

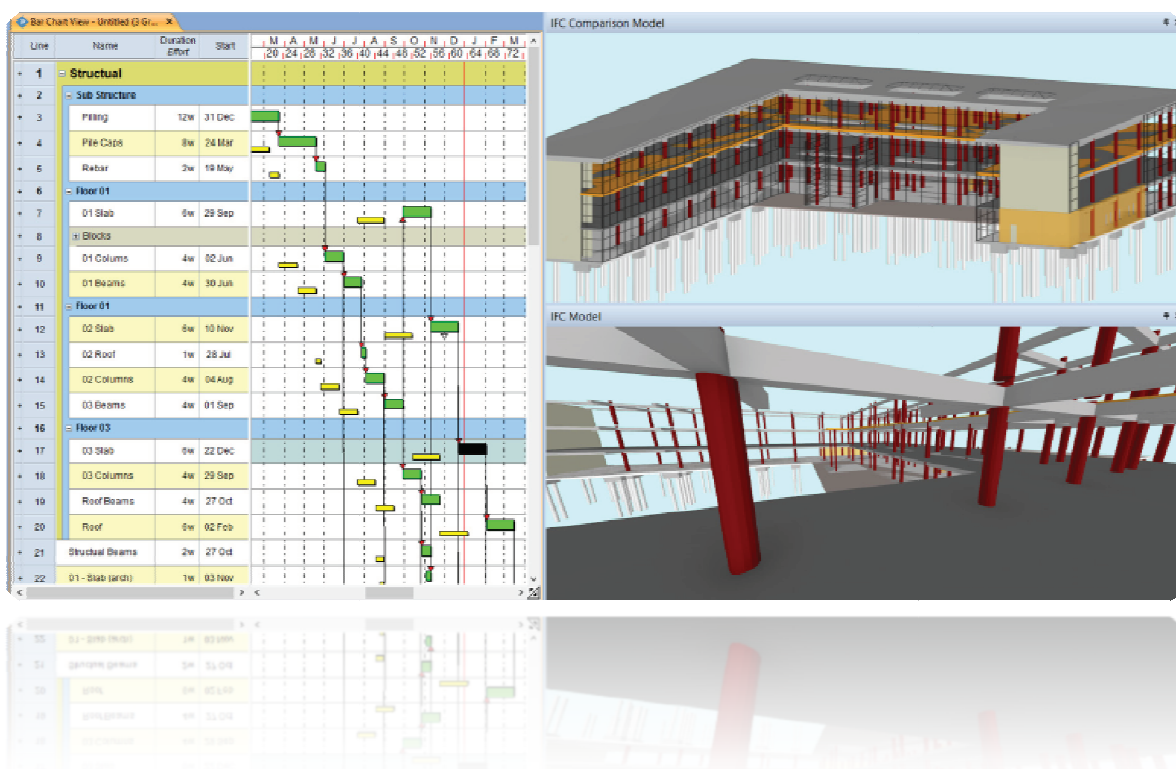


Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Vides un būvzinātņu fakultāte
Arhitektūras un būvniecības katedra



BŪVNIECĪBAS PLĀNOŠANA UN ORGANIZĒŠANA

Metodiskie norādījumi praktisko darbu veikšanai
atkārtots, papildināts izdevums



Jelgava
2020

Izstrādāja un sastādīja: Sandra Gusta, Evelīna Mirbaha, Dace Slokenberga

Būvniecības plānošana un organizēšana. Metodiskie norādījumi praktisko darbu veikšanai. Atkārtots, papildināts izdevums / Sast. S.Gusta u.c. – Jelgava: LLU, 2020. - 78 lpp.

Metodiskie norādījumi ietver norādījumus praktisko darbu veikšanai LLU VBF 1.un 2. līmeņa profesionālās augstākās izglītības studiju programmu “Būvniecība” un profesionālā bakalaura studiju programmas “Būvniecība” studējošiem studijuursos “Būvniecības organizēšana un vadīšana I” “Būvniecības organizēšana un vadīšana II” un “Būvniecības organizēšana un vadīšana III” pilna un nepilna laika studentiem un būvniecības profesionāļiem. Tie atbilst minēto studiju kursu programmām un mūsdienu augstskolu didaktikas atziņām. Lai praktiski iepazītos ar būvniecības plānošanas paņēmieniem, tika apkopotas, caurskatītas un analizētas dažādās plānošanas un efektivitātes veicināšanas metodes un programmatūras.

Metodiskie norādījumi apstiprināti un ieteikti pavairošanai
VBF Domes sēdē 2020. gada 21. oktobrī

