

KETURIŲ DIMENSIJŲ MODELIO EFEKTYVUMO VERTINIMO TEORINIS ASPEKTAS

Marius Reizgevičius, Rasa Reizgevičienė

Šiaulių universitetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Šiaurės Lietuvos kolegija

Įvadas

Statybos pramonė reikalauja labai daug informacijos, dažnai ji apibūdinama kaip sunkiai prisitinkanti naujausiomis informacinėmis technologijomis. Dalytis informacija, ją tinkamai modeliuoti tampa vis svarbesnis uždavinys įgyvendinant statybos projektus nuo idėjos iki raktų. Informacijos dalijimasis tarp įvairių sričių specialistų padeda geriau išspręsti kilusias problemas ir tobulinti skirtingus įgūdžius. Išgauti informaciją iš brėžinių – daug laiko užiman-tis ir sudėtingas procesas. 4D projektavimas gali padėti padidinti komunikacijos efektyvumą ir sumažinti interpretavimo galimybę visiems suinteresuotiems statybos projekto dalyviams. Pastato ar statinio vizualizacija – tai procesas, kuris pateikia informaciją ir leidžia ją veiksmingiau įsisavinti. 4D CAD gali padėti išspręsti šiuos uždavinius: nustatyti veiksmingas strategijas, sutrumpinti projekto įgyvendinimo trukmę, vertinti darbo kokybę, sudaryti darbų atlikimo grafikus.

Statybos moksle 4D samprata žinoma nuo 1995 metų. Tuo metu Jungtinis inžinerinės materialinės bazės centras (CIFE) Stenfordo universitete, JAV, formaliai pirmą kartą panaudojo 4D CAD koncepciją. Ši tema aktuali ir analizuota daugelio autorių. A. Collier, M. Fischer (1995) pristatė keturių dimensijų modelio taikymo projektavime sampratą. Beveik po dešimties metų H. J. Wang, J. P. Zhang, K. W. Chau, M. Anson (2004) tyrė 4D taikymą dinaminiam valdymui ir išteklių panaudojimui statybos planavimo procese. Z. Maa, Q. Shen, J. Zhang (2005) analizavo 4D taikymą dinaminiam statybų aikštelės planavimui ir statybų vadybos procesui. R. Jongeling, T. Olofsson (2006) tyrė darbo srautų planavimo galimybę, pasitelkiant dvi priemones – darbo proceso planavimą statybos aikštelėje ir 4D CAD modelį. K. Tantisevi, B. Akinci (2006) gilinasi į automatizuotas automobilinių kranų darbo vietos reikalavimų generavimą, siekiant išvengti konfliktų. A. Russell, S. Staub-French, N. Tran, W. Wong (2008) pristatė 4D CAD panaudojimo galimybes daugiaaukščių pastatų vizualizacijoje ir linijiniame planavime. A. Mahalingam, R. Kashyap, C. Mahajan (2009) vertino 4D CAD modelio pritaikomumą pastatų projektavime. Y. Turkan, F. Bosche, C. T. Haas, R. Haas (2011) labiau domino automatizuotas statybų proceso stebėjimas, taikant 4D planavimą ir 3D projektavimo technologijas.

4D supratimas žinomas, tobulinamas ir nau-

dojamas visame statybos procese ar siaurose jo srityse beveik du dešimtmečius. Intensyviausiai 4D metodu domimasi augančių ekonomikų šalyse. Tai galima paaiškinti 4D nauda projektuojant ir statant daugiaaukščius pastatus. Remiantis (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) „Auštybinių pastatų ir urbanizuotų teritorijų tarybos JAV“ duomenimis, iš 20 aukščiausių pastatų net 11 yra Kinijoje, tik 4 JAV, 2 Malaizijoje, 1 Taivanyje, 1 Kuveite ir pats aukščiausias pastatas – Junginiuose Arabų Emirateose. 2000 metais 20 aukščiausiųjų pastatų vidurkis buvo 375 m, 2010 metais šis vidurkis jau siekia 439 metrus. Planuojama, kad 2020 metais dvidešimties aukščiausiųjų pastatų vidurkis bus 598 metrai. Planuojama, kad po 8 metų aukščiausiųjų pastatų dvidešimtuose bus devyniolika naujų pastatų: 9 Kinijoje, 5 Pietų Korėjoje, 1 JAV, 2 Saudo Arabijoje, 1 Indonezijoje, 1 Malaizijoje. Pateiktos aukštybinių pastatų statybų prognozės rodo inovatyvių technologijų poreikio aktualumą pasaulyje.

