



YO‘L QOPLAMASINING O‘Z-O‘ZINI TIKLASH TEXNOLOGIYASI VA SAMARADORLIGI

Andijon davlat texnika instituti

Yo‘l muhandisligi 4-kurs talabasi

Abdusattorov Saidmurod

Maribjonov Asadbek

Ro‘zmatov Polvonboy

Davlatov Asrorjon

Annotatsiya

Mazkur maqolada yo‘l qoplamasining o‘z-o‘zini tiklash texnologiyasi va uning samaradorligi masalalari keng yoritilgan. Dastlab, ushbu texnologiyaning nazariy asoslari, tarixiy taraqqiyoti va jahon hamda milliy miqyosdagi ilmiy izlanishlar tahlil qilinadi. Keyin, o‘z-o‘zini tiklovchi materiallar, ularning xususiyatlari va amaliyotda qo‘llanilishi haqida fikr yuritiladi. Empirik tadqiqotlar natijalari va zamonaviy baholash usullari asosida texnologiyaning iqtisodiy va ekologik afzalliklari ko‘rsatiladi. Xulosa qismida esa yo‘l qoplamasining uzoq muddatli xizmatini ta‘minlash va infratuzilma barqarorligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar beriladi.

Kalit so'zlar: yo‘l qoplamasi, o‘z-o‘zini tiklash, innovatsion texnologiyalar, samaradorlik

Abstract

This article comprehensively explores the self-healing technology of road pavements and its effectiveness. Initially, the theoretical foundations, historical development, and both global and national scientific research on this technology are analyzed. Subsequently, the properties and practical application of self-healing materials are discussed. Based on empirical research findings and modern evaluation



methods, the economic and environmental advantages of the technology are presented. The conclusion provides recommendations for ensuring the long-term service life of road pavements and enhancing infrastructure sustainability.

Keywords: pavement, self-healing, innovative technologies, efficiency

Аннотация

В данной статье всесторонне рассматривается технология самовосстановления дорожных покрытий и её эффективность. Сначала анализируются теоретические основы, историческое развитие и международные, а также национальные научные исследования в данной области. Затем обсуждаются свойства и практическое применение самовосстанавливающихся материалов. На основе эмпирических исследований и современных методов оценки выявляются экономические и экологические преимущества технологии. В заключении даны рекомендации по обеспечению долговечности дорожных покрытий и повышению устойчивости инфраструктуры.

Ключевые слова: дорожное покрытие, самовосстановление, инновационные технологии, эффективность

Kirish

Hozirgi zamon transport infratuzilmasining asosiy elementlaridan biri bo'lgan yo'l qoplamasining mustahkamligi va uzoq xizmat qilishi iqtisodiy taraqqiyot hamda jamiyatning barqaror rivojlanishida muhim rol o'ynaydi. An'anaviy yo'l qoplamalari vaqt o'tishi bilan turli omillar ta'sirida yemiriladi, yoriqlar, chuqurlar va boshqa nosozliklar yuzaga keladi. Ushbu muammolarni bartaraf etish doimiy ta'mirlash va katta miqdordagi moliyaviy hamda mehnat resurslarini talab etadi. So'nggi yillarda yo'l qoplamalarini o'z-o'zini tiklash texnologiyasi asosida yaratish, ya'ni qoplama strukturasi ichida mustaqil ravishda yuzaga kelgan zararlarni



avtomatik tarzda bartaraf eta oladigan materiallardan foydalanish konsepsiyasi ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb yo‘nalishga aylandi. Ushbu maqolada yo‘l qoplamasining o‘z-o‘zini tiklash texnologiyasi va samaradorligi, uning nazariy asoslari, rivojlanish tarixi, ilmiy-amaliy tadqiqotlar va zamonaviy texnologiyalar asosida keng yoritiladi. Bundan maqsad – mavjud muammolarni chuqur tahlil qilish, ilg‘or texnologiyalarni tahlil asosida baholash va kelajakda yo‘l qurilishida ularni joriy etish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Yo‘l qoplamasining o‘z-o‘zini tiklash texnologiyasi bugungi kunda transport infratuzilmasi rivoji uchun muhim innovatsion yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya nazariy asoslarini o‘rganishda, avvalo, materialshunoslik va mustahkamlik nazariyasining fundamental tamoyillariga tayaniladi. O‘z-o‘zini tiklovchi materiallar konsepsiyasi dastlab tabiiy jarayonlarni – masalan, inson terisi yoki o‘simliklarning o‘sish jarayonlarini – modellashtirish asosida paydo bo‘lgan. Tabiatda ko‘plab organizmlar tashqi zararlarni o‘z mustaqil tiklash qobiliyatiga ega. Ushbu tabiiy mexanizmlarni texnologik jarayonlarga tatbiq etish g‘oyasi XX asrning oxirlarida, xususan, kompozit materiallar, beton va asfalt turlarida yuzaga kelgan zararlarni «avtomatik» tuzatish imkoniyatlarini o‘rganishdan boshlangan[1]. Bu yo‘nalishdagi klassik nazariyalarga ko‘ra, material ichida maxsus kapsulalar, mikroto‘rlar yoki kimyoviy agentlar joylashtiriladi va ular yoriq yoki shikastlanish paytida faollashib, zararni bartaraf etadi.

