



RACIONALIŲ STATYBOS TECHNOLOGINIŲ PROCESŲ PARINKIMAS TAIKANT COPRAS METODĄ

Pranas Malinauskas¹, Darius Kalibatas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtkio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva
El. paštas: ¹pranas@st.vtu.lt; ²darius.kalibatas@st.vtu.lt

Įteikta 2005-05-09; priimta 2005-09-15

Santrauka. Straipsnyje analizuojama, kokiais būdais galime parinkti optimalų statinio statybos technologijos projektą, kuris atitiktų daugumos suinteresuotų dalyvių (architektų, užsakovų, projektuotojų, rangovų ir kt. asmenų, susijusių su statinio gyvavimo ciklu) interesus. Aptariama, kokia turi būti vertinimo metodika, kokiomis savybėmis ji turėtų pasižymėti. Paaiškinama, kodėl būtina įvertinti sąnaudas, susijusias net tik su statybos periodu, bet ir eksploataciniu laikotarpiu. Pateikiama pora pavyzdžių, kaip galima būtų išrinkti racionalų projekto variantą atsižvelgiant ne tik į piniginę išraišką, bet ir įvertinti kai kuriuos kitus veiksnius, turinčius įtakos darbų atlikimo kokybei ar eksploatavimui.

Raktažodžiai: požeminė statyba, procesų parinkimas, daugiakriterinis vertinimas, COPRAS metodas.

THE SELECTION OF RATIONAL CONSTRUCTIONAL TECHNOLOGY PROCESSES VARIANTS USING COPRAS METHOD

Pranas Malinauskas¹, Darius Kalibatas²

Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtkio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania
E-mail: ¹pranas@st.vtu.lt; ²darius.kalibatas@st.vtu.lt

Received 9 May 2005; accepted 15 September 2005

Abstract. The article analyses the manner of selection an optimal building technological project which would pander the majority of the concerned members (architects, customers, designers, contractors and so on) interests. Assessment technique is being considered and its features as well. The need to value the expenses associated not only with the construction period, but also with the exploitation period is explained. A few examples are given about choosing a rational project considering not only the cost, but also some value factors that influence job quality or exploitation.

Keywords: underground construction, selection of processes, multi-criterion evaluation, COPRAS method.

1. Įvadas

Statyba yra viena svarbiausių ūkio šakų. Statybos plėtotę charakterizuojantys rodikliai nusako ir bendrą šalies ekonomikos lygį. Natūralu, kad statant pastatus, tiltus, požeminius statinius ir kitokius objektus plėtojasi ir kitos ūkio šakos.

Dabar mūsų šalies statybos pramonės techninis lygis nėra labai aukštas, tačiau daugelyje šalies ūkio šakų didėja naujų objektų statybos poreikis. Stiprėjanti konkurencija statybos rinkoje skatina statybos įmones ieškoti tokių techninių projektų, kurie padėtų statyti kokybiškiau, efektyviau ir pigiau ir dėl to gauti daugiau užsakymų. Todėl statybos įmonėms reikia kvalifikuotų specialistų, gerai išmanančių statybos technologijas ir organizavimo principus ir gebančių gerai prisitaikyti prie rinkos poreikių.

Įvairiuose leidiniuose skelbiama nemažai straipsnių apie situaciją statybos rinkoje, šios ūkio šakos problemas, mokslinius tyrimus, sprendimus organizacinius ir gamybinius klausimus. Blogai atlikta kuri nors šio sudėtingo proceso dalis gali turėti neigiamą įtaką kitiems šio proceso etapams. Todėl visi statybos proceso dalyviai ir vykdytojai privalo derinti veiksmus ir dirbti sutardami, kad galutinis rezultatas – statinys arba jo dalis – būtų greitai ir gerai pastatytas. Įvairiais statybos etapais dirba daug žmonių, sprendžiami sudėtingi ir įvairūs klausimai, todėl visų statybos procesų elementų neįmanoma aprašyti viename straipsnyje.

Autorių tikslas – išnagrinėti vieną problemą. Rengiant statinių projektus stengiamasi parengti technologišką, techniškai pagrįstą projektą, kuris minimaliomis darbų ir medžiagų bei laiko sąnaudomis garantuotų didelį statinio patikimumą, komfortą ir aukštą kokybę. Bet tai dažniausiai siejasi su didelėmis statybos ir eksploatacijos išlaidomis. Todėl reikia išsiaiškinti, kaip už mažesnę kainą gauti kuo geresnį galutinį rezultatą. Taigi straipsnio tikslas – parinkti vertinimo metodiką, kad būtų galima sumažinti projektų vertinimo išlaidas, tuo pat metu gaunant kokybišką galutinį rezultatą (t. y. minimalios būtų ne tik projektavimo, statybos, bet ir eksploatacavimo išlaidos), tenkinantį užsakovo (architektūros, komforto reikalavimus), rangovo ir kitų suinteresuotų grupių interesus [1, 2], taip pat LR statybos normatyvinių dokumentų reikalavimus. Eksploatacavimo išlaidas galime sumažinti įrengę statinius po žeme. Taip galime sutaupyti lėšų, skirtų statinio apdailai ar šiltinimui, išsaugosime aplinką, kadangi požeminės statybinės „vietos“ yra daugiau nei antžeminės [3]. Užsienyje tokiu būdu pastatytos mokyklos [4] ar parengti teoriniai eskizai, kaip gali atrodyti pusiau požeminės degalinės ir kt. statiniai, taip išsaugant nepalietą aplinką [5]. Maža galutinio produkto kaina yra geras rodiklis, tačiau tik tada, kai jis pasiekiamas ne pastato kokybės sąskaita.

