

REZINA KUKUNI ASOSIDA MODIFIKATSIYALANGAN BITUM VA
ASFALTBETONNING EKSPLOATATSION XUSUSIYATLARI: ILMIY TADQIQOTLAR
SHARHI

Asqarov Nurmuhammad Otabek o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti magistranti.

Sodiqov Ibrohim Solixovich

Ilmiy rahbar. texnika fanlari doktori (DSc), professor.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23315446>

Annotatsiya. Ushbu obzor maqolada chiqindi avtomobil shinalaridan olinadigan rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitum va asfaltbeton materiallarining xususiyatlari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar tahlil qilingan. Rezina kukuni bilan bitumni modifikatsiyalash texnologiyalari, jumladan nam (Wet Process) va quruq (Dry Process) usullar hamda rezina-bitum o'zaro ta'sir mexanizmlari ko'rib chiqilgan. Turli mamlakat olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlar asosida rezina kukunining bitum elastikligi, deformatsiyaga chidamliligi, yorilishga qarshiligi va asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlariga ta'siri umumlashtirilgan.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, optimal tarkibda qo'llanilgan rezina kukuni yo'l qoplamalarining ishlash ko'rsatkichlarini yaxshilaydi hamda chiqindi shinalardan samarali foydalanish imkonini beradi. Shu bilan birga, rezina-bitum bog'lovchilarining texnologik parametrlarini takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha tadqiqotlar zarurligi qayd etilgan.

Kalit so'zlar: rezina kukuni, modifikatsiyalangan bitum, rezina-bitum bog'lovchi, asfaltbeton, Crumb Rubber Modified Asphalt (CRMA), yo'l qoplamasi, ekspluatatsion xususiyatlar, chiqindi shinalar.

Аннотация. В данной обзорной статье проведен анализ исследований, посвященных свойствам битумов и асфальтобетонных материалов, модифицированных резиновой крошкой, полученной из отходов автомобильных шин. Рассмотрены технологии модификации битума резиновой крошкой, включая мокрый (Wet Process) и сухой (Dry Process) методы, а также механизм взаимодействия резиновых частиц с битумным вяжущим. На основе исследований, выполненных учеными различных стран, обобщено влияние резиновой крошки на эластичность битума, устойчивость к деформациям, трещиностойкость и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий.

Анализ показывает, что применение оптимального содержания резиновой крошки способствует улучшению эксплуатационных свойств дорожных покрытий и обеспечивает эффективное использование отходов автомобильных шин. Отмечена необходимость дальнейшего совершенствования технологических параметров производства резино-битумных вяжущих.

Ключевые слова: резиновая крошка, модифицированный битум, резино-битумное вяжущее, асфальтобетон, Crumb Rubber Modified Asphalt (CRMA), дорожное покрытие, эксплуатационные свойства, отходы шин.

Abstract. This review article analyzes research on the properties of bitumen and asphalt concrete materials modified with crumb rubber obtained from waste automobile tires.

The technologies of bitumen modification using crumb rubber, including wet and dry processes, as well as the interaction mechanism between rubber particles and bitumen binder, are considered. Based on studies conducted by researchers from different countries, the influence of crumb rubber on bitumen elasticity, deformation resistance, crack resistance, and the performance characteristics of asphalt pavements is summarized. The analysis shows that the use of an optimal crumb rubber content improves the performance of road pavements and provides an effective method for recycling waste automobile tires. The need for further improvement of technological parameters for producing rubber-bitumen binders is emphasized.

Keywords: *crumb rubber, modified bitumen, rubber-bitumen binder, asphalt concrete, Crumb Rubber Modified Asphalt (CRMA), road pavement, performance properties, waste tires.*

I. Kirish

Avtomobil yo'llari transport infratuzilmasining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Hozirgi vaqtda transport vositalari harakat intensivligining ortishi, o'q yuklamalarining ko'payishi hamda iqlim sharoitlarining ta'siri yo'l qoplamalarining mustahkamligi va uzoq muddat xizmat qilishiga qo'yiladigan talablarni oshirmoqda. An'anaviy neft bitumlari yuqori haroratlarda plastik deformatsiyalarga, past haroratlarda yorilishlarga va takroriy yuklanishlar natijasida charchash buzilishlariga yetarli darajada bardosh bera olmaydi. Shu sababli asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash maqsadida bitumni turli modifikatorlar yordamida takomillashtirish dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda avtomobil shinalarini qayta ishlash natijasida olinadigan rezina kukunidan bitum modifikatori sifatida foydalanishga katta e'tibor qaratilmoqda. Rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlar yo'l qoplamalarining texnik ko'rsatkichlarini yaxshilash bilan birga, chiqindi shinalarni qayta ishlash orqali ekologik muammolarni kamaytirish imkonini beradi. Ilmiy tadqiqotlar natijalariga ko'ra, rezina kukuni bitumning elastikligi, yopishqoqligi va deformatsiyaga chidamliligini oshirishga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfalt (Crumb Rubber Modified Asphalt — CRMA) bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda bunday bog'lovchilar asosidagi asfaltbeton aralashmalarining yuqori haroratlardagi iz hosil bo'lishiga, charchash yoriqlariga va namlik ta'siridagi buzilishlarga chidamliligi yaxshilanishi ko'rsatilgan. Ushbu jarayonlarda rezina zarrachalarining bitum komponentlari bilan o'zaro ta'siri, shishishi va bog'lovchi strukturasi o'zgarishi muhim ahamiyatga ega.

