

BETONAVIMO PROCESO IR OPERACIJŲ ANALIZĖ TAIKANT *LEAN* METODIKĄ

Vidmantas Gramauskas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas vidmantas.gramauskas@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje supažindinama su *Lean* metodika, „kaip tik laiku“, vertės srauto žemėlapis ir visuotinės kokybės valdymo principais ir jų pritaikymu statyboje. Siekiant pritaikyti šiuos principus atliktas tyrimas stebint ir fiksuojant betonavimo procesą trijuose namuose, kai buvo betonuojamas cokolinių aukštų grindys fibrobetonu. Iš surinktų duomenų betonavimo procesą galima išskaidyti į atskiras operacijas ir nagrinėti kiekvieną atskirai. Tiriant operacijas buvo taikyti tam tikri matavimo vienetai – laikas, darbuotojų skaičius, kubiniai metrai betono, patalpų kvadratūra. Šie duomenys padėjo išskirti naudingas operacijas nuo vertės nekuriančių. Vertės nekuriančioms operacijoms galima pritaikyti anksčiau minėtus principus ir sumažinti jų trukmę arba visiškai panaikinti. Svarbiausia problema yra betonavimo proceso išskaidymas į operacijas, tų operacijų analizė ir *Lean* principų joms pritaikymas. Įdiegus *Lean* sistemą galima išvengti atliekų ir padidinti galutinio produkto vertę.

Reikšminiai žodžiai: taupioji statyba, betonavimas, procesas, operacija, laikas, atliekos, ciklas, „kaip tik laiku“ principas, vertės srauto žemėlapis, visuotinės kokybės valdymas.

Įvadas

Statyba – tai veikla, kurios esmė yra naujų pastatų (produkto) statyba ar esamų pastatų atnaujinimas, remontas, modernizavimas. Šią veiklą sudaro daugybė procesų, kurie yra pasikartojantys ir glaudžiai tarpusavyje susiję. Statybos procesams galima priskirti žemės darbus, pamatų įrengimą, nulinio ciklo užbaigimą, betonavimą, mūrijimą, stogo dengimą, plytelių klojimą, durų įstatymą ir kitus darbus. Savo ruožtu kiekvienas procesas gali būti suskirstytas į operacijas (betono užpylimas, betono lyginimas, rišimosi laikas, klojinių ardymas ir kiti), o šios – į veiksmus (klojinių dalies pastatymas į projektinę padėtį, klojinių fiksavimas į projektinę padėtį ir kiti).

Visi statybos procesai, kaip ir jų operacijos bei veiksmai, pasižymi cikliškumu ir pasikartojimu (Dunlop, Smith 2004). Vienas iš svarbesnių procesų statyboje yra betonavimas, kurį pagal tam tikrą atvejį sudaro vienos ar kitos besikartojančios operacijos (šiuo atveju grindų betonavimas): betonvežio pakrovimas, judėjimas statybos aikštelės link, manevravimas statybvietyje, betono pylimas į automobilių betono siurblio bunkerį, betono pumpavimas į statybos vietą, betono paskleidimas, betonvežių pasikeitimas, betono lyginimas, nuolydžių formavimas, vibravimas, betono rišimasis, šlifavimas, deformacinių siūlių įrengimas ir kiti.

Šiame straipsnyje, naudojant taupiosios statybos teorijas ir principus, siekiama išskirti betonavimo proceso operacijas iš realaus betonavimo pavyzdžio, sugrupuoti

operacijas į naudingą ir nenaudingą veiklą, daugiausia dėmesio atkreipiant į tas, kurios mažina galutinio produkto vertę ir neneša naudos užsakovui. Siekiant tiksliai išskaidyti betonavimo procesą buvo atliktas stebėjimo pobūdžio tyrimas Vilnius *Golf and SPA Resort* teritorijoje statomuose 10-ies butų namuose. Buvo stebimi cokolinio aukšto grindų betonavimo darbai. Tyrimo tikslas buvo nustatyti naudingą ir nenaudingą veiklą ir jos mastą, kuri leistų, pritaikant taupiosios statybos principus, efektyviau pasiekti maksimalią vertę turimais ištekliais.

