



DOI: [10.71167/uaceg.2025.58S108](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.58S108)

Получена: 06.08.2025 г.

Приета: 21.08.2025 г.

МУЛТИСПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА РАСТИТЕЛНОСТТА, НАВЛИЗАЩА В СЕРВИТУТА НА ВЪЗДУШНИ ЕЛЕКТРОПРОВОДИ

С. Влайков¹, Д. Филипов²

Ключови думи: БЛС, фотограметрично заснемане, спектрален анализ, NDVI, класификация

РЕЗЮМЕ

Настоящата публикация разглежда състоянието на залесяването в горска просека, обслужваща труднодостъпна част от въздушен електропровод, намиращ се в близост до тунел „Мало Бучино“, част от автомагистрала „Струма“. Изследването обхваща набор на данни, посредством фотограметрично заснемане с безпилотна летателна система (БЛС), оборудвана с мултиспектрален сензор. Изследвано е спектралното поведение на листната маса, част от растителността, навлизаща в сервитутна зона, обслужваща въздушния електропровод.

Данните от изследването спомагат за оценката на риска от горски пожари, причинени в следствие на близост между растителност и електропроводник, планиране на дейности по поддръжка на горските просеки, които обслужват такъв тип технически съоръжения.

1. Въведение

С оглед на ежегодното естествено залесяване и развитие на дървесната растителност на територии, граничещи със сервитутни зони на линейни съоръжения, част от електропреносната мрежа на Р България, е разработен метод за мониторинг на степента на залесяване в такъв тип зони с цел своевременно оповестяване на

¹ Стефан Влайков, инж., УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, е-mail: stvlaykov2000@gmail.com

² Добромир Филипов, гл. ас. д-р инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, е-mail: filipov_fgs@uacg.bg

енергопреносното дружество за планиране и предприемане на действия по почистване на растителността в горски просеки, застрашаващи безопасната експлоатация на електроенергийните съоръжения.

За целта е използвана комбинация на данни, получени чрез използването на мултиспектрален сензор и оптичен сензор, монтирани на БЛС. Изследвани са канали от мултиспектралните изображения, които изразяват количеството и качеството на залесяването. За правилно определяне на терения модел, оценка на разстоянието между проводник и най-близката растителност, както и височина на растителност, са използвани оптични изображения, които постигат добра геометрична точност и спомагат за по-добра пространствена представа.

2. Област на изследване

Въздушна линия „Бучино 110 kV“ свързва подстанция „ТЕЦ Република“, намираща се в гр. Перник и подстанция „Банкя“, разположена в гр. Банкя. Цялата дължина на въздушната линия е 15 km.

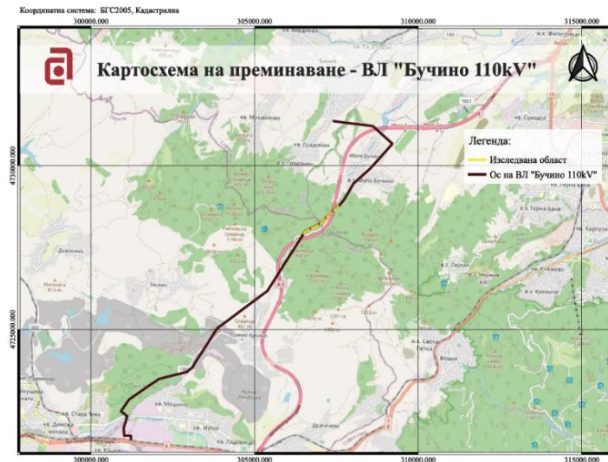
Заснета е част от електропровода посредством аерофотограметричен метод с БЛС, която представлява ивица, широка 100 m, чиято ос съвпада с оста на електропровода между километър 8+800 и 10+500. Началото ѝ се намира в изводните портали на пст. „ТЕЦ Република“, показани на фиг. 1.



Фиг. 1. Начало на въздушна линия „Бучино 110 kV“

В процеса на работа, след установяване на местоположението на потенциалното рисково залесяване, е редуцирана областта на изследване в рамките на ивица с дължина 257 m, разположена между километър 9+657 до километър 9+914, съвпадаща с оста на електропровода. Зоната на изследване е показана посредством жълта прекъсната линия на фиг. 2.

Надморските височини варират между 680 m до 960 m, отчетени спрямо „Google Earth“. Теренът е предимно планински с висока степен на залесяване.