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumlarni olishda asosan ikki xil texnologiya — nam usul (Wet Process) va quruq usul (Dry Process) qo'llaniladi. Nam usulda rezina kukuni qizdirilgan bitum tarkibiga qo'shib, rezina-bitum bog'lovchisi hosil qilinadi. Quruq usulda esa rezina kukuni asfaltbeton aralashmasiga mineral komponent sifatida kiritiladi. Ushbu texnologiyalarning samaradorligi rezina zarrachalarining o'lchami, miqdori, aralashtirish harorati va davomiyligiga bog'liq. Shu bilan birga, rezina kukuni asosidagi modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanishda bog'lovchining yuqori qovushqoqligi, saqlash vaqtida fazalar ajralishi va ishlab chiqarish texnologiyasining murakkabligi kabi muammolar mavjud.

Shu sababli rezina-bitum bog‘lovchilarining optimal tarkibi va texnologik parametrlarini aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar davom etmoqda.

Ushbu maqolaning maqsadi — rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlarning asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlariga ta’siri bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarni tahlil qilish, mavjud modifikatsiya texnologiyalarini umumlashtirish hamda ushbu materiallarning afzalliklari va qo‘llashdagi cheklovlarini yoritishdan iborat.

II. Rezina kukuni bilan bitumni modifikatsiyalash texnologiyalari

Rezina kukuni bilan bitumni modifikatsiyalash asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan samarali texnologiyalardan biri hisoblanadi. Ushbu usulda chiqindi avtomobil shinalaridan olinadigan rezina kukuni bitum tarkibiga kiritilib, bog‘lovchining elastikligi, deformatsiyaga chidamliligi va uzoq muddatli ishlash ko‘rsatkichlarini yaxshilashga erishiladi.

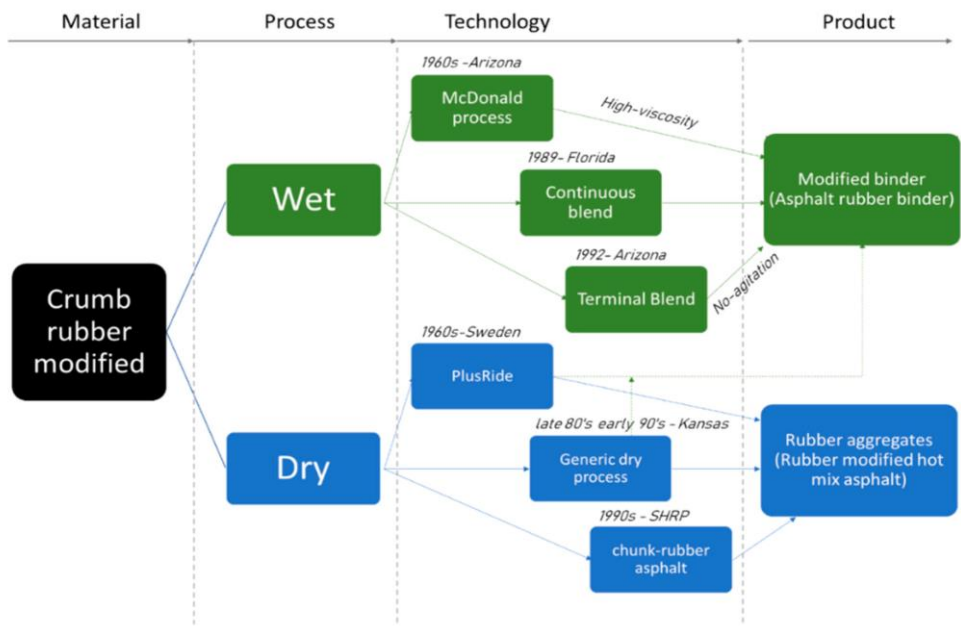
Avtomobil shinalarini qayta ishlash natijasida olinadigan rezina kukuni (crumb rubber) tarkibida kauchuk polimerlari, uglerod qorasi, mineral qo‘shimchalar va boshqa komponentlar mavjud bo‘lib, ular bitum bilan o‘zaro ta’sirlashganda bog‘lovchining strukturasi o‘zgartiradi.

Rezina zarrachalari bitum tarkibidagi yengil fraksiyalarni shimib, shishadi va elastik faza hosil qiladi. Natijada modifikatsiyalangan bitumning yuqori haroratdagi deformatsiyaga chidamliligi hamda past haroratdagi yorilishga qarshiligi ortadi [2,8].

Bressi va hammualliflari tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfalt materiallarini tayyorlash texnologiyalari asosan ikki asosiy yo‘nalishga ajratilgan [2]:

- 1. Nam usul (Wet Process);
- 2. Quruq usul (Dry Process).

Ushbu texnologiyalar o‘rtasidagi asosiy farq rezina kukunining asfalt tizimiga kiritilish bosqichida namoyon bo‘ladi.



1-rasm. Crumb Rubber Modified Asphalt (CRMA) texnologiyalarining rivojlanish bosqichlari va qo'llash usullari.

