

## STATYBOS VYKDYMO PLANAVIMAS INŽINERINIO PASIRENGIMO STATYBAI SISTEMOJE

Odeta Viliūnienė<sup>1</sup>, Loreta Inokaitytė<sup>2</sup>

*Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>odeta.viliuniene@ktu.lt; <sup>2</sup>loreta.salickiene@ktu.lt*

*Įteikta 2011 06 30; priimta 2011 09 08*

**Santrauka.** Straipsnyje analizuojamas efektyvus statybos darbų vykdymo planavimo būdas. Statybos įmonėms, ieškančioms būdų, kaip sumažinti esminius statybos darbų vykdymo projekto veiksmus: išlaidas ir laiką, nes nuo to priklauso tolesni įmonės veiklos rezultatai, straipsnio autorės siūlo atlikti inžinerinį pasirengimą statybai. Šio pasirengimo metu rengiami racionalių statybos darbų vykdymo projektiniai sprendimai įvertinimui taikant įvairius ekonominius matematinis optimizavimo metodus. Straipsnyje pateikta statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų rengimo metodika, pritaikyta praktiniams uždaviniams spręsti inžinerinio pasirengimo statybai metu. Tyrimo objektu pasirinktas kompleksinis žemės darbų vykdymas.

**Reikšminiai žodžiai:** inžinerinis pasirengimas statybai, statybos darbų vykdymo planavimas, matematiniai metodai, statybos darbų vykdymo projektiniai sprendimai, žemės darbai.

### 1. Įvadas

Nepaisant sulėtėjusio statybos tempo šalyje, statybos sektorius išlieka svarbiausia ūkio šaka. Norint statybos įmonei išsilaikyti rinkoje būtina įgyti ryškesnę pranašumą, palyginti su kitomis statybos bendrovėmis, todėl būtina ieškoti naujų inovatyvių sprendimų statybos įmonės veiklai tobulinti.

Diskutuojant su statybos rangovais, vieną pagrindinių savo veiklos organizavimo problemų jie įvardijo nepakankamai efektyvų statybos vykdymo planavimą, dėl ko išauga statybos kaina, pailgėja statybos darbų vykdymo trukmė, neracionaliai naudojami statybiniai mechanizmai ir statybinės medžiagos.

Statybos vykdymo planavimas turi būti vienas iš svarbiausių procesų statybos organizacijos veikloje (Harris *et al.* 2006), lemiantis jos ateities kursą ir sprendimų priėmimą. Statybos įmonei efektyviai planuojant statybos darbų vykdymą, įmonės pelnas gali siekti 8–10 proc. (Viliūnienė, Viliūnas 2005).

Statybos vykdymo planavimo tikslus galima pasiekti inžinerinio pasirengimo statybai metu. *Inžinerinis pasirengimas statybai* – tai kompleksas techninių,

teisinių, ekonominių, technologinių ir organizacinių priemonių, kurios turi užtikrinti nuoseklią statybų pradžią, ritmingą pagrindinių statybos darbų organizavimą pagal optimalią technologiją.

Kvalifikuotas inžinerinis pasirengimas statybai sudaro realias prielaidas efektyviai statybos veiklai. Tokio pasirengimo statybai išlaidos sudaro 0,3–0,5 % statybos savikainos. Tačiau santykis tarp išlaidų šiam darbui ir galutinių statybos veiklos efektyvumo rezultatų yra 1:5 ir didesnis (Juodis 2005; Gossow 1998).

Inžinerinio pasirengimo statybai metu yra didelės galimybės parengti racionalius statybos darbų vykdymo projektinius sprendimus, jiems įvertinti taikant įvairius metodus. Svarbiausias vaidmuo čia tenka matematiniais metodams. Jie leidžia efektyviau spręsti statybos darbų vykdymo klausimus ir parengti racionalius statybos darbų vykdymo projektinius sprendimus (Peldschus, Zavadskas 1997; Janušaitis, Juodis 2001; Juodis, Apanaviciene 2003; Viliuniene, Juodis 2002; Zavadskas *et al.* 2005; Malinauskas, Kalibatas 2005; Viliūnienė, Viliūnas 2005; Viliuniene, Viliūnas 2007; Žiogas, Juočiūnas 2005; Janusz, Kapliński 2006;

Zavadskas *et al.* 2008, 2009; Šiškina *et al.* 2009; Medeliene, Ziogas 2010; Peldschus *et al.* 2010). Praktinis tokių sprendimų įgyvendinimas vykdant statybos darbus leistų sumažinti statybos išlaidas 15–25 %, statybos trukmę – 16–28 % (Viliūnienė, Viliūnas 2005). Be to, sparčiai tobulėjanti kompiuterinė technika leidžia ne tik greičiau parengti racionalius statybos darbų projektinius sprendimus taikant matematinius metodus, bet ir juos integruoti į specialius programinius statybos valdymo paketus. Dėl to rangovai turėtų suprasti inžinerinio pasirengimo statybai svarbą, kuri ypač pasireiškia vykdant brangiai kainuojančius didelės apimties projektus.

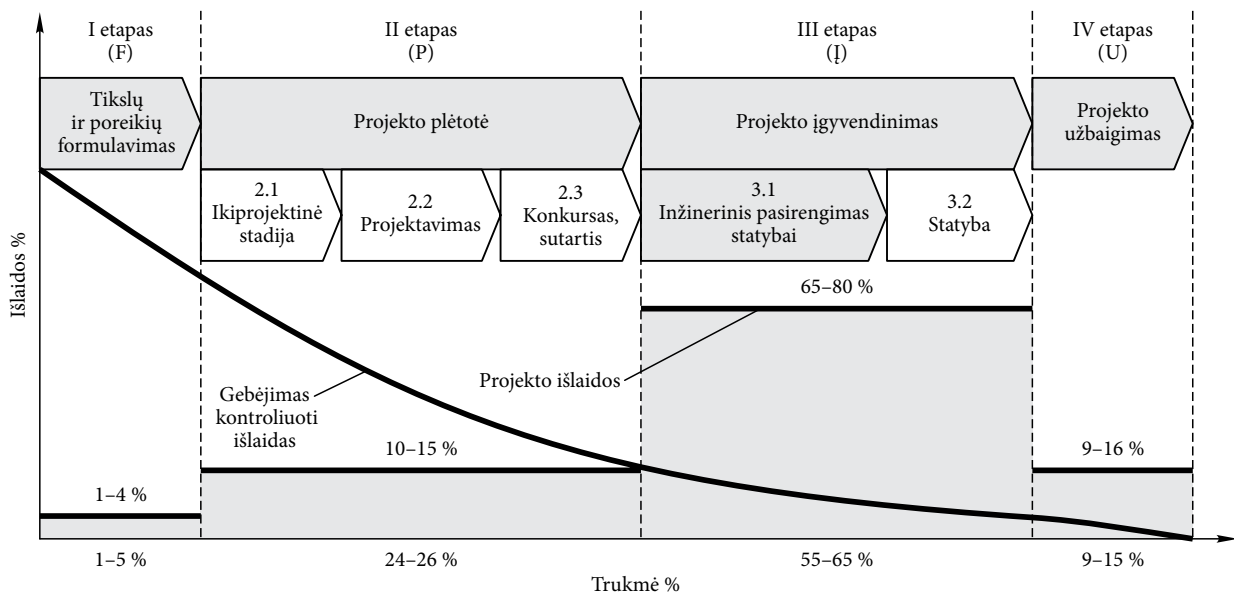
Straipsnio tikslas – pateikti statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų rengimo metodiką ir ją pritaikyti praktiniams uždaviniams spręsti inžinerinio pasirengimo statybai metu. Straipsnyje pateikiama žemės darbų vykdymo optimalių projektinių sprendimų rengimo metodika.

## 2. Inžinerinio pasirengimo statybai sistemos modelio sudarymas

Statybos vykdymo procesą siūloma tobulinti, pasiūlydama projektų valdymo metodologiją, kuri padeda pasiekti užsibrėžtą tikslą per ribotą laiką optimaliai naudojant ribotus išteklius. Projektų valdymo tikslas – planuoti, organizuoti ir kontroliuoti projekto išteklius, siekiant įgyvendinti projekto tikslus. Todėl inžinerinį pasirengimą statybai siūloma išskirti į atskirą statybos

projekto etapą, kuriame jis veiktų kaip statybos vykdymo planavimo, organizavimo ir kontrolės mechanizmas, leidžiantis statybos įmonei siekti pelningo rezultato. Inžinerinio pasirengimo statybai vieta statybos projekto valdymo etape pateikta 1 pav. Jį atlieka statybos rangovas arba subrangovas. Pradžioje dalyvaujant konkurse nustatoma tik pasiūlos kaina. Vėliau, nugalėjus konkurse, šiame etape rengiamas detalus pasirengimo statybai ir statybos darbų organizavimo projektas ir statybos darbų vykdymo dokumentai, kuriuos sudaro statybos darbų vykdymo technologiniai sprendimai, kalendoriniai ir tinkliniai grafikai, išteklių poreikio ir aprūpinimo grafikai, subrangovų darbų grafikai, sąmatos ir finansavimo grafikai. Inžinerinio pasirengimo statybai metu rengiami racionalūs sprendimai, kurie atsispindi minėtuose dokumentuose.

