

ŠVEICARIJOS HIDROMAZGO PRIEŽIŪROS TILTTELIO REKONSTRAVIMO VARIANTŲ ANALIZĖ

Galvirdas NALIVAİKA, Vytauto Didžiojo Universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas galvirdas.nalivaika@vdu.lt

Raimondas ŠADZEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Santrauka

Lietuvoje gausu tiltų ir viadukų, kurių yra net daugiau nei 4 000. Tiltai gali būti klasifikuojami pagal statybos sudėtingumą, medžiagas, iš kurių statomi, ir paskirtį. Pagrindinės medžiagos – mediena, metalas ir gelžbetonis. Pagal statinę schemą, tiltai gali būti skirstomi į: sijinius, santvarinius, arkinius, vantinius, kabamuosius ir kombinuotuosius. Šio darbo tikslas – nustatyti racionaliausią Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelio rekonstravimo variantą, vertinant, kad atstatomos esamo sijinio tilto kolonos, atkuriant jų skerspjuvį ir parenkama nauja perdanga. Darbe projektiniai skaičiavimai atlikti *Robot Structural Analysis 2023* programa. Sukūrus esamo priežiūros tiltelio modelį programos aplinkoje ir parinkus reikiamas apkrovas, tokias kaip savitasis svoris, naudingoji apkrova, vėjas, sniegas, ledas, ir modeliuojant galimus variantus nustatyta, kad pakankami apkrovoms išlaikyti variantai būtų: medinės sijos 250×200 mm (C30 klasė); gelžbetoninės sijos 250×200 mm (C25/30 klasė), metalinės sijos iš profilio HEB 140 (S355 klasė). Atlikus ekonominius skaičiavimus, nustatyta, kad pats racionaliausias sprendinys būtų pasirinkti metalinę konstrukciją su HEB 140 profiliu, S355 klasės.

Reikšminiai žodžiai: priežiūros tiltelis, rekonstravimas, variantų analizė.

Įvadas

Per visą žmonijos civilizacijos gyvavimo laikotarpį tiltai pasitarnavo ne tik transportavimui, prekybai ir karybai, bet ir tapo ikoniskais miestais, atspindinčiais miestus, regionus ir šalis. Per visus amžius tiltai buvo naudingi ir reikalingi visuomenei. Romos imperijoje pirmieji žinomi tiltai, kurie dažniausiai būdavo mediniai arba akmeniniai, buvo pastatyti apie 2000 metų pr. Kr.

Modernieji šiuolaikiniai tiltai, gausiai įkvėpti devynioliktojo amžiaus pradžios tendencijų, kai pradėjo plisti geležinių, plieninių ir gelžbetoninių konstrukcijų pagrindu statomi tiltai, kurie lėtai išstūmė senuosius medinius, akmeninius ir mūrinius tiltus (Chen, Duan, 2014).

Prieš prasidedant Antrajam pasauliniam karui, praktiškai visoje Europoje pagrindinių komunikacijų tiltai buvo pastatyti ir puikiai atliko savo ir praktinę, ir architektūrinio pasididžiavimo paskirtį. Tačiau Antrojo pasaulinio karo laikotarpiu dėl savo strateginių reikšmių didžioji dalis tiltų buvo sunaikinta, tad tiltų konstruktoriai ir inžinieriai buvo priversti imtis visų įmanomų inovacijų ir priemonių, siekdami atstatyti šias gyvybiškai svarbias konstrukcijas su ribotais ištekliais. Tolesni metai tiltų konstrukcijų raidoje buvo kupini tobulinimo ir inovacijų (Chen W., Duan L., 2014).

Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelis įrengtas bene prieš 30 metų, kai projektavimo metu numatytoji gyvavimo trukmė tokioms pagalbinėms konstrukcijoms yra apie ~50 metų, o pats hidromazgas yra projektuojamas 100-mečiui (Kamaitis, 1995, 2000; Frangopol et al., 2017).

