

NUOŠLIAUŽŲ PREVENCIJOS IR ŠLAITO STABILUMO UŽTIKRINIMO SPRENDIMAI: INŽINERINIŲ PRIEMONIŲ EFEKTYVUMO ANALIZĖ

Vitalijus ZOTOVAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas:
vitalijus.zotovas@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje apžvelgtos Lietuvoje ir užsienyje taikomos inžinerinės priemonės nuošliaužoms stabilizuoti. Atlikta mokslinės literatūros, techninių dokumentų ir praktinių projektų analizė, siekiant nustatyti dažniausiai naudojamas šlaitų stabilizavimo technologijas. Nagrinėtos tokios priemonės kaip gabionai, geosintetinės medžiagos, atraminės sienos, drenažo sistemos ir kiti geotechniniai sprendimai. Taip pat vertintas šių technologijų pritaikomumas kultūros paveldo objektų teritorijose. Tyrimo metu buvo taikoma kompleksinė metodika, apimanti literatūros analizę, lauko stebėjimus, vizualinę piliakalnių būklės analizę, paprastus geometrinius matavimus bei inžinerinių priemonių efektyvumo vertinimą. Tyrimų metodika parinkta siekiant įvertinti nuošliaužų formavimosi procesus Kauno marių regioninio parko piliakalnių teritorijoje ir nustatyti tinkamiausias šlaitų stabilizavimo priemones.

Remiantis atlikta analize nustatyta, kad efektyviausi Dovainonių piliakalnio šlaitų stabilizavimo sprendimai turėtų apimti drenažo sistemų priežiūrą ir pakrančių stabilizavimą gabionais. Kompleksinis tokių priemonių taikymas gali padėti sumažinti tolimesnį nuošliaužų susidarymą ir užtikrinti ilgalaikį Kauno rajono piliakalnių šlaitų stabilumą ir kultūros paveldo objektų išsaugojimą.

Reikšminiai žodžiai: archeologiniai objektai, gabionai, nuošliaužų stabilizavimas, piliakalniai.

Įvadas

Nuošliaužų prevencija ir šlaito stabilumo užtikrinimas yra svarbūs inžineriniai uždaviniai, reikalaujantys tinkamų sprendimų ir efektyvių priemonių taikymo. Tai galima pasiekti tik išsamiai ištyrus jų atsiradimo ir raidos sąlygas, nustatant priežastis ir veiksnius.

Viena iš prevencinių priemonių – paviršinio ir požeminio drenažo tobulinimas. Kadangi vanduo yra pagrindinis veiksnys, skatinantis nuošliaužas, vietinis paviršinio ir požeminio drenažo gerinimas gali padidinti šlaito stabilumą. Paviršinis vanduo turėtų būti nukreipiamas nuo į nuošliaužas linkusias vietas, naudojant drenažo griovius arba kanalizacijos vamzdžius, nukreipiančius vandenį į šlaito pagrindą. Vanduo turi būti nukreipiamas taip, kad nesukeltų naujų nuošliaužų šalia esančiose vietose. Svarbu, kad vanduo neturėtų kauptis šlaite, nes tai gali silpninti jo stabilumą.

Gruntinis vanduo iš dirvožemio gali būti nusausintas naudojant žvyro užpildytas tranšėjas su perforuotais vamzdžiais. Reikalinga nuolatinė vandens griovių ir kanalizacijos priežiūra, siekiant išvengti nuošliaužų. Molingos dirvožemio ir skalūnų sluoksniai pasižymi mažu hidrauliniu laidumu, todėl jų nusausinimas gali būti sudėtingas.

Kitas inžinerinis variantas – papildantys natūralius sprendimus, toks kaip augalų sodinimas ir žemės dangos gerinimas, yra svarbūs siekiant sumažinti eroziją. Kartu šie metodai sudaro visapusišką sistemą, skirtą šlaitų stabilumui palaikyti, taip pat apsaugant infrastruktūrą.