Analizuojant užsienio šalių mokslinę literatūrą randama, kad vokiškai kalbančiose šalyse pasirengimas statybai (*Arbeitsvorbereitung*) išskirtas į atskirą statybos projekto valdymo etapą (Hofstadler 2008). Šis etapas žymi planingą statybos, statybos procesų, statybos operacijų paruošimą, valdymą ir kontrolę. Jame sprendžiami uždaviniai, susiję su: statybos darbų apimčių skaičiavimu; sąmatos sudarymu; ciklogramų, kalendorinių ir tinklinių grafikų sudarymu; statybos išlaidų analize; medžiagų ir mašinų poreikio nustatymu ir įsigijimu ir kt. Angliškai kalbančiose šalyse uždaviniai, susiję su inžineriniu pasirengimu statybai, kai rangovai atlieka analizę, tiriančią medžiagų, įrangos



1 pav. Statybos projekto etapai. Išlaidų nustatymo tikslumo kitimas

Fig. 1. Stages of a construction project. Variation in the accuracy of determining cost

sistemų, statybos metodų ir grafikų poveikį statybos projekto laikui ir išlaidoms, sprendžiami iki statybos pradžios (*pre-construction phase*) arba statybos etape (*construction phase*) (Gidako 2004; Al-Reshaid *et al.* 2005). Kokiame iš šių etapų sprendžiami pasirengimo statybai klausimai, priklauso nuo statybos projekto įgyvendinimo modelio.

Inžinerinio pasirengimo statybai sistema yra intelektinis procesas, jungiantis visus organizacinius, techninius ir technologinius sprendimus. Šių sprendimų visuma sudaro sąlygas planingai vykdyti statybos darbus. Pagrindiniai projektiniai sprendimai, nuo kurių priklauso statybos darbų vykdymo išlaidos, apie 60 % yra technologiniai sprendimai (Viliūnienė, Viliūnas 2005). Todėl inžinerinio pasirengimo statybai metu atsižvelgiant į projektinių sprendimų technologiškumą, galima sutrumpinti statybos trukmę, sumažinti darbo sąnaudas, mašinų eksploatavimo išlaidas, tiesiogines išlaidas, padidinti išdirbį ir apskritai padidinti statybos darbų vykdymo efektyvumą.

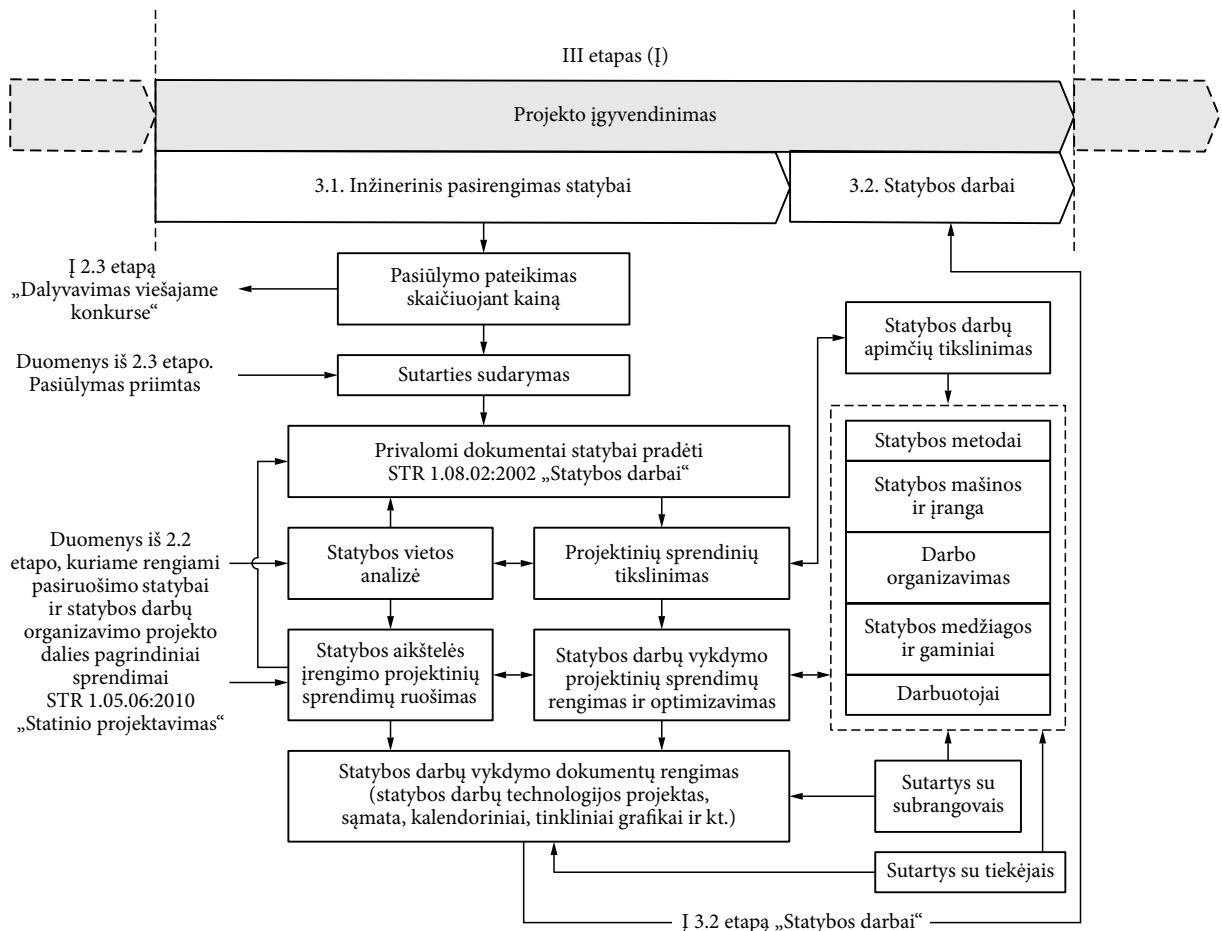
Inžinerinio pasirengimo statybai sistema sudaryta iš šių pagrindinių struktūrinių elementų:

- Statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų rengimas.
- Statybos aikštelės įrengimo projektinių sprendimų rengimas.
- Statybos darbų vykdymo dokumentų rengimas.

2 pav. pateikta inžinerinio pasirengimo statybai struktūrinė schema.

Statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų rengimas yra esminis struktūrinis elementas. Šiame etape sudaromas statybos darbų technologinis modelis; atliekamas kompleksinių statybos procesų struktūrizavimas; sudaromi alternatyvūs technologiniai ir organizaciniai projektiniai sprendimai; atliekamas statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų įvertinimas ir optimizavimas, taikant ekonominius matematinis metodus.

Statybos aikštelės įrengimo projektinių sprendimų ruošimo etape, įvertinant statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų ypatumus, sudaromas racionalus statybos aikštelės įrengimo planas.



2 pav. Inžinerinio pasirengimo statybai struktūrinė schema  
 Fig. 2. A structural scheme of engineering pre-construction

Statybos darbų vykdymo dokumentų rengimo etape ruošiami visi dokumentai, reikalingi statybai pradėti. Šiuos dokumentus sudaro: statybos darbų technologijos projektas; atskirų statybos darbų technologinės kortelės; statybos darbų vykdymo kalendoriniai, tinkliniai grafikai; išteklių aprūpinimo grafikai; subrangovų darbo grafikai; statybos sąmatos ir kita.

Vykdamas inžinerinį pasirengimą statybai gauti rezultatai negali prieštarauti galutiniams projekto rezultatams ir turi atitikti užsakovo bei kitų projekto dalyvių reikalavimus. Pagrindinės inžinerinio pasirengimo statybai valdymo funkcijos perduodamos statinio statybos vadovui, kuris nuolat stebi statybos projekto vykdymo eigą ir reguoja tiek į išorinius, tiek į vidinius veiksnius, darančius įtaką statybos darbų vykdymo projekto rezultatams.

Inžinerinio pasirengimo statybai procesas kompiuterizuotas. Techniniai, technologiniai ir organizaciniai projektiniai sprendimai rengiami naudojant atitinkamus matematinius algoritmus, kurie realizuojami naudojant *Microsoft Office* programų paketo elektroninę skaičiuoklę *MS Excel*. Gauti racionalūs sprendimai integruojami į statybos projektų valdymo, samatų sudarymo sistemas.