Taupiosios statybos samprata ir principai

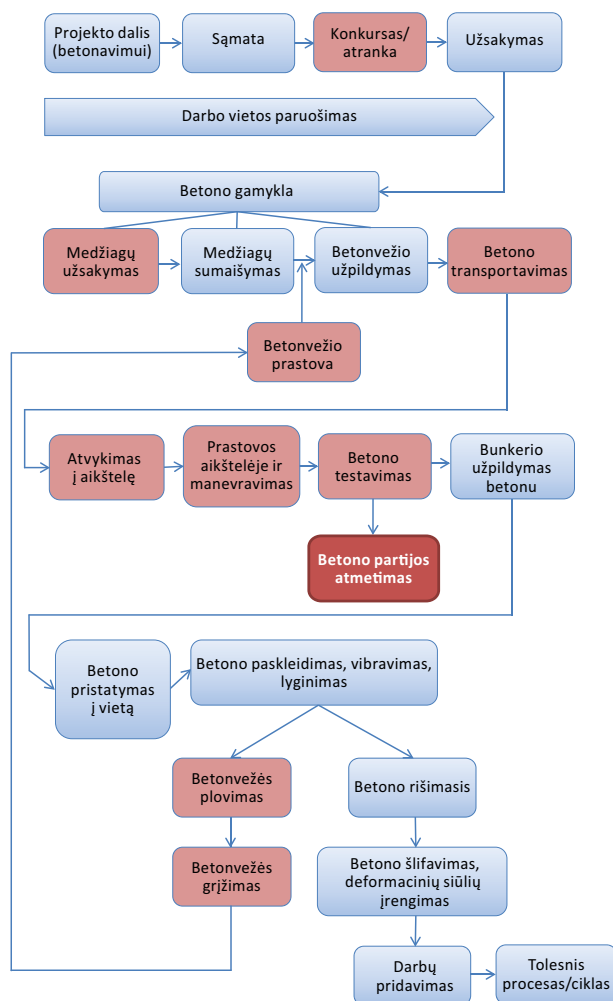
Taupiosios gamybos, kaip ir iš jos kilusios taupiosios statybos (toliau – *Lean*), pagrindiniai tiriami objektai yra srautai ir pokyčiai (angl. *flows, conversations*). Pagal *Lean* metodiką visus procesus galima suskirstyti į vertę kuriančius ir vertės nekuriančius, o pagrindinis tikslas yra vertės nekuriančių procesų atsisakymas (Song 2008). Vertės nekuriantys procesai dar kitaip vadinami atliekomis (angl. *waste*). Šis terminas pradėtas vartoti gamybos srityje nuo XX a. pradžios. Tai yra pamatinė savoka *Lean* gamybos ir statybos srityje (Koskela, Sacks, Rooke 2012). Atliekos apibrėžiamos kaip turimų resursų naudojimas nekuriant vertės, tai yra nevykdant virsmo proceso (Koskela 1992). Tokie švaistymai apibrėžiami kaip nedidelės reikšmės pro-

blemos, kurias nuolat siekiama mažinti. Šiuo atveju *Lean* tikslas yra viso proceso tobulinimas, gamybos sistemos palaikymas, švaistymų nustatymas ir panaikinimas, vertės kūrimas. Pokyčiai – tai visi vertę kuriantys procesai, kurių metu įvyksta transformacija, tai yra viena medžiaga ar produktas virsta kita, turinčia didesnę vertę. Šie procesai, priešingai nei atliekos, neša realią naudą užsakovui, o tai ir yra pagrindinis *Lean* principas – pasiekti didžiausios vertės naudojant mažiausius resursus.

Lean pritaikymas betonavimo procesui

Betonavimo procesą sudaro atskiros tarpusavyje susijusios operacijos. Operacijas galima sugrupuoti į naudingas, tai yra į tas, kurios kuria vertę ir yra apibrėžiamos kaip transformacija (betono paskleidimas, šlifavimas ir kiti), ir nenaudingas, kurios vertės nekuria, bet naudoja resursus (betonvežio manevravimas, prastovos, techninė priežiūra ir kiti).