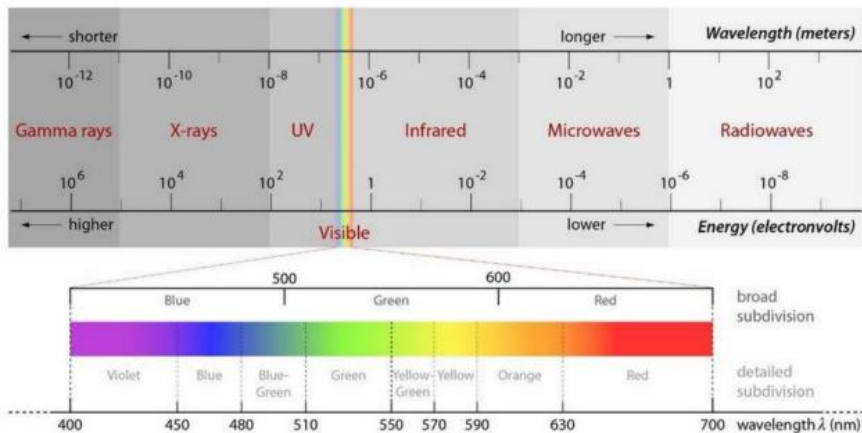


Фиг. 2. Картохема на преминаване – ВЛ „Бучино 110 kV“

Въздушна линия „Бучино 110 kV“ пресича автомагистрала „Струма“ на две места в непосредствена близост до двата изхода на тунел „Мало Бучино“, намиращ се на километър 7+700 от АМ „Струма“.

3. Електро-оптични сензори

Електро-оптичните сензори, или за по-кратко оптични сензори, събират и съхраняват пространствени данни. Оптичният сензор измерва отразените стойности на светлината от наблюдаваната сцена от обекти. За да бъде изпълнен този процес, е необходимо отразената светлина да бъде събрана и проектирана във fotocувствителния сензор на устройството. Фоточувствителният сензор преобразува оптичната енергия в електрически сигнали. Тези сигнали са преобразувани в цифрово изображение от процесор. По времето на тази трансформация контрастът, цветовете и яркостта на изображението са коригирани. Във финалната стъпка данните са преобразувани във файлов формат за изображение и са съхранени на записващото устройство.



Фиг. 3. Диапазони на електромагнитния спектър [4]

Сензорите от този тип регистрират енергия от диапазона на видимия спектър с дължина на вълната между 400 nm и 700 nm, както е представено на фиг. 3.

4. Мултиспектрални сензори

Мултиспектралните сензори наподобяват оптичните матрични сензори, с разликата, че използват различен филтър или чувствителен материал към дължини на електромагнитния спектър, невидими за човешкото око. Мултиспектралното изображение представлява индивидуални изображения в различните дължини на вълните, като в общия случай те биват: червен (600 – 700 nm), близък инфрачервен (700 – 900 nm), граничен червен (700 – 780 nm), зелен (500 – 600 nm) и син (450 – 500 nm) [1]. В софтуер за последваща обработка могат да се визуализират многоканални изображения, чрез които да бъдат извършени качествени и количествени анализи. За целите на изследването е използвана БЛС, която разполага с мултиспектрален сензор на производителя DJI, показан на фиг. 4.



Фиг. 4. Мултиспектрален сензор, използван на БЛС “DJI Mavic 3M” [2]

5. Нормализиран разликов вегетационен индекс

Нормализиран разликов вегетационен индекс (NDVI) се използва за количествена оценка на „зеленината“ на растителността и е полезен за разбиране на нейната гъстота и за оценка на промените в здравето на растенията [6].

Живите растения абсорбират фотосинтетична активна радиация, която е в диапазона на невидимия електромагнитен спектър на светлината. Посредством усвояването на този тип радиация те получават енергията, необходима за извършване на фотосинтеза. При този процес клетките на растенията отразяват електромагнитни вълни в близка до инфрачервената област между 700 nm и 1100 nm, поради високата наситеност на соларна енергия в този спектър, която причинява прегряване на растението. Хлорофилът, който е пигмент в листата на растенията, абсорбира дължини на вълните във видимия спектър между 400 nm и 700 nm [8].

