

ПРЕКИ ЩЕТИ, КОИТО ГОРСКИТЕ ПОЖАРИ НАНАСЯТ ВЪРХУ ПЪТНАТА ИНФРАСТРУКТУРА

Гл.ас.инж. Мариана Александрова Цекова

Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“ – филиал Смолян

Резюме: Горските пожари са много голяма и все по-растяща опасност за пътната инфраструктура, надхвърляща преките физически щети. Настоящият доклад анализира щетите, които горските пожари нанасят върху нея, като обхваща прякото увреждане на материали като асфалт, бетон и метали. Подчертава се сложната, реципрочна връзка между пътищата и горските пожари, при която пътищата са едновременно критични точки за достъп и значителни източници на запалване. Докладът заключава, че е наложително прилагането на интегрирани и проактивни стратегии за устойчивост, които да обхващат превенцията, устойчивия дизайн, усъвършенстваните системи за предупреждение и справедливите стратегии за възстановяване.

Ключови думи: горски пожари, пътна инфраструктура, преки щети

DIRECT DAMAGE THAT FOREST FIRES CAUSE TO ROAD INFRASTRUCTURE

Chief Ass. Eng. Mariana Aleksandrova Tsekova

Varna Free University "Chernorizets Hrabar" - Smolyan

Abstract: Wildfires are a major and growing threat to road infrastructure, going beyond direct physical damage. This report analyses the damage that wildfires inflict on road infrastructure, encompassing direct damage to materials such as asphalt, concrete and metals. It highlights the complex, reciprocal relationship between roads and wildfires, with roads being both critical access points and significant sources of ignition. The report concludes that integrated and proactive resilience strategies are urgently needed, encompassing prevention, sustainable design, advanced warning systems and equitable recovery strategies.

Key words: wildfires, road infrastructure, direct damage

1. Въведение

1.1 Нарастващата заплаха от горски пожари в световен мащаб

Горските пожари, представляват голяма опасност за околната среда и тяхното изучаване и предотвратяване е много важно за нейното опазване. През последните години се наблюдава значително нарастване на тяхната честота и интензивност в световен мащаб[1]. Тази ескалираща тенденция се дължи на сложни взаимодействия между ефектите от изменението на климата, характеристиките на растителността и особеностите на терена. Глобалното затопляне, продължителните високи температури и човешкото навлизане в горските райони допринасят за разширяването на тези

пожари. В резултат на това се наблюдава нарастваща заплаха за населените места и инфраструктурата, включително пътните мрежи. Мегапожарите от 2020 г. в щатите Вашингтон, Орегон и Калифорния, които обхванаха близо 3,5 милиона акра, служат като ярък пример за широкообхватните щети, засягащи не само гори и сгради, но и основни инфраструктурни елементи като пътища, електропроводи и тръбопроводи [3, 4, 5, 6].

1.2 Критичната роля на пътната инфраструктура

Пътната инфраструктура е кръвоносната система на обществото, осигурявайки ежедневното придвижване, улеснявайки движението на стоки и услуги и позволявайки спешен отговор и евакуация по време на бедствия [2]. Тя е жизненоважна за поддържането на икономическата дейност и социалната свързаност. Нарушаването на пътните мрежи има широкообхватни икономически последици за правителствата и жителите, тъй като възпрепятства възстановяването и нормалното функциониране на общностите [9].

2. Горски пожари и пътна инфраструктура: взаимна свързаност

2.1 Пътищата като катализатори за възникване на горски пожари

Счита се, че пътищата биха намалили риска от горски пожари. Но те често служат като значителни фактори, допринасящи за възникването на горски пожари, предимно чрез осигуряване на достъп на хора, които причиняват по-голямата част от пожарите [11]. Около 90% от всички горски пожари и 95% от причинените от човека горски пожари възникват в рамките на половин миля от път. Районите, които са много близо до пътища (например в рамките на 200 метра), имат многократно повече случаи на горски пожари, отколкото районите, отдалечени от пътища. В национален мащаб над 53% повече горски пожари възникват в зоната, най-близка до пътищата (първите 200 метра). Източниците на запалване в близост до пътища включват прегрели ходови части на превозни средства, искрящи електропроводи или небрежно оставени лагерни огньове.

Посочените данни показват, че общото схващане, че изграждането на повече пътища намалява риска от горски пожари, е опровергано от емпирични доказателства. Напротив, наличието на пътища, осигуряващи човешки достъп, значително повишава вероятността от възникване на пожари. Това се дължи на факта, че по-голямата част от горските пожари са причинени от човешка дейност, а близостта до пътища улеснява тези дейности. Следователно, инфраструктурата, предназначена за достъп и контрол на пожари, парадоксално допринася за тяхното възникване.

