, בתחום האגרגט הגס, עומד על מינימום 50% אגרגט באיכות A

. באם קיים הפרש העולה על 0.3 במשקל היחסי בין שני סוגי האגרגט יש לבצע את הערבוב לפי יחסי

נפח. אספלט ממוחזר (RAP) נחשב כאגרגט באיכות B.

בנוסף ממליץ הכותב כי על מנת להוריד את שיעור האגרגטים העמידים לשחיקה מתחת לערך

המינימאלי הנ"ל יש לבצע מחקר עם בדיקות ייעודיות. יחד עם זה שימוש בתערובות גסות ופתוחות

יותר יכול, לדעתו, לאפשר הפחתה של שיעור האגרגט העמיד לשחיקה (היקר יותר) בתערובת

האספלט המתוכננת.

אינג' ד. וולבורן כתב:

Dave Welborn, International Technical Manager

SemMaterials, L.P.

From: Welborn, David [mailto:dWelborn@SEMGROUP.LP.COM]

Sent: Thursday, May 17, 2007 1:47 PM

הערבוב של האגרטים מאיכויות שונות מתבצע במספר מדינות בארה"ב לרבות טקסס כנ"ל. העיקרון בשימוש בתערובות חייב שמירה על ערכי החיכוך הגבוהים תוך שימוש בחומרים אשר מאפשרים שימור של המקרוטקסטורה לאורך הזמן.

בהתייחס לאפשרויות הערבוב אשר הוצעו, גורס הכותב כי הפוטנציאל להצלחה הוא גבוה בשתי הצורות המוצעות, מאחר והאגרטה הגירי/דולומיטי הנמצא בשימוש בארץ, מלכתחילה מציג ערכים הנעים בין 30 ל 40. האגרטים בסיווג B, המותרים לערבוב ע"פ הנחיות מדינת טקסס עלולים להציג ערכי PSV תחיליים נמוכים יותר!

דיווחים דומים לגבי אפשרויות הערבוב נתקבלו ממקורות נוספים כאשר רובם מצביעים על מדינת טקסס כמובילה בתחום מבחינת מפרט מסודר ושיטות בדיקה המבטיחות את קבלת השכבה העמידה בדרישות ההתנגדות להחלקה.

בנספח א, מובא ריכוז של הנחיות ממדינות שונות בארה"ב המרכזות את אופן בדיקת ואישור האגרטים בכל הקשור לנושא של בחינת עמידות המסעות לשחיקה וההתנגדות להחלקה. הנספח פורסם במקור ב [מ"מ 14].

ואולם לא כל הכותבים עודדו את יישום הערבוב של אגרטים באיכויות שונות כמתואר בבקשות לקבלת מידע.

אינג' ד. סניי (איסטנבול, טורקיה) כתב:

Derya Senyay

From: Asfalt Müttehahitleri Derneği [mailto:aca@asmud.org.tr]

Sent: Monday, June 04, 2007 1:27 AM

בהתאם למפרט לסלילת הכבישים המהירים (בטורקיה) כל האגרטים המשמשים ליצירת תערובות אספלט חייבים להציג ערך PSV העולה על 50. אין אפשרות ולא מומלץ ליצור ערבוב של אגרטים רכים עם קשים. לגבי שיטות הערבוב הנשאלות מציין הכותב כי החלפת המקטע הגס בתערובות לא יבוא לידי ביטוי בבדיקות - שכן ערכי ה PSV נמדדים על האגרטים בגדלים הקטנים מ 10 מ"מ (מפתח ריבועי).

גיא אופוס בע"מ

כתובת המשרד: רחוב יוזמה 2, בנין שער העיר, טירת הכרמל
כתובת למכתבים: ת"ד 7402, חיפה, 31073
טלפון: 048581999 פקס: 048574448
דואר אלקטרוני: office@geokom.co.il

בנוסף, מביע הכותב ספק לגבי היכולת להזין למפעל האספלט, בצורה מדויקת ומבוקרת, אגרגטים משני סוגי מינרולוגיות שונות.

גם בארה"ב יש מדינות אשר לא מאשרות ערבוב של אגרגטים מסיווג A עם אגרגטים נחותים יותר לשימוש בשכבות עליונות. כדוגמא לנושא ניתן לראות ב [מ"מ 15] המציג את המפרט לייצור תערובות אספלט במדינת מינסוטה. כמפורט בנספח א' מדינת מינסוטה מאפשרת לערבב אגרגטים מסיווג A בשכבה נושאית עליונה רק עם אגרגטים שמקורם בחלוקי נחל גרוסים.

9. סיכום, בחינת הפוטנציאל לשיפור מקדם החיכוך תוך ניצול אופטימלי של מקורות החצץ

באמצעות ערבוב אגרגטים.

