

Dr. Ing. PAWEŁ MIECZKOWSKI, pawel.mieczkowski@ps.pl
Technische Universität Szczecin

AUSNUTZUNG VON GUMMIABFÄLLEN BEI DER HERSTELLUNG VON MINERAL-ASPHALT-GEMISCHEN

Die Zunahme des Kraftwagenverkehrs macht eine Erhöhung der Anforderungen an Straßendecken notwendig. Dies wiederum führt zur Notwendigkeit die Qualität der eingesetzten Baustoffe zu verbessern. Im Fall der Mineral-Asphalt-Gemische (MAG) sind es Zuschlagstoffe und Asphalt, und der Einsatz von Zusatzmitteln und Beimischungen, die einen Einfluss auf die Eigenschaften des Konglomerats dieser Baustoffe haben. Die Verbesserung der Qualität der Zuschlagsstoffe wird vor allem durch die Wahl einer für die Aufbereitung des gegebenen Gesteins vorteilhaften Verfahrenstechnik erreicht. Im Fall der Asphalte, müssen die Materialverbesserungen neben der Verkehrsbelastung auch die Klima- und Wetterbedingungen berücksichtigen. Die Lösung sind die in Polen immer häufiger eingesetzten modifizierten Asphalte. Eine der Methoden der Veredelung ist die Modifizierung der Bindemittel durch die Zugabe von Pulvergummi, welches durch der Zerkleinerung der Abfälle aus abgenutzten Autoreifen hergestellt wird. Das Pulvergummi wird dank folgend Eigenschaften eingesetzt: eine hohe Elastizität in einem breiten Temperaturbereich, die Fähigkeit zur elastischen Verformung infolge der dynamischen und statischen Einwirkungen, und die Beständigkeit gegen sie die Wirkung chemischer Substanzen. Der Einsatz des Gummipulvers in Mineral-Asphalt-Gemischen verbessert die Stabilität, die Zugfestigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit. Der Einsatz von Gummi zur Verbesserung der MAG hat auch einen Umweltfaktor und zwar die Reduzierung der Menge zu entsorgende Autoreifen, auf Abfalldeponier.

Stichworte: Gummimehl, modifizierten Bitumen, Druckfestigkeit, Beständigkeit gegen Eindicken, Index der Penetration, Stabilität lt. Marshall

1. VERWENDUNG DER ABGENUTZTEN AUTOREIFEN

Die Gummiindustrie erzeugt eine bedeutende Menge der Produktions- und Gebrauchsabfälle, was sich aus spezifischen verfahrenstechnischen Merkmalen des Herstellungsprozesses ergibt, insbesondere – den Vulkanisierungsprozesser, infolge dessen das Produkt die endgültige Form und Gebrauchsparameters erhält. Das Produktionsvolumen der Gummiindustrie wird auf ca. 35 Mio. Tonnen im Jahr geschätzt, davon machen Autoreifen ca. 80% der Materialien nach dem Gebrauch aus [1]. Abgenutzte Autoreifen stellen ein ernsthaftes Problem dar aufgrund der Brandgefahr, der geschaffenen Mikroumwelt (Entwicklung der Nagetiere und anderer Schädlinge) und ihrer Beständigkeit gegen über Biodegradierung. Zu den grundschaftlichen der Möglichkeiten der abgenutzten Reifen zählen Regenerierungsprozesse, Materialrecycling und Energierecycling.

Unter dem Regenerierungsprozess der Reifen wirtschaftlichen Nutzung versteht man deren Runderneuerung, die darin besteht, dass die Reifenlaufflächen entweder im Kaltklebverfahren (die neue Schicht der vulkanisierten Lauffläche wird auf die Karkasse des abgenutzten Reifens geklebt) oder im Warmverfahren (die nicht vulkanisierte Lauffläche wird auf den abgenutzten Reifen aufgesetzt und anschließend wird alles gemeinsam vulkanisiert).

