

УДК 625.85

DOI: 10.15587/2312-8372.2020.200628

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗІГРІВАННЯ ПОКРИТТЯ В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОНУ МЕТОДОМ «IN-PLACE»

Савенко В. Я., Ілляш С. І., Стасюк Т. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗОГРЕВА ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОНА МЕТОДОМ «IN-PLACE»

Савенко В. Я., Ілляш С. І., Стасюк Т. О.

RESEARCH OF TEMPERATURE CHANGE OF PAVEMENT HEATING IN THE PROCESS OF HOT IN-PLACE RECYCLING OF ASPHALT CONCRETE

Savenko V., Iliash S., Stasiuk T.

Об'єктом дослідження є технологія гарячої регенерації асфальтобетону методом «in-place». Температурні режими розігрівання асфальтобетонного покриття є одними з ключових технологічних параметрів, які впливають на якість вихідного регенованого асфальтобетону. З метою встановлення залежності температури розігрівання покриття на різній глибині від часу розігрівання проведені натурні дослідження безпосередньо під час виконання робіт з гарячої регенерації асфальтобетону методом Reshape. Роботи виконувались при температурі навколишнього середовища 25–30 °С та безвітряній погоді. Регенована гаряча асфальтобетонна суміш, що використовувалась при проведенні досліджень, за зерновим складом та вмістом бітуму відповідала суміші гарячій, дрібнозернистій, асфальтобетон щільний, типу А, непереривчастої гранулометрії, марки II відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Вміст залишкового бітуму розпушеної асфальтобетонної крихти становив 6,0 %. При проведенні досліджень вимірювання проводили при різній швидкості руху (1,8 м/хв та 2,1 м/хв) термічної установки для розігріву асфальтобетонного покриття Wirtgen HM 4500 (країна виробник – Німеччина). Отримані графічні залежності та математичні моделі дали змогу визначити, що оптимальним режимом розігрівання покриття є поступовий розігрів. Такий режим дозволить уникнути випалювання бітуму та забезпечити розігрівання дорожнього покриття на рівні основи регенованого шару, що дуже важливо при визначенні температури перемішування суміші. Аналіз графіків та математичних моделей дає змогу припустити, що зменшення температури розігріву покриття хоча б на 10–20 °С призведе до збільшення продуктивності роботи термічної установки. В такому

випадку збільшення продуктивності може складати від 20 % до 25 %, що зменшить витрату газу та, відповідно, собівартість робіт. Таким чином, отримані залежності можуть бути використані при оптимізації технологічного процесу гарячої регенерації асфальтобетону методом «in-place».

Ключові слова: регенерація асфальтобетону, автомобільна дорога, асфальтобетонне покриття, гарячий ресайклінг, поточний ремонт, економічна ефективність.

Объектом исследования является технология горячей регенерации асфальтобетона методом «in-place». Температурные режимы разогрева асфальтобетонного покрытия являются одними из ключевых технологических параметров, влияющих на качество выходного регенерированного асфальтобетона. С целью установления зависимости температуры разогрева покрытия на разной глубине от времени разогрева проведены натурные исследования непосредственно при выполнении работ по горячей регенерации асфальтобетона методом Reshape. Работы выполнялись при температуре окружающей среды 25–30 °С и безветренной погоде. Регенерированная горячая асфальтобетонная смесь, которая использовалась при проведении исследований, по зерновому составу и содержанию битума отвечала смеси горячей, мелкозернистой, асфальтобетон плотный, типа А, непрерывной гранулометрии, марки II в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Содержание остаточного битума разрыхленной асфальтобетонной крошки составил 6,0 %. При проведении исследований измерения проводили при различной скорости движения (1,8 м/мин и 2,1 м/мин) термической установки для разогрева асфальтобетонного покрытия Wirtgen НМ 4500 (страна производитель – Германия). Полученные графические зависимости и математические модели позволили определить, что оптимальным режимом разогрева покрытия является постепенный разогрев. Такой режим позволит избежать выжигания битума и обеспечить разогрев дорожного покрытия на уровне основания регенерированного слоя, что очень важно при определении температуры перемешивания смеси. Анализ графиков и математических моделей позволяет предположить, что уменьшение температуры разогрева покрытия хотя бы на 10–20 °С приведет к увеличению производительности работы термической установки. В таком случае увеличение производительности может составлять от 20 % до 25 %, что уменьшит расход газа и, соответственно, себестоимость работ. Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы при оптимизации технологического процесса горячей регенерации асфальтобетона методом «in-place».

