

VANDENTIEKIO IR BUITINIŲ NUOTEKŲ TINKLŲ PROJEKTAVIMUI TAIKOMŲ PROGRAMŲ ANALIZĖ

Aistė BAUKYTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: aiste.baukyte@vdu.lt

Santrauka

Šiame straipsnyje nagrinėjamos trys kompiuterinės programos, skirtos vandentiekio ir buitinių nuotekų tinklų projektavimui: EPANET, WaterNET CAD ir CIVIL 3D. Išbandžius pasirinktų programų įrankius išsiskyrė programa CIVIL 3D. Lyginant šios programinės įrangos funkcionalumą su kitomis dviem, ši programa pasižymi pranašumu dėl galimybės greitai nubraižyti išilginius inžinerinių tinklų profilius bei integruoti topografinius duomenis, kurie leidžia sukurti trimatį esamo žemės paviršiaus modelį. Atlikus pasirinktų vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimui taikomų programų daugiakriterinį vertinimą, kuris apėmė tris metodus: entropijos, ekspertinį porinį palyginimą ir daugiakriterinį naudingumo vertės, nustatyta, kad tinkamiausia programa yra CIVIL 3D. Pagal vertinimo kriterijus: automatinį profilio sudarymą, hidraulinių nuostolių skaičiavimą, programos kainą, BIM pritaikymą ir automatinį reikalingų lentelių sudarymą – nustatyta, kad kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas, racionalus programos pasirinkimas – CIVIL 3D, antroje vietoje – WaterNET CAD programa ir mažiausiai tinkama programa yra EPANET. Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą nustatytas profilio sudarymas, tinkamiausias pasirinkimas yra taip pat CIVIL 3D programa, surinkusi 39,5 proc. (procentai – tai programos pranašumas prieš kitas dvi lyginamas programas). Įvertinus teorinį kriterijų reikšmingumą tinkamiausias pasirinkimas išlieka CIVIL 3D programa, surinkusi 40 proc. Atlikus vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimo programų daugiakriterinį vertinimą „TOPSIS“ metodu nustatyta, kad geriausias pasirinkimas yra programa CIVIL 3D (52 proc.).

Reikšminiai žodžiai: vandentiekio ir buitinių nuotekų tinklai, kriterijai, EPANET, CIVIL 3D, WaterNET CAD.

Įvadas

Daugiau nei pusė pasaulio gyventojų gyvena miestuose, todėl išaugo komunalinių paslaugų paklausa. Tinkamai suprojektuotos ir gerai valdomos komunalinių paslaugų infrastruktūros sistemos atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant miestų tvarumą. Gerai suprojektuoti ir įrengti nuotekų tinklai užkerta kelią teršalų plitimui, saugodami aplinką ir visuomenės sveikatą (Tanoli et al., 2019). Nuotekų tinklų projektavimas, siekiant efektyviai surinkti, valyti ir šalinti nuotekas, padeda išvengti paviršinio vandens telkinių, požeminio vandens išteklių ir ekosistemų užteršimo (Cramer, Yankopolus, 2006). Tinkamos programinės įrangos pasirinkimas yra labai svarbus siekiant užtikrinti sistemos efektyvumą, tikslumą ir atitiktį teisės aktų reikalavimams. Pažangios programinės įrangos priemonės padeda atlikti tikslūs hidraulinius skaičiavimus, sumažindamos projektavimo klaidų, galinčių sukelti eksploatavimo sutrikimus ar brangiai kainuojančius pakartotinius darbus, riziką (Copilot, 2025). Būtent todėl, norint užtikrinti projektavimo proceso tikslumą, efektyvumą ir patikimumą, labai svarbu pasirinkti tinkamą inžinerinių tinklų projektavimo programą, kuri turėtų visus reikalingus įrankius. Analizuojant programas, skirtas projektuoti tokiems inžineriniams tinklams kaip vandentiekis ar nuotekų surinkimas, būtina atsižvelgti į programos galimybes (Hooda, Damani, 2017). Siekiant palyginti inžinerinių tinklų projektavimo programas, reikia tinkamai parinkti vertinimo kriterijus. Svarbiais laikomi darbo su programomis patogumai ir greitis bei suprojektuotų tinklų paprastesnis eksploatavimas.