4D modulio tema Lietuvoje menkai nagrinėta, o 4D CAD praktinėje veikloje beveik netaikomas. 4D efektyvumo vertinimas yra praktiškai nenagrinėta sritis Lietuvos statybos pramonėje.

Tyrimo tikslas – įvertinti 4D modelio taikymo efektyvumą teoriniu aspektu.

Uždaviniai: Apibūdinti 4D sampratą ir taikymą Lietuvos ir užsienio mokslinėje literatūroje; išanalizuoti 4D modelio efektyvumą teoriniu aspektu; palyginti keturių dimensijų ir dviejų dimensijų modelio taikymo skirtumus.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė vertinant 4D taikymo tyrimus, atliktus tiek užsienio mokslininkų 4D modelio pradininkų projektavimo srityje (A. Collier, M. Fischer, 1995), tiek naujausius keturių dimensijų modelio teikiamo naudingumo vertinimus (A. Mahalingam, R. Kashyap, C. Mahajan, 2009; Y. Turkan, F. Bosche, C. T. Haas, R. Haas, 2011).

Tyrimo rezultatai

4D statybos planavimas glaudžiai susijęs su laiku, taip pat ir statybos vieta, teritorija. Pirmosios kartos 4D priemonės modeliuoja filmą ar animaciją taip, kad visi su statyba susiję dalyviai galėtų peržiūrėti 4D vizualizacijas ir realistiškiau suprasti statybos planus. Statybos vadybininkai gali praktikuoti lyginamąją analizę tarp atskirų statybos darbų ir gauti optimaliausią variantą. Pilnam 4D technologijų gali-

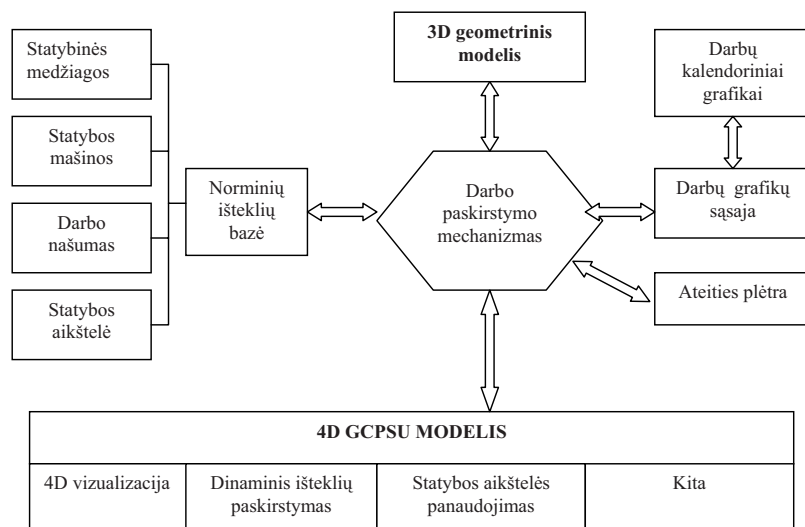
mybių išnaudojimui dabartiniai tyrėjai bando išplėsti 4D koncepciją, apibrėždami kitus statybos aspektus, būtent kainos įvertinimą ar resursų valdymą. Naujos kartos 4D įrankiai tapo viena idėja architektūrai, inžinerijai ir statybai praktiškai patikrinamų priemonių kompiuterizuotos statybos aplinkoje. Nustatyta, kad 4D taikymas statybos procesuose leidžia pasiekti tiek alokacinį, tiek technologinį efektyvumą. 4D naudojimas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį (esant vienodam statybos laiko limitui). Be to, 4D reikalauja 12 proc. retesnės prieigos prie statybos projekto informacijos nei naudojant 2D modelį. Keturių dimensijų modelis klaidų tikimybę statybos procese sumažina 40 proc. Nustatyta, kad 4D modelio naudojimas padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerina statybos proceso suvokimą (visose statybos proceso grandyse), vidutiniškai 8 proc. sumažina laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažina laiko sąnaudas statybos klaidų taisymui, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Keturių dimensijų modelio samprata