Išskaidžius betonavimo procesą į operacijas (1 pav.) galima atskirti naudingą (mėlyna spalva) ir nenaudingą



1 pav. Betonavimo proceso ir operacijų schema
Fig. 1. Scheme for operations of laying concrete

(raudona spalva) veiklą. Tačiau vertės nekuriančios operacijos yra labai svarbios visam betonavimo procesui, pavyzdžiui, betonvežio judėjimas iš gamyklos iki statybos aikštelės, kad būtų užbaigtas proceso ciklas. Organizuojant betonavimo darbus galima pritaikyti *Lean* principą „kaip tik laiku“ (angl. *Just in time*), kuris yra kilęs iš gamybos sektoriaus (Pheng, Chuan 2001), arba visuotinės kokybės valdymą (angl. *Total quality management*), galintį sumažinti atliekas ir padidinti galutinę vertę. „Kaip tik laiku“ principas (toliau – JIT) kontroliuoja vertės nekuriančių operacijų kiekį ir dydį, sukuria medžiagų tiekimo „kaip tik laiku“ schemą, kurią naudojant būtų sumažintos išlaidos išlaikant tą pačią vertę ar net ją padidinant, nagrinėja tiekimo sistemos efektyvumą, iš esmės ir skatina tiekimo procesą atlikti tiksliai laiku esant mažoms medžiagų atsargoms sandėlyje – visa tai mažina atliekų dydį statyboje (Eriksson 2010). JIT Visuotinės kokybės valdymas (toliau – TQM) užtikrintų reikiamą techninę priežiūrą, mažinančią besikartojančių operacijų poreikį dėl broko taisymo.

Betonavimo procesui tobulinti reikia suformuoti dvi užduotis: numatyti ir panaikinti kintamuosius, tuomet bus galima juos valdyti – iš anksto užtikrinti nuolatinį betono tiekimą, sutrumpinti ciklo trukmę vertės nesukuriančių operacijų sąskaita, panaikinus prastovas. Visas operacijas galima lengvai išmatuoti laiko atžvilgiu. Pati nenaudingiausia veikla yra laukimas, kuris visiškai nekuria vertės, pavyzdžiui, prastovos, dėl kurių statybos pramonėje atsiranda daug problemų (AlSehaimi, Koskela 2008). Pritaikius JIT metodiką galima tokias operacijas sutrumpinti arba panaikinti, tai sumažintų betonavimo ciklo trukmę. Teoriškai teisingai pritaikius JIT principus galima sukurti betonavimo operacijų schemą, kurioje vertę kuriantys procesai eitų vienas po kito, o ciklo trukmė būtų minimali, pavyzdžiui, vienam betonvežiui išpylus visą betoną į automobilinio betono siurblio bunkerį tuoj pat privažiuotų kitas išpilti pasiruošęs betonvežis. Taip sukuriama nepertraukiamas procesas, didinantis kuriamą vertę.

Betonavimo proceso tyrimo duomenys

Siekiant tiksliai išskaidyti betonavimo procesą į operacijas, suskirstyti jas į naudingas ir vertės nekuriančias bei išmatuoti jų trukmę, buvo atliktas tyrimas Vilnius *Golf and SPA Resort* teritorijoje statomuose 10-ies butų trijuose namuose. Stebėjimai atlikti betonuojant cokolinio aukšto grindis su fibrobetonu. 1 pav. pateiktas betonavimo procesas pradedamas nuo projekto dalies ir betono gamybos, tačiau šiuo atveju nebuvo galimybės stebėti gamykloje vykstančių operacijų. Todėl tyrimo metu buvo stebimas tik pats grindų betonavimas – nuo betonvežio atvažiavimo iki betono

išlyginimo, vibravimo ir šlifavimo. Tyrimo duomenys buvo gauti filmuojant betonavimo vietą ir betonvežio su automobilinės betono pompos darbo vietą. 1 lentelėje pateikti viso grindų betonavimo proceso duomenys (3 namams (F) po 335 m²). 2 lentelėje pateikti duomenys vieno betonavimo ciklo iki betonvežio pasikeitimo.