Tyrimo tikslas – atlikti vandentiekio ir buitinių nuotekų tinklų projektavimui taikomų programų analizę ir nustatyti, kokia programa yra tinkamiausia projektuoti šiuos tinklus.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti pasirinktų vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimui taikomų programų (EPANET, WaterNET CAD ir CIVIL 3D) daugiakriterinį vertinimą, kuris apima tris metodus: entropijos, ekspertinį porinį palyginimą ir daugiakriterinį naudingumo vertės.

2. Atlikti pasirinktų programų daugiakriterinį vertinimą naudojant „TOPSIS“ metodą ir palyginti su daugiakriterinio vertinimo rezultatais.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektu pasirinktos trys vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimui taikomos programos: EPANET, WaterNET CAD ir CIVIL 3D. Jų vertinimui ir palyginimui išrenkami kriterijai: automatinis profilio sudarymas, hidraulinių nuostolių skaičiavimas, programos kaina, pritaikymas BIM ir automatinis lentelių sudarymas. Kriterijų pasirinkimą nulemia aktualumas inžinerinių tinklų projektavimui:

- inžinerinių tinklų profilis parodo projektuojamų vamzdžių dugno altitudes, galima įterpti ir kitas komunikacijas, kurios dažnu atveju kerta projektuojamą tinklą, o matant profilį galima projektuojamą tinklą pravedti tarp esamų komunikacijų;

- automatinis hidraulinių nuostolių skaičiavimas pagreitina projektavimą, nes programa pateikia rezultatus ar klaidas;
- programos kaina taip pat aktuali, paprastai renkamasi programa su mažesne kaina;
- pritaikymas BIM – tai pastato informacinio modeliavimo (angl. Building Information Modeling) technologijos pritaikymas, kuris naudingas vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavime, nes leidžia efektyviai valdyti visą projekto

gyvavimo ciklą nuo pradinio projektavimo iki eksploatacijos. BIM pagalba sukuriama išsamus 3D modelis, kuris apima visus tinklų komponentus, aplinkos sąlygas (Tianyun et al., 2017);

- lentelių sudarymas leidžia greitai rasti reikalingas koordinatas, suprojektuotus šulinius ar suprojektuoto vamzdyno ilgį.

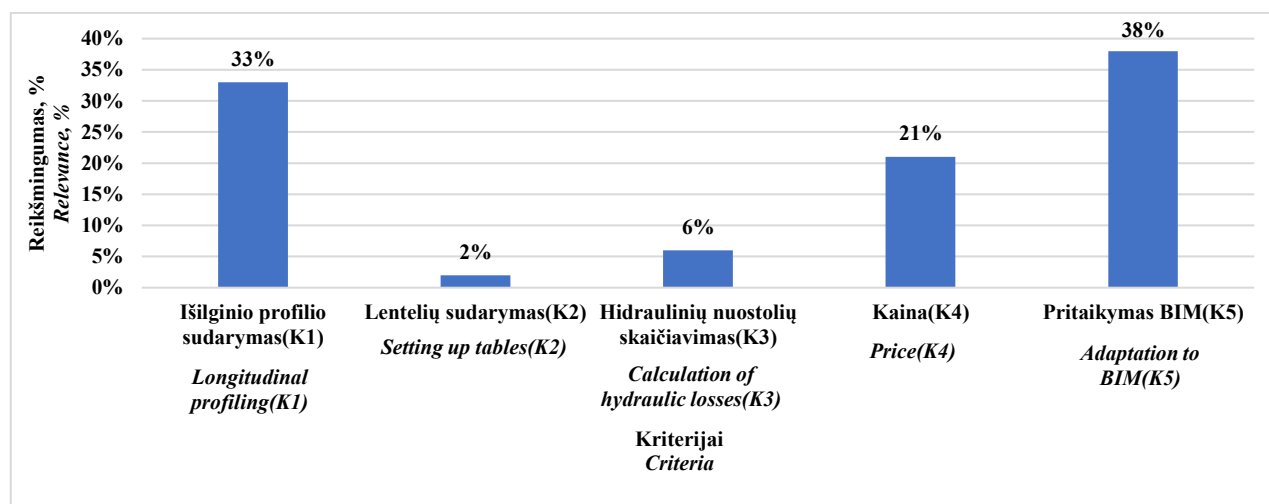
Toliau atliekamas daugiakriterinis vertinimas, kuris apima tris metodus: teorinį entropijos (leidžia nustatyti vertinimo kriterijų reikšmingumą teoriškai, remiantis matematiniais skaičiavimais ir naudojant kriterijų reikšmingumo skaitines reikšmes procentais), ekspertinis porinio palyginimo (leidžia nustatyti kriterijų reikšmingumą, atsižvelgiant į subjektyvią nuomonę procentais) ir daugiakriterinio naudingumo vertės (remiantis pradinių duomenų matrica surandama geriausia kriterijaus reikšmė). Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą C_{ij} . Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai, geriausias sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t. y. surenka didžiausią balų sumą (Zavadskas ir kt., 2001).

