



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Paulius Kukenys

STATYBOS PLANAVIMO METODŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Ala Daugelienė

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

STATYBOS PLANAVIMO METODŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas M6046O21)

Vadovas

Doc. dr. Ala Daugelienė

Konsultantas

lekt. Odeta Viliūnienė
Nerijus Kurcevičius - Intelligent BIM
solutions

Projektą atliko

Paulius Kukenys

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros fakultetas

(Fakultetas)

Paulius Kukenys

(Studento vardas, pavardė)

Statyba

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„STATYBOS PLANAVIMO METODŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. _____ sausio _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Pauliaus Kukenio**, baigiamasis projektas tema „Statybos planavimo metodų efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kukenys, Paulius. Statybos planavimo metodų efektyvumo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Ala Daugelienė; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Inžinerija. Technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *Kritinio kelio metodas, Ganto diagrama, flowline diagrama, Location Based Management System (LBMS)*.

Kaunas, 2018. 60 p.

SANTRAUKA

Temos aktualumas. Įgyvendinant naujus statybos projektus, kalendorinio planavimo metodų panaudojimas taikant BIM sistemas, tampa vis svarbesnis. Tokie metodai kaip Location Based Management System (LBMS) Lietuvoje kol kas dar nėra taikomi, todėl aktualu sužinoti šių metodų efektyvumą ir pritaikymo galimybes.

Objektas - statybos projektų kalendorinio grafiko sudarymo metodai.

Darbo tikslas - atlikti statybos projektų kalendorinio planavimo metodų efektyvumo tyrimą.

Baigiamajame magistro projekte analizuojamas statybos projektų kalendorinio planavimo metodų efektyvumas. Darbe apžvelgti, dažniausiai naudojami bei naujausi kalendorinio planavimo metodai, jų pritaikymas ir panaudojimas statybos projektuose. Pateikiama metodų apžvalga ir palyginamoji analizė.

Tiriamąjame dalyje nagrinėjamas dviejų skirtingų kalendorinio planavimo metodų pritaikymas naujos statybos projekte. Tyrime nagrinėjami kritinio kelio ir LBMS metodai, lyginant MS Project ir VICO Office programų efektyvumą. Gauti rezultatai analizuojami vartotojo aspektu. Vadovaujantis vartotojo patirtimi, rezultatams įvertinti pasirinktas organoleptinis tyrimas.

Darbo rezultatai: Tyrimo rezultatai parodė, kad naudojant VICO Office programinę įrangą, statybos projekto kalendorinis grafikas leidžia efektyviai išnaudoti 3D modelio galimybes: priskirti darbų zonas, atributinę informaciją naudoti tiesiogiai iš 3D modelio, nurodžius darbų laiko sąnaudas, automatiškai paskaičiuojamas žmonių darbo valandų poreikis, galimybė optimizuoti kalendorinį grafiką perkeltiant darbų linijas tiesiogiai grafike.

Darbas susideda: įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas bei priedai. Darbo apimtis – 60 puslapių, 38 paveikslų, 5 lentelių, 4 formulių, 30 literatūros šaltinių ir 0 priedų.

Kukenys, Paulius. *Research on the Efficiency of Construction Scheduling Methods.*: Master's thesis / supervisor assoc. prof. Ala Daugelienė. The Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Engineering, Technological Sciences

Key words: *Location Based Management System (LBMS), critical path method, flowline, Gant chart*

Kaunas, 2018. 60 p.

SUMMARY

Research topic relevance. *While delivery of new construction projects implementation of various scheduling methods within BIM systems is getting more and more important. Construction planning methods, such as Location Based Management System (LBMS), are not widely adopted in Lithuania, therefore it is relevant to understand their capacities and implementation potentials.*

The object of final project – *planning/scheduling methods of construction projects.*

The aim of final project – *to conduct a research on the efficiency of construction project planning/scheduling methods.*

In the final Master's project the efficiency of construction project planning/scheduling methods is explored. The most popular and widely used planning/scheduling methods as well as their adaptation and implementation in construction projects are presented in this thesis. The survey and comparison analysis of planning methods was conducted in the projects.

In the practical thesis part the application of two different planning methods in a new construction project is examined. The research explores Critical Path and LBMS methods while evaluating the efficiency of MS Project and VICO Office software. The conducted results are examined in the aspect of their user. The preferences of users are evaluated by applying organoleptic research.

The final project results: *The research outcomes showed what by using VICO Office software the construction programme/schedule is developed while more efficient application of 3D Model and its capacities – allocation of working zones; use of attribute information directly from the 3D Model; automatic calculation of labour man-hours by indicating the labour usage rates; possibility for schedule optimisation by moving job lines directly in the chart/diagram.*

The final project consists of: *introduction, 3 sections, conclusions, references lists and annexes. The thesis includes 30 paged, 38 figures, 5 tables, 4 formulas, 30 references and 0 annexes.*

TURINYS

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	10
1. STATYBOS PROJEKTŲ KALENDORINIO PLANAVIMO METODAI	12
1.1 STATYBOS PROJEKTŲ PLANAVIMAS	12
1.2 VEIKLA PAREMTI PLANAVIMO METODAI	14
1.2.1 Kritinio kelio metodas (CPM)	15
1.2.2 PERT metodas	21
1.3 VIETA PAGRĮSTI PLANAVIMO METODAI (<i>LOCATION BASED MANAGEMENT SYSTEM – LBMS</i>)	22
1.3.1 Line of balance (LoB) metodas.....	22
1.3.2 Flowline metodas	23
2. STATYBOS PROJEKTŲ PLANAVIMO METODŲ EFEKTYVUMAS	25
2.1 STATYBOS PLANAVIMO METODŲ PALYGINAMOJI ANALIZĖ	25
2.2 STATYBOS PLANAVIMO PROGRAMINIŲ ĮRANKIŲ GALIMYBĖS	27
2.2.1 MS Project programinės įrangos apžvalga	28
2.2.2 VICO Office programinės įrangos apžvalga.....	31
2.3 VIETA PAGRĮSTŲ METODŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS	33
3. TYRIAMOJI DALIS	37
3.1 TYRIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS	37
3.1.1 Duomenų apžvalga.....	37
3.1.2 Duomenų panaudojimas.....	37
3.2 PROJEKTO DUOMENŲ ANALIZĖ IR IŠŠŪKIAI	39
3.2.1 3D modelio atkūrimas	39
3.2.2 VICO Office programos galimybės	41
3.2.3 3D modelio atributų grupavimas	43

3.3	DUOMENŲ ANALIZĖS REZULTATAI	44
3.4	KALENDORINIS PLANAVIMAS	44
3.4.1	Projekto sąmatos skaičiavimas ir darbų sąnaudos	44
3.4.2	Kalendorinio grafiko sudarymas MS Project programa	45
3.4.3	Kalendorinio grafiko sudarymas VICO Office programa	47
3.5	TYRIMO VERTINIMAS	53
	IŠVADOS	56
	LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	58

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

1pav. Kalendorinio planavimo metodų suskirstymas [13]	13
2pav. „Activityon-arow“ tinklinė diagrama [2]	15
3pav. Darbų atvaizdavimas „Activityon-arrow“ tinkle [2]	16
4pav. Prioritetinių diagramų tinklas [2]	18
5pav. Darbų atvaizdavimas prioritetiniame tinkle [2]	19
6 pav. β funkcijos pasiskirstymo grafikas	21
7. pav. LoB linijinis ryšys tarp laiko ir kiekių [2]	23
8. pav. Flowline tvarkaraštis 5 užduotims nustatytose 5 vietose	23
9 pav. Projekto atvaizdavimas Ganto diagramoje [21]	28
10 pav. Projekto atvaizdavimas tinkliniame grafike	29
11pav. Darbinės srities modelis [21]	30
12pav. Projekto suskirstymas [11]	31
13pav. Hierarchinė projekto dalių schema [11]	32
14pav. 4D informacija apie statybinį vienetą. [30]	32
15 pav. Gamybos grandinė statybos valdyme [30]	34
16pav. Statybos planavime naudojami srautiniai duomenys	35
17pav. Duomenų panaudojimo struktūra	38
18pav. Duomenys reikalingi statybos projekto kalendoriniam planui sudaryti	38
19pav. 3D modelis ArchiCAD aplinkoje	39
20pav. IFC failo eksportavimas	40
21pav. 3D modelis Revit programinės įrangos aplinkoje	41
22pav. 3D modelio eksportavimas į VICO Office programą	42
23pav. Naujo projekto kūrimas VICO Office programoje	42
24pav. 3D modelio atributų informacija VICO Office programoje	43
25pav. Sugrupuotų atributų informacija	43
26pav. Sąmatos skaičiavimas Sistela programa	44
27pav. Apskaičiuotos darbo sąnaudos ir kaštai	45
28 pav. Darbų grupavimas MS Project programoje	46
29pav. Projekto tinklinis grafikas	46
30 pav. Sukurta projekto kalendorinio grafiko Ganto diagrama	47
31pav. Darbo zonų paskirstymas	47
32pav. Darbo zonų nustatymas	48
33pav. Kiekių priskyrimas sąnaudoms VICO Office programoje	49

34pav. Darbų laiko sąnaudų lentelė	50
35pav. Pirminis kalendorinis grafikas	51
36pav. Darbų linijos optimizavimas slenkant liniją grafike	51
37pav. Darbų optimizavimas nustatymuose parenkant darbuotojų skaičių.....	52
38pav. Optimizuotas kalendorinis grafikas	53
1 lentelė. Ganto diagramų privalumai ir trūkumai.....	25
2 lentelė. Flowline grafikų pranašumai ir trūkumai.....	26
3 lentelė. Darbų apribojimų tipai	29
4 lentelė. Pasirinkto projekto parametrai	39
5 lentelė. Programų vertinimas vartotojo požiūriu	54

IVADAS

Šiuolaikinėje Lietuvos statybos planavimo strategijoje vis dažniau akcentuojamas naujausių technologijų ir statybos planavimo modelių diegimas bei inovatyvių sprendimų taikymas. Lietuvoje vis dažniau statybų įmonės diegia ir taiko pažangias *BIM* (angl. *Building Information Modelling*) technologijas, tačiau laiko planavimas vis dar išlieka didele problema, įgyvendinant realius statybos projektus.

Temos problema – besikeičiančių technologijų pritaikymas naudojant aktualius kalendorinio planavimo metodus. Magistro darbo problemos sprendimas gali turėti įtakos, diegiant pažangius kalendorinio grafiko planavimo metodus.

Temos aktualumas – jau kurį laiką, gerėjant šalies ekonomikai, didėja statybos apimtys, todėl statybos procesas yra svarbus įrankis, įgyvendinant statybinius projektus bei augant verslo investicijoms. Didėjanti konkurencija ir aukšti statybos darbų atlikimo reikalavimai skatina optimizuoti statybos procesus ir didinti investicijas.

Siekiant užtikrinti sklandų statybos proceso planavimą, investuojama į aukštą darbo našumą užtikrinančias sistemas, tokias kaip *BIM*, kurios leidžia sumažinti klaidų skaičių, padidinti darbo efektyvumą bei įvertinti laiko ir finansines sąnaudas. Diegiant šias sistemas atsiranda poreikis gauti kuo didesnę investicinę grąžą bei sumažinti statybos projekto trukmę. Tačiau daugeliu atveju *BIM* sistemų naudojimas neužtikrina sklandaus projekto vystymo bei kokybės analizės esamuoju laiku. Todėl būtina suprasti, kokie procesai trukdo įgyvendinti numatytą laiko planavimo strategiją ir juos optimizuoti.

Kalendorinio grafiko sudarymas yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiantis numatomą statybos trukmę ir sąnaudas. Statybos darbų grafiku vadovaujasi projektų vadovai, rangovai, subrangovai bei kiekvienas statybos proceso dalyvis. Tinkamai sudarytas kalendorinis statybos darbų grafikas leidžia optimizuoti statybos procesus ir sutaupyti laiko bei finansinių išteklių, kurie galiausiai tampa svarbiausiu rodikliu, vertinant statybos darbų efektyvumą.

Tyrimo objektas – statybos projektų kalendorinio grafiko sudarymo metodai.

Tyrimo problema – ar taikant pažangius statybos planavimo metodus, procesas tampa efektyvesnis?

Darbo tikslas - atlikti statybos projektų planavimo metodų efektyvumo tyrimą.

Darbo uždaviniai:

1. Pateikti statybos procesų planavimo metodų ir įrankių, taikomų skirtingais projekto įgyvendinimo etapais, apžvalgą;
2. Atlikti statybos planavimo metodų ir įrankių palyginamąją analizę;

3. Nustatyti statybos planavimo metodų ir įrankių efektyvumą iš vartotojo perspektyvos, konkretaus statybos projekto atveju.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, palyginamoji analizė, organoleptinis tyrimas.

1. STATYBOS PROJEKTŲ KALENDORINIO PLANAVIMO METODAI

1.1 STATYBOS PROJEKTŲ PLANAVIMAS

Statybos projektas, apibrėžiamas kaip planas numatytam tikslui pasiekti, tačiau nuo įprastų projektų, statybos projektai skiriasi savo sudėtingumu ir daugybės išteklių poreikiu. Sudėtingi procesai vyksta ne tik statybų aikštelėje, bet ir prieš statybos darbų pradžią. Tai parodo, kad statybos projektai reikalauja daug kruopštaus ir sudėtingo pasiruošimo (Ramanuskas 2012).

Prieš pradėdant bet kokius darbus būtina iš anksto numatyti, kokie tai bus darbai, kas juos atliks ir kokie tikslai bus pasiekti numatytomis priemonėmis. Mintis, gimusi projekto sumanytojo galvoje, turi būti įgyvendinta, pasitelkiant visas įmanomas priemones ir išteklius. Tam, kad mintis virstų kūnu, pasitelkiama statybos projektų planavimo metodika ir suburiama reikalinga komanda (V.Jaškauskas ir G.Kiseliene 2012). Analizuodami pateiktą užduotį kiekvienas specialistas interpretuoja savaip, todėl svarbu, kad kiekvienas projekto etapas turėtų aiškius tikslus (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012):

- kam ir kaip bus atliekamas kūrybinis procesas;
- kokie statybos metodai bus naudojami;
- pagal kokius kriterijus bus sudaroma subrangos ir pirkimų strategija;
- kaip bus susieti skirtingi statybos dalyviai;
- kokios numatomos darbų zonos ir jų pasiskirstymas;
- kaip bus užtikrintas projekto strategijos efektyvumo didinimas atsižvelgiant į išlaidas ir laiką;
- kaip turi būti vykdoma darbų kontrolė;
- kaip bus kontroliuojama projekto rizika ir numatomos galimybės.

Po pramonės revoliucijos XIX amžiuje iš esmės pasikeitė statybos projektų įgyvendinimas. Didelis dėmesys buvo skiriamas projekto plano ir įvykdymo grafikų sudarymui, nuo kurių ir priklauso tolimesnių darbų sėkmė. Pastatų statybą paspartino ir mechanizacija, kai statybos produktai buvo pradėti gaminti automatizuotai (Martinez 2013). Didelę reikšmę statybos projektų valdymui padarė H. L. Gantas (1861–1919), kurio vardu buvo pavadintas vienas plačiausiai naudojamų kalendorinio plano atvaizdavimo būdų. Jis, analizuodamas ir tyrinėdamas esamus grafinius darbų atvaizdavimo metodus, sukūrė diagramą, kurioje laiko skalėje atvaizduojami kiekvieno statybos dalyvio atliekami darbai. Šis metodas padėjo statybų vadovams lengviau stebėti, kokie darbai ir kuriuo metu turi būti vykdomi (Baldwin ir Bardoli 2014).

Kalendorinio planavimo tikslas - statybos darbus atvaizduoti laiko skalėje taip, kad kiekvienas statybos dalyvis aiškiai suprastų, kada turi atlikti jam numatytą darbą. Nustatant darbus svarbu apibrėžti, kokios bus laiko ir resursų sąnaudos. Tačiau, norint atlikti sudėtingesnius

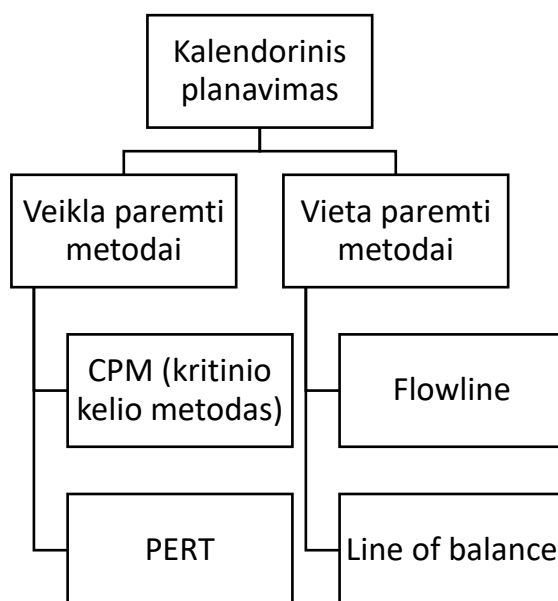
kalendorinio planavimo darbus, atsiranda poreikis pritaikyti kalendorinio planavimo metodus (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012).

Statybos planavimas reikalauja numatyti užduotis dešimčiai, šimtui ar net tūkstančiui darbuotojų, kurie paskirtas užduotis turės atlikti numatytu laiku. Kad viso projekto eiga būtų aiškiai suprantama, projektas turi būti skaidomas į užduotis, kurios turi turėti savo pradžią ir pabaigą. Tam, kad sudaryti tinkamą loginį ryšį tarp užduočių ir jų atlikimo termino, reikia remtis kalendorinio planavimo metodika (V.Jaškauskas ir G.Kisielienė 2012).

Kalendorinio planavimo metodai skirstomi į tipus pagal planavimo pobūdį:

- veikla paremti planavimo metodai;
- vieta paremti planavimo metodai.

Schemoje (žr. 1 pav.) nurodyti, kokie pagrindiniai tipai naudojami kalendoriniame planavime.



1 pav. Kalendorinio planavimo metodų suskirstymas [13]

Apžvelgiant kalendorinio planavimo metodus, remiamasi tiek Lietuvos, tiek užsienio autorių literatūra. Šiuolaikiniai metodai daugiausia aprašomi užsienio autorių, mokslininkų kurie žengia koja kojon su naujausiomis technologijomis ir tyrinėja jų pritaikymą realiomis sąlygomis.

Vykdamt paiešką bibliotekose buvo surinkta informacija iš šiuo metu aktualių, metodinių kalendorinio planavimo knygų, kurių autoriai apžvelgia ne vieną planavimo metodą.

- Mokomojoje knygoje „Statybos projektų valdymas“ (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012) supažindinama su projekto valdymo sąvoka, nagrinėjami atskiri statybos projekto etapai, pagrindiniai statybos projektų valdymo procesai, nagrinėjami projekto išteklių, kokybės, išlaidų ir rizikos valdymo principai bei projektų vertinimo metodai.

- Knygoje „A Handbook for Construction Planning and Scheduling“ (Baldwin ir Bardoli 2014) supažindinama su statybos projekto laiko planavimu, pateikiami konkretūs modeliai ir pavyzdžiai, analizuojama kalendorinio grafiko sudarymo metodika.

Dirbant su įvairiomis paieškos sistemomis buvo renkami konferencijų straipsniai bei straipsniai iš žurnalų ar kitų leidinių. Šiuose straipsniuose tyrimų medžiaga pateikiama su išvadomis, todėl remiantis išvadomis galima atlikti palyginamąją analizę, o tyrimų apžvalga leidžia vertinti skirtingų autorių išvadas.

- Konferencijos straipsnyje „Application of Critical Path Method for Project Scheduling – A Case Study“ (S.Razdan, et al. 2017) apžvelgiamas tradicinis kritinio kelio metodo efektyvumas bei atliekama šio metodo analizė.
- Straipsnyje „Statybos projektų valdymas“ iš žurnalo „Jaunųjų mokslininkų darbai. Nr.4“, apibendrinama statybos projektų valdymo raida, išryškinami nesklaidumai, susiję su projektų valdymu ir planavimu (V.Jaškauskas ir G.Kiselienė 2012).
- Straipsnyje „Pastato informacinio modelio taikymo poreikio statyboje analizė“, iš žurnalo „Jaunųjų mokslininkų darbai. Nr.1“, pateikiama pastato informacinio modelio taikymo poreikio analizė, apibūdinami pagrindiniai šio modelio privalumai ir trūkumai (Jaškauskas ir Ulozas 2011).
- Straipsnyje „Effects of the location-based management system on production rates and productivity“ analizuojamas Kritinio kelio ir *LBMS* metodų efektyvumas, kuris leidžia įvertinti šių dviejų metodų skirtumus. Atlikti kiekybiniai projektų tyrimai atskleidžia *LBMS* modelio pranašumus prieš Kritinio kelio metodą. Analizuojant projektų darbų ir laiko sąnaudas, atliktų tyrimų rezultatai paneigia ankstesnius tyrimus ir leidžia įvertinti *LBMS* modelio taikymo efektyvumą statybos projektuose (Mouflard, Seppanen ir Evinger 2014).

1.2 VEIKLA PAREMTI PLANAVIMO METODAI

Veikla paremti kalendorinio planavimo metodai aktyviai naudojami nuo XIX a. pabaigos, todėl jų populiarumas išlieka didžiojoje dalyje statybos projektų. Pagal šią metodiką statybos projektai vaizduojami kaip atskirų užduočių grupės, sujungtos loginiu ryšiu (Martinez 2013). Šiems ryšiams nustatyti naudojami iš anksto sukurti analizės duomenys. Ši loginė seka vadinama Kritinio kelio metodu (angl. *Critical Path Method – CPM*). Pagal šią metodiką statybos darbai traktuojami kaip nekintami vienetai, kurie sujungiami loginiu tarpusavio ryšiu. Naudojant kritinio kelio metodą siekiama surasti anksčiausią darbų pabaigą, nustatant ilgiausiai trunkančią nepertraukiamą darbų grandinę (Baldwin ir Bardoli 2014).