Nuoseklus statybos planavimas ir efektyvus statybietės panaudojimas yra svarbus veiksnys sklypo planavimui ir pastatų statybai. Šiandienos sudėtingus projektus planuoja didelis skaičius projektų dalyvių ir kontroliuojančiųjų asmenų. Pasak R. Jongeling, T. Olofsson (2007), analizavusių statybos praktiką Švedijoje, tik 15–20 proc. statybos proceso laiko sudaro tiesioginis darbas statybos aikštelėje. Apie 45 proc. darbo laiko skiriama netiesioginiam darbui: pasiruošiamiesiems darbams, instruktažui ir apmokymams, apsirūpinimui statybinėmis medžiagomis. Likę 35 proc. laiko skiriami klaidų taisymui,

prastovoms, delsimui – neefektyvioms laiko sąnaudoms. Per pastaruosius 20 metų kompiuterinės technologijos sparčiai pažengė pirmyn ir suteikė galimybę naudoti 3D CAD modelį statybos informacijai valdyti, neefektyviam laiko panaudojimui mažinti. Be to, 3D aplinkoje projektuotojai, dizaineriai, inžinieriai gali žiūrėti realius statybos vaizdus. Nepaisant to, 3D CAD gali suteikti dar daugiau galimybių statyboms vykdyti ir kontroliuojamiems veiksams atlikti. Šiandieną yra galimybė eksportuoti 3D brėžinį į kompiuterinę programą, kuri padeda statybos vadybininkui planuoti darbus ir neužgriozdinti statybos medžiagomis statybos aikštelės, tokiu būdu gelbėja logistikos srityje. Taigi, 4D statybos planavimas glaudžiai susijęs su laiku, taip pat ir su statybos vieta, teritorija. Pirmosios kartos 4D priemonės modeliuoja filmą ar animaciją taip, kad visi susiję su statyba dalyviai galėtų peržiūrėti 4D vizualizacijas ir realistiškiau suprasti statybos planus. Statybos vadybininkai gali praktikuoti atskirų statybos darbų lyginamąją analizę ir gauti optimaliausią variantą. Kad visiškai būtų išnaudotos 4D technologijų galimybės, dabartiniai tyrėjai bando išplėsti 4D koncepciją, apibrėždami kitus statybos aspektus, būtent: kainos įvertinimą ar resursų valdymą. Naujos kartos 4D įrankiai tapo viena idėja architektūrai, inžinerijai ir statybai praktiškai patikrinamų priemonių kompiuterizuotos statybos aplinkoje.

2005 metais Kinijos mokslininkai K. W. Chau, M. Anson, J. P. Zhang į statybos sektorių įvedė naujas frazes: 4D SMM (four-dimensional site management model) – keturių dimensijų statybos aikštelės planavimo modelis ir 4D GCPSU (graphics for construction and site utilization) grafinės priemonės statyboje ir statybos aikštelės panaudojimui.