Ключевые слова: регенерація асфальтобетона, автомобільна дорога асфальтобетонне покриття, гарячий ресайклінг, текущий ремонт, економічна ефективність.

1. Вступ

Враховуючи сучасні тенденції до подорожчання дорожньо-будівельних матеріалів, актуальною задачею є їх повторне використання [1]. Одним з шляхів вирішення такої задачі є впровадження технології гарячої регенерації асфальтобетону. У світовій практиці дорожнього будівництва спрямованість

державної політики на ресурсозбереження є основним рушієм впровадження технологій промислової регенерації асфальтобетону [2].

В залежності від способу приготування розрізняють технологію приготування гарячих регенованих асфальтобетонних сумішей на заводі та безпосередньо на місці («in-place»). Згідно зі світовою практикою дорожнього будівництва, технології гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону на місці класифікують у залежності від виду та призначення робіт, процесів виготовлення та застосування регенованих сумішей наступним чином [3]:

- метод Reshape – профілювання;
- метод Repave – профілювання з відновленням шару зносу;
- метод Remix – регенерація зі зміною складу старого асфальтобетону шляхом додавання нових матеріалів у кількості до 30 % (переважно до 20 %) за масою;
- метод Remix Plus – регенерація із зміною складу старого асфальтобетону та одночасним влаштуванням шару нової асфальтобетонної суміші за один прохід.

Згідно з [4], економічний ефект від застосування технологій гарячого ресайклінгу на місці становив 20–30 % у порівнянні з традиційними технологіями ремонту асфальтобетонних покриттів. Автори роботи [5] стверджують, що економія від використання зазначеної технології може складати до 35 %. Дослідження [6] показують також скорочення строків виконання робіт в порівнянні з традиційними методами. Проте, відмічають і про невдалий досвід застосування. Головною причиною називають неправильно обрані ділянки для проведення ремонту, оскільки не було належним чином враховано існуючий стан покриття. Поряд з тим, важливими факторами економічності технології та якості виконаних робіт є правильний вибір технологічного процесу та точність оцінювання стану об'єктів та матеріалів на стадії інженерних вишукувань [7]. Однією з ключових складових технологічного процесу гарячого ресайклінгу асфальтобетону методом «in place» є розігрівання асфальтобетонного покриття на певну глибину та, як наслідок, температура перемішування [8].

Питання впливу попереднього нагрівання покриття на якість регенованого матеріалу та продуктивність самого процесу регенерації розглянуто в роботі [9]. За результатами дослідження встановлена мінімальна температура попереднього нагрівання дорожнього покриття – 120 °С, яка може гарантувати якісні показники регенованого покриття. При забезпеченні температури на поверхні асфальтобетонного покриття 160–180 °С глибина прогрівання асфальтобетону до пластичного стану (такого, що дозволяє переформування) сягає 4–6 см при певних габаритах та швидкості переміщення асфальторозігрівача.

В роботі [10] зазначено, що вартість гарячого ресайклінгу асфальтобетону методом «in-place» суттєво залежить від витрат газу на розігрів покриття (у випадку розігрівання покриття пальниками інфрачервоного випромінювання).

Незважаючи на велику кількість публікацій за даною тематикою питання дослідження впливу технологічних параметрів на температуру розігрівання покриття є актуальним. Встановлення закономірностей такого впливу дасть змогу визначити

оптимальні температурні режими роботи реміксерів, які дозволяють знизити витрати газу на розігрівання покриття і, як наслідок, вартість виконання робіт. Отже, *об'єктом дослідження* є технологія гарячої регенерації асфальтобетону методом «in-place». *Метою роботи* є проведення натурних досліджень зміни температури розігрівання покриття в залежності від швидкості руху термічної установки для розігріву асфальтобетонного покриття та часу розігрівання.