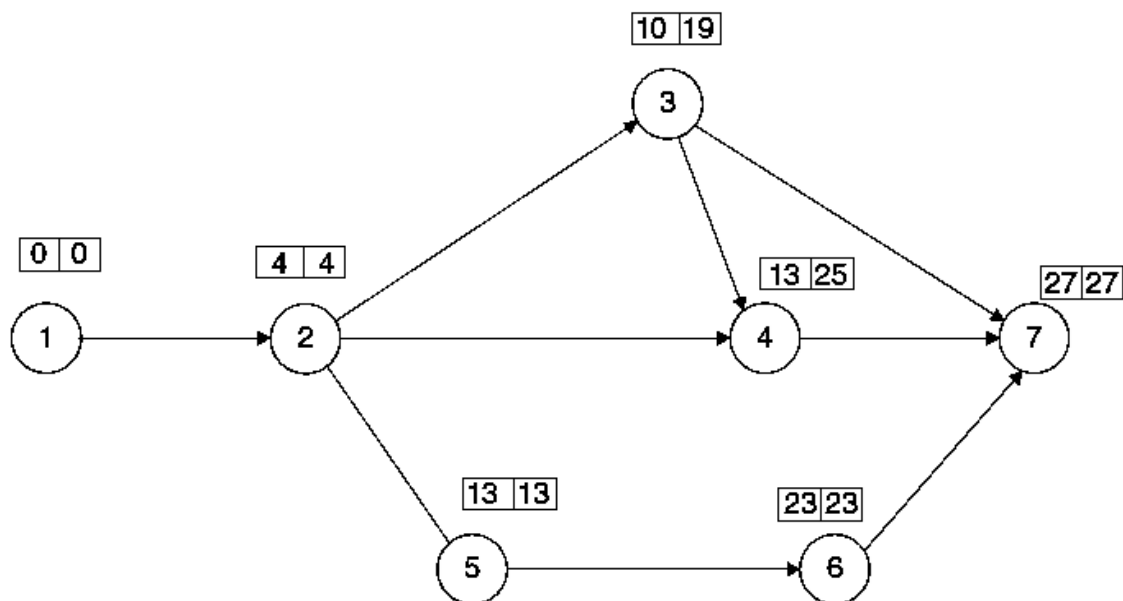
Jei darbų atlikimas vertinamas su tam tikra tikimybe, tuomet naudojamas Programos Vertinimo ir Peržiūros metodas (angl. *Program Evaluation and Review Technique - PERT*). Šio metodo tikslas, įvertinus tikimybę ir riziką, surasti labiausiai tikėtiną darbų atlikimo terminą (Martinez 2013).

1.2.1 Kritinio kelio metodas (CPM)

Kritinio kelio metodas naudojamas analizuoti loginį darbų ryšį, sudarant tinklo diagramas. Diagramos atvaizduoja visų darbų tarpusavio santykį bei parodo, kurie darbai yra svarbiausi arba, kitaip tariant, kritiniai. Kritinis darbas – tai darbas nuo kurio anksčiausios pabaigos priklauso tolimesnio darbo anksčiausioji pradžia. Analizuojant tinklinius ryšius galima sužinoti, ar darbai yra paslankūs, t. y. kiek liko laiko iki kol darbas taps kritiniu. Šis laikas vadinamas – „*Float*“. Jis parodo laikotarpį, per kurį darbą galima atidėti, paslinkti nepakeičiant galutinio projekto pabaigos termino (Baldwin ir Bardoli 2014).

Planuojamiems darbams reikalingi resursai, todėl juos būtina priskirti prie tinklinių diagramų. Pridėjus kiekvienam darbui numatytus išteklius, galime apskaičiuoti viso projekto išteklių poreikį bei jį optimizuoti iki labiausiai priimtino (Hergunsel 2011).

Tinklinės diagramos iš pradžių buvo atvaizduojamos tiesiomis linijomis ir apskritimais, parodančiais tarpusavio ryšį, ir vadinamos „*Activityon-arrow*“ (žr. 2 pav.). Tačiau vėliau jos buvo perdarytos į stačiakampes lenteles, sujungtas linijomis (žr. 4 pav.), dar žinomomis kaip „*prioritetinės diagramos*“ (angl. *precedence diagram*). Šios diagramos plačiai paplito ir yra naudojamos iki šiol (Baldwin ir Bardoli 2014).



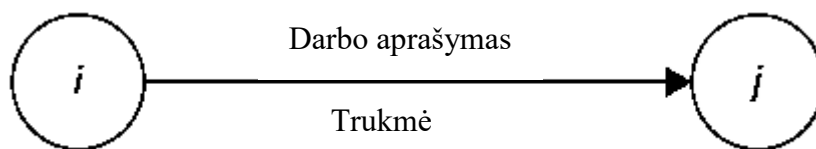
2pav. „*Activityon-arow*“ tinklinė diagrama [2]

Braižant „Activityon-arrow“ (žr. 2 pav.) tinklą laikomasi šių taisyklių (Baldwin ir Bardoli 2014):

- laikas nurodomas iš kairės į dešinę;
- skaičiai, esantys apskritimuose, nurodo darbo numerį;
- rodyklė nurodo darbų srauto kryptį;
- darbai išskiriami į pagrindinius darbus arba šalutinius darbus
- pagrindiniai dabai visada didesni už šalutinius;
- rodyklės ilgis neturi reikšmės ir nėra proporcingas numatomi trukmei;
- rodyklės orientacija neturi įtakos (planuotojai dažniausiai naudoja horizontalias ir vertikalias).

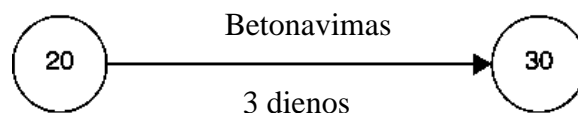
Kiekvienas darbas turi būti apibrėžtas jam skirtu aprašymu arba pradžios ir pabaigos darbais (žr. 3pav.). Ši apibrėžtis būtina, norint užtikrinti tinkamą tinklo logiką. (Baldwin ir Bardoli 2014).

„Activityon-arrow“ tinklo sudarymo schemas:

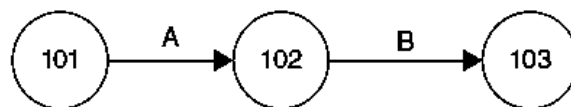


3pav. Darbų atvaizdavimas „Activityon-arrow“ tinkle [2]

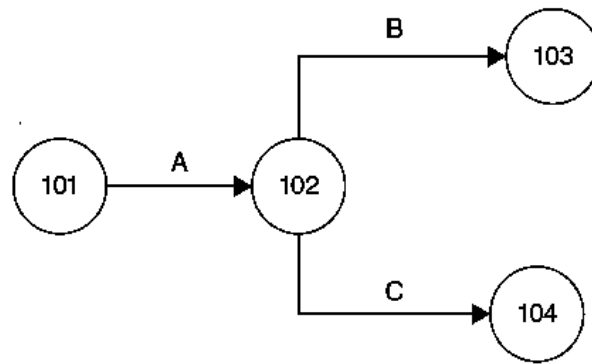
1) Darbas su aprašymu ir trukme [2];



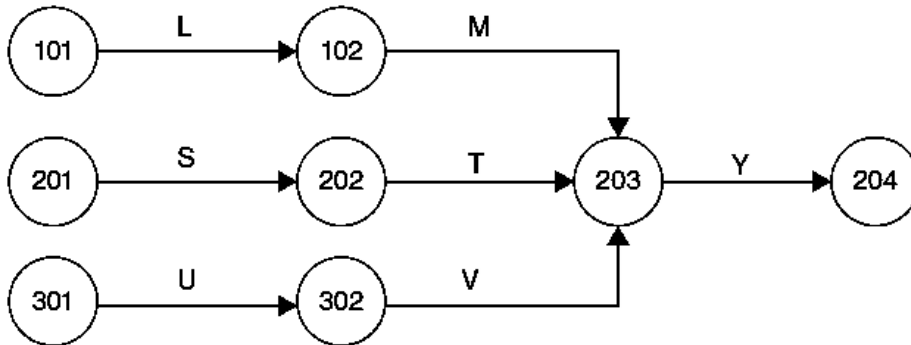
2) Darbas B prasideda kai baigiasi darbas A [2];



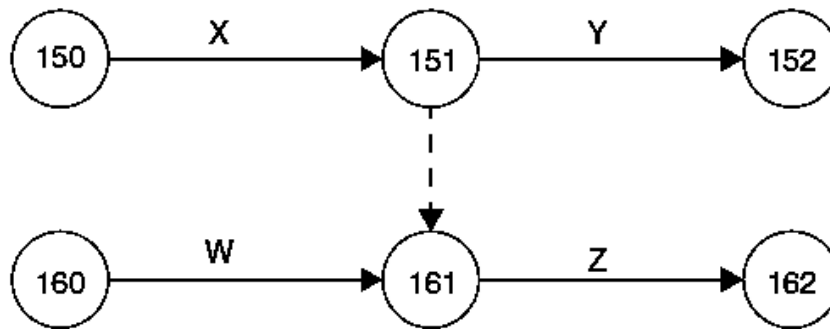
3) Darbai B ir C prasideda kai baigiasi darbas A (darbai B ir C nepriklauso vienas nuo kito) [1];



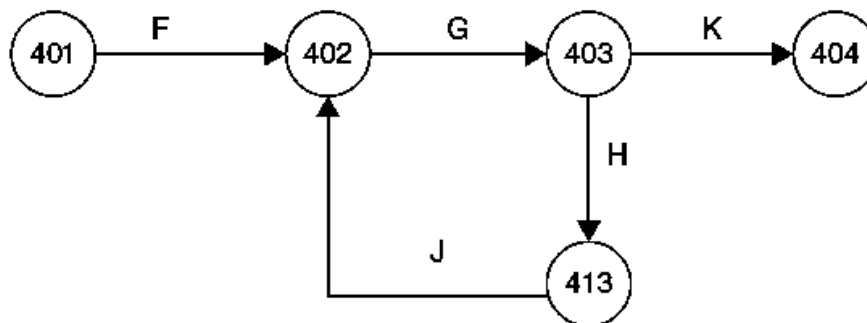
4) Darbas Y gali prasidėti tik tada, kai baigiasi darbai M, T ir V [2];



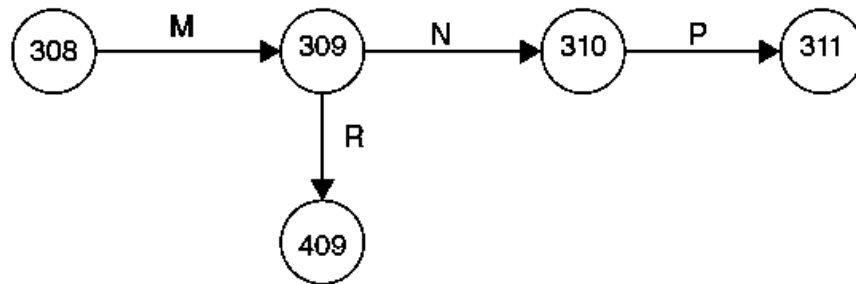
5) Loginiame tinkle, negali būti dviejų atskirų grandinių, todėl jos turėtų būti jungiamas tarp mazgų 151 ir 161, todėl darbas Z gali prasidėti, kai užbaigiami darbai W ir X, o darbas Y gali prasidėti užbaigus darbą X. Darbas Y nepriklauso nuo darbo Z, o darbas W nepriklauso nuo Y [2].



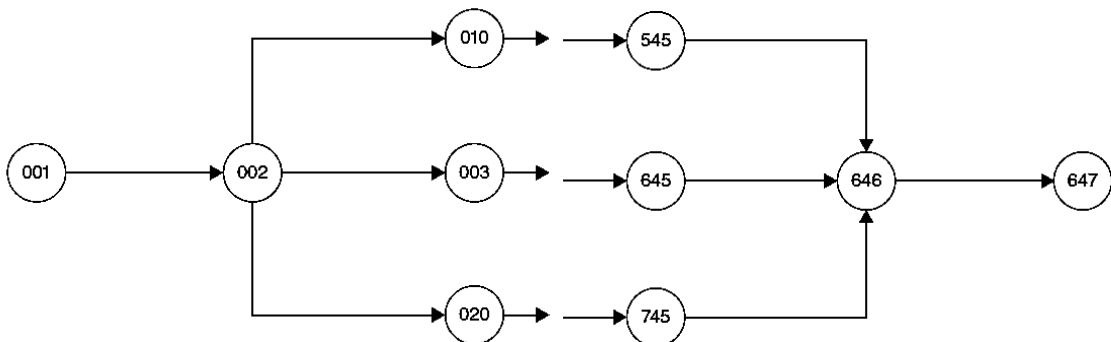
6) Sukurtas G,H ir J darbų ciklas neleidžia pradėti darbo K. Tinklo logika pažeista, todėl tokių klaidų reiktų vengti [2].



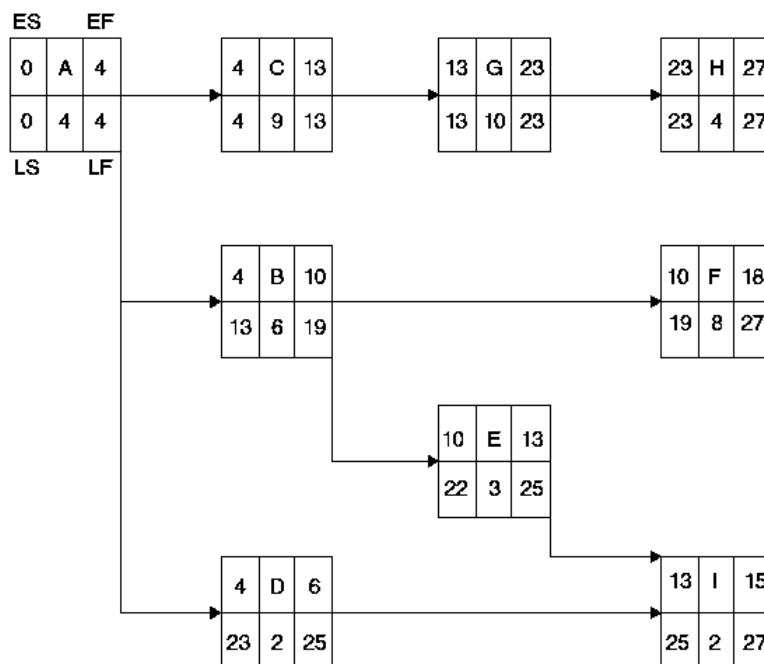
7) Darbas R nėra uždarytas, todėl trukdo analizuoti visą tinklą. Tolimesni darbai N ir P netrukdo atlikti tinklo analizės, tačiau daro klaidas tikrinant tinklo logiką. Siekiant to išvengti geriausia naudoti schemas nurodytas 8 pavyzdyje [2].



8) Uždaryta grandinė [2];



Sudarius tinklą (žr. 4pav.) ir tikrinant logiką, kiekviena darbo trukmė turėtų būti įvertinta ir aiškiai nurodyta darbo mazge. Darbo trukmė gali būti vertinama pagal darbo dienų, savaitių ar mėnesių skaičių. Pasirinktas laiko vienetas turi būti nuosekliai naudojamas visame tinkle. Įvertinus darbo trukmę, galima atlikti skaičiavimus (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012).

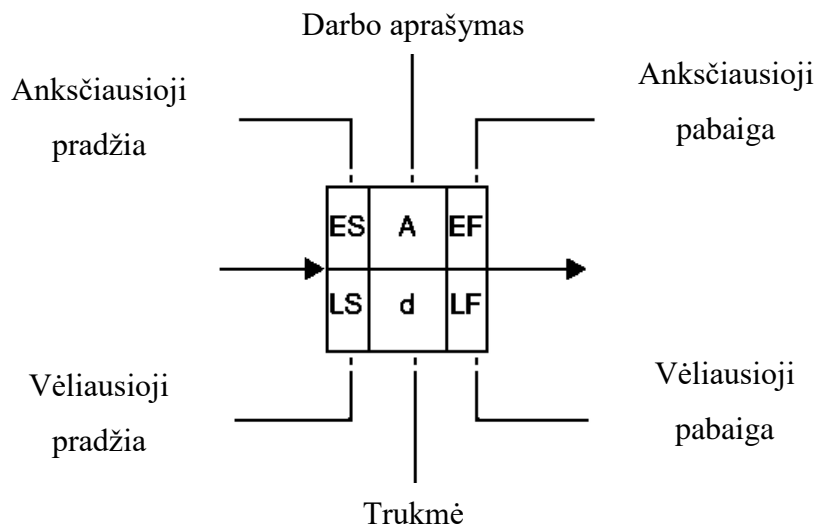


4pav. Prioritetinių diagramų tinklas [2]

Braižant prioritetinės diagramos tinklą būtina atsižvelgti į šias taisykles:

- laikas nurodomas iš kairės į dešinę;
- rodyklė nurodo darbų srautą;
- rodyklės ilgis neturi įtakos;
- rodyklės orientacija neturi įtakos;

Kiekvienas darbas turi būti apibrėžtas jam skirtu aprašymu arba pradžios ir pabaigos darbais (žr. 5 pav.). Ši apibrėžtis būtina, norint užtikrinti tinkamą tinklo logiką. Šių taisyklių laikomasi ir braižant „activityon-arrow“ diagramas.



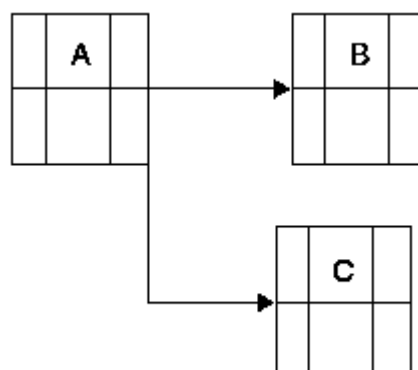
5pav. Darbų atvaizdavimas prioritetiniame tinkle [2]

Toliau nurodyti tinklo sudarymo schemų pavyzdžiai (Baldwin ir Bardoli 2014):

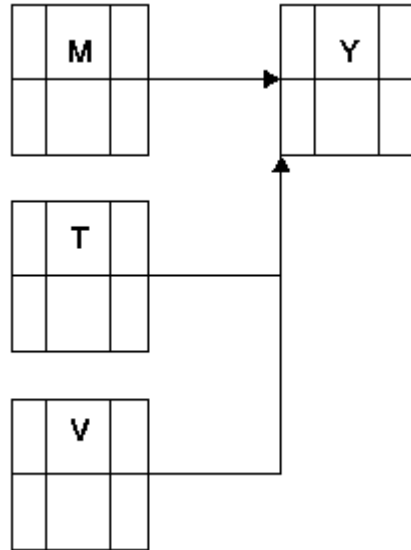
- 1) Darbas B prasideda po darbo A pabaigos [2].



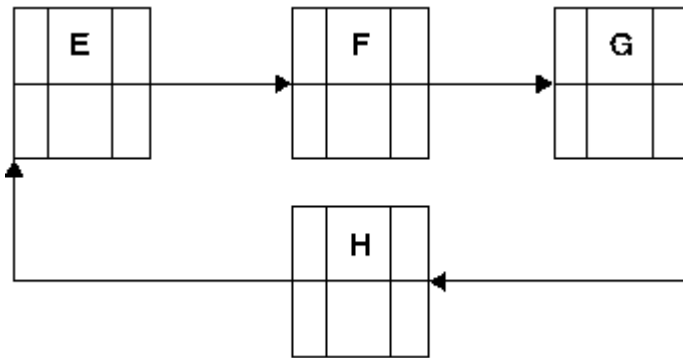
- 2) Darbas B prasideda po darbo A pabaigos. Darbas C prasideda po darbo A pabaigos (darbas B nepriklauso nuo darbo C, o darbas C nepriklauso nuo darbo B) [2].



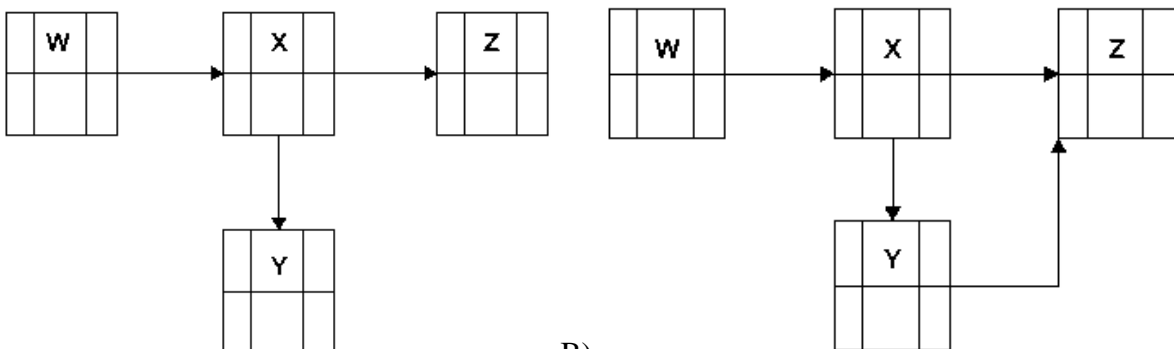
3) Darbas Y gali prasidėti tik tada, kai darbas M, T ir V yra užbaigtas [2].



4) Darbų grandinė negali turėti kilpų ir „kabančių“ darbų, todėl žemiau nurodytas pavyzdys nėra tinkamas [2].



5) Tinklas nurodytas A pavyzdyje iš dalies yra netinkamas, nes darbas X turi dvi galimas tolimesnes sekas, o loginis tinklas turi turėti pradinį ir galutinį darbą, todėl geriau naudoti B pavyzdyje nurodytą tinklą, kuris aiškiai nurodo darbo Y seką [2].



A)

B)

Šios pagrindinės taisyklės taikomos neatsižvelgiant į darbo pobūdį ir į darbo rūšių skaičių, o didelių prioritetinių tinklų braižymas užima daug laiko ir yra brangus. Sudarius tinklą ir tikrinant logiškas taisykles, kiekviena darbo trukmė turėtų būti įvertinta ir aiškiai nurodyta darbo mazge.

Kaip ir „Activity-on-arrow“ tinkluose, darbo trukmė gali būti vertinama pagal darbo dienų, savaitių ar mėnesių skaičių. Pasirinktas laiko vienetas turi būti nuosekliai naudojamas visame tinkle ir tik vertinus darbo trukmę, galima atlikti tinklo analizę ir skaičiavimus (Baldwin ir Bardoli 2014).