Gavus trijų metodų rezultatus sudaroma galutinė matrica, kurioje teorinis kriterijų reikšmingumas procentais – $\bar{q}_t$ yra padauginamas iš programų – A1, A2, A3 balų – $\bar{C}$ ir analogiškai subjektyvus kriterijų reikšmingumas procentais – $\bar{q}$ yra padauginamas iš programų – A1, A2, A3 balų – $\bar{C}$. Iš paruoštos matricos gaunami du rezultatai, kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas ir kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas.

Toliau atliekamas daugiakriterinis vertinimas „TOPSIS“ metodu. Šis vertinimas pasirinktas, nes metodas padeda rasti sprendimą, kuris yra artimiausias idealiam sprendimui ir toliausias nuo blogiausio sprendimo. „TOPSIS“ metodas geriausią sprendimą parenka pagal šiuos žingsnius: kriterijų svorių nustatymą, sprendimų matricos sudarymą, idealaus ir neidealus sprendimų nustatymą, atlikus šiuos žingsnius programa parenka geriausią alternatyvą.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Vertinimo kriterijų reikšmingumo pasiskirstymas, nustatytas taikant teorinį entropijos metodą (Zavadskas ir kt., 2001), pateiktas 1 paveiksle.

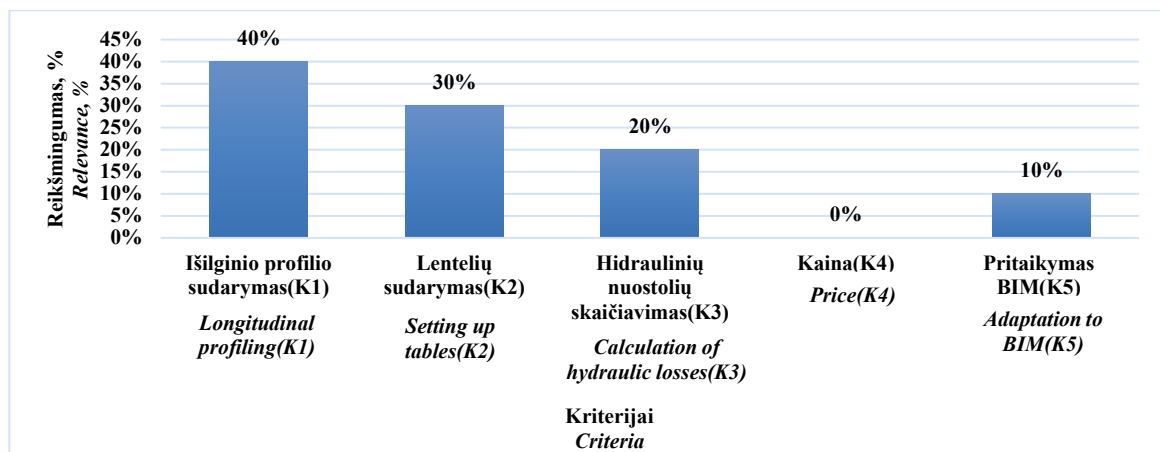


1 pav. Nustatyti kriterijų teoriniai reitingai pagal teorinį entropijos metodą

Fig. 1. Theoretical ratings of the criteria are determined using the theoretical entropy

Skaičiavimo rezultatai (žr. 1 pav.) parodė, kad didžiausią ir palyginamą vertę pagal reikšmingumą turi K5 ir K1 kriterijai – BIM pritaikymas ir išilginio profilio sudarymas.