ISBN 978-9984-48-363-4

SATURS

IEVADS	4
1. NODAĻA	5
1.1. Būvniecības kalendārā plānošana un tās nozīme	5
1.2. Būvniecības kalendārās plānošanas metodes	6
1.2.1. Būvniecības plānošana ar grafiskajām metodēm	6
1.2.2. Būvniecības plānošanas programmatūras	8
1.2.3. Būvniecības plānošana ar daudzdimensiju modeli BIM	9
1.3. Kalendārās plānošanas metožu attīstība	11
1.4. Būvražošanas organizēšanas plūsmas metode	16
1.4.1. Plūsmas metodes tehniski – ekonomiskais raksturojums	16
1.4.2. Plūsmu iedalījums	17
1.4.3. Plūsmu parametri un ritmisko plūsmu aprēķini	19
1.4.4. Neritmiskas plūsmas un to aprēķināšana	24
1.4.5. Neritmiskas plūsmas aprēķina metodes	27
1.4.6. Neritmisko plūsmu optimizēšana	32
1.4.7. Potenciālās un paradoksālās rūtības	35
1.4.8. Kompleksas plūsmas, to parametru aprēķini	37
1.4.9. Plūsmas metodes ekonomiskā efektivitāte būvniecībā	42
2. NODAĻA – METODIKA, RISINĀJUMU VARIANTI UN TO ANALĪZE	43
2.1. Būvniecības kalendārās plānošanas ar grafiskajām metodēm analīze	43
1. Praktiskais darbs - Ritmiskas plūsmas plānošana ar dažādiem ritmiem	44
2. Praktiskais darbs - Neritmiskās plūsmas ar vienādu ritmu maiņu plānošana	48
3. Praktiskais darbs - Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem plānošana	51
4. Praktiskais darbs - Dažādritmisko plūsmas kalendārā plānošana	55
5. Praktiskais darbs - Neritmiskas plūsmas aprēķins ar matricas metodi	57
6. Praktiskais darbs - Tīkla grafika konstruēšana laika mērogā	64
7. Praktiskais darbs - Tīkla grafiku aprēķins tabulā	67
8. Praktiskais darbs - Tīkla grafika izskaitļošana uz grafika	72
SECINĀJUMI	75
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	77
Pateicības	78

IEVADS

Būvniecības plānošana pastāv kopš būvniecības kā tādas rašanās, taču, atšķirībā no tās pirmsākumiem, tās metodes ir krietni attīstījušās un pielāgojušās mūsdienu vienmēr augošajām vajadzībām un pieprasījumiem.

Kalendārā plānošana būvniecībā pamatojas galvenokārt uz būvniecības procesu grafisku modelēšanu laika mērogā. Grafiskās metodes attīstījušās no vienkāršiem līniju grafikiem līdz pat sarežģītiem 4D modeļiem, kas satur milzīgu daudzumu informācijas. Būvniecības plānošana nepieciešama, lai garantētu visu būvniecības procesu pareizu secību, kā arī optimizētu, ja iespējams, paātrinātu to norisi. Būvniecības procesu plānošana veicina būvniecības darbu efektivitāti.

Praktisko darbu mērķis: apskatīt un izanalizēt būvniecības procesu kalendārās plānošanas metodes, pamatojot tās ar praktiskiem piemēriem.

1. NODAĻA

1.1. Būvniecības kalendārā plānošana un tās nozīme

Būvniecības plānošana ir būtisks un izaicinošs process būvniecības projektu vadībā un izpildē. Tas ietver tehnoloģijas izvēli, darba uzdevumu noteikšanu, individuālo uzdevumu veikšanai nepieciešamo resursu un ilguma noteikšanu un jebkādu mijiedarbību identificēšanu starp dažādiem darba uzdevumiem. Labs būvniecības plāns ir pamats budžeta un darba grafika izstrādei. Būvniecības plāna izstrāde ir kritisks uzdevums būvniecības pārvaldībā, pat ja plāns nav uzrakstīts vai kā citādi formāli dokumentēts. Kad noteikti nepieciešamie darbi, var noteikt to savstarpējo saistību. Prioritāšu attiecības starp darbībām nozīmē, ka darbībām jānotiek noteiktā secībā. Sakarā ar konstrukcijas integritātes prasībām, noteikumiem un citām tehniskām prasībām pastāv neskaitāmas dabiskas kārtas būvniecības darbībām. Piemēram, pamatu iestrādes kvalitāti nevar pārbaudīt, pirms tie nav iestrādāti. Diagrammā prioritāšu attiecības var attēlot ar tīklu vai grafiku, kurā darbības ir attēlotas ar bultiņām (sk. 1. un 2. pielikumu). Var norādīt arī sarežģītākas prioritāšu attiecības. Piemēram, viena darbība var nebūt iespējama vairākas dienas pēc citas aktivitātes pabeigšanas. Kā, piemēram, pirms veidņu noņemšanas, betonam jāsadzīst (jāsasniedz attiecīgā stiprība) vairākas dienas. Šo ierobežojumu sauc par nobīdi starp vienas aktivitātes pabeigšanu (t.i., šajā gadījumā betona ieliešanu) un citas darbības sākšanu (t.i., šajā gadījumā veidņu noņemšana). Daudzas datorizētas plānošanas programmas ļauj izmantot dažādas prioritāšu attiecības. Papildus šiem būvniecības plānošanas tehniskajiem aspektiem var būt nepieciešams arī pieņemt organizatoriskus lēmumus par attiecībām starp projekta dalībniekiem un pat to, kuras organizācijas iekļaut projektā. Piemēram, to, cik lielā mērā apakšuzņēmējus izmantos projektā, bieži nosaka būvniecības plānošanas laikā. [2][3]

Būvniecības projekta veiksmē lielā mērā ir atkarīga no pārdomāta būvniecības darbu grafika un visaptverošas darbu plānošanas. Lieli būvniecības projekti, visticamāk, neizdotos un kavētu noteiktos termiņus, ja tiem no paša sākuma nebūtu efektīva projekta plāna un kalendārā grafika. Kalendārā plānošana var palīdzēt efektīvai plānošanai, kā arī mūsdienās, protams, neiztikt bez dažādām būvniecības vadības programmatūrām, ar to palīdzību izveidojot integrētu darba vidi, lai varētu uzņemties dažādus uzdevumus, nebaidoties no iespējamajiem riskiem.

