

12 см – а лучше 14 см), относительно тонкая эластичная подготовка из минерально-асфальтовой смеси типа асфальтобетона с не очень твердым вяжущим (толщиной около 7 см).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: „Asfalty drogowe”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001
2. Radziszewski P., Kalbińska M., Piłat J.: „Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe”, Wyd. Politechnika Białostocka i Politechnika Warszawska, Białystok-Warszawa 1995

3. Radziszewski P.: „Modelowanie trwałości zmęczeniowej modyfikowanych kompozytów mineralno-asfaltowych”. Rozprawa habilitacyjna, Rozprawy Naukowe Nr 45, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1997
4. Słotwiński D.: „Nowe koncepcje konstrukcji nawierzchni asfaltowych”. Drogownictwo nr 7-8, Warszawa 2002
5. „The Shell Bitumen Handbook”, Shell Bitumen, 1990
6. Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowych o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie. Informacje i Instrukcje, zeszyt 63, IBDiM, Warszawa 2002

УДК 624.012.45

*Плева А., Радзишевски П.*

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК И ВРЕМЕНИ НАГРЕВА НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТО-РЕЗИНОВОГО ВЯЖУЩЕГО

### 1. Введение

В XXI веке, в период молниеносного развития цивилизации, дорожная инфраструктура является кровеносной системой экономического организма государства. РП, как страна, являющаяся кандидатом в ЕС, обязана придерживаться норм и правил ЕС. В том числе и норм, касающихся хранения и переработки использованных автомобильных покрышек. В ЕС обязательная директива (1999/31/ЕС „Landfill Directive”) от 2003 г. запрещает хранение целых использованных автомобильных покрышек, а от 2006 г. также и размельченных шин [3].

В РП отходы резины в виде целых шин и их элементов представляют собой проблему для экологии и экономики. По оценочным данным, в стране необходимо отыскать возможность использования около 180 тыс. тонн использованных шин ежегодно [1].

Одним из решений, позволяющих найти применение большому количеству использованных автомобильных покрышек, является использование резиновой крошки для модификации вяжущих и минерально-асфальтовых смесей для дорожных покрытий [1,2]. В результате модификации асфальта резиновой крошкой получается асфальто-резиновое вяжущее, которое, согласно норм ASTM D-8, классифицируется как смесь асфальта и не менее 10% резины в общей смеси.

Вязко-упругие свойства асфальто-резинового вяжущего зависят от количества резиновой крошки и времени нагрева при его приготовлении [4, 5]. Увеличение времени нагрева не оправдано экономически. В процессе поиска оптимальных решений должны быть учтены свойства материалов асфальто-резинового вяжущего и стоимость его производства.

Целью данного исследования является изучение влияния содержания добавки резиновой крошки и времени нагрева на вязко-упругие свойства асфальто-резинового вяжущего, с точки зрения его работы в дорожном покрытии и технологических процессов, связанных с производством и уплотнением минерально-асфальто-резиновых смесей.

В статье представлен анализ свойств асфальто-резиновых смесей с объемной долей добавок резины от 15% до 20% и временем нагрева вяжущего от 20 минут до 6 часов.

### 2. Метод модификации асфальта резиновой крошкой использованных автомобильных покрышек

В лабораторных исследованиях применялись асфальто-резиновые вяжущие, в состав которых входил асфальт с пенетрацией 50/70 и резиновая крошка использованных покрышек с гранулометрическим составом, представленным в таблице 1.

Асфальто-резиновое вяжущее изготовлено со следующим содержанием резиновой крошки: 15%, 17%, 19% и 21%.

Асфальто-резиновое вяжущее изготавливалось в лаборатории по следующей процедуре [6]:

- нагрев асфальта 50/70 до 185°C,
- нагрев резиновой крошки до 60°C,
- внесение резиновой крошки в асфальт при равномерном высокооборотном помешивании (200 об/мин),
- смешивание компонентов в мешалке при температуре 185°C при высокооборотном помешивании в течение 20 мин,
- перемешивание на низких оборотах (100 об/мин) при температуре 185°C.