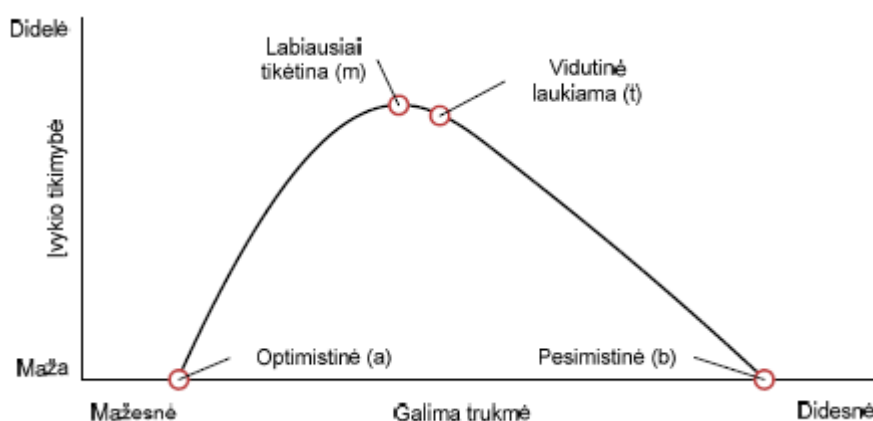
Kritinio kelio metodas kiekvieną darbą apibudina pagal jo trukmę, o darbai laike gali būti keičiami tol, kol palaiko ryšį su kitais darbais, t. y. nekeičiama kitų darbų trukmė. Kadangi šis metodas yra deterministinis, visi numatyti darbai turi savo apibrėžtumą ir negali būti kitaip interpretuoti, tačiau tai galima keisti naudojant tikimybinį *PERT* metodą (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012).

1.2.2 *PERT* metodas

PERT metodika naudojama kartu su kritinio kelio metodu ir labai retu atveju atskirai. Nustačius darbų trukmę ir suradus kritinį kelią, būtina patikrinti ar numatyti darbai bus atliekami laiku ir kokie galimi nuokrypiai. *PERT* metodika leidžia analizuoti darbų trukmę tikimybinio aspektu, todėl galime įvertinti su kokia tikimybe projektas bus atliktas per numatytą laiką. Taip galime analizuoti ir projekto galimybes keičiant projekto trukmės parametrus (Ringys 2008).

Apskaičiuoti darbų trukmei pagal šį metodą reikalingi 3 dydžiai.

- *a* – palankiausia (optimistinė) darbo trukmė, kai darbas atliekamas geriausiomis sąlygomis.
- *m* – labiausiai tikėtina darbo trukmė, kai darbas atliekamas kai sąlygos dažniausiai pasikartoja.
- *b* – nepalankiausia (pesimistinė) darbo trukmė, kai darbas atliekamas blogiausiomis sąlygomis.



6 pav. β funkcijos pasiskirstymo grafikas

Pasiskirstymo β dėsnis galioja (žr. 6 pav.), priimamų darbų trukmių dydžiams *t*, o jo tankis $f(x)$ išreiškiamas formule:

$$f(x) = c \cdot (b - x)^\alpha \cdot (x - a)^\gamma \quad (1)$$

kai $a < x < b$, kai $x \leq a$ ir $x \geq b$,

čia α, γ – teigiamieji dydžiai, apibūdinantys pasiskirstymo pobūdį;

c – koeficientas, priklausantis nuo sąlygos.

Šios funkcijos grafikas parodo tikimybinės darbo trukmės t savybę, kad visos galimos t reikšmės yra tarp a (*optimistinės*) ir b (*pesimistinės*) darbų trukmės. Labiausiai tikėtina trukmė yra $t=m$, kai pasiskirstymo tankis yra didžiausias (N.Banaitienė ir A.Banaitis 2012).

1.3 VIETA PAGRĮSTI PLANAVIMO METODAI (*LOCATION BASED MANAGEMENT SYSTEM – LBMS*)

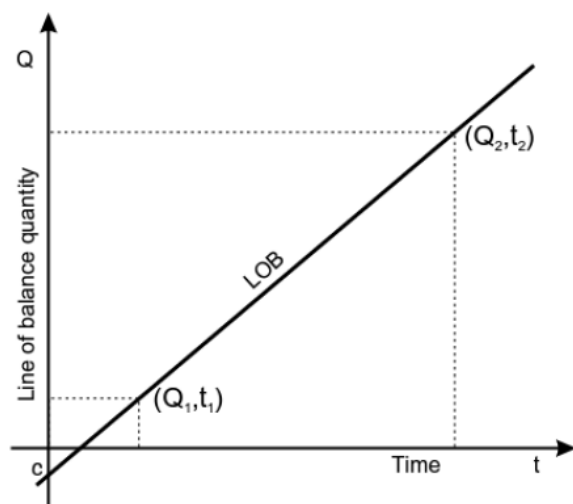
XX a. pradžioje Karol Adamiecki ištobulino savo paties sukurtą grafinio atvaizdavimo įrankį, kuris kalendorinio planavimo etapuose leido sekti resursus, priskirtus numatytiems darbams tam tikrose vietose. Jis pavadino šį įrankį „harmonogramomis“, kurios kitaip nei Ganto diagramos, gali būti priskirtos prie planuojamų darbo zonų. Geriausias K. Adamiecki metodo pavyzdys yra *Empire State Building* statybos projektas, kurio įgyvendinimas vienas iš pirmųjų įrodė šių metodų efektyvumą. Visi 102 pastato aukštai buvo pastatyti per 18 mėnesių. Beveik 380 m² per dieną – toks pasiekimas buvo rekordinis. O projekto biudžetas ir išlaidos buvo ženkliai sumažintos statybos eigoje (Seppanen 2009).

Vieta pagrįsti planavimo metodai (toliau LBMS) sukuria pasikartojančių užduočių ciklą, kurie dar vadinami Kartotiniaisiais Planavimo Metodais (angl. *Repetitive Scheduling Methods – RPM*). Pagrindinis šių užduočių tikslas, išteklių perkėlimas iš vienos vietos į kitą, tad numatytiems darbų vietoms nebereikia pakartotinio išteklių naudojimo. Tai reiškia, kad keičiama išteklių vieta, bet ne darbo pobūdis (Mouflard, Seppanen ir Evinger 2014).

1.3.1 *Line of balance (LoB) metodas*

Dažnai statybos procesas yra laikomas serijinės gamybos dalimi, kur tam tikri darbai atsikartoja skirtingose vietose. Pavyzdžiui, vienodo išplanavimo daugiabučiame pastate pertvaros ir kitos konstrukcinės dalys atsikartoja visuose aukštuose, o tai reiškia, kad vieno aukšto statybos procesas turi savo ciklą. Taip kaip ir serijinė produkto gamyba, taip ir statybos aikštelėje vykstantys procesai gali būti optimizuoti ir subalansuoti. Šiuo atveju pasitelkiama *LoB* planavimo metodika (žr. 7 pav.), kuri skirta planuoti ir valdyti nenutrūkstamus darbo srautus ir išteklių paskirstymą nurodytose vietose (Furat, Arditi ir Kiiras 2009).

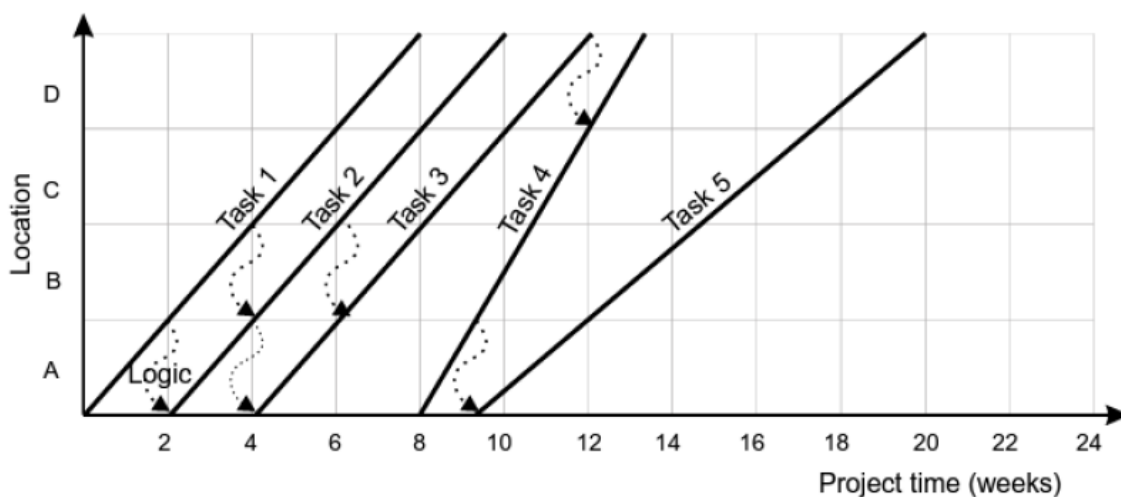
Naudojant šią metodiką, daugiausia dėmesio skiriama pasikartojantiems darbams užbaigti, o tam, kad šis procesas būtų nepertraukiamas ir veiktų efektyviai, reikalingi vienodai apibrėžti gamybos vienetai (Martinez 2013).



7. pav. LoB linijinis ryšys tarp laiko ir kiekių [2]

1.3.2 Flowline metodas

Skirtingai nei *LoB* metodas, *Flowline* nereikalauja, kad gamybos vienetai būtų vienodi. Tai reiškia, kad skirtingi darbai, vietose gali skirtis neatsižvelgiant į kiekius ir numatytas užduotis (žr. 8 pav.). Ši metodika daugiausiai dėmesio skiria į darbo eigą numatytose zonose ir užduočių užbaigimo greitį. (Seppanen 2012)



8. pav. Flowline tvarkaraštis 5 užduotims nustatytose 5 vietose

Pagal Kenley ir Seppänen (2009) aprašytus *LBMS* taikymo principus, labiausiai išsiskiria šie privalumai:

- statybos darbų trukmė apskaičiuojama pagal geriausius tikslinių produktų rodiklius.
- buferiai apsaugo vykdymo grafiką nuo nenumatytų įvykių;

- keičiant brigados narių skaičių galima sinchronizuoti gamybos normas;
- nustatytoje darbo zonoje ar vietoje, numatytu metu gali būti skirta tik viena užduotis;
- subrangos užduotys turi būti planuojamos pagal projekto kiekius, nustatant gamybos normas;
- brigados turi būti paskirstytos taip, kad netrukdytų vienos kitoms, todėl jas galima išnaudoti laisvų zonų užpildymui;
- darbams nenumatytiems tvarkaraštyje taip pat turi būti skiriami ištekliai.

Naudojant *Flowline* diagramas vadovaujamosi aukščiau paminėtais principais. Projekto kalendorinio planavimo etapai reikalauja pateikti išsamią informaciją apie projektą, kad vėliau, būtų galima supaprastinti duomenų bazės valdymą. Ankstyvose projekto stadijose numatoma ši informacija:

- projekto vieta, kurioje projektas bus vykdomas, jo apylinkės, suinteresuoti asmenys, galutinio produkto, kuris buvo pristatytas, funkcija ir kt.;
- sutartiniai projekto aspektai, kurie lems išteklių prieinamumą: biudžetas, subrangos sutartys ar medžiagos (kiekybinių atžvilgiu);
- projekto kalendorius, kai vyks projektavimo ir statybos procesai;
- projekto fizinės charakteristikos ir geometrija (3D modelis), kitaip tariant, kas bus pastatyta (Martinez 2013).

Projekto planavimo strategijoje būtina numatyti projekto tikslus ir galimus įgyvendinimo etapus, kuriuose atsispindės statybos eigos procesas ir projekto vystymas. Šiuo atveju, naudojant vieta pagrįstas metodikas, galima išskirti šiuos rezultatus (Seppanen 2009):

- projekto trukmę;
- darbų pradžias ir pabaigas;
- išteklių galimybes;
- vietovę;
- sudėtingumo laipsnį;
- priklausomybes;
- projekto pobūdį;
- darbų vientisumą;
- geografinį, darbų pasikartojimą.

Duomenų surinkimas pradinėje planavimo stadijoje leidžia aiškiai numatyti tikslus, kurie bus pasiekti taikant vieta pagrįstus planavimo metodus, o galutinis projekto vaizdas atsispindės diagramose ir 4D simuliacijose (Martinez 2013).

2. STATYBOS PROJEKTŲ PLANAVIMO METODŲ EFEKTYVUMAS

2.1 STATYBOS PLANAVIMO METODŲ PALYGINAMOJI ANALIZĖ

Veikla pagrįstų kalendorinio planavimo metodų efektyvumą įrodantys straipsniai ir knygos pasirodė dar XX a. pradžioje, tačiau XXI a. statybos sektoriaus pažanga pakeitė nusistovėjusius standartus bei įrodė, kad nauji statybos projektų laiko planavimo metodai gali būti dar pranašesni (Mouflard, Seppanen ir Evinger 2014).

Tradiciniai planavimo metodai nebetenkina pasikeitusių darbo našumo reikalavimų, o dažnu atveju juos taikant susiduriama su šiais trūkumais:

- tinklinės diagramos dideliuose projektuose tampa „voratinkliais“, todėl labai sunku skaityti ir vykdyti šių darbų loginę seką.
- netinkama logika kuriant tinklą gali klaidingai perteikti informaciją arba paveikti darbo eigą.
- projektuose su daug subrangovų sunku suvaldyti vieną tinklą, kuriame susikerta daug grafikų. Visi grafikai turi būti integruoti, kad darbai būtų vykdomi laiku.
- *PERT* metodo naudojimas gali būti per daug vienašališkas ir per daug optimistiškai gali būti vertinamas projekto užbaigimo laikas (Mouflard, Seppanen ir Evinger 2014).

Nors veikla paremti metodiniai sprendimai vis dar taikomi statyboje, o kritinio kelio metodas vis dar naudojamas, kuriant plačias ir sunkiai skaitomas Ganto diagramas, jiems keliama vis daugiau priekaištų (Olivieri, Seppanen ir Granja 2016):

- dėl nepaslankumo ir riboto išteklių eksploatavimo, ten kur reikalingi tam tikri apribojimai.
- dėl išpildomų tik techninių apribojimų, kur nustatomi prioritetai tarp darbų ir išteklių prieinamumo.

Tačiau lyginant pranašumus ir trūkumus (žr. 1 lentelė) būtina paminėti ir įpratimo faktorių, kur dažnas vartotojas dėl įprasto ir suprantamo metodų naudojimo renkasi būtent tradicinį Ganto kalendorinį grafiką.

1 lentelė. Ganto diagramų privalumai ir trūkumai

Pranašumai	Trūkumai
<ul style="list-style-type: none">▪ dauguma vartotojų yra susipažinę su šia metodika;▪ informacija yra lengvai suprantama;	<ul style="list-style-type: none">▪ neekonomiškas reprezentacijos būdas dėl reikalaujamos vietos;

<ul style="list-style-type: none"> ▪ laikas yra aiškus ir linijinis; ▪ visos užduotys aiškiai matomos; ▪ pateikiami terminai; ▪ parodyta projekto būseną tarpiniu laiku. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ reikia apibendrinti informaciją, apimančią kiekius ir darbo valandas norint gauti išsamią projekto būsenos viziją; ▪ nesimato projekte esantys nukrypimai; ▪ neįmanoma atskirti pradžios vėlavimų, pertraukų ar sulėtėjimų; ▪ neįmanoma palyginti skirtingų taškų būklės ir laiko, nenaudojant kelių būsenos eilučių; ▪ nors ir galima naudoti statuso linijas, sunku suprasti produkcijos kiekius; ▪ neleidžia prognozuoti gamybos normų.
--	---

Nors S. Razdan ir kiti. (2017) savo tyrime pabrėžia Kritinio kelio metodų efektyvumą net iki 9%. Tačiau lyginant *LBMS* ir Kritinio kelio metodų taikymo rezultatus, Olivieri, Seppanen ir Granja (2016) skiria didesnę dėmesį projekto plano ir analizės galimybėms, kur *LBMS* metodas leidžia tiksliau modeliuoti darbo eigą, padeda analizuoti ir perduoti vėlavimus dar jiems neįvykus ir nuspręsti kokių veiksmų reikia imtis norint išvengti kritinės grandinės poslinkio.

Apžvelgus *LBMS* metodu aprašančią literatūrą, galima išskirti šiuos pranašumus:

- plane numatomi laiko rezervai tarp darbų (Seppanen 2012);
- kontrolės veiksmai, susiję su gamybos apimtimis, o ne kritinėmis užduotimis, leidžia ilgiau priimti sprendimus (Seppanen 2009);
- veiksmingas ir savalaikis išteklių paskirstymas gali užtikrinti atliekų šalinimą ir atsargų mažinimą bei laukimo laiką (Shankar ir Varghese 2013).

Flowline grafikai gulsčiomis linijomis atvaizduoja numatytų darbų pasiskirstymą ne tik laiko skalėje, bet ir projekto lokacijose. Tokiu būdu, atvaizdavimas skiriasi ir savo išvaizda, ir sudarymo principais. *Flowline* grafikais atvaizduojami projektai turi daugiau pranašumų nei trūkumų (žr. 2 lentelė), todėl svarbu, kad šių grafikų naudojimas būtų dar plačiau analizuojamas ir optimizuojamas.

2 lentelė. *Flowline* grafikų pranašumai ir trūkumai

Pranašumai	Trūkumai
<ul style="list-style-type: none"> ▪ intuityvus ir aiškus projekto plano pateikimas; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ diagramos linijos eina per vietas, kuriose projektas yra padalintas;

<ul style="list-style-type: none"> ▪ efektyvus atvaizdavimas, kuris užima mažiau vietos lyginant su ganto diagramomis; ▪ leidžia istoriškai peržiūrėti projektą be papildomų archyvų; ▪ kontrolė ir stebėjimas yra paprastas procesas, rodantis faktinę ar planuojamą gamybą, tam kad būtų galima įvertinti nuokrypių poveikį, pagrįstą progreso duomenimis; ▪ rodo, kurios vietos yra laisvos; ▪ galima optimizuoti darbo normas; ▪ atskiriami pradžios vėlavimai dėl pertraukų ir gamybos normų neatitikimų. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kai apskaičiavimo rezultatai nėra įvertinti, linija parodo pažangą, pusiaukelėje link nurodytos vietos; ▪ įvertinus užbaigimo rodiklius, skirtingos vietos gali būti parodytos pagal faktinę darbų liniją; ▪ horizontalios linijos reiškia nutrauktą darbą; ▪ faktinės linijos baigiasi toje vietoje ir tame laike, kur baigiasi ir numatytas darbas.
--	--

Nagrinėjant metodinę literatūrą pastebėjau, kad dauguma *LBMS* sistemą aprašančių autorių, priima šią metodiką kaip priimtinesnę vartojimo atžvilgiu, bei pabrėžia planavimo privalumus prieš Kritinio kelio metodą. Nors kai kurie rezultatai Dauguma vertinimų remiasi tyrimais, kuriais padarytos išvados pabrėžia *LBMS* metodo efektyvesnę taikymą viso projekto metu.

2.2 STATYBOS PLANAVIMO PROGRAMINIŲ ĮRANKIŲ GALIMYBĖS

Kiekvienas kada nors sukurtas metodas pirminėje stadijoje užrašomas ranka bei juodraščiuose, kuriuose daugybę kartų yra kruopščiai analizuojamas ir skaičiuojamas. Tačiau technologinė pažanga jau įrodė savo pranašumą perkelti skaičiavimus į programas, kurios padeda sukurti ir optimizuoti didelės apimties skaičiavimus bei algoritmus (Azhar 2011). Kalbant apie kalendorinio planavimo metodų integraciją į programinius paketus – tai galime vadinti šio amžiaus laimėjimu. Laiko skalėje galime matyti ne tik būtiniausias užduotis, tačiau taip pat lengvai galime matyti ir resursus toms užduotims atlikti (Schieg 2010).

Lietuvos statybų sektoriuje vis dažniau atsiranda tokie terminai, kaip: *BIM*, *LEED*, *BREEM*, *LEAN* ir t.t. O tai reiškia, kad statybų organizacijos linkusios keisti nusistovėjusią tvarką, siekia aukštesnių tikslų ir vis dažniau atsižvelgia į efektyvesnes ir aplinkai draugiškas technologijas.

Tam, kad būtų teisingai ir sėkmingai panaudoti technologiniai sprendimai, būtina kruopščiai išanalizuoti visą projektą, jo eigą ir kertinius statybos etapus. *BIM* struktūra leidžia įgyvendinti statybos planavimo, statybos valdymo ir priežiūros procesus, o galutinis pastato statybų

efektyvumo rezultatas įvertinamas *LEED* arba *BREEM* sertifikatais. Šie sertifikatai žymi efektyvų medžiagų panaudojimą bei technologinių procesų pritaikymą statybose, o tai reiškia, kad šie veiksniai turi būti iš anksto suplanuoti ir apgalvoti (Azhar 2011).

Norint efektyviai išnaudoti *BIM* privalumus viso projekto valdyme rekomenduotina naudoti naujausias programines įrangas, tokias kaip:

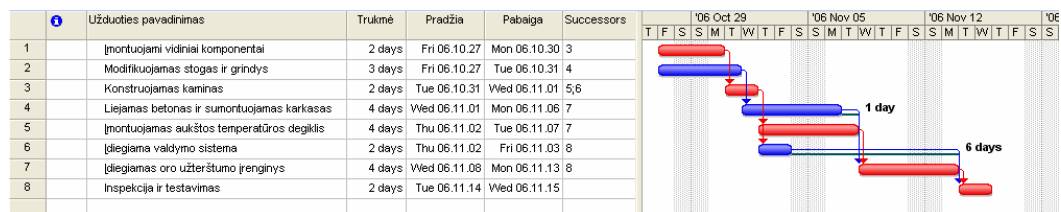
- „VICO Office“;
- „RIB iTWO“;
- „SYNCHRO software“;
- „Autodesk Navisworks“;
- „Bentley Navigator“;

Šie programinės įrangos paketai leidžia valdyti projektų kalendorinius grafikus, išteklių paskirstymą bei išlaidas, sukuriant 4D ir 5D sistemas. Tačiau realybėje dauguma statybos įmonių vis dar naudoja, klasikinius tapusius, kalendorinio planavimo metodus bei programines įrangas, tokias kaip MS Project.