Das Materialrecycling besteht darin, das die Reifen material, besonders des Gummis, in zerkleinerten Form wieder zu verwenden. Es werden zwei Methoden der Reifenzerkleinerung eingesetzt. Die erste, klassische Methode besteht im mechanischen Schneiden und Zerreiben der Reifen in speziellen Reifenschreddermaschinen. Die zweite Methode verwendet die kryogenische Methode, die darin besteht, Reifen zuerst mit Hilfe des flüssigen Stickstoffs einzufrieren und anschließend in Hammermühlen zu zerkleinern. Das infolge des Zerkleinerungsprozesses erzielte Material wird in Abhängigkeit von der Größe der Stücke in folgende Kategorien unterteilt: Fetzen (40–300 mm), Chips (10–40 mm), Granulat (1–10mm), Mehl (0–1 mm) und Schliff (0–40 mm).

Die Größe der Stücke ist für die Verwendungsart des Rohstoffes entscheidend. Fetzen und Chips werden als Füllstoffe in Konstruktionselementen von Bauten aufgrund ihrer Isoliereigenschaften (Schall- und Wärmedämmung) und der Wasserfestigkeit eingesetzt. Der Gummischliff wird für den Bau der Decken von Spiel-, und Sportplätzen, u.ä. eingesetzt. Das Mehl und Granulat finden ihren Einsatz im Straßenbau. Das erste von den genannten Materialien wird zur Modifizierung der Asphaltbindemittel verwendet, das andere als Ergänzung des Mineralgemisches im Konglomerat mit Asphalt.

Das Energierecycling besteht in der Verwendung der abgenutzten Reifen als ergänzenden Brennstoffen zu Kohle, Feinkohle oder Heizöl. Der häufigste Abnehmer dieses Rohstoffes sind Zementwerke. Die letzte Recyclingmethode wird aus Umweltgründen nur im äußersten Fall eingesetzt (während der Verbrennung kommt es zur SO₂ Emission).

Die Methoden der Verwertung von abgenutzten Reifen in Polen im Jahre 2003 stellt die Fig. 1 dar.

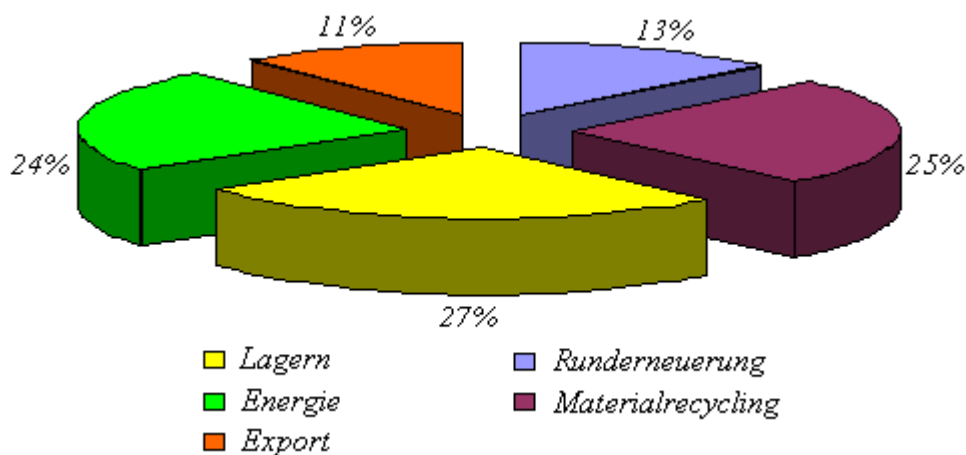


Fig. 1. Methoden der Verwertung von abgenutzten Reifen in Polen im Jahre 2003.

2. CHARAKTERISTIK DES ASPHALT-GUMMI-BINDEMITTELS

Die mit Polymeren modifizierten Asphalte verbessern die Lebensdauer und die Festigkeitsparameter der Straßendecke. Der Einsatz des Gummimehls, als eine Asphaltzusatzmittel bewirkt ähnliche Effekte. Es wird dazu die sog. "nasse Methode" eingesetzt, die im unmittelbaren Vermischen des Gummimehls mit dem erhitzten Asphalt in entsprechenden Mischung verhältnissen besteht. Der Anteil des Gummimehls ist üblicherweise kleiner als 15% bei einer Zeit der Wärmebehandlung zwischen über zehn Minuten und einigen Stunden [2, 3, 4, 5]. In dieser Methode wird die Devulkanisation [2] von Gummi angestrebt (Wiedergewinnung von Kautschuk infolge der Oxidation des zur Vulkanisation verwendeten Schwefels).