Таблица 1. Ситовой анализ резиновой крошки

Размер ячейки сита [мм]	Остаток на сите [%]
0,85	18,5
0,42	44
0,30	17,5
0,18	13
0,15	2
0,075	4,5
<0,075	0,5

В процессе модификации для исследований отобраны образцы вяжущего следующих временных периодов: 20 мин, 40 мин, 1 час, 1,5 часа, 2 часа, 2,5 часа, 3 часа, 4 часа, 5 часов, 6 часов от момента внесения резиновой крошки в асфальт.

### 3. Методика исследований асфальто-резинового вяжущего

Оценка вязко-упругих свойств асфальто-резинового вяжущего проводилась на основании результатов исследований:

- пенетрации, согласно PN-EN 1426:2001, при температуре 5°C, 15°C и 25°C,
- температуры размягчения, согласно PN-EN 1427:2001,
- динамической вязкости при использовании аппарата Брукфильда, согласно норм ASTM D4402; испытания велись при температуре 60°C, 90°C, 110°C и 135°C,
- температуры ломкости по Фраассу, согласно PN-C-04130:1989.

Определено среднее арифметическое по трем равноценным измерениям, которые лежат в диапазоне  $\pm 10\%$ .

**4. Влияние количества добавки резиновой крошки и времени нагрева на пенетрацию асфальто-резинового вяжущего**

Значения пенетрации асфальто-резинового вяжущего при температурах 5°C, 15°C и 25°C в зависимости от времени нагрева представлены на рис. 1а, б и в.

Стоит отметить, что асфальто-резиновое вяжущее при низкой температуре (5°C) характеризуется большим значением пенетрации, чем исходное вяжущее. Это выгодно, так как свидетельствует о меньшем отвердевании вяжущего при низких температурах. Вяжущее сохраняет полезные вязкоупругие свойства. Это отражает работу покрытия с применением данного вяжущего в условиях весенне-осенних температур, то есть наиболее неблагоприятных с точки зрения несущей способности покрытия, а особенно подготовки под покрытие. При температуре 15°C пенетрация исходного вяжущего и асфальто-резинового вяжущего – сопоставима. Заметим, что при температуре 25°C, асфальто-резиновое проявляет меньшие пенетрационные свойства, чем базовое вяжущее. Это свидетельствует об улучшенных упругих свойствах модифицированного вяжущего. Асфальто-резиновое вяжущее в дорожном покрытии может быть более устойчиво к деформациям при больших температурах эксплуатации.

Из результатов исследования пенетрации видно отличие поведения асфальто-резиновой смеси с содержанием добавки 21% в сравнении с остальными модифицированными вяжущими. При температуре 15°C и 25°C во всех периодах нагрева полученные более низкие значения пенетрации, свидетельствующие о затвердении данного вяжущего при положительных температурах. Результаты исследований указывают также на то, что 21% добавка для асфальта 50/70 слишком велика, с учетом возможности протекания реакции между асфальтом и резиной (возможность набухания резины в среде асфальтового масла).