Daugiakriterinis vertinimas vis labiau diegiamas praktikoje. Būtina didinti užsakovo suinteresuotumą projekto kokybe, kuri pasiekiamą apmokant papildomas išlaidas (dar-

bo ir laiko), susijusias su daugiakriterinio vertinimo projektavimo darbų apimtimi.

Užsakovai turėtų suprasti projekto daugiakriterinio vertinimo svarbą. Ši svarba ypač stipriai pasireiškia projektuojant brangius, unikalius objektus ir tipinius projektus, masiškai tiražuojamus. Tas užsakovas, kuris taupo daugiakriterinio vertinimo sąskaita, elgiasi neprotingai: jis sutaupo 10–15 % projektavimo išlaidų, bet projektą gauna vidutiškai 30–40 % blogesnės kokybės [6].

Praktinio daugiakriterinio vertinimo įdiegimo galimybė priklauso ne tik nuo užsakovo supratimo apie tokio projektavimo naudą ar būtinų papildomų lėšų reikalingumą, tačiau didelę reikšmę turi ir tokios sąlygos, kurios pašalintų netinkamo varianto atrankos galimybes.

Netinkamo varianto pasirinkimo pavojus gali būti ne tik teorinis, bet ir praktinis. Pagrindinės to priežastys – nenoras (dažnai būna žinių stoka) paisyti rezultatų, gautų daugiakriterinio vertinimo būdu, ir nustatymas, ką galima ir ko negalima daryti vertinant ir atrenkant geriausius projektų variantus.

Su kokybės rodikliais, išreikštais santykiu pagal skalę, galime atlikti bet kokius aritmetinius veiksmus, t. y. juos galime naudoti įvairiems skaičiavimams, taip pat kaip sudėtinį elementą įvairių priemonių projektų kokybei kelti.

2. Statinių savikainos sumažinimas ir projektuojamo statinio kokybės didinimas

Prestižinėse vietose žemės poreikis jau tapo globaline problema. Žmonėms pradeda trūkti turimos žemės, todėl ieškoma būdų, kaip racionaliau ir pigiau ją naudoti. Jei esama teritorija yra tankiai užstatyta, statyboms galima panaudoti ne tik plotą, kuris yra virš žemės, bet ir požeminę erdvę. Lietuvoje tokie statiniai dažniausiai statomi iškasus duobę su natūraliu šlaitu. Tuomet, kai kyla pavojus aplinkiniams statiniams ar statybos aikštelė yra maža, darbai vykdomi tranšėjinės sienos metodu (sienas įrengiant su inkarais ar be jų). Užsienyje požeminiai statiniai dažniausiai įrengiami gramzdinimo būdu arba tranšėjinės sienos metodu [7].

Palyginti su antžeminiais statiniais, požeminių statinių eksploatacinės išlaidos yra gerokai mažesnės. Mažesni temperatūriniai svyravimai, dėl to mažiau išlaidų reikia skirti šildymui. Taip pat tiesiogiai neveikia krituliai, teršalai ir kiti klimato veiksniai, todėl pastatas ilgiau eksploatuojamas, nereikalingas remonto, mažiau girdimas triukšmas ir kitokie trukdžiai [8]. Nereikia atlikti tokių statinių fasadinių apdailos darbų, tačiau būtina užtikrinti gerą jų hidroizoliaciją. Šiuo metu tai nesunku atlikti su naujausios rūšies betonais, kurie dėl savo cheminės sudėties užtikrina gerą hidroizoliaciją net esant dideliems temperatūrų svyravimams.

Tačiau net ir taip statomi statiniai reikalingi nemažų

išlaidų, o jau pastatyto pastato remonto ir rekonstrukcijos išlaidos yra didžiulės, todėl geriau daugiau pinigų skirti projektavimui, statybos darbų organizavimui ir optimalaus statybos varianto parinkimui, kad galėtume išvengti klaidų [9]. Eksploatacinės išlaidos priklauso nuo naudotų medžiagų ir statybos darbų atlikimo kokybės. Dažnai atpiginus statybą, nepagrįstai padidėja eksploataavimo išlaidos ir galiausiai savininkas patiria nuostolių [10].

Pastaraisiais metais didėjant eksploatacinėms išlaidomis stengiamasi turėti tokius statinius, kuriems reikėtų mažesnių piniginių sąnaudų jiems išlaikyti. Todėl pagrindinė užduotis, kurią turime įvykdyti, yra mažinti projektavimo, statybos ir eksploatacijos išlaidas, tuo pat metu stengiantis gauti patikimą ir kokybišką galutinį produktą. O tai galime pasiekti tik kompleksiskai įvertindami projektą ir veiksnius, kurie gali veikti tiek statomą, tiek jau pastatytą statinį. Kitaip tariant, kompleksinės analizės tikslas – didinti projekto ir statinio integralinę kokybę. Dažniausiai projektų kompleksinė atranka vyksta, kai rengiamasi masiškai statyti objektus arba projektuojamas koks nors unikalus statinys [6]. Analizuoti projekto kokybę reikia tam, kad išrinktume geriausią ir santykinai pigiausią statinio projektą, geriausiai atitinkantį mūsų keliamus reikalavimus, optimizuotume statinio projektą, valdytume patį projektavimo ir statybos procesą, parinktume reikiamą vertinimo metodiką.