Per savo gyvavimo metus tokios konstrukcijos yra nuolat veikiamos išorinių veiksnių, tokių kaip ledas, sniegas, lietus, užšalimas ir atšilimas ir kt. Dėl to prarandama projektinė vertė ir atsiranda pažeidimų, dažniausiai matomos ir plika akimi, taip pat pažeidimų fiksuojamos struktūros neardančiais metodais, nurodytais literatūroje (Dolati et al., 2021; Dabous, Feroz, 2020; Ahmed et al., 2020). Priežiūros tiltelio gyvavimo laikui įtakos gali turėti ir statybos metu palikti defektai, tokie kaip netaisyklingas atrėmimas į koloną, kas per naudojimosi laikotarpį lemia pasvirusius konstrukcijos elementus; nepakankamas apsauginis betono sluoksnis – sumažėjęs konstrukcijos stipris ir bendrąja prasme nesaugų ir pavojingą tolesnį eksploatavimą (Gurskis V. ir kt., 2004). Gelžbetoninių tiltų konstrukcijų defektai ir pažeidimai detalčiai iliustruoti literatūroje (Hüthwohl et al., 2019). Pažeistas konstrukcijas būtina laiku remontuoti, galimi gelžbetoninių tiltų remonto būdai nurodyti literatūroje (Yang et al., 2018).

Tyrimo tikslas – atlikti Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelio rekonstravimo variantų analizę.

Tyrimo uždaviniai

1. Įvertinti esamą Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelio būklę, remiantis normatyviniais dokumentais;
2. Išanalizuoti galimus tiltelio rekonstravimo variantus;
3. Palyginti pasirinktų medžiagų patrauklumą ekonominiu atžvilgiu;
4. Parinkti optimalų priežiūros tiltelio rekonstravimo variantą.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelis, esantis Jonavos raj. (1 pav.)



1 pav. Palydovinė hidromazgo nuotrauka (kairėje), Priežiūros tiltelio nuotrauka (dešinėje)(Google maps, 2023)
Fig. 1. Sattelite picture of hydro-scheme (left), Picture of maintenance (right)(Google maps, 2023)

Darbo metodika susideda iš pirminės hidromazgo apžiūros ir tolesnių sprendinių parinkimo:

1. Vizualiai apžiūrint ir naudojantis instrumentais matuojant ir fotografuojant fiksuojami priežiūros tiltelio defektai ir pažeidimai;
2. Remiantis atliktais matavimais, priežiūros tiltelio konstrukciniams skaičiavimams atlikti sukuriama tiltelio modelis *Robot Structural Analysis 2023* aplinkoje;
3. Programoje sukuriama apkrova, kurias vertinant parenkamos konstrukcijai tinkamos medžiagos;
4. Modeliuojamos tiltelio sijos iš skirtingų medžiagų, nustatant medžiagų skerspjūvius, kurie bus pakankami numatytioms apkrovoms atlaikyti;
5. Atliekama galutinai pasirinktų tinkamų skerspjūvių kainų analizė.

Naudojantis vizualinės apžiūros metodu, galima greitai nustatyti įvairius paviršinius konstrukcijų defektus, tokius kaip nuskilę kampai ir briaunos, apsauginio sluoksnio pažeidimai, betono sluoksniavimasis, plyšiai ir tarpai betone, betonavimo defektai bei armatūros korozija.

Vertinant priežiūros tiltelio būklę, vadovautasi statybos techniniu reglamentu STR 1.07.03:2017(1 lentelė), kuriame išskirti balai šiai būklei įvertinti (mažesnis balas – geresnė būklė)

1 lentelė. Hidromazgo tarnybinio tiltelio techninės būklės vertinimo balai (Šaltinis: STR 1.07.03:2017)

Table 1. Hydroscheme service bridge technical state evaluation points (Source: STR 1.07.03:2017)