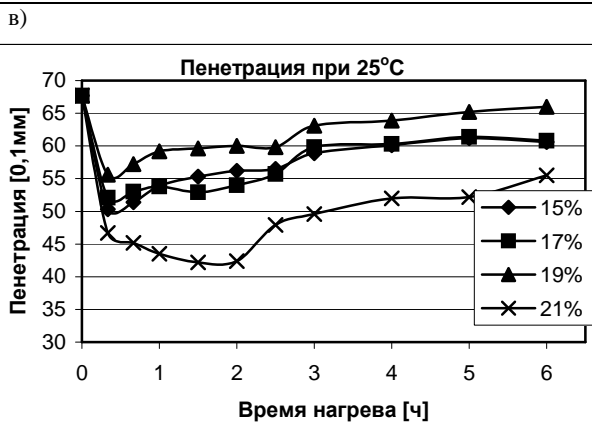
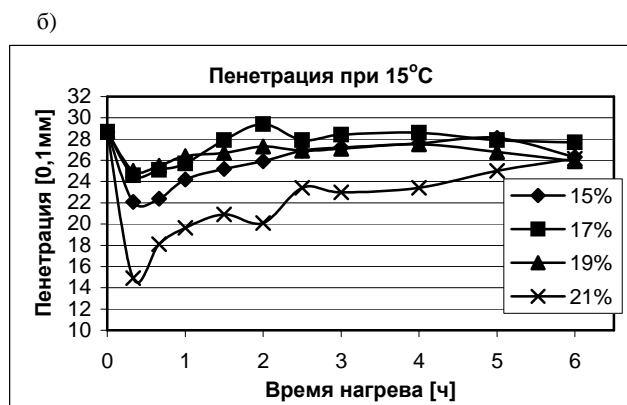
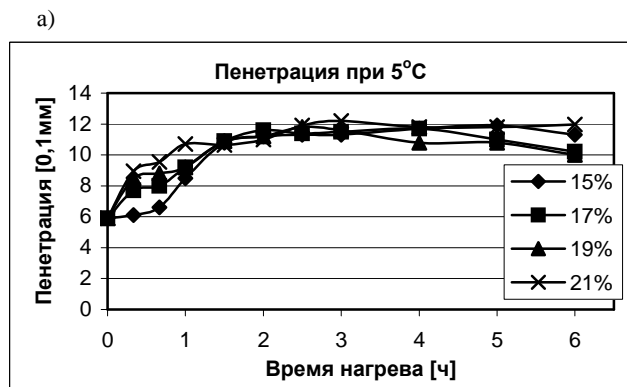


Рис. 1. Влияние количества резиновой крошки и времени нагрева асфальто-резинового вяжущего с различным содержанием крошки: 15%, 17%, 19% и 21% на пенетрацию при температуре а) 5°C, б) 15°C и в) 25°C.

На рис. 2 отображена зависимость пенетрации асфальто-резинового вяжущего в зависимости от количества добавки резиновой крошки. Оценка пенетрации при температуре 5°C, 15°C и 25°C выполнена для вяжущего с временем нагрева 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа. Из рис. 2 видно, что наиболее существенные изменения значения пенетрации наблюдаются при изменении температуры исследования. В то время как менее существенно эти изменения наблюдаются при изменении содержания резиновой добавки.

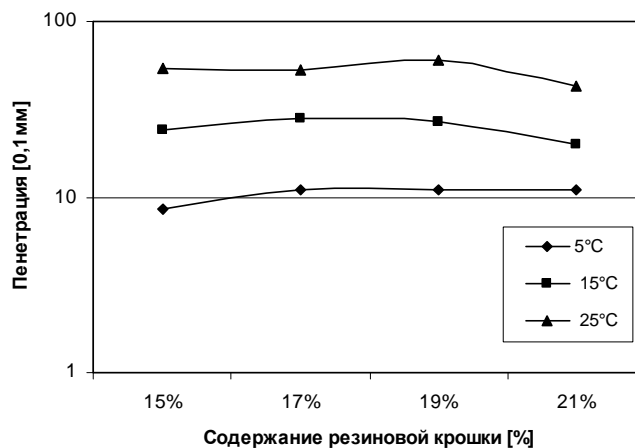


Рис. 2. Влияние количества добавки резиновой крошки на пенетрацию асфальто-резинового вяжущего при времени нагрева для содержания крошки 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа при температуре 5°C, 15°C и 25°C

**5. Влияние количества добавки резиновой крошки и времени нагрева на температуру размягчения асфальто-резинового вяжущего**

Результаты определения температуры размягчения асфальто-резинового вяжущего в зависимости от времени нагрева представлены на рис. 3.

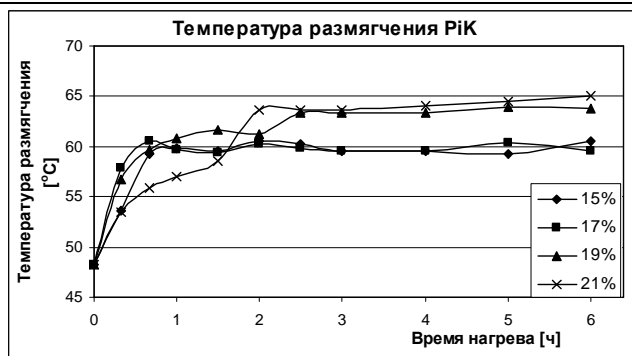


Рис. 3. Влияние времени нагрева асфальто-резинового вяжущего на температуру размягчения при содержании резиновой крошки: 15%, 17%, 19% и 21%.