Parinkdami vertinimo metodiką turime konkrečiai žinoti, ką norime vertinti, bei suformuluoti esminius reikalavimus, kuriais remdamiesi vertinsime. Kitaip tarus atrinkti kriterijus (ir jų reikšmingumus), kuriuos turėtų atitikti mūsų būsimas projektas. Iš esmės visa vertinimo metodika turėtų būti [2, 6]:

Nuosekli. Visi veiksniai ir procesai, veikiantys arba galintys paveikti objektą, turi būti vertinami žingsnis po žingsnio.

Universali. Vertinimo metodika turi apimti visą planavimo procesą. Ji neturi būti siaurai specializuota, turi gebėti išreikšti visus vertinimo kriterijus skaitinėmis reikšmėmis.

Kompleksiška. Galimybė taip išspęsti visus kilusius sunkumus bet kuriuo projektavimo etapu, kad nenukentėtų kitos suinteresuotos grupės, t. y. kompleksiskai išnagrinėti visą projektą.

Daloma. Turi būti galimybė sunkiai išsprendžiamas užduotis suskaidyti į mažesnius ir lengviau išsprendžiamus blokus.

Centralizuota. Galimybė naudoti kitų projektų standartinių problemų sprendimo variantus, tuo pat metu supaprastinant savo darbą.

Preciziška. Kruopščiai kontroliuojanti visą projektavimo procesą.

Adaptyvi. Turi pasižymėti greitu prisitaikymu prie naujai iškeltų reikalavimų ar pasikeitusių projektavimo sąlygų. Turi būti galimybė tobulinti darbo metodiką, tai yra ver-

tinimo kriterijus pakeisti kitais, pašalinti ar įterpti visiškai naujus.

Operatyvi. Laiku gauti informaciją, kuri leidžia greitai priimti reikiamus sprendimus.

Patikima. Gaunama informacija turi būti objektyvi, be klaidų, turi tiksliai atspindėti reikiamus duomenis.

Tiksli. Išvedami apdoroti duomenys turi būti aiškiai suprantami, kad jais remiantis galima būtų priimti sprendimus.

Lanksti. Turi būti galimybė lyginti ne tik visą projektą, bet ir atskirus jos elementus, „ištrauktus“ iš visumos.

Turi būti galimybė, naudojantis tipiniais sprendimais, spręsti netipinius uždavinius.

Vienoda. Pageidautina, kad skirtingų charakteristikų projektams būtų taikoma vienoda vertinimo metodika ir objektai būtų projektuojami vienodai. Negalima būtų lyginti skirtingos paskirties objektų (parduotuvės su vaikų darželiu).

Stabili. Vieną ir tą pačią užduotį išspręsti skirtingais būdais, o rezultatas turi būti vienodas.

Duomenų saugumas. Stengiantis išvengti informacijos nutekėjimo, vertinimo metodika turi suteikti vienam vertintojui (ekspertui) tik jam reikalingą informacijos kiekį.

Jautri. Keičiant vertinimo metodikos rodiklių reikšmes, turi keistis ir pats rezultatas, bet tai turi vykti nuosekliai bei tiksliai, be staigių šuolių viena ar kita linkme.

Turi būti išsamiai išnagrinėti visi įmanomi vertinimo dydžiai.

Koncentruota. Siekiant, kad projektai būtų palyginti už sąlygiškai mažą kainą, reikia apsiriboti tik tais vertinimo rodikliais, kurie yra būtini, o tuos, kurie neturi įtakos ar mažai veikia statinių statybą ir eksploatavimą, reikėtų visai atmesti, t. y. turime sumažinti nagrinėjamų integralinės kokybės rodiklių kiekį. Tai galime atlikti dviem būdais: jungdami identiškus ir (arba) pašalindami ne tokius reikšmingus rodiklius:

- sudarant sudėtingų technologinių projektų savybių medį, pasitaiko, kad į skirtingas vertinimo grupes įtraukiamos tos pačios savybės ir atitinkamai tie patys identiški (pasikartojantys) rodikliai. Taigi kiekvienoje savybių medžio grandinėje gali būti iki dešimties ir daugiau identiškų rodiklių. Taigi vietoj kelių visiškai identiškų rodiklių naudojame vieną – apibendrinamąjį rodiklį, kurio koeficientas bus lygus pakeistų rodiklių koeficientų sumai;
- skaičiavimų rezultatai, susieti su kokybės rodiklių reikšmių nustatymu, gaunami su santykinę paklaida. Todėl visi tie kokybės savybių rodikliai, kurių suma neviršija santykinės paklaidos (nustatant kokybės rodiklių reikšmes), faktiškai neturi reikšmės šiai paklaidai. Tai reiškia, kad integralinės projekto kokybės nustatymo procese į juos galime neatsižvelgti, kitaip tariant, galime jų nenagrinėti nerizi-

kuodami, kad nukentės vertinimo metodikos tikslumas. Nenagrinėjami tik tie rodikliai, kurių svarumo koeficientai turi santykiškai mažiausias reikšmes.

Išanalizavę projektus pagal išvardytus vertinimo metodikos kriterijus, įvykdysime sau keliamus reikalavimus: kruopščiai išanalizuosime visus išorinius ir vidinius veiksnius (tiek teigiamus, tiek neigiamus), darančius įtaką businiam statiniui ir mažinsime statybos ir eksploataavimo sąnaudas.

Tokios sistemos kūrimo tikslas tas, kad esant laiko apribojimams ir statybos normų reikalavimams, siekdami suderinti skirtingų padalinių (architektų, konstruktorių, technologijų) darbus, gautume tokį projektą, kuris būtų kokybiškas ir galėtų konkuruoti su kitų organizacijų siūlomais variantais. Tai pasiekti galime visas projektą veikiančias savybes įvertindami tuo pačiu metu, remdamiesi tokia pat vertinimo metodika. Šiems tikslams labiausiai tinka daugiakriterinio vertinimo metodai. Vienas iš plačiai taikomų yra COPRAS metodas [11]. Taikant šį metodą sėkmingai spręsta nemažai detalių pastatų statybos ir jų priežiūros reikalavimų. Taikant COPRAS metodą sprendžiama keturiais etapais [11]:

I. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica [A] (1 lentelė).