13. TARNYBINIO TILTELIO TECHNINĖ BŪKLĖ Technical state of service bridge	
13.1. Gelžbetoninių tiltelių plokštės tvarkingos, nėra betono įtrūkimų, plyšių, nutrupėjimų. Metalinių tiltelių perdanga tvarkinga, neišlankstyta, nėra jokių mechaninių pažeidimų, paviršius nudažytas. Tvarkingi nudažyti apsauginiai turėklai.	0–2,0
13.2. Gelžbetoninių tiltelių paviršiuje yra smulkių įtrūkimų iki 5 mm gylio, yra nedidelių nutrupėjimų. Kai kur nusitrynę metalinių tiltelių paviršiaus dažai. Turėklai saugūs.	2,1–4,0
13.3. Gelžbetoninių tiltelių paviršiuje yra plyšių, įtrūkimų, nutrupėjimų iki 20 mm gylio. Armatūros nematyti. Metalinis paviršius įlinkęs, nežymiai nudilęs. Turėklai saugūs.	4,1–6,0
13.4. Betono perdengimo paviršiuje yra plyšių ir įtrūkimų iki 20–40 mm pločio. Kai kur matyti neuždengta armatūra. Metalinis perdengimų paviršius surūdijęs, yra skylių iki 30 mm, ėjimas saugus. Turėklai iškraipyti, tačiau neišlaužti.	6,1–8,0
13.5. Betono perdengimo paviršiuje yra plyšių ir ištrupėjimų, gilesnių kaip 40 mm, daug kur matyti armatūra, ėjimas nesaugus, pakrypęs tiltelis dėl pastumtų atraminių tauriukų. Metalinis paviršius susidėvėjęs, įtrūkęs, skylėtas. Nulaužti vienos ar abiejų pusių turėklai.	8,1–10,0

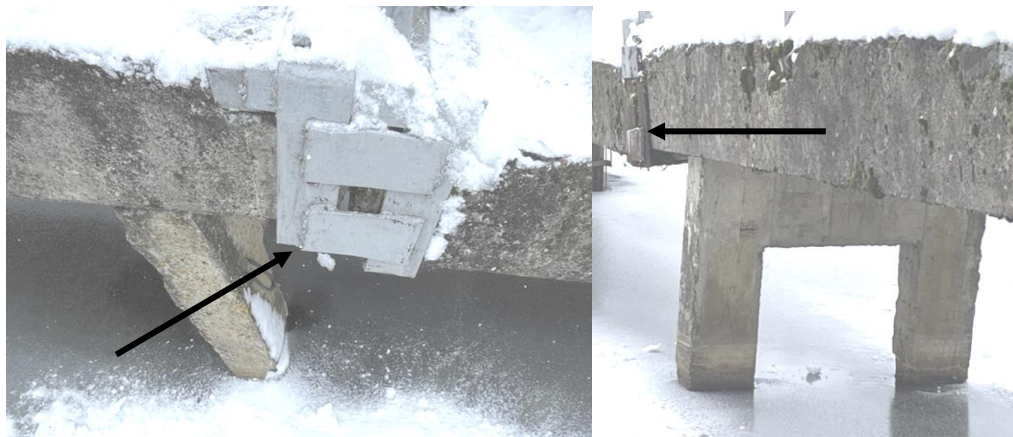
Konstrukciniai skaičiavimai buvo atlikti *Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2023* programa, kuri skirta gelžbetoninėms, plieninėms, medinėms konstrukcijoms bei pamatams analizuoti ir projektuoti, taip pat dokumentacijai ir brėžiniams ruošti. Ši programa pasirinkta, nes joje įdiegtos daugelio šalių projektavimo normos ir skerspjūvių asortimentai su intuityvia aplinka, leidžiančia maksimaliai greitai įsisavinti programą.

Sukurtam esamo priežiūros tiltelio modeliui programos aplinkoje būtina priskirti reikiamas apkrovas, kurios veiks projektuojamą konstrukciją, tokios kaip: savitasis svoris, naudingoji apkrova, vėjas, sniegas, ledas.