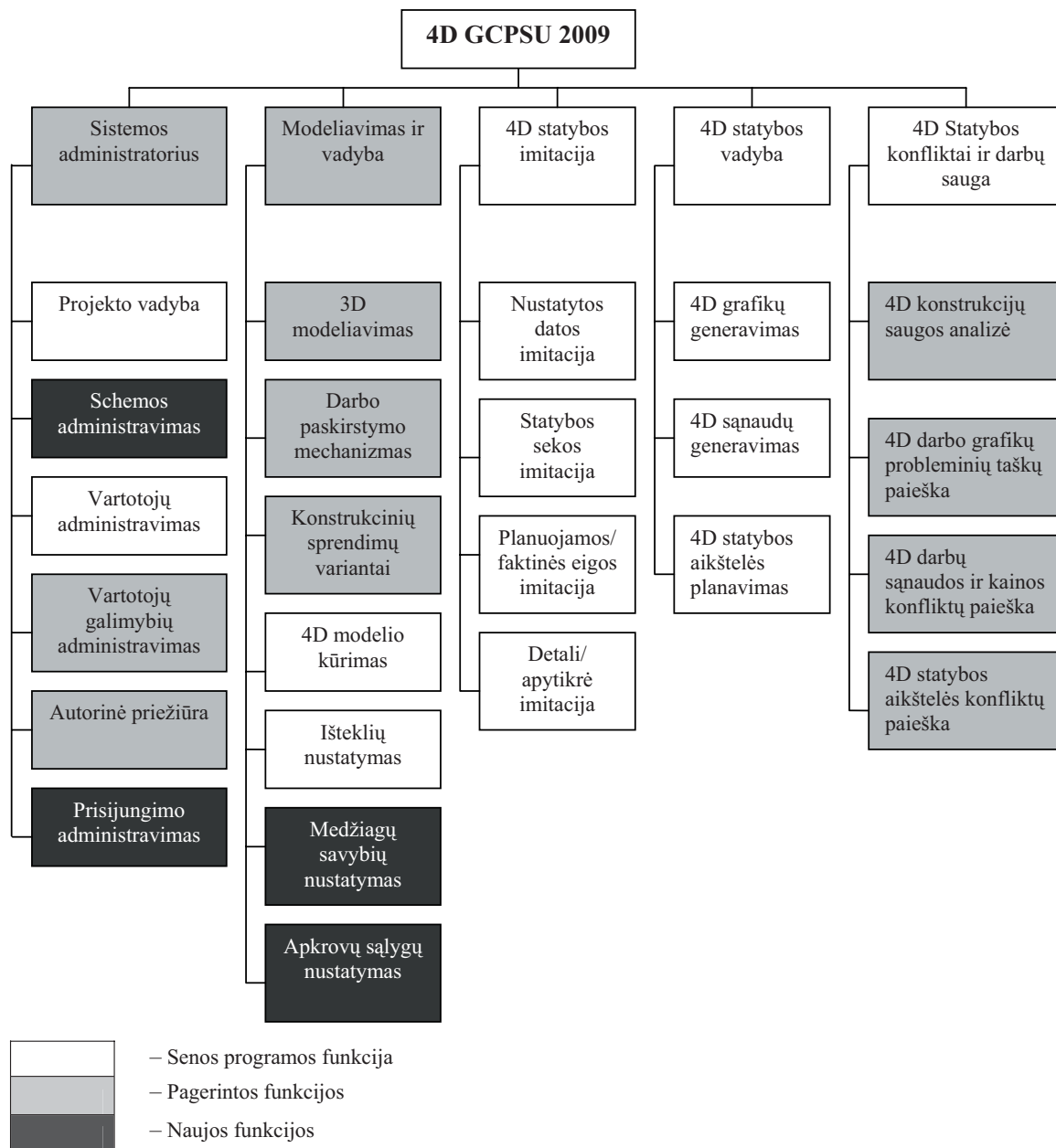


1 pav. 4D GCPSU modelis

Šaltinis: Chau, K. W. Anson, M. Zhang J. P. (2005). 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development. *Automation in Construction*. No 14 (2005). P. 512– 524.

Šis modelis buvo kurtas pasitelkiant Autodesk kompanijos programą AutoCad ir ObjectARX planavimo programinį paketą. Tačiau šis modelis nebuvo tinkamai išbaigtas ir 2011 metais Kinijos tyrėjai pasiūlė jau patobulintą jo modelį. Modelio projektavimo tikslas: 1) palaikyti daugelio vartotojų duomenų

pasikeitimo galimybėmis ir konfliktų išvengimo principu vientisoje sistemoje; 2) įvertinti statybos procesų konfliktų galimybes, vadybos funkcijas ir konstrukcinės saugos problemas; 3) elementams suteikti medžiagų savybes ir apkrovas veikiančias vietas.