Izoh: sxema rezina kukunini qo'llashning nam (Wet Process) va quruq (Dry Process) texnologiyalari asosida tuzilgan (Bressi S., Fiorentini N., Huang J., Losa M., 2019 ma'lumotlari asosida qayta ishlangan).

Nam usul (Wet Process) - Nam usul rezina kukunini oldindan qizdirilgan bitum bilan bevosita aralashtirishga asoslangan texnologiya hisoblanadi. Ushbu jarayonda rezina kukuni odatda 160–200 °C haroratdagi bitum tarkibiga kiritiladi va maxsus aralashtirish qurilmalarida ma'lum vaqt davomida qayta ishlanadi [2].

Aralashtirish jarayonida rezina zarrachalari bitum tarkibidagi aromatik va moyli komponentlarni shimib oladi. Natijada rezina zarrachalarining hajmi ortadi, bog'lovchining qovushqoqligi oshadi va elastik xususiyatlari yaxshilanadi. Hosil bo'lgan material rezina-bitum bog'lovchisi (Asphalt Rubber Binder) deb ataladi.

Bressi va hammualliflari [2] ma'lumotlariga ko'ra, nam usul texnologiyasi rivojlanish jarayonida bir necha bosqichlarni bosib o'tgan:

- McDonald jarayoni (Arizona, AQSh, 1960-yillar) — rezina kukuni asosida yuqori elastiklikka ega bog'lovchi olishga qaratilgan dastlabki texnologiyalardan biri;
- Continuous Blend texnologiyasi (Florida, AQSh, 1989-yil) — rezina va bitumni uzluksiz aralashtirish orqali bir xil tarkibli bog'lovchi olish imkonini bergan;
- Terminal Blend texnologiyasi (Arizona, AQSh, 1992-yil) — zavod sharoitida tayyorlanadigan va saqlash barqarorligi yaxshilangan rezina-modifikatsiyalangan bitum ishlab chiqarishga yo'naltirilgan.

Nam usulning asosiy afzalligi rezina zarrachalari va bitum o'rtasidagi faol o'zaro ta'sir natijasida yuqori elastik xususiyatga ega bog'lovchi hosil bo'lishidir. Shu sababli ushbu texnologiya yuqori transport yuklanishiga ega yo'l qoplamalarida keng qo'llaniladi.

Biroq, ushbu usulda bitum qovushqoqligining oshishi, maxsus aralashtirish uskunalari bo'lgan ehtiyoj hamda tayyor bog'lovchining saqlash barqarorligi bilan bog'liq ayrim muammolar mavjud [2,8].

Quruq usul (Dry Process) - Quruq usulda rezina kukuni oldindan bitum bilan aralashtirilmaydi, balki asfaltbeton qorishmasining mineral komponentlari bilan birgalikda kiritiladi. Bunda rezina kukuni mineral materialning bir qismi sifatida qatnashib, asfaltbeton tarkibida elastik qo'shimcha vazifasini bajaradi [2].

Bressi va hammualliflari [2] tadqiqotlarida quruq usul asosida rivojlangan quyidagi texnologiyalar qayd etilgan:

- PlusRide texnologiyasi (Shvetsiya, 1960-yillar);
- Generic Dry Process texnologiyasi (AQSh, 1980-yillar oxiri – 1990-yillar boshi);
- Chunk Rubber Asphalt texnologiyasi (1990-yillar, SHRP loyihalari asosida).

Quruq usulning asosiy afzalligi mavjud asfaltbeton ishlab chiqarish jarayoniga nisbatan oson moslashtirilishi va katta hajmdagi rezina chiqindilaridan foydalanish imkoniyatidir.

Shu bilan birga, ushbu texnologiyada rezina va bitum o'rtasidagi o'zaro ta'sir nam usulga qaraganda cheklangan bo'lib, olinadigan materiallarning xususiyatlari rezina zarrachalarining o'lchami, miqdori va aralashtirish sharoitlariga bog'liq bo'ladi.

Rezina kukuni va bitumning o'zaro ta'sir mexanizmi - Rezina kukuni va bitum o'rtasidagi o'zaro ta'sir murakkab fizik-kimyoviy jarayon hisoblanadi. Ushbu jarayonda bitum tarkibidagi malten fraksiyalari rezina zarrachalari tarkibiga kirib boradi va ularning shishishiga sabab bo'ladi.

Natijada rezina zarrachalari bog'lovchi tarkibida elastik komponent sifatida ishlaydi [8,9].

Rezina kukunining bitum tarkibiga kiritilishi quyidagi o'zgarishlarga olib keladi:

- bitumning elastik tiklanish qobiliyati oshadi;
- yuqori haroratdagi plastik deformatsiyalar kamayadi;
- asfaltbetonning yorilishga chidamliligi yaxshilanadi;
- qoplamaning ekspluatatsion xizmat muddati uzayadi.

Shunday qilib, rezina kukuni bilan bitumni modifikatsiyalash texnologiyasi chiqindi avtomobil shinalaridan samarali foydalanish bilan birga, asfaltbeton qoplamalarining mustahkamligi va uzoq muddat xizmat qilish xususiyatlarini oshirish imkonini beruvchi istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

III. Rezina kukunining bitumning fizik-mexanik va reologik xususiyatlariga ta'siri

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumlarning xususiyatlari rezina zarrachalarining miqdori, granulometrik tarkibi hamda modifikatsiya jarayonining texnologik parametrlariga bog'liq. Turli tadqiqotlarda rezina kukunining bitumning fizik-mexanik va reologik ko'rsatkichlariga ta'siri keng o'rganilgan.