מתוך המקורות שנסקרו עולה כי דילול כמות האגרגט העמידים לשחיקה מתוך כלל תערובת האגרגטים, גם בתערובות אספלט הנדרשות לערכי התנגדות מבוקרים וגבוהים, הינו נוהל מקובל ומיושם. הנושא מיושם באופן סטנדרטי על פי מפרטים מוסדרים והנחיות ברורות. יש להקפיד על מספר נושאים בעת תכנון תערובות ליישום מסוג זה:

1. תכולת האגרגטים העמידים לשחיקה לא תפחת ממינימום של 50% מתכולת האגרגטים המשתיירים על נפה #4. האפשרות לירידה ממינימום זה, מתאפשרת באם לאגרגט הקרבונטי המשמש לדילול יש ערכים גבוהים יחסית של התנגדות לשחיקה – יש לבחון נושא זה עם בדיקות ייעודיות לכל מחצבה/מרבץ.
2. יש ללוות את הבדיקות עם ניסויי שדה להוכחת היכולת כמקובל במספר מדינות בהם נעשה השימוש בטכנולוגיה זו.
3. דילול כמות האגרגט העמיד לשחיקה בתערובת האספלט לא תפחית את הערך הקריטריוני לקבלת שכבת האספלט מבחינת ההתנגדות לשחיקה.
4. ערבוב אגרגטים עם הפרשי משקל יחסי (G) העולים על 0.3 מחייבים ערבוב ע"פ יחסי נפח.
5. יש להקפיד במהלך ביצוע בדיקות קבלה ותכן לתערובות האספלט – לבדוק את אותם מקטעים אשר בהם מתבצעת ההחלפה/ערבוב של האגרגטים.

6. יש לוודא את יכולת מפעל האספלט המייצר להזרים את הרכבי האגרגטים בהרכבים המתוכננים באופן מדויק ומבוקר.

10. מראי מקום

1. נדביה ד. ואחרים, מחקר בחלקלקות, מסעות אספלט רטובות בישראל, דו"ח סופי, משרד הבינוי והשיכון, מע"צ המחלקה לחומרים ומחקר, ינואר 1981.
2. **רבינא א.**, נסיכי ש., בוידיק ז., העדר המשאבים של חצץ בזלת לענף התשתיות במדינת ישראל. הרצאה במסגרת הכנס הגיאולוגי השנתי, מרץ 2007.

3- Kandal P.S., Parker F., Mallick R.B., AGGREGATE TESTS FOR HOT MIX ASPHALT: STATE OF THE PRACTICE, NCAT Report 97-06, Nov 1997.

4 - ©**NORTHSTONE (NI) Ltd.** QUARRY & ASPHALT DIVISION, Aggregate Tests, (omm.. Pub.) 2007.

5 – **Prediction of Skid Resistance Performance of Chipseal Roads**, Research Report No. 256
Published 2006

6 – **Woodward, WDH., et al**, Higher PSV & other aggregate properties, Transport & Road Assessment Center, UF Ulster, Northern Ireland.

7 – **Manglorkar-D; Kandhal-PS; Parker-F Jr.** EVALUATION OF LIMESTONE COARSE AGGREGATE IN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSES.
CA: Alabama State Highway Department, 11 South Union Street, Montgomery, AL, 36130, USA
SO: 1993/07. pp104 (Figs., Tabs., 43 Ref., 1 App.)
RN: Report Number: Project No. 2019-10.; Report Number: Final Report

8 – **Furbush-MA; Styers-KE** ; RELATIONSHIP OF SKID RESISTANCE TO PETROGRAPHY OF AGGREGATES.
CA: Pennsylvania Department Transp, USA; Federal Highway Administration /US/, USA
SO: 1972/07. (3) pp35
RN: Report Number: Final Rept

9 – **Gray-JE; Renninger-FA** ; LIMESTONE WITH EXCELLENT NON-SKID PROPERTIES.
AU: CA: Crushed Stone Journal, USA
SO: 1960/12.

10 – **Kidd-SQ** ; SKID RESISTANCE AND WEAR PROPERTIES OF AGGREGATES FOR ASPHALT PAVING MIXTURES.
CA: Mississippi State Highway Department, Research and Development Division, P.O. Box 1850, Jackson, MI, 39205, USA; Federal Highway Administration, 400 7th Street, SW, Washington, DC, 20590, USA
SO: 1985/02. pp158 (Figs., Tabs., 1 App.)
RN: Report Number: MSHD-RD-85-55

11- **O'Leary-JR; Ward-RG** ; ROAD TEST RESEARCH OF SKID RESISTANT BITUMINOUS SURFACES.
CA: West Virginia Department of Highways, 1900 Washington Street East, Charleston, West VA, 25305, USA
SO: 1975/12. pp136
RN: W Va-DH 35; Report Number: FHWA-WV-76-1 Final Rpt.; Contract/Grant Number: HPR-1(11)

12 – **Nichols-FP; Balmer-G** PREDETERMINING THE POLISH RESISTANCE OF LIMESTONE AGGREGATES - DISCUSSION.

SO: Highway Research Record, Hwy Res Board. 1970.

13 – **Kandhal-PS; Parker-F Jr.; Bishara-EA**; EVALUATION OF ALABAMA LIMESTONE AGGREGATES FOR ASPHALT WEARING COURSES.

SO: Transportation Research Record. 1993. (1418) pp12-21 (6 Fig., 6 Tab., 24 Ref.)

RN: 0309055660

14 – **Liang R.Y.**, BLENDING PROPORTIONS OF HIGH SKID AND LOW SKID AGGREGATE Dept. of Civil Engineering, U.F. Akron Ohio, Ohio DOT, 2002.