### 3. Inžinerinio pasirengimo statybai sistemos modelio taikymas žemės darbų vykdymo projektiniams sprendimams rengti

Remdamiesi inžinerinio pasirengimo statybai modeliu, kaip pavyzdį išnagrinėsime racionalų žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų rengimą.

Vykdamas įvairios paskirties statinių statybą, neišvengiama vienokių ar kitokių žemės darbų. Priklausomai nuo statinio paskirties, žemės darbų sąmatinė vertė gyvenamiesiems ir negyvenamiesiems statiniams sudaro iki 20 proc., inžineriniams statiniams – iki 60 proc. bendros statinio vertės. Tai vienas imliausių darbo sąnaudoms statybos procesų, kurio pobūdis ir vykdymo eiga priklauso nuo įvairių alternatyvių veiksnių.

Sisteminiu požiūriu žemės darbų vykdymo procesą sudaro kompleksas sudėtingų, stochastinių, determinuotų procesų.

Žemės darbų išlaidų ir trukmės optimizavimo klausimais naudojant įvairius matematinius metodus ir kompiuterines programas, pasaulyje paskelbta daug mokslinių straipsnių. Dažniausiai atliekami tyrimai, kuriuose optimizuojami atskiri žemės darbų vykdymo uždaviniai: eilių teorijos tikimybiniai modeliai (Завадскас 1985; Carmichael 1986, 1987), koreliacinės

ir regresinės analizės modeliai (Smith 1999), matematinio programavimo metodai (Mayer, Stark 1981; Easa 1987, 1988, 1992, 2003; Jayawardane, Harris 1990), imitacinio modeliavimo metodai (Farid, Aziz 1993; Smith *et al.* 1995, 1996, 2000; Martinez 1996, 1998; Hajjar, AbouRizk 1996), dirbtinio intelekto metodai (Bernold 1986; Marzouk, Moselhi 2000, 2002, 2003, 2004), ekspertiniai metodai (Alkass, Harris 1989; Amirkhanian, Baker 1992). Tačiau yra labai mažai tyrimų, kuriuose kompleksiskai modeliuojami ir optimizuojami žemės darbų vykdymo projektiniai sprendimai (Viliūniene, Juodis 2002; Viliūniene, Viliūnas 2007) ir visai neaptikta darbų, kuriuose kompleksinio modeliavimo ir optimizavimo būdu gauti racionalūs žemės darbų projektiniai sprendimai integruojami į inžinerinio pasirengimo statybai etape ruošiamus statybos darbų vykdymo dokumentus.

Inžinerinio pasirengimo statybai sistemoje žemės darbų vykdymo racionalūs projektiniai sprendimai ruošiami tokiais etapais:

- I etapas* – žemės darbų vykdymo proceso struktūrizavimas;
- II etapas* – žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų alternatyvų rengimas;
- III etapas* – žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų kompleksinio ekonominio matematinio modelio sudarymas;
- IV etapas* – žemės darbų projektinių sprendimų optimizavimas įvairiais matematiniais metodais;
- V etapas* – racionalaus žemės darbų vykdymo sprendimo integravimas į statybos darbų vykdymo dokumentus.

Žemės darbų vykdymo proceso struktūrizavimo etape žemės darbų procesas struktūrizuojamas taikant sistemų inžinerijos metodologiją. Sistemų inžinerijos metodologijos taikymas sudaro sąlygas struktūrizuoti žemės darbų vykdymo projektinius sprendimus, kuriuos galima pateikti kaip sistemas ar posistemius, sudaryti žemės darbų projektinių sprendimų alternatyvas ir jas pavaizduoti grafiškai.

Technologiniu požiūriu žemės darbus galima suklasifikuoti į keturias grupes: paruošiamuosius, pagrindinius, pagalbinius, baigiamuosius. Didžiausią išlaidų dalį sudaro pagrindiniai žemės darbai – iki 94,2 proc. visos žemės darbų kainos. Pagrindiniai žemės darbai – tai grunto kasimas, grunto transportavimas, grunto paskleidimas ir grunto sutankinimas. Šių dalinių procesų vykdymo išlaidos pasiskirsto ati-

tinkamai taip: grunto kasimas – iki 49,5 proc., grunto transportavimas iki 29,3 proc., grunto paskleidimas – iki 13,0 proc., grunto sutankinimas – iki 2,4 proc. Kiti darbai, įeinantys į paruošiamuosius, pagalbinius ir baigiamuosius žemės darbus, sudaro tik iki 5,8 proc. visos žemės darbų kainos (Viliuniene, Juodis 2002).

Žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų alternatyvų rengimo etape sudaromi alternatyvūs žemės darbų vykdymo technologiniai ir organizaciniai projektiniai sprendimai, kuriuos lemia statinio tipas ir jo techninės charakteristikos, naudojamų statybos mašinų techniniai ir ekonominiai rodikliai, žemės darbų organizavimo metodai ir pan. (1 lentelė).

Galimos žemės darbų vykdymo dalinių procesų alternatyvos ir nagrinėjami sprendimai dėl didelio informacijos kiekio pateikiami kodais. Šiuo atveju kiekvienai žemės darbų vykdymo projektinio sprendimo *i* alternatyvai *j* priskiriamas kodas  $k_{ij}$ , kuris teikia išsamią kiekybinę informaciją apie nagrinėjamą žemės darbų vykdymo alternatyvą. Teoriškai žemės darbų vykdymo procesai gali turėti daugybę vykdymo alternatyvų, alternatyvų aibės plėtotė yra sudėtinga ir vingiuota. Todėl alternatyviems žemės darbų vykdymo sprendimams rengti statybos įmonė turi naudotis įmonės normatyvine baze, kurioje turi būti sukaupia ir periodiškai pildoma žemės darbų vykdymo priemonių (statybos mašinų, darbų technologijos ir organizavimo metodų ir pan.) įvairovė. Kuo daugiau statybos įmonė sukaupusi normatyvinėje bazėje žemės darbų vykdymo priemonių, tuo daugiau galima sudaryti žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų variantų.

Nagrinėjant žemės darbų vykdymo procesą statybos aikštelėje, galimi įvairūs procesų deriniai tarp skirtingų dalinių procesų variantų (2 lentelė). Todėl labai svarbu gerai technologiškai organizuoti žemės darbų vykdymo procesus derinant juos vienus su kitais.

Sudarius žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų alternatyvas, prasideda alternatyvų vertinimo procesas. Alternatyvų vertinimas ir parinkimas yra gana sudėtingas procesas, kuris gali būti atliekamas pagal įvairius metodus. Paprastai statybos darbų vykdymo projektinių sprendimų efektyvumas nustatomas sąmatiniais skaičiavimais, taip pat taikant daugiakriterinio vertinimo metodus (Janušaitis, Juodis 2001; Zavadskas *et al.* 2005).

Žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų efektyvumui nustatyti siūloma taikyti kelių metodų sintezę.

**1 lentelė.** Žemės darbų vykdymo alternatyvų kodai ir jų teikiama kiekybinė informacija

**Table 1.** Alternative codes for executing earth works and quantitative information provided by them

Nagrinėjami sprendimai	Nagrinėjamų alternatyvų kodai						
	$k_{1.1}$	$k_{1.2}$	$k_{1.3}$	...	$k_{1j}$	...	$k_{1n1}$
$K_1$	$k_{1.1}$	$k_{1.2}$	$k_{1.3}$	...	$k_{1j}$	...	$k_{1n1}$
$K_2$	$k_{2.1}$	$k_{2.2}$	$k_{2.3}$	...	$k_{2j}$	...	$k_{2n2}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$K_i$	$k_{i.1}$	$k_{i.2}$	$k_{i.3}$	...	$k_{ij}$	...	$k_{ini}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$K_m$	$k_{m.1}$	$k_{m.2}$	$k_{m.3}$	...	$k_{mj}$	...	$k_{mmm}$

čia  $K_1, K_2, \dots, K_p, \dots, K_m$  – nagrinėjami sprendimai – grunto kasimo procesas.