Būtībā būvniecības plānošanā tiek apskatīts, kā tiek izvēlēti atbilstoši līdzekļi, procesi un procedūras, lai sasniegtu projekta mērķus. Būvniecības projekta plānošana ļauj detalizētā kalendārā sastādīt rīcības plānus par izmaksām, apjomu, laiku un kvalitāti. Pareiza plānošana un grafiku sastādīšana precizē resursus (materiālus, darbaspēku, aprīkojumu utt.), riskus un sakarus produktīvā darbplūsmā. Ar detalizētu būvprojekta plānu un budžetu jūsu kalendārais plāns ir būtisks rīks projektu pārvaldīšanai. [4]

Laicīgi sagatavojot būvniecības kalendāro grafiku, kas ir konkrēts un sakārtots, jūs nodrošināt efektivitāti un produktivitāti. Jūsu projekta grafiks ļauj jums un pārējām ieinteresētajām personām kontrolēt kvalitātes pasākumus, kā arī uzturēt resursus, kas nepieciešami katrā būvniecības posmā. Laiks ir nauda un uzticams grafiks dod katrai pusei iespēju atvēlēt laiku visām darbībām, lai izvairītos no kavējumiem un izmaksu pārsniegšanas. Šeit ļoti izdevīgi ir lietot dažādas kalendārās plānošanas grafiskās metodes, kas nereti ļauj reducēt būvniecības procesa laiku, optimizējot darbus un to secību. Tādējādi, ietaupām gan strādnieku, gan tehnikas un citus resursus, respektīvi, ietaupām laiku un naudu.

1.2. Būvniecības kalendārās plānošanas metodes

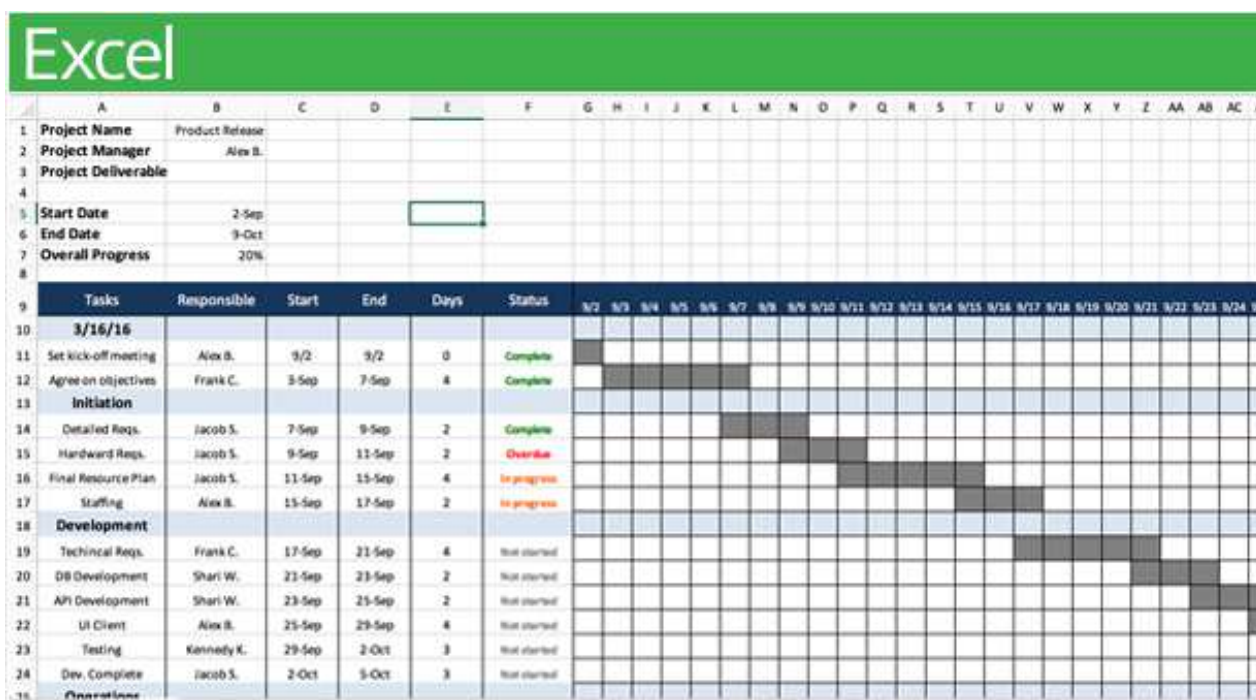
Būvniecības plānošana un tas, kādu metodi pielietot, ir atkarīgs no vairākiem aspektiem, piemēram, cik liels ir objekts, cik sarežģītas vai vienkāršas ir būves konstrukcijas, cik liels ir projekta budžets u.c. Mūsdienu sabiedrībā, kad tiecamies uz attīstību un izaugsmi, protams, cenšamies lietot un ieviest darba vidē jaunus un modernus plānošanas rīkus, taču, tie ne vienmēr ir vajadzīgi. Ja protam plānot būvniecību bez datorizētu programmu palīdzības, tad lieti noder dažādas grafiskās metodes un izklājlapu programmatūras, kurās manuāli plānojam kalendāro grafikus. Taču, ja projekta apmērs ir liels, digitālie risinājumi ļoti atvieglo plānošanas procesu, kā arī vēlāk noderēs projektētājiem un būvniekiem.