15 **Minnesota DOT** - _PLANT MIXED ASPHALT PAVEMENT(2360)_Combined 2360/2350 (Gyratory/Marshall Design) Specification **Dec 12, 2006**

16. **ירון ר.**, ארם מהנדסים - התנגדות להחלקה של רשת הדרכים הבינעירוניות בישראל - סקר

ספרות והמלצות לפעולה. דו" מחקר עבור מע"צ, מאי 2000.

17 **AASHTO T278 (ASTM E303)** Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester

18 **ASTM D3042** Insoluble Residue in Carbonate Aggregate

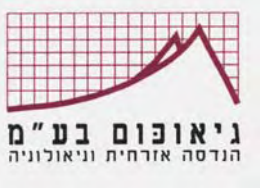
19 **AASHTO T242 (ASTM E274)** Frictional Properties of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire

20 **BS-112 Part 114**: Method for determination of the polished-stone value (PSV).

21 **ASTM E707 -90 (2002)** – Skid Resistance Measurements Using North Carolina State University Variable –Speed Friction Tester

22 **ASTM D-3319-00** Accelerated Polishing of Aggregate Using British Wheel.

23 **Roe P.G., Sinhal R.**, Recent Development to the Scrim Measurement Technique In The UK. Paper presented at the TRB convention 2005.



נספח א:

ההנחיות הניתנות ע"י רשויות התחבורה, במדינות שונות בארה"ב,

לנושא השגת ערכי חיכוך טובים מתערובות אספלט

ALABAMA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Alabama DOT uses the British Pendulum Number (BPN-9) values to qualify and determine the allowable percentage of carbonate stone used for construction of pavements. The quality of a pavement surface is controlled by specifying the percentage of carbonate stones used in its construction. BPN 9 values are also used to rate aggregate sources.

General Procedure

The state of Alabama considers friction in the design of new pavement surfaces. A laboratory procedure has been adopted to evaluate aggregates based on their frictional properties. Alabama DOT identifies carbonate stones as problem aggregates and evaluates their frictional properties before specifying an allowable percentage of carbonate stones that can be used in surface layer construction. A British Pendulum Tester is used in accordance with ASTM D3319 and ASTM E303 to determine the BPN 9 for aggregates from a particular source. The aggregate is subjected to 9 hours of accelerated polishing using the British Wheel and then a British Pendulum is used to determine the BPN 9 value.

According to Section 410.01 of Alabama DOT specifications, carbonate stones such as limestone, dolomite or aggregates which tend to polish under traffic are permitted only in underlying layers, shoulder paving and widening. However Section 416 as amended by Special Provision No: 1303(2), allows carbonate stones in wearing layers with a maximum percentage of the aggregate specified based on the BPN 9 value of the aggregate source.

Percentage of Carbonate Stone Allowed in Wearing Layers (Source: Special Provision No: 1303(2) of Alabama DOT)

BPN 9 Value of Aggregate Source	Maximum Allowable Percentage of Carbonate Stone
<25	30
26	35
27	40
28	45
29	50
30	55
31	60
32	65
33	70
34	75
>35	80

Alabama DOT allows as much as 80 percent of aggregates to be carbonate stone in a mix design when the aggregate specimens have a high BPN 9 of 35. It also states that the maximum allowable percentage values are not to be exceeded in any case.

Other types of aggregates that are used in wearing layers are siliceous aggregates such as gravel, granite, slag, sandstone or a combination of these. For a suitable mix design aggregates should meet the requirements of sections 801 and 802. These sections specify the amount of deleterious substances, percent LA wear, percent soundness, gradation etc., of siliceous coarse and fine aggregates.

FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Florida DOT evaluates frictional properties of aggregates according to the FM 5 510 Test Standard. This test determines the Acid Insoluble residue (AIR) material retained on No: 200 sieve. DOT standards specify a minimum of 12% AIR. FM 5 510 is applied to Oolitic limestone aggregate. Aggregates are also qualified based on historical correlation between minimum 12% AIR material in Oolitic limestone and adequate field friction numbers. In addition to the evaluation of field frictional tests performed on test sections. FM 5-510 is used to grant approval to potential good quality aggregates.

General Procedure

FLDOT considers friction only in Open Graded Friction Courses (OGFC) when designing new pavements. The quality of aggregates is controlled by specifying the aggregate type and limiting its use in OGFC. FLDOT evaluates frictional properties of aggregates by determining the AIR in accordance with FM 5-510 Test procedure, which is specifically applied to Oolitic limestone. A minimum of 60 percent Oolitic limestone is used in OGFC. The experience of FLDOT has shown that the reproducibility of test results in FM 5-510 is good. The results of laboratory frictional tests on aggregates have been found to be in good correlation with aggregate field performance.

Aggregate Source Approval Aggregate sources are approved in accordance with Chapter 14-103, Aggregate Source Approval, Rules of the Department of Transportation. This chapter provides the procedures for approving aggregate sources, which are intended to be the source of specific aggregates for use on Florida DOT projects.

Characteristics of aggregates such as color, texture, hardness, physical or chemical properties, and other properties are determined in accordance with the Manual of Florida Sampling and Testing Methods or other recognized testing procedures in accordance with ASTM C 295-85. Acid Insoluble Material retained on the No. 200 sieve is determined using a minimum of five specimens in accordance with FM 5-510. Results of wear tests, hardness, crushed faces, angularity and other relevant frictional characteristics are also obtained.