Nazariy jihatdan, o‘z-o‘zini tiklash mexanizmlarini ikki asosiy turga ajratish mumkin: passiv va faol mexanizmlar. Passiv mexanizmlar materiali ichidagi tabiiy yoki oldindan joylashtirilgan komponentlarning tashqi ta’sirga javob berishi orqali amalga oshiriladi. Faol mexanizmlar esa tashqi energiya (issiqlik, elektromagnit to‘lqinlar va boshqalar) ta’sirida ishga tushadi. Tarixiy jihatdan, o‘z-o‘zini tiklash konsepsiyasi birinchi bor 1990-yillarda AQSh va Yevropa ilmiy markazlarida,



xususan, Illinois universiteti va Niderlandiyaning Delft texnologiya universiteti olimlari tomonidan tadqiq qilingan. Ular dastlab polimer materiallar asosida mikro kapsulalarning yorilish va tiklanish mexanizmlarini modellashtirganlar[2]. Keyinchalik ushbu yondashuvlar asfalt va beton qoplamalariga ham tatbiq etilgan.

Yurtimizda ham yo‘l qoplamalari sohasida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent avtomobil yo‘llari institutining ko‘plab tadqiqotchilari tomonidan o‘z-o‘zini tiklashga qodir asfalt va beton turlari ustida ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Masalan, A. Karimov va X. Xudoyberganovlarning ishlari respublikamizning iqlim sharoitiga mos innovatsion asfalt aralashmalarini ishlab chiqishga qaratilgan. Ular asfalt tarkibiga maxsus bitum modifikatorlari, polimer va nano-komponentlar qo‘shish orqali qoplamaning mustahkamligi va tiklanish xususiyatlarini oshirish mumkinligini eksperimental asosda isbotlashgan. Shuningdek, mahalliy xomashyo va chiqindilardan foydalanish orqali iqtisodiy samaradorlikka erishish muhimligi ta’kidlanadi[3].

Jahon miqyosidagi tadqiqotlar o‘z-o‘zini tiklash texnologiyalarining turli uslublarini taklif etadi. Masalan, mikro kapsulali asfalt aralashmalari, o‘z-o‘zini tiklovchi betonlar, mikroto‘rlarga asoslangan kompozitlar va boshqalar keng o‘rganilmoqda. Mikro kapsulali asfalt texnologiyasida bitum ichiga maxsus polimer yoki mineral kapsulalar joylashtiriladi, ular yoriq paydo bo‘lishi natijasida yorilib, bitumni ajratib chiqaradi va shikastlangan joyni yopadi. Bu texnologiya ilk bor 2000-yillarda Niderlandiyada amaliyotga joriy etilgan va hozirda Yevropa, AQSh, Xitoy, Janubiy Koreya kabi mamlakatlarda keng tatbiq qilinmoqda. Mikro kapsulalarning tarkibi, o‘lchami va joylashtirish zichligi materialning tiklanish samaradorligini belgilaydi. Shu bilan birga, elektromagnit induksiya yordamida o‘z-o‘zini tiklovchi asfalt texnologiyasi ham ilgari surilgan. Bu usulda asfalt aralashmasiga temir parchalar yoki magnit kukunlar qo‘shiladi va maxsus



elektromagnit qurilma yordamida asfalt qizdiriladi, natijada yoriqlar erigan bitum bilan to'ldiriladi[4].