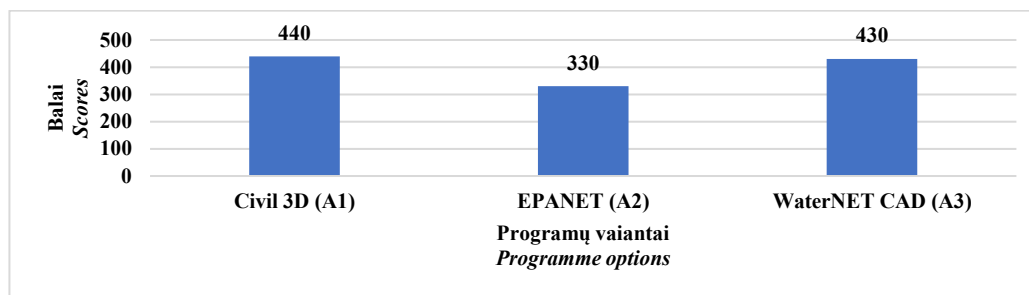
Toliau pagal tyrimo metodiką (Zavadskas ir kt., 2001) nustatytas kriterijų reikšmingumas, atsižvelgiant į subjektyvią nuomonę, tam buvo taikomas ekspertinis porinis palyginimo metodas. Rezultatai pateikti 2 paveiksle.



2 pav. Subjektyvių kriterijų reikšmingumo nustatymo rezultatai taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą
Fig. 2. Results of the expert pairwise comparison method for determining the significance of subjective criteria

Skaičiavimo rezultatai parodė, kad pagal subjektyvią nuomonę BIM kriterijus (K5, 10 %) jau neturi didžiausio reikšmingumo, bet programos gebėjimas pateikti išilginį inžinerinių tinklų profilį (K1, 40 %) iš reikšmingų tapo reikšmingiausiu.

Atlikus skaičiavimus taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą (žr. 3 pav.) gauta tokia prioritetų eilutė: $A1 > A3 > A2$.



3 pav. Programų sprendimų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas
Fig. 3. Usefulness of programme decisions where the significance of the criteria is not assessed

Iš gautų rezultatų matyti, kad lyginant pasirinktas tris programas, pranašiausia programa, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas, yra CIVIL 3D programa (A1) – 440 balų, WaterNET CAD programa (A3) skiriasi nedaug – 430 balų, o mažiausiai balų – 330 surinko EPANET programa (A2).

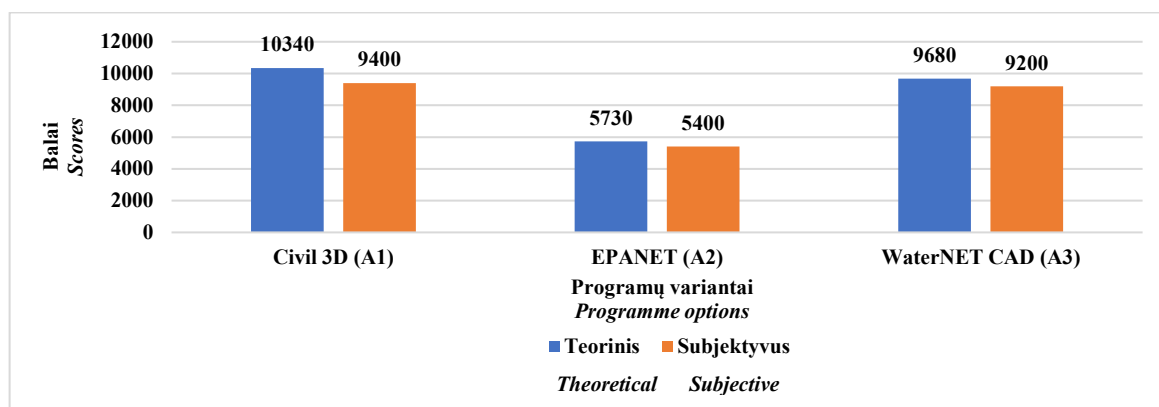
Pagal tyrimo metodiką įvertinant teorinį ir subjektyvų kriterijų reikšmingumą apskaičiuotos kriterijų vertės balais. Sudarytos naujos matricos pateiktos 1 lentelėje.