Rezina kukunining bitumning fizik-mexanik xususiyatlariga ta'siri - Nagurskiy, Grynyshyn, Khlibyshyn va Korchak tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda chiqindi avtomobil shinalaridan olingan maydalangan kauchuk kukunining BND 90/130 yo'l bitumining fizik-mexanik xususiyatlariga ta'siri o'rganilgan [3].

Tadqiqot davomida turli fraksiyadagi rezina kukunlari (0,0–0,8 mm va 0,8–1,0 mm) bitum tarkibiga 5, 10 va 15 % miqdorda qo'shilgan. Modifikatsiyalangan bitumlarning penetratsiya, yumshash harorati, cho'ziluvchanlik va elastiklik ko'rsatkichlari baholangan.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, rezina kukuni miqdorining oshishi bilan bitumning penetratsiya qiymati kamaygan. Dastlabki BND 90/130 bitumida 25 °C haroratdagi penetratsiya qiymati 110×0,1 mm bo'lgan bo'lsa, rezina kukuni miqdori 15 % gacha oshirilganda ushbu ko'rsatkich 60–90×0,1 mm oralig'igacha kamaygan. Bu holat rezina zarrachalarining bitum strukturasini zichlashtirishi va bog'lovchining qattiqligini oshirishi bilan izohlanadi. Shuningdek, rezina kukuni qo'shilishi bitumning yumshash haroratini oshirgan.

Boshlang'ich bitumda ushbu ko'rsatkich 322 K ni tashkil etgan bo'lsa, modifikatsiyadan so'ng 331–338 K gacha oshgan. Bu esa yuqori harorat sharoitida deformatsiyaga chidamlilik yaxshilanganligini ko'rsatadi.

Tadqiqotlarda rezina kukuni miqdorining ortishi bilan cho'ziluvchanlik ko'rsatkichi kamayishi aniqlangan. Biroq, elastiklik qiymati sezilarli darajada oshgan: boshlang'ich bitumdagi 69 % elastiklik ko'rsatkichi rezina kukuni qo'shilgandan so'ng 85–87 % gacha yetgan.

Mualliflarning xulosasiga ko'ra, BND 90/130 bitumini 433 K haroratda 4 soat davomida 5 % massaviy miqdordagi rezina kukuni bilan modifikatsiyalash optimal natijalarni bergan. Ushbu sharoitda olingan rezina-bitum bog'lovchisi yuqori elastiklik va ekspluatatsion barqarorlikka ega bo'lgan [3].

IndKex	Kauchuk maydalangan qismi miqdori, og'irlik %			
	0	5	10	15
Aralashtirish vaqti 4				
soat Kauchuk maydalangan fraksiya 0,6-0,8 mm				
298 K da penetratsiya, 0.K1 mm	110	100	80	60
Yumshatilish harorati, K 298 K	322	331	336	338
da egiluvchanlik, sm	38	34	27	18
Elastiklik, %	59	80	82	86
Kauchuk maydalangan fraksiya 0,8-1,0 mm				
298 K da penetratsiya, 0,1 mm	110	94	75	49
Yumshatilish harorati, K 298 K	322	328	333	336
da egiluvchanlik, sm	38	33	26	17
Elastiklik, %	59	79	81	85
Aralashtirish vaqti 6				
soat Kauchuk maydalangan fraksiya 0,6-0,8 mm				
298 K da penetratsiya, 0,1 mm	110	95	76	52
Yumshatilish harorati, K 298 K	322	332	336	339
da egiluvchanlik, sm	38	32	27	17
Elastiklik, %	59	81	83	87
Kauchuk maydalangan fraksiya 0,8-1,0 mm				
298 K da penetratsiya, 0,1 mm	110	92	73	47
Yumshatilish harorati, K 298 K	322	330	335	337
da egiluvchanlik, sm	38	31	26	16
Elastiklik, %	59	80	81	86

1-jadval. Rezina kukuni miqdorining BND 90/130 yo'1 bitumining fizik-mexanik xususiyatlariga ta'siri (Nagurskiy A., Grynyshyn O., Khlibyshyn Y., Korchak B. ma'lumotlari asosida)

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumning reologik xususiyatlari - Bitumning yo'1 qoplamalaridagi ishlash samaradorligi uning fizik ko'rsatkichlari bilan bir qatorda reologik xususiyatlariga ham bog'liq. Reologik xususiyatlar bog'lovchining tashqi yuklanish va harorat ta'sirida deformatsiyalanishi hamda o'z strukturasi tiklash qobiliyatini ifodalaydi.

Airey tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda polimer va rezina asosidagi modifikatsiyalangan bitumlarning reologik xususiyatlari o'rganilib, modifikatsiya natijasida bog'lovchining elastik komponenti ortishi va yuqori haroratdagi deformatsiyaga chidamliligi yaxshilanishi aniqlangan [4].