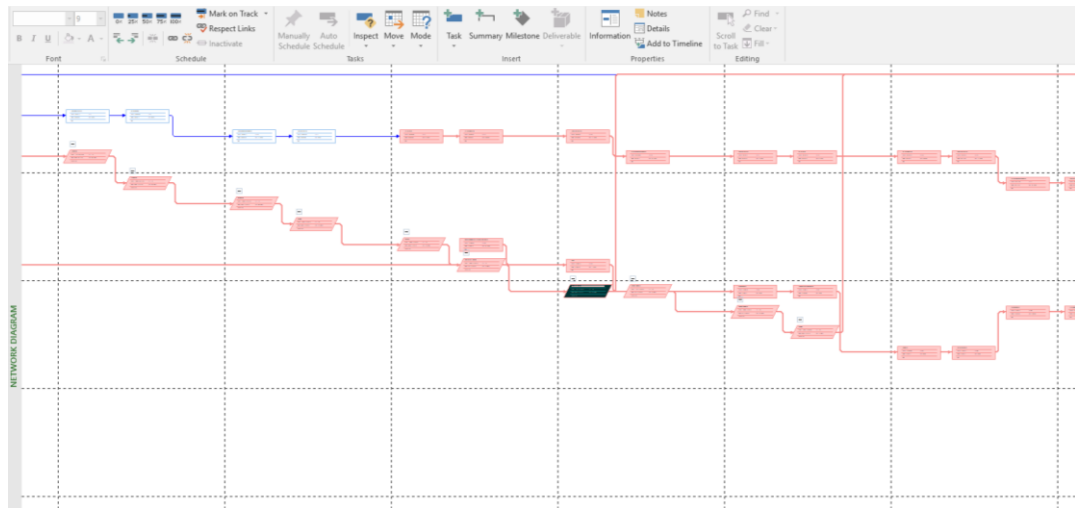
2.2.1 MS Project programinės įrangos apžvalga

MS Project – tai programinės įrangos paketas, skirtas projektų kalendorinio grafiko sudarymui. Šios programos algoritmas sukurtas remiantis kritinio kelio metodo skaičiavimais, kurie leidžia nustatyti darbų grandinės priklausomybes. Programiniai skaičiavimai leidžia laiko skalėje susieti didelės apimties darbų grandines ir jas optimizuoti pasitelkiant resursų bei medžiagų skaičiavimus. Taip pat galima nustatyti projekto darbų atlikimo fiksaciją bei matyti sąnaudų pasiskirstymą visoje projekto eigoje. Projekto analizė leidžia perskirstyti darbus pagal grupes ir susumuoti bendras išlaidas atskiriems projekto etapams. Taip galima lengvai sumuoti darbų išlaidas ir paskirstyti resursus (Rutkauskaitė 2010).

MS Project programa atvaizduoja darbų sekas *Ganto* diagramose (žr. 9 pav.), o darbų grandinės - tinkliniame grafike. (žr. 10 pav.)



9 pav. Projekto atvaizdavimas *Ganto* diagramoje [21]



10 pav. Projekto atvaizdavimas tinkliniame grafike

Darbas su ištekliais nėra pagrindinė šios programos stiprybė, tačiau susidariusius nesklaidumus galima spręsti tiek rankiniu tiek automatinio būdu. Norint pašalinti išteklių konfliktus rankiniu būdu, reikia (Baldwin ir Bardoli 2014):

- Kritiniam darbui padidinti išteklių kiekį;
- Pakeisti darbo pradžios ir pabaigos laikus arba darbą padalinti;
- Padidinti darbo krūvį - skirti viršvalandžius;
- Iš naujo perskirstyti darbų išteklius;
- Nuimti esamus darbų apribojimus.

Tokiu būdu bus galima išvengti darbų vėlavimų ir darbų susikirtimų.

Darbų apribojimų funkcija padeda spręsti darbų persidengimus ir leidžia keisti darbų ryšius ir palengvina kritinio kelio uždavinius. Darbų apribojimo tipai pateikti 3 lentelėje (Rutkauskaitė 2010).

3 lentelė. Darbų apribojimų tipai

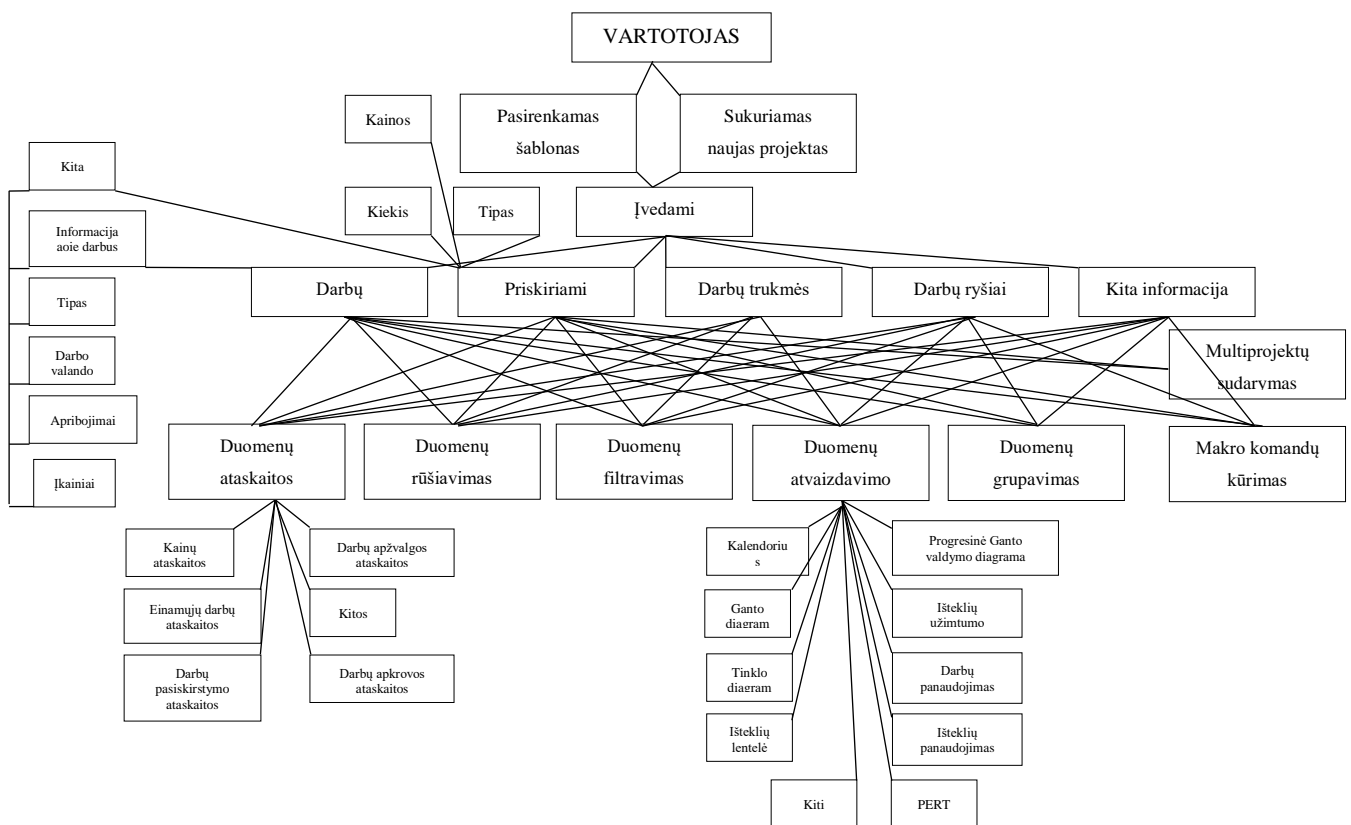
Apribojimo tipas (Constraint type)	Aprašymas
As soon as possible (ASAP)	Darbas prasideda kiek galima greičiau
As late as possible (ALAP)	Darbas prasideda kiek galima vėliau
Finish no earlier than (FNET)	Darbas baigiamas ne anksčiau, negu
Start no earlier than (SNET)	Darbas prasideda ne anksčiau, negu
Start no later than (SNLT)	Darbas pasideda ne vėliau, negu
Finish no later than (FNLT)	Dabas baigiasi ne vėliau, negu
Must finish on (MFO)	Darbas turi pasibaigti nurodytų metu
Must start on (MSO)	Darbas turi prasidėti nurodytu metu

MS Project programoje, projekto darbams, galima priskirti įvairaus tipo išteklius, kurie skirstomi į dvi grupes :

- Darbo – ištekliai kuriems taikomas valandinis apmokestinimas.
- Materialieji – įvairios medžiagos, gaminiai, kuriuos galima išmatuoti.

Priskirti ištekliai su kainomis gali apskaičiuoti visą numatyto darbo kainą ir taip suteikti papildomos informacijos darbų sąmatų skaičiavimui. Vėliau visas išteklių ir finansinių resursų sąnaudas galima pateikti ataskaitose (Ringys 2008).

Šioje programinėje įrangoje yra sukurti visi įrankiai ir didelių, ir mažų projektų valdymui, tačiau iš esmės veiksmų grupės tiek vienu, tiek kitu atveju yra panašios. Darbinės srities modelis (žr. 11 pav.) atvaizduoja, kokios užduotys dažniausiai reikalingos planuojant tiek statybos, tiek kitų projektų kalendorinius planus (Rutkauskaitė 2010).



11pav. Darbinės srities modelis [21]

MS Project programinės įrangos paketas leidžia optimaliai sukurti kalendorinį planą bei jį įgyvendinti, sekant numatytus darbus bei stebint kritinio kelio eigą. Ši programa dar ilgai nebus išstumta iš populiariausių kalendorinio plano sudarymo programų dešimtuko, tačiau pažangesnės sistemos yra labiau prisitaikiusios prie pokyčių ir šiuolaikinių reikalavimų.

2.2.2 VICO Office programinės įrangos apžvalga

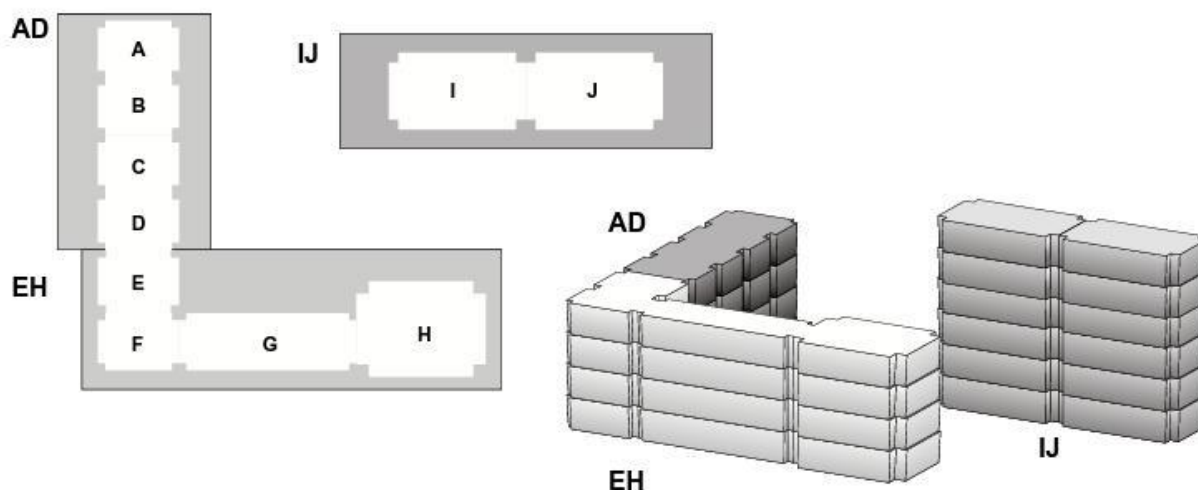
VICO Office - programinė įranga sukurta tik statybos projektų kalendoriniam planavimui ir yra pritaikyta 4D bei 5D BIM projektų įgyvendinimui ir valdymui. Šios programinės įrangos sistema paremta LBMS metodikomis, o jų taikymas - duomenimis, gautais tiesiai iš 3D modelio (Dave, Seppanen ir Modrich 2016).

Ši programinė įranga padeda sumažinti projekto riziką, o tuo pačiu padeda įgyvendinti:

- aiškias projekto prielaidas;
- nenutrūkstamą procesą;
- ne pagal reikalavimus pagrįstas prognozes, o pagal formulę numatytą projekto tolimesnę eigą;
- išlaidų tikrinimą pagal projekto eigą.

Kadangi LBMS metodo pagrindas yra projekto paskirstymas zonomis, tad priimant jas kaip analizės vienetą pirmiausia nustatoma projekto zonų hierarchija. Naudojant šį metodą būtina nustatyti tinkamą statybos projekto tikslumo lygį, priskiriant kiekių ir išteklių informaciją. Kiekviena zona nusakoma kaip unikali vieta viso projekto geografiijoje, o skirtingose projekto hierarchijos lygmenyse priskiriami fiziniai vienetai, sudarantys visą projektą.

Pateiktame pavyzdyje projektas (žr. 12 pav.) suskirstytas į 3 didelius blokus (AD, EH ir IJ), kurių fizinės charakteristikos yra daugiau mažiau panašios. Didžiausias lygis sudarytas iš trijų blokų, kurių žemesniame lygmenyje yra dešimt A-J sekcijų, o kiekvienoje sekcijoje yra nurodyti pastatų aukštai. (Kenley ir Seppänen 2009)

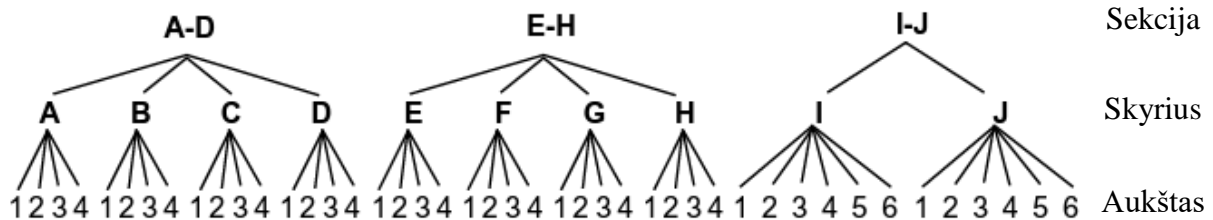


12pav. Projekto suskirstymas [11]

Nustatant skirtingus projekto hierarchinius lygius ir zonas (žr. 13 pav.) remiamasi tam tikrais kriterijais (Kenley ir Seppänen 2009):

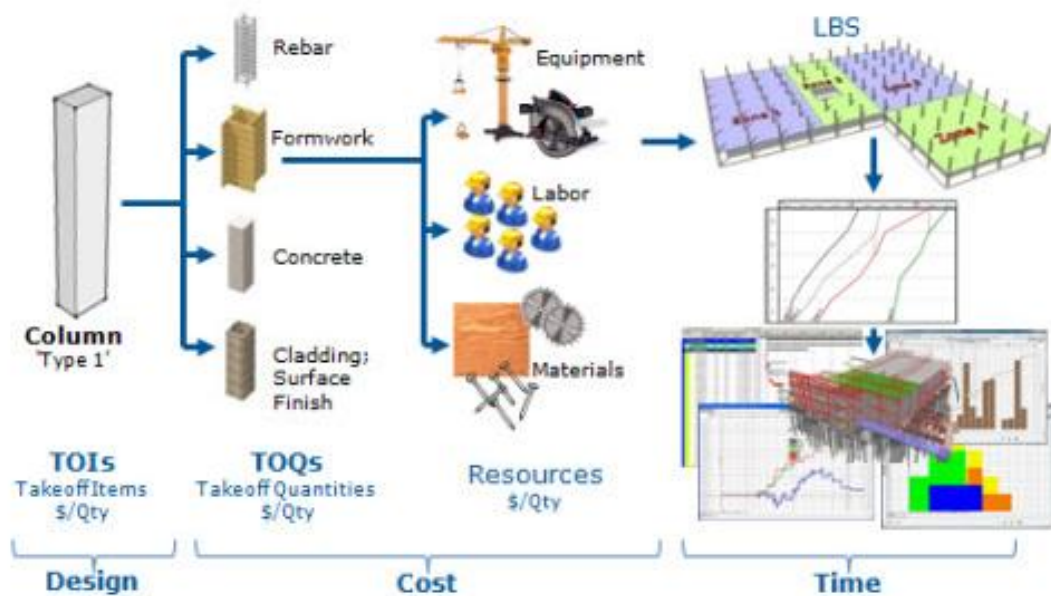
- aukščiausias hierarchijos lygis sudaromas iš pastatų ar didelių pastato dalių;

- tarpiniai lygiai nustatomi pagal darbo eigą logiškoms užduotims atlikti;
- žemiausi lygiai sudaromi išplečiant darbus į mažesnius etapus pagal numatomus darbų pasikartojimus ir brigadų paskirstymą tam, kad palengvinti projekto pažangos stebėjimą ir kontrolę.



13pav. Hierarchinė projekto dalių schema [11]

Darbų kiekių poreikis nurodo, kokie darbai turi būti atlikti nurodytoje vietoje, o ten numatytos užduotys apibrėžia, kokius darbus atliks toje vietoje paskirta brigada. Skirtingose vietose numatomi darbai gali skirtis savo pobūdžiu, matavimo vienetais ir kiekiais (žr.14 pav.). Pirmiausia sukuriama hierarchinė schema, o tik po to darbams priskiriami kiekiai. Jie turi būti suskirstomi į darbų grupes, kurios paskiriamos tą darbo pobūdį atitinkamoms brigadoms. Laikantis projekto logikos, brigados pirmiausia turi atlikti darbus numatytose vietose ir tik po to judėti prie kitų (Vicosoftware 2016).



14pav. 4D informacija apie statybinį vieneta. [30]

Darbų kiekiai skaičiuojami pagal sąnaudas numatytas konkrečiose zonose (žemiausiame lygmenyje). Priskiriant darbų kiekius brigadoms, atsižvelgiama į sąnaudų rodiklius, turimus išteklius, brigados sudarymą bei produktyvumą. Žinant šią informaciją galima apskaičiuoti darbų trukmę.

VICO Office leidžia išnaudoti 4 ir 5 dimensijų *BIM* galimybes panaudojant 3D modelį, sukurtą įvairiomis programomis. 3D modelį programa priima tiesioginiu ryšiu eksportuojant duomenis tiesiai iš kitų programinių paketų, tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad perkeliant 3D modelį būtinas abiejų programų aktyvumas vartotojo darbalaukyje. Tačiau įkėlus pirminį failą į *VICO Office* juo galima naudotis neaktyvuojant kitos programinės įrangos.

4 dimensijų modeliavimas, *VICO Office* programa, leidžia panaudoti tiesioginius 3D modelio resursus, o nustčius LBS struktūrizuoti darbų pasiskirstymą projekto erdvėje. Tokiu būdu sukuriamas tiesioginis kalendorinio grafiko ryšys su 3D modeliu ir susiejamas išteklių panaudojimas konkrečioms 3D modelio dalims įgyvendinti. Kaip teigia Reizgevičius ir Reizgevičienė (2012) savo darbe, keturių dimensijų modeliavimas sumažina, prieigos prie statybos projekto informacijos, poreikį net iki 12% lyginant su 2D modeliu, o klaidų tikimybę gali sumažinti net iki 40%. Toks efektyvumas rodo, kad išnaudojant 4D modelio galimybes sukuriama didesnė pridėtinė vertė.

2.3 VIETA PAGRĮSTŲ METODŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS

Statybos kalendorinio planavimo metodai priklauso nuo to, kokiais valdymo metodais remiasi visas statybos projektas. Todėl kalendorinio planavimo metodai turi spręsti bendrą planavimo strategiją ir įgyvendinti tuos pačius tikslus.

Naudojant veikla paremtus kalendorinio planavimo metodus, visai planavimo strategijai dažniausiai pasirenkamas *CPM* metodas. Pasikliaujant *CPM* metodo logika planuojant darbus, daugiausia nagrinėjama kritinio kelio grandinė, kuri nurodo anksčiausiąją darbų pabaigą bei gali įspėti, kai darbai artėja prie numatytos kritinio kelio pabaigos datos. Dabartinė veikla pagrįstų metodų praktika rodo, kad visa metodika priklauso nuo iš anksto numatytų grafikų. Vykdamas statybos darbus grafikas nuolat atnaujinamas, naudojant faktines darbų atlikimo datas, todėl pirmiausia vertinami kritinės grandinės darbai, kurie turi įtaką viso statybos projekto užbaigimui. Atnaujinius grafikus, projekto vadovas gali matyti kritinės grandinės pasikeitimus bei koreguojant tvarkaraštį išvengti projektų vėlavimo (Seppanen 2009).

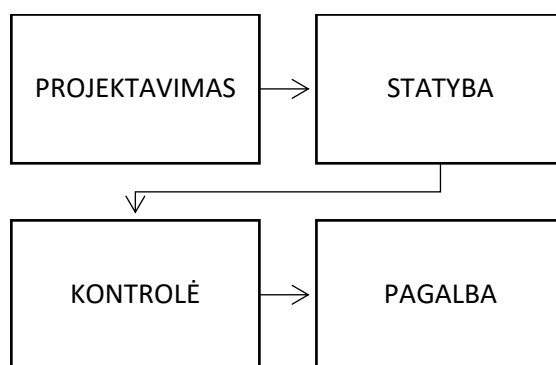
Priešingai nei Kritinio kelio metodas, *LBMS* metodika sprendžia kalendorinio grafiko pasikeitimus realiu laiku. Naudojant šiuos metodus galima vizualiai palyginti einamųjų darbų grafiko pažangą su iš anksto numatytu grafiku toje pačioje schemoje. Suomijoje šiuos metodus plačiai tyrinėja dėl jų efektyvumo ir artimo ryšio su „*LEAN*“ strategijos naudojimu statybos projektų valdyme.