Galutinai paruošto modelio sijoms numatoma medžiaga, pasirenkami skerspjūviai ir tikrinami įlinkiai pagal tinkamumo ribinį būvį, t. y. kaip pasirinktą skerspjūvį veiks pasirinktos apkrovos. Galutinai parinkus tinkamus konstrukcinius sprendinius, palyginama jų kaina ir galutinai pasirenkama racionaliausia medžiaga.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimų metu buvo analizuotas Jonavos raj., Šveicarijoje, esantis hidromazgas ir atlikta vizualinė tiltelio apžiūra, kurios metu buvo nustatyta, kad perdangos paviršiuje yra plyšių ir ištrupėjimų, gilesnių kaip 40 mm, nuskilimų, daug kur matyti armatūra, žmonėms vaikščioti nesaugu dėl pasvirusių kolonų (1 pav.), pakrypusi tiltelio perdanga (2 pav.). Metalinis paviršius susidėvėjęs, įtrūkęs, skylėtas.



1 pav. Priežiūros tiltelio nuo vertikalios padėtis nukrypusi atrama
Fig. 1. Deformations of service bridge columns



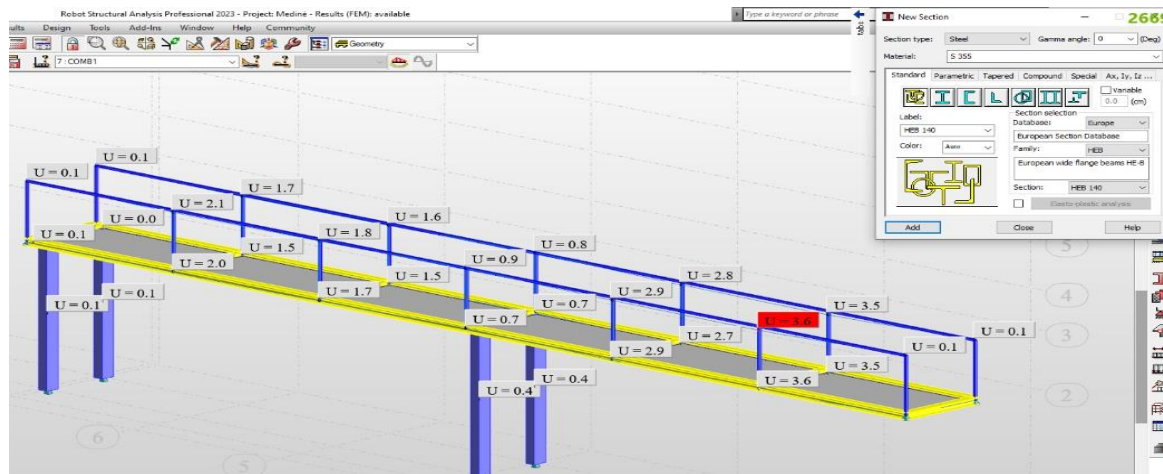
2 pav. Priežiūros tiltelio pasvirusi perdanga
Fig. 2. Deformations of service bridge plate

Po vizualinės apžiūros, vadovaujantis STR 1.07.03:2017(1 lentelė) nustatyta, kad priežiūros tiltelio techninė būklė yra „labai bloga“ ir priskiriami maksimalūs balai, taigi priežiūros tiltelį reikia rekonstruoti.