2 pav. 4D GCPSU 2009 modelis

4D-2009 GCPSU programos modelį sudaro 5 funkciniai moduliai: 1) sistemos administravimas; 2) informacijos modeliavimas ir valdymas; 3) 4D statybos imitacija; 4) 4D statybos vadyba; 5) 4D statybos konfliktai ir darbų sauga (žr. 2 pav.). Pirmas modulis skirtas projektą administruojančiam personalui. Remdamiesi juo, atsakingi asmenys paskiria užduotis, sudaro prisijungimo galimybes ir nurodo atsakingus asmenis atskiroms projekto dalims. Antras modulis – informacijos modeliavimas ir valdymas –

skirtas darbui su pačiu pastato erdviu modeliu, jo pagalba kuriamas modelis, konstrukcijoms priskiriamos apkrovos ir medžiagos, iš kurių jos pagamintos. Trečiame modulyje (4D statybos imitacija) pastato statybai įvedamas laiko faktorius ir imituojamas statybos procesas. Ketvirtas modulis (4D statybos vadyba) skirtas vienam iš pagrindinių šios programos kūrimo tikslų – darbo grafikų ir medžiagų poreikio generavimui ir statybos aikštelės planavimui. Penktas programos modulis (4D statybos konfliktai ir dar-

bų sauga) skirtas konstrukcijų patikimumo ir saugos projektavimui bei probleminių taškų ir konfliktų paieškai.

Ši patobulinta programa turi lengviau valdomą duomenų bazę. Ją sudaro 89 duomenų lentelės, kurias galima suskirstyti į 12 modulių, pavyzdžiui, kalendorinių grafikų valdymo, 3D modelio saugojimo, 3D modelio valdymo, medžiagos ir papildomi mechanizmai, išteklių, statybos aikštelės išdėstymas, pastolių sistema, apkrovos ir t. t.

Nors Kinijos mokslininkai tebekuria naujas informacines sistemas, skirtas statybai, bet statybos projektavimo pramonei jau užtekinai sukurta daug projektavimo programų, pritaikytų 4D projekto rengimui: Bentley, Tekla, Google – SketchUp, Autodesk NavisWorks ir Revit, Vico ir kt.

4D efektyvumo teorinis aspektas

Efektyvumas – gamybos išteklių panaudojimo lygis, garantuojantis maksimalų rezultatą. Gamybos išteklių panaudojimo subalansavimu galima siekti alokacinio, technologinio, dinaminio efektyvumo. Alokacinis efektyvumas reiškia, kad turimi išteklių yra geriausiai paskirstyti didžiausiam naudingumui gamybos, paslaugų teikimo proceso rezultatams gauti. Technologinis efektyvumas – nuostolių nebuvimas, geriausiai naudojant turimus išteklius (Bagdonavičius ir kt., 1999). Laiko veiksnys – vienas iš parametrų, vartojamų efektyvumui vertinti – analizuojamas tiek užsienio, tiek lietuvių mokslininkų literatūroje. Pasak S. Stoškaus, E. Petukienės (2008), didžiausia problema, su kuria susiduriama šiandien, – laiko problema.

N. Dawood, S. Sikka (2008) analizavo 4D modelio teikiamą efektyvumą, atsižvelgdami į laiko veiksnį, kaip į prielaidą efektyvumui didinti. Autoriai tyrimui naudojo Lego konstruktoriaus namo modelį. Eksperimento metu naudojant 2D ir 4D projektavimo brėžinius, buvo vertinami laiko sąnaudų skirtumai, kurie pasiekiami sumažinant klaidų skaičių, informacijos naudojimo intensyvumą, sąnaudas, reikalingas klaidoms ištaisyti.

Eksperimento metu tyrėjai nustatė, kad 4D modelis yra efektyvesnis dėl kelių priežasčių: 4D informacijos pateikimo forma greičiau, geriau suvokiama ir perduodama; 4D visiems statybos proceso dalyviams padeda priimti greitesnius sprendimus, lengviau suvokti loginę statybos procesų seką.

N. Dawood, S. Sikka (2008), tirdami 4D efektyvumą, nustatė, kad, esant vienodam laiko limitui, 4D naudojimas leidžia pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei taikant 2D modelį. Tyrimu taip pat buvo nustatyta, kad 4D modelio informacijos pateikimo forma yra viena iš efektyvumo sąlygų, kadangi informacija suvokiama geriau, ir