Vieta pagrįstos sistemos tiesiogiai susijusios su „*LEAN*“ strategija, nes jos sprendžia pagrindinį šio projektų valdymo strategijos tikslą – mažinti produkcijos atliekas, didinti našumą ir

mažinti pakeitimus. Naudojant tradicinius veikla pagrįstus planavimo metodus neįmanoma laikytis „LEAN“ strategijos taisyklių, nes jie nėra pakankamai geri, kad sukurtų pridėtinę vertę projekto užsakovams bei užtikrintų minimalius laiko, kokybės ir biudžeto reikalavimus. (Bradley A. Hyatt 2011)

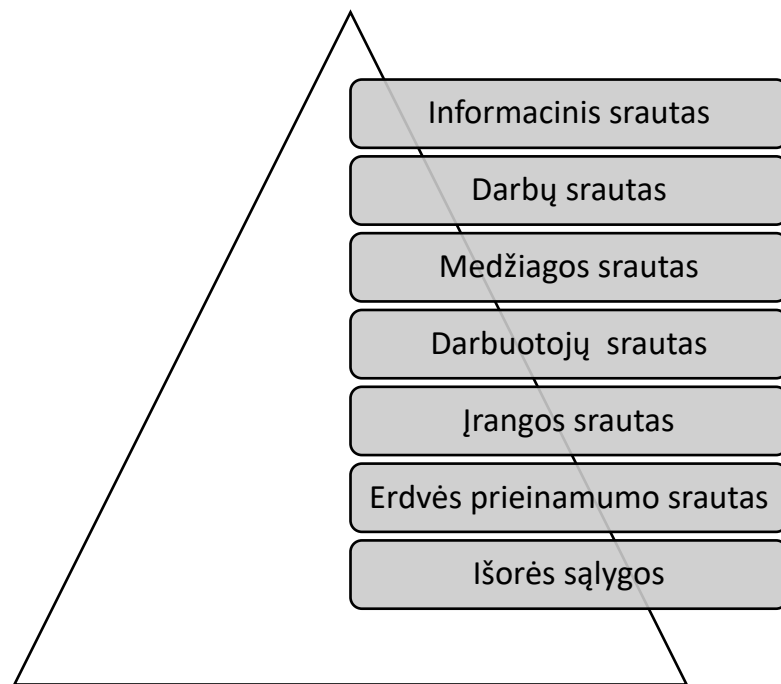
LBMS daugiausia dėmesio skiria darbo išteklių srautams suvaldyti, kad būtų nuosekliai užpildytos visos numatytos darbų paskirstymo vietos (lokacijos). „LEAN“ strategija daugiausiai dėmesio sutelkia į skirtingų resursų skirtingų darbų seką. Kitaip tariant baigus vieną darbą, prasideda kitas. Tai reiškia, kad vadovaujantis „LEAN“ strategija gali būti naudojami keli resursai atlikti tai pačiai užduočiai, tuo tarpu LBMS metodo nurodyti resursai vykdo paskirtą užduotį ir orientuojasi į geriausią rezultatą. (Seppanen, Ballard ir Pesonen 2010)

Vadovaujantis „LEAN“ strategija, statybos projektas suprantamas kaip plati gamybos grandinė (žr. 15 pav.) su integruotais skirtingais srautais. Galima išskirti du pagrindinius procesus - projektavimo ir statybos, kurie apima medžiagas ir darbo jėgos išteklių srautus, o juos galima papildyti papildomais kontrolės ir pagalbos srautais (Wang, et al. 2004).



15 pav. Gamybos grandinė statybos valdyje [30]

Projekto planavimo principus galima pagrįsti nurodytais srautais (žr.16 pav.), kur kiekvienas srautas yra procesas ir pasižymi savita trukme ir sąnaudomis, o galutiniame projekto rezultate klientui sukuria tam tikrą vertę. Darbų trukmė ir kaina nustatoma, atsižvelgiant į projekto veiklos efektyvumą, pridėtinės vertės ir pridėtinę vertę papildančias veiklas (Bradley A. Hyatt 2011).



16pav. Statybos planavime naudojami srautiniai duomenys

LBMS metodika leidžia naudoti ir tobulinti projekto duomenis pakartotinai, kad būtų galima atlikti tą patį procesą kelis kartus. Kritinio kelio metoduose - duomenų įvestis yra vienintelis duomenų šaltinis visoje duomenų sistemoje, šie metodai neleidžia atlikti poveikio analizės ir duomenų tobulinimo, *LBMS* metodai turi didelį pranašumą. Tokiu atveju tradiciniai veikla pagrįsti metodai neturi galimybės įgyvendinti *LEAN* strategijos, o *LBMS* metodų mechanizmai leidžia atlikti kartotinius procesus kurie numatomi *LEAN* strategijoje (Seppanen 2009).

LBMS metodai suteikia galimybę sugrįžti į pradinį grafiką jau po atliktų pakeitimų ir atnaujinimo. Visi statybos proceso dalyviai remiasi grafiko atnaujinimais, todėl resursų pokyčiai gali iš esmės keisti visą projekto eigą ir resursų pasiskirstymą. *LBMS* sistema atpažįsta keturis informacijos etapus (Seppanen, Modrich ir Ballard 2015):

- pradinis etapas – šiame etape patvirtinamas pradinis vieta pagrįstų metodų plano modelis su grafiko užduotimis. Pradinis planas gali būti keičiamas tik su projekto užsakovo patvirtinimu, nebent yra vėlavimų dėl užsakovo kaltės. Pradiniame etape numatomi visi viešieji pirkimai, subrangos įsipareigojimai ir sutartys bei pažangos etapo informacija, kuri nurodo apribojimus detaliesiems grafikams. Norint pasiekti šiuos tikslus būtina laikytis numatyta bazinio plano.
- dabarties etapas – šio etapo principai labai panašūs į pradinio etapo, tačiau čia priimama pasikeitimų būtinybė ir nauja informacija, kuri nebuvo prieinama pradiniame etape. Dabarties etape pateikiama pradinio etapo informacija, į kurią galima pridėti naujus dabarties kiekius bei įtraukti naujas užduočių rinkinius ir taip kontroliuoti planavimo pokyčius. Valdant statybos procesą būtina sekti bet kokius

kiekių pokyčius viso projekto metu, o pradiniam etape numatyti kiekiai yra tik prielaida ir gali būti įvertinti netiksliai. Gavus naujus duomenis apie projekto sąnaudas, patikslinti kiekiai gali atskleisti ankstesnių skaičiavimų klaidas ir gali skirtis nuo pradinio modelio. Šie pakitimai taip pat turi įtaką ir darbo užduočių trukmei.

- pažangos etapas – šiame etape stebimas faktinis projekto rezultatų pokytis ir kiekvieno darbo detalūs duomenys. Statybos progresas matuojamas, užrašant kiekvienos užduoties pradžios ir pabaigos laikus nustatytoje užduoties vietoje.
- prognozės etapas – šiame etape naudojamas dabarties etapo planas ir pažangos etapo duomenys, kurie leidžia apskaičiuoti prognozuojamą darbų grafiką. Prognozė skaičiuojama pagal numatytą logiką, kuria siekiama įvertinti bet kokius nuokrypius. Šiomis prognozėmis vadovaujasi projektų vadovai, kad išvengtų nukrypimų nuo pradinio plano ir imtųsi veiksmų, keičiant tam tikras užduotis. Prognozės reikalingos įspėti apie galimus nuokrypius ir leidžia laiku reaguoti, o ne tik įrašyti nuokrypius ir pataisymus.

Pasak *LBMS* metodų tyrinėtojo O. Seppanen (2009) naudojant kritinio kelio metodą grafike nurodoma tik darbo trukmė ir priklausomybės, o projekto vadovas (arba plano sudarytojas) yra vienintelis, kuris gali paaiškinti projekto logiką ir trukmę. *LBMS* metodai kitaip nei kritinio kelio metodai, darbo trukmę nurodo kiekių, produktyvumo ir išteklių panaudojimo funkcijomis, todėl norint keisti trukmę, turi keistis bent vienas iš šių komponentų. Pagal kritinio kelio metodą negalima prieštarauti projekto trukmei, nes bet kuri trukmė yra teisinga.

LBMS kalendorinio planavimo metodas buvo sukurtas būtent statybų sektoriui, todėl jis iš esmės sprendžia esminius statybos procesų klausimus ir palengvina visų statybos projekte dalyvaujančių dalyvių užduotis.

3. TYRIAMOJI DALIS

3.1 TYRIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS

Dėl temos naujumo ir šiuolaikinių kalendorinio planavimo metodų taikymo stokos mūsų šalyje, šiam darbui pasirinktas mišrus tyrimas, kurio metu, teoriniai rezultatai bus paremti atlikto praktinio darbo rezultatais.

Šis tyrimas bus vykdomas analizuojant surinktą literatūros medžiagą, vertinant pateiktas išvalgas bei kitų mokslinių tyrimų rezultatus, taip pat juos paremiant praktinėje dalyje surinktais pirminiais duomenimis.

Praktinėje užduotyje bus analizuojami pasirinkto pastato statybos darbai, kuriamas kalendorinis darbų planas. Apžvelgus literatūroje randamus kalendorinio planavimo metodų teorines ir praktines pritaikymo galimybes bei išsiaiškinus, kaip šie metodai veikia planuojant statybos darbus, svarbu atsakyti į klausimą: kokie šių metodologijų privalumai ir trūkumai taikant juos statybų aikštelėje ir kuris metodas statybos projektuose veikia tikslingiau.

3.1.1 Duomenų apžvalga

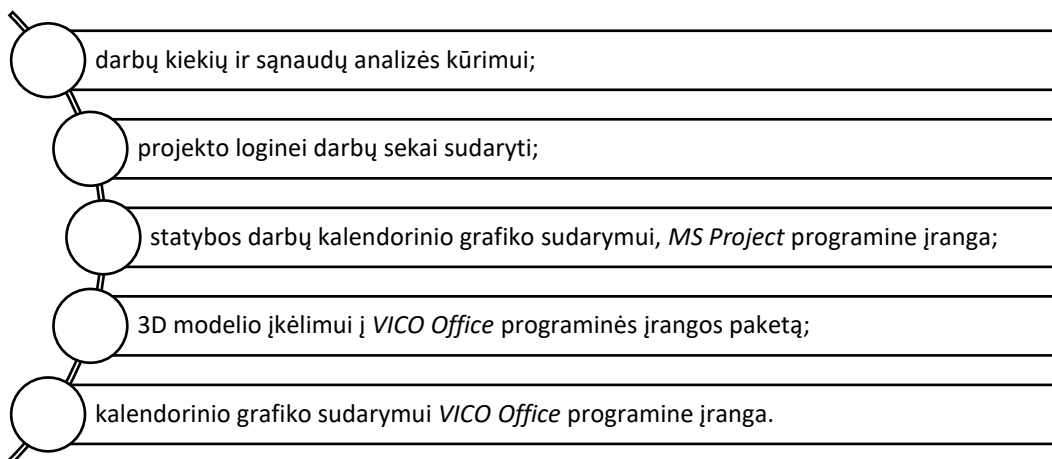
Tam, kad būtų atliktas praktinis tyrimas, reikalingi realaus statybos projekto duomenys, informacija bei statybos projekto apžvalga. Duomenims gauti buvo kreiptasi į statybos įmonę *PRIMLT* kuri šiais metais baigė vykdyti dviejų daugiabučių namų statybos darbus. Iš įmonės buvo gauti šie duomenys:

- statinių 3D modelis atliktas *ArchiCAD* programine įranga;
- pastatų monolitinių konstrukcijų kiekių žiniaraštis.

Taip pat buvo sutarta, kad įmonei atstovaujantis asmuo galėtų plačiau papasakoti apie projektą ir darbų eigą bei atsakyti į iškilančius klausimus tiriamojo darbo metu.

3.1.2 Duomenų panaudojimas

Duomenys reikalingi statybos darbų kalendorinių grafikų kūrimui, naudojant du skirtingus kalendorinio planavimo metodus. Apdoroti duomenys bus panaudoti kalendorinio grafiko sudarymui *MS Project* ir *VICO Office* programinėmis įrangomis. Tyrimui atlikti naudojamas 3D modelis iš esmės yra 3 dimensijų duomenų bazė, kuri talpina visą reikiamą informaciją apie projekto parametrus, geometriją, medžiagiškumą ir kt. Tačiau skirtingose programose ši informacija perteikiama ne vienodai, todėl svarbu informaciją panaudoti tikslingai (žr. 17 pav.).



17pav. Duomenų panaudojimo struktūra

Metodų palyginimui buvo pasirinktas plačiai naudojamas kritinio kelio metodas ir Lietuvoje dar nepritaikytas *LBMS* metodas. Šių metodų palyginamajai analizei atlikti buvo pasirinktas jau įgyvendintas naujos statybos projektas adresu, Vinių g. 4, Kaunas.

Iš projekto architektų buvo gautas statinių 3D modelis, nubraižytas *ArchiCAD* programine įranga ir projekto duomenų žiniaraštis su informacija apie pastato monolitinių dalių kiekius, projekto autoriai daugiau duomenų nepateikė.

Tad norint pasiekti iškeltus tikslus buvo numatyti šie uždaviniai:

- projekto duomenų analizė;
- 3D modelio apdorojimas;
- 3D modelio įkėlimas į *VICO Office* programine įranga;
- projekto kalendorinio grafiko kūrimas *MS Project* programine įranga;
- projekto kalendorinio grafiko kūrimas *VICO Office* programine įranga;

Sudarant statybos projekto kalendorinį grafiką reikia atsižvelgti į turimus duomenis, o kiekviena duomenų grupė gali padėti analizuoti viso projekto įgyvendinimą vis plačiau. Toliau (žr. 18 pav.) pavaizduoti duomenys reikalingi kalendoriniam planui sudaryti.

Statybos projektas	Medžiagos ir kiekiai	Resursai
<ul style="list-style-type: none"> • Brėžiniai • 3D modelis • Sklypo planas • Gruntiniai tyrimai 	<ul style="list-style-type: none"> • Objekto struktūra • Technologiniai procesai <ul style="list-style-type: none"> • Kiekių žiniaraščiai • Medžiagų poreikis 	<ul style="list-style-type: none"> • Statybininkų brigadų poreikis • Darbo metodai • Mechanizmai ir įrenginiai <ul style="list-style-type: none"> • Šamatos • Darbo užmokėstis

18pav. Duomenys reikalingi statybos projekto kalendoriniam planui sudaryti

3.2 PROJEKTO DUOMENŲ ANALIZĖ IR IŠŠŪKIAI

Pasirinkto projekto analizė iškėlė nemažai iššūkių, su kuriais teko susidurti nuo pat projekto pasirinkimo pradžios. Gautiems duomenims apdoroti prireikė nemažai laiko, o mažas duomenų kiekis privertė ieškoti alternatyvių sprendimų.

Pagrindiniai pasirinkto projekto parametrai (žr. 4 lentelę):

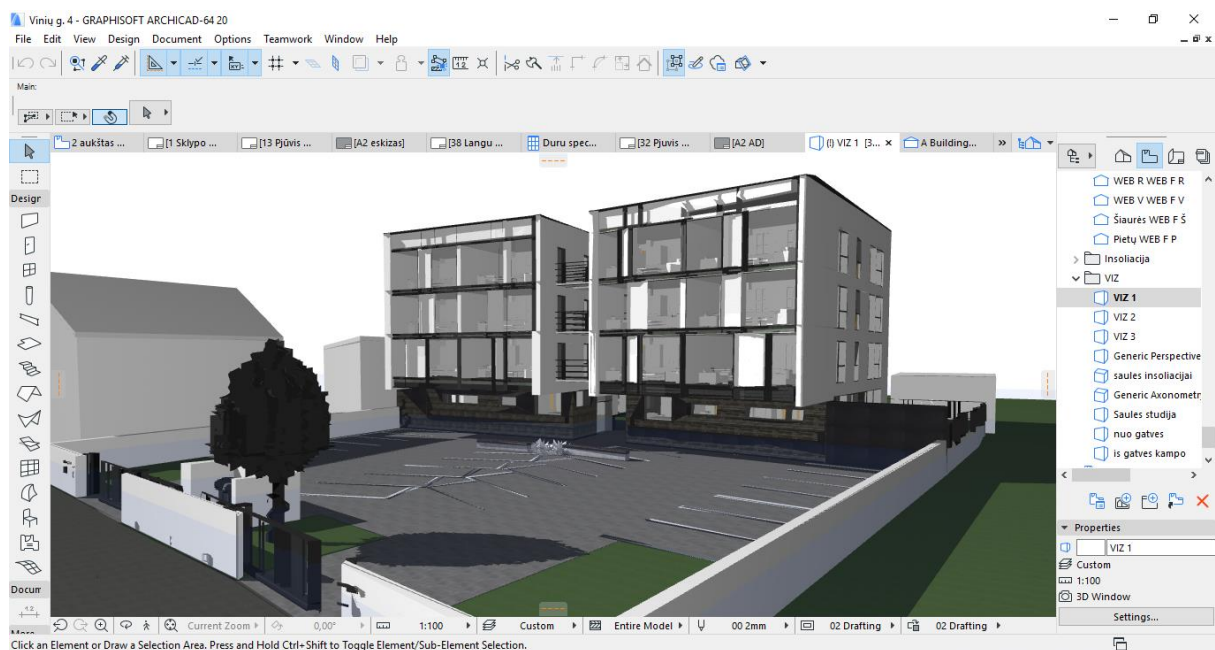
4 lentelė. Pasirinkto projekto parametrai

Sklypo plotas	16,28 a
Pastatų skaičius	2
Bendras pastatų plotas	1050 m ²
Aukštų skaičius	4
Butų skaičius	30

3.2.1 3D modelio atkūrimas

Projekto 3D modelis buvo gautas *ArchiCAD* faile, o papildoma informacija apie kiekius buvo minimali. Gauti žiniaraščiai ir projekto duomenys buvo skirti tik monolitinėms konstrukcijoms aprašyti.

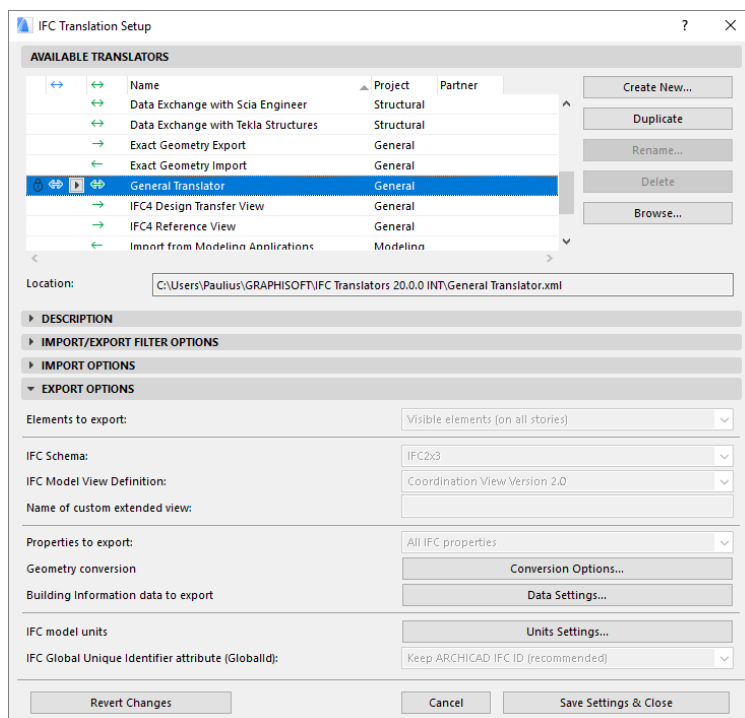
Norint atidaryti 3D modelio failą buvo reikalinga *ArchiCAD* programinė įranga. Šios įrangos prieinamumas ribotas, o universitetas šios programinės įrangos neturi. Užsibrėžtiems tikslams įgyvendinti buvo atsiųsta *ArchiCAD* programinės įrangos bandomoji versija (1 mėn.), kuri leido atkurti turimą failą ir taip peržiūrėti ten esamus duomenis (žr. 19 pav.).



19pav. 3D modelis ArchiCAD aplinkoje

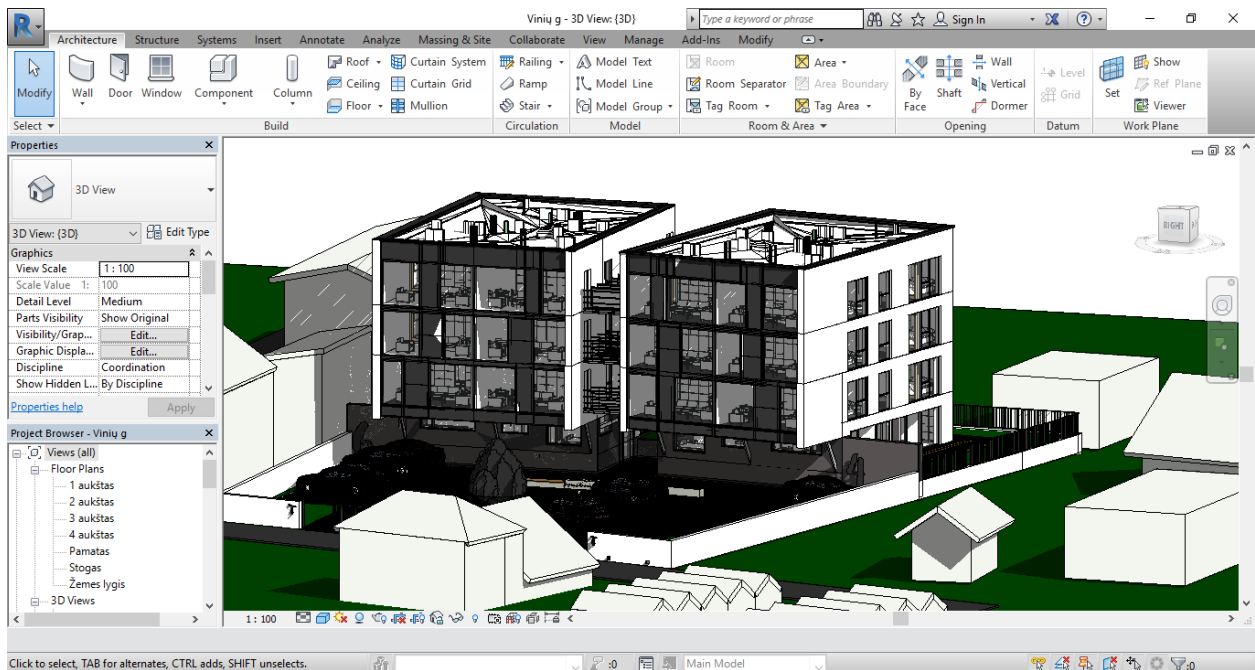
Atvertas failas leido peržiūrėti suprojektuotų pastatų 3D modelį, taip pat peržiūrėti sklypo planą, suprojektuotų butų informaciją ir bendrus projektinius duomenis skirtus statybų leidimui gauti. Tačiau nebuvo informacijos apie statybinius kiekius, medžiagas ar medžiagų poreikį. Remiantis D.Miglinsko (2012) vykdytais tyrimais, norint apdoroti 3D modelį būtina sukaupti atributinę informaciją apie statybinius kiekius, medžiagas ir jų paskirtį.