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalash jarayonida rezina zarrachalari bitum tarkibidagi yengil uglevodorod fraksiyalarini shimib oladi va shishadi. Natijada bog'lovchi tarkibida elastik faza shakllanib, uning mexanik xususiyatlari yaxshilanadi. Huang, Bird va Heitzman tadqiqotlarida rezina zarrachalarining shishishi hamda bitum qovushqoqligining ortishi ko'rsatilgan [5].

Zhu, Birgisson va Kringos tadqiqotlarida rezina-modifikatsiyalangan bitumlarda kompleks siljish moduli (G^*) oshishi va faza burchagi (δ) kamayishi aniqlangan. Bu holat bog'lovchining elastik xususiyatlari kuchayganligini hamda yuqori haroratlarda plastik deformatsiyalarga chidamliligi oshganligini ko'rsatadi [6].

Navarro va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni miqdori va aralashtirish sharoitlari rezina-bitum bog'lovchisining qovushqoqligi va strukturaviy barqarorligiga sezilarli ta'sir qilishi aniqlangan [8].

Xiao va Amirkhanian tadqiqotlarida rezina kukuni qo'shilgan asfalt bog'lovchilarning yuqori haroratdagi reologik xususiyatlari yaxshilanishi va iz hosil bo'lishiga qarshiligi oshishi ko'rsatilgan [9].

Bressi va hammualliflari tomonidan olib borilgan keng qamrovli tahlillarda rezina va bitum o'rtasidagi o'zaro ta'sir darajasi yakuniy material xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillardan biri ekanligi ta'kidlangan. Mualliflar nam usul asosida tayyorlangan rezina-bitum bog'lovchilarida elastiklik va yuqori harorat barqarorligi yuqoriroq ekanligini qayd etgan [2].

Presti tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda esa rezina-bitum bog'lovchilarining afzalliklari va mavjud muammolari tahlil qilingan. Muallif rezina kukuni asfalt qoplamalarining charchashga chidamliligini oshirishi va yorilishlarning rivojlanishini sekinlashtirishini ko'rsatgan, biroq optimal tarkib va texnologik sharoitlarni tanlash muhimligini ta'kidlagan [7].

Umuman olganda, ilmiy tadqiqotlar natijalari rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumlar an'anaviy bitumlarga nisbatan yuqori elastiklik, yaxshilangan reologik barqarorlik va ekspluatatsion chidamlilikka ega ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli CRMA texnologiyasi uzoq muddat xizmat qiluvchi asfaltbeton qoplamalarini yaratishda istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Rezina kukuni miqdori va zarracha o'lchamining modifikatsiyalangan bitum xususiyatlariga ta'siri - Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumlarning xususiyatlari nafaqat rezina qo'shimchasining kimyoviy tarkibiga, balki uning miqdori, zarracha o'lchami va modifikatsiya jarayonining texnologik parametrlariga ham bog'liq. Ushbu omillar bog'lovchining reologik xususiyatlari, elastikligi, qovushqoqligi va ekspluatatsion barqarorligini belgilovchi asosiy ko'rsatkichlar hisoblanadi.

Buyuk Britaniyaning University of Nottingham olimi Geoff D. Airey tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda modifikatsiyalangan bitumlarning reologik xususiyatlari o'rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, elastomer qo'shimchalari bitum tarkibidagi elastik komponentni oshirib, yuqori harorat sharoitida deformatsiyaga chidamlilikni yaxshilashi aniqlangan [4].

Italiyaning University of Palermo olimi Davide Lo Presti tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni asosidagi asfalt bog'lovchilarning xususiyatlari tahlil qilingan. Muallif rezina miqdorining ortishi bilan elastiklik va charchashga chidamlilik oshishini, biroq rezina miqdori haddan tashqari ko'payganda bog'lovchining qovushqoqligi ortib, aralashtirish va yotqizish jarayonlari murakkablashishini qayd etgan [7].

Ukrainaning Lviv Polytechnic National University olimlari Andriy Nagurskyy, Oleg Grynyshyn, Yuriy Khlibyshyn va Bohdan Korchak tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda turli fraksiyadagi rezina kukunlarining BND 90/130 yo'l bitumiga ta'siri o'rganilgan [3]. Tadqiqotlarda rezina kukuni 5 %, 10 % va 15 % miqdorda qo'shib, modifikatsiyalangan bitumning penetratsiya, yumshash harorati, cho'ziluvchanlik va elastiklik ko'rsatkichlari baholangan.

Natijalar shuni ko'rsatganki, rezina kukunining optimal miqdorini tanlash bog'lovchining elastikligi va ekspluatatsion barqarorligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Mualliflar BND 90/130 bitumini 433 K haroratda 4 soat davomida 5 % massaviy miqdordagi rezina kukuni bilan modifikatsiyalash eng maqbul natijalarni berganini ko'rsatgan [3].

AQSh olimlari Y. Huang, R. N. Bird va M. Heitzman tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina zarrachalarining bitum tarkibidagi moy fraksiyalarini shimishi natijasida shishishi va elastik struktura hosil qilishi aniqlangan. Ushbu jarayon rezina-bitum bog'lovchisining mexanik va reologik xususiyatlarini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi [5].

Clemson University olimlari Feipeng Xiao va Serji Amirkhanian tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni qo'shilgan asfalt bog'lovchilarning yuqori haroratdagi xususiyatlari o'rganilgan. Tadqiqotchilar rezina modifikatori asfalt qoplamalarining iz hosil bo'lishiga qarshiligini oshirishini aniqlagan [9].