Field Tests A trial section with a minimum length of 500ft is constructed using the aggregate requiring source approval. Frictional characteristics of the trial section surface are determined using Locked Wheel Trailer Methods in accordance with ASTM E274 Test Method. If the test results are found to be satisfactory, then a test section, which has a minimum speed limit of 50 mph with an ADT of 14,000, is constructed. The test section is constructed in such a way that it has a minimum of four lanes, a length of 1000 ft, and has no intersections, ramps or curves. At the same

time a control section is constructed with an already approved aggregate. Frictional tests are conducted on the test section and the control section by the State Materials Office at a speed of 40 mph in accordance with ASTM E274-85, using both Rib and Blank test tires. Additional testing is done at a speed of 60 mph, if found to be necessary. Friction tests are continued until the accumulated traffic reaches six million vehicles and/or till the friction number stabilizes. Results of the test and control section are then compared. Approval to the new aggregate source is given only when the comparison is favorable.

KENTUCKY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

KYDOT classifies aggregates based on Acid Insoluble Residue Test results. It has identified aggregate sources which have demonstrated satisfactory polish resistant qualities when used in surface mixes. In addition to meeting the polish resistant requirements, sampling and testing of aggregates is performed on an individual project basis to evaluate the polish resistant qualities of aggregates.

General Procedure

Aggregates supplied for use in surface courses should meet the requirements of the KYDOT Standard Specifications sections 804 and 805, Special Notes, and restrictions contained therein. Acid Insoluble residue (AIR) Tests (KM 64 223) are conducted to ascertain polish resistant qualities of aggregates to be used in friction courses. Aggregates from sources demonstrating satisfactory resistance to polish are classified into classes A or B based on test results.

Class A Aggregate Sources Aggregates from a source exhibiting minimum AIR of 50 percent or greater are considered Class A. An aggregate is also considered Class A based on satisfactory skid resistant performance in another state, laboratory test, and field tests on experimental test sections. Blending of aggregates from Class A sources is approved on a project by project basis upon request to the Division of Materials Central Laboratory. KYDOT has identified Class A polish resistant aggregate sources which supply crushed gravel, crushed slag, crushed quartzite, crushed siltstone, crushed sandstone, crushed granite, trap rock, dolomite and limestone. Dolomite and Limestone aggregates are permitted as a coarse aggregate for all uses, except as surface courses of interstate highways.

Class B Aggregate Sources Pending further investigation, aggregates which are restricted from being used in polish resistant bituminous surface mixes are considered Class B. Aggregates from sources listed under class B are allowed to be used only if the project bid item permits and in accordance with "Special Note for Polish Resistant Aggregate Requirements of sections 804 and 805". Upon satisfactory history of performance of an aggregate from class B, it can be added to the source list of class A. Aggregate sources are removed from the list of polish resistant aggregate sources if they exhibit poor performance. The following are requirements for an aggregate source to be in class B:

Limestone Aggregate source Aggregates have to exhibit abreast 15% AIR content when tested in accordance with KM 64-223 or should have a positive indication of satisfactory resistance to polish before its use is allowed in a polish resistant portion.

Gravel Aggregate Source Aggregates from these sources have to exhibit 15 to 50% AIR content when tested in accordance with KM 64-223.

Dolomite Aggregate Source Dolomite aggregates have to exhibit at least 37% of MgCO₃ present in them when tested in accordance with KM 64-224 or else they should have

satisfactory skid resistance. In addition, dolomite aggregates should not have absorption greater than 3% when tested in accordance with KM 64-607.

LOUISIANA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Louisiana DOT considers friction in the design of new pavements by controlling aggregate quality. Polish value Test has been adopted as a laboratory procedure for controlling aggregate quality. Based on the results of the Polish Value Test aggregates are assigned a frictional rating. This frictional rating of an aggregate determines the maximum allowable percentage of that aggregate to be used in a mix design.

General Procedure

The Louisiana Department of Transportation uses the Polish Value Test as a means of controlling the quality of aggregates that are used in friction courses. Aggregates to be used in friction courses should conform with Subsection 1003.01 and they can be either crushed gravel, crushed stone, crushed slag or lightweight aggregate. In addition, aggregates are assigned a friction rating according to Subsection 1 003.06(a) and the procedure of assigning friction rating is as follows:

Friction Rating	Description
I	Used for aggregates with a Polish Value of 37 or greater and which demonstrate an ability to retain acceptable friction numbers for the service life of the pavement.
II	Used for aggregates which have a Polish Value of 35 to 37 and demonstrate an ability to retain adequate friction numbers for the life of the pavement.
III	Used for aggregates having a Polish Value of 30 to 24 and which demonstrate an ability to retain adequate friction numbers for the life of the pavement.
IV	Used for aggregates with a Polish Value of 20 to 29.

Based on the friction rating of aggregates they are allowed in particular types of mixes. The allowable usage of coarse aggregates shall be as follows:

Friction Rating	Allowable Usage
I	All Mixtures
II	All Mixtures
III	All Mixtures except mix Type 8F WC [†]
IV	All Mixtures except mix Types 3WC [‡] , 8WC of 8F WC

[†] For Type 8F WC mix at least 30 percent by weight of the total aggregate by volume shall have friction rating T or at least 50 percent by weight of the total aggregate by volume shall have a friction rating II. An additional requirement imposed is that, not more than 10 percent of these materials shall pass the No. 10 sieve.