2. Методика проведення досліджень

При виконанні роботи використовували наступні методи досліджень:

- вибіркові спостереження за процесом виконанням робіт;
- контрольні вимірювання основних фізичних величин;
- аналіз вихідних даних;
- метод експертних оцінок;
- економічна оцінка при визначенні вартісних показників.

На практиці дорожнє покриття розігривається нерівномірно на глибині. Температура нагрівання на поверхні не повинна перевищувати 180 °С, щоб не допустити випалювання бітуму. При цьому, необхідно забезпечити мінімальну температуру розігрівання на рівні основи регенованого шару, що дасть змогу розрихлювати суміш без руйнування щебню. Орієнтовно значення мінімальної температури в такому випадку становить 75–90 °С.

На основі практичних спостережень, аналізу літературних джерел, а також експертного оцінювання встановлені основні фактори, які впливають на процес розігрівання асфальтобетонного покриття:

- 1) температура повітря;
- 2) час і інтенсивність нагрівання;
- 3) тип покриття;
- 4) вологість покриття;
- 5) швидкість вітру.

Найбільш вагомими з перелічених є перші три фактори.

З метою встановлення залежності температури розігрівання покриття на різній глибині від часу розігрівання проведені натурні дослідження безпосередньо під час виконання робіт з гарячої регенерації асфальтобетону методом Reshape. Роботи виконувались при температурі навколишнього середовища 25–30 °С та безвітряній погоді. Регенована гаряча асфальтобетонна суміш, що використовувалась при проведенні досліджень, за зерновим складом та вмістом бітуму відповідала суміші гарячій, дрібнозернистій, асфальтобетон щільний, типу А, непереривчастої гранулометрії, марки ІІ відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Вміст залишкового бітуму розпушеної асфальтобетонної крихти становив 6,0 %. При проведенні досліджень вимірювання проводили при різній швидкості руху (1,8 м/хв та 2,1 м/хв) термічної установки для розігріву асфальтобетонного покриття Wirtgen НМ 4500 (країна виробник – Німеччина).

3. Результати досліджень та обговорення

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Показник	Значення							
Швидкість руху 1,8 м/хв								
Час розігрівання, хв	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура розігрівання на поверхні, °С	82	110	127	142	149	167	170	185
Температура розігрівання на глибині 3 см, °С	45	49	51	57	87	107	130	135
Температура розігрівання на глибині 5 см, °С	45	47	49	51	55	68	77	85
Швидкість руху 2,1 м/хв								
Час розігрівання, хв	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура розігрівання на поверхні, °С	75	100	120	135	142	160	150	–
Температура розігрівання на глибині 3 см, °С	45	48	51	54	80	98	108	–
Температура розігрівання на глибині 5 см, °С	45	47	48	50	54	66	75	–