An der Technischen Universität Szczecin sind neuerdings Forschungen an der Verwendung von Gummimehl zum Modifizieren des Asphaltbindemittels durch geführt worden [6]. Zu diesem Zweck verwendete man den Bitumen 50/70 aus der Danziger Raffinerie und das Gummimehl mit einer Körnung # 0/0,85 mm aus dem Werk „Meyer&Hosaya“ in Mielec. Das Zusammensetzen der beiden Bestandteile erfolgte bei einer Temperatur von 200°C wegen des schnellsten Aufquellens von Gummi bei dieser Temperatur, was in der Konsequenz zum Verkürzen der Mischzeit der beiden Komponenten führte. Die Zeit des Zusammensetzens betrug 2 Stunden, wobei das Mischen alle 10 Minuten erfolgte bei einer Materialaufbereitung Mischzeit von 1,5 Minuten. Die Drehgeschwindigkeit des Mixers betrug 70 U./min. Das Einschränken der Aufbereitungszeit auf 2 Stunden wurde durch einen wesentlichen Abfall der Festigkeitseigenschaften der Gemische erreicht, die länger erhitzt waren (2,5 und 3 Stunden).

Die Untersuchungsergebnisse vom reinen Asphalt und der Asphalt-Gummi-Gemische (mit Gummianteil 2, 5, 10 und 15%) sind in Fig. 2, Fig. 3 und in der Tabelle 1 dargestellt.

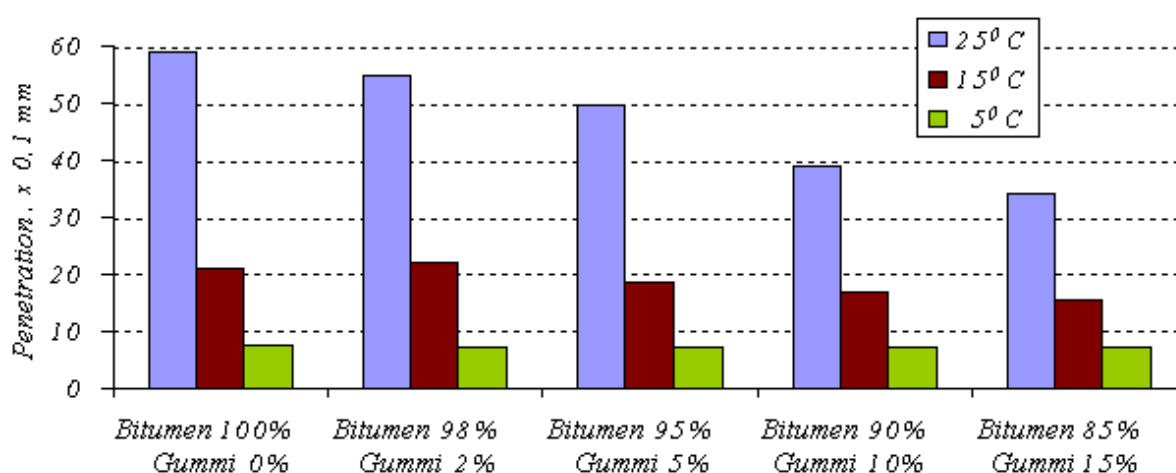


Fig. 2. Penetrationseigenschaften vom reinen Bitumen und des Bitumen-Gummi-Gemisches in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Penetrationseigenschaften wurden in drei Temperaturen untersucht, bei 25, 15 und 5°C. Dies erlaubte die Bestimmung des Index der Penetration IP als auch

der Temperaturempfindlichkeit A. Diese Parameter erlauben sowohl die Bewertung des Bindemittelverhaltens infolge der Temperaturänderungen als auch dessen rheologischen Charakters. Zusätzlich, aus der logarithmischen Abhängigkeit der Penetration von der Temperatur, wurde der Umformbereich vom reinen Asphalt und vom Asphalt-Gummi-Gemisch bestimmt und genau gesagt die Temperatur der Brüchigkeit laut Fraass (T_L), die der Penetration von $1,25 \times 0,1$ mm entspricht. Die Temperatur der Erweichung wurde nach der Methode "Ring und Kugel" bestimmt (R&K). Die während der Untersuchungen erzielten Werte (T_{PiK}) wichen geringfügig von den Werten ab, die aus der logarithmischen Abhängigkeit ermittelt wurden (bis 3%), welches von einem geringen Parafingehalt im Asphalt zeugt. Für die Berechnungen wurde der Wert aus den Untersuchungen genommen.