[‡] For type 3-WC mix when the ADT/Lane is greater than 1000 vehicles per day, a minimum of 50 percent by weight of the coarse aggregate used in Type 3 WC mixtures may also be used in the construction of shoulders, drives, curbs and detours. The above mentioned aggregate requirements are in addition to those mentioned for mix types 8, 8F, and 3 in section 501.02, (c), (5) a, b, and c.

MICHIGAN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Aggregates used in the construction of surface courses of the traveled roadway must meet Aggregate Wear Index (AWI) requirements. All aggregates are rated for polishing resistance. Each aggregate is assigned an AWI based on the results of Wear Track Testing (MTM 111) and/or Petrographic Analysis (MTM 112) of representative sample of the aggregate. Only aggregates with suitable AWI members are permitted to be used. Blending of aggregate is permitted provided; the blends achieve the desired AWI requirements when used in a mix.

General Procedure

Michigan DOT employs coarse aggregates, in dense graded, and open graded mix designs. All aggregates are subjected to tests as outlined in section 8.02.02 of the Standard Specification for Construction. The gradation and physical requirements for the aggregates employed are listed in tables 8.01-1 and 8.02-2 of the standard specifications.

Table 8.02-2 provides specifications on the minimum percentage of crushed material, maximum percentage loss by Los Angeles abrasion (MTM 102), maximum percentage of chert, maximum percentage of Freeze Thaw Dilation per 100 cycles, and maximum percentage of sum of soft particles and chert for gravel, stone, and crushed concrete. The table also provides specification on maximum percentage of Freeze Thaw Dilation per 100 cycles for slag aggregates.

In addition to the above specifications, Aggregate Wear Index (AWI) is specified for a roadway. Wear Track Testing (MTM 111) and Petrographic Analysis (MTM 112) are two test procedures employed to determine the AWI numbers. The two laboratory test procedures are briefly described below.

Wear Track Testing (MTM 111) in MTM 111, sieve analysis is performed on selected aggregate sample. Aggregate particles in the size of 3/8 in. retained on No. 4 sieve are separated and they are placed in etch treated steel specimen molds. The molds are trapezoidal in shape, with dimensions of the parallel sides being 15-1/2" and 19-1/2", yielding a test slab of the same thickness. Portland cement mortar is poured in the mold containing aggregate particles. Wire reinforcement is provided in the mold whenever necessary. The surface of the slabs are brushed and cleaned after curing them for 24 hours. The slabs are then cured for 7 days in moist air and 14 days in air. Sixteen slabs are needed to conduct a wear track test.

Initial friction values of the cured slabs are obtained using a static friction tester. The slabs are now clamped in place on a circular test bed of 7 ft. diameter set on a concrete pedestal. Polishing is accomplished by two 15" smooth treaded tires (ASTM E 524) mounted on a horizontal cross arm. Each polishing wheel is spring loaded to 800 lbs to simulate the weight of a vehicle. The circular track is then subjected to half a million wheel passes. The specimens are skid tested on a static skid test device containing 15"

smooth tread test tire (ASTM E 524) mounted in a framework containing a calibrated load cell. The specimens are wetted by a recirculating water sprayer. The static test tire is rotated to a speed of 40 mph before bringing it in contact with the test slab. A high speed oscillograph records the torque generated by the contact of the test tire and the slab. Static skid tests are done on slabs at intervals of half million wheel passes up to four million wheel passes. A set of eight static skid tests constitute a complete set of skid tests for a wear track test series. The static skid test values at half million and one million wheel pass intervals are dropped. The least square line is computed using the remaining six static skid test values. The static skid test value on the least square line corresponding to four million passes is reported as the AWI for the aggregate sample used in wear track testing.

Revised Informational memorandum, #374-R, dated 26 June 1990 provides the AWI number requirements based on ADT values.

ADT	AWI (Minimum)
Less than 100 per lane	No requirement
100 to 500 per lane	220
500 or greater per lane	260

MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Friction in surface courses of pavements is considered by controlling the quality of aggregate used in pavement construction. Aggregate used in pavement construction are classified into five different classes. Acid Insoluble Residue (AIR) test has been adopted by the Minnesota DOT as a means of classifying aggregates.

General Procedure

The Minnesota DOT provides specifications for aggregates to be used in bituminous mixtures. Aggregates used in pavement construction should conform to any one of the five classes described in article 3139.2, Composition Graded Aggregates for Bituminous Mixtures. The different aggregate classes are:

Class	Aggregate Use
A	crushed quarry or mine trap rock, quartzite, granite, other igneous or metamorphic rock as approved,
B	crushed quarry or mine rock, carbonate, rhyolite, schist,
C	natural or partly crushed natural gravel,
D	100 percent crushed natural gravel,
E	steel slag or a blend of any two or more aggregates from classes A, B and D. Steel slag is used only in wearing courses with maximum allowable percentage of 35 by weight of the total aggregate. Minnesota DOT must approve a class E aggregate before it is used in pavement construction.