Nagrinėjant nuošliaužų susidarymą ir jų atstatymo darbams vykdyti yra keletas pagrindinių priemonių – tai atraminės sienelės, gabionai ir geosintetinės medžiagos. Ieškant ekonomiškėsių sprendimų, šlaitams apsaugoti straipsnyje numatomos palyginti pastarosios priemonės.

Remiantis grunto savybėmis ir šlaito geometrijos koreliacija, bei siekiant sumažinti armavimo išlaidas ir užtikrinant stabilumą, buvo ieškoma optimalaus sprendimo būdų. Keičiant parametrus, tokius kaip vidinė trintis, sankabumas ar šlaito kampas, galima efektyviai valdyti armavimo įrangos kiekį ir kainą.

Tyrimo tikslas – nustatyti Kauno marių regioninio parko piliakalnių būklę.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Įvertinti Kauno marių piliakalnių šlaitų būklę vizualinės analizės būdu.
2. Analizuojant literatūrą ir vietovės situaciją, įvertinti, kokios priemonės gali būti naudojamos šlaitų sustiprinimui nagrinėjamuose piliakalniuose.

Tyrimų objektas ir metodai

Šio tyrimo objektas – Kauno marių regioninio parko teritorijoje esantys archeologiniai objektai – piliakalniai ir jų liekanos. Šie objektai pasirinkti dėl jų istorinės, archeologinės ir kraštovaizdinės reikšmės, taip pat dėl geomorfologinių procesų poveikio jų būklei. Tyrime analizuojami šie piliakalniai: Pakalniškių piliakalnis, Samylų I piliakalnis, Samylų II piliakalnis, Visginų piliakalnis, Dabintos piliakalnis, Maisiejūnų I piliakalnis, Lašinių piliakalnis, Dovainonių piliakalnis, Vieškūnų piliakalnis bei Žiegdrių piliakalnio vieta.



1 pav. Kauno marių regiono piliakalnių išsidėstymo schema (šaltinis: sudaryta autoriaus pagal Kultūros vertybių registro ir kartografinius duomenis)

Fig. 1. Scheme of the location of the mounds of the Kaunas Lagoon region (source: compiled by the author based on the Register of Cultural Properties and cartographic data)

Tyrimo metu buvo taikoma kompleksinė metodika, apimanti literatūros analizę, lauko stebėjimus, vizualinę piliakalnių būklės analizę, paprastus geometrinis matavimus bei inžinerinių priemonių efektyvumo vertinimą. Tyrimų metodika parinkta siekiant įvertinti nuošliaužų formavimosi procesus Kauno marių regioninio parko piliakalnių teritorijoje.

Antrasis tyrimo etapas buvo lauko stebėjimai ir vizualinė piliakalnių šlaitų analizė. Kauno marių regioninio parko piliakalniai buvo apžiūrėti pavasario laikotarpiu iškart po žiemos sezono, kai dėl sniego tirpsmo ir įmirkusio grunto dažniausiai suaktyvėja šlaitų erozijos ir nuošliaužų procesai. Taip pat papildomos apžiūros buvo atliekamos po intensyvių liūčių, kai padidėja paviršinio vandens infiltracija ir gruntų destabilizacijos tikimybė. Apžiūrų metu buvo vertinama šlaitų būklė, nustatomos galimos erozijos vietos, įtrūkimai, gruntų slinkimo požymiai bei kiti reljefo pažeidimai.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Remiantis atlikta literatūros šaltinių analize galima išskirti kelias pagrindines šlaitų stabilizavimo technologijų grupes: mechanines stabilizavimo priemones, geosintetines stabilizavimo sistemas ir hidrotechninius sprendimus. Kiekviena iš šių technologijų grupių yra tinkama skirtingoms geologinėms ir geomorfologinėms sąlygoms, todėl jų taikymas turi būti pagrįstas išsamia teritorijos analize (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Pagrindinių šlaitų stabilizavimo technologijų grupių taikymo galimybės ir jų vertinimas nuošliaužų stabilizavimo kontekste
Table 1. Application possibilities of the main groups of slope stabilization technologies and their evaluation in the context of landslide stabilization