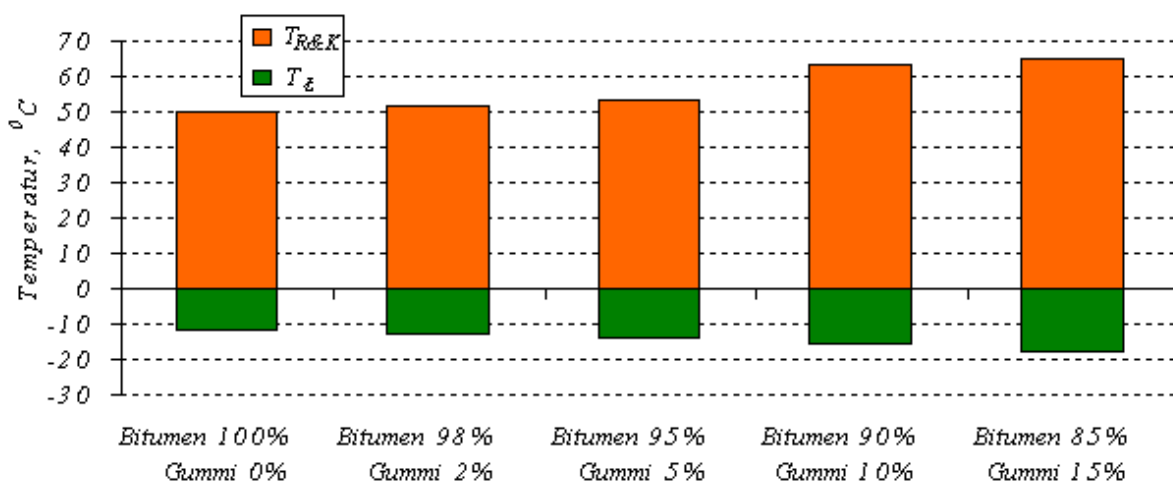


Fig. 3. Temperatur der Erweichung nach R&K und der Brechpunkt vom reinen Bitumen und des Asphalt-Gummi-Gemisches

Tabelle 1. Eigenschaften vom reinen Bitumen 50/70 und des Asphalt-Gummi-Gemisches

Gummi-anteil [%]	Plastizitätsspanne [°C]	Zunahme die Plastizitätsspanne [°C]	Temperaturempfindlichkeit A	Index der Penetration IP	Zähigkeit [cm]
0	62,2	0	0,0448	- 0,739	> 100
2	64,5	2,3	0,0439	- 0,603	16,0
5	67,6	3,1	0,0421	- 0,335	18,8
10	79,0	11,4	0,0370	+ 0,528	19,5
15	83,0	4,0	0,0340	+ 1,109	14,0

Die Untersuchungen des Asphaltbindemittels in reiner Form (50/70) und nach dem Vermischen mit dem Gummimehl zeigt, dass der erzielte Verbundstoff bessere Parameter als das Ausgangsmaterial aufweist. Es erhöht sich der Bereich der Viskoelastizität des Asphalt-Gummi-Bindemittels und seine Temperaturempfindlichkeit wird kleiner, welches die Änderungen des Indexes der Penetration bestätigen. Die größte Zunahme des Umformvermögens wird nach der Zugabe von 10% Gummi beobachtet, und dies betrifft sowohl die Zunahme der Erweichungstemperatur als auch die Senkung der unteren

Bereichsgrenze, d.h. der Brechpunkt einer Fraass. Die Penetration von diesem Verbundstoff nähert sich dem Asphalt 35/50, welches im Fall der Mineral-Asphalt-Gemische eine größere Beständigkeit gegen bleibende Deformationen bei hohen Temperaturen im Sommer gewährleistet. Dies war keine Folge der thermischen Alterung durch das Durchwärmen bei hoher Temperatur, da der Rückgang der Penetration vom reinen Asphalt den Wert von $4 \times 0,1$ mm nicht überstieg.