**2 lentelė.** Žemės darbų vykdymo dalinių procesų variantai

**Table 2.** Options on the partial processes of earthwork execution

I derinys	$K_1(k_{11}) < T_1(t_{11}) < P_1(p_{11}) < ST_1(st_{11})$
II derinys	$K_1(k_{12}) < T_1(t_{12}) < P_1(p_{12}) < ST_1(st_{12})$
III derinys	$K_1(k_{13}) < T_1(t_{13}) < P_1(p_{13}) < ST_1(st_{13})$
...	...
<i>i</i> derinys	$K_i(k_{i1}) < T_i(t_{i2}) < P_i(p_{ij}) < ST_i(st_{im})$
...	...
<i>m</i> derinys	$K_m(k_{m1}) < T_m(t_{m2}) < P_m(p_{mj}) < ST_m(st_{mm})$

čia  $K_1, K_2, \dots, K_p, \dots, K_m$  – nagrinėjami sprendimai – grunto kasimo procesas;  $T_1, T_2, \dots, T_p, \dots, T_m$  – nagrinėjami sprendimai – grunto transportavimo procesas;  $P_1, P_2, \dots, P_p, \dots, P_m$  – nagrinėjami sprendimai – grunto lyginimo procesas;  $ST_1, ST_2, \dots, ST_p, \dots, ST_m$  – nagrinėjami sprendimai – grunto sutankinimo procesas.

Daliniai žemės darbų vykdymo proceso projektiniai sprendimai optimizuojami skirtingais matematiniais metodais. Jais remiantis sudaromi nagrinėjamų žemės darbų procesų matematiniai modeliai (3 pav.). Sudarytas matematinis modelis įvertina nagrinėjamo modelio ekonominius, technologinius ir organizacinius ypatumus.

3 pav. vartojami šie sutartiniai žymenys:

- $SA$  – statybos aikštelė;
- $GSA_1; GSA_2; \dots; GSA_n$  – grunto sandėliavimo aikštelė;
- $GT_1; GT_2; \dots; GT_n$  – grunto transportavimo atstumai tarp statybos aikštelių ir grunto sandėliavimo aikštelių;
- $c_{ij} - 1 \text{ m}^3$  grunto paskirstymo išlaidos iš *i*-tosios sandėliavimo vietos į *j*-ąją iškasos kvadratą, Lt/m<sup>3</sup>;
- $x_{ij}$  – *i*-tasis grunto kiekis, kurį reikia supilti į kiekvieną *j*-ąją iškasos kvadratą, m<sup>3</sup>;

$E_{nSA}(e_i)$  –  $n$ -tojo ekskavatoriaus, dirbančio statybos aikštelėje, geriausio varianto parinkimas;

$B_{nSA}(b_i)$  –  $n$ -tojo buldozerio, dirbančio statybos aikštelėje, geriausio varianto parinkimas;

$AS_{nGT}(a_{s_i})$  –  $n$ -tojo automobilinio savivarčio, dirbančio grunto transportavimo procese, geriausio varianto parinkimas;

$KZM_{nSA}(kzm_i)$  – kitos  $n$ -tosios žemės darbų mašinos, dirbančios statybos aikštelėje, geriausio varianto parinkimas;

$y_{(E_{nSA}; B_{nSA}; KZM_{nSA})i}$  – faktiškos žemės darbų išlaidos, naudojant atitinkamas statybines mašinas, Lt/m<sup>3</sup>;

$\bar{y}_{(E_{nSA}; B_{nSA}; KZM_{nSA})x}$  – skaičiuojamosios žemės darbų išlaidos, naudojant atitinkamas statybines mašinas, Lt/m<sup>3</sup>;

$K_{ij} - 1$  m<sup>3</sup> grunto transportavimo išlaidos iš  $i$ -tosios grunto pasiūlos vietos į  $j$ -ąją grunto sandėliavimo vietą statybos aikštelėje, Lt/m<sup>3</sup>;

$x_{ij}^*$  –  $i$ -tasis grunto kiekis, kurį reikia transportuoti į kiekvieną  $j$ -ąją grunto sandėliavimo vietą statybos aikštelėje, m<sup>3</sup>;

$Q_{AS}$  – automobilių savivarčių prastovų išlaidos, Lt/val.;

$Q_E$  – ekskavatoriaus prastovų išlaidos, Lt/val.;

$Q_{KZM}$  – kitų žemės mašinų prastovų išlaidos, Lt/val.;

$\varepsilon$  – skaitinė reikšmė, kuri įvertina paklaidas ir kitų atsitiktinių veiksnių įtaką.

Bendruoju atveju žemės darbų vykdymo projektyvinių sprendimų optimizavimo kompleksinis matematinis modelis, jungiantis koreliacinės regresinės, tiesinio programavimo ir eilių teorijos modelius, turi tokią išraišką:

$$\sum Z_i \rightarrow \min, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

$$Z_1 = \left( \sum (y(E_n; B_n; KZM_n)_i - \bar{y}(E_n; B_n; KZM_n)_x)^2 \right) + \varepsilon,$$

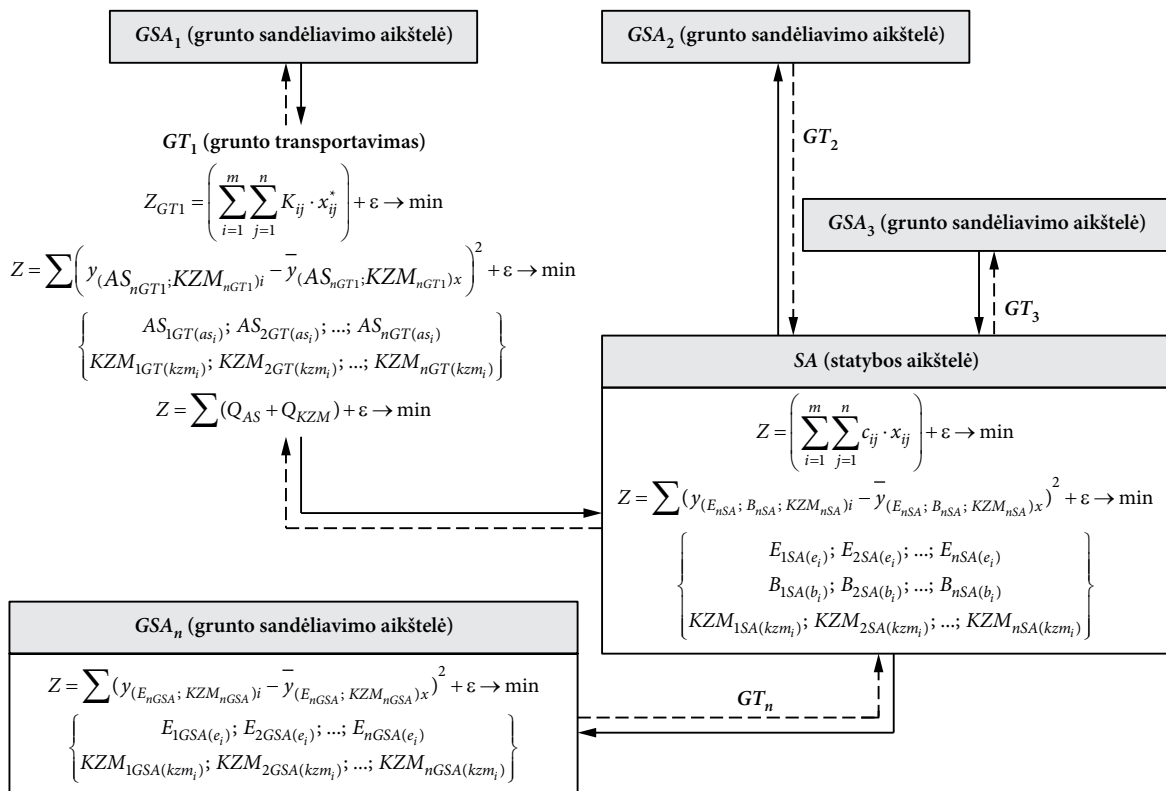
$$Z_2 = \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \right) + \varepsilon,$$

$$Z_3 = \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot x_{ij}^* \right) + \varepsilon,$$

$$Z_4 = \left( \sum (Q_{AS} + Q_E + Q_{KZM}) \right) + \varepsilon.$$

Tikslo funkcija  $Z$  (1) leidžia optimaliai spręsti šiuos uždavinius:

- parinkti statybinius mechanizmus visiems žemės darbų daliniams procesams ( $Z_1$ );



3 pav. Žemės darbų vykdymo dalinių procesų projektyvinių sprendimų optimizavimo kompleksinis ekonominis matematinis modelis

Fig. 3. An integrated mathematical model for optimizing designed decisions on earthwork execution

- surasti racionalų grunto masių paskirstymo variantą statybos aikštelėje ( $Z_2$ );
- sudaryti racionalų grunto aprūpinimo planą ( $Z_3$ );
- nustatyti reikalingą statybinių mechanizmų skaičių statybos objekte, kad bendros mechanizmų prastovų išlaidos būtų mažiausios ( $Z_4$ ).