Technologijų grupė <i>Technology Group</i>	Taikomos priemonės <i>Applied measures</i>	Tinkamiausios taikymo sąlygos <i>Best application conditions</i>	Pagrindiniai privalumai <i>Main advantages</i>	Galimi trūkumai <i>Potential Disadvantages</i>
Mechaninės stabilizavimo priemonės <i>Mechanical Stabilization Measures</i>	Gabionai, atraminės sienos, poliai, armatūros tinklai <i>Gabions, retaining walls, piles, reinforcement nets</i>	Stačiuose šlaituose ir aktyvių nuošliaužų zonose <i>On steep slopes and active landslide areas</i>	Didelis stabilizavimo efektyvumas, ilgaamžiškumas <i>High stabilization efficiency, durability</i>	Didelės įrengimo sąnaudos, galimas kraštovaizdžio pokytis <i>High installation costs, possible landscape change</i>
Geosintetinės stabilizavimo priemonės <i>Geosynthetic Stabilization Measures</i>	Geotekstilė, geogridai, geokompozitai <i>Geotextiles, geogrids, geocomposites</i>	Vidutinio statumo šlaituose, erozijos pažeistose teritorijose <i>On slopes of moderate steepness, in areas damaged by erosion</i>	Lankstumas, palyginti nedidelė kaina, mažas poveikis kraštovaizdžiui <i>Flexibility, relatively low cost, low impact on the landscape</i>	Ribotas efektyvumas labai stačiuose šlaituose <i>Limited effectiveness on very steep slopes</i>
Hidrotechniniai sprendimai <i>Hydrotechnical Solutions</i>	Drenažo sistemos, vandens nukreipimo grioviai, pylimai <i>Drainage systems, water diversion ditches, embankments</i>	Teritorijose, kur nuošliaužas sukelia vandens infiltracija <i>In areas where landslides are caused by water infiltration</i>	Efektyviai mažina gruntų įmirkimą <i>Effectively reduces soil absorption</i>	Reikalauja nuolatinės priežiūros <i>Requires constant maintenance</i>
Biotechniniai sprendimai <i>Biotechnical Solutions</i>	Augalinės dangos atkūrimas, velėnos sutvirtinimas <i>Restoration of vegetation cover, turf reinforcement</i>	Nedidelės erozijos zonose <i>In areas of minor erosion</i>	Ekologiškas sprendimas, gerai integruojasi kraštovaizdyje <i>Ecological solution, integrates well into the landscape</i>	Ribotas efektyvumas didelių nuošliaužų atveju <i>Limited effectiveness in case of large landslides</i>

Apibendrinant galima teigti, kad pagrindinės šlaitų stabilizavimo ir apsaugos priemonės yra:

1. **Šlaito tvirtinimo plokštės ir standžios atraminės sistemos.** Standžios šlaito tvirtinimo sistemos, į kurias gali patekti plokštės, fasado elementai, tvirtinamos sienutės ar šlaito inkaravimo sprendiniai, geotechninėje praktikoje taikomos tada, kai reikia aktyviai riboti šlaito deformacijas ir greitai perimti grunto slėgius. Šlaito inkaravimo ir standžių fasadų sistemų apžvalgose nurodoma, kad tokios priemonės ypač tinkamos ribotos erdvės sąlygomis, kai negalima įrengti plataus gravitacinio pagrindo ar laipsniško šlaito išlyginimo (Lazarte et al., 2015; FHWA, 2009). Šių sistemų privalumas yra tai, kad jos leidžia palyginti tiksliai kontroliuoti šlaito paviršiaus poslinkius, apsaugoti greta esančią infrastruktūrą ir sumažinti vietinės deformacijos plitimą (Lazarte et al., 2015). Tačiau net ir tokiais atvejais šios priemonės turi būti vertinamos atsargiai, nes jos dažnai reikalauja intensyvesnės intervencijos į šlaito kūną ir gali pakeisti natūralią reljefo išvaizdą.