Aggregates used in wearing courses shall be crushed stone conforming to classes A, D or a combination of both. Carbonate stone is not allowed for use in wearing courses.

Sampling and testing of aggregates are performed in accordance with the MNDOT Bituminous Manual. Los Angeles rattle Loss (LA Abrasion) is performed to check quality requirements of aggregates with percentage loss on coarse aggregate fraction not exceeding 40 percent. Magnesium Sulfate tests are performed to determine the soundness of aggregates. MNDOT mentions the use of Acid Insoluble Residue (AIR) Test to determine the frictional characteristics of aggregates. The information on AIR tests provided to us is insufficient to make any comments on the AIR procedure adopted by MNDOT.

MISSISSIPPI DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

MSDOT considers friction in the design of new pavements by controlling aggregate quality through laboratory test. Petrographic analysis and number of fractured faces, of crushed aggregates are two laboratory procedures adopted by MSDOT. Aggregate types and limiting percentage of crushed limestone are the means of controlling aggregate quality.

General Procedure

MSDOT specifies that at least 90 percent by weight of the combined aggregates retained on #4 sieve shall have two or more mechanically fractured faces. Crushed limestone is permitted for use in Hot Mix Asphalt Concrete and seal coat surfaces, provided that limestone shall not exceed 30 percent of the combined aggregate weight retained on the #8 sieve and/or limestone shall not exceed 30 percent of the total combined aggregate by weight passing through #8 sieve.

Standard Operating Procedures (S.O.P) No: TMD-23-01-00-000 of June 1, 1978 provides the guidelines for aggregate sampling, testing, inspecting and reporting. Guidelines are provided for the approval of good quality aggregate sources. A petrographic analysis of the aggregate deposit is performed only when it is considered necessary.

NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (NJDOT) CONSIDERS FRICTION IN THE DESIGN OF NEW PAVEMENTS BY CONTROLLING THE QUALITY OF AGGREGATE USED IN MIX DESIGN. BUREAU OF RESEARCH CONDUCTED STUDIES TO DEVELOP A LABORATORY TEST METHOD FOR PREQUALIFYING AGGREGATES BASED ON POLISH VALUE OF AGGREGATES. NJDOT SPECIFIES AGGREGATES TO BE USED IN BITUMINOUS MIXTURES IN SECTION 901 OF THE STANDARD SPECIFICATIONS FOR ROAD AND BRIDGE CONSTRUCTION- 1989.

General Procedure

NJDOT recognized the need to prequalify aggregates used in pavement construction based on their frictional properties. The Bureau of Research conducted a Skid Resistance Implementation study and submitted a report (FHWA/NJ -94-002-7750) to NJDOT in May, 1994.

The objectives of the study conducted by the Bureau of Research were to develop a laboratory procedure for qualifying aggregates based on expected terminal skid resistance. The expected terminal skid resistance of a pavement surface is the constant terminal skid resistance value after approximately two million vehicle passes over a pavement surface. Field skid tests in accordance with ASTM E-274 were performed to determine skid numbers at 40 mph. A regression model of the form shown below was used to predict the terminal skid number.

$$SN_{40} = SN_{Terminal} + B1.Sin((B2.JDay) + B3) \quad (1)$$

- Where,
- SN₄₀ = Skid number measured at 40 mph.
 - SN_{Terminal} = Terminal value of skid resistance.
 - JDay = Julian Calendar Day.
 - B1 = Estimated regression coefficient accounting for variations of the seasonal effect and between 1.3 and 3.0. NJDOT adopted a nominal of 3.0 for B1 was found to range.
 - B2 = A constant for converting the annual seasonal cycle to 360 Degrees. The value of B2 is 0.986.
 - B3 = Estimated regression coefficient for lateral displacement of the seasonal effect. B3 was found to be equivalent to 2 days and was ignored by NJDOT.

The model is now reduced to a simple equation, which is used to determine the terminal skid resistance.

$$SN_{40} = SN_{Terminal} + 3.Sin(0.986.JDay) \quad (2)$$

The terminal skid resistance data was obtained at 26 field sites using equation 2. Pavement cores were obtained from these sites. Polish values of aggregate samples

obtained from the pavement cores were determined in the laboratory. A linear regression model was fitted to the terminal skid resistance and polish value data. The regression model is given by equation 3.

$$SN_{Terminal} = 0.5 + 1.37 PV \quad (3)$$

Where 0.5 and 1.37 are regression constants and PV is the polish value of the aggregate samples determined in the laboratory. NJDOT observed that the terminal skid resistance value of a pavement surface was greater than the polish value of the aggregates determined in the laboratory. The terminal skid resistance is representative of performance of the pavement matrix whereas polish value reflects the characteristics of the aggregate samples.

Equations 2 and 3 are used to predict the field performance of candidate aggregate samples. Assuming that equation 3 is correct, the procedure for evaluating candidate aggregates involves the selection of a desired terminal skid resistance value for a pavement surface. A slight variation is allowed to this value to account for seasonal variation. The values of terminal skid resistance are now used in equation 3 to determine the minimum expected laboratory polish value required of the candidate aggregate samples. Polish value test is conducted in the laboratory on seven specimens of the aggregate in accordance with ASTM 3319. The polish values of the specimens are measured at 0, 1, 2, and 4 hours after the test is begun using a British Pendulum Tester. A regression line is fitted to the four observed polish values. The line is of the form described below

$$Y = A + BX \quad (4)$$

WHERE, Y = AVERAGE OF THE POLISH VALUES MEASURED IN THE LABORATORY.