Šio etapo tikslas – iš lyginamųjų rodiklių gauti bedimensius (normalizuotus) įvertintus dydžius. Kai žinomi bedimensiai įvertinti dydžiai, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius. Tam taikoma tokia formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

čia x_{ij} – i kriterijaus reikšmė j sprendimo variantu; m – kriterijų skaičius; n – lyginamų variantų skaičius; q_i – i kriterijaus reikšmingumas.

Kiekvieno kriterijaus x_i gautų bedimensių įvertintų reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio kriterijaus reikšmingumui q_i :

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Kitaip sakant, nagrinėjamo kriterijaus reikšmingumo q_i reikšmė proporcingai paskirstoma visiems alternatyviems variantams a_j , atsižvelgiant į jų reikšmes x_{ij} .

II. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, pastato kaina, sklypo kaina) S_{-j} ir maksimizuojančių (jų didesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, pastato komfortiškumas, estetika) S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal tokią formulę:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}; \quad S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Šiuo atveju S_{+j} (juo didesnis šis dydis (projekto „pliusai“), tuo daugiau įgyvendintų suinteresuotų grupių tikslų) ir S_{-j} (juo mažesnis šis dydis (projekto „minusai“), tuo labiau pasiekti suinteresuotų grupių tikslai) dydžiai išreiškia kiekvieno alternatyvaus projekto suinteresuotų grupių pasiektų tikslų laipsnį.

Bet kuriuo atveju visų alternatyvių projektų „pliusų“ S_{+j} ir „minusų“ S_{-j} sumos visada atitinkamai lygios visoms maksimizuojančių ir minimizuojančių kriterijų reikšmingumų sumoms:

$$S_+ = \sum_{j=1}^n S_{+j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{+ij}, \quad (4.1)$$

$$S_- = \sum_{j=1}^n S_{-j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{-ij}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (4.2)$$

Taip dar kartą galima patikrinti, ar skaičiuota teisingai.

1 lentelė. Normalizuota sprendimų matrica [A]

Table1. Normalized solution matrix [A]

Kiekybinė informacija, apibūdinanti projektus							
Nagrinėjami kriterijai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Nagrinėjami projektai			
				1	2	...	N
X_1	\check{z}_1	q_1	m_1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1j}
X_2	\check{z}_2	q_2	m_2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2j}
...
X_n	\check{z}_n	q_n	m_n	d_{n1}	d_{n2}	...	d_{nj}
Maksimizuojančių normalizuotų įvertinimų rodiklių suma				S_{+1}	S_{+2}	...	S_{+j}
Minimizuojančių normalizuotų įvertinimų rodiklių suma				S_{-1}	S_{-2}	...	S_{-j}
Projekto alternatyvos reikšmingumas				Q_1	Q_2	...	Q_j
Projekto alternatyvos prioritetiškumas							

III. Lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis (projekto „pliusais“) S_{+j} ir neigiamomis (projekto „minusais“) S_{-j} . Kiekvieno projekto a_j santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \sum_{j=1}^n \frac{S_{-\min}}{S_{-j}}}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

IV. Nustatomas projektų prioritetiškumas. Juo didesnis Q_j , tuo didesnis projekto efektyvumas (prioritetiškumas).

Atlikdami tokią kvalimetrinę projekto analizę, sunaudojame nemažai piniginių lėšų. Todėl būtina žinoti, ar tikslinga rengti šią analizę, ar ji atsipirks?

Dažniausiai projekto kokybinė analizė atliekama, kai rengiamasi statyti kokį nors išskirtinį statinį. Šiuo atveju būtina įtikinti užsakovą, kad jis padengtų išlaidas projekto kokybei įvertinti. Nes tuomet, kai yra taupoma projektavimo sąskaita, galutinio produkto kokybė gaunama blogesnė, ir ateityje dar išauga eksploatacinės išlaidos, nei atlikus kokybinę projekto analizę.

Visa tai yra gerokai lengviau pasiekama, kai projektams įvertinti naudojami kompiuteriai su programomis. Todėl būtina maksimaliai automatizuoti projektavimo procesą. Naujų informacinių technologijų diegimas statybos industrijoje leis didinti priimamų sprendimų efektyvumą įvairiose projektavimo situacijose. Atlikti tyrimai rodo, kad informacinės technologijos įdiegimas statybos organizacijose didina jų efektyvumą ir pagerina kokybę. Kai priimant sprendimus naudojamos išsamesnės ir tikslesnės informacijos, tai priimamų sprendimų kokybė yra didesnė, o pats procesas užtrunka daug trumpiau negu naudojantis paprastomis informacijos priemonėmis. Šiam atveju siūlome kompiuterinę programą „STATISTIKA“, kuri sukurta pagal 1–5 formules. Ši programa visus reikiamus skaičiavimus atliks pati (apskaičiuos, kuris projektas geriausias), mums reikės tik įvesti kriterijus, reikšmingumus ir nagrinėjamo projekto reikšmes.

Visiškai automatizuoti projektavimo proceso, žinoma, negalime, nes pradiniu projekto etapu, nustatant tikslus, priemones ir ryšius tarp jų, reikia projektuotojo. Bet šiuolaikinės technologijos leidžia supaprastinti ir tai.