2. **Gabionai.** Tai viena dažniausiai minimų lanksčių atraminių priemonių šlaitų stabilizavimo literatūroje. Techninėse gabioninių sienų rekomendacijose pabrėžiama, kad jų esminiai pranašumai yra konstrukcijos laidumas vandeniui, gebėjimas prisitaikyti prie tam tikrų deformacijų bei staigaus trapiojo suirimo ir galimybė naudoti vietinį akmeninį užpildą (SEACAP, 2008; IRC, 2018). Tai ypač svarbu nuošliaužų paveiktose vietose, nes daugelio šlaitų nestabilumą stiprina vandens kaupimasis už nelaidžių atraminių konstrukcijų. Kadangi gabionų sienos yra poringos, jos leidžia vandeniui laisviau pasišalinti, todėl sumažėja porinio slėgio kaupimosi rizika (SEACAP, 2008; IRC, 2018). Šis aspektas daro gabionus patrauklius ten, kur drenažo problema yra ne mažiau svarbi nei pats atraminis efektas.

3. **Geosintetinės medžiagos.** Jos šiuolaikinėje geotechnikoje išsiskiria tuo, kad gali atlikti kelias funkcijas vienu metu: armuoti gruntą, atskirti skirtingus sluoksnius, filtruoti vandenį, gerinti drenažą ir mažinti eroziją. Sustiprintų gruntų ir šlaitų projektavimo gairėse pažymima, kad geotinklai, geotekstilė ir kitos geosintetinės sistemos leidžia formuoti armuotus šlaitus ir sumažinti masyvių atraminių konstrukcijų poreikį, jeigu gruntas ir geometrija leidžia tokį sprendinį pritaikyti (FHWA, 2009). Naujesnėse apžvalgose taip pat pabrėžiama, kad geosintetikai svarbūs ne tik kaip konstrukcinės medžiagos, bet ir tvaresni sprendiniai, padedantys geriau valdyti drėgmę, eroziją ir apkrovų perdavimą (Chatrabhuj et al., 2024; Vicuña et al., 2024). Dėl to geosintetines priemones racionalu vertinti ne kaip vieną produktą, o kaip visą technologinę grupę, kuri gali būti taikoma tiek paviršinei erozijos kontrolei, tiek gilesniam grunto armavimui.

Lauko stebėjimų ir vizualinės piliakalnių šlaitų analizės metu surinkta informacija apie Kauno marių regiono piliakalniuose taikomas šlaitų stabilizavimo ir apsaugos priemones. 2 lentelėje pateikiami pagrindiniai duomenys apie piliakalnių vietą, galimų nuošliaužų formavimosi priežastis, taikytas apsaugos priemones bei jų poveikį piliakalnių būklei.

2 lentelė. Kauno marių regiono piliakalniuose taikytos šlaitų stabilizavimo ir apsaugos priemonės
Table 2. Slope stabilization and protection measures applied in the mounds of the Kaunas Lagoon region