Стойността на нормализирания разликов вегетационен индекс се изразява във формула (1):

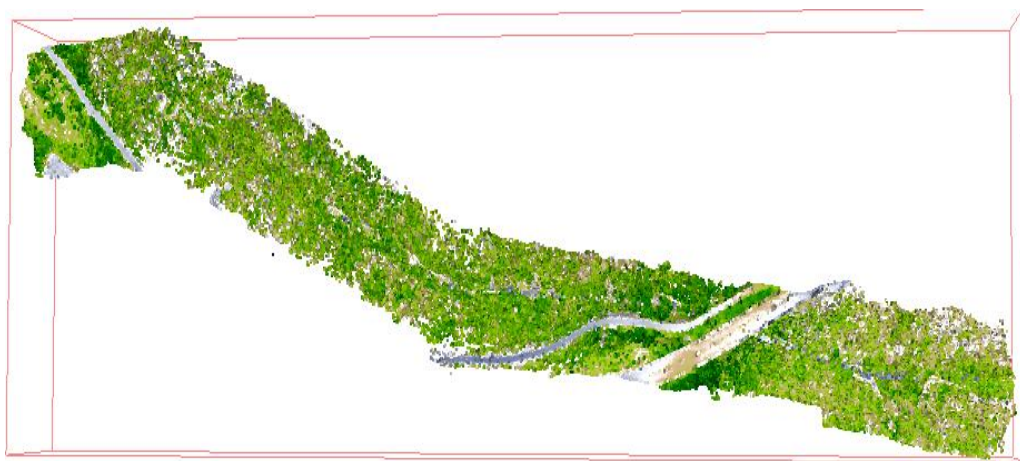
$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

където NIR (Near Infra Red) представлява близък до инфрачервената област от електромагнитния спектър на светлината от 760 nm до 1500 nm.

RED представлява спектъра на светлина от 640 nm до 700 nm.

Стойностите на NDVI, получени по формула (1), са между -1 и 1. При липса на растителност стойностите на NIR са по-малки от тези на RED, откъдето следва, че се получава отрицателна стойност за NDVI, тоест липса на растителност. За да се достигне до еднозначно заключение, че в областта на изследваната територия е налична растителност, при която листната маса е силно развита, трябва стойностите на NDVI да варират между 0,3 и 0,8. В сферата на агробизнеса се използва този индекс при определяне на качеството на изследваната агрокултура, за биомасата и листната площ.

В процеса на предварителна обработка на данните, необходими за изследване на залесяването на горска просека, обслужваща въздушна линия „Бучино 110 kV“, е изчислена стойността на NDVI, като е извършена растерна калкулация по форм. (1) за визуализиране на NDVI. Резултатът от прилагането на индекса е показан на фиг. 5, където всяка точка от точковия облак приема новоизчислената си стойност.

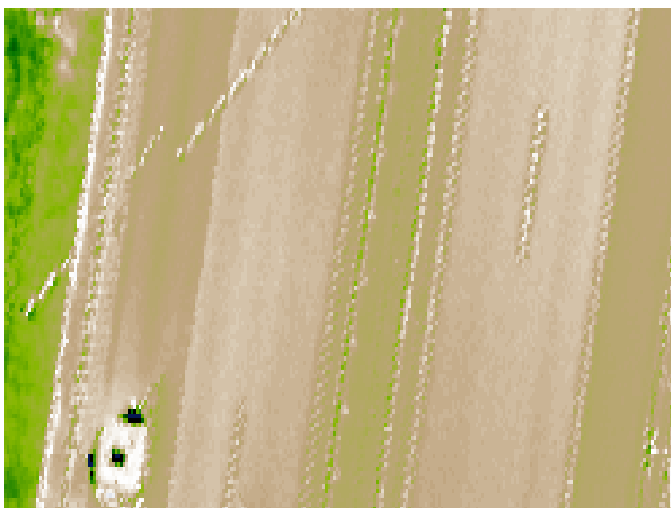


Фиг. 5. Точков облак на изследваната територия, визуализиран посредством NDVI

Наблюдава се възникване на грешни стойности за NDVI в пиксели, попадащи в засенчени области, показани на фиг. 6. Подробен метод за филтрация на ефекта от сенките е предложен в статия от 2022 година [9].

За премахване на ефекта от сенките са класифицирани точките, попадащи в сенки, ръчно.

В процеса на класификация се изчислява автоматично вегетационния индекс на всяка точка. След успешното му извеждане точките със стойност на вегетационния индекс между 0 и 1 биват класифицирани в клас, избран от потребителя. В случая алгоритъмът търси във всички възможни класове, а точките със съответните индекси се присвояват в клас „Medium Vegetation – Средна растителност“.