- X = 1/(t+1), t=0, 1, 2, 4 are test duration in hours.
- A = Constant term obtained from regression analysis.
- B = Regression coefficient.

The value of the constant term (A) must be greater than the minimum required polish value and it is tested against the polish value of a control aggregate sample. Upon satisfactory performance the candidate aggregate samples are approved for use in pavement construction.

The procedure described above is being used by the NJDOT to approve candidate aggregate sources for the past two years. The entire procedure is based on the assumption that equation 3 is correct. It has been cited by the NJDOT that the evaluation procedure is effective at 50 percent confidence interval limits. No information is provided at this time

as to the inclusion of above mentioned aggregate evaluation procedure in the standard specifications of NJDOT.

OKLAHOMA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

OKDOT considers friction when designing and constructing new pavements. Acid Insoluble Residue (AIR) Test is used by OKDOT as a laboratory procedure to screen aggregates for surface courses. On conducting AIR test for candidate aggregate samples the percentage loss is determined. For aggregates to be used in the surface a maximum percentage loss of 30 percent is fixed. Candidate aggregates exhibiting percentages greater than 30 are not allowed to be used in surface courses.

A cut-off field number of 35 is fixed by the OKDOT. When the skid number of a pavement falls below 35 rehabilitation steps are undertaken. Constant monitoring of pavement surfaces is not undertaken, but whenever possible problem areas are identified. No adjustments are specified to account for seasonal changes or variations in speed during field skid testing.

PENNSYLVANIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Penn DOT classifies aggregates into five different groups. This classification governs the use of aggregates for different pavement sections depending on the amount of traffic in each section. Aggregates are classified based on the result of Petrographic Analysis, Accelerated Polishing Test, and Acid Insoluble Residue (AIR) tests. The three types of tests are a means of controlling the quality of aggregate used in pavement construction. Penn DOT also uses past field performances of aggregates as a technique for aggregate classification.

General Procedure

Aggregates for surface courses are classified based on their Skid Resistance Level (SRL) as follows

Classification Based on SRL	Rock Type
L – Low	Limestone and few finely textured Dolomites
M – Medium	Dolomites and some types of Limestone
G – Good	Siliceous Dolomite and Limestone, Gravel with over 25% carbonate
H – High Grade	Gravel with over 10% carbonate, Quartzite, Siltstone, Argillite, Gneiss, Diabase and Blast Furnace Slag
E – Excellent	Gravel and Sandstone

Aggregates passing through the general classification listed above are used in pavement construction. The use of a certain type of aggregate will be governed by the amount of traffic in each pavement section. The skid resistance level (SRL) of aggregates is related to average daily traffic volume as in the following table.

Average Daily Traffic	SRL Required
1000 and Below	E, H, G, M, L
1000 to 3000	E, H, G, M
3000 to 5000	E, H, G
5000 to 20000	E or H
20000 and Above	E

three laboratory techniques namely Petrographic Analysis, Accelerated Polishing Test and Acid Insoluble Residue Test are used to determine the SRL of aggregates. However, Petrographic Analysis is used as the main indicator of SRL and it provides information

on the type of rock, grain size, matrix and the extent of weathering. The accelerated polishing method used by Penn DOT is similar to the one used by Texas. The results of

The Polishing Test is used as a supplement to Petrographic Analysis. AIR used to evaluate aggregate frictional properties when it is difficult to evaluate frictional properties by petrographic analysis. The aggregate rating system is qualitative and is not an automated system.

Penn DOT also makes use of performance history of aggregates used in pavement construction. An aggregate is upgraded in class depending on its performance history. The performance history should be available on at least 10 projects and for a period of at least 2 years. Aggregates from new sources are tested in the laboratory and depending on the results they are approved for construction. Pavements constructed with aggregates from new sources are followed up with skid testing to ensure adequate performance with respect to skid resistance.

TENNESSEE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

TNDOT considers friction in the design of new pavement surfaces by controlling the quality of aggregates used in pavement construction. Aggregates are classified into three types based on skid resistance performance Polish Value Test and Acid Insoluble Residue (AIR). These tests are used in the laboratory to evaluate frictional properties of the aggregates.

General Procedure

Coarse aggregates used for pavement construction usually consists of crushed gravel, crushed granite, crushed slag, crushed quartzite, crushed calcareous sandstone and crushed gneiss. Aggregates are classified into three types and any aggregate used in pavement shall have physical, chemical and performance characteristics of either of the three types. The three types of aggregate classification are briefly discussed below.

- Type I Aggregates are considered Type I upon exhibiting a minimum of 50 percent silica dioxide content and a maximum of 32 percent calcium carbonate content. The ATR results of a coarse aggregate of type I should contain a minimum of 50 percent by weight of original sample of AIR that is coarser than the No. 100 sieve. Aggregates of this type should have a minimum Polish Value of 33.
- Type II Type II aggregates should have a minimum 30 percent of silica dioxide content and a minimum of 35 percent by weight of original sample of ATR that is coarser than No. 100 sieve. Aggregate of this type should have a minimum Polish Value of 30.
- Type III Aggregates classified under Type III should have a minimum 20 percent of silica dioxide and a minimum of 25 percent by weight of the original sample of ATR that is coarser than No. 100 sieve. The minimum expected Polish Value is 25.