Išrenkant geriausią alternatyvą iš keleto galimų variantų, reikia tinkamai pasirinkti vertinimo kriterijus: kainą, eksploatacinių išlaidas (remontas, draudimas, mokesčiai, šildymas ir kt.), komfortiškumas ir kt., taip pat tinkamai parinkti kiekvienam kriterijui tinkamą reikšmingumą. Tuomet galėsime kompleksiskai įvertinti bendrą projekto kokybės laipsnį. Norint tai įgyvendinti, reikia duomenų bazių, kuriose būtų mus dominanti informacija. Nuo duomenų bazėse esančios informacijos tikslumo ir priklauso pri-

imami sprendimai. Kuo tikslesni duomenys ir kuo daugiau jų yra apie analizuojamą projektą, tuo optimalesnį variantą, tenkinantį vartotojo (užsakovą) poreikius, galime parinkti. Todėl svarbu žinoti ne tik objektą veikiančius vidinius (naudojamos medžiagos, darbų atlikimo kokybė ir kt.), bet ir išorinius (teisiniai, techniniai, technologiniai ir kt.) veiksnius. Informacija turėtų būti ne tik apie mus dominančių statinių statybą, bet ir apie analogiškų statinių statymo bei eksploatacinių patirtį, t. y. turi būti galimybė remtis ankstesnių statybų patirtimi, iš anksto tinkamai įvertinti ateityje kilsiančius keblumus ir imtis prevencinių veiksmų, kad to išvengtume. Taip galėsime sutaupyti piniginių lėšų bei laiko.

3. Racionalių variantų parinkimo pavyzdžiai

Remdamiesi tokia vertinimo eiga galime parinkti įvairius projekto variantus. Kaip pavyzdį išnagrinėsime požeminio garažo (po Savivaldybės aikšte, Vilniuje) perdangų ir grindų ant grunto įrengimo keletą variantų, parinksime labiausiai mus tenkinantį sprendimą, atsižvelgę į dominančius kriterijus.

Skaičiuosime dviem etapais:

I – parinksime geriausią grindų ant grunto variantą;

II – parinksime geriausią perdangų įrengimo variantą.

Taip palengvinsime sau darbą, t. y. sunkiau išsprendžiamą užduotį išskaidysime į du lengviau išsprendžiamus blokus.

Požeminio garažo grindų ant grunto racionalaus varianto parinkimas, atsižvelgiant į tokius kriterijus:

Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas – tai vienas svarbiausių vertinimo kriterijų, pasakantis, kiek ilgai gali būti naudojamos esamos grindys be papildomų išlaidų. Žinoma, viskas priklauso nuo mašinų srauto intensyvumo.

Betonavimo darbų užmokestis – priklauso nuo darbų sudėtingumo, reikalaujamos kvalifikacinės kategorijos darbams atlikti, taip pat nuo pačių darbų atlikimo trukmės.

Siūlės įrengimo kaina – deformacinės siūlės įrengiamos 6×6 m tinklu. Galimi deformacinių siūlių įrengimo būdai:

1. Naudojant „Kota“ tipo profilį.
2. Užbetonuotas paviršius išpjaunamas diskais, kurių plotis – 4 mm. Tarpai užtaisomi į tarpiklius pripylus silikono.
3. Naudojant „Combi form“ profilį kartu su metaliniais vamzdžiais.

Armatūros rišimo kiekis – tai kriterijus, parodantis, kiek kartų daugiau (mažiau) armatūros reikia suriši šiuo atveju, palyginti su kitais variantais. Armatūros rišimas ir klojimas ilgina darbo laiką ir kelia darbo užmokestį.

Paviršiaus kietiklio kaina nusako, už kokią sumą bus apdirbtas 1 m² paviršiaus plotas, tai yra kiekio ir sumos sandauga.

Paviršiaus kietiklio kiekis nusako, kokia paviršiaus kietiklio išeiga tenka 1 m².

Paviršiaus apdirbimo kokybė – šis kriterijus priklauso nuo kietiklio grūdelių smulkumo. Kuo smulkesni grūdėliai, tuo jie lengviau ir tolygiau pasiskirsto betono paviršiuje.

Fibros kiekis, reikalingas betoninėms grindims įrengti – fibra naudojama vietoj armatūros. 1 m³ betono reikia 35 kg fibros.

Betonavimo patogumas technologiniu požiūriu – šiame kriterijuje balais įvertiname atliekamų darbų patogumą.

Kaip matome pagal pasirinktus kriterijus, sprendžiant šį uždavinį, daug dėmesio skirsime technologijos darbų patogumui, o tai gali sumažinti darbo savikainą ir sutrumpinti atliekamų darbų laiką.

Toliau aprašomi lyginamų grindų galimi įrengimo variantai.

Visuose variantuose betonuojamo sluoksnio storis – 120 mm, pagrindas po betonu yra vienodas, t. y. 150 mm smėlio 0/16 frakcijos, 70 mm skalda 32/45 frakcijos ir 200 mm storio polietileno plėvelė. Betono paviršius gali būti apdirbamas dviem skirtingais paviršių kietikliais „Master top 100“ arba „Pambex F1“.

1 variantas

Pirmajam variantui parenkamos betoninės grindys iš B25/30 klasės betono su viršutiniu ir apatiniu Ø4AI/Ø4AI/200/200 armatūros sluoksniu.

Siūlės įrengiamos 6×6 m tinklu naudojant „Combi Form“ profilį ir vamzdžius.

2 variantas

Betoninės grindys susideda iš dviejų sluoksnių:

1. Pirmasis (apatinis) 60 mm sluoksnis susideda iš B25/30 betono ir Ø4AI/Ø4AI/200/200 armatūros.

2. Antrasis (viršutinis) 60 mm sluoksnis betonuojamas

iš betono su fibra. Fibros kiekis – 35 kg/m³.