Фиг. 6. Грешки при определяне на NDVI при наличие на сенки

В процеса на класификация се изчислява автоматично вегетационният индекс на всяка точка. След успешното му извеждане точките със стойност на вегетационния индекс между 0 и 1 биват класифицирани в клас, избран от потребителя. В случая алгоритъмът търси във всички възможни класове, а точките със съответните индекси се присвояват в клас „Medium Vegetation – Средна растителност“.

Минималният праг на стойностите за нормализираната разлика във вегетационен индекс, който е избран за целите на настоящата статия, при класифицирането на точковия облак, е 0,3. Причината за избора му се дължи на времето, в което е извършено аерофотограметричното заснемане в условия на ниска степен на вегетация на растенията.

Този интервал между 0,3 и 1 отразява от слабо покритие на почвата и слаб жизнен статус до пълно покритие на почвата и много добър жизнен статус, спрямо табл. 1 [1].

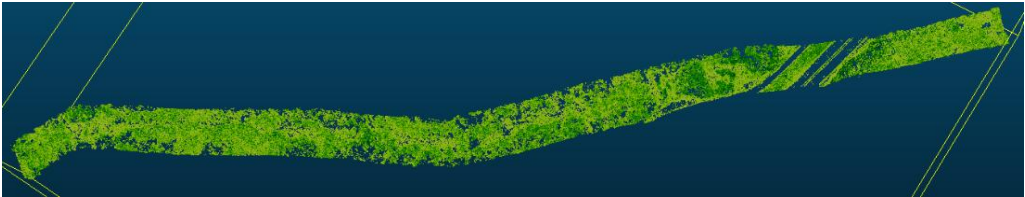
Таблица 1. Интерпретация на NDVI

NDVI	Интерпретация
< 0,1	Гола почва
0,1 – 0,2	Почти липсващо покритие от растителност
0,2 – 0,3	Много слабо покритие от растителност
0,3 – 0,4	Слабо покритие, слаб жизнен статус или много слабо покритие, добър жизнен статус
0,4 – 0,5	Средно ниско покритие, слаб жизнен статус или слабо покритие, добър жизнен статус
0,5 – 0,6	Средно покритие, слаб жизнен статус или средно ниско покритие, добър жизнен статус
0,6 – 0,7	Средно високо покритие, слаб жизнен статус или средно покритие, добър жизнен статус
0,7 – 0,8	Високо покритие, добър жизнен статус
0,8 – 0,9	Много високо покритие, много добър жизнен статус
0,9 – 1,0	Пълно покритие, много добър жизнен статус

6. Класификация на точков облак

Класификацията на точков облак представлява процес на изследване на общи характеристики между точките от облака, при което се извършва групиране на точки с общи особености (цвет, геометрия, разположение спрямо модела и др.).

За целите на това изследване е извършена полу-автоматична класификация, спрямо изчислените стойности за нормализирания разликъв вегетационен индекс, като са изведени точки с изчислен индекс между 0,3 и 1. Резултатите от класификацията са представени на фиг. 7.



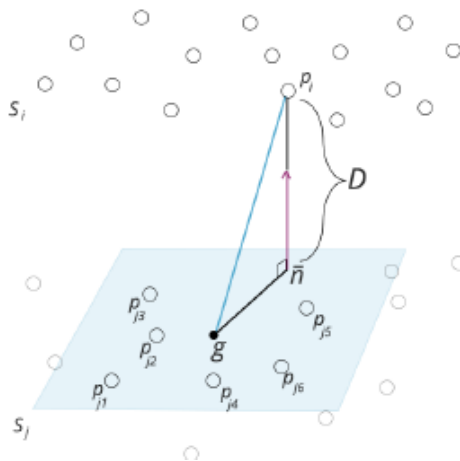
Фиг. 7. Точков облак на изследваната територия след класифициране на точките от растителността, посредством NDVI

7. Изчисляване на височините на растителността над теренната повърхнина

Целта на изследването е да се определи средната височина на растителността, като се изследват точки от растителността и теренен модел.

За оценка на височината на растителността е използван модел за изчисление на разстоянието между точка и повърхнина.

Създаденият цифров модел на терена е използван за определяне на височината на растителността, заедно с класифицирания посредством NDVI точков облак.



Фиг. 8. Изчисляване на разстоянието между точка и права [7]

Изчисленията са извършени в среда на „Cloud Compare“ спрямо следния метод:

Разстоянието от точка p_i в множество S_i се изчислява спрямо най-доброто напасване към повърхнината S_j , създадена чрез най-близките съседи или в специфичен радиус. Проекцията на вектора между точка p_i и центроида g (представлява средната стойност от близките съседи в множеството S_j) е изчислена, посредством нормалния вектор, който представя разстоянието между p_i и S_j , показано на фиг. 8.