1.2.1. Būvniecības plānošana ar grafiskajām metodēm

Būvniecības plānošanas grafiskās metodes ir lielisks un efektīvs veids kā plānot, attēlot un optimizēt būvniecības procesus. Tā pamatojas galvenokārt uz būvniecības procesu grafisku modelēšanu laika mērogā. Grafiskās metodes, laikam ejot, attīstījušās līdzī būvniecībai – no vienkāršiem līniju grafikiem, līdz pat sarežģītiem tīklu modeļiem. Lai gan mūsdienās pieejamas dažādas digitālas, ātras un precīzas programmatūras, ar kuru palīdzību

iespējams veikt plānošanas procesus, sākotnēji ir svarīgi praktiski apgūt plānošanā noritošos procesus un tos izprast, lai pēcāk būtu vieglāk un saprotamāk lasīt datorprogrammas ģenerētos grafikus un kalendārus. Grafiskajā plānošanā pastāv daudz un dažādu paņēmieni un metožu, ar kuru palīdzību notiek pats plānošanas process, kuru iespējams pielāgot dažādām būvniecības vidēm un situācijām. [1]

Grafiskās metodes lieliski var savienot arī ar dažādām programmām, piemēram MS Excel, kurā iespējams attēlot iegūtos kalendāros grafikus. Tāpat arī MS Project, kurš ir vēl piemērotāks kalendāru sastādīšanai (sk. 2. pielikumu). Ja grafiski modelī nav pamanīta kāda kritiskā vieta, tad šī programma noteikti to pamanīs.



1.2.1.att. Būvniecības kalendārās plānošanas paraugs Excel programmatūrā

1.2.2. Būvniecības plānošanas programmatūras

Dažādas būvniecības kalendārās plānošanas programmatūras šobrīd ir neatņemama sastāvdaļa lielā daļā būvobjektu. Šīs programmatūras, lai gan daudz un dažādas, tomēr pārsvarā tiek lietotas līdzīgiem mērķiem.



1.2.2.att. Būvniecības kalendārās plānošanas programmatūras

Šādas programmatūras palīdz skaidri definēt projekta darbaplūsmu, kā arī pievērst uzmanību aktuālajiem darbiem un uzdevumiem. Tāpat kā grafiskajā plānošanā, ar šiem rīkiem iespējams noteikt un izsekot projekta kritiskajam ceļam, lai grafiku panāktu pēc iespējas elastīgāku. Piemēram, ja nepieciešams kaut ko pārplānot, nav vajadzības pārskatīt visu projektu, to var automātiski pielāgot un iestatīt.

Ar šāda rīka palīdzību ir viegli vizualizēt un salīdzināt notiekošo būvlaukumā, atrast iespējamās nepilnības un pielāgot resursu pieejamību. Iespējams iestatīt arī atgādinājumus par termiņiem, kas lieti noder dinamiskā darba vidē, kurā katru dienu jāsaskaras ar arvien jauniem izaicinājumiem.

Viens no vislielākajiem šādu rīku plusiem ir tas, ka lielākā daļa no tiem ir pieejami tiešsaistē. Tas nozīmē, ka, notiekot izmaiņām, tuvojoties termiņa beigām vai saskaroties ar kādām problēmām, nav jāgaida e-pasts vai telefona zvans. Šīs programmas ir paredzētas, lai atvieglotu un pēc iespējas paātrinātu šo saziņas procesu un atvieglotu darbu ikvienam iesaistītajam.

Šādiem rīkiem ir daudz un dažādu priekšrocību, un to skaits, attīstoties tehnoloģijām, tikai turpina pieaugt, nodrošinot plašākas iespējas uzdevumu automatizēšanai un gudrāku izdevīgāku lēmumu pieņemšanai. [5]

1.2.3. Būvniecības plānošana ar daudzdimensiju modeli BIM

Ikviens pasūtītāja sapnis ir optimāli uzbūvēta ēka, kurai ir ekonomiski inženierisriņājumi un optimāli izmantoti resursi. Taču to sasniegt bieži vien traucē fragmentēts darbs visā būves projektēšanas un celtniecības procesā, ko rada traucēta informācijas apmaiņa starp ēkas tapšanā iesaistītajiem speciālistiem. Viens risinājums, kas būtiski spēj uzlabot ēkas tapšanas un arī tālākās apsaimniekošanas procesus, ir daudzdimensiju modeļa BIM (Building Information Modeling) izmantošana.

BIM varam iedalīt vairākās kategorijās: konstrukcijas, dizains, plānošana, darbplūsmas u.c. Katrā no kategorijām pastāv desmitiem programmu, kuras iespējams savienot ar BIM programmatūru, kas paver daudz iespēju un atļauj strādāt katram būvniecības un projektēšanas posmam programmā, kas tam visērtākā un loģiskākā. Dažas no BIM atbalstītajām programmām, kurās iespējams veikt kalendāro plānošanu: "BIM TRACK", "Revizto", "BIM Assure", "NAVISWORKS", "Tekla Structures" u.c.



1.2.3.att. Kalendārā plāna un IFC modeļa paraugs

Būvniecības procesā 3D modeļiem ir plašs pielietojums, pirmkārt, jau plānošanas procesā (4D). BIM sniedz iespēju jebkuru būvi sākumā uzbūvēt digitāli, izstrādājot 3D būves modeli, līdz ar to visas iesaistītās puses, tajā skaitā pasūtītājs, projektētājs un būvkomersants, jau sākumā var redzēt sagaidāmo rezultātu. Vienlaikus tas ļauj jau pirms būvniecības

uzsākšanas operatīvi izlabot iespējamās kļūdas projektā un novērst citus riskus, kas var radīt papildu darbu apjomu, sadārdzinot un paildzinot būvniecību.