Die Zähigkeit, die ein Maß für die Kohäsion von Asphalt ist, ist der einzige Parameter der sich verschlechterte. Sogar eine geringfügige Zugabe von Gummi (2%) hatte einen drastischen Rückgang der Zähigkeit zur Folge. Wahrscheinlich ist es ein Ergebnis der verwendeten Methode bei der Erzeugung von des modifizierten Asphalts wie auch des Problems der Homogenisierung des Gummi-Asphalt-Gemisches. Die Unstetigkeit der Struktur an Gummipartikeln verursachte das Reißen des Bindemittels noch vor dem Erreichen der geforderten 20 cm, wodurch die Untersuchung der elastischen Rückstellung unmöglich war.

Trotz der Verschlechterung der Kohäsion und der elastischen Eigenschaften, erreichte das Asphalt-Gummi-Gemisch Werte, die einen Einfluss auf die Verbesserung der Eigenschaften der Mineral-Asphalt-Gemische mit Anteilen von diesem Bindemittel haben sollten. Der Änderungsumfang von Festigkeitseigenschaften wurde für MAG mit Asphaltbindemittel mit 10% Gummimehlanteil im Verhältnis zu der Masse mit reinem Asphalt D 50/70 bestimmt.

3. MIT GUMMIMEHL MODIFIZIERTE MINERAL-ASPHALT-GEMISCHE

Modifizierte Asphalte werden überwiegend für die dem Verschleiß unterliegenden Schichten der Straßendecken von höchster Belastung eingesetzt (KR5 - KR6). Dank ihrer Eigenschaften erhöht sich die Beständigkeit der Mineral-Asphalt-Gemische sowohl gegen die Einwirkungen des Verkehrs als auch der Klima- und Wetterbedingungen. Das in Polen in einem industriellen Maßstab am häufigsten eingesetzte Asphaltmodifizierungsmittel ist SBS (Styrol-Butadien-Styrol). In den letzten Jahren kam die Idee der Verwendung von Gummi aus recycelten Autoreifen zum Modifizieren der Asphaltbindemittel. Dies hängt sowohl mit den Anforderungen der Europäischen Union hinsichtlich des Niveaus der Rückgewinnung der verbrauchten Gummistoffe als auch (und vielleicht auch vor allem) mit dem Umweltschutz zusammen. Mineral-Asphalt-Gemische mit Modifizierungsmitteln dieser Art zeichnen sich durch eine erhöhte Beständigkeit aus und zusätzlich wird (im Vergleich zu SBS) wird auf den Straßendecken mit Gummianteil eine Lärmreduktion verzeichnet.

Zur Bestätigung der obigen Eigenschaften der Mineral-Asphalt-Gemische wurde im Labor der Technischen Universität Szczecin der Asphaltbeton BA # 0/12,8 mm für Verschleißschichten bei einer Verkehrsbelastung von KR 3 bis KR 6 erzeugt. Die Zusammensetzung des Mineral-Asphalt-Gemisches war wie folgt:

- Basaltsplitt # 8/12,8 - 23,7 %,
- Basaltsplitt # 4/8 - 19,9 %,

- Basaltsplitt # 2/6,3 - 11,9 %,
- Brechsand (Basalt) - 34,2 %,
- Feinkalk - 5,2 %,
- Asphaltbindemittel - 5,1 %.

Als Bindemittel wurde für Vergleichszwecke der reine Asphalt D 50/70 und mit Gummimehl modifizierter Asphalt mit einem Gummimehlanteil von 10% eingesetzt. Die Mischgutparameter und Festigkeitsgrundparameter der Asphaltmassen wurden in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Aus den durchgeführten Grunduntersuchungen der MAG ergibt sich, dass sich die Gemische mit Anteilen der Asphalt-Gummi-Bindemittel, bei etwa gleichen Festigkeitsparametern, durch eine höhere Hohlraumgehalt kennzeichnen. Dies kann die Folge der Dichteunterschiede der Bindemittel und der verschiedenen Nachgiebigkeit der Massen beim Eindicken sein.