1. lentelė. Kriterijų naudingumas, įvertinus teorinį ir subjektyvų reikšmingumą
Table 1. Usefulness of the criteria, taking into account theoretical and subjective relevance

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}_t$			$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}$		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
33	3300	990	3300	40	4000	1200	4000
12	1200	960	1200	30	3000	2100	2400
6	360	540	540	20	1400	1800	1800
21	1680	2100	840	0	0	0	0
38	3800	1140	3800	10	1000	300	1000
Σ	10340	5730	9680		9400	5400	9200

Kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus buvo pritaikymas BIM (K5), gauta tokia programų prioritetų eilutė: $A1 > A3 > A2$. CIVIL 3D programa palaiko BIM, todėl ši programa pranašesnė už tas programas, kurios šios funkcijos neturi. Turint tikslią informaciją apie tam tikrus pažeidimus vamzdinyuose ir jų svarbą, galima kurti efektyvius priežiūros planus, tai padeda išvengti avarijų. Be to, tikslus pažeidimų ir jų tipų registravimas skaitmeninėje erdvėje leidžia lengvai pasiekti reikiamą informaciją, planuoti priežiūros darbus ir greitai reaguoti į gedimus ar avarijas. BIM technologija suteikia galimybę atlikti išsamią hidraulinę tinklų analizę ir simuliaciją, tai padeda optimizuoti tinklų veikimą ir užtikrinti jų efektyvumą ir patikimumą. BIM modeliai padeda planuoti ir vykdyti remonto darbus efektyviau, leidžiant iš anksto numatyti būsimas problemas ir optimizuoti išteklių paskirstymą. Kai įvertintas subjektyvus kriterijų

reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus buvo išilginio inžinerinių tinklų profilio sudarymas (K1), gauta tokia programų prioritetų eilutė: A1>A3>A2 (žr. 4 pav.).



4 pav. Programų sprendimų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas

Fig. 4. Usefulness of programme decisions when the theoretical and subjective relevance of the criteria is assessed

Iš grafiko matyti, kad įvertinus teorinį ir subjektyvų kriterijų reikšmingumą optimaliausias variantas yra (A1) – CIVIL 3D programa.

Taigi, atlikus daugiakriterinį vertinimą, kuris susideda iš kelių metodų: entropijos, ekspertinio porinio palyginimo ir daugiakriterinio naudingumo vertės, nustatyta, kad tinkamiausia programa projektuoti inžineriniams tinklams yra CIVIL 3D.

Atliktas daugiakriterinis vertinimas „TOPSIS“ metodu pasirenkant šiuos kriterijus: profilio sudarymą, lentelių sudarymą, hidraulinių nuostolių skaičiavimą, kainą ir pritaikymą BIM. Surašius kriterijus ir jų svorius gauti rezultatai, kurie rodo, kad tinkamiausia programa yra CIVIL 3D. Antroje vietoje yra WaterNET CAD (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. „TOPSIS“ metodo pateiktas rezultatas

Table 2. The result from the „Topsis“ method

	Balai Scores	Išreitingavimas Ranking
CIVIL 3D	0,807	1
EPANET	0,043	3
WaterNET CAD	0,71	2

3 lentelėje pateiktas „TOPSIS“ ir daugiakriterinės analizės (entropijos, ekspertinio porinio palyginimo ir daugiakriterinio naudingumo vertės metodais) rezultatų palyginimas.

3 lentelė. „TOPSIS“ ir daugiakriterinės analizės (entropijos, ekspertinio porinio palyginimo ir daugiakriterinio naudingumo vertės metodais) rezultatų palyginimas

Table 3. Comparison of the results of TOPSIS and multi-criteria analysis (entropy, expert pairwise comparison and multi-criteria utility value methods)

„TOPSIS“ metodas "TOPSIS" method			Programų sprendimų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas Usefulness of programme decisions when the theoretical and subjective relevance of the criteria is assessed		
	Balai Scores	Išreitingavimas Ranking	Teorinio reikšmingumo balai Theoretical significance scores	Subjektyvaus reikšmingumo balai Subjective significance scores	Išreitingavimas Ranking
CIVIL 3D	0,807	1	10340	9400	1
EPANET	0,043	3	5730	5400	3
WaterNET CAD	0,71	2	9680	9200	2

Nustatyta, kad taikant abu vertinimus programos turi analogiškus reitingus, tinkamiausia programa išlieka CIVIL 3D.

Išvados

1. Atlikus pasirinktų vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimui taikomų programų CIVIL 3D, EPANET ir WaterNET CAD daugiakriterinį vertinimą, kuris apėmė tris metodus: entropijos, ekspertinį porinį palyginimą ir daugiakriterinį naudingumo vertės, nustatyta, kad tinkamiausia programa yra CIVIL 3D.