Nors *ArchiCAD* programinė įranga turi plėtinį kuris gali eksportuoti 3D modelio informaciją tiesiogiai į *VICO Office* programinę įrangą, tačiau galimybės, šias dvi programas turėti vieno kompiuterio aplinkoje, nebuvo. Tam, kad būtų gauti 3D modelio duomenys reikėjo išmokti valdyti *ArchiCAD* programinę įrangą. Vis dėl to norint greičiau pereiti prie kalendorinio planavimo užduočių, buvo priimtas sprendimas – perkelti 3D modelio duomenis į *Autodesk Revit* programinės įrangos aplinką. Projekto 3D failas buvo konvertuojamas į *IFC* formato failą, kurį galėjo atverti *Revit* programinė įranga. Failo perkėlimas į *Revit* programinę įrangą taip pat leido atlikti ir 3D modelio eksportavimą į *VICO Office* programos aplinką.



20pav. IFC failo eksportavimas

Eksportavus 3D modelį į *IFC* formato failą (žr. 20 pav.), pavyko jį atverti *Revit* programine įranga (žr. 21 pav.). Nors failas buvo atidarytas sėkmingai, tačiau failo konvertavimas paveikė failo duomenis ir pakeitė jame esančią informaciją. Buvo prarasta dalis duomenų, nes *IFC* formatas išskaidė visus 3D modelyje esančius atributus į atskirus vienetus su jiems skirta informacija.



21pav. 3D modelis Revit programinės įrangos aplinkoje

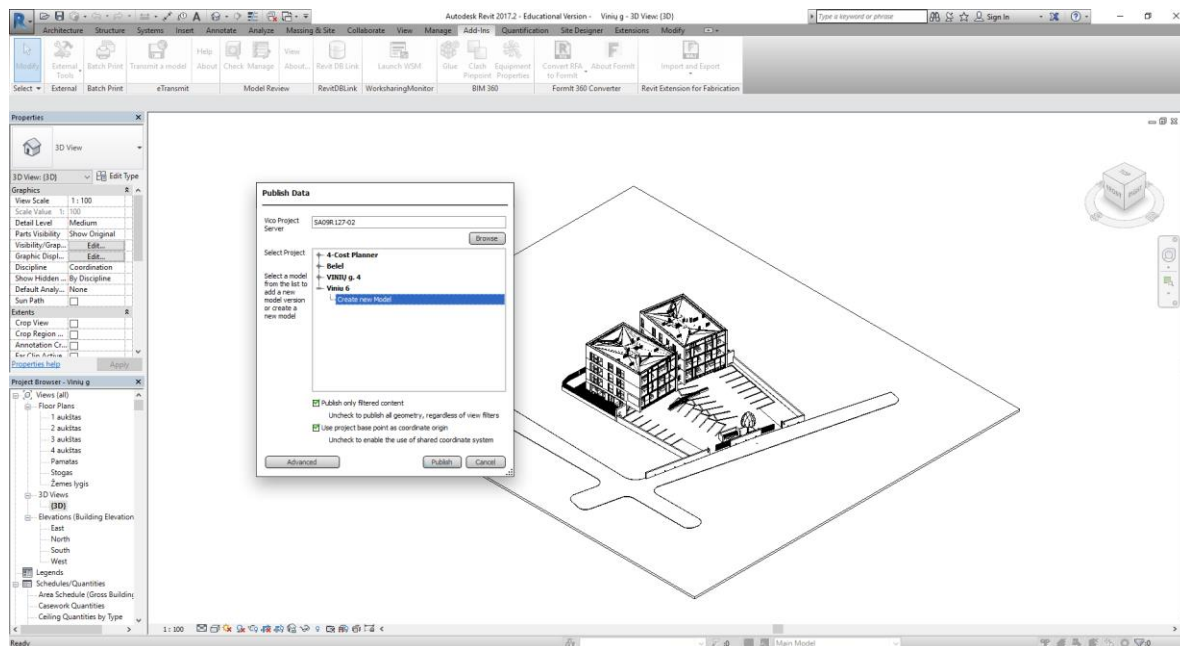
Analizuojant duomenis, *Revit* programoje, pastebėjau, kad duomenų prarasta daugiau nei tikėtasi, o informacija apie pastato medžiagiškumą ir konstrukcijas liko neprieinama.

3.2.2 *VICO Office* programos galimybės

Šiame etape duomenų trūkumas, taikant kritinio kelio metodą, būtų gražines į pradinį tašką kur *ArchiCAD* programinės įrangos pagalba būtų bandoma surasti ir eksportuoti reikiamus kiekių bei medžiagų žiniaraščius bei apskaičiuoti reikalingų darbų sąmatas. Tačiau projekto kalendorinio grafiko planavimui, taikant *VICO Office* programinės įrangos paketą, buvo reikalingas 3D modelis. Tad tęsdamas duomenų perkėlimą į *VICO Office* programinę įrangą, ne tik radau tinkamus sprendimus, tačiau ir sutaupiau laiko analizuojant visus projekto įgyvendinimo etapus.

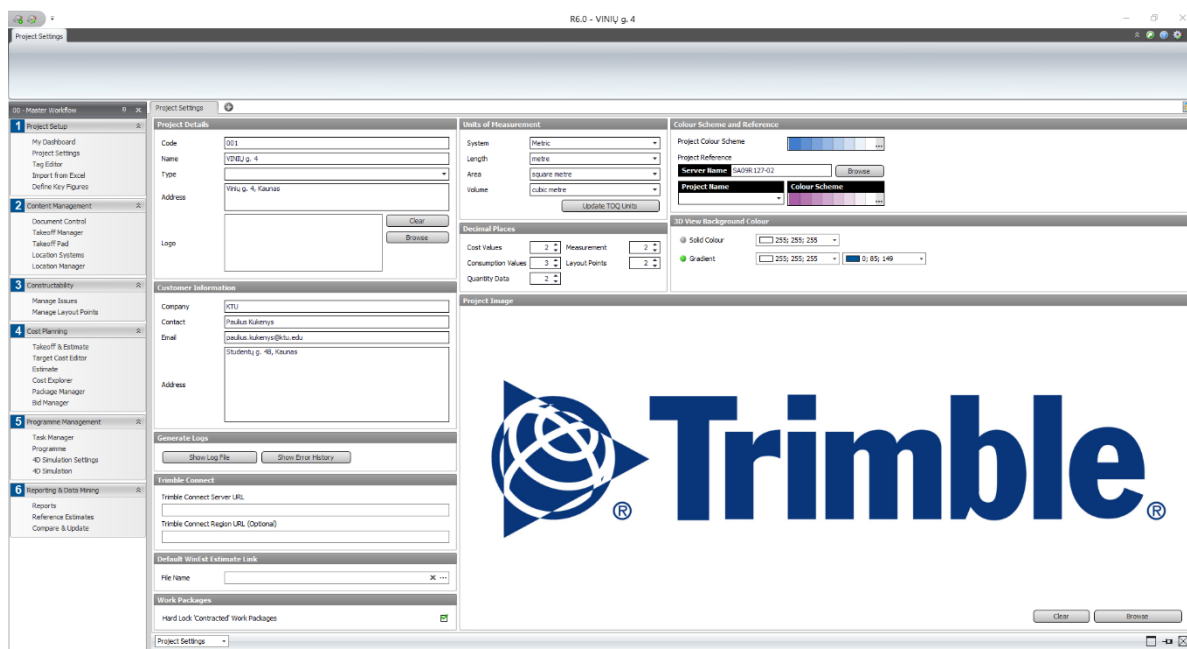
Tolimesnis 3D modelio perkėlimas vyko naudojant *Revit* programinės įrangos eksportavimo įrankį *Publish to VICO Office* (žr. 22 pav.), kurio pagalba buvo perkelta visa turima informacija tiesiogiai į *VICO office* programinę įrangą, nepakeičiant failo informacijos ir neprarandant turimų

duomenų.



22 pav. 3D modelio eksportavimas į VICO Office programą

Tad projektuojant statinį Revit programine įranga arba naudojant ArchiCAD eksportavimo įrankį būtų galima perkelti failus, neprarandant turimos informacijos bei duomenų.

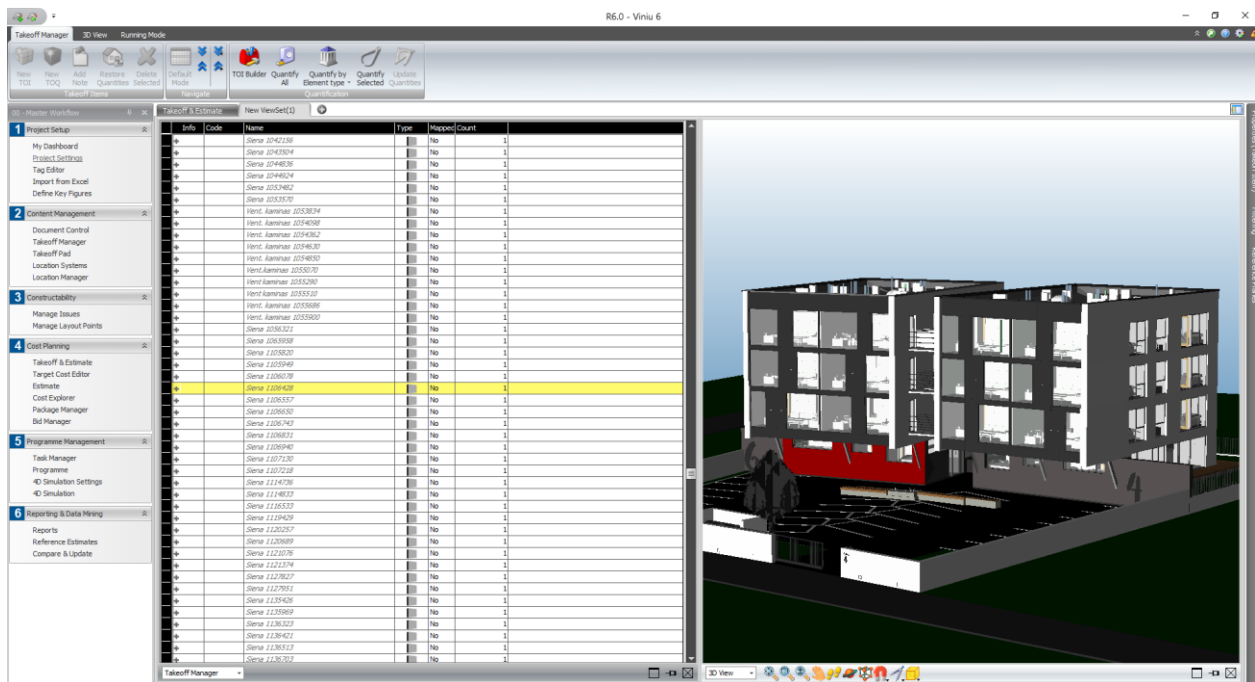


23 pav. Naujo projekto kūrimas VICO Office programoje

Norint teisingai eksportuoti duomenis iš Revit aplinkos, pirmiausia VICO Office programinėje įrangoje buvo sukurtas naujas projektas, kuris patalpinamas į serverį (žr. 23 pav.). Vėliau užrašoma pagrindinė informacija apie projektą ir vykdomas failo eksportavimas iš Revit programinės įrangos (žr. 22 pav.).

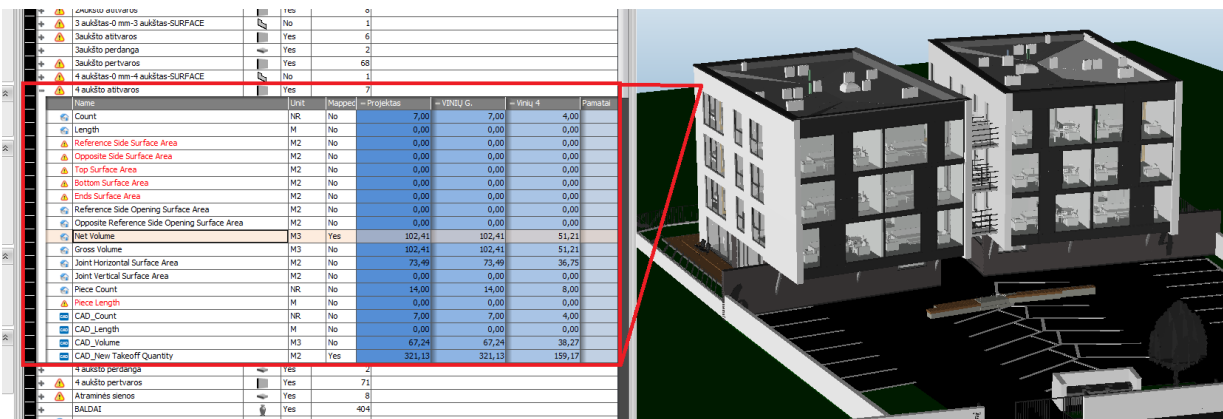
3.2.3 3D modelio atributų grupavimas

Atlikus 3D modelio perkėlimą, toliau analizuojamas projekto duomenų atvaizdavimas. Kaip ir *Revit* programoje modelio atributai buvo perkelti su tais pačiais duomenimis (žr. 24 pav.).



24pav. 3D modelio atributų informacija VICO Office programoje

Tolimesnis darbas su 3D modeliu, leido suskirstyti visą projekto duomenų bazę pagal norimas atributų grupes, tačiau šį darbą reikėjo atlikti rankiniu būdu - buvo prarastas laikas. Tokiu būdu, skirstomi atributai apjungia reikiamą informaciją. Gauti duomenys buvo naudojami ir rengiant kalendorinį planą *MS Project* programine įranga, todėl šios duomenų grupės buvo suskirstytos pagal pastato aukštus (žr. 25 pav.).



25pav. Sugrupuotų atributų informacija

Dalis informacijos vis dėl to nėra prieinama, dėl *IFC* failo trūkumų, tačiau esamos informacijos pakanka, norint apskaičiuoti darbininkų poreikį bei įvertinti darbo sąnaudas.

3.3 DUOMENŲ ANALIZĖS REZULTATAI

Vertinant šios užduoties sudėtingumą, galima teigti, kad skirtingų programinių įrangų naudojimas turi didelę įtaką projekto planavimo eigoje ir iššaukia ne vieną problemišką situaciją, apdorojant jau turimus duomenis. Norint išvengti panašių klaidų, reikia iš anksto numatyti naudojamų programinių paketų bazę ir naudoti vieno tipo failus, kad vėlesniame etape būtų galima atlikti projekto korekcijas bei pataisymus.

3.4 KALENDORINIS PLANAVIMAS

3.4.1 Projekto sąmatos skaičiavimas ir darbų sąnaudos

Pradedant projekto kalendorinių grafikų sudarymą, būtina sužinoti, koks darbininkų poreikis reikalingas atskiroms užduotims atlikti. Vertinant projekto sudėtingumą reikia parinkti duomenų tikslumo lygį ir tokiu būdu toliau skaičiuoti darbų vertes. Kadangi pasirinkto projekto, duomenys yra prarasti, todėl darbų sąmatos apskaičiavimui pasirinktas *LOD100* duomenų tikslumo lygis. Sąmatos skaičiavimui pasirinkta *Sistela* programa (žr. 26 pav.).

Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas	Užraš. norm.kodas
489042	Kranas ant vikšrinės važiuoklės 25 t keliamos:MAŠ.VAL	0.700000	0.382200	31.50	12.04				
489043	Kranas ant vikšrinės važiuoklės 40 t keliamos:MAŠ.VAL	0.880000	0.480480	31.50	15.14				
N9-87	Viso	872.84	Medž.	800.57	Mech.	27.18	D.užm.		45.09
17	17 N9-87					0.546000	1955.4231		1067.66
----- 4a metalinės sijos									
Darbo sąnaudos (kat= 4.25) Em.val.									
120038	Suvirinimo elektrodai	KG	2.500000	1.365000	1.94	2.65			
120051	Tvirtinimo varžtai (įvairūs)	KG	3.500000	1.911000	1.92	3.67			
260049	Plginių ir sijų konstrukcijos	T	1.000000	0.546000	1454.53	794.17			
520352	Pagalbinės plieninės montажinės konstrukcijos	T	0.000100	0.000055	1454.53	0.08			
489042	Kranas ant vikšrinės važiuoklės 25 t keliamos:MAŠ.VAL	0.700000	0.382200	31.50	12.04				
489043	Kranas ant vikšrinės važiuoklės 40 t keliamos:MAŠ.VAL	0.880000	0.480480	31.50	15.14				
N9-87	Viso	872.84	Medž.	800.57	Mech.	27.18	D.užm.		45.09
18	18 N7-51					4.000000	11.3590		45.44
----- 4 a. sąramos									
Darbo sąnaudos (kat= 3.78) Em.val.									
260027	Surenkamos g/b konstrukcijos	VNT.	1.000000	4.000000	0.00	0.00			
600010	Cementinis skiedinys S10	M3	0.015000	0.060000	57.03	3.42			
489046	Bokštinis kranas 5-8 t keliamosios galios	MAŠ.VAL	0.180000	0.720000	17.22	12.40			
N7-51	Viso	29.49	Medž.	3.42	Mech.	12.40	D.užm.		13.67
19	19 N7-51					4.000000	11.3590		45.44
----- 3 a. sąramos									
Darbo sąnaudos (kat= 3.78) Em.val.									
260027	Surenkamos g/b konstrukcijos	VNT.	1.000000	4.000000	0.00	0.00			
600010	Cementinis skiedinys S10	M3	0.015000	0.060000	57.03	3.42			
489046	Bokštinis kranas 5-8 t keliamosios galios	MAŠ.VAL	0.180000	0.720000	17.22	12.40			
N7-51	Viso	29.49	Medž.	3.42	Mech.	12.40	D.užm.		13.67
20	20 N7-51					4.000000	11.3590		45.44
----- 2 a. sąramos									
Darbo sąnaudos (kat= 3.78) Em.val.									
260027	Surenkamos g/b konstrukcijos	VNT.	1.000000	4.000000	0.00	0.00			
600010	Cementinis skiedinys S10	M3	0.015000	0.060000	57.03	3.42			
489046	Bokštinis kranas 5-8 t keliamosios galios	MAŠ.VAL	0.180000	0.720000	17.22	12.40			
N7-51	Viso	29.49	Medž.	3.42	Mech.	12.40	D.užm.		13.67
21	21 N8-133					324.420000	307.6436		59805.74
----- Pagrindas ir vidurinio sudėtingumo keraminių bloke lių mūras (a utokranas)									
Darbo sąnaudos (kat= 3.33) Em.val.									
570863	Pjūvenų-betono blokėliai 250x120x80 mm	T.VNT	0.003000	0.973260	5.070	8059.57			
571600	Keraminiai blokėliai vidaus pertvaroms 250x200	T.VNT	0.210000	68.128200	878.68	59862.89			
600015	Cemento-kalkinis skiedinys R7.5	M3	0.190000	61.639800	69.03	4255.00			

26pav. Sąmatos skaičiavimas Sistela programa

Programoje *Sistela*, pagal numatytų darbų kiekius, skaičiuojama atliekamų darbų kaštai ir laiko sąnaudos tam darbui atlikti (žr. 27 pav.). Apskaičiuotas darbo laiko poreikis užrašomas valandomis vienam dirbančiajam, todėl vėliau darbo valandas reikia perskaičiuoti numatytai brigadai.

Sam. eil.	Darbu ir išlaidų aprašymai	Mato vnt	Norma	Kiekis	Kaina EUR	Suma EUR	Viso darbo užmokestis	Viso medžiagos	Viso mechanizmai	Iš viso EUR
8	N6-111	m3		93,7			4860,22	13319,99	1466,98	19647,19
	1 aukšto perdangos betonavimas k8=1.04, k9=1.15									
	Darbo sąn. kateg. 3.11	žm.val.	10,5	983,85	4,94	4860,22				
120002	Plieninė viela	t	0,0002	0,01874	896,45	16,8				
120030	Statybinės viny	kg	0,14	13,118	1,06	13,91				
120038	Suvirinimo elektrodai	kg	1,3	121,81	1,94	236,31				
260014	Betonas	m3	1,015	95,1055	72,37	6882,79				
260017	Armatūra	t	0,1	9,37	632,82	5929,52				
521955	Skydų tvirtinimo elementai	t	0,0008	0,07496	1946,88	145,94				
534014	Apipjautos lentos 25-32mm st. (2 rūš.)	m3	0,002	0,1874	192,07	35,99				
534015	Apipjautos lentos 40mm st. ir daugiau (2 rūš.)	m3	0,002	0,1874	192,07	35,99				
534052	Mediniai, inventoriniai statramsčiai (apvalūs)	vnt.	0,026	2,4362	4,06	9,89				
534936	Klojinių skydai	m2	0,017	1,5929	8,07	12,85				
489131	Kranas	maš.val	0,69	64,653	22,69	1466,98				

27pav. Apskaičiuotos darbo sąnaudos ir kaštai

Pagal darbo sąnaudas apskaičiuojamas kalendorinio grafiko norminės darbų atlikimo trukmės (Ringys 2008):

1. Apskaičiuojama norminė darbų atlikimo trukmė:

$$T_n = \frac{t_n}{n}; \quad (1)$$

čia: t_n – norminės darbo sąnaudos, žm. d.d.
 n – priimtas darbininkų skaičius pamainoje.