12 proc. retesnė prieiga prie statybos projekto informacijos nei naudojant 2D modelį. Vienas didžiausių 4D modelio privalumų – klaidų sumažinimas. Nustatyta, kad keturių dimensijų modelis statybos procese klaidų tikimybę sumažina 40 proc., lyginant su dviejų dimensijų modeliu. Tyrėjai nustatė, kad 4D modelis sudaro sąlygas siekti didesnio efektyvumo statybos procese, nes įgalina vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerinti statybos proceso suvokimą, vidutiniškai 8 proc. sumažinti laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažinti laiko sąnaudas statybos klaidų taisymui, lyginant su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Apibendrinant galima teigti, kad 4D modelis sudaro sąlygas geriausiai planuoti išteklių poreikį ir organizuoti jų panaudojimą statybos proceso metu. Efektyvumą didina ir galimybė keturių dimensijų modeliu sumažinti klaidų skaičių ir laiko sąnaudas, reikalingas pasitaikančių klaidų rekonstrukcijai.

Išvados

1. Nors 4D samprata žinoma jau nuo 1995 metų (pirmą kartą panaudota 4D CAD koncepciją (CIFE) Stenfordo universitete, JAV), tačiau ši tema Lietuvos statybos sektoriuje mažai nagrinėta. Pasaulyje kuriamos programos, kuriomis galima kurti 3D modelius, ir, įvedus laiko faktorių, stebėti objekto statybos etapus, taip gaunamas 4D modelis. Didžiosios kompiuterinio projektavimo kompanijos – Autodesk, Bentley, Tekla, Google – kuria programas, palaikančias 4D funkcijas. Tuo tarpu Kinijos ir kiti besivystančių šalių mokslininkai bando sukurti programas, atitinkančias asmeninius poreikius. Projektuotojai, užsiimantys ypač sudėtingų objektų statyba (kaip mega aukšti pastatai), neįsivaizduoja, kiek truktų statyba, projektavimui, naudojant tik 2D brėžinius.
2. 4D taikymas statybos procesuose leidžia pasiekti tiek alokacinį, tiek technologinį efektyvumą. Projektuojant pastatus trimatėje erdvėje, negaištama papildomo laiko pjūviams ir fasadams sudaryti. Šiuolaikinės projektavimo programos tai padaro vieno klavišo paspaudimu. Medžiagų kiekiai, darbo jėgos poreikis, mechanizmai įtraukiami į žiniaraščius automatiškai, taip išvengiama klaidų ir neatitikimų objekto ekonominėje dalyje. Nesunku stebėti prognozuojamą statybos eigą, pavyzdžiui, kaip statomas objektas atrodys po pusės metų. Mažesnė tikimybė statyboje padaryti klaidų, kurių taisymas didintų laiko ir finansines sąnaudas. Automatinis darbo grafikų sudarymas įgalina planuoti įmonės darbuotojų pajėgumus, nuosekliai planuoti statybas.

3. 4D naudojimas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnių statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį (esant vienodam statybos laiko limitui), reikalinga 12 proc. retesnė prieiga prie statybos projekto informacijos. Keturių dimensijų modelis statybos procese klaidų tikimybę sumažina 40 proc. Nustatyta, kad 4D modelio naudojimas padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerinti statybos proceso suvokimą (visose statybos proceso grandyse), vidutiniškai 8 proc. sumažinti laiko sąnaudas projekto brėžiniams skaityti ir 67 proc. sumažinti laiko sąnaudas statybos klaidoms taisyti, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Literatūra

1. Bagdonavičius J., Stankevičius P., Lukoševičius L., 1999, *Ekonomikos terminai ir sąvokos*. Vilnius: VPU leidykla
2. Chau K. W., Anson M., Zhang J. P., 2005, 4D dynamic construction management and visualization software: 1.Development. *Automation in Construction*. No. 14. P. 512–524.
3. Collier A., Fischer M., 1995, Four-Dimensional Modeling in Design and Construction. *CIFE technical Report*. Stanford.
4. Jongeling R., Olofsson T., 2007, A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*. No. 16. P. 189–198.
5. Maa Z., Shen Q., Zhang J., 2005, Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. *Automation in Construction*. No. 14. P. 369–381.
6. Mahalingam A., Kashyap R., Mahajan C., 2010, An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. *Automation in Construction*. No. 19. P. 148–159.
7. Russell A., Staub-French S., Tran N., Wong W., 2009, Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*. No. 18. P. 219–236.
8. Stoškus S., Petukienė E., 2008, Laiko valdymo efektyvumas: teorinis ir praktinis aspektai. *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos*. Nr. 3 (12). P. 319–328.
9. Tantisevi K., Akinci B., 2006, Automated generation of workspace requirements of mobile crane operations to support conflict detection. *Automation in Construction*. No. 16. P. 262–276.
10. Turkan Y., Bosche F., Haas C.T., Haas R., 2011, Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies.
11. Wang H. J., Zhang J. P., Chau K. W., Anson M., 2004, 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. *Automation in Construction*. No. 13. P. 575–589.
12. 100 tallest completed buildings in the world. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Žiūrėta [2012 01 02] prieiga per internetą: <http://buildingdb.ctbuh.org/?list_type=1>.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF 4D MODEL: THEORETICAL ASPECT