Siekiant gauti efektyvų žemės darbų atlikimo būdą visame nagrinėjamame žemės darbų komplekse, būtina žemės darbų procesus atlikti tam tikru nuoseklumu laikantis tam tikrų griežtų taisyklių, kurios leistų išspręsti ekonominius, matematinius ar loginius nagrinėjamos problemos uždavinius. Žemės darbų vykdymo dalinių procesų projektiniams sprendimams optimizuoti sudarytas algoritmas. Šio algoritmo blokė schema pateikta 4 pav.

Algoritmizuojamas žemės darbų vykdymo procesas suskaidomas į elementarius žemės darbų procesus, kurie matematiškai aprašomi pagal tiesinio programavimo, koreliacinės regresinės analizės ir eilių teorijos schemas. Priklausomybės, reiškiančios elementarius žemės darbų procesus, jungiamos į bendrą sistemą. Taip aprašytas algoritmas leidžia efektyviai spręsti sudėtingus žemės darbų vykdymo procesų uždavinius.

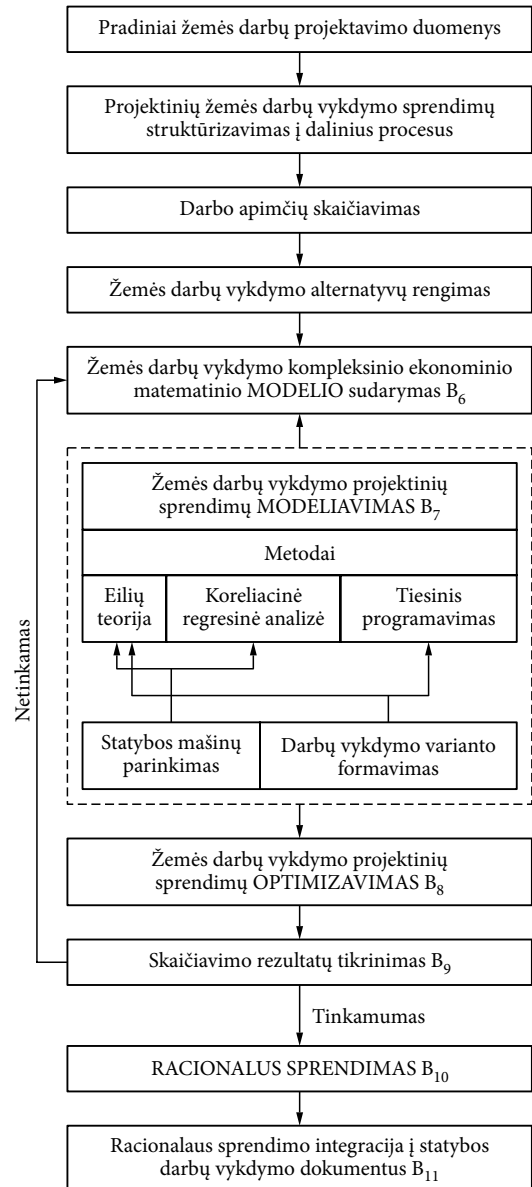
Remdamiesi tokia žemės darbų vykdymo racionalaus projektinio sprendimo rengimo eiga inžinerinio pasirengimo statybai sistemoje, kaip pavyzdį pateiksime visuomeninės paskirties statinio žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų optimizavimą.

Statybos teritorija užima 40 arų. Žemės darbų apimtys sudarė 5164 m<sup>3</sup>. Esama teritorija išsidėsčiusi tarp dviejų gatvių ir gruntą atvežti į ją galima keturiose vietose. Įvažiuoti į pačią statybos teritoriją dėl įmirkusio grunto negalima. Dėl to atvežtą gruntą būtina supilti šalia statybos teritorijos. Reikia parinkti tokią grunto paėmimo ir atvežimo iš grunto sandėliavimo aikštelių į statybvietę schemą, kad gruntas būtų nuperkamas kuo pigiau ir į statybvietę atvežamas patiriant minimalias transporto išlaidas tiksliai į tą statybos teritorijos vietą, iš kurios paėmęs gruntą lyginimo mechanizmas sugaištų mažiausiai laiko gruntui išlyginti statybos teritorijoje ir tai atliktų mažiausiomis išlaidomis.

Žemės darbų vykdymą nagrinėjamoje statybos aikštelėje sudaro šie daliniai procesai:

- grunto paskleidimas;
- grunto transportavimas (racionalus grunto aprūpinimo planas, ekskavatoriaus ir automobilinių savivarčių darbo optimizavimas).

Straipsnyje siūlomi statybos mašinų parinkimo koreliaciniai regresiniai modeliai, racionalus grunto



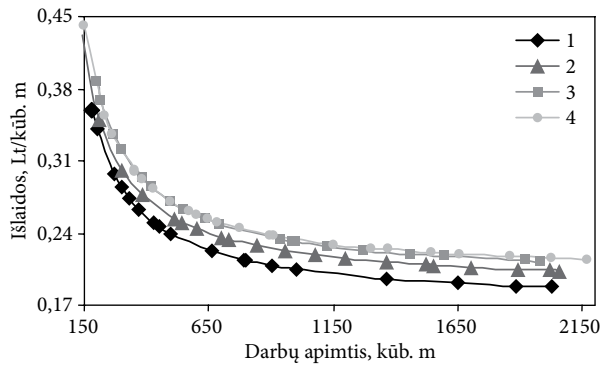
4 pav. Žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų optimizavimo blokė schema

Fig. 4. The block scheme for the optimization of designed decisions on earthwork execution

paskleidimo planas, racionalus grunto aprūpinimo planas ir ekskavatoriaus ir automobilinio savivarčių darbo optimizavimas.

Žemės darbų vykdymo projektinių sprendimų optimizavimas nagrinėjamoje statybos aikštelėje atliekamas pagal 4 pav. pateiktą algoritmą.

Pradžioje grunto paskleidimo procesui atlikti sudaromi buldozerių parinkimo koreliaciniai regresiniai modeliai. Išspręsdus tikslo funkciją ( $Z_1$ ), parenkamas „Komatsu“ gamintojo 55 kW buldozeris, kurį tikslinga naudoti grunto paskleidimo procese (5 pav.).



5 pav. Grunto pakleidimo mechanizmo (buldozerio) efektyvus parinkimas priklausomai nuo darbų apimties: 1 – naudojant „Komatsu“ gamintojo 55 kW buldozerį; 2 – naudojant „Case“ gamintojo 55 kW buldozerį; 3 – naudojant „JCB“ gamintojo 79 kW buldozerį; 4 – naudojant „Hydrema“ gamintojo 55 kW buldozerį

Fig. 5. The efficient selection of the soil application mechanism (bulldozer) depending on the volume of work: 1 – using a 55 kW „Komatsu“ bulldozer; 2 – using a „Case“ 55 kW bulldozer; 3 – using a „JCB“ 79 kW bulldozer; 4 – using a „Hydrema“ 55 kW bulldozer

Remiantis grunto masių paskirstymo tikslo funkcija ( $Z_2$ ) ir įvertinus visas apribojimų sąlygas, siekiama gauti grunto paskirstymo statybos teritorijoje racionalų sprendimą. Sprendžiant šį racionalų grunto paskirstymo uždavinį, buvo sudaryta racionalaus grunto perstūmimo statybvietyje ieškomų nežinomųjų matrica su 376 nežinomaisiais. Grunto lyginimo statybvietyje teritorija suskirstoma į atskirus 94 kvadratus. Pritaikius tiesinio programavimo sprendimo metodą ir išsprendus tikslo funkciją ( $Z_2$ ) nustatomi racionalūs grunto kiekiai kiekvienoje statybos aikštelės sandėliavimo vietoje ir racionalus grunto paskleidimo variantas, kurio remiantis sužinoma, iš kokios grunto sandėliavimo vietos  $S_1, S_2, S_3$  ir  $S_4$  statybos aikštelėje gruntas turi būti perstumiamas į  $m$ -tąją ( $m = 1, 2, 3, \dots, 94$ ) statybos aikštelės kvadratą, kad grunto perstūmimo išlaidos būtų mažiausios (3 lentelė). Šiuo atveju grunto paskleidimo išlaidos yra minimalios ir sudaro 2928,1 Lt.