Из рис.3 видно, что стабилизация температуры размягчения асфальто-резинового вяжущего с содержанием резиновой крошки 15% и 17% наступила после 40 минут нагрева, с 19% добавки – после 1,5 часа нагрева, в то время как при содержании 21% добавки стабилизация результата наступила после 2 часов нагрева.

Асфальто-резиновое вяжущее характеризуется значительно большей температурой размягчения, чем исходное вяжущее (увеличение 12÷37%). Это свидетельствует о том, что асфальто-резиновые смеси с таким вяжущим могут быть более устойчивы к пластическому течению при больших температурах эксплуатации (60°С).

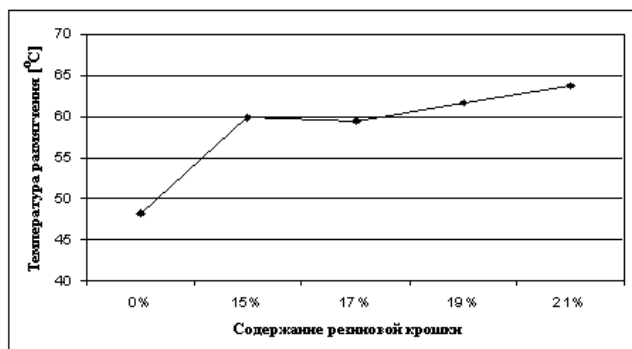


Рис. 4. Влияние количества добавки резиновой крошки на температуру размягчения асфальто-резинового вяжущего в зависимости от времени нагрева при соответствующем содержании добавки 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа.

На рис.4 представлена зависимость температуры размягчения асфальто-резинового вяжущего от содержания резиновой крошки. Оценка температуры размягчения выполнена для асфальто-резинового вяжущего при соответствующем времени нагрева 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа. При увеличении содержания резиновой крошки в асфальто-резиновом вяжущем увеличивается и температура размягчения. Это увеличение не такое значительное, как для температуры размягчения асфальта без добавки крошки.

**6. Влияние количества добавки резиновой крошки и времени нагрева на вязкость асфальто-резинового вяжущего**

Результаты исследований динамической вязкости асфальто-резинового вяжущего с содержанием 15%, 17%, 19% и 21% резиновой крошки в зависимости от времени нагрева представлены на рис. 5.