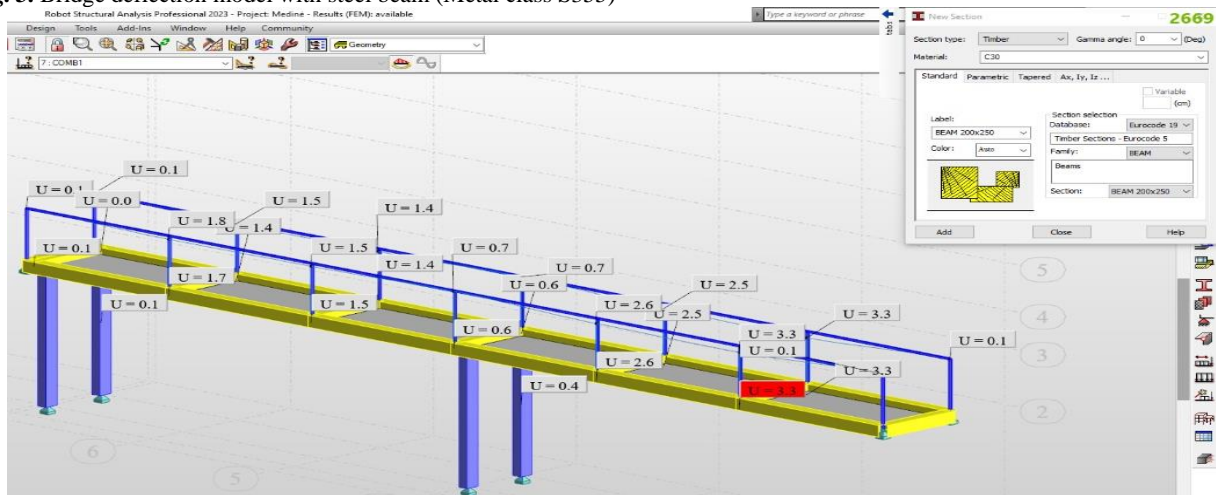
Vienas iš racionaliausių sprendimų būtų atstatyti esamų kolonų vertikale ir atkurti bei sustiprinti korozijos paveiktą sluoksnį ir pakeisti tiltelio perdangos konstrukciją iš monolitinių g/b plokščių, į vieną iš lengvesnių konstrukcijų, tokių kaip medines, metalines arba gelžbetonines sijas su metaliniu tinkleliu, taip mažinant kolonomis tenkančias apkrovas.

Atliekant tolesnę analizę nuspręsta, kad esamos gelžbetoninės kolonos gali būti paliekamos su sąlyga, kad bus atstatyta jų vertikali padėtis ir suremontuotas korozijos paveiktas sluoksnis, stiprinant kolonos skerspjūvį. Stiprinimo variantu, būtina esamas sunkias monolitines gelžbetonines perdangas keisti lengvesnėmis alternatyvomis, projektuojant, kad perdangos bus sudarytos iš laikančiųjų sijų su metaliniu tinkliuku ir apsauginių turėklų.

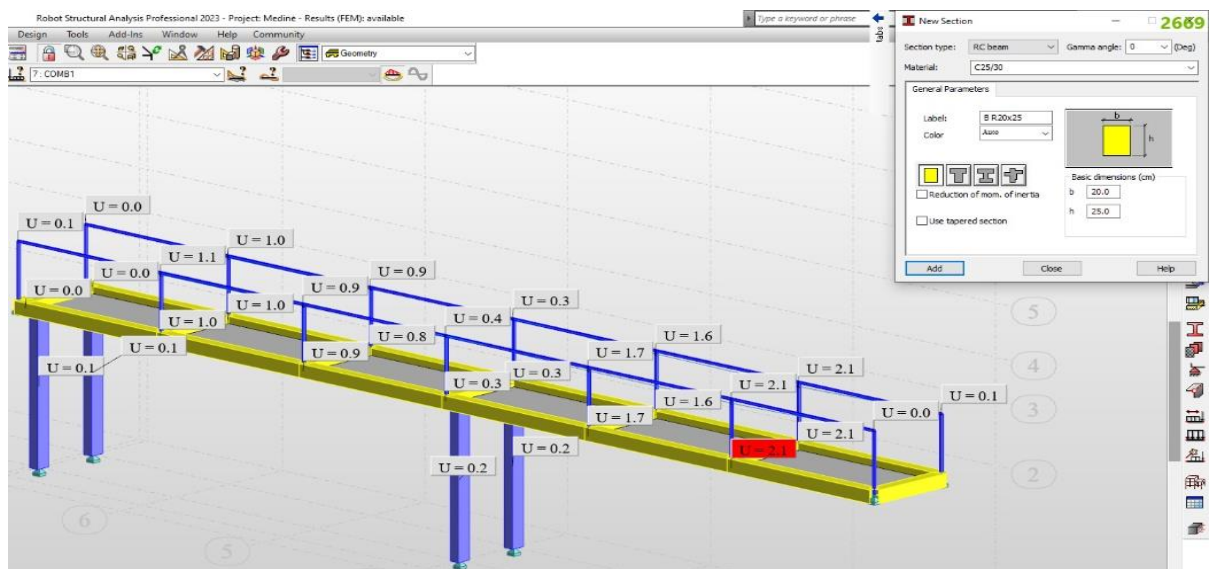
Programoje *Robot Structural Analysis 2023* buvo sukurtas priežiūros tiltelio modelis ir jam priskirtos konstrukciją veikiančios jėgos, tokios kaip savitasis svoris, naudingoji apkrova, vėjas, sniegas ir ledas ir atlikti konstrukciniai skaičiavimai su plieninėmis sijomis (3 pav.); medinėmis sijomis (4 pav.) ir gelžbetoninėmis sijomis (5 pav.).