Piliakalnis <i>Mound</i>	Vieta <i>Location</i>	Nuošliaužos susiformavimo priežastys <i>Causes of landslide formation</i>	Kas padaryta likviduojant priežastis <i>What was done to eliminate the causes</i>	Stabilizavimo priemonių vertinimas <i>Evaluation of stabilization measures</i>
Pakalniškių	Kauno r., Kauno marių pakrantė <i>Kaunas district, Kaunas lagoon coast</i>	galimas krantų erozijos poveikis <i>Possible impact of coastal erosion:</i>	pakrantė sutvirtinta rieduliais, teritorija prižiūrima <i>the coast is reinforced with boulders, the territory is maintained,</i>	priemonės efektyvios, šlaitai stabilūs <i>the measures are effective, the slopes are stable</i>
Samylų II	Kauno r., Kauno marių slėnis <i>Kaunas district, Kaunas lagoon valley</i>	natūralūs geomorfologiniai procesai <i>natural geomorphological processes</i>	stabilizavimo priemonių netaikyta <i>no stabilization measures applied</i>	šlaitai stabilūs, tačiau teritorija mažiau prižiūrima <i>slopes are stable, but the area is less well maintained</i>
Visginų	Kauno r., Kauno marių pakrantė <i>Kaunas district, Kaunas lagoon coast</i>	galimas paviršinio vandens poveikis <i>possible impact of surface water</i>	specialių stabilizavimo priemonių nėra <i>special necessary slopes are stable</i>	šlaitai stabilūs <i>stabilization measures are not</i>
Dabintos	Kaišiadorių r., Kauno marių pakrantė <i>Kaišiadorys district, Kaunas lagoon coast</i>	krantų erozija ir vandens poveikis <i>bank erosion and water</i>	stabilizavimo darbai neatlikti <i>impact, stabilization work not completed,</i>	piliakalnis stipriai pažeistas, išlikę tik fragmentai <i>mound severely damaged, only fragments remain</i>
Maisiejūnų	Kaišiadorių r., Kruonio seniūnija <i>Kaišiadorys district, Kruonis eldership</i>	natūralūs šlaitų procesai <i>natural slope processes</i>	įrengti laiptai, teritorija tvarkoma <i>stairs installed, territory maintained</i>	šlaitai stabilūs <i>slopes stable</i>
Lašinių	Kaišiadorių r., Rumšiškių seniūnija <i>Kaišiadorys district, Rumšiškės eldership</i>	natūralūs procesai <i>natural processes</i>	specialių stabilizavimo priemonių nėra <i>without special stabilization measures make</i>	šlaitai stabilūs <i>slopes stable</i>
Dovainonių	Kaišiadorių r., Kauno marių pakrantė <i>Kaišiadorys district, Kaunas lagoon coast</i>	vandens abrazyja ir krantų erozija <i>water abrasion and bank erosion</i>	stabilizavimo darbai neatlikti <i>stabilization work not completed</i>	šlaitai nestabilūs, piliakalnis dalinai nuplautas <i>slopes unstable, mound partially washed away</i>
Vieškūnų	Kauno r., Nemuno slėnis <i>Kaunas district, Nemunas valley</i>	galimas paviršinio vandens poveikis <i>impact of surface water not identified</i>	pakrantė sutvirtinta betoninėmis plokštėmis ir rieduliais <i>coast reinforced with concrete slabs and boulders,</i>	šlaitai stabilūs <i>slopes stable</i>

Daugumoje tirtų piliakalnių vyrauja paprastos inžinerinės geologinės sąlygos, nes jų šlaitai yra stabilūs ir aktyvių nuošliaužų požymių nenustatyta. Tokia situacija stebima Pakalniškių, Samylų II, Visginų, Maisiejūnų, Lašinių ir

Vieškūnų piliakalniuose. Šiuose objektuose šlaitų stabilumą palaiko tiek reljefo forma, tiek pakankamai stabilūs gruntai ir palyginti nedidelis vandens poveikis. Tuo tarpu Dabintos ir Dovainonių piliakalniai (žr. 2, 3 pav.) pasižymi sudėtingesnėmis inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis. Dabintos piliakalnyje nustatyti stipriai pažeisti šlaitai ir galimai silpni gruntai, o Dovainonių piliakalnyje šlaitai yra abrazuojami Kauno marių vandens. Šie veiksniai rodo didesnę šlaitų deformacijos ir erozijos riziką. Todėl šiuose piliakalniuose būtina nuolatinė būklės stebėseną ir galimų stabilizavimo priemonių taikymas, siekiant išvengti tolesnio šlaitų ardymo ir kultūros paveldo objekto degradacijos.



2 pav. Dovainonių piliakalnis. (šaltinis: Kauno marių regioninio parko direkcija)
Figure 2. Dovainonias hillforts. (source: Kauno marių regioninio parko direkcija)



3 pav. Dovainonių piliakalnis. (šaltinis: sudaryta autoriaus)
Figure 3. Dovainonias hillfort. (source: compiled by the author)

Atsižvelgiant į atliktą analizę galima teigti, kad efektyviausi šlaitų stabilizavimo sprendimai dažniausiai pasiekiami derinant kelias technologijas. Mechaninės, geosintetinės, hidrotechninės ir biotechninės priemonės, taikomos kompleksiskai, leidžia ne tik stabilizuoti gruntą, bet ir sumažinti vandens poveikį bei išsaugoti kultūros paveldo objektų kraštovaizdinę vertę. Todėl planuojant piliakalnių šlaitų stabilizavimo darbus būtina atlikti išsamius geotechninius tyrimus ir parinkti technologijas, kurios geriausiai atitiktų konkrečias teritorijos sąlygas bei kultūros paveldo apsaugos reikalavimus (Mikulėnas ir kt., 2017).