Die Klima- und Wetterbedingungen gehören neben den Einwirkungen der Kraftfahrzeuge oder den Bewegungen des Untergrunds zu Faktoren, die einen nachteiligen Einfluß auf die Tragfähigkeit und die Beständigkeit der Asphaltdecken haben. Das Gummimehl, das ein Modifizierungsmittel von Asphalt selbst und in Konsequenz von MAG ist, sollte die Qualität des Endproduktes verbessern, die sich sowohl in der Erhöhung der Festigkeit im breiten Temperaturbereich als auch in der Begrenzung des Wasser- und Frosteinflusses auf die Stabilität der Mineral-Asphalt-Gemische äußert. Zur Bestätigung wurden im Straßenwesen-Labor der Technischen Universität Szczecin Prüfungen der Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit durchgeführt [6].

Tabelle 2. Eigenschaften von MAG mit dem Asphalt D 50/70 und mit dem Asphalt-Gummi-Gemisch

Art des Mischgutes	Raumdichte von MAG [g/cm ³]	Struktur-dichte von MAG [g/cm ³]	H _{bit} im MAG [%]	Ausfüllung des freien Raumes im MAG mit Asphalt [%]	Stabilität lt. Marshall [kN]	Fließwert lt. Marshall [mm]
Asphalt D 50/70	2,740	2,667	2,664	85,138	14,27	4,33
Aphalt-Gummi-Gemisch	2,778	2,679	3,564	83,531	15,62	4,29

Die Prüfung der Biegezugfestigkeit wurde bei zwei Verformungsgeschwindigkeiten (0,021 mm/s und 0,84 mm/s) und vier Temperaturen -10, 0, 20 i 50°C durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Marshall – Presse und CBR eingesetzt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Fig. 4 dargestellt.

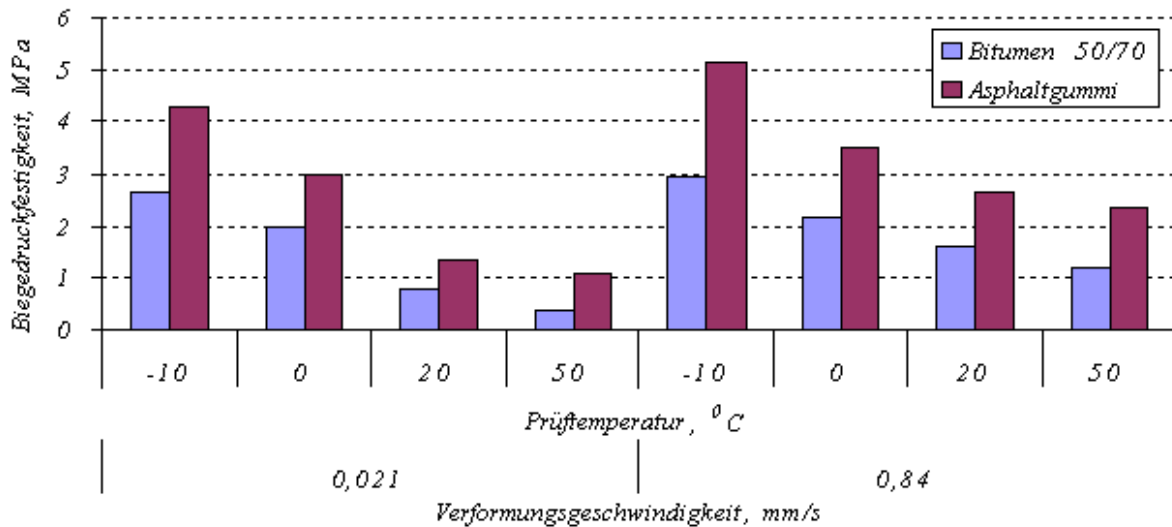


Fig. 4. Einfluss der Bindemittelart auf die Zugfestigkeit von MAG in Abhängigkeit von der Temperatur und der Verformungsgeschwindigkeiten

Die Prüfung der Druckfestigkeit wurde für zwei Geschwindigkeiten der Kraftzunahme (1,25 und 2,50 kN/s) und für vier Temperaturen (-10, 0, 20 i 50°C) durchgeführt. Die Prüflinge wurden in der Luft und zusätzlich in der Temperatur von 20 und 50°C im Wasser temperiert. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Fig. 5 dargestellt.