Niderlandiyaning Delft University of Technology olimlari Jelagin va Kringos tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina va polimer modifikatsiyalangan bitumlarning strukturaviy shakllanish jarayonlari tahlil qilingan. Tadqiqotlarda modifikator zarrachalarining dispersiyasi hamda bitum bilan o'zaro ta'siri yakuniy material xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar ekanligi ta'kidlangan [6].

Umuman olganda, turli mamlakat olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, rezina kukunining miqdori, zarracha o'lchami va modifikatsiya sharoitlarini to'g'ri tanlash rezina-bitum bog'lovchilarining elastikligi, deformatsiyaga chidamliligi va uzoq muddatli ekspluatatsion xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillardan biridir.

IV. Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfaltbetonning ekspluatatsion xususiyatlari

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlarini o'rganish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Dastlabki tadqiqotlarda asosan rezina kukunining bitum xususiyatlariga ta'siri o'rganilgan bo'lsa, keyingi izlanishlarda ushbu modifikatsiyaning tayyor asfaltbeton qoplamalarining deformatsiyaga chidamliligi, yorilishga qarshiligi, namlik ta'siridagi barqarorligi va xizmat muddatiga ta'siri tahlil qilingan.

Huang, Bird va Heitzman tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina zarrachalarining bitum bilan o'zaro ta'siri hamda bog'lovchi strukturasidagi o'zgarishlar o'rganilgan. Tadqiqot natijalari rezina kukuni asfalt bog'lovchisining elastikligini oshirishi va yuqori haroratdagi deformatsiyalarga chidamliligini yaxshilashini ko'rsatgan [5]. Ushbu natijalar keyingi tadqiqotlarda rezina-modifikatsiyalangan asfaltbeton aralashmalarining ekspluatatsion xususiyatlarini baholash uchun asos bo'lib xizmat qilgan.

Xiao va Amirkhanian (Clemson University, AQSh) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni qo'shilgan asfalt aralashmalarining mexanik va reologik xususiyatlari o'rganilgan.

Mualliflar rezina modifikatori yuqori haroratdagi deformatsiyalarga chidamlilikni oshirishi va asfaltbetonning charchash jarayonlariga qarshiligini yaxshilashini aniqlagan [9]. Shu bilan birga, rezina miqdori va zarracha o'lchami yakuniy material xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar ekanligi qayd etilgan.

Shen, Amirkhanian va Tang (Clemson University, AQSh) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukunining miqdori va granulometrik tarkibining asfaltbetonning charchash mustahkamligiga ta'siri baholangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, rezina zarrachalari asfalt strukturasida elastik komponent hosil qilib, takroriy transport yuklanishlari natijasida yuzaga keladigan yorilishlarning rivojlanishini sekinlashtiradi.

Yuqoridagi tadqiqotlarda asosan yuqori haroratdagi deformatsiyalar va charchash jarayonlari baholangan bo'lsa, Huang, Yang va Ye (Tongji University, Xitoy) rezina-modifikatsiyalangan asfaltbetonning past haroratdagi ishlash xususiyatlarini o'rganagan. Ularning tadqiqotlarida rezina qo'shimchasi asfalt bog'lovchisining mo'rtlashishini kamaytirishi va termik yorilishlarga chidamliligini oshirishi aniqlangan.

Asfaltbeton qoplamalarining namlik ta'siridagi buzilishlari ham muhim ekspluatatsion muammolardan biri hisoblanadi. Kandhal va Cooley (National Center for Asphalt Technology, AQSh) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda asfalt aralashmalarining suv ta'siridagi mustahkamligi baholangan va bog'lovchining yopishqoqligi hamda elastik xususiyatlari namlikka chidamlilikda muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatilgan.

Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfaltbetonlarning namlik ta'siridagi barqarorligi Ghavibazoo va Abdelrahman (University of Nebraska–Lincoln, AQSh) tomonidan o'rganilgan.

Tadqiqotchilar rezina qo'shimchasi asfaltbeton strukturasining yaxlitligini saqlashga yordam berishini va suv ta'sirida mustahkamlik yo'qolishini kamaytirishini aniqlagan.

Rezina-asfalt qoplamalarining real ekspluatatsiya sharoitidagi xizmat muddati Way (Arizona Department of Transportation, AQSh) tomonidan o'rganilgan. Tadqiqot natijalari rezina-modifikatsiyalangan asfalt qoplamalarining an'anaviy asfalt qoplamalariga nisbatan uzoqroq xizmat qilishi va ta'mirlash davrlarini kamaytirishi mumkinligini ko'rsatgan.

Umuman olganda, ilmiy tadqiqotlar natijalari rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfaltbeton qoplamalari yuqori haroratdagi deformatsiyalarga, charchash yorilishlariga, past haroratdagi termik yorilishlarga hamda namlik ta'siridagi buzilishlarga nisbatan yuqori chidamlilikka ega ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli CRMA texnologiyasi uzoq muddat xizmat qiluvchi va ekologik jihatdan samarali yo'l qoplamalarini yaratishda istiqbolli yechimlardan biri hisoblanadi.