3 lentelė. Racionalus grunto paskleidimo statybos aikštelėje planas (GPV – grunto perstūmimo vieta statybos aikštelėje, S – grunto sandėliavimo vieta statybos aikštelėje)

Table 3. A rational plan for soil application on site

$GPV_1; S_4 = 56,4 \text{ m}^3$	$GPV_2; S_4 = 64,2 \text{ m}^3$	$GPV_3; S_4 = 63,1 \text{ m}^3$	$GPV_4; S_4 = 70,1 \text{ m}^3$	$GPV_5; S_4 = 58,4 \text{ m}^3$
$GPV_{11}; S_4 = 67,8 \text{ m}^3$	$GPV_{12}; S_4 = 70,3 \text{ m}^3$	$GPV_{13}; S_4 = 68,4 \text{ m}^3$	$GPV_{14}; S_4 = 67,3 \text{ m}^3$	$GPV_{15}; S_4 = 60,4 \text{ m}^3$
$GPV_{21}; S_4 = 69,4 \text{ m}^3$	$GPV_{22}; S_4 = 65,7 \text{ m}^3$	$GPV_{23}; S_4 = 69,1 \text{ m}^3$	$GPV_{24}; S_4 = 65,2 \text{ m}^3$	$GPV_{25}; S_4 = 80,2 \text{ m}^3$
$GPV_{31}; S_4 = 42,3 \text{ m}^3$	$GPV_{32}; S_4 = 44,2 \text{ m}^3$	$GPV_{33}; S_4 = 41,5 \text{ m}^3$	$GPV_{34}; S_4 = 42,3 \text{ m}^3$	$GPV_{35}; S_4 = 60,9 \text{ m}^3$
Bendras grunto kiekis grunto sandėliavimo vietoje $S_4 = 1227 \text{ m}^3$				
$GPV_6; S_3 = 57,7 \text{ m}^3$	$GPV_7; S_3 = 48,1 \text{ m}^3$	$GPV_8; S_3 = 54,2 \text{ m}^3$	$GPV_9; S_3 = 55,3 \text{ m}^3$	$GPV_{10}; S_3 = 61,3 \text{ m}^3$
$GPV_{16}; S_3 = 58,2 \text{ m}^3$	$GPV_{17}; S_3 = 103,4 \text{ m}^3$	$GPV_{18}; S_3 = 104,5 \text{ m}^3$	$GPV_{19}; S_3 = 82,1 \text{ m}^3$	$GPV_{20}; S_3 = 80,3 \text{ m}^3$
$GPV_{26}; S_3 = 104,6 \text{ m}^3$	$GPV_{27}; S_3 = 123,8 \text{ m}^3$	$GPV_{28}; S_3 = 124,3 \text{ m}^3$	$GPV_{29}; S_3 = 108,1 \text{ m}^3$	$GPV_{30}; S_3 = 40,5 \text{ m}^3$
$GPV_{36}; S_3 = 71,3 \text{ m}^3$	$GPV_{37}; S_3 = 88,5 \text{ m}^3$	$GPV_{38}; S_3 = 81,4 \text{ m}^3$	$GPV_{39}; S_3 = 60,2 \text{ m}^3$	$GPV_{40}; S_3 = 51,6 \text{ m}^3$
$GPV_{46}; S_3 = 62,5 \text{ m}^3$	$GPV_{47}; S_3 = 82,1 \text{ m}^3$	$GPV_{48}; S_3 = 79,8 \text{ m}^3$	$GPV_{49}; S_3 = 82,4 \text{ m}^3$	$GPV_{50}; S_3 = 83,8 \text{ m}^3$
Bendras grunto kiekis, grunto sandėliavimo vietoje $S_3 = 1950 \text{ m}^3$				
$GPV_{41}; S_1 = 38,0 \text{ m}^3$	$GPV_{42}; S_1 = 39,5 \text{ m}^3$	$GPV_{43}; S_1 = 49,0 \text{ m}^3$	$GPV_{44}; S_1 = 49,2 \text{ m}^3$	$GPV_{45}; S_1 = 51 \text{ m}^3$
$GPV_{51}; S_1 = 39,4 \text{ m}^3$	$GPV_{52}; S_1 = 41,8 \text{ m}^3$	$GPV_{53}; S_1 = 49,3 \text{ m}^3$	$GPV_{54}; S_1 = 51,3 \text{ m}^3$	$GPV_{55}; S_1 = 52,8 \text{ m}^3$
$GPV_{61}; S_1 = 41,3 \text{ m}^3$	$GPV_{62}; S_1 = 42,8 \text{ m}^3$	$GPV_{63}; S_1 = 42,7 \text{ m}^3$	$GPV_{64}; S_1 = 43,3 \text{ m}^3$	$GPV_{65}; S_1 = 58,2 \text{ m}^3$
$GPV_{71}; S_1 = 38,2 \text{ m}^3$	$GPV_{72}; S_1 = 38,6 \text{ m}^3$	$GPV_{73}; S_1 = 39,4 \text{ m}^3$	$GPV_{74}; S_1 = 41,3 \text{ m}^3$	$GPV_{75}; S_1 = 42,3 \text{ m}^3$
$GPV_{81}; S_1 = 11,3 \text{ m}^3$	$GPV_{82}; S_1 = 11,6 \text{ m}^3$	$GPV_{83}; S_1 = 11,8 \text{ m}^3$	$GPV_{84}; S_1 = 11,7 \text{ m}^3$	$GPV_{85}; S_1 = 12,1 \text{ m}^3$
$GPV_{91}; S_1 = 0,7 \text{ m}^3$	$GPV_{92}; S_1 = 0,8 \text{ m}^3$	-	-	-
Bendras grunto kiekis, grunto sandėliavimo vietoje $S_1 = 950 \text{ m}^3$				
$GPV_{56}; S_2 = 69,4 \text{ m}^3$	$GPV_{57}; S_2 = 92,1 \text{ m}^3$	$GPV_{58}; S_2 = 98,3 \text{ m}^3$	$GPV_{59}; S_2 = 80,2 \text{ m}^3$	$GPV_{60}; S_2 = 76,2 \text{ m}^3$
$GPV_{66}; S_2 = 80,2 \text{ m}^3$	$GPV_{67}; S_2 = 83,2 \text{ m}^3$	$GPV_{68}; S_2 = 79,4 \text{ m}^3$	$GPV_{69}; S_2 = 75,3 \text{ m}^3$	$GPV_{70}; S_2 = 42,1 \text{ m}^3$
$GPV_{76}; S_2 = 51,8 \text{ m}^3$	$GPV_{77}; S_2 = 51,9 \text{ m}^3$	$GPV_{78}; S_2 = 49,3 \text{ m}^3$	$GPV_{79}; S_2 = 31,4 \text{ m}^3$	$GPV_{80}; S_2 = 18,2 \text{ m}^3$
$GPV_{86}; S_2 = 12,4 \text{ m}^3$	$GPV_{87}; S_2 = 13,8 \text{ m}^3$	$GPV_{88}; S_2 = 12,2 \text{ m}^3$	$GPV_{89}; S_2 = 14,1 \text{ m}^3$	$GPV_{90}; S_2 = 2,4 \text{ m}^3$
$GPV_{93}; S_2 = 0,9 \text{ m}^3$	$GPV_{94}; S_2 = 2,5 \text{ m}^3$	-	-	-
Bendras grunto kiekis, grunto sandėliavimo vietoje $S_2 = 1037 \text{ m}^3$				
$\sum S_i = 5164 \text{ m}^3$ , čia $i = 1, 2, 3, 4$				



Sudarius racionalų grunto paskleidimo statybos aikštelėje planą ir žinant, koks grunto kiekis reikalingas kiekvienoje statybos aikštelės sandėliavimo vietoje, būtina sudaryti grunto aprūpinimo planą (kai gruntas atvežamas į statybos aikštelę).

Yra žinoma iš 3 lentelės, kad bendras grunto poreikis statybos aikštelėje yra lygus 5164 m<sup>3</sup>. Vadinasi, bendras grunto transportavimo kiekis turi būti lygus reikiamo grunto kiekio sumai statybos aikštelėje. Tam tikslui atliekamas grunto transportavimo iš įvairių vietovių tyrimas. Pasirinktos penkios pasiūlos vietos, iš kurių būtų galima transportuoti gruntą. Dviejuose pasiūlos vietose gruntas gaunamas nemokamai.

Naudojantis gautomis grunto paskirstymo statybvietėje reikšmėmis, sudaromas grunto aprūpinimo plano matematinis modelis. Remiantis grunto aprūpinimo tikslo funkcija (Z<sub>3</sub>) ir įvertinus visas apribojimų sąlygas siekiama gauti tokį grunto aprūpinimo planą, pagal kurį bendra transportavimo kaina būtų mažiausia.

Išsprendus tikslo funkciją (Z<sub>3</sub>) nustatomas racionalus grunto aprūpinimo planas (4 lentelė).

Šiuo atveju grunto aprūpinimo išlaidos (į šias išlaidas įeina grunto transportavimo, grunto pirkimo ir grunto pakrovimo į automobilinius savivarčius išlaidos) yra minimalios ir sudaro 57 934,68 Lt, o taikant

tradicinius metodus, šių darbų atlikimo išlaidos yra 14,9 proc. didesnės.

Kai žinomas racionalus grunto aprūpinimo planas, išsprendus tikslo funkcijas (Z<sub>1</sub>) pagal koreliacinę priklausomybę parenkami mechanizmai, kuriuos tikslinga naudoti grunto aprūpinimo sistemoje.