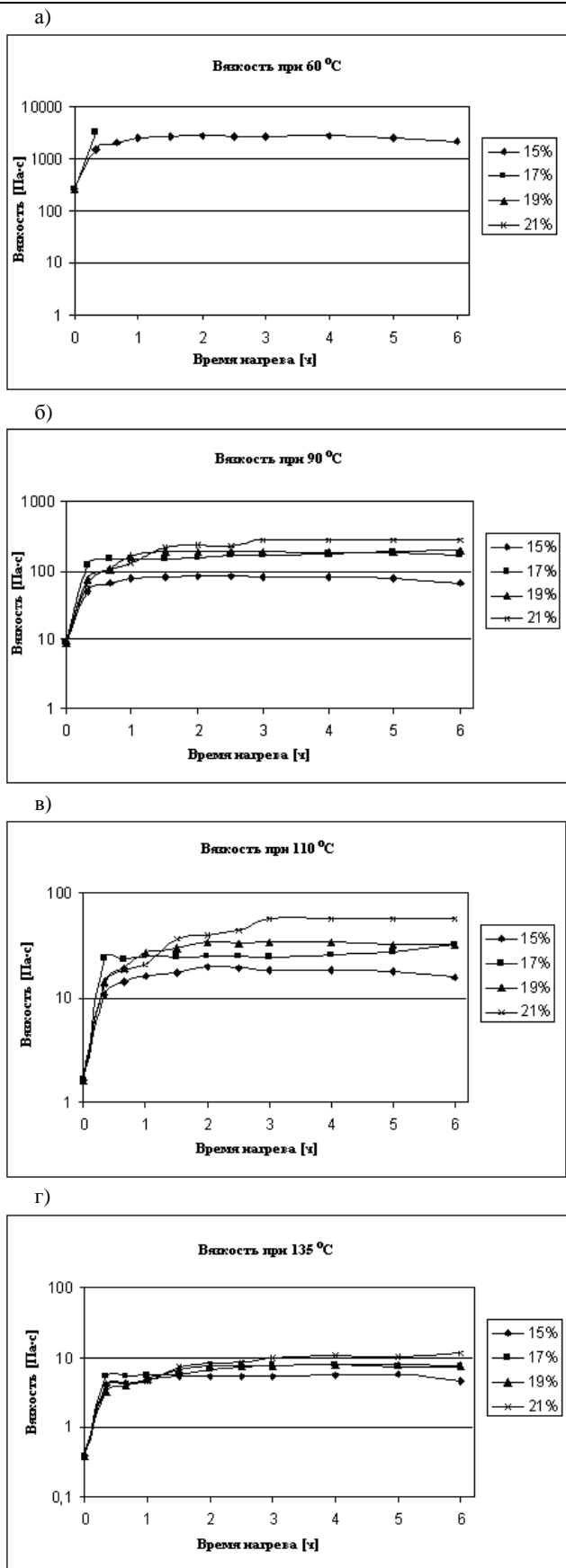


Рис. 5. Влияние количества добавки резиновой крошки 15%, 17%, 19% и 21% и времени нагрева резиново-асфальтового вяжущего на вязкость при температуре а)60°С, б)90°С, в)110°С и г)135°С.

На рис.5а представлены значения вязкости асфальто-резинового вяжущего с содержанием 15% и 17%. Асфальто-резинового вяжущего с большими содержаниями добавки резиновой крошки были настолько вязкие, что можно было оценить вязкость в аппарате Брукфильда (значение вязкости выходило за пределы шкалы аппарата при заданной температуре).

Из рис.5 видно, что вяжущие с меньшим содержанием добавки (15%, 17%), при всех значениях температуры, приобретают стабильное значение вязкости в более коротком промежутке времени нагрева, чем вяжущие с большим содержанием добавки. Это время составляло около 1 часа. При содержании добавки 19% и 21% время нагрева асфальто-резинового вяжущего, необходимое время нагрева составляет соответственно 1,5 и 2,5 часа.

Асфальто-резинового вяжущего характеризуется значительно большей вязкостью в сравнении с исходным асфальтом для всех значений температур. Это – положительный эффект, если учитывать стабильность вяжущего при 60°C, что соответствует максимальной температуре эксплуатации дорожного покрытия. С позиции технологии это невыгодно при технологических температурах, так как требует дополнительного подогрева для достижения соответствующих значений вязкости вяжущего, необходимых при перекачке вяжущего, производстве и уплотнении минерально-асфальто-резиновой смеси.

На рис. 6 представлена зависимость вязкости асфальто-резинового вяжущего от количества добавки резиновой крошки. Оценка вязкости при температуре 90°C, 110°C и 135°C выполнена для вяжущего после времени нагрева 1 час – 15% и 17% добавки, 1,5 часа – 19% добавки, 2 часа – 21% добавки.

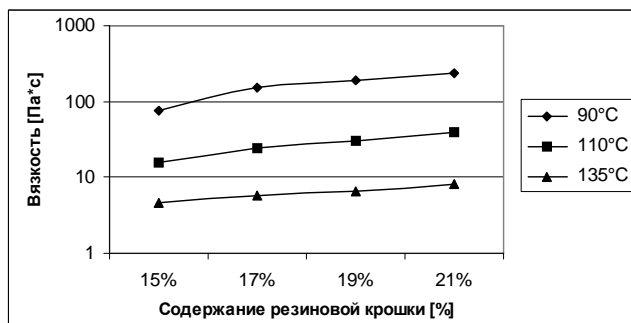


Рис. 6. Влияние количества добавки резиновой крошки на вязкость асфальто-резинового вяжущего в зависимости от времени нагрева при соответствующем содержании добавки 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа при температуре 90°C, 110°C и 135°C.