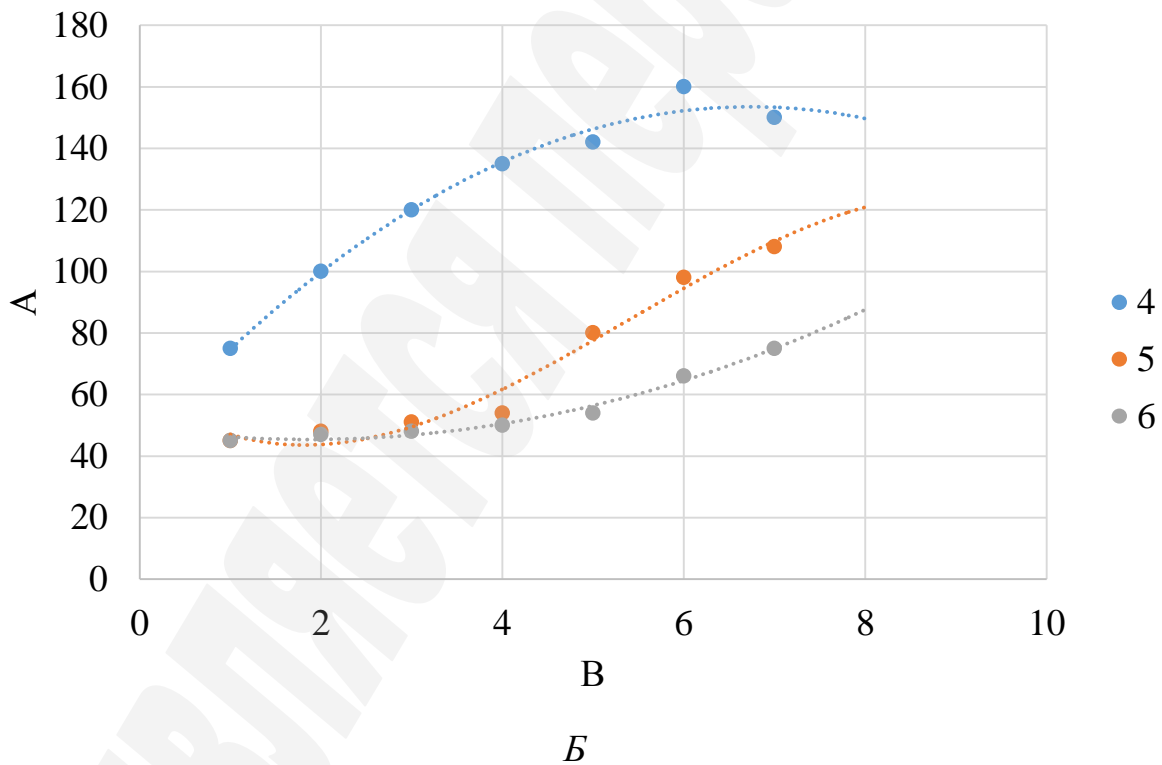
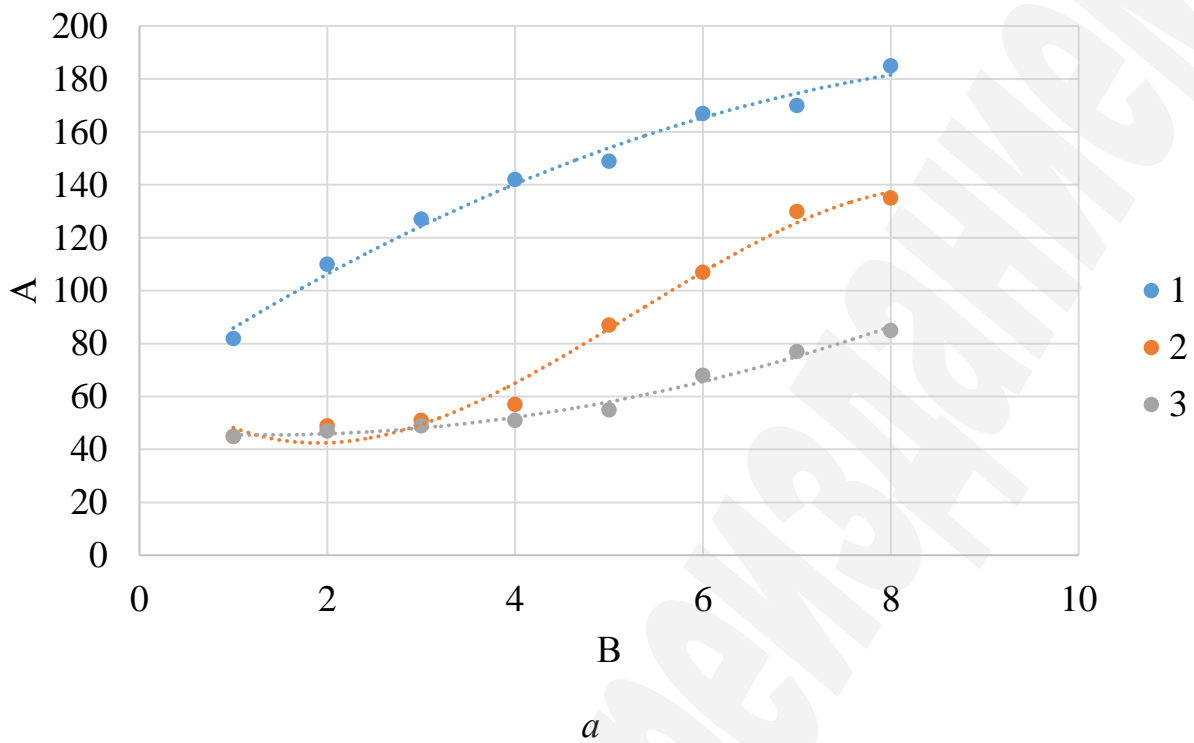
На основі отриманих даних вимірювань побудовані графічні залежності температури асфальтобетону від тривалості розігрівання інфрачервоним опромінюванням, які наведені на рис. 1.