The use of carbonate rocks such as limestone and dolomite is not permitted in coarse aggregate. An aggregate when combined with required amount of bitumen, should have a mix with the following characteristics.

Characteristic	High Volume Roads (ADT > 1000)	Low Volume Roads (ADT < 1000)
Min Stability (lb)	2000	1000
Void Content (%)	3 – 5.5	2 – 5
Flow	8 – 16	8 – 16
Min. VMA	14	-
Dust to Asphalt Ratio	0.6 – 12	-

The dust to asphalt ratio is defined as the percent of the total aggregate sample that passes the 200 mesh sieve as determined by AASHTO T- 11 divided by the percent asphalt in the total mix.

When a asphalt mix designated as ‘Grade E’ by TNDOT, is used for traffic lanes, the mineral aggregate shall be composed of not less than 50 percent nor more than 80 percent of crushed limestone, and not more than or not less than 20 percent natural sand, slag sand or sand manufactured from gravel. Limestone is allowed to be used in a grade E mix when constructing shoulders or other non traffic lane construction.

Several different aggregates are used in the state of Tennessee. Gravel with 3 to 5 percent absorption is used in western parts of the state. Mine slag and siliceous carbonate gravel with varying silica contents are used in the middle parts of the state. Gravel, slag and granite from North Carolina, West Virginia and Virginia are used in Eastern Tennessee.

TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Texas DOT considers friction of surface courses when designing new pavements. Friction of surface courses is taken care by controlling the quality of aggregates used in pavement construction. TXDOT uses, the Polish Value Test to evaluate the frictional Quality of aggregate. Based on the results of the Polish Value Test aggregate sources are rated for rise in pavement construction. Of late TXDOT has found that Polish Test is not a good indicator of the frictional properties of aggregates. Past field performance of aggregates used in pavement surface is used to evaluate aggregate source.

General Procedure

Item 302 of TXDOT’s Standard specifications for construction of Highways, Streets and Bridges provides specifications on aggregates for surface treatments. Aggregates used for surface treatments shall be composed of gravel, crushed gravel, crushed stone. Crushed slag or natural limestone rock asphalt and should comply with specifications mentioned in section 302.2 of item 302. Some of these specifications are tabulated below.

Table for Specifications for Aggregates for Surface Courses

Test Method	Specification
Tex-217-F, Part I	Not more than 2.0 percent by weight of soft particles and other deleterious material are allowed in aggregates.
Tex-217-F, Part II	Not more than 1.0 percent loss from fine dust, clay like particles and/or silt allowed
Tex-224-F	Flakiness Index for aggregates shall not exceed 17 unless otherwise stated on plans
Tex-410-A	Percent wear shall not exceed 35 percent
Tex-460-A, Part I	Crushed gravel shall have a minimum of 85 percent of the particles retained on No. 4 sieve with two or more mechanically induced crushed faces.
Tex-411-A	The loss from 5 cycles of magnesium sulfate soundness test shall not exceed 25 percent.
Tex-438-A	Polish Value of the aggregate shall not be less than the value shown on the plans. Polish Value requirement is applicable only to aggregate used on travel lanes

Based on the results of Polish Value Test an aggregate source is either approved or rejected. The Materials and Test Division of TXDOT uses the rated Source Polish Value (RSPV) for an aggregate source to prepare a catalog of approved aggregate sources.

When aggregate are supplied from sources that are not rated, Polish Value Tests are conducted on the aggregate samples in accordance with test methods Tex-400-A and Tex-438-A, Part I. Blending of aggregates to obtain the required Polish value is sometimes permitted, but it is allowed depending on the requirements of the project. Test method Tex-38-A, Part II, Method B is used to determine the blend percentages. However, in blends a minimum of 50 percent by volume should be non polishing aggregates.

The specifications of Polish Value Test eliminates aggregates from sources which fail to meet the Polish Value requirements. This elimination procedure classifies most of the aggregate sources in the State of Texas as failing to meet the Polish Value Test specifications. In order to overcome the elimination of aggregate sources, TXDOT adopted the use of historical field performance of aggregates in surface courses as a means of rating aggregate sources. TXDOT adopted FHWA guidelines for evaluating aggregates based on their historical field performance.

UTAH DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Utah Department of Transportation (DOT) considers friction of surface courses while designing new pavements. The quality of aggregate used in surface courses is controlled by Polish Value Test. The test is used to screen the aggregates for skid resistance. The experience of Utah DOT has shown that Polish Value Test is not a reliable indicator of aggregate frictional properties. Sometimes aggregates with lower Polish Values have performed better in the field. Utah DOT is considered to opt for a chemical analysis procedure to determine the amount of carbonates in aggregates.

A cutoff value of 38 is used to qualify aggregates when tested with British Pendulum Tester to determine the British Pendulum Number (BPN). The Utah DOT experienced problems regarding the rate at which the fine silica carbide grit is applied during the Polish Value Testing. Hence the cutoff value might be changed by the ongoing research.