Ar dažādām plānošanas programmām iespējams ne tikai izveidot darbu plānu, bet arī katram darba posmam aprēķināt nepieciešamos materiālu apjomus, sagatavot animācijas būvniecības procesam, pārvaldīt elementu statusus (saražots, piegādāts, uzmontēts), kā rezultātā ievērojami var samazināt kopējās būvmateriālu izmaksas un būvniecības laikā radušos atkritumu daudzumu, kas padara BIM par vienu no efektīvākajiem rīkiem videi draudzīgas un ilgtspējīgas būvniecības attīstībai.

Izmantojot BIM programmu un pieejamos modeļus, būvnieks var sagatavot būvlaukuma 3D modeli, kas palīdz izvērtēt riskus, kā arī izplānot dažādu transportu kustības ceļus un būvmateriālu novietņu atrašanās vietas. Papildinot projektētāju sagatavotos modeļus, būvnieks var iemodelēt veidņus monolītām konstrukcijām, pagaidu balstus vai drošības margas. Bez BIM programmām, būvniekiem ir pieejamas tādas tehnoloģijas kā lāzera skenēšana uzbūvētā apjoma kvalitātes kontrolei, papildinātā realitāte, dronu tehnoloģijas vizuālai apsekošanai u.c.

Strādājot vienotā vidē, ieguvums vislabāk pamanāms, kad projektā rodas izmaiņas. Mainoties elementu parametriem, nav nepieciešams manuāli atjaunināt jau esošo izpildes grafiku – piemēram, “Tekla Structures” programmatūrā izveidotais grafiks tiek atjaunināts automātiski, ņemot vērā izmainīto elementu raksturlielumus.

Elementu piegādes un montāžas termiņi ir ļoti nozīmīgi visai projekta izpildei. Tas palīdz izvairīties no riskiem un pārpratumiem, kas rodas tradicionālajā būvniecības darbu plānošanā. Turklāt 3D modeļa elementu sasaiste ar grafiku vizuāli un saprotami parāda:

- Būvniecības procesa raksturu. Periodisks darbības izmaksu novērtējums garantē efektīvu būvniecības procesa organizēšanu.
- Projekta realizēšanas posmu jebkurā laikā. Būves elementu montāžas stāvoklis un ietekme uz projekta izpildes termiņu ir kritiski svarīga informācija jebkurā projekta realizācijas posmā.
- Paškontroles stadiju, t.i., pirms montāžas darbu veikšanas ir iespējams vizualizēt elementus, kuri jau ir projektēti/izgatavoti/piegādāti.

BIM modeļus var izmantot visā būves dzīves ciklā, tajā skaitā arī būvju apsaimniekošanā un uzturēšanā, jo BIM modelī esošā informācija atvieglo šo darbību plānošanu un veikšanu ievērojami samazinot to izmaksas. [6][7][8][9][10]

1.3. Kalendārās plānošanas metožu attīstība

Kalendārā plānošana būvniecībā galvenokārt pamatojas uz ražošanas procesu grafisku modelēšanu laika mērogā. Grafiskās metodes ir izgājušas savu attīstības ceļu no vienkāršajiem līniju grafikiem līdz sarežģītiem tīkla modeļiem. Grafiskās metodes ekonomisks raksturs darbos lietoja jau 18.gs. vidū. Strauji attīstoties rūpniecībai, 20.gs. sākumā grafiskās metodes arvien vairāk sāka izmantot ražošanas plānošanai. Pirmie zinātniskie pētījumi šajā jomā parādījās tikai šī gs. trīsdesmitajos gados. Šo darbu autori bija L.Bisova, P.Čerņikova, V.Brintons, Č.Knepelis, U.Klarks u.c. Daudzas no šo zinātnisku izstrādātajām grafiskajām metodēm lieto un arī turpmāk lietos ražošanas vadīšanā. Metodiskajos norādījumos izmantoti V.Actiņa, S.Fjodorovas, S.Gustas, P.Čudara u.c. zinātnieku sastādītie materiāli.

Grafiskās metodes, ko lieto ražošanas vadīšanā, var iedalīt sekojošās grupās:

- grafiskie līdzekļi vadīšanas sistēmu un to elementu modelēšanai un analīzei (strukturshēmas, blokshēmas);
- statistiski analītiskie grafiki (diagrammas, piktogrammas);
- plānošanas grafiskās metodes (analīzes un prognožu grafiki, aprēķinu grafiki, modelējošie grafiki).

Analīzes un prognožu grafikus izmanto pētot procesu attīstības tendences pēc tendenču diagrammām, vai arī izstrādājot darba gaitas kartes.

Kalendārā plānošanā svarīgāka nozīme modelējošiem grafikiem. Ar tiem var uzskatāmi attēlot darba procesu izvietošanu, to savstarpējās attiecības, orientāciju telpā un laikā. Šādos grafikos modelējamā objekta elementi tiek attaisnoti noteiktā ģeometriskā interpretācijā ar taisnēm, lokiem, figūrām un skaitliskiem novērtējumiem.