Отримані результати вимірювань дали змогу встановити математичні моделі, що характеризують функції зміни температури в залежності від глибини розігрівання.

Встановлені залежності були змодельовані в середовищі Excel. З метою оцінки придатності отриманих моделей визначали показники достовірності апроксимації.

Рис. 1. Графік залежності температури розігрівання асфальтобетону від тривалості розігрівання, при швидкості руху термічної установки: *a* – 1,8 м/хв; *б* – 2,1 м/хв;

A – температура розігрівання; *B* – час розігрівання; 1, 4 – залежність температури розігрівання на поверхні; 2, 5 – залежність температури розігрівання на глибині 3 см; 3, 6 – залежність температури розігрівання на глибині 5 см



Для кожної з моделей зазначений показник близький до 1, тому моделі є гарної якості:

$$y_1 = 63,214 + 23,738x - 1,119x^2,$$

$$R^2 = 0,9879,$$

$$y_2 = 70,571 - 31,869x + 10,22x^2 - 0,649x^3,$$

$$R^2 = 0,985,$$

$$y_3 = 46,982 - 2,3512x + 0,9107x^2,$$

$$R^2 = 0,9853,$$

$$y_4 = 44,857 + 32,25x - 2,3929x^2,$$

$$R^2 = 0,9831,$$

$$y_5 = 62 - 21,722x + 7,1905x^2 - 0,4444x^3,$$

$$R^2 = 0,9741,$$

$$y_6 = 49,286 - 4,1667x + 1,119x^2,$$

$$R^2 = 0,9822.$$

Аналізуючи графіки на рис. 1 можна зробити висновки, що температура розігрівання асфальтобетону значно залежить від тривалості розігрівання. Чим довший процес розігрівання, тим вища температура розігрівання покриття на поверхні. Проте, теплова ефективність не може збільшуватись надто високо, оскільки структура бітуму, що знаходиться в асфальтобетоні, порушується при нагріванні і його пластичні характеристики втрачаються. В той же час необхідно враховувати, що крива розігрівання на рівні основи регенованого шару зростає не так стрімко. Тому більшим оптимальним режимом розігріву є поступовий розігрів.

Проаналізувавши графіки на рис. 1 та математичні моделі можна припустити, що зменшення температури розігріву покриття хоча б на 10–20 °С призведе до збільшення продуктивності роботи термічної установки. В такому випадку збільшення продуктивності може складати від 20 % до 25 %, що зменшить витрату газу та, відповідно, собівартість робіт.

4. Висновки

У ході роботи проведені натурні дослідження зміни температури розігрівання покриття в залежності від швидкості руху термічної установки для розігріву асфальтобетонного покриття та часу розігрівання. Отримані графічні залежності та математичні моделі можуть бути використані при оптимізації технологічного процесу гарячої регенерації асфальтобетону методом «in-place», що дасть змогу зменшити витрату газу та собівартість виконання робіт.