Siūlės įrengiamos 6×6 m tinklu išpjaunant 1/3 (40 mm) betonuojamų grindų aukščio. Siūlės plotis – 4 mm. Siūlės užtaisomos į tarpiklį pripylus silikono „Soudal“.

3 variantas

Visas betonuojamas sluoksnis yra vientisas ir susideda iš betono su fibra. Fibros išeiga taip pat 35 kg/m³.

Siūlės įrengiamos naudojant „Kota“ profilį ir 6×6 m tinklą.

Iš trijų grindų įrengimo alternatyvų ir dviejų skirtingų paviršiaus kietiklio variantų sudarius šešias galimas grindų įrengimo alternatyvas, reikia išrinkti geriausią variantą (2 ir 3 lentelės).

Kaip matyti iš skaičiavimų, optimalūs yra du variantai, dviejų alternatyvų, t. y. pirmo ir antro betonavimo, variantai su „Master top 100“ paviršiaus kietikliu.

Požeminio garažo perdangos parinkimas atsižvelgiant į tokius kriterijus:

Darbų kaina. Tai procentinė išraiška, parodanti, kiek kartų brangiau (pigiau) galime atlikti vienus darbus, palyginti su kitais.

Atliekamų darbų patogumas (žr. aukščiau)

Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas (žr. aukščiau)

Atliekamų darbų intensyvumas Rodiklis, nusakantis, kiek kartų greičiau (per kuo trumpesnę laiką) galime atlikti darbus.

Naudojamų mechanizmų sudėtingumas. Tai rodiklis, nusakantis montavimo darbams atlikti reikalingų mechanizmų kiekį ir naudojimo sudėtingumą.

Garso, šilumos izoliacija, atsparumas ugniai. Šie vertinimo kriterijai svarbūs tuo atveju, jei garažai įrengiami po gyvenamosiomis patalpomis.

Palyginti parenkame du perdangų įrengimo variantus: perdangas montuojant iš gelžbetoninių plokščių arba molitines perdangas naudojant klojinius (4 ir 5 lentelės).

2 lentelė. Duomenys, reikalingi projektų kvalimetrinei analizei atlikti – matrica [A]

Table 2. Data required to test project quality – matrix [A]

Nagrinėjami veiksniai	*	Mato vnt.	Kriterijų reikšmingumai	1 variantas		2 variantas		3 variantas	
				„Pambex F1“	„Master top 100“	„Pambex F“	„Master top 100“	„Pambex F1“	„Master top 100“
1. Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas	+	m.	0,35	5	6,5	5	6,5	5	6,5
2. Betonavimo darbų užmokestis	-	Lt/m ²	0,15	7,3	7,3	8,2	8,2	9,5	9,5
3. Siūlės įrengimo kaina	-	Lt/m ¹	0,08	16	16	6	6	18	18
4. Armatūros rišimo kiekis	-	x	0,05	0	0	1	1	2	2
5. Paviršiaus kietiklio kaina	-	Lt/t	0,04	1 150	1 600	1 150	1 600	1 150	1 600
6. Paviršiaus kietiklio kiekis	+	kg/m ²	0,05	2,6	3,5	2,6	3,5	2,6	3,5
7. Paviršiaus apdirbimo kokybė	+	%	0,15	90	100	90	100	90	100
8. Reikalingas fibros kiekis	-	kg/m ²	0,03	4,2	4,2	2,1	2,1	0	0
9. Betonavimo patogumas	+	Balais	0,10	10	10	7,5	7,5	4,5	4,5

3 lentelė. Įvertinimo rezultatai

Table 3. Valuation results

Nagrinėjami veiksniai	*	Mato vnt.	Kriterijų reikšmingumai	1 variantas		2 variantas		3 variantas	
				„Pambex F1“	„Master top 100“	„Pambex F“	„Master top 100“	„Pambex F1“	„Master top 100“
1. Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas	+	m.	0,35	0,057	0,0659	0,0507	0,0659	0,0507	0,0659
2. Betonavimo darbų užmokestis	–	Lt/m ²	0,15	0,0219	0,0219	0,0246	0,0246	0,0285	0,0285
3. Siūlės įrengimo kaina	–	Lt/m ¹	0,08	0,016	0,016	0,006	0,006	0,018	0,018
4. Armatūros rišimo kiekis	–	x	0,05	0	0	0,0083	0,0083	0,0167	0,0167
5. Paviršiaus kietiklio kaina	–	Lt/t	0,04	0,0056	0,0078	0,0056	0,0078	0,0056	0,0078
6. Paviršiaus kietiklio kiekis	+	kg/m ²	0,05	0,0071	0,0096	0,0071	0,0096	0,0071	0,0096
7. Paviršiaus apdirbimo kokybė	+	%	0,15	0,0237	0,0263	0,0237	0,0263	0,0237	0,0263
8. Reikalingas fibros kiekis	–	kg/m ²	0,03	0,01	0,01	0,005	0,005	0	0
9. Betonavimo patogumas	+	Balais	0,10	0,0227	0,0227	0,0170	0,0170	0,0102	0,0102
Maksimizuojančių normalizuotų pasvertų rodiklių suma S_{+j}				0,1042	0,1245	0,0985	0,1188	0,0917	0,1120
Minimizuojančių normalizuotų pasvertų rodiklių suma S_{-j}				0,0535	0,0557	0,0495	0,0517	0,0688	0,0710
Varianto reikšmingumas Q_j				0,1667	0,1859	0,1660	0,1834	0,1417	0,1591
Varianto prioritetas				3	1	4	2	6	5
Varianto procentinis santykis				89,7	100	89,3	98,7	76,2	85,6