Tyrimo metu atskirtos operacijos, kurios kuria vertę, tai yra transformacijos, ir kurios yra atliekos – naudojant išteklius vertė nesukuriama. Betonavimo vietoje dirbo 6 darbininkai betonuotojai, vienas automobilinės betono pompos operatorius, vienas betonvežio operatorius ir darbų vadovas. 6 betonuotojai buvo darbus pasidalinę – vienas buvo atsakingas už betono skleidimą ir žarnos valdymą, du atsakingi

už betono lyginimą ir žarnos reguliavimą pagal pirmojo darbuotojo nurodymus, vienas atsakingas už nuolydžius ir altitudes, vienas atsakingas už vibravimą, vienas atsakingas už deformacinių medžiagų tiesimą ir betono lyginimą. Toks darbų pasiskirstymas leidžia kelias operacijas atlikti vienu metu, todėl toliau šios operacijos nebus vertinamos kaip atskiros. Pagal tai galima nustatyti, kad betonavimo operacija truko 14 minučių, betonvežio manevravimas – 10 minučių, o prastovos – 2 minutes (2 lentelė). Betonavimo cikle naudingos ir nenaudingos operacijos užima beveik vienodai laiko.

Betonavimo proceso ir operacijų analizė

Išanalizavus tyrimo metu gautus duomenis betonavimo procesą galima lengvai suskirstyti į operacijas, o jas – į naudingas ir nenaudingas. Matuojant kiekvieną operaciją laiko vienetais galima sužinoti jų trukmę ir sudaryti betonavimo efektyvumo diagramą (2 pav.). Pagal šiuos duomenis galima spręsti, kur reikia didinti efektyvumą. Pavyzdžiui, betonvežio manevravimo laiką galima būtų sumažinti įrengiant atitinkamo pločio kelius ir patogesnę privažiavimą prie objekto, šiuo atveju buvo 5 m pločio skaldos dangos kelias su betoniniais bortais, kurie neleido vienu metu prie automobilinės betono pompos stovėti keliems betonvežiams. Prastovos atsirado dėl esančių pertvarų cokoliniame aukšte – darbuotojams nuolat teko reguliuoti žarnos padėtį rankiniu būdu, o betonuojant išėjimo link vis tekdavo atjungti žarnos sekcijas ir nešti plauti. Šios operacijos yra vertės nekurančios, todėl, pritaikius *Lean* ir JIT principus, galima maksimaliai sumažinti jų užimamą laiką. Pirmasis pasiūlymas būtų įrengti privažiavimus taip, kad šalia automobilinės betono pompos galėtų prasilenkti du betonvežiai (išvažiuojantis ir atvažiuojantis). Tyrimo metu išvažiuojantis betonvežis turėjo įveikti 110 metrų kelio, kol kitas betonvežis galėjo privažiuoti prie darbo vietos taip pat 110 metrų. Kitas pasiūlymas yra panaikinti prastovas dėl

1 lentelė. Betonavimo operacijų duomenys

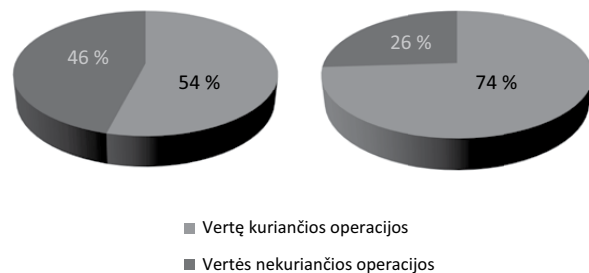
Table 1. Data on operations of laying concrete

Operacijos pavadinimas	Naudinga / nenaudinga	Operacijos trukmė, min			Vidurkis, min
		namas (335 m ²)			
		F1 (43,5 m ³)	F2 (44,1 m ³)	F3 (44,3 m ³)	
Automobilinės pompos paruošimas	Ne	24	25	28	25,67
Betonvežio manevravimas	Ne	49	51	56	52,00
Betono pumpavimas / skleidimas	Taip	32	37	38	35,67
Betono lyginimas	Taip	32	37	38	35,67
Betono vibravimas, nuolydžio formavimas	Taip	48	51	49	49,33
Betono rišimasis	Ne	200	200	200	200,00
Betono šlifavimas	Taip	27	25	32	28,00
Papildomos prastovos	Ne	35	62	57	51,33
Iš viso (val.):		7,350	8,083	8,267	7,900

2 lentelė. Betonavimo ciklo duomenys

Table 2. Data on the cycle of laying concrete

Operacijos pavadinimas	Naudinga / nenaudinga	Operacijos trukmė, min
Betonvežio manevravimas	Ne	10
Betono pumpavimas / skleidimas	Taip	12
Betono lyginimas	Taip	14
Betono vibravimas, nuolydžio formavimas	Taip	10
Prastovos	Ne	2
Iš viso (val.):		0,800



2 pav. Betonavimo ciklo efektyvumas prieš ir po *Lean* principų pritaikymo

Fig. 2. The effectiveness of the cycle of laying concrete before and after the application of Lean principles

žarnų sekcijų atjungimo sudarant betonavimo eiliškumo planą. Toks planas turėtų būti sudaromas pagal užsakovo pateiktą cokolinio aukšto planą prieš atliekant betonavimo darbus. Pagal 2 lentelę ir pateiktus *Lean* principus sudarytos skritulinės diagramos, parodančios teorinę *Lean* principų naudą vienam betonavimo ciklui.