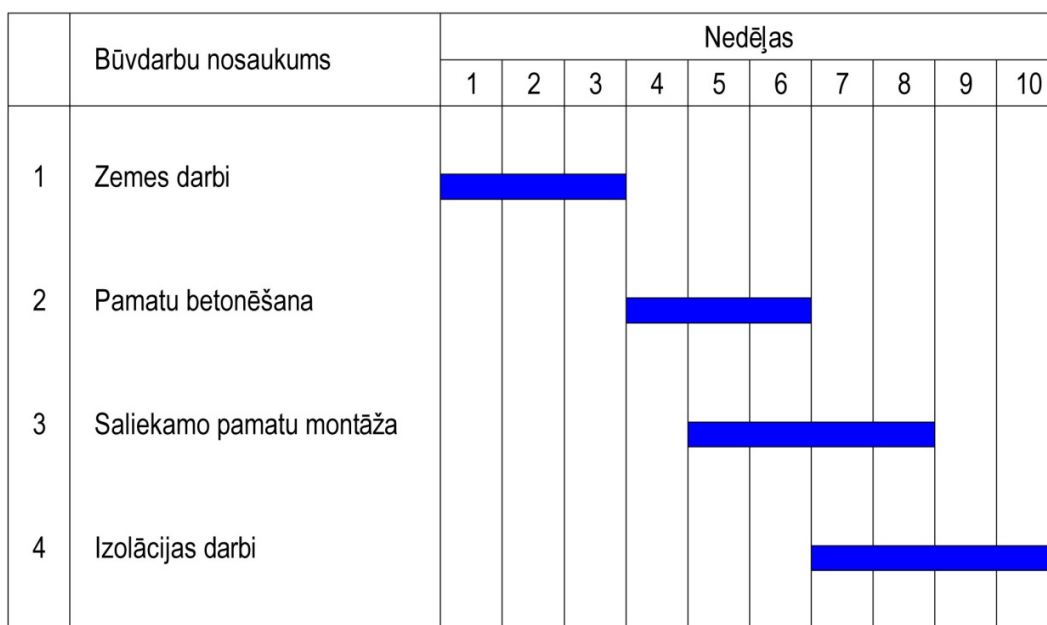
Modelējošo grafiku galvenie veidi ir topogrammas, hronogrammas un tīkla grafiki. Ar topogrammu palīdzību var uzskatāmi attēlot procesus un objektus telpā. Būvniecības plānošanā visizplatītākais ir tādi topogrammu veidi, kā apbūves ģenerālpplāni, maršrutu shēmas, ražošanas iekārtu izvietošanas plāni u.c. Topogrammas bieži vien kalpo kā izejas informācija

hronogrammu un tīkla grafiku sastādīšanai. Hronogrammas ir grafiki, kuros attēlo procesu attīstību un ilgumu laika mērogā.

Hronogrammas līdz pat pēdējam laikam bija galvenie un izplatītākie būvniecības operatīvās un gada plānošanas un kontroles līdzekļi. Ir daudz dažādi hronogrammu veidi, no kuriem plašāk pielieto šādus:

- līniju grafiku;¹
- Ganta grafiku;
- ražošanas cikla grafiku, vai tā saucamo Knepeļa zaru (celtniecībā nelieto);
- ražošanas plūsmu grafiku, jeb ciklogrammu;
- resursu izmantošanas grafiku (hipsogrammu);
- resursu izlietojuma diagrammu u.c.

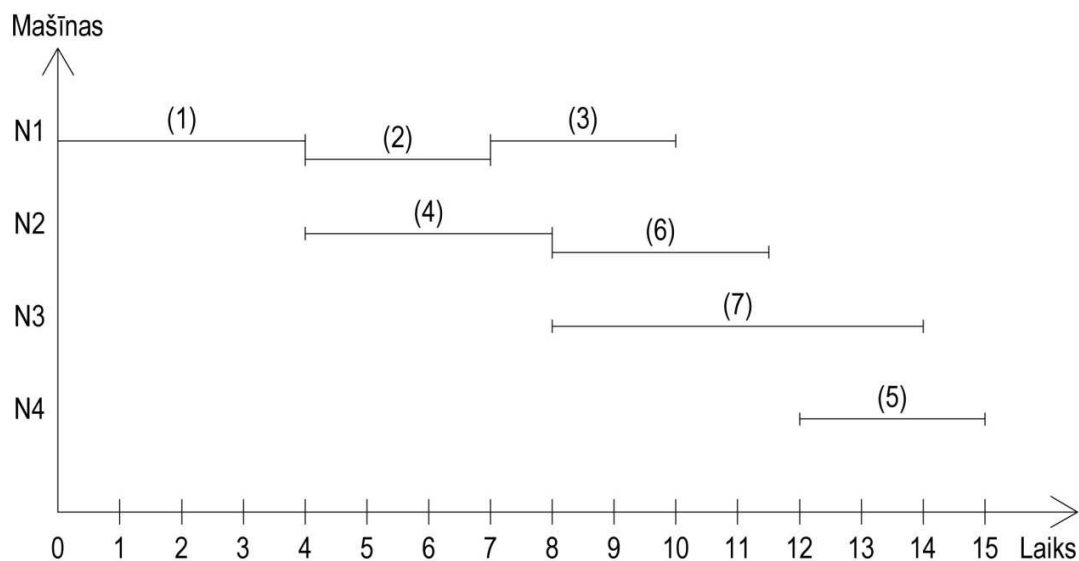
Līniju (lentveida) grafiks ir būvdarbu kompleksa shematisks attēls, kuru iegūst katram būvdarbam atbilstošajā rindā ierakstot darba nosaukumu un ar taisnu līniju parādot to ilgumu (1.3.1.att.)



1.3.1.att. Būvobjekts nulles cikla darbu veikšanas līniju (lentveida) grafiks

¹ Praksē un mācību literatūrā līniju un Ganta grafikus identificē.

Ganta grafiks pēc līdzības atšķiras no līniju grafika. To izmanto ražošanas iekārtu, darbgaldu, mašīnu slodzes plānošanai un kontrolei. Šī grafika vertikālās ass iedaļas atvēr noteikta tipa mašīnām, iekārtām (1.3.2. att.). Katrā rindā ar horizontālu līniju nogriežņiem attēlo darbu secību un katras mašīnas vai darbagalda, darbu sākšanas un pabeigšanas laiku.