3 pav. Tiltelio deformacijos modelis su plienine sija (metalo klasė S355)
Fig. 3. Bridge deflection model with steel beam (Metal class S355)



4 pav. Tiltelio deformacijos modelis su medine sija (medienos klasė C30)
Fig. 4. Bridge deflection model with Timber beam (Timber class C30)

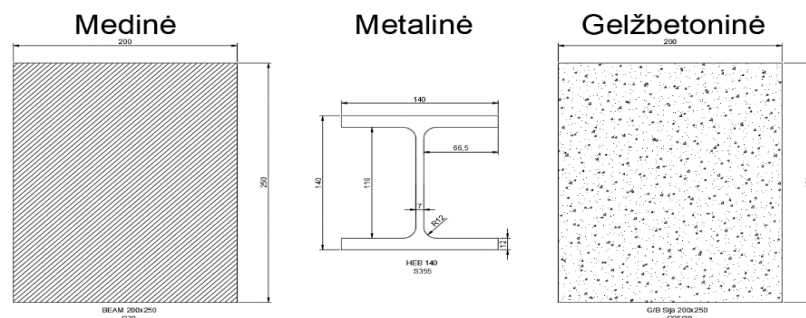


5 pav. Tiltelio deformacijos modelis su gelžbetonine sija (gelžbetonio klasė C25/30)
Fig. 5. Bridge deflection model with RC beam (RC class C25/30)

Atlikus konstrukcinius skaičiavimus su įvairiomis medžiagomis (3,4,5 pav.), buvo parinkti skerspjūviai, su kuriais sijų deformacijos neviršys leistinų normų. Su galutinai pasirinktais skerspjūviais (6 pav.), sijų įlinkiai yra 2,1–3,6 cm esant 9 metrų tarpatriamiui, t. y. leistinose ribose.

Galutinai parinkti šie skerspjūviai:

- medinės sijos 250×200 mm (C30 klasė);
- gelžbetoninės sijos 250×200 mm (C25/30 klasė);
- metalinės sijos iš profilio HEB 140 (S355 klasė).



6 pav. Galutiniai priimti skirtingų medžiagų sijų skerspjūviai, tinkantys rekonstrukcijai
Fig. 6. The final adopted cross-sections of beams of different materials, suitable for reconstruction

Pasirinkus konkrečias medžiagas, reikėjo įvertinti šių medžiagų kainas ir jas palyginus pasirinkti racionaliausią sprendimą. Bendras reikalingos sijų medžiagos ilgis siekia 46,5 metrų.

2 lentelė. Sijos medžiagų kainų skaičiavimas

Šaltinis: sudarytas autoriaus pagal medžiagų kainas (2023).