Beton qoplamalarda o'z-o'zini tiklash texnologiyasi biroz farq qiladi. Bu yo'nalishda biogen, ya'ni biologik agentlar yordamida tiklanish mexanizmlari keng o'rganilmoqda. Masalan, bakteriyalardan foydalanish orqali mikro yoriqlarda kaltsiy karbonatning to'planishi va betonning tiklanishi ta'minlanadi. Bunday beton turlari «biobeton» deb nomlanadi va ularning samaradorligi ko'plab laborator va dala sinovlari orqali tasdiqlangan. Biogen agentlar, ayniqsa, suv va namlik bilan aloqa qilganda faollashadi va yoriqlarni tabiiy ravishda yopadi. Bu texnologiya ekologik tozaligi va uzoq muddatli barqarorligi bilan ajralib turadi.

Empirik tadqiqotlar natijalari o'z-o'zini tiklash texnologiyasining iqtisodiy va ekologik afzalliklarini ham ko'rsatadi. Xususan, Niderlandiya va Buyuk Britaniyada olib borilgan dala sinovlari natijasida an'anaviy asfaltga nisbatan o'z-o'zini tiklovchi asfalt yo'llarining xizmat muddati 30-40 foizga oshishi, yillik ta'mirlash xarajatlari esa 15-20 foizga kamayishi aniqlangan. Bundan tashqari, yo'l ta'miri uchun sarflanadigan bitum, qum, shag'al va boshqa resurslarning sarfi qisqaradi, chiqindilar hajmi kamayadi va atrof-muhitga salbiy ta'sir pasayadi. Xitoyda olib borilgan tadqiqotlar esa mikro kapsulali asfalt aralashmalarining issiqlik va namlikka chidamliligini oshirganini ko'rsatadi. Bu esa, ayniqsa, qattiq iqlim sharoitlariga ega hududlarda muhim ahamiyat kasb etadi[5].

O'zbekistonlik olimlarning amaliy tadqiqotlari ham muhim natijalar berdi. So'nggi yillarda Toshkent shahrida yo'l qoplamalarining kichik uchastkalarida o'z-o'zini tiklashga qodir asfalt aralashmalari sinovdan o'tkazildi. Tadqiqotlar natijasida, qoplamaning yoriqlarga chidamliligi va mustahkamligi oshgani, yillik ta'mirlash ishlari hajmi kamaygani qayd etilgan. Bu, bir tomondan, yo'l ekspluatatsiyasi xarajatlarini qisqartirgan bo'lsa, ikkinchi tomondan, tirbandliklarni oldini olish va transport oqimini yaxshilashga xizmat qilgan. Mahalliy sharoit uchun muhim bo'lgan yana bir jihat – o'z-o'zini tiklovchi materiallarda mahalliy



xomashyolardan foydalanish imkoniyatining mavjudligidir. Bu esa importga qaramlikni kamaytiradi va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi.

Ilmiy adabiyotlarda o‘z-o‘zini tiklash texnologiyasining kamchiliklari va muammolari ham muhokama qilinadi. Avvalo, mikro kapsulalar yoki biogen agentlarning narxi an’anaviy asfalt yoki beton aralashmalariga nisbatan yuqoriroq. Bundan tashqari, kapsulalarning material tarkibidagi bir xilda taqsimlanishi, ishlash muddati davomida o‘z xususiyatini saqlab qolishi, tashqi muhitga chidamliligi va ekologik xavfsizligi muhim masalalardan hisoblanadi. Ba’zi tadqiqotchilar, mikro kapsulalarning uzoq muddatli ekspluatatsiyada o‘z samaradorligini yo‘qotishi yoki yoriqlar ko‘payganda barcha kapsulalarning bir vaqtda ishlatilib ketishi mumkinligini ta’kidlaydi. Shuningdek, elektromagnit induksiya asosidagi texnologiyalar uchun maxsus uskunalar va energiya manbalariga ehtiyoj yuqori bo‘lib, bu esa texnologiyaning keng tarqalishini cheklab qo‘yadi.

O‘z-o‘zini tiklash texnologiyasining ekologik jihatlari ham keng o‘rganilmoqda. Ushbu texnologiyalar atrof-muhitga chiqindilarni kamaytirish, tabiiy resurslarni tejash, karbonat angidrid ajralishini qisqartirish orqali barqaror infratuzilmani ta’minlashga xizmat qiladi. Ba’zi tadqiqotlar mikro kapsulali asfalt yoki biogen betonning ekologik xavfsizligi va biologik parchalanish xususiyatini chuqur tahlil qiladi. Xususan, mikro kapsulalarning tarkibi va parchalanishi natijasida atrof-muhitga zararli moddalarning ajralmasligi muhim ahamiyat kasb etadi.