2. Pagal apskaičiuotą norminę darbo trukmę planuojama numatomų darbų trukmė, kuri turi tenkinti sąlygą:

$$T_n > T_p; \quad (2)$$

čia: T_p – planuojama darbų atlikimo trukmė, d;

3. Planuojamos darbo sąnaudos:

$$t_p = T_p \cdot n \cdot a; \quad (3)$$

čia: n – darbininkų skaičius pamainoje;
 a – pamainų skaičius;

4. Planuojamos darbo sąnaudos:

$$N = \frac{t_n}{t_p} \cdot 100\%; \quad (4)$$

čia: t_p – planuojamos darbo sąnaudos, žm.d;
 t_n – norminės darbo sąnaudos, žm.d;

3.4.2 Kalendorinio grafiko sudarymas MS Project programa

Apskaičiavus darbų normines atlikimo trukmes, projektuojamas kalendorinis grafikas MS Project programoje. Pagal darbų eigą, darbai skirstomi į grupes.

Darbai skirstomi pagal darbų seką (žr. 28 pav.):

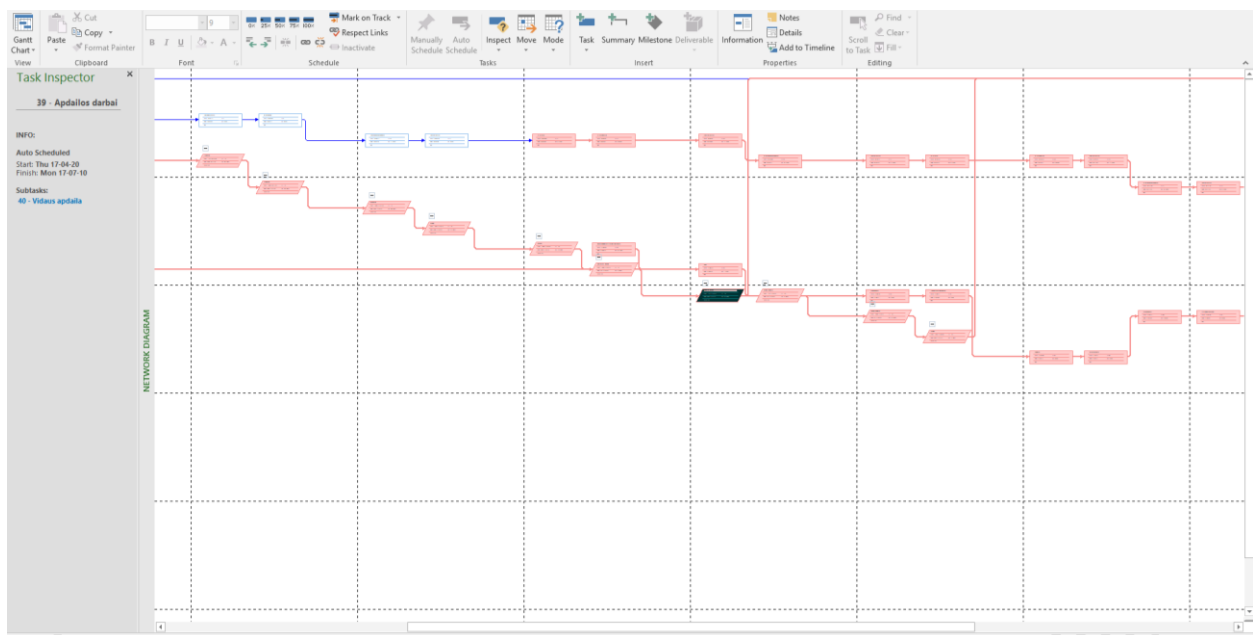
- žemės darbai;
- statybos darbai;

- apdailos darbai.

Task Mode	Task Name
0	Vinių g.
1	Statybių pradžia
2	Žemės darbai
3	Grunto kasimas
4	Statybos darbai
5	Pamatai
6	Gręžtiniai poiliai
7	Juostiniai rostverkai
8	Atraminė siena
9	1 aukštas
10	1 a perdangos betonavimas
11	1 a atitvarų mūras
12	1 a. sąramos
13	1 a. metalinės sijos
14	1 a pertvarų mūras
15	2 aukštas
16	2 a. perdangos betonavimas
17	2 a atitvarų mūras
18	2 a pertvarų mūras
19	2 a. sąramos
20	2 a. metalinės sijos
21	3 aukštas
22	3 a. perdangos betonavimas
23	3 a atitvarų mūras
24	3 a. sąramos
25	3 a Metalinės sijos
26	3 a pertvarų mūras
27	4 aukštas
28	4 a. perdangos betonavimas
29	4 a atitvarų mūras
30	4 a pertvarų mūras
31	4 a. sąramos

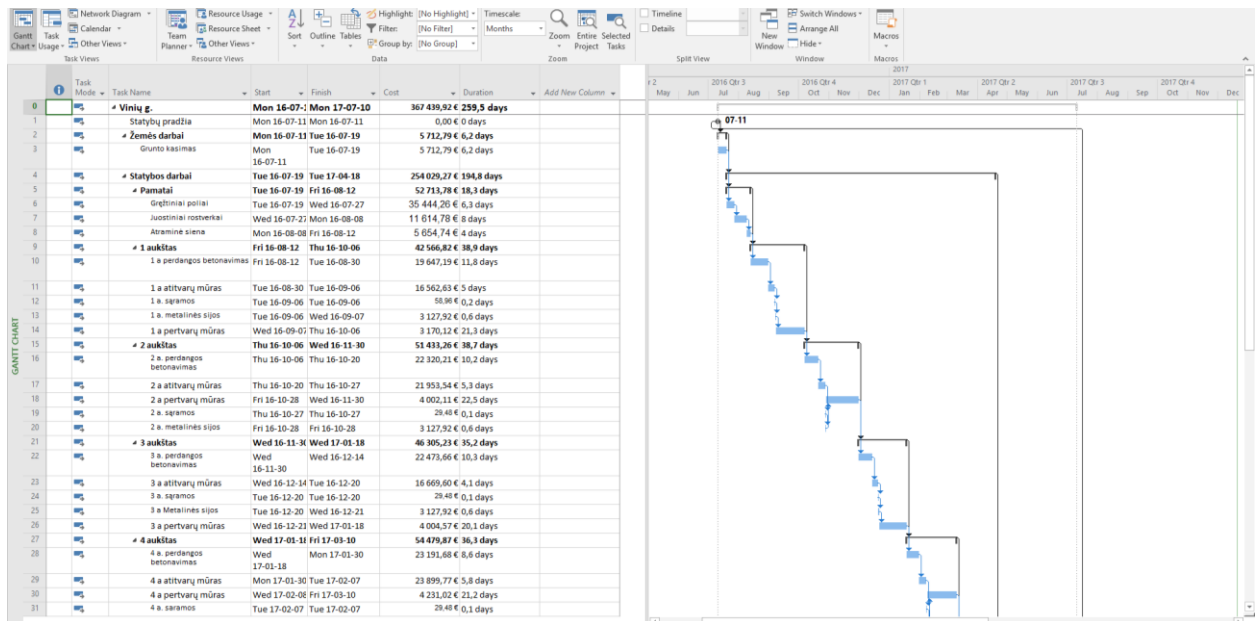
28 pav. Darbų grupavimas MS Project programoje

Išskirsčius darbus, sukuriamas darbų tinklas su darbų priklausomybėmis (žr. 29 pav.), kurios sudaro kritinio kelio grandinę.



29pav. Projekto tinklinis grafikas

Pagal paskaičiuotas darbų atlikimo trukmes sudaromas kalendorinis grafikas. Ganto diagramoje (žr. 30 pav.) atvaizduojami darbų ryšiai ir trukmės leidžia apskaičiuoti kiek laiko užtruks viso projekto statybos darbai.

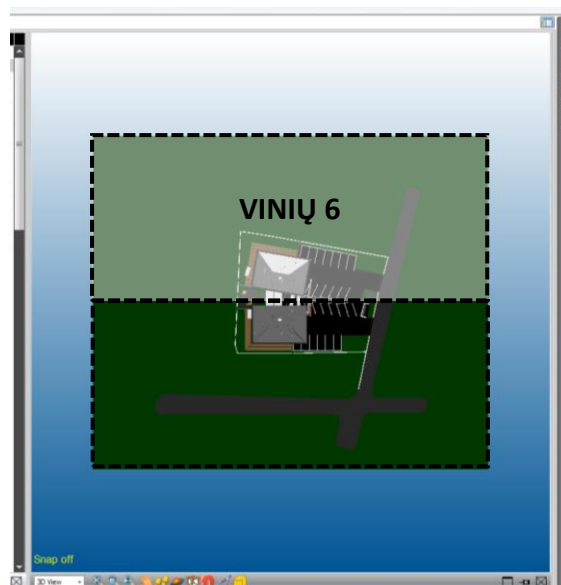


30 pav. Sukurta projekto kalendorinio grafiko Ganto diagrama

Statyba planuojant su viena pamaina gaunamas vidutiniškai 12 darbuotojų poreikis, o darbai užtrunka 260 dienų. Tokiu būdu paskirstyti darbai yra ilgiausioje grandinėje ir užima daugiausiai laiko.

3.4.3 Kalendorinio grafiko sudarymas VICO Office programa

Norint įgyvendinti 4D modeliavimą VICO Office programa, remiamasi LBMS metodika. Darbų paskirstymas pagal zonas numatomas išskaidant projekto 3D modelį zonomis. Projektas nėra didelis, todėl modelis dalinamas į 2 zonas, kurioms priskiriami pastatai Vinių 4 ir 6 (žr. 31 pav.)



31 pav. Darbo zonų paskirstymas

Išskirtos zonos taip pat padalinamos į aukštus. Programos įrankis *Location Basement Sistem (LBS)*, leidžia projektą dalinti į įvairias zonas, taip pat atskirai skaidant kiekvieną zoną į mažesnes lokacijas, kurios padeda užtikrinti darbų kontrolę ir vientisumą.

	Bottom Elevation	Cut Elevation	View Depth
Projektas	-5,15	1,22	0,00
VINIŲ G.	-5,15	1,22	0,00
Vinių 4	-5,15	1,22	0,00
Stogas	11,19	1,22	0,00
Aukštas 4	8,30	1,22	0,00
Aukštas 3	5,45	1,22	0,00
Aukštas 2	2,26	1,22	0,00
Aukštas 1	0,00	1,22	0,00
Pamatai	-5,15	1,22	0,00
Vinių 6	-5,15	1,22	0,00
Stogas	11,19	1,22	0,00
Aukštas 4	8,30	1,22	0,00
Aukštas 3	5,45	1,22	0,00
Aukštas 2	2,26	1,22	0,00
Aukštas 1	0,00	1,22	0,00
Pamatai	-5,15	1,22	0,00

32pav. Darbo zonų nustatymas

Nustatant darbų zonas, vadovaujamosi hierarchiniu principu, kur pastato aukštai priklauso pastatui, o pastatas projektui (žr. 32 pav.). Vėliau parenkant darbus numatytose zonose, programa darbus išskaidys automatiškai, o numatyti darbai laiko skalėje bus nurodomi priskirtose lokacijose.

Sudarant kalendorinį grafiką *VICO Office* programoje, reikalingas 3D modelio atributų priskyrimo darbų sąnaudoms. Pagal pasirinktą duomenų tikslumo lygį, šiuo atveju *LOD200*, užpildoma darbų sąnaudų lentelė. Šioje lentelėje sukuriama numatomi darbai kuriems priskiriami atributai ir suvedama išteklių kaštų informacija. (žr. 33 pav.) Esant detalumo lygiui *LOD200*, užrašoma tik bendra išlaidų suma, numatytam darbui įgyvendinti. Didinant detalumo lygį, galima atskirai išskaidyti visų darbų sudedamuosius procesus, medžiagas bei išteklius. Tokiu atveju, galima tiksliai apskaičiuoti numatytų darbų sąmatas ir tolimesniame etape matyti piniginių srautų informaciją bei poreikį kiekvienam darbų etapui.

The screenshot displays the VICO Office software interface, divided into two main panes. The left pane, titled 'Task Manager', shows a hierarchical list of construction tasks. The right pane, titled 'Cost Planner', provides a detailed cost breakdown for these tasks, including material and labor costs.

Code	Name	Work	Duration	Location
0006	Planas	400,89	30,11	
0005	Žemės darbai	149,83	16,59	
0012	1 aukšto ativaras	322,60	40,32	
0013	1 aukšto saramas	5,13	0,54	
0014	1 aukšto sijai	39,00	2,25	
0015	1 aukšto perivaras	1.711,62	213,98	
0010	1 aukšto perdangos	940,83	117,60	
0016	2 aukšto perdanga	813,17	101,65	
0017	2 aukšto ativaras	427,60	53,45	
[13]	2 aukšto ativaras	94,07 H3	4,55	0,22
0019	2 aukšto perivaras	2.160,74	270,06	
0021	2 aukšto saramas	2,56	0,32	
0020	2 aukšto sijai	18,18	2,27	
0021	3 aukšto perdanga	823,65	102,96	
0022	3 aukšto ativaras	224,68	40,59	
0023	3 aukšto perivaras	1.920,73	241,22	
0024	3 aukšto saramas	2,56	0,32	
0025	3 aukšto sijai	18,00	2,25	
0026	4 aukšto perdanga	822,49	102,81	
0027	4 aukšto ativaras	465,51	58,19	
0028	4 aukšto perivaras	2.038,80	254,86	
0029	4 aukšto saramas	2,56	0,32	
0030	4 aukšto sijai	18,00	2,25	
0031	Stogo konstrukcija	1.372,99	171,62	
0032	Specialieji darbai	19,00	2,38	
0033	Lantai	513,11	64,14	
0034	Fasado šiluminis izoliavimas	807,11	100,89	
0035	Fasado trinkelės	818,56	102,32	
0036	Fasado struktūrinis trišakis	28,189	35,24	
0037	Stogo įrengimas	697,12	87,14	
0038	Sternai fasade		2,97	
0039	Čiurnos	155,73	19,47	
0040	Lantai	367,80	45,97	
0041	Grindys	305,62	38,20	
0042	Apdailos tvarkymas		10,00	
0043	Įrengimas		10,00	

33pav. Kiekių priskyrimas sąnaudoms VICO Office programoje

Šiuo atveju, kaip ir MS Project programoje sukuriamos darbų grupės kuriose planuojami statybos darbai.

- žemės darbai;
- statybos darbai;
- specialieji darbai;
- apdailos darbai;
- papildomi.

Sudarius visas darbų grupes priskiriami 3D modelio atributai. Jie parodo koks darbas kurioje modelio zonoje yra vykdomas. Taip pat nurodo ir kokia pastato dalis bus įgyvendinta atlikus numatytą darbą.

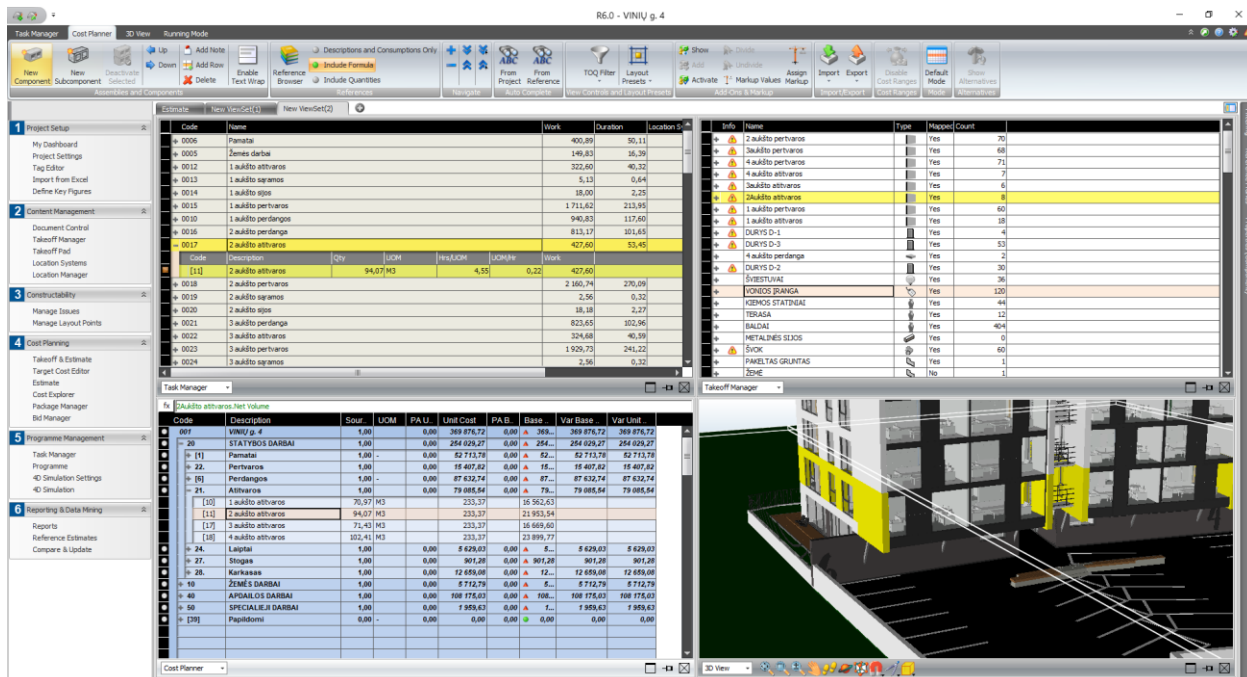
Tarkime, numatome atitvarų mūro darbus, kuriems priskiriame pirmojo aukšto atitvarų atributinę informaciją su nurodyta pirmojo aukšto atitvarų kubatūra. Šiuo atveju, pasirinkę nurodytą darbą, matysime pastato pirmojo aukšto atitvaras, kurių mūro darbai bus atliekami už nustatytą darbų kainą (žr. 34 pav.). Darbų sudarymo esmė yra priskirti pastato atributus darbams bei užrašyti darbų kaštus. Jei nėra galimybės priskirti 3D modelio atributų, darbus galima sukurti rankiniu būdu, tačiau tokiu būdu priskirti atributai bus nepaslinkūs. Jie nebus atvaizduojami modelyje, o pakeitus modelio informaciją jie nebus atnaujinami automatiškai.

Pereinant prie darbo laiko sąnaudų dalies - būtina išsiaiškinti, žmonių darbo laiko poreikį, t. y žinoti, koks yra resursų produktyvumas. Kuriant darbų grafiką, reikalinga įvesti vieną iš dviejų resursų produktyvumo rodiklių:

- 1 žmogaus darbo laiko sąnaudų, vienam kiekiui vienetai įgyvendinti;

- kiekio vienetų skaičius įgyvendinamas per 1 darbo valandą.

VICO Office programa automatiškai paskaičiuoja 1 žmogaus darbo valandų skaičių numatytam darbui atlikti.

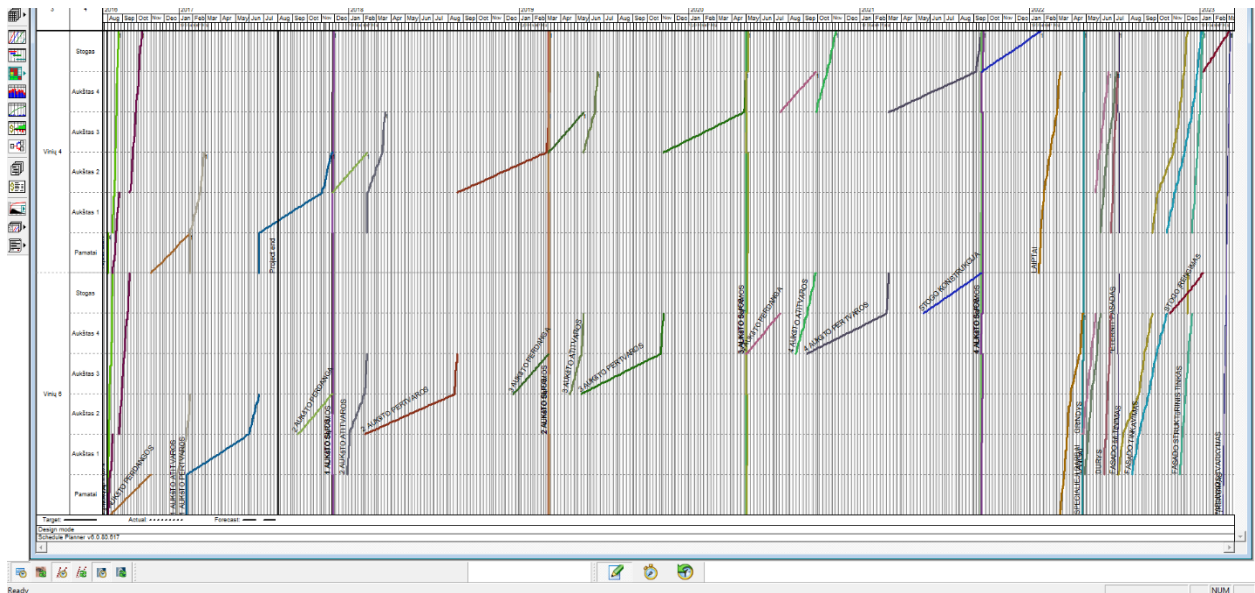


34pav. Darbų laiko sąnaudų lentelė

Resursų produktyvumo rodikliai priskirti remiantis programa Sistela sukurtais sąmatomis, kur jau anksčiau buvo paskaičiuotas darbo valandų skaičius darbams atlikti. Tačiau neturint lokalinės sąmatos ir paskaičiuotų laiko sąnaudų galima remtis asmenine patirtimi, arba ankstesniuose projektuose naudotomis produktyvumo reikšmėmis.

Programos duomenų lauke *Task Manager*, sukuriama darbai kurie bus vaizduojami kalendoriniame grafike. Jiems priskiriamos užduotys su 3D modelio atributais ir įvedamos produktyvumo reikšmės. Taip gaunama galutinės užduoties darbo laikas kuris vėliau bus vaizduojamas *Flowline* grafike. Įvesti duomenys leidžia programai automatiškai sukurti kalendorinį grafiką, kurį pamatyti galime atidarius kalendorinio planavimo programos langą – *Schedule Planner*.