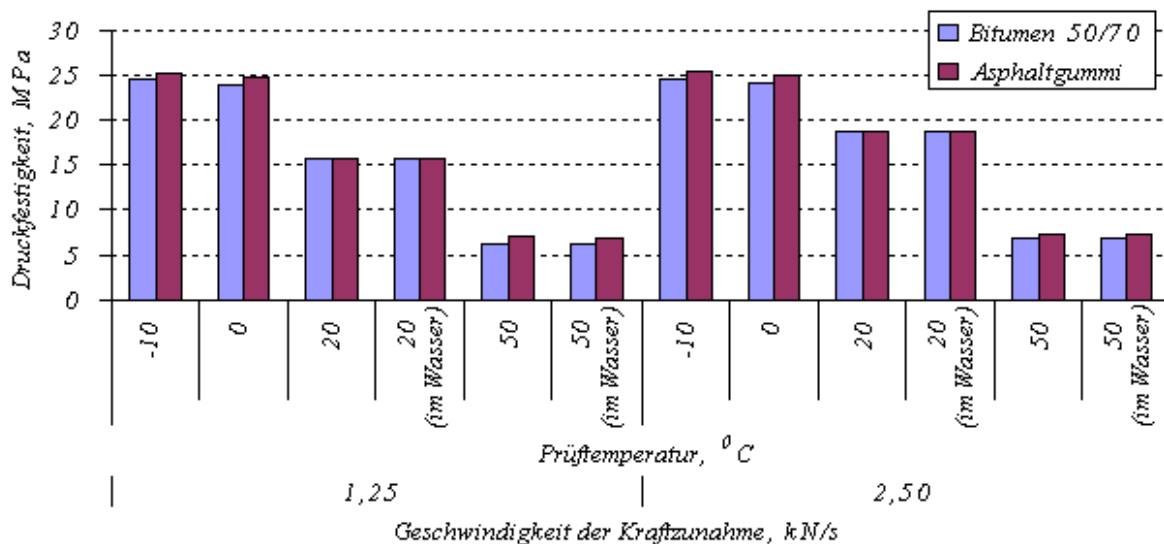


Fig. 5. Einfluss der Bindemittelart auf die Druckfestigkeit von MAG in Abhängigkeit von der Temperatur und der Geschwindigkeit der Kraftzunahme

Die Ergebnisse der durchgeführten Festigkeitsprüfungen weisen darauf hin, dass die mit Gummimehl modifizierten Gemische günstigere Parameter als die nicht modifizierten Gemische aufweisen. Dies äußert sich vor allem in einer höheren Zugfestigkeit der Massen sowohl bei hohen als auch niedrigen Temperaturen.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die steigenden Anforderungen an Asphaltdecken erfordern einen Bedarf an Zuschlagstoffen und Asphalten von höchster Qualität. Sofern die Parameter der Zuschlagstoffe lediglich im Bereich deren Gattung verbessert werden können (durch die Wahl der entsprechenden Gesteinbrechtechnik), können die Eigenschaften der Asphaltbindemittel für einen konkreten Einsatz gewählt werden. Eine der Methoden der Verbesserung der Asphalteigenschaften ist deren Modifizierung mit Hilfe der Polymere (SBS, LBSK, APP usw.). Ähnliche Ergebnisse kann man durch den Einsatz des gemahlene Gummis (aus Recycling) in Form des Gummimehls erzielen. Es tritt eine deutliche Verbesserung der Eigenschaften sowohl des Asphalt-Gummi-Bindemittels als auch des Mineral-Asphalt-Gemisches auf.

Das Asphalt-Gummi-Bindemittel kennzeichnet sich durch einen wesentlich breiteren Bereich der Viskoelastizität als der Asphalt D 50/70, der die Basis für die Modifikationen darstellt. Dieser Bereich erhöhte sich von 62,2 auf 79°C, d.i. eine Zunahme um ca. 27%. Dies betrifft sowohl die Erhöhung der Dehngrenze als auch die Senkung der Brechpunkte von Asphalt niedrigen Temperaturen, und hat eine erhöhte MAG – Beständigkeit gegen plastische Verformung im Sommer und niedrigere Steifigkeit des Mischgutes im Winter zur Folge.