След изчисляване за всяка точка от разстоянието до повърхнината стойностите се съхраняват като скаларно поле в метаданните на точковия облак.

Изчислените височини на точки от растителността до теренната повърхнина са между 0,20 m и 18 m, като средната височина е 1 m. В този обхват попада растителността, съставена от храсти и тревни площи до високи дървета, като вегетационният индекс е в рамките на 0,3 – 1.

Полученият резултат е представен на фиг. 9.



Фиг. 9. Картосхема на изчислените височини на растителността спрямо терена

8. Заключение

В настоящата статия е предложена технологична схема за извършване на оценка и анализ на залесяването в сервитута на въздушен електропровод, намиращ се в недостъпен терен със силно залесяване. Подходът улеснява и автоматизира работата на аварийните групи, чиято дейност се свързва с обхождане на цялата въздушна линия, което в случаите на силно залесяване и липса на транспортна инфраструктура представлява предизвикателство.

Ограничение на предложения подход с използване на NDVI е грешката от разчитане на стойностите на мултиспектралните канали в областите, където е налична сянка. Предложена е филтрация на тези стойности. Друг недостатък е неравномерното разпределение на точките от точковия облак и недостатъчната им гъстота.

За подобряване на резултата, получени в рамките на това изследване, е необходимо периодично заснемане с цел установяване на скоростта на развитие на вегетацията, както и идентифициране на стеблата на дърветата, което би подпомогнало допълнителни анализи за оценка на риска от аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. Agricolus, <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>, poseten na 01.06.2025.

2. D. M. 3M, Dji Mavic. M, Dji, <https://ag.dji.com/mavic-3-m>, poseten na 14.05.2025.

3. Department of Information and Communication Engineering. Review of Intentional Electromagnetic Interference on UAV Sensor Modules and Experimental Study. Kongju National University, Cheonan 31080, Korea, 2022.

4. Willoughby, J. Multispectral Drones: Benefits and Use Cases. <https://www.heliguy.com/blogs/posts/multispectral-drones-benefits-and-applications/>, poseten na 14.05.25.

5. K. Academy. Vectors and spaces. <https://www.khanacademy.org/math/linear-algebra/vectors-and-spaces>, poseten na 25.05.2025.

6. USGS, Landsat Normalized Difference Vegetation Index, [https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index#:~:text=NDVI%20is%20used%20to%20quantify,%20%2F%20\(NIR%20%2B%20R\)](https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index#:~:text=NDVI%20is%20used%20to%20quantify,%20%2F%20(NIR%20%2B%20R)), poseten na 21.05.2025.

7. Alibekov, U., Staderini, V., Ramachandran, G., Schneider, P., Antensteiner, D. (2024). Evaluation of 3D Point Cloud Distances: A Comparative Study in Multi-Point Cloud Fusion Environments. In Proceedings of the 19th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications – Volume 4: VISAPP; ISBN 978-989-758-679-8; ISSN 2184-4321, SciTePress, pages 59 – 71. DOI: 10.5220/0012421300003660.

8. Wikipedia. Normalized difference vegetation index. https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index, poseten na 21.05.2025.

9. Yang, X. A Correction Method of NDVI Topographic Shadow Effect for Rugged Terrain. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2022.

MULTISPECTRAL ANALYSIS OF VEGETATION INTRUDING INTO THE RIGHT-OF-WAY OF OVERHEAD POWER LINES

S. Vlaikov¹, D. Filipov²

Keywords: UAV, photogrammetric survey, spectral analysis, NDVI, classification

ABSTRACT

This paper examines the state of afforestation within a forest clearing servicing a hard-to-reach section of an overhead power line located near the “Malo Buchino” tunnel, part of the “Struma” highway. The study includes data acquisition through aerial photogrammetric surveying using a multispectral sensor integrated into a UAV. The spectral behavior of the foliage, part of the vegetation encroaching upon the right-of-way zone servicing the overhead power line, has been analyzed.

The data from the study assist in assessing the risk of forest fires caused by the proximity of vegetation to the power conductor, as well as in planning maintenance activities for forest clearings that service such types of technical infrastructure.

¹ Stefan Vlaykov, Eng., UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: stvlaykov2000@gmail.com

² Dobromir Filipov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: filipov_fgs@uacg.bg