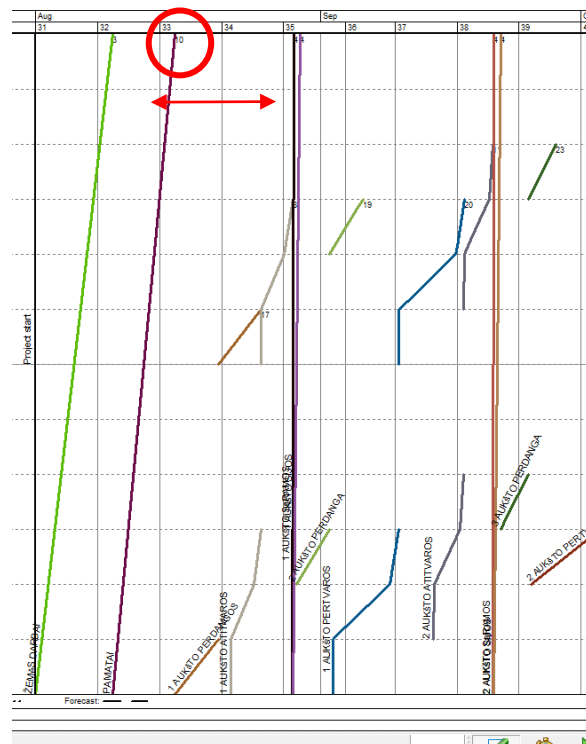
Pirminis grafikas pateikiamas vieno žmogaus darbo valandomis (žr. 35 pav.), todėl tolimesnis etapas yra priskirti reikiamą išteklių kiekį numatytiems darbams atlikti.



35 pav. Pirminis kalendorinis grafikas

Sukurtame kalendoriniame grafike, darbus optimizuoti galima keliais būdais:

1. Darbo linija gali būti perbraižoma tiesiogiai grafike (žr. 36 pav.) tempiant viršutinę linijos dalį į norimą poziciją. Taip optimizuojamas grafikas automatiškai priskiria reikiamą darbuotojų skaičių nurodytam darbui atlikti. Pasak Brioso, Humero ir Clampa (2016) šis optimizacijos būdas leidžia efektyviai suplanuoti svarbiausius darbus taip, kad jie vyktų reikiamu laiku, perskirstant resursus ir padidinant jų produktyvumą nustatytoje zonoje.



36 pav. Darbų linijos optimizavimas slenkant liniją grafike

Šiuo būdu optimizuojant darbų linijas, galima projekto trukmę sumažinti net iki 50% lyginant su *MS Project* programa, tačiau išteklių poreikio didinimas, tokios apimties projektui nėra tikslingas. Išteklių poreikis projekte išauginamas iki 20-30 žmonių pamainoje, tačiau realiomis sąlygomis tokios apimties brigados turėtų daugiau konfliktų arba būtų neišnaudojamos tikslingai.

2. Kitas optimizavimo būdas priešingas pirmajam. Optimizavimas vyksta priskiriant darbuotojų išteklius, darbo nustatymų lentelėje (žr. 37 pav.), pagal turimus išteklius. Tai reiškia, kad priskyrus resursus, grafikas automatiškai paslenka darbo liniją pagal darbo atlikimo trukmę.

Setting method

Production factor
 Gang
 Consumption

Number:

	Code	Name	Quantity	Pf	Supplier
1					

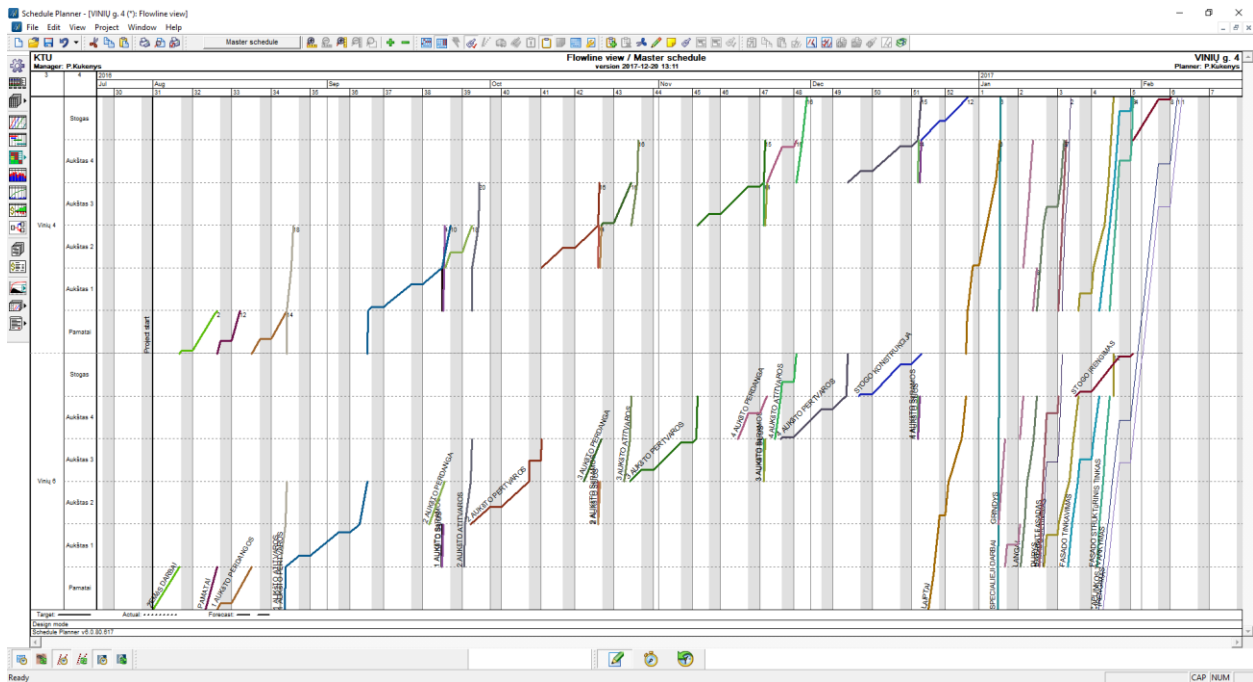
Old duration: 11.8 Days
 Desired duration: 8.8 Days
 New duration: 9 Days

	Location task	Workgroup count
	Vinių 6->Pamatai	13
	Vinių 6->Aukštas 1	13
	Vinių 6->Aukštas 2	13
	Vinių 6->Aukštas 3	13
	Vinių 6->Aukštas 4	13
	Vinių 6->Stogas	13
	Vinių 4->Pamatai	13
	Vinių 4->Aukštas 1	13
	Vinių 4->Aukštas 2	13

OK Cancel

37pav. Darbų optimizavimas nustatymuose parenkant darbuotojų skaičių

Šios optimizacijos metu nustatomas optimaliausias darbuotojų poreikis bei išvengiamos išteklių prastovos. Šiuo būdu optimizuojant darbus buvo gautas vidutinis 13 darbuotojų poreikis vienai pamainai, o viso statybos projekto trukmė siekė 150 d. d. (žr. 38 pav.).



38pav. Optimizuotas kalendorinis grafikas

Naudojant grafikų optimizavimo priemones projekto išteklių paskirstomi atsižvelgiant į viso projekto dydį. Darbų pasiskirstymas zonose lemia darbuotojų poreikį tik ten kur numatytas jų darbas, todėl darbų nuoseklumas ir tinkamai paskirstytos darbų zonos leidžia optimizuoti darbų laiką su mažiausiais projekto resursais (Reizgevičius, Reizgevičiūtė ir Pelikša 2013).

3.5 TYRIMO VERTINIMAS

Vertinant įvairius inžinerinių sprendimų variantus, dėl suinteresuotų grupių skirtingo požiūrio į sprendimo efektyvumą, ne visi kriterijai pasirinktoje vertinimo kriterijų sistemoje gali būti vienodai svarbūs, t.y. turėti skirtingus prioritetus. Jų svarbą nusako kriterijų reikšmingumo rodiklis, kuris dažniausiai matuojamas procentais (%).

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymui naudojami tokie metodai:

1. Ekspertiniai – kai kriterijų reikšmingumas nustatomas, remiantis ekspertų nuomone;
2. Teoriniai - kai kriterijų reikšmingumas apskaičiuojamas, remiantis teorinėmis formulėmis;
3. Statistiniai - kai skaičiavimai atliekami, remiantis tikimybių teorija ir statistika;
4. Analogų – kai kriterijų reikšmės ir reikšmingumai paimami iš analogiškų projektų.
5. Organoleptiniai - kai kriterijų vertinimas atliekamas per tiriančiojo žmogaus jausmų prizmę.

Kalendorinio planavimo vertinimui atlikti buvo pasirinktas organoleptinio kriterijų vertinimo metodas. Šio metodo pasirinkimą lėmė, *VICO Office* vartotojų stoka ir tai, kad *LBMS* metodas Lietuvoje dar nėra taikytas. Kriterijų vertinimui pasirinkau *MS Project* ir *VICO Office* programų galimybes bei darbo efektyvumą. Šiuo atveju, užrašiau savo asmeninę patirtį, remdamasis uždavinių sprendimų sudėtingumu, o galimybes užduotis atlikti naudotomis programomis pateikiau 6 lentelėje.

5lentelė. Programų vertinimas vartotojo požiūriu

	<i>MS Project</i>	<i>VICO Office</i>
Kalendorinio grafiko atvaizdavimas Gant diagrama	+	+
Kalendorinio grafiko atvaizdavimas Flowline diagrama	-	+
Sąsaja su 2D brėžiniais	-	+
Sąsaja su 3D modeliu	-	+
Duomenų importavimas iš 2D, 3D modelio	-	+
Darbų grupavimas	+	+
Darbo išteklių priskyrimas	+	+
Projekto kontrolė ir valdymas	-	+
Automatinis optimizavimas	-	+
Automatins perskaičiavimas pakeitus 3D modelį	-	+

Asmeninė patirtis naudojant *MS Project* programą:

- Numatomus statybos projekto darbų struktūrą sukurti nėra sudėtinga, tačiau norint nustatyti darbų atlikimo trukmę, teko iš 3D modelio iškėlinėti statybinių kiekių informaciją kuri pareikalavo nemažai praktinių sugebėjimų ir nestandartinių sprendimų priėmimo. Norint apskaičiuoti darbuotojų poreikį buvo reikalingi darbo trukmės skaičiavimai, kuriuos reikėjo paskaičiuoti naudojant papildomą programą, tai užtrunka daug laiko. Taip pat rankiniu būdu, buvo skaičiuojamas darbuotojų poreikis numatytiems darbams atlikti. Nustačius darbų trukmes, jos užrašomos taip pat rankiniu būdu, o darbus sujungus ryšiais reikia peržiūrėti darbų trukmes ar automatiškai paskirstyti darbai neprarado pirminės informacijos. Apibendrinant darbą su *MS Project* programa galiu teigti, kad procesas reikalauja nemažai skirtingų

programinių paketų išmanymo, taip pat nėra tiesioginės sąsajos su brėžiniais ar 3D modeliu, todėl tai nėra patogu. Šis įrankis daugiau skirtas turimai informacijai planuoti, tačiau norint pakeisti jau suvestą informaciją, dalį grafiko reikia perskaičiuoti iš naujo, o suklydus ar neteisingai interpretavus, klaidų tikimybė ženkliai išauga.

Asmeninė patirtis naudojant *VICO Office* programą:

- Susiduriant su naujomis programomis sunku perprasti jų valdymą, tačiau susipažinus su *VICO Office* programos valdymu iš karto perėjau prie numatytų uždavinių įgyvendinimo. Didžiausią laiko dalį užėmė 3D modelio analizė ir atributinės informacijos grupavimas. 3D modelio atributų priskyrimas prie darbų sąnaudų bei resursų poreikio lentelių leido susipažinti su 4D ir 5D *BIM* taikymo privalumais. Sudarius šias esmines kalendorinio grafiko lenteles automatiškai buvo sudarytas kalendorinis grafikas, o keičiant lentelėse nurodytą informaciją, buvo galima stebėti kaip automatiškai programa perskaičiuoja ir perbraižo grafiką. Taip pat darbų optimizavimas grafike leido projekto trukmę sumažinti net 30%, tačiau vėliau analizuojant, darbų eigą paaiškėjo, kad, įvertinus riziką, toks ženklus darbų laiko sumažėjimas padidins darbų vėlavimo tikimybę. Apibendrinant darbą su *VICO Office* programa galiu teigti, kad procesas pakankamai sudėtingas ir reikalauja patirties realių statybos projektų įgyvendinimo etapuose. Norint užtikrinti statybos projektų efektyvumą valdant visą statybų eigą, reikia išmanyti darbo sąnaudų pasiskirstymą, kuriomis remiantis paskaičiuojama darbo trukmė. Didžiąją dalį informacijos galima apdoroti iš 3D modelio, todėl tai yra daug paprasčiau ir patogiau, lyginant su *MS Office*.

IŠVADOS

Apibendrinant magistro darbo rezultatus gautos šios išvados:

1. Atlikus literatūros apžvalgą paaiškėjo, kad kritinio kelio metodas daugiausiai taikomas, norint sudaryti nuoseklų darbų planą bei norint apskaičiuoti numatytų darbų trukmę. Projekto valdymo etape gali kritinio kelio metodas gali padėti nustatyti darbų, esančių kritiniame kelyje vėlavimus, tačiau iš esmės projekto valdyme nedalyvauja. Galima daryti išvadą, kad šio metodo populiarumas mažėja, o naujausios *BIM* technologijos leidžia taikyti pažangesnius sprendimus.
2. *LBMS* metodas sukurtas statybos projektų įgyvendinimui. Užsienio autoriai, nagrinėjantys *LBMS* metodų pritaikymo galimybes pastebi, kad šio metodo taikymas, statybos projektų efektyvumą gali padidinti net iki 15%, tačiau esminis skirtumas juntamas statybos valdymo procese, kurio metu naudojant *LBMS* metodiką, išteklių poreikį galima sumažinti net iki 20%. Taigi, naudojant *LBMS* metodą esminiai kritinio kelio principai neužginčijami, o atvirkščiai – kritinio kelio logika dalyvauja visuose *LBMS* metodo etapuose.
 - resursai išnaudojami efektyviau paskirstant darbuotojų srautus nustatytose zonose;
 - projekto pažanga leidžia prognozuoti numatytų darbų vėlavimus, todėl galima iš anksto numatyti veiksmus jiems išvengti;
 - kontrolės veiksmai, susiję su gamybos apimtimis, o ne kritinėmis užduotimis, todėl leidžia ilgiau priimti sprendimus.Todėl galima daryti prielaidą, kad pritaikius *LBMS* metodus įvairiuose projektų etapuose, galima sumažinti projekto resursų kaštus, pagerinti projekto planavimo ir supratimo lygį bei atlikti projekto kontrolę.
4. Atliekant tiriamąjį darbą, skirtingomis programomis, buvo sudaryti du kalendoriniai grafikai ir tai parodė kad sudarius kalendorinį grafiką *VICO Office* programa, projekto įgyvendinimo laikas buvo mažesnis net 110 darbo dienų.
5. Sukūrus 4D simuliaciją projekto dalyviams galima efektyviau perteikti visą projekto informaciją, vizualizuoti kokie darbai numatomi ir kokia eiga visas projektas bu įgyvendinamas.
6. Atliekant tiriamojo darbo organoleptinį vertinimą buvo apibendrinta asmeninė patirtis, naudojant *MS Project* ir *VICO Office* programas. Remiantis asmenine patirtimi *VICO Office* programa išsiskyrė galimybėmis analizuoti 3D modelį ir jį pritaikyti kalendoriniame planavime. Tiesioginis kiekių skaičiavimas bei galimybės atnaujinti 3D modelį, vėliau

nereikalauja įvesti duomenų rankiniu būdu, programa automatiškai perskaičiuoja kiekius bei resursus. Todėl naudojant VICO Office programą, kalendorinį grafiką sukurti buvo patogiau, o atliekant pakeitimus nereikėjo grįžti į pradinę padėtį.

LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Azhar, Salman. 2011. „Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risk and Challenges for the AEC Industry.“ *Leadership and Management in Engineering* 241-252.
2. Baldwin, A., ir D. Bardoli. 2014. *A Handbook for Construction Planning and Scheduling*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
3. Bradley A. Hyatt, P.E. 2011. „A Case Study in Integrating Lean, Green, BIM into an Undergraduate Construction Management Scheduling Course.“ *47th ASC Annual International Conference*. Fresno.
4. Brioso, Xavier, Antonio Humero, ir Sarah Clampa. 2016. „Comparing Point-to-point Precedence Relations and Location-Based Management System in Last Planner System: A housing project of highly repetitive processes case study.“ *Creative Construction Conference 2016*. 12-19.
5. Dave, Bhergav, Olli Seppänen, ir Ralf Uwe Modrich. 2016. „Modeling Information Flows Between Last Planner and Location Based Management System.“ *24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*. Boston. 63-72.
6. Furat, Can Ersen, David Arditi, ir Juhani Kiiras. 2009. „Advanced Line of Balance Method (ALoB) in Partly-Repetitive Model-Based Scheduling.“ *Fifth International Conference on Construction in the 21st Century*. Stanbulas. 1-7.
7. Hergunsel, Mehmet F. 2011. *Benefits of Building Information Modeling For Construction Managers and BIM Based Scheduling*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
8. Jaškauškas, Vidas, ir Paulius Ulozas. 2011. „Pastato Informacinio Modelio Taikymo Poreikio Statyboje Analizė.“ *Jaunųjų mokslininkų darbai.. Nr. 1 (30)* 144-150.
9. Juodis, Arvydas. 2005. *Statybos Procesų Matematinis Modeliavimas Ir Optimizavimas: Vadovėlis*. Kaunas: Technologija.
10. Kenley, Russell , ir Olli Seppänen. 2009. „Location-Based Management of Construction Projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies.“ *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. 2563-2570.
11. Martinez, Natalia Rodriguez. 2013. *Optimization of Flowline Scheduling vs. Balanced Resources and Task Continuity*. Trondheim: NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY.

12. Migilinskas, Darius. 2012. „BIM technologijų taikymas virtualiam statybos valdymui 5D projektavimo aplinkoje.“ *Skaitmeninė statyba Lietuvoje. Pradžia 2012.*
13. Mouflard, Christopher, Olli Seppanen, ir Jake Evinger. 2014. „Effects of the location-based management system on production rates and productivity.“ *Construction Management and Economics* 608–624.
doi:10.1080/01446193.2013.853881.
14. N.Banaitienė, ir A.Banaitis. 2012. *Statybos projektų valdymas*. Vilnius: Technika.
15. Olivieri, Hylton, Olli Seppanen, ir Ariovaldo Denis Granja. 2016. „Integrating LBMS, LPS and CPM: a practical process.“ *Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*. Boston. 3-12.
16. Ramanuskas, Julius. 2012. *Projektų vertinimas*. Klaipėda.
17. Reizgevičius, Marius, ir Rasa Reizgevičienė. 2012. „Keturių Dimensijų Modelio Efektivumo Vertinimo Teorinis Aspektas.“ 202-207.
18. Reizgevičius, Marius, Laura Reizgevičiūtė, ir Mykolas Pelikša. 2013. „Pastato Informacinio Modelio (BIM) panaudojimas Statybos Inžinerijos Studijose.“ *Jaunųjų Mokslininkų Darbai Nr.2 (40)* 154-160. doi:ISSN 1648-8776.
19. Ringys, Tadas. 2008. „Statybos Darbu Laiko Valdymo Sistema ir Jos Tyrimas.“ Magistro darbas, Vilnius.
20. Rutkauskaitė, Vita. 2010. „Microsoft Project Komponentų Integravimas Tvardaraščių Uždaviniams Spręsti.“ Magistro darbas, Šiauliai.
21. S.Razdan, M.Pirgal, A.Hanchate, N.Rajhans, ir V.Sardar. 2017. *Application of Critical Path Method for Project Scheduling – A Case Study*. Pune.
https://www.researchgate.net/publication/315045237_Application_of_Critical_Path_Method_for_Project_Scheduling_-_A_Case_Study.
22. Schieg, Martin Wolfgang. 2010. *Daugiakriterinė Statybos Projekto Valdymo Analizė*. Daktaro disertacijos santrauka, Vilnius: Technika.
23. Seppanen, Olli. 2012. „A production Control Game for Teaching of Location-Based Management System's Controlling Methods.“ *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
https://www.researchgate.net/publication/289865654_A_production_control_game_for_teaching_of_location-based_management_system%27s_controlling_methods?enrichId=rgreq-cc42855ba9a02a1c9728169d35416c78-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4OTg2NTY1NDtBUzozOTE2MTM4.

24. —. 2009. „Empirical Research on the Success of Production Control in Building Construction Projects.“ 10 9 d. Kreiptasi 2017 m. 09 26 d.
https://www.researchgate.net/publication/305874706_Empirical_Research_on_the_Success_of_Production_Control_in_Building_Construction_Projects?enrichId=rgreq-6ae9eb13fc213c89408694624864bf4b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwNTg3NDcwNjtBUzozOTE2MjQ3NjE4NTYwM.
25. Seppanen, Olli, Glenn Ballard, ir Sakari Pesonen. 2010. „The combination of Last Planner System and Location-Based Management System.“ *LEAN CONSTRUCTION JOURNAL* 43-54.
26. Seppanen, Olli, Ralf Uve Modrich, ir Glenn Ballard. 2015. „Integration of Last Planner System and Location-Based Management System.“ *23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*. Perth. 123-132.
27. Shankar, Abhiram, ir Koshy Varghese. 2013. *Evaluation of Location Based Management System in the Construction of Power Transmission and Distribution Projects*. Madras: Indian Institute of Technology,.
28. V.Jaškauskas, ir G.Kiselienė. 2012. „Statybos projektų valdymas.“ *Jaunųjų mokslininkų darbai. Nr. 4 (37)*. doi:ISSN 1648-8776.
29. Vicosoftware. 2016. *vicosoftware.com*. Kreiptasi 2017 m. 10 12 d.
<http://www.vicosoftware.com/location-based-management-system/updating-construction-planning-to-lbms>.
30. Wang, H.J, J.P Zhang, K.W Chau, ir M Anson. 2004. „4D dynamic management for construction planning and resource utilization.“ *Automation in Construction* 575-589.