Žinant racionalų grunto aprūpinimo planą, šiame uždavinio etape nustatomas reikalingas automobilinių savivarčių skaičius statybos objekte. Tuo tikslu optimizuojamas ekskavatoriaus ir automobilinių savivarčių darbas, taikant eilių teoriją. Šis uždavinys formuluojamas taip: parinkti reikiamą gruntą transportuojančių mašinų (automobilinių savivarčių) skaičių gruntui atvežti į statybos aikštelę, kai gruntas kasamas skirtingais mechanizmais (ekskavatoriais, krautuvais, draglainais), kad bendros mechanizmų prastovų išlaidos būtų mažiausios. Išsprendus (Z<sub>4</sub>) tikslo funkciją nustatomas reikiamas automobilinių savivarčių skaičius. Šie skaičiai pateikti 5 lentelėje.

Gavus racionalų grunto paskleidimo, grunto aprūpinimo plano projektinį sprendimą, nustačius reikiamą skaičių automobilinių savivarčių, gauti duomenys integruojami į statybos darbų vykdymo dokumentus (statybos darbų technologijos projektą, sąmatinius skaičiavimus, kalendorinius grafikus ir pan.).

4 lentelė. Racionalus grunto aprūpinimo planas

Table 4. A rational plan for soil supply

Grunto sandėliavimo vieta (statybvietėje)	Grunto transportavimo apimtys, m <sup>3</sup>				Esamas grunto kiekis g <sub>i</sub> pasiūlos vietose, m <sup>3</sup>	Grunto tiekėjas ir kiekis, m <sup>3</sup>
	Grunto transportavimo atstumas, km					
Grunto pasiūlos vietos	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>		
GSA <sub>1</sub>	0	0	173	477	650	650
	7,0	7,2	7,6	7,8		
GSA <sub>2</sub>	0	0	1400	0	1400	1400
	4,0	4,2	4,6	4,8		
GSA <sub>3</sub>	950	1037	377	0	5000	2364
	7,8	8,0	8,4	8,6		
GSA <sub>4</sub>	0	0	0	0	20 000	0
	16,0	16,2	16,6	16,8		
GSA <sub>5</sub>	0	0	0	750	750	750
	9,5	9,7	10,1	10,3		
Grunto poreikis, m <sup>3</sup>	950	1037	1950	1227		5164

5 lentelė. Ekskavatoriaus ir automobilių savivarčių prastovų skaičiavimas

Table 5. Calculation of the idle time of an excavator and trucks

Vežimo atstumas, km	$\lambda/\gamma$	Automobilių savivarčių skaičius, vnt.	Ekskavatoriaus prastova, %	Automobilių savivarčių prastova, %	Ekskavatoriaus prastovos kaina, Lt/val.	Automobilių savivarčių prastovos kaina, Lt/val.	Bendra prastovų kaina, Lt/val.
7,6	0,12	9	17,34	17,30	8,58	9,11	17,70
		<b>10</b>	<b>12,19</b>	<b>20,93</b>	<b>6,03</b>	<b>11,03</b>	<b>17,06</b>
		11	8,15	24,81	4,03	13,07	17,11
7,8	0,13	9	15,30	18,98	7,57	10,00	17,57
		<b>10</b>	<b>10,43</b>	<b>22,88</b>	<b>5,16</b>	<b>12,06</b>	<b>17,22</b>
		11	6,73	27,00	3,33	14,23	17,56
4,6	0,19	6	21,55	17,41	10,36	9,18	19,54
		<b>7</b>	<b>14,06</b>	<b>22,46</b>	<b>6,76</b>	<b>11,84</b>	<b>18,60</b>
		8	8,55	27,80	4,11	14,65	18,76
7,8	0,11	11	17,17	19,98	5,78	7,69	13,48
		<b>12</b>	<b>8,38</b>	<b>23,49</b>	<b>3,98</b>	<b>9,04</b>	<b>13,03</b>
		13	5,50	27,15	2,61	10,45	13,06
8,0	0,11	11	11,93	20,23	5,67	7,79	13,46
		<b>12</b>	<b>8,18</b>	<b>23,77</b>	<b>3,89</b>	<b>9,15</b>	<b>13,04</b>
		13	5,34	27,45	2,54	10,57	13,11
8,4	0,10	12	11,07	20,24	5,26	7,79	13,05
		<b>13</b>	<b>7,68</b>	<b>23,57</b>	<b>3,65</b>	<b>9,07</b>	<b>12,72</b>
		14	5,08	27,03	2,41	10,41	12,82
10,3	0,08	15	8,99	20,26	4,45	7,80	12,25
		<b>16</b>	<b>6,39</b>	<b>23,10</b>	<b>3,16</b>	<b>8,89</b>	<b>12,05</b>
		17	4,36	26,06	2,16	10,03	12,19

#### 4. Išvados

1. Straipsnyje pasiūlyta inžinerinio pasirengimo statybai sistema sudaro galimybes efektyviau vykdyti statybos įmonių veiklą bei padidinti įmonės konkurencingumą.
2. Inžinerinio pasirengimo statybai metu rangovas rengia alternatyvius statybos darbų vykdymo techninius, technologinius ir organizacinius projektinius sprendimus, juos optimizuoja ekonominiais matematiniais metodais, o gautus racionalius sprendimus integruoja į statybos darbų vykdymo dokumentus. Tai leidžia rangovui sumažinti statybos darbų vykdymo išlaidas 15–25 % ir statybos trukmę sutrumpinti 16–28 %.
3. Straipsnyje pateikta žemės darbų vykdymo racionalių projektinių sprendimų rengimo metodika inžinerinio pasirengimo statybai metu. Racionaliam žemės darbų vykdymo variantui atrinkti sudarytas

optimizavimo kompleksinis ekonominis matematinis modelis susintetintas iš koreliacinės regresinės analizės, tiesinio programavimo ir eilių teorijos metodų. Atlikti skaičiavimai ir nustatytas racionaliausias ekonominis, techninis, technologinis ir organizacinis žemės darbų vykdymo nagrinėjamoje aikštelėje variantas, leidžiantis sumažinti žemės darbų vykdymo išlaidas 14,9–20,0 %, o statybos trukmę – 16,4–28,0 %.

#### Literatūra

- Alkass, S.; Harris, F. 1989. Expert system for earthmoving equipment selection in road construction, *Journal of Construction Engineering and Management* 114(3): 426–440. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1988)114:3(426)
- Al-Reshaid, K.; Kartam, N.; Tewari, N.; Al-Bader, H. 2005. A project control process in pre-construction phases, *Engineering, Construction and Architectural Management* 12(4): 351–372. doi:10.1108/09699980510608811