V. Rezina kukuni asosidagi modifikatsiyalangan bitumning afzalliklari va qo'llashdagi muammolar

Rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanish zamonaviy yo'l qurilishida asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash bilan birga, chiqindi avtomobil shinalarini qayta ishlash imkonini beruvchi ekologik samarali texnologiyalardan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya poligonlarga tashlanadigan rezina chiqindilarini kamaytirish va ikkilamchi xomashyodan foydalanish imkonini beradi.

Rezina kukuni tarkibidagi elastomer komponentlar bitumning ayrim yengil fraksiyalarini shimib, elastik faza hosil qiladi. Natijada bog'lovchining elastikligi oshadi, asfaltbeton qoplamalarining takroriy yuklanishlarga chidamliligi yaxshilanadi va yorilish jarayonlari sekinlashadi.

Davide Lo Presti (University of Palermo, Italiya) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni asosidagi asfalt bog'lovchilarning yuqori elastiklik, charchashga chidamlilik va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorlik xususiyatlari qayd etilgan. Muallif rezina modifikatoridan foydalanish texnik samaradorlik bilan birga ekologik afzalliklarni ham ta'minlashini ta'kidlagan [7].

Huang, Bird va Heitzman tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda rezina kukuni qo'shilishi bitumning elastik komponentini oshirishi va yuqori haroratdagi deformatsiyalarga chidamliligini yaxshilashi aniqlangan. Ushbu xususiyatlar rezina-modifikatsiyalangan asfaltbetonlarni yuqori transport yuklanadigan yo'llarda qo'llash imkoniyatini kengaytiradi [5].

Shu bilan birga, rezina kukuni asosidagi bog'lovchilardan foydalanishda ayrim texnologik muammolar mavjud. Rezina miqdorining ortishi bilan bog'lovchining qovushqoqligi oshib, aralashtirish, tashish va asfaltbeton qorishmasini yotqizish jarayonlari murakkablashishi mumkin. Shu sababli rezina miqdorini tanlashda ekspluatatsion xususiyatlar va texnologik qulaylik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash zarur.

Bundan tashqari, rezina zarrachalarining bitum tarkibida bir tekis taqsimlanishi va uzoq muddatli saqlash barqarorligi muhim masalalardan biridir. Navarro, Partal, Martínez-Boza va Gallegos (University of Huelva, Ispaniya) tadqiqotlarida rezina zarrachalarining dispersiyasi, aralashtirish harorati va davomiyligi rezina-bitum bog'lovchisining yakuniy xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan [8].

Hozirgi vaqtda rezina kukunining optimal miqdori va zarracha o'lchamini tanlash, modifikatsiya texnologiyalarini takomillashtirish hamda qo'shimcha modifikatorlardan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar davom ettirilmoqda. Zhu, Birgisson va Kringos tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda turli modifikatorlarning bitum strukturasiga ta'siri o'rganilib, rezina kukunini boshqa polimer qo'shimchalar bilan birgalikda qo'llash material xususiyatlarini yaxshilashi mumkinligi ko'rsatilgan [6].

Umuman olganda, rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlar asfaltbeton qoplamalarining elastikligi, deformatsiyaga chidamliligi va xizmat muddatini oshirish imkonini beruvchi istiqbolli material hisoblanadi. Biroq ushbu texnologiyani keng joriy etish uchun optimal tarkibni tanlash, ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish va turli iqlim sharoitlarida uzoq muddatli ishlash xususiyatlarini yanada chuqur o'rganish talab etiladi.

VI. Rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan asfalt materiallarining rivojlanish istiqbollari

Hozirgi vaqtda rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlar yo'l qurilishida texnik va ekologik jihatdan samarali material sifatida keng o'rganilmoqda. Kelgusidagi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlari rezina kukuni va bitum o'rtasidagi o'zaro ta'sir mexanizmlarini chuqur o'rganish, modifikatsiya jarayonlarini optimallashtirish hamda asfaltbeton qoplamalarining xizmat muddatini oshirishga qaratilgan.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, rezina-bitum bog'lovchilarning samaradorligi rezina kukunining miqdori, zarracha o'lchami, kimyoviy tarkibi va ishlab chiqarish sharoitlariga bevosita

bog'liq. Shu sababli kelajakda rezina kukunining optimal tarkibini aniqlash va turli iqlim sharoitlarida ishlash xususiyatlarini baholash muhim ilmiy yo'nalishlardan biri bo'lib qolmoqda.

Zamonaviy tadqiqotlarda rezina kukunini boshqa modifikatorlar bilan birgalikda qo'llashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Xususan, rezina kukuni va polimer qo'shimchalarning kombinatsiyasi asfaltbetonning elastikligini oshirish, yuqori haroratdagi deformatsiyalarga chidamliligini yaxshilash hamda past haroratdagi yorilishlarning oldini olish imkonini beradi. Zhu, Birgisson va Kringos tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda turli modifikatorlarning bitum strukturasiga birgalikdagi ta'siri natijasida bog'lovchining mexanik va reologik xususiyatlarini yaxshilash mumkinligi ko'rsatilgan [6].

Kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlaridan yana biri rezina kukunini qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish va uning asfalt materiallaridagi samaradorligini oshirish hisoblanadi. Chiqindi avtomobil shinalaridan ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish nafaqat yo'l qoplamalarining sifatini yaxshilaydi, balki ekologik muammolarni kamaytirishga ham xizmat qiladi.