So‘nggi yillarda o‘z-o‘zini tiklash texnologiyalari bo‘yicha xalqaro hamkorlik va tajriba almashinuvi ham faollashdi. Yevropa Ittifoqining SHINE va HEALROAD loyihalari doirasida turli mamlakatlarning ilmiy-tadqiqot institutlari hamkorlikda yangi generatsiyadagi o‘z-o‘zini tiklovchi asfalt va beton aralashmalarini ishlab chiqmoqda. Bu loyihalar doirasida, jumladan, O‘zbekiston olimlari ham faol ishtirok etib, mahalliy sharoitga mos innovatsion materiallar ishlab chiqish va sinovdan o‘tkazishmoqda[6].



Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, o'z-o'zini tiklash texnologiyasi yo'l qoplamalarining uzoq muddatli xizmatini ta'minlash, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va ekologik barqarorlikni oshirishda samarali vosita bo'lib xizmat qilmoqda. Ammo, texnologiyaning to'liq joriy etilishi uchun ilmiy-texnik tadqiqotlarni davom ettirish, mahalliy sharoitga moslashtirish, iqtisodiy va ekologik baholashni chuqurlashtirish talab etiladi. Shu bilan birga, davlat va xususiy sektor hamkorligida zamonaviy texnologiyalarni amaliyotga keng joriy qilish, infratuzilma sohasida innovatsion yondashuvlarni qo'llash bugungi kunning dolzarb vazifalaridan hisoblanadi.

Xulosa

Yuqorida olib borilgan ilmiy tahlil va empirik tadqiqotlar asosida xulosa qilish mumkinki, yo'l qoplamasining o'z-o'zini tiklash texnologiyasi zamonaviy yo'l qurilishi va ekspluatatsiyasida muhim innovatsion yo'nalish sifatida namoyon bo'lmoqda. Ushbu texnologiya an'anaviy asfalt va beton yo'l qoplamalariga nisbatan xizmat muddatini oshirish, ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish, ekologik barqarorlikni ta'minlashda yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda. O'z-o'zini tiklovchi materiallar tarkibiga mikro kapsulalar, biogen agentlar, polimer va nano-komponentlarni qo'shish orqali qoplamalarning mustahkamligi, elastikligi va uzoq muddatli ishlash xususiyatlari oshiriladi. Bu esa, bir tomondan, yo'l infratuzilmasining sifatini yaxshilasa, ikkinchi tomondan, iqtisodiy va ekologik afzalliklarni ta'minlaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, mahalliy xomashyo va resurslardan foydalanish, ilmiy-texnik tadqiqotlarni davom ettirish va zamonaviy texnologiyalarni amaliyotga keng joriy etish orqali O'zbekiston sharoitida ham samarali natijalarga erishish mumkin. Shu sababli, davlat organlari, tadqiqot institutlari va xususiy sektor hamkorligida o'z-o'zini tiklash texnologiyalarini rivojlantirish, innovatsion materiallarni ishlab chiqish va sinovdan o'tkazish, shuningdek, ilg'or xalqaro tajribalarni o'rganish va mahalliy sharoitga moslashtirish



zarur. Bu esa, kelgusida yo‘l tarmoqlarining barqarorligini oshirish, transport infratuzilmasining uzoq muddatli va samarali ishlashini ta‘minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. White S.R., Sottos N.R., Geubelle P.H., et al. (2001). Autonomic healing of polymer composites. *Nature*, 409, 794-797.
2. Van Tittelboom K., De Belie N. (2013). Self-healing in cementitious materials—a review. *Materials*, 6(6), 2182-2217.
3. Karimov A., Khudoyberganov X. (2021). O‘zbekiston sharoitida o‘z-o‘zini tiklovchi asfaltbeton aralashmalari. O‘zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi ilmiy jurnali, 2(4), 48-57.
4. Schlangen E., García Á. (2016). Self-healing of asphalt mixtures: Testing and analysis. In: *Advances in Asphalt Materials*, Woodhead Publishing, pp. 297-334.
5. Zhang J., Qian Z., Ma H., et al. (2017). Self-healing of asphalt mixtures: A review of research development and implementation. *Construction and Building Materials*, 152, 114-133.
6. HEALROAD Project Report (2020). European Commission, Horizon 2020, Final Report, www.healroad.eu.