Стоит отметить, что вместе с увеличением содержания резиновой крошки возрастает и вязкость вяжущего. Это увеличение приближается к линейной зависимости по логарифмической шкале. Из рис.6 видно, что наибольшее увеличение вязкости происходит при 90°C; с последующим увеличением температуры степень прироста уменьшается. Наибольшее влияние на изменение вязкости оказывает температура испытаний.

### 7. Влияние количества добавки резиновой крошки на температуру ломкости асфальто-резинового вяжущего

На рис. 7 представлена зависимость температуры ломкости асфальто-резинового вяжущего в зависимости от содержания резиновой крошки при времени нагрева 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа. При увеличении содержания резиновой крошки в асфальто-резиновом вяжущем уменьшается значение температуры ломкости, что является

положительным эффектом с учетом особенностей работы вяжущего в дорожном покрытии.

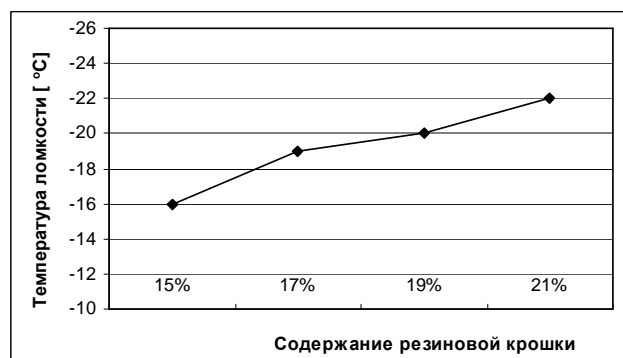


Рис. 7. Влияние количества добавки резиновой крошки на температуру ломкости асфальто-резинового вяжущего в зависимости от времени охлаждения при соответствующем содержании добавки 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа.

### 8. Выводы

На основании выполненных исследований и анализа результатов можно сделать следующие выводы:

Результаты исследования пенетрации, температуры размягчения, вязкости и температуры ломкости свидетельствуют об улучшенных свойствах асфальто-резинового вяжущего в сравнении со стандартным вяжущим, что предполагает лучшую работу модифицированного вяжущего в дорожном покрытии. Время нагрева асфальто-резинового вяжущего оказывает значительное влияние на его технические свойства, но с экономической точки зрения и с условием требуемых значений вязко-упругих свойств оно должно составлять: для 15% - 1 час, 17% и 19% - 1,5 часа и 21% - 2 часа. Асфальто-резиновые вяжущие требуют больших технологических температур в сравнении со стандартными (около 40°C). Изменение технологических температур при увеличении содержания резиновой крошки (от 15% до 21%) незначительно и составляет около 10°C.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. R. Horodecka, M. Kalabińska, J. Piłat, P. Radziszewski, D. Sybilski: "Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym.", Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2002r.
2. R. Horodecka, M. Kalabińska, J. Piłat, P. Radziszewski, D. Sybilski: "Utilisation of scrap rubber for bitumen and asphalt concrete modification in Poland". Asphalt Rubber 2000 Conference, Vilamoura Marinotel, Portugalia, 2000.
3. W. Parasiewicz, L. Pyskło "Techniczne, ekonomiczne i prawne aspekty recyklingu gumy." *Plastics Review*, nr 8, Panorama polskiego Przemysłu Tworzyw Sztucznych i Kauczuku, maj 2001r.
4. P. Radziszewski, M. Kalabińska, J. Piłat: „The rheological behavior of rubber asphalt binder”. Twelfth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Filadelfia - USA 1996, Session 3D, Rubber Tire Wastes.
5. P. Radziszewski: „Modyfikacja lepiszcza asfaltowego D-70”. Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym. Zeszyty Naukowe - Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji W Krakowie, Nr 17, Kraków 1997, Materiały konferencyjne Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej, Zakopane 13 -15 marzec 1997.
6. P. Radziszewski, A. Plewa: „Wpływ czasu wygrzewania asfaltu modyfikowanego miazem gumowym na jego właściwości lepko-sprężyste.” *Drogownictwo* 3/2003.