2.2 Ролята на пътищата в управлението на пожари

Въпреки че пътищата са от решаващо значение за достъпа на пожарникарите до зоните на горски пожари, тяхната ефективност като противопожарни прегради често е ограничена. Проучванията на действителното разпространение на горски пожари показват, че пътищата често не служат като ефективни бариери за разпространението на огъня. Достъпът, осигурен от пътищата, често изглежда има незначителен ефект върху способността на пожарникарите да контролират големи пожари.

Широкото разпространение на пътища, което улеснява човешките дейности и съответно възникването на пожари, води до повсеместен риск от запалване. Това предполага, че значителна част от усилията за управление на горски пожари трябва да се изместят от изключително реактивното потушаване (използвайки пътища за достъп) към проактивна превенция, особено чрез управление на човешката дейност по съществуващите пътни мрежи. Ако пътищата са основен източник на запалване и често неефективни противопожарни прегради, тогава простото изграждане на повече пътища не е жизнеспособна стратегия за смекчаване на горските пожари. Това означава, че бъдещото планиране на пътната мрежа в райони, предразположени към пожари, трябва да интегрира оценката на риска от пожар от самото начало. Не става въпрос само за това къде минават пътищата, а за това как са проектирани, поддържани и управлявани, за да се сведе до минимум потенциалът за запалване и да функционират ефективно като противопожарни прегради, където е предвидено, може би чрез по-широки просеки или специфичен избор на материали. Това подчертава необходимостта от кампании за обществено образование относно безопасното поведение на пътя в райони, предразположени към пожари.

3. Преки физически щети върху компонентите на пътната инфраструктура

3.1 Пътни настилки (асфалт и бетон)

Горските пожари излагат пътните настилки на екстремни температури, далеч над нормалните летни условия, което води до различни форми на увреждане [12]. Високите температури могат да причинят омекване, топене и промяна на химическия състав на асфалта, което трайно променя повърхността му [13]. Това води до деформации като неравности и пукнатини, влошаване на качеството на шофиране. Високите температури също водят до получаване на коловози, засягащи експлоатационните характеристики на настилка, експлоатационния живот и комфорта при шофиране [14]. Например бетона не се променя значително под 260°C, но бързото нагриване може да доведе до бързо кипене на водата в порите му, причинявайки повърхностни отчупвания (спалинг) [16]. Внезапното охлаждане и свиване от пожарникарски маркучи също може да причини спалинг.

Комбинацията от екстремна топлина и тежко превозно средство (особено спасителни превозни средства) натоварва силно асфалтовата настилка, причинявайки пукнатини, често наричани "алигаторски пукнатини" [13]. Ако тези пукнатини не се третират, водата от дъжд, околни източници или усилия за гасене на пожар прониква в пукнатините, влошавайки целостта на асфалта и образувайки дупки. Бетон, изложен на температури над приблизително 300°C често придобива розов оттенък, което показва химически промени и повреда, налагащи подмяна. При много по-високи температури бетонът може да придобие светлосив, а след това жълтеникаво-кафяв цвят.

Температурите на горски пожари увеличават и тежестта на химическите емисии от нагрят асфалт, допринасяйки за замърсяването на въздуха. Степента на окисляване и изпаряване на асфалтовото свързващо вещество се увеличава значително с температурата [14]. Повишеното натоварване от тежки противопожарни превозни средства и камиони за почистване след пожар, превозващи отломки, може да причини структурни повреди на пътните настилки.

Първоначалното физическо увреждане от екстремна топлина и тежки товари създава уязвимости като пукнатини, които след това се експлоатират от последващи фактори на околната среда, като вода от дъжд или пожарогасителни дейности. Това ускорява процеса на деградация, водещ до образуване на дупки и по-нататъшни структурни повреди. Тази последователност показва, че пожарът не просто причинява един вид щета; той инициира верижна реакция, при която първоначалните щети създават условия за по-нататъшно, по-тежко влошаване от обичайни фактори на околната среда.

3.2 Мостове и тунели

Високите температури от горски пожари причиняват структурна деградация на бетона поради нееднородни термични напрежения[16]. При повишаване на температурата значително се намалява якостта на стоманата (напр. 50% от границата на провлачване при 566°C) и може да претърпи постоянни микроструктурни промени, ако бъде бързо охладена след излагане на висока температура [18]. Свързващите метални елементи също се деформират. Екстремната топлина натоварва и мостовите fugи. Докато прякото материално увреждане на пътни настилки и мостови конструкции се отбелязва като малко вероятно в повечето случаи, екстремната топлина представлява пряка заплаха за дървени мостове за превозни средства и железопътни линии.