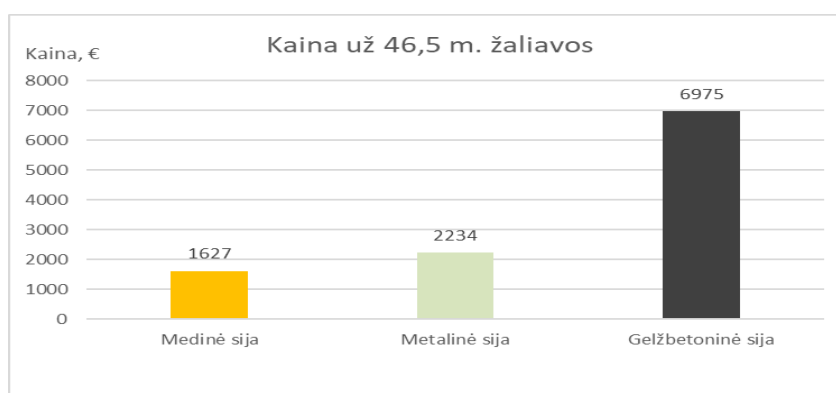
Table 2. Calculation of prices for beam materials

Šaltinis: compiled by the author based on recent prices (2023).

Sijos žaliava Beam material	Kaina Price	Kaina už metrą Price for meter	Reikiamo kiekio kaina Price for needed amount
Plieninė	1530 € / toną	48 €	2,234 €
Medinė	700 € / kubą	35 €	1,627 €
Gelžbetoninė	1532 € / kubą	150 €	6,975 €

Apibendrinant, įvertinus tik žaliavos kainą, buvo apskaičiuotos preliminarios kainos:

- 1627 € medinės sijos 250×200 mm (C30 klasė);
- 2234 € metalinės sijos iš profilio HEB 140 (S355 klasė);
- 6975 € gelžbetoninės sijos 250×200 mm(C25/30 klasė).



7 pav. Žaliavų kaina (Šaltinis: Sudaryta autoriaus)

Fig. 7. The price of raw materials (Source: Created by author)

Išanalizavus medžiagų kainas, daroma prielaida, kad racionaliausias sprendimas priežiūros tiltelio rekonstrukcijai būtų naudoti metalines sijas, nes jos kur kas ilgaamžiškesnės už medines sijas ir tik 37,3 % brangesnės. O gelžbetoninės sijos už metalines brangesnės daugiau nei 300 %. Australijos mokslininkų Petheram C. ir McMahon T.A. (2019) įvertintos užtvankų tvarkymo vidutinės išlaidos už 50 metrų atkarpą svyravo nuo 5000 € iki 10000 € atsižvelgiant į naudojamą medžiagą.

Išvados

1. Įvertinus esamą Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelio būklę pagal STR 1.07.03:2017 tiltelio būklės kriterijus galima spręsti, kad tiltelio būklė yra „labai bloga“, t. y. pastebėti tokie defektai: betono perdengimo paviršiuje yra plyšių ir ištrupėjimų, gilesnių kaip 40 mm, daug kur matyti armatūra, eiti nesaugu, pakrypęs tiltelis dėl pastumtų atraminių tauriukų.

2. Atlikus konstrukcinius skaičiavimus pasirinkta programine įranga *Robot Structural Analysis 2023* parinkti skirtingų medžiagų skerspjūviai, kurie būtų tinkami atlaikyti veikiančias apkrovas: medinės sijos 250×200 mm (C30 klasė); gelžbetoninės sijos 250×200 mm(C25/30 klasė) ir metalinės sijos iš profilio HEB 140 (S355 klasė).

3. Lyginant medžiagas nustatyta, kad pigiausias variantas būtų įrenginėti medines sijas, tačiau tokios konstrukcijos ilgaamžiškumas trumpiausias, nes mediena greičiausiai savo savybes prarandanti medžiaga iš nagrinėtųjų. Gelžbetoninės sijos, priešingai, gali būti ypač ilgaamžiškos ir patikimos, tačiau jų kaina didžiausia iš nagrinėtųjų medžiagų. Galiausiai metalinės sijos priskiriamos optimaliausiajam tarpiniam variantui, kadangi kaina būtų mažesnė už gelžbetoninių sijų ir ilgaamžiškumas didesnis už medinių.