Analizuojant 1 lentelę galima pastebėti, kad daugiau sia laiko užima betono rišimasis prieš šlifavimą. Dėl to atsiranda labai didelės darbuotojų prastovos (3–4 valandos vienam objektui). Visi trys namai buvo betonuojami kas antrą dieną. Siekiant sumažinti šias prastovas, pabaigus betonuoti pirmąjį namą, darbus galima perkelti į antrąjį. Tada darbo diena nepailgėtų, bet šlifuoti būtų paruoštos dviejų namų grindys.

Pagal 1 ir 2 lenteles galima apskaičiuoti betonavimo greitį vienam ciklui ir visam betonavimo procesui:

- Vieno ciklo betonavimo greitis – 8,75 m³/h;
- Visos betonavimo operacijos greitis (iki betono rišimosi) – 13,30 m³/h.

Vieno ciklo betonavimo greitis yra mažesnis nei viso proceso, nes procese visos operacijos yra susijusios, tai yra nepasibaigus vienai operacijai gali būti pradėta kita dėl efektyvaus darbų organizavimo.

Tiriant betonavimo procesą ir jo operacijas kartu ir atskirai reikia atsižvelgti ne tik į laiko matavimo vienetus, bet ir į pumpavimo ir betonavimo greitį, dirbančių žmonių skaičių ir pasiskirstymą darbais, normines darbo sąnaudas pagal norminę dokumentaciją ir kitus. Iš šių rodiklių galima nustatyti betonuotojų brigados betonavimo efektyvumo lygį ir sudaryti vertės srauto žemėlapi (angl. *value stream map*). Vertės srauto žemėlapis yra viena iš *Lean* principų dalių, kurias naudojant galima analizuoti procesus ir operacijas per medžiagų, produktų ir informacijos judėjimą laike. Toks žemėlapis gali būti pritaikytas ir betonavimo procesui. Į vertės srauto žemėlapi įtraukiami visi procese dalyvaujantys subjektai nuo betono gamyklos iki betonavimo brigados, parametrai, kuriais yra apibrėžiamas betonavimas, atsargų kiekiai, poreikiai ir kiti elementai. Naudojant vertės srauto žemėlapi galima pasiekti didesnę vertę modeliuojant vertės kūrimo procesą ir mažinant arba visiškai panaikinant atliekas.

Lean principų diegimas statybos procesuose reikalauja detalios procesų ir jų operacijų analizės sujungiant visas suinteresuotas šalis – užsakovą, projektuotoją, rangovą, tiekėją. *Lean* turėtų būti pradėtas diegti į svarbiausią įmonių veiklą, tuomet teigiamas rezultatas būtų matomas greičiausiai ir daugelio žmonių (Neto 2007). Įvertinus kiekvienos operacijos naudą galutinei vertei, atsižvelgiant į darbų organizavimą, planavimą, tiekimo ir statybos valdymą, galima pasiekti didesnę vertę. *Lean* principų taikymas statyboje

(taip pat ir JIT, TQM, vertės srauto žemėlapis) gali gerokai sutrumpinti atliekamų darbų trukmę, dėl ko sumažėja reikalingų resursų kiekis, bet padidėja kuriama galutinė vertė. *Lean* principai išsiskiria iš kitų dėl aiškiai apibrėžto tikslo didinti vertę suinteresuotoms šalims (Oehmen, Rebertsch 2010).