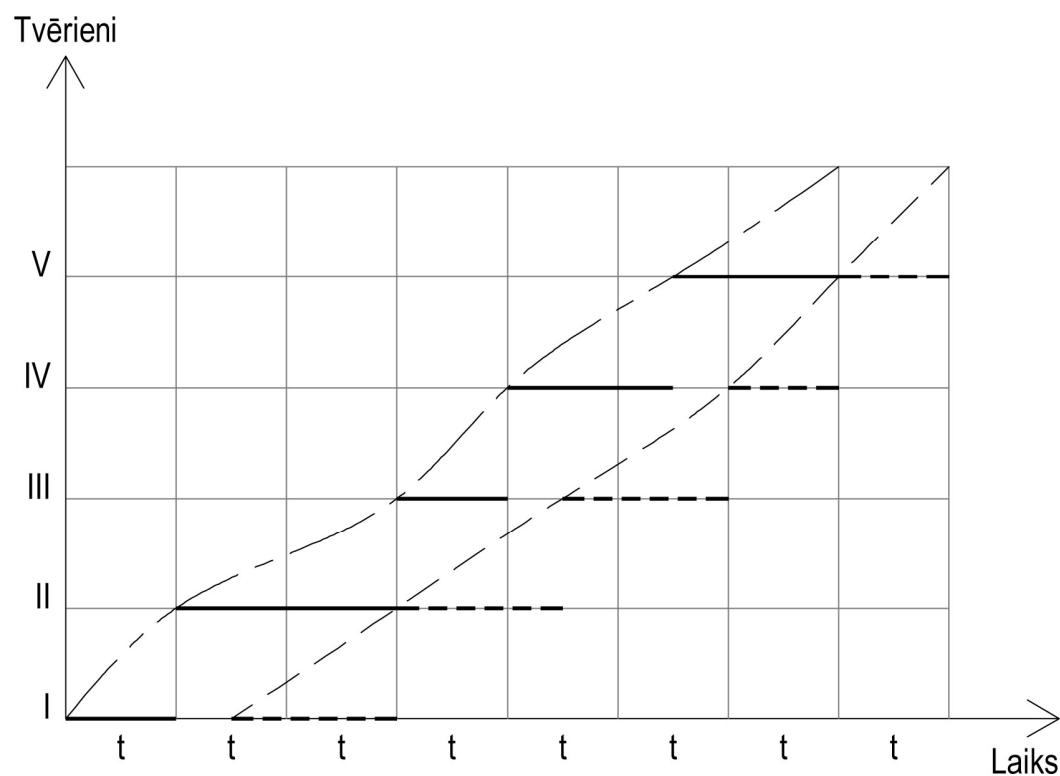
1.3.2.att. Būvmehānismu noslogojuma grafiks (Ganta grafiks)

Attēlā virs katra darba, ko veic konkrētā būvmašīna, dots šī darba šifrs. Piem., ekskavators vispirms rok tranšejas (1), tad rok būvbedri (2), tad veic pamatu aizbēršanu (3) u.t.t.

Plūsmas veida ražošanas procesus būvniecībā attēlo ar plūsmas grafiku, jeb ciklogrammu. Izšķir līniju un diagonālciklogrammas. Līniju ciklogrammā darbus attēlo līdzīgi kā Ganta grafikā horizontāli, bet diagonālciklogrammu iegūstam, līniju ciklogrammā, novelkot taisnes starp viena un tā paša darba procesa nogriežņa sākuma punktiem katrā no tvērieniem.²

1.3.3. attēlā līniju ciklogramma apvienota ar diagonālciklogrammu.

² Tvērieni – būvobjekta daļas telpā un plaknē, kādās sadala būvobjektu, lai varētu pielietot plūsmas metodi.

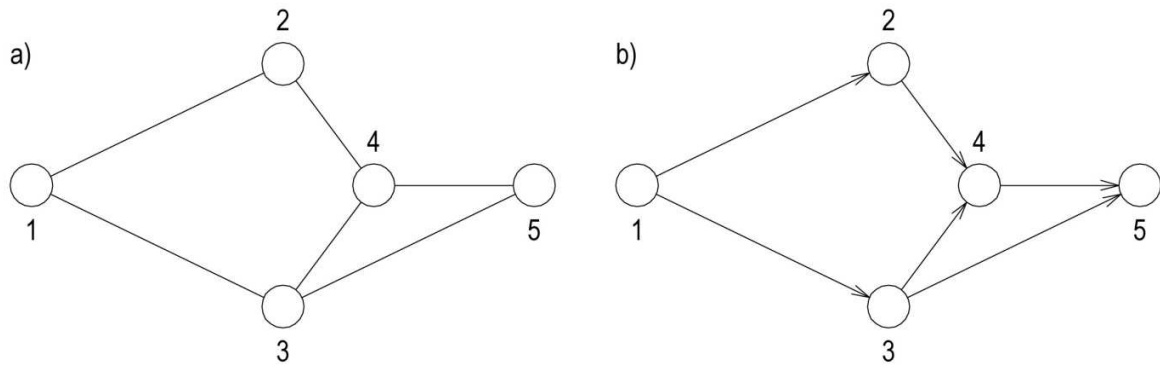


1.3.3.att. *Būvniecības plūsmas grafiks, kura līniju ciklogramma apvienota ar diagonālciklogrammu*

Ar ciklogrammu var modelēt būvražošanas kopējo ilgumu, katra darba sākšanas un beigšanas laiku, tehnoloģiskos, organizatoriskos pārtraukumus. Izvēloties tvērienu racionālu secību, darbu intensitāti var ievērojami samazināt kopējo objekta būvniecības laiku.