1. 4. Atlikus ekonominius skaičiavimus pasirinkta, kad racionaliausias sprendimas rekonstruojant Šveicarijos hidromazgo priežiūros tiltelį būtų atstatyti esamas kolonas (padidinant jų skerspjūvį ir atstatant vertikale) ir pakeisti esamas sunkias gelžbetonines perdangas į metalines sijas su metaliniu tinkleliu.

Literatūra

1. Chen W., Duan L. 2014. *Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance*, p. 6–10.
2. Kamaitis Z. 1995. *Gelžbetoninių tiltų būklė ir jos vertinimas*. Vilnius: Technika.
3. Kamaitis Z. 2000. *Gelžbetoninių tiltų remontas*. Monografija. Vilnius: Technika.

4. Gurskis V., Juodis J., Patašius A., Skominas R. 2004. Surenkamųjų gelžbetoninių tiltų būklės tyrimai.
5. STR 1.07.03:2017. Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka.
6. Petheram, C., McMahon, T. A. 2019. Dams, dam costs and damnable cost overruns. *Journal of Hydrology*, Vol. X, 3, 100026.
7. Khedmatgozar Dolati, S. S., Caluk, N., Mehrabi, A., Khedmatgozar Dolati, S. S. 2021. Non-destructive testing applications for steel bridges. *Applied Sciences*, Vol. 11(20), 9757.
8. Dabous, S. A., Feroz, S. 2020. Condition monitoring of bridges with non-contact testing technologies. *Automation in Construction*, Vol. 116, 103224.. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103224>
9. Hüthwohl, P., Lu, R., Brilakis, I. 2019. Multi-classifier for reinforced concrete bridge defects. *Automation in Construction*, Vol. 105, 102824.
10. Ahmed H., La H. M., Gucunski N. 2020 .Review of Non-Destructive Civil Infrastructure Evaluation for Bridges: State-of-the-Art Robotic Platforms, Sensors and Algorithms. *Sensors*, Vol. 20(14). <https://doi.org/10.3390/s20143954> .
11. Yang J., Fan J., Kong B., Cai C.S., Chen K. 2018. Theory and application of new automated concrete curing system. *Journal of Building Engineering*, Vol. 17, p. 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.02.009>
12. Frangopol D. M., Dong Y., Sabatino S. 2017. Bridge life-cycle performance and cost: analysis, prediction, optimisation and decision-making, In *Structures and Infrastructure Systems* (pp. 66-84). Routledge

ANALYSIS OF OPTIONS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE SWITZERLAND HYDRO-ENGINEERING COMPLEX MAINTENANCE BRIDGE

Summary

There are many bridges and viaducts in Lithuania, of which we even have over 4,000. Bridges can be classified according to the complexity of construction, materials from which they are built, and purpose. The main materials are named as wood, metal, and reinforced concrete. According to the static scheme, bridges can be divided into: girder, truss, arch, cable-stayed, suspension and combined. The purpose of this work is to determine the most rational option for the reconstruction of the maintenance bridge of the Swiss Hydro node, evaluating the restoration of the columns of the existing girder bridge, restoring their cross-section and selecting a new overlay. At work, design calculations are performed with the "Robot structural analysis 2023" program. After creating a model of the existing maintenance bridge in the program environment and setting the required loads, such as (Specific weight, payload, wind, snow, ice) and simulating the possible options, it was determined that the options sufficient to support the loads would be: wooden beams 250×200 mm (class C30) ; reinforced concrete beams 250×200 mm (class C25/30), metal beams from profile HEB 140 (class S355). After performing economic calculations, it was found that the most rational solution would be to choose a metal structure with HEB 140 profile, S355 class.

Keywords: maintenance bridge, reconstruction, analysis of options.