- Amirkhanian, S. N.; Baker, N. J. 1992. Earth-moving operations, *Journal of Construction Engineering and Management* 118(2): 318–331. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:2(318)
- Bernold, L. E. 1986. Low level artificial intelligence and computer simulation to plan and control earthmoving operations, in *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Earthmoving and Heavy Equipment*, Tempe, Arizona, February, 156–165.
- Carmichael, D. G. 1986. Erlang loading models in earthmoving, *Civil Engineering Systems* 3: 118–124. doi:10.1080/02630258608970435
- Carmichael, D. G. 1987. *Engineering Queues in Construction and Mining*. Ellis Horwood. Chichester. 378 p.
- Easa, S. M. 1987. Earthwork allocations with nonconstant unit costs, *Journal of Construction Engineering and Management* 113(1): 34–50. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1987)113:1(34)
- Easa, S. M. 1988. Earthwork allocations with linear unit costs, *Journal of Construction Engineering and Management* 114(4): 641–655. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1988)114:4(641)
- Easa, S. M. 1992. Estimating earthwork volumes of curved roadways: mathematical model, *Journal of Transportation Engineering* 118(6): 834–849. doi:10.1061/(ASCE)0733-9102 47X(1992)118:6(834)
- Easa, S. M. 2003. Estimating earthwork volumes of curved roadways: simulation model, *Journal of Surveying Engineering* 129 (1): 19–27. doi:10.1061/(ASCE)0733-9453(2003)129:1(19)
- Farid, F.; Aziz, T. 1993. Simulating paving fleets with non-stationary travel, in *Proceedings of the 5th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, ASCE.
- Gidako, K. 2004. Enhancing the prime contractors pre construction planning, *Journal of Research* 5: 87–106.
- Gossow, V. 1998. *Baubetriebspraxis: Leitfaden für die Bauausführung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 100 p.
- Hajjar, D.; AbouRizk, S. M. 1996. Building a special purpose simulation tool for earthmoving operations, in *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference "Society for Computer Simulation"*, San Diego, CA, 1313–1320.
- Harris, F.; McCaffer, R.; Edum-Fotwe, F. 2006. *Modern Construction Management*. Wiley-Blackwell. 666 p.
- Hofstadler, C. 2008. *Scholarbeiten: technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation*. Springer. 517 p.
- Jayawardane, A. K. W.; Harris, F. C. 1990. Further development of Integer Programming applied to earthmoving operations, *Journal of Construction Engineering and Management* 1: 116.
- Janusz, L.; Kapliński, O. 2006. Three phases of multifactor modeling of construction processes, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(2): 127–134. doi:10.1080/13923730.2006.9636384
- Janušaitis, R.; Juodis, A. 2001. Optimization of project solutions of dwelling houses lofts equipment arrangement, *Inžinerine Ekonomika – Engineering Economics* 2(22): 9–14.
- Juodis, A.; Apanavičienė, R. 2003. Construction projects management effectiveness modelling with neural networks, *Journal of Civil Engineering and Management* 9(1): 59–67.
- Juodis, A. 2005. *Statybos procesų matematinis modeliavimas ir optimizavimas*. Kaunas: Technologija. 182 p.
- Mayer, R.; Stark, R. 1981. Earthmoving logistics, *Journal of the Construction Division* 107(2): 297–312.
- Malinauskas, P.; Kalibatas, D. 2005. Racionaliu statybos technologiniu procesu parinkimas taikant copras metoda, *Technological and Economic Development of Economy* 11(3): 192–205.
- Martinez, J. C. 1996. *STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of Construction Processes*: Doctoral Dissertation, U. of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- Martinez, J. C. 1998. EarthMover – simulation tool for earthwork planning, in *Proceedings of CIB/W78-98*. Ed. by Bjork, B. C.; Jagbeck, A. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Marzouk, M.; Moselhi, O. 2000. Optimizing earthmoving operations using object-oriented simulation, in *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, Fla., 1926–1932.
- Marzouk, M.; Moselhi, O. 2002. Selecting earthmoving equipment fleets using genetic algorithms, in *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, San Diego, CA., 1789–1796.
- Marzouk, M.; Moselhi, O. 2003. Object-oriented simulation model for earthmoving operations, *Journal of Construction Engineering and Management* 129(2): 173–181. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:2(173)
- Marzouk, M.; Moselhi, O. 2004. Multiobjective optimization of earthmoving operations, *Journal of Construction Engineering and Management* 130(1): 105–113. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(105)
- Medeliene, V.; Ziogas, V. A. 2010. Making solutions for choosing industrial concrete floors and expedience of reliability evaluation, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(3): 320–331. doi:10.3846/jcem.2010.37
- Peldschus, F.; Zavadskas, E. K. 1997. *Matriciniai lošimai statybos technologijoje ir vadyboje*. Vilnius: Technika. 136 p.
- Peldschus, F.; Zavadskas, E. K.; Tamošaitienė, J.; Turskis, Z.; Medineckienė, M. 2010. Selection of construction organisation model taking into account total consumption of energy in construction process, in *The 10<sup>th</sup> International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"*. May 19–21. Vilnius, Lithuania, 493–497.
- Smith, S. D. 1999. Earthmoving productivity estimation using linear regression techniques, *Journal of Construction Engineering and Management* 125(3): 133–141. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:3(133)
- Smith, S. D.; Osborne, J. R.; Forde, M. C. 1995. Analysis of earthmoving systems using discrete-event simulation, *Journal of Construction Engineering and Management* 121(4): 388–396. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1995)121:4(388)
- Smith, S. D.; Osborne, J. R.; Forde, M. C. 1996. The use of a discrete-event simulation model with Erlang probability distributions in the estimation of earthmoving production, *Civil Engineering Systems* 13(1): 25–44.

doi:10.1080/02630259608970184

Smith, S. D.; Wood, G. S.; Gould, M. 2000. A new earthworks estimating methodology, *Construction Management Economic* 18(2): 219–228. doi:10.1080/014461900370843

Šiškina, A.; Juodis, A.; Apanavičienė, R. 2009. Evaluation of the competitiveness of construction company overhead costs, *Journal of Civil Engineering and Management* 15(2): 215–224. doi:10.3846/1392-3730.2009.15.215-224

Viliūnienė, O.; Juodis, A. 2002. Žemės darbų vykdymo projektyvinių sprendimų ekonominis matematinis modeliavimas, *Inžinerine Ekonomika – Engineering Economics* 4(30): 33–39.

Viliūnienė, O.; Viliūnas, G. 2005. Economical mathematical modeling and optimization of the designed decisions in earthworks execution, in *Proceedings of the 3rd International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-03), Collaboration and Harmonization in Creative Systems*, Vol. 2, September 20–23, 2005, Shunan, Japan. London: Taylor & Francis Group, 635–639. ISBN 0415390370.

Viliūnienė, O.; Viliūnas, G. 2007. Development of construction process optimal designed decision, in *Proceedings CIB World Building Congress Construction for Development*, May 14–17, 2007, Cape Town, South Africa. Rotterdam: In-House

Publishing, 572–579. ISBN 1920017046.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2): 85–93. doi:10.3846/1392-3730.2008.14.3

Zavadskas, E. K.; Podvezko, V.; Andruškevičius, A. 2009. Quantitative evaluation of the organisation of manufacturing and technological processes, *International Journal of Technology Management* 48(4): 544–556. doi:10.1504/IJTM.2009.026693

Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z.; Ambrasas, G.; Kutut, V. 2005. Daugiabučių gyvenamųjų namų išorės sienų sprendinių efektyvumo vertinimas daugiakriterinės analizės metodais, *Technological and Economic Development of Economy* 11(1): 59–68. doi:10.1080/13928619.2005.9637683

Žiogas, V. A.; Juočiūnas, S. 2005. Design and installation peculiarities of monolithic concrete floor, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(2): 153–162. doi:10.1080/13923730.2005.9636345

Завадскас, Э. К. 1985. Выбор рациональных вариантов комплексной механизации с учетом вероятностного характера технологических процессов строительного производства. Вильнюс: ВИСИ. 36 с.

## PLANNING CONSTRUCTION EXECUTION IN THE ENGINEERING PRE-CONSTRUCTION SYSTEM

### O. Viliūnienė, L. Inokaitytė

**Abstract.** The article analyzes an efficient method for planning the execution of construction work. Construction companies are looking for ways to reduce the essential factors in executing the construction work project, i.e. cost and time influencing the forthcoming company's operating results are offered to perform engineering pre-construction activities.

Engineering pre-construction is a set of technical, legal, economic, technological and organisational measures that shall ensure a consistent start of construction and a rhythmical organisation of major construction works employing optimum technology.

Engineering pre-construction provides great potential for working out rational design solutions with respect to the execution of construction works applying a range of methods for assessing the aforesaid solutions. In this case, mathematical methods play the main role. Mathematical methods enable more effective tackling of the execution issues of construction works as well as developing rational design solutions with respect to the execution of construction works (Janušaitis, Juodis 2001; Juodis, Apanavičienė 2003; Viliūnienė, Juodis 2002; Malinauskas, Kalibatas 2005; Viliūnienė, Viliūnas 2005; Viliūnienė, Viliūnas 2007; Žiogas, Juočiūnas 2005; Janusz, Kapliński 2006; Zavadskas *et al.* 2009; Šiškina *et al.* 2009; Medeliene, Ziogas 2010). Practical implementation of such solutions in the course of executing construction works would allow cutting down construction costs and construction time by 15–25% and 16–25% respectively (Viliūnienė, Viliūnas 2005).

Besides, the rapid development of computer technology enables both faster preparation of rational design solutions to construction works through the application of mathematical methods and integration thereof into special software packages designed for construction management. Therefore, contractors should realise the significance of engineering pre-construction that is especially important to the execution of expensive large-scale projects.

The process of construction execution should be improved applying the project management technique that helps to achieve the set goal within a limited time and with the optimum usage of limited resources. The objective of project management is to plan, organise and control project resources in order to implement the goals of the project. Hence, engineering pre-construction should be considered as an individual construction project stage acting as an engine for planning construction execution, organisation and control, thereby enabling a construction company to focus on profitable results.

The article presents the methodology for preparing design solutions to the execution of construction work, which is adapted to handle the practical issues of engineering a pre-construction stage. The execution of complex earth works has been chosen as the subject matter of research.

**Keywords:** engineering pre-construction stage, planning construction work, mathematical methods, designed decisions on construction works, earth works.

**Odeta VILIŪNIENĖ.** A lecturer at the Department of Civil Engineering Technologies, the Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology. Research interests: construction process technology; optimization, mathematical modelling; construction planning and scheduling, estimating.

**Loreta INOKAITYTĖ.** A lecturer at the Department of Civil Engineering Technologies, the Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology. Research interests: construction conjuncture and development in Lithuania; construction management; construction planning.