2. Pagal šiuos vertinimo kriterijus: automatinį profilio sudarymą, hidraulinių nuostolių skaičiavimą, programos kainą, pritaikymą BIM ir automatinį reikalingų lentelių sudarymą nustatyta, kad kai neįvertinamas kriterijų

reikšmingumas, racionalus programos pasirinkimas – CIVIL 3D – 440 balų (10 balų daugiau nei programa WaterNET CAD, kuri surinko 430 balų). Šis sprendimas geriausias ir tuo atveju, kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas (10340 balų arba 40 %), kur svarbiausias kriterijus – pritaikymas BIM (38 %). Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus – profilio sudarymas (40 %), geriausias programos pasirinkimas išlieka CIVIL 3D programa (9400 balai arba 39,5 %).

3. Atlikus vandentiekio ir nuotekų tinklų projektavimo programų daugiakriterinį vertinimą „TOPSIS“ metodu pagal pasirinktus kriterijus nustatyta, kad tinkamiausia programa – CIVIL 3D (52 % arba 0,807 balo). Antroje vietoje WaterNET CAD (45 % arba 0,71 balo), o trečioje – EPANET (3 % arba 0,043 balo). Palyginus gautus rezultatus su anksčiau atliktu daugiakriteriniu metodu nustatyta, kad taikant abu vertinimus tinkamiausia programa išlieka CIVIL 3D.

Literatūra

1. Copilot (2025). *Microsoft 365 Copilot Chat*. Prieiga per internetą: <https://copilot.cloud.microsoft>. Užklausa: „why is it important to choose the right software for designing water supply and wastewater networks?“ (žiūrėta 2025-03-24).
2. Cramer J. P., Yankopolus J. E. (2006). *Almanac of Architecture and Design*. Greenway Communications, Atlanta. *Using the Engineering Literature* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203966167>
3. Hooda N.; Damani O. P. (2017). A System for Optimal Design of Pressure Constrained Branched Piped Water Networks. *Procedia Engineering*, 186, 349-356
4. Tanoli A., Sharafat A., Park J., Seo J. W. (2019). Damage Prevention for underground utilities using machine guidance. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580518309865> (žiūrėta 2024-04-12).
5. Tianyun W., Guiqing C., Junde W. (2017) Application of BIM Technology in Building Water Supply and Drainage Design. *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 100, No. 1, p. 012117). IOP Publishing.
6. Zavadskas E. K.; Kaklauskas A.; Banaitienė, N. (2001). *Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė*. Vilnius: Technika, 380p.

ANALYSIS OF SOFTWARE APPLICATIONS FOR THE DESIGN OF WATER SUPPLY AND DOMESTIC WASTEWATER NETWORKS

Abstract

This article examines three computer programs for the design of water supply and wastewater networks: EPANET, WaterNET CAD and CIVIL 3D. CIVIL 3D stood out after testing the tools of the selected programs. When comparing its capabilities with the other two, it has the advantage of being able to draw longitudinal profiles of the utility networks very quickly and quickly, and of being able to upload a topographic photograph to the programme, which produces a 3D representation of the existing land surface. A multi-criteria evaluation of selected software for the design of water supply and wastewater networks, which included three methods: entropy, expert pairwise comparison and multi-criteria utility value, found that Civil 3D is the most suitable software. According to the evaluation criteria: automatic profiling, calculation of hydraulic losses, cost of the software, BIM adaptation and automatic generation of the required tables, it was found that, when the significance of the criteria is not evaluated, CIVIL 3D is the rational choice of the software, with WaterNETCAD in second place, and the least suitable software being EPANET. After taking into account the subjective significance of the criteria, where the most important criterion in the expert pairwise comparison method was the profiling, the most appropriate choice is also the CIVIL 3D programme with 39.5% (percentage, which is the programme's advantage over the other two programmes compared). The CIVIL 3D programme remains the most appropriate choice after assessing the theoretical significance of the criteria with 40%. The multi-criteria evaluation of the water supply and sewerage network design software using the "TOPSIS" method found that CIVIL 3D is the best choice (52%).

Keywords: water supply and domestic wastewater networks, criteria, EPANET, CIVIL 3D, WaterNET CAD.