Marius Reizgevičius, Rasa Reizgevičienė

Summary

Architects and engineers involved in the construction of particularly complex objects, such as mega-tall buildings, have no idea how many 2D CAD drawings it would take for them to produce the full picture of the construction design. The use of 4D CAD model in construction process helps to achieve both allocational and technological efficiency. The designing of buildings in three dimensions eliminates waste of time for drawings of sections and facades. With a modern design program this task can be accomplished in a single keystroke. Quantities of materials, labour demand, and mechanisms are included in the sheets automatically, thus mistakes and inconsistencies in the economic part of the object are avoided. It is easy to monitor the planned progress of construction process, for example, to see how the construction in progress will look after half a year. It reduces likelihood of mistakes in construction, the correction of which would increase time and costs required. Automatic job scheduling allows consistent planning of the capacity of employees and the construction. Compared to 2D CAD, 4D CAD gives on average 7% greater completion of the object being constructed (when the time limit for construction is the same). Compared to 2D model, the 4D model requires 12% rarer access to building project information. When using the four-dimensional model in the process of construction, probability of mistakes decreases by 40%. It has been found that use of the 4D model helps to shorten the duration of the construction process on average by 7%. It also improves understanding of the construction process on average by 14% (in all segments of the construction process chain), decreases the time needed to read drafts of the project on average by 8%, and shrinks time spent on corrections of construction mistakes by 67%, compared with the use of a two-dimensional model.

Keywords: 4D CAD, efficiency, 3D CAD, 2D CAD.

KETURIŲ DIMENSIJŲ MODELIO EFEKTYVUMO VERTINIMO TEORINIS ASPEKTAS*Marius Reizgevičius, Rasa Reizgevičienė***Santrauka**

Projektuotojai, užsiimantys ypač sudėtingų objektų statyba, pvz., mega aukštų pastatų, neišsivaizduoja, kiek truktų statyba, jei projektavimui būtų naudojami tik 2D brėžiniai. 4D taikymas statybos procesuose leidžia pasiekti tiek alokacinį, tiek technologinį efektyvumą. Projektuojant pastatus trimatėje erdvėje, negaištama papildomo laiko pjūviams ir fasadams sudaryti. Šiuolaikinės projektavimo programos tai padaro vieno klavišo paspaudimu. Medžiagų kiekiai, darbo jėgos poreikis, mechanizmai įtraukiami į žiniaraščius automatiškai, taip išvengiama klaidų ir neatitikimų objekto ekonominėje dalyje. Galima stebėti pronozuojamą statybos eigą, pavyzdžiui, kaip statomas objektas atrodys po pusės metų. Mažesnė tikimybė statyboje padaryti klaidų, kurių taisymas didintų laiko ir finansines sąnaudas. Automatinis darbo grafikų sudarymas įgalina nuosekliai planuoti įmonės darbuotojų pajėgumus, statybas. 4D taikymas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį (esant vienodam statybos laiko limitui). 4D reikalauja 12 proc. retesnės prieigos prie statybos projekto informacijos nei naudojant 2D modelį. Keturių dimensijų modelis statybos procese klaidų tikimybę sumažina 40 proc., padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerina statybos proceso suvokimą (visose statybos proceso grandyse), vidutiniškai 8 proc. sumažina laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažina laiko sąnaudas statybos klaidoms taisyti, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Prasminiai žodžiai: 4D CAD, efektyvumas, 3D CAD, 2D CAD.

Įteikta 2012-03-15