Išvados ir rekomendacijos

1. Taupiosios statybos (angl. *Lean Construction*) idėja gali labai pagerinti betonavimo procesą ir jo operacijas efektyvumo prasme, sumažinti atliekas ir padidinti užsakovui kuriamą vertę.
2. Atlikus tyrimą realiame statybos objekte, kur buvo betonuojamos cokolinio aukšto grindys trijuose vienuose namuose, buvo gauti duomenys apie betonavimo procesą – operacijas, trukmę, darbų pasiskirstymą, darbuotojų skaičių ir kt.
3. Pagal turimus susistemintus duomenis galima atskirti naudingą veiklą nuo vertės nekuriančios ir pritaikyti *Lean* principus, siekiant sumažinti nenaudingos veiklos trukmę iki minimumo. Pavyzdys buvo pateiktas diagramoje (2 pav.).
4. Pagal turimą kiekvienos operacijos trukmę galima iš nenaudingos veiklos išskirti ilgiausiai trunkančią. Sprendžiant tokias problemas, kaip darbų organizavimas, planavimas, teisingas sąmatų sudarymas, darbų statybos aikštelėje valdymas, kontrolė ir techninė priežiūra, galima sutrumpinti arba panaikinti nenaudingos veiklos trukmę.
5. Turimi tyrimo duomenys leidžia kitą kartą organizuojant darbus pritaikyti vertės srauto žemėlapi, kuris padėtų valdyti medžiagų, įrenginių ir informacijos judėjimą darbo vietoje. Tokiu atveju vos atsiradus poreikiui, medžiagos būna paruoštos tiekti arba naudoti.
6. Siekiant tikslesnių rezultatų tyrimą reikėtų atlikti didesniame objekte įtraukiant daugiau ciklų.

Literatūra

- AlSehaimi, A.; Koskela, L. 2008. What can be learned from studies on delay in construction?, in *Proceedings for the 16th Annual Conference of the International Group for LEAN Construction Theory*, 95–107.
- Dunlop, P.; Smith, S. D. 2004. Planning, estimation and productivity in the Lean concrete pour, *Engineering, Construction and Architectural Management* 11(1): 55–64.
<http://dx.doi.org/10.1108/09699980410512665>
- Eriksson, P. E. 2010. *Improving Construction Supply Chain Collaboration and Performance: a Lean Construction Pilot*. Project. Department of Business Administration and Management, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.

- Koskela, L. 1992. *Application of the new production philosophy to construction*. CIFE Technical Report 72. Stanford University, Stanford, CA: 75.
- Koskela, L.; Sacks, R.; Rooke, J. 2012. A brief history of the concept of waste in production, in *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group of Lean Construction*.
- Neto, J. P. B.; Alves, T. C. L. 2007. Strategic Issues in Lean Construction Implementation, in *Proceedings IGLC-15*. Michigan, USA, 78–87.
- Oehmen, J.; Rebentisch, E. 2010. *Waste in Lean Product Development*. LAI Paper Series “Lean Product Development for Practitioners”, Massachusetts Institute of Technology.
- Pheng, L. S.; Chuan, C. J. 2001. Just-in-time management in precast concrete construction: a survey of the readiness of main contractors in Singapore, *Integrated Manufacturing Systems* 12(6): 416–429.
<http://dx.doi.org/10.1108/EUM0000000006107>
- Song, L.; Liang, D.; Javkhedakr, A. 2008. *A Case Study on Applying Lean Construction to Concrete Construction Projects*. A Case Study, University of Houston, Texas Tech University, FMC Technologies, Houston, Texas.

THE PROCESS OF LAYING CONCRETE AND ANALYSIS OF OPERATIONS APPLYING THE LEAN APPROACH

V. Gramauskas

Abstract

The paper considers Lean philosophy ‘*Just in Time*’, a value stream map and total quality management principles applying them to the construction. In order to follow these principles, a case study was performed, thus observing and recording the process of laying concrete in three houses where a lower ground floor was casted employing fiber concrete. The collected data were required to fragment the process of laying concrete into smaller operations and examine each operation independently. The examination of operations was introduced in certain units of measurement – time, the number of workers, cubic meters of concrete used, space area, etc. This information helped with distinguishing useful operations from useless actions bringing no value to the product. The previously mentioned methods can be applied to useless operations to reduce their duration or even eliminate them. The main problem is the process of laying concrete splitting it into smaller operations, operation analysis and adaptation of Lean principles. The implementation of Lean system can reduce waste and increase the value of the final product.

Keywords: Lean construction, laying concrete, process, operation, waste, cycle, *Just in Time*, value stream map, total quality management.