Оценката на мостове и тунели след пожар изисква сложна инженерна оценка, надхвърляща простата визуална проверка, за да се определи цялостта на структурата. Например, бетонът може да покаже отчупвания от бързо нагряване и охлаждане, дори при температури под 260°C, докато стоманата може да възстанови своите свойства, ако температурата не надвишава 720°C, но да претърпи необратими промени, ако бъде нагрята до по-високи температури и бързо охладена от вода за гасене. Това означава, че една структура може да изглежда непокътната, но да има компрометирана вътрешна цялост. Следователно, определянето на истинската степен на увреждане и необходимостта от подмяна изисква специализирана инженерна оценка, включваща визуални, слухови и механични тестове, както и вземане на проби от ядрото за бетон.

3.3 Спомагателни пътни съоръжения

Горските пожари причиняват структурни щети на пътни знаци и мантинели. След пожар тези съоръжения често трябва да се възстановяват. Металните съединители и конструктивните стоманени елементи, като тези, използвани в мантинели или опори за знаци, се влияят от високи температури, което потенциално води до деформация, загуба на свързаност и намаляване на якостта. Повърхностна корозия също може да се образува върху открити стоманени повърхности, където защитните покрития са унищожени.

3.4 Отводнителни системи и водостоци

Горските пожари могат да компрометират километри дренажни тръби. Докато повечето тръби са заровени, краищата на водостоците и входовете на дъждовните канали са изложени, което ги прави уязвими на пряк контакт с пламъци и високи температури на излъчване[21]. Някои тръбни материали могат да се стопят или запалят, разпространявайки огъня по тръбопровода. Стопени или изгорели тръби могат да доведат до незабавен срыв, образуване на дупки, затваряне на пътища и потенциални

срутвания на пътни настилки по време на силни дъждове. Отводнителните системи могат да се запушат или повредят от отломки, което води до наводнени основни слоеве и стояща вода по повърхностите на настилка.

Въпреки че са под земята, откритите краища на дренажните системи (водостоци, входи на дъждовни канали) могат лесно да бъдат повредени. Повредата им може да доведе до компроментиране на цялата подземна дренажна система, причинявайки ерозия и подкопаване на пътните настилки отдолу. Последващите валежи могат да доведат до потъване на цели участъци от пътя по причина хидроложки промени след пожар.

В таблица 1 са показани различните видове физически щети, които могат да възникнат върху различни компоненти на пътната инфраструктура. Посочени са основните причини за повреда на отделните елементи на пътната настилка.

Таблица 1: Преки физически щети върху компонентите на пътната инфраструктура

Компонент на инфраструктурата	Механизми на увреждане	Основни причини
Асфалтова настилка	Омекване, топене, деформация, образуване на коловози, "алигаторски пукнатини", дупки, преждевременно стареене, промяна на химическия състав, отделяне на замърсители.	Екстремна топлина от пожар, тежко натоварване от превозни средства за гасене/почистване, проникване на вода в пукнатини.
Бетонна настилка	Повърхностни отчупвания (спалинг), структурна деградация, промяна на цвета (розов оттенък над 300°C/570°F).	Екстремна топлина, бързо кипене на порова вода, внезапно охлаждане от вода за гасене.
Мостове (бетонни и стоманени)	Загуба на якост, деформация (особено ако е ограничена), корозия, промени в микроструктурата (мартензит), напрежение върху фуги.	Високи температури, бързо охлаждане от вода за гасене, химикали от горене.
Спомагателни пътни съоръжения (знаци, мантинели, подпорни стени)	Структурни повреди, деформация, загуба на свързаност, корозия, унищожаване на защитни покрития.	Пряк контакт с пламъци, високи температури, химикали от горене.
Отводнителни системи и водостоци	Топене или запалване на тръбни материали, срутване, образуване на дупки, запушване с отломки.	Пряк контакт с пламъци, високи температури на излъчване, последващи кални потоци/отломки.

4. Заключение

Горските пожари представляват многостранна и нарастваща заплаха за пътната инфраструктура, която се простира далеч отвъд преките физически щети. Анализът показва, че пътищата играят двойна роля – те не само осигуряват критичен достъп за борба с пожарите, но и значително увеличават риска от човешки предизвикани запалвания. Директните щети върху пътните настилки, мостовете, спомагателните съоръжения и дренажните системи са значителни, като екстремната топлина и тежкото натоварване водят до необратими промени в материалите и структурни повреди.