Išvados

Tyrimo metu nustatyta, kad daugumoje piliakalnių aktyvių nuošliaužų požymių nepastebėta, tačiau kai kuriuose objektuose, ypač esančiuose arti Kauno marių pakrantės, šlaitai yra veikiami vandens erozijos procesų. Didžiausias pažeidžiamumas nustatytas Dabintos ir Dovainonių piliakalniuose, kur dalis šlaitų jau yra pažeista arba nuplauta vandens poveikio.

Taikant geologinių ir reljefo analogijos principu, galima būtų numatyti, kad efektyviausi Dovainonių piliakalnio šlaitų stabilizavimo sprendimai turėtų apimti drenažo sistemų priežiūrą ir pakrančių stabilizavimą gabionais. Kompleksinis tokių priemonių taikymas gali padėti sumažinti tolimesnį nuošliaužų susidarymą ir užtikrinti ilgalaikį Dovainonių piliakalnio šlaitų stabilumą bei kultūros paveldo objekto išsaugojimą.

Literatūra

1. Chatrabhuj, N. & Meshram, K. (2024). Use of geosynthetic materials as soil reinforcement: An alternative eco-friendly construction material. *Discover Civil Engineering*, 1, Article 41. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00050-6>
2. Federal Highway Administration. (2009). *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: Design and construction guidelines* (Publication No. FHWA-NHI-10-024). U.S. Department of Transportation.

3. Indian Roads Congress. (2018). *Guidelines for the design and construction of gabion structures*. Indian Roads Congress.
4. Kauno marių regioninio parko direkcija. (2017). Kauno marių regioninio parko kraštovaizdžio struktūros aprašas. Kauno marių regioninio parko direkcija.
5. Kultūros vertybių registras. (2023). Kultūros vertybių registras. Lietuvos Respublikos kultūros paveldo departamentas. <https://kvr.kpd.lt/>
6. Lazarte, C. A., Robinson, H., Gomez, J. E., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. R. (2015). *Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil nail walls – Reference manual* (Report No. FHWA-NHI-14-007). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
7. Mikulėnas, V., Satkūnas, J., Taminskas, J., & Gregorauskas, M. (2018). Gedimino pilies kalno šlaitų naujausių deformacijų analizė. *Geologijos akiračiai*, 1(89), 21–27. http://lgeos.lt/GA/GA_numeriai/2018/1/GA2018_01_21-27.pdf
8. South East Asia Community Access Programme. (2008). Gabion retaining structures and slope stabilization guidelines. SEACAP.

PREVENTION OF SLIP AND FALLS AND SOLID STABILITY SOLUTIONS: ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF ENGINEERING MEASURES

Abstract

This study reviews engineering measures implemented in Lithuania and abroad for landslide stabilization. This task involves analyzing scientific literature, technical documents, and practical projects to identify the most commonly used slope stabilization technologies. The measures examined include gabions, geosynthetic materials, retaining walls, drainage systems, and other geotechnical solutions. Additionally, the applicability of these technologies in areas of cultural heritage sites is assessed.

The research employs a comprehensive methodology that includes a literature review, field observations, visual assessments of hillfort conditions, simple geometric measurements, and an evaluation of the effectiveness of engineering measures. The methodology was selected to evaluate landslide formation processes in the hillfort area of the Kaunas Lagoon Regional Park and to determine the most suitable slope stabilization measures. Based on the analysis, it was found that the most effective solutions for stabilizing the slopes of Dovainoniai Hillfort include the maintenance of drainage systems and slope stabilization using gabions. The integrated application of these measures can help reduce the occurrence of further landslides, ensure the long-term stability of the hillfort slopes in Kaunas District, and contribute to the preservation of cultural heritage sites.

Keywords: archaeological sites, gabions, landslide stabilization, hillforts