4 lentelė. Duomenys, reikalingi projektų kvalimetrinei analizei atlikti – matrica [A]

Table 4. Data required to test project quality – matrix [A]

Nagrinėjami veiksniai	*	Mato vnt.	Kriterijų reikšmingumai	Perdangos	
				surenkamosios	monolitinės
1. Darbų kaina	–	%	0,14	65	100
2. Atliekamų darbų patogumas	+	Balais	0,09	10	7,3
3. Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas	+	Balais	0,27	9,1	10
4. Atliekamų darbų intensyvumas	+	Balais	0,19	10	6,9
5. Naudojamų mechanizmų sudėtingumas	–	Balais	0,10	6,3	10
6. Garso izoliacija	+	Balais	0,06	10	8,2
7. Šilumos izoliacija	+	Balais	0,08	8,9	10
8. Atsparumas ugniai	+	Balais	0,07	9,2	10

Kaip matyti iš skaičiavimų, surenkamąsias perdangas labiau apsimoka įrengti nei monolitines.

Taigi kaip matome iš šio pavyzdžio, gan nesudėtinga pasitelkus kvalimetrinę analizę parinkti optimalų projekto variantą. Žinoma, norėdami įvertinti, kaip parinktos didesnių statinių visos konstrukcijos, neapsieisime be kompiuterių, ypač kai reikia parinkti sudėtingus technologinius sprendimus.

Siekiant parodyti šios metodikos prasmę, reikia atlikti matematinius skaičiavimus, t. y. visus anksčiau analizuotus požeminio garažo grindų ant grunto variantus palygin-

5 lentelė. Įvertinimo rezultatai

Table 5. Valuation results

Nagrinėjami veiksniai	*	Mato vnt.	Kriterijų reikšmingumai	Perdangos	
				surenkamosios	monolitinės
1. Darbų kaina	–	%	0,14	0,0552	0,0848
2. Atliekamų darbų patogumas	+	Balais	0,09	0,0520	0,0380
3. Fizinis (moralinis) ilgaamžiškumas	+	Balais	0,27	0,1286	0,1414
4. Atliekamų darbų intensyvumas	+	Balais	0,19	0,1124	0,0776
5. Naudojamų mechanizmų sudėtingumas	–	Balais	0,10	0,0387	0,0613
6. Garso izoliacija	+	Balais	0,06	0,0330	0,0270
7. Šilumos izoliacija	+	Balais	0,08	0,0377	0,0423
8. Atsparumas ugniai	+	Balais	0,07	0,0335	0,0365
Maksimizuojančių normalizuotų pasvertų rodiklių suma S_{+j}				0,3972	0,3628
Minimizuojančių normalizuotų pasvertų rodiklių suma S_{-j}				0,0939	0,1461
Varianto reikšmingumas Q_j				0,5433	0,4670
Varianto prioritetas				1	2
Varianto procentinis santykis				100	86

sime su medžiagų ir darbų atlikimo pinigine išraiška, bet neįtrauksime vertinimo rodiklių, kurie neturi piniginės išraiškos. Kaip pavyzdį skaičiuosime, kiek kainuos išbetonuoti 10 000 m² grindų plotą?

I variantas

Reikalingas betono kiekis:

$$100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \times 1,02 = 1\,224 \text{ m}^3;$$

Betono su fibra kaina:

$$1\,224 \text{ m}^3 \times 218 \text{ Lt/m}^3 = \mathbf{266\,832 \text{ Lt}};$$

Siūlių įrengimo ilgis 3 200 m, 1 m įrengimo kaina 16 Lt.

Bendra siūlių įrengimo kaina (darbas + medžiagos):

$$3\,200 \text{ m} \times 0,95 \times 16 \text{ Lt/m} = \mathbf{48\,640 \text{ Lt}}.$$

Betonavimo darbų kaina:

$$7,3 \text{ Lt/m}^2 \times 10\,000 \text{ m}^2 = \mathbf{73\,000 \text{ Lt}}$$

Iš viso su darbais ir medžiagomis **388 472 Lt**

II variantas

Betono kaina **119 340 Lt**

Betono su fibra kaina **133 416 Lt**

Vieno sluoksnio armatūros klojimas (darbas + medžiagos) **31 213 Lt**

Siūlių pjaustymas ir hermetizavimas:

$$6 \text{ Lt/m} \times 3\,200 \text{ m} = \mathbf{19\,200 \text{ Lt}}$$

Betonavimo darbų kaina:

$$8,2 \text{ Lt/m}^2 \times 10\,000 \text{ m}^2 = \mathbf{82\,000 \text{ Lt}}$$

Iš viso su darbais ir medžiagomis 385 169 Lt.

III variantas

Betono kaina **238 680 Lt**

Dviejų sluoksnių armatūros klojimas **62 426 Lt**

Bendra siūlių įrengimo kaina (darbas + medžiagos):

$$3\,200 \text{ m} \times 0,95 \times 18 \text{ Lt/m} = \mathbf{54\,720 \text{ Lt}}.$$

Betonavimo darbų kaina:

$$9,5 \text{ Lt/m}^2 \times 10\,000 \text{ m}^2 = \mathbf{95\,000 \text{ Lt}}$$

Iš viso su darbais ir medžiagomis **450 826 Lt**.

Kiekvienu iš šių variantų galima naudoti du skirtingus paviršiaus kietiklius, kai darbo ir medžiagų kaina už 10 000 m² yra: „Pambex F1“ – 160 000 Lt; „MasterTop 100“ 190 000 Lt.