Umuman olganda, rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan asfalt materiallarining istiqboli texnologik jarayonlarni takomillashtirish, yangi kombinatsiyalangan modifikatorlarni ishlab chiqish va uzoq muddatli ekspluatatsion ko'rsatkichlarni baholash bilan bog'liq. Ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlar natijasida chidamli, iqtisodiy samarali va ekologik xavfsiz yo'l qoplamalarini yaratish imkoniyati kengayadi.

Xulosa

Ushbu obzor maqolada chiqindi avtomobil shinalaridan olinadigan rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitum va asfaltbeton materiallarining xususiyatlari bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlil qilindi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, rezina kukuni bitum tarkibiga kiritilganda bog'lovchining elastikligi, yuqori haroratdagi deformatsiyaga chidamliligi va asfaltbeton qoplamalarining yorilishga qarshilik xususiyatlari yaxshilanadi.

Ilmiy tadqiqotlar natijalariga ko'ra, rezina-bitum bog'lovchilarining samaradorligi rezina kukunining miqdori, zarracha o'lchami, aralashtirish harorati va texnologik jarayon parametrlariga bog'liq. Nam usul (Wet Process) asosida tayyorlangan bog'lovchilarda rezina va bitum o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchliroq bo'lib, yuqori elastiklik va ekspluatatsion barqarorlikni ta'minlashi aniqlangan.

Shu bilan birga, rezina kukuni bilan modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanishda bog'lovchi qovushqoqligining ortishi, saqlash barqarorligi va ishlab chiqarish texnologiyasining murakkabligi kabi muammolar mavjud. Ushbu masalalarni hal qilish uchun rezina kukunining optimal tarkibini tanlash, modifikatsiya jarayonlarini takomillashtirish va yangi kombinatsiyalangan modifikatorlardan foydalanish bo'yicha tadqiqotlarni davom ettirish zarur.

Umuman olganda, rezina kukuni asosida modifikatsiyalangan bitumlar yo'l qoplamalarining xizmat muddatini oshirish, ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash va chiqindi avtomobil shinalaridan samarali foydalanish imkonini beruvchi istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya kelajakda ekologik barqaror va uzoq muddat xizmat qiluvchi asfaltbeton qoplamalarini yaratishda muhim yo'nalishlardan biri bo'lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Lo Presti D.L. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 49. – P. 863–881.
2. Bressi S., Fiorentini N., Huang J., Losa M. Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics // *Coatings*. – 2019. – Vol. 9. – No. 6. – Article 384.
3. Heitzman M. State of the Practice: Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier // Federal Highway Administration (FHWA). – Washington, DC, USA, 1992.
4. Huang B., Mohammad L.N., Graves P.S., Abadie C. Louisiana Experience with Crumb Rubber-Modified Hot-Mix Asphalt Pavement // *Transportation Research Record*. – 2002. – No. 1789. – P. 1–13.
5. Airey G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens // *Fuel*. – 2003. – Vol. 82. – P. 1709–1719.
6. Xiao F., Amirkhanian S.N. Laboratory investigation of moisture damage in rubberized asphalt mixtures containing warm mix additives // *Construction and Building Materials*. – 2009. – Vol. 23. – P. 3370–3378.
7. Shen J., Amirkhanian S., Tang B. Effects of material properties on the performance of rubberized asphalt mixture // *Construction and Building Materials*. – 2007. – Vol. 21. – P. 177–183.
8. Navarro F.J., Partal P., Martínez-Boza F., Gallegos C. Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens // *Fuel*. – 2004. – Vol. 83. – P. 2041–2049.
9. Ghavibazoo A., Abdelrahman M. Composition analysis of crumb rubber during interaction with asphalt and effect on properties of binder // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2013. – Vol. 14. – P. 517–530.
10. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges // *European Polymer Journal*. – 2014. – Vol. 54. – P. 18–38.
11. Yildirim Y. Polymer modified asphalt binders // *Construction and Building Materials*. – 2007. – Vol. 21. – P. 66–72.
12. Nagurskyy A., Grynysyn O., Khlibyshyn Y., Korchak B. Use of rubber crumb obtained from waste car tires for the production of road bitumen and roofing materials from residues of Ukrainian oil processing // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2010. – Vol. 4. – No. 3. – P. 233–238.
13. Rahman M.M. Characterisation of dry process crumb rubber modified asphalt mixtures // PhD Thesis. – University of Nottingham, United Kingdom, 2010.
14. Way G.B. OGFC Meets CRM: Where the Rubber Meets the Rubber // Rubber Pavements Association Technical Report. – Arizona, USA.
15. Kandhal P.S., Cooley L.A. Accelerated Laboratory Rutting Tests: Evaluation of the Asphalt Pavement Analyzer // National Center for Asphalt Technology (NCAT), Auburn University, USA, 2003.

16. Airey G.D., Rahman M.M., Collop A.C. Absorption of bitumen into crumb rubber using the basket drainage method // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2003. – Vol. 4. – No. 2. – P. 105–119.
17. Kök B.V., Çolak H. Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt // *Construction and Building Materials*. – 2011. – Vol. 25. – P. 3204–3212.
18. Sengoz B., Isikyakar G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22. – P. 1897–1905.