Der Index der Penetration *IP* als auch die Temperaturempfindlichkeit *A* zeugen von einer günstigen Änderung des rheologischen Asphaltcharakters infolge Gummimehlzugabe. Diese Änderung betrifft wahrscheinlich die Zunahme des Anteils der unschmelzbaren Substanzen (eine den Asphalthen ähnliche Zusammensetzung), die das Asphaltgummi in Richtung eines Bindemittels mit einem mehr gelartigen Charakter verschiebt.

Im Fall der Mineral-Asphalt-Gemische wurde eine deutliche Zunahme der Biegezugfestigkeit beobachtet. Diese Prüfung spiegelt in einer gewissen Form das Verhalten von MAG in einer Decke wieder, die aufgrund von Durchbiegungen der Konstruktion in unteren Schichten Zugbeanspruchungen ausgesetzt ist. Die Gummizugabe zum Mineral-Asphalt-Gemisch kann in einer bedeutenden Weise dessen Beständigkeit gegen die Belastungen durch Kraftfahrzeuge oder Temperaturschwankungen beeinflussen.

Das im Recyclingverfahren gewonnene Gummi stellt ein gutes Beispiel dar für das Kummer aus Umweltschutz und gleichzeitige Materialverbesserung.

LITERATUR

- [1] Parasiewicz W., Pyskło L., Magryta J.: *Poradnik. Recykling zużytych opon samochodowych.* [Ratgeber. Recycling von abgenutzten Autoreifen] IPG Stomil, Piastów 2005
- [2] Stefańczyk B., Zieliński Z.: *Bitumiczne masy zalewowe w nawierzchniach betonowych. Nowe tendencje i propozycje.* [Ratgeber. Bituminöse Leistenmasse in Betonstrasse. Neue Trends und Vorschlags] Drogownictwo 3/1968, s. 68 – 72

- [3] Stefańczyk B.: *Materialy drogowe*. [Straßenbaustoffe] Technische Universität Szczecin 1989
- [4] Klabińska M., Piłat J.: *Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych*. [Rheologie von Asphalten und Mineral-Asphalt-Massen] WKiŁ, Warszawa 1982
- [5] Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. [Asphaltdecken] WKiŁ, Warszawa 2004
- [6] Wąchnicki M., Chmielewski B.: *Wykorzystanie odpadów przy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych*. [Ausnutzung der Abfälle bei der Herstellung der Mineral-Asphalt-Gemische.] Diplomarbeit, Technische Universität Szczecin 2005

**AUSNUTZUNG DER GUMMIABFÄLLE
BEI DER HERSTELLUNG DER MINERAL-ASPHALT-GEMISCHE**
(Zusammenfassung)

Der Einsatz von Gummimehl zum Modifizieren des Asphaltbindemittels kann durch seinen Einfluss auf die Verbesserung der Eigenschaften von Asphalt und von Mineral-Asphalt-Gemisch messbare, positive Effekte sowohl unter ökologischen als auch technologischen Aspekten bringen. Die an der Technischen Universität in Szczecin durchgeführten Untersuchungen bestätigten, dass eine optimale Gummizugabe zum Asphalt D 50/70 15% nicht überschreiten sollte. Das eingesetzte Verfahren der Verbindung beider Komponenten (im Labormaßstab) wies nach, dass der Asphaltgummi die besten Parameter bei 10% Zugabe erreichte. Es wurde eine deutliche Zunahme der Viskoplastizität, die Abnahme der Temperaturempfindlichkeit und der Penetration beobachtet, als auch die Verschiebung des Indexes der Penetration in Richtung der Bindemittel von einem mehr gelartigen Charakter beobachtet. Mineral-Asphalt-Gemische (BA # 0/12,8 mm) mit Gummimehlanteilen kennzeichnen sich durch eine bedeutend höhere Zugbeständigkeit beim Biegen, was einen günstigen Einfluss auf deren Beständigkeit in der Straßendeckenkonstruktion hat. Im Fall der Druckfestigkeit wurde eine geringfügige Zunahme von diesem Parameter beobachtet. Der erhöhte freie Raum in der Masse mit Gummimehl kann von einer Änderung der Bindemitteldichte und von einer erhöhten Beständigkeit gegen Eindicken zeugen.