Kaip matome iš gautų skaičiavimų, pirmas ir antras variantas pinigine išraiška beveik nesiskiria, vos keliais tūkstančiais priimtinesnis yra antras variantas, bet atlikę kvalimetrinę analizę gauname priešingai, t. y. pirmas variantas yra geresnis. Be to, sunku vien pinigine išraiška parinkti paviršiaus kietiklius, nes remiantis šiuo rodikliu gaunama, kad geresnis yra „Pambex F1“. Naudojant „MasterTop 100“ paviršiaus kietiklį, lengvesnė apdirbimo kokybė ir ilgesnis naudojimo laikas.

Taigi norint visapusiškai įvertinti būsimą statinį, reikia įvertinti visus veiksnius. Projektuotojas turi atsižvelgti ne tik į tai, ar gerai užtikrinami šiuo metu būdingi įvairūs pastato realizavimo procesai, bet ir kaip patogų bus eksploatuoti ateityje, kai atsiras naujų, dar nežinomų (ar mažai žinomų) procesų.

4. Išvados

Kol nėra nustatytos vertinimo ribos, nėra tikslo lyginti projektų, todėl prieš lyginant variantus, būtina nustatyti rei-

kalavimus, pagal kuriuos galėsime projektus lyginti.

COPRAS metodo taikymas, parenkant geriausią statybos technologinį projektą, leidžia suinteresuotiems dalyviams (užsakovui, rangovui ir kt.) išrinkti optimalų projektą remiantis vertinimo rodikliais.

Remdamiesi daugiakriteriniu metodu galime išrinkti ne tik geriausią projektą iš kelių galimų variantų, bet ir nustatyti, kiek kartų jis yra geresnis už kitus projektus.

Projektai bus sukurti ir palyginti nedidelėmis sąnaudomis, jei vertinsime tik pagal reikšminius rodiklius, kurie yra būtini, o likusius visai atmesime.

Taip pat būtina didinti priimamų sprendimų kokybę, t. y. priimant sprendimus naudotis tikslia informacija, kuri turi būti gauta per kuo trumpesnę laiką; kaupti duomenis apie projektų kokybės vertinimo galimybes; rinkti kuo didesnes duomenų bazines, kuriose būtų visa informacija apie statybos procesą ir kuriomis remiantis lygintume projektus; mažinti statybos trukmę, o tai labai domina užsakovus.

Atlikus projekto kvalimetrinę analizę ir išrinkus tinkamiausią variantą, gauta projekto kokybė yra kur kas geresnė. Tuo pat metu galime gauti pigesnę ir kokybiškesnę statinį.

Daugiakriterinis technologinio projekto vertinimas (taip pat konkursinis projektavimas) užtikrina kokybišką projekto pasirinkimą, t. y. projekto kokybė padidėja iki 40 %, palyginti su nevariantiniu projektavimu.

Siekiant daugiakriterinį vertinimą įdiegti visų projektavimo organizacijų darbo praktikoje, būtina, kad:

- užsakovas materialiai skatintų projektuotojus naudoti daugiakriterinio vertinimo technologiją;
- geriausio varianto vertinimas ir atranka būtų pagrįstas sprendimo tikslumu ir patikimumu.

Literatūra

1. Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Bejeder, E.; Motekūnas, T. Multipurpose selection of building construction and exploitation. Vilnius: Technika, 1992.
2. Banaitienė, N.; Turskis, Z. Decision support for the evaluation of building life cycle effectiveness. *Technological and Economic Development of Economy* (Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas), Vol X, No 2. Vilnius: Technika, 2004, p. 57–66.
3. Carmody, J.; Sterling, R.; Edelhart, M.; Terman, M. R.; Wampler, L.; Bligh, T. <http://main.ceardach.com/index.php?id=32> 2004.11.10
4. Hall, L. <http://www.subsurfacebuildings.com/Page2.html> - 2004.11.10.
5. Wells, M.; <http://www.malcolmwells.com/designs.html> 2004.11.10
6. Azgaldov, G. G. Qualimeter (Žāāēčgāņšč□). Moscow: Strojizdat, 1989 (in Russian).
7. Zavadskas, E. K.; Karablikovas, A. ir kt. Building's construction technology (Pastatų statybos technologija). Vilnius: Alma littera, 2000 (in Lithuanian).

8. Frank van der Hoeven, <http://www.bouwweb.nl/ob/vdhoeven/chap03.htm> 2004.11.10.
9. Zavadskas, E. K.; Vaigauskas, E. Method applying of decision making theory when preparing construction (Sprendimų priėmimo teorijos metodų taikymas ruošiant statybą). Vilnius: Technika, 1985 (in Lithuanian).
10. Mikšta, P.; Andruškevičius, A.; Aviža, V. Building repairing and reconstruction works (Pastatų remonto ir rekonstrukcijos darbai). Vilnius: Technika, 1991 (in Lithuanian).
11. Zavadskas, E. K.; Simanauskas, L.; Kaklauskas, A. Decision support in system building (Sprendimų paramos sistemos statyboje). Vilnius: Technika, 1998 (in Lithuanian).

Pranas MALINAUSKAS. Doctor of Science Dept of Construction Technology and Management. Vilnius Gediminas Technical University.

A graduate of Vilnius Civil Engineering Institute (since 1990 Vilnius Technical University), PhD (1994). Author and co-author of 39 papers. Research interests: multiple criteria decision-making, expert systems, total quality management, facilities management.

Darius KALIBATAS. Master of construction management. Vilnius Gediminas Technical University.