References

1. Tereshchenko, T. A. (2014). Shliakhy rozvytku tekhnolohii hariachoho resaiklinhu dorozhnoho asfaltobetonu. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2, 42–48.
2. Zhdaniuka, V., Sybils'koho, D. (Eds.) (2006). *Vsesvitnia dorozhnia asotsiatsiia. Tekhnichniy komitet S7/8 «Dorozhni pokryttia». Retsykliuvannia dorozhnikh odiahiv.*

Chastyna 3. Posibnyk z hariachoho retsykliuvannia asfaltobetonu zi starykh pokryttiv na zavodi. Kharkiv: Vyd-vo KhNADU, 52.

3. Stroup-Gardiner, M., Godwin, S. R., Williams, J. M. et. al. (2011). Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods. *NCHRP Synthesis 421. Transportation Research Board.* Washington, 82. Available at: https://grr.chamberlain.contractors/wp-content/uploads/sites/2/2017/03/nchrp_syn_421.pdf

4. Anderson, K. V., Russell, M., Uhlmeyer, J. F. et. al. (2016). Long-Term Performance of a Hot In-Place Recycling Project – Final Report. *Washington State Department of Transportation Research Report WA-RD 738*, 99. Available at: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/738.2.pdf>

5. Wells, M. (2018). *Hot-in-Place Asphalt Recycling Yields Benefits for Road Rehabilitation.* Available at: <https://informedinfrastructure.com/36026/hot-in-place-asphalt-recycling-yields-benefits-for-road-rehabilitation/>

6. *A Case Study of Work done by a HOT IN-PLACE RECYCLING (HIR) Machines.* Available at: http://www.green-arm.com/corporate/paper_db/HIR%20for%20ICPT.pdf

7. Nagaychuk, V., Illiash, S., Tereshchenko, T. (2018). Experience on implementation of hot in-place recycling of asphalt concrete in Ukraine. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 4, 28–36. doi: <http://doi.org/10.33868/0365-8392-2018-4-256-28-36>

8. Quershi, N. A., Akram, T., Jamil, S. M. (2010). Performance Evaluation of Hot In-Place Recycling Evalence in Pakistan. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies.* Ancona. Available at: <http://www.claisse.info/Proceedings.htm>

9. Liu, Y., Wang, H., Tighe, S. L., Zhao, G., You, Z. (2019). Effects of preheating conditions on performance and workability of hot in-place recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 226, 288–298. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.277>

10. Illiash, S. I. (2014). Tekhnolohichni ta vartisni aspekty vprovadzhennia hariachoho resaiklinhu asfaltobetonu na dorozh. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 6, 40–43.

The object of research is the technology of hot asphalt concrete regeneration by the in-place method. Temperature regimes for heating asphalt concrete pavement are one of the key technological parameters that affect the quality of the output regenerated asphalt concrete. In order to establish the dependence of the temperature of the pavement heating at different depths on the heating time, field studies are carried out directly when performing work on the hot regeneration of asphalt concrete using the Reshape method. The work is carried out at an ambient temperature of 25–30 °C and

calm weather. The regenerated hot asphalt mix, which is used when conducting studies on the grain composition and bitumen content, corresponded to a hot, fine-grained mixture, dense asphalt concrete, type A, continuous granulometry, grade II, in accordance with DSTU B V.2.7-119:2011. Content of residual bitumen loosened asphalt crumb is 6.0 %. During the research, measurements are carried out at different speeds (1.8 m/min and 2.1 m/min) of the thermal installation for heating the Wirtgen HM 4500 asphalt concrete pavement (country of origin is Germany). The obtained graphical dependencies and mathematical models make it possible to determine that the most optimal pavement heating mode is gradual heating. This mode will allow avoiding the burning of bitumen and provide pavement heating at the level of the base of the regenerated layer, which is very important when determining the temperature of mixing the mixture. Analysis of graphs and mathematical models suggests that a decrease in the temperature of the pavement heating by at least 10–20 °C will lead to an increase in the performance of the thermal device. In this case, the increase in productivity can be from 20 % to 25 %, which will reduce the gas consumption and, accordingly, the cost of work. Thus, the obtained dependencies can be used to optimize the process of hot asphalt concrete regeneration by the in-place method.

Keywords: *asphalt concrete regeneration, automobile road, asphalt concrete pavement, hot recycling, current repair, economic efficiency.*