ЛИТЕРАТУРА:

1. (PDF) Vulnerability of structures and infrastructure to wildfires: a perspective into assessment and mitigation strategies - ResearchGate, осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.researchgate.net/publication/389000537_Vulnerability_of_structures_and_infrastructure_to_wildfires_a_perspective_into_assessment_and_mitigation_strategies
2. Wildfire risk, post-fire debris flows, and transportation infrastructure vulnerability - National Science Foundation, осъществен достъп на май 30, 2025, <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10194663>
3. Чакър А., Резултати от моделиране на двуфазно неизотермично течение при горски пожари, Електронен журнал на ВСУ "Черноризец Храбър" гр. Варна, бр. 18-2022, стр. 17-29, ISSN 1313-7514
4. Паничаров Г., Тап Д., Кетен С., Чакър А., Използването на пожарогасители от противопожарен хеликоптер срещу горските пожари в „горски регион измир“, Сборник с доклади от Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения – DCB-2016“, 15-17.09.2016, Варна, стр. 189-193, ISBN: 978-954-92866-7-0
5. Павлина Наскова, Али Чакър, Оценка и управление на риска от пожари в природни и урбогенни екосистеми, Електронен журнал на ВСУ "Черноризец Храбър" гр. Варна, бр. 17-2022
6. Чакър А., Математическо и числено моделиране на течението над фронта на горски пожар, Електронен журнал на ВСУ "Черноризец Храбър" гр. Варна, бр. 18-2022, стр. 6-16, ISSN 1313-7514
7. Vulnerability of structures and infrastructure to wildfires: A perspective into assessment and mitigation strategies - PreventionWeb.net, осъществен достъп на май 30, 2025, <https://www.preventionweb.net/publication/vulnerability-structures-and-infrastructure-wildfires-perspective-assessment-and>
8. As wildfires rage in LA area, infrastructure – including roadways – under threat - ASCE, осъществен достъп на май 30, 2025, <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/article/2025/01/15/as-wildfires-rage-in-la-area-infrastructure-including-roadways-under-threat>
9. Climate Change Poses Risks to Neglected Public Transportation and Water Systems, осъществен достъп на май 30, 2025, <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/issue-briefs/2024/09/climate-change-poses-risks-to-neglected-public-transportation-and-water-systems>
10. LA Wildfires Impact Supply Chains, осъществен достъп на май 30, 2025, <https://www.jusdaglobal.com/en/article/la-wildfires-impact-supply-chains/>
11. Roads and Wildfires - Pacific Biodiversity Institute, осъществен достъп на май 30, 2025,

- https://www.pacificbio.org/publications/wildfire_studies/Roads_And_Wildfires_2007.pdf
12. Impacts of Wildfires on Pavement Systems - TRB Specialty Conferences, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://trb.secure-platform.com/a/solicitations/98/sessiongallery/schedule/items/1550/application/10582](https://trb.secure-platform.com/a/solicitations/98/sessiongallery/schedule/items/1550/application/10582)
 13. Impact of Wildfires on Asphalt, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://aegisasphalt.com/impact-of-wildfires-on-asphalt/](https://aegisasphalt.com/impact-of-wildfires-on-asphalt/)
 14. High-temperature Hazards and Prevention Measurements for Asphalt Pavement - IPCC, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.ipcc.ch/apps/njlite/srex/njlite_download.php?id=6159](https://www.ipcc.ch/apps/njlite/srex/njlite_download.php?id=6159)
 15. The Impact of Texas Weather on Asphalt Pavement Durability, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://dannyspaving.com/the-impact-of-texas-weather-on-asphalt-pavement-durability/](https://dannyspaving.com/the-impact-of-texas-weather-on-asphalt-pavement-durability/)
 16. Evaluating Fire-Damaged Concrete - JLC Online, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.jlconline.com/how-to/foundations/evaluating-fire-damaged-concrete_o](https://www.jlconline.com/how-to/foundations/evaluating-fire-damaged-concrete_o)
 17. Wildfire Damage Assessment of Building Structures | Exponent, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.exponent.com/article/wildfire-damage-assessment-building-structures](https://www.exponent.com/article/wildfire-damage-assessment-building-structures)
 18. The impact of forest fire smoke on building materials and electronic equipment | Sedgwick, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.sedgwick.com/blog/the-impact-of-forest-fire-smoke-on-building-materials-and-electronic-equipment/](https://www.sedgwick.com/blog/the-impact-of-forest-fire-smoke-on-building-materials-and-electronic-equipment/)
 19. Fire Effects on Steel | EDT Engineers, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.edtengineers.com/blog-post/fire-effects-steel](https://www.edtengineers.com/blog-post/fire-effects-steel)
 20. Post-Fire Watershed Recovery | Napa County, CA, [осъществен достъп на май 30, 2025, https://www.countyofnapa.org/2204/Post-Fire-Watershed-Recovery](https://www.countyofnapa.org/2204/Post-Fire-Watershed-Recovery)