Tīklveida plānošanu sāka ieviest šī gs. sešdesmitajos gados. Šī plānošanas metode pamatojas uz tā saucamo saistīto orientēto grafiku izmantošanu darbu kompleksu veikšanas modelēšanai. Tīkla modelis ir savstarpēji saistītu līniju un punktu kopums. Tīkls sastāv no sekojošiem elementiem: līnijas, kas savieno tīkla punktus, sauc par skaldnēm, bet pašus punktus par virsotnēm (1.3.4.att. a.). Ja grafā parāda virsotņu secību, pievelkot līniju galā bultiņas, tad rodas orientēts grafs (1.4.att.b).

Orientētā grafā ļoti ērti parādīt darbu secību, to savstarpējo atkarību. Par darbiem pieņem grafa lokus (līnijas), vai arī grafa virsotnes. Parasti par darbiem pieņem līnijas un virsotnes par notikumiem, t.i. par darbu sākumu vai beigām.



1.3.4.att. Grafa piemērs

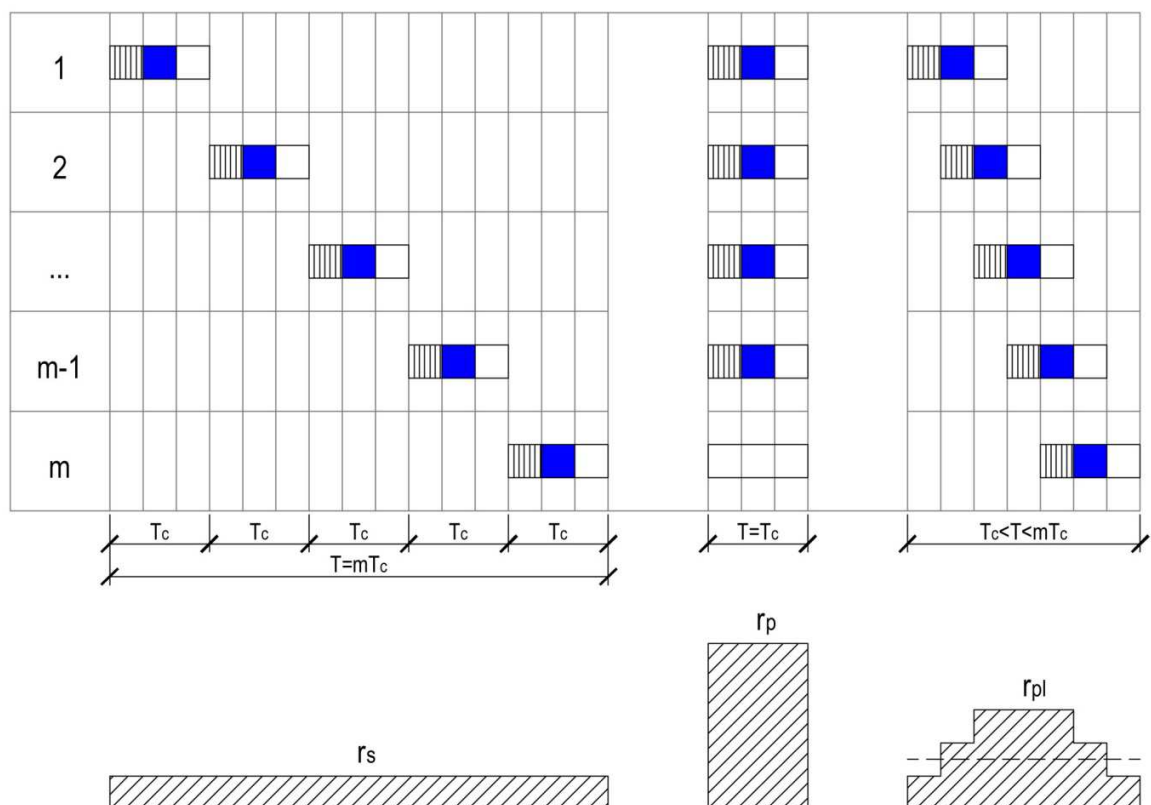
Turpmākajās apakšnodaļās apskatīsim iepriekšminēto, galveno kalendārās plānošanas metožu teorētisko izklāstu un praktisko pielietojumu.

1.4. Būvražošanas organizēšanas plūsmas metode

1.4.1. Plūsmas metodes tehniski – ekonomiskais raksturojums

Plūsmas metode būvniecībā pamatojas uz darba procesu vienmērības un nepārtrauktības principu ēku un būvju būvniecības laikā.

Plūsmas metodes būtību un efektivitāti var izskaidrot salīdzinot "m" vienādu ēku būvniecības variantus. Šīs ēkas var uzcelt secīgi, paralēli un ar plūsmas metodi (1.4.1.att.).



Apzīmējumi:

T = kopējais būvniecības laiks,

T_c = objekta būvniecības laiks,

m = objektu skaits,

r_s , r_p , r_{pl} - attiecīgi secīgās, paralēlās plūsmas metodes resursu daudzums.

1.4.1.att. Ēku būvniecība ar secības, paralēlo un plūsmas metodi

Pielietojot secības metodi, katra ēka tiek uzcelta periodā T_c un tikai pēc iepriekšējās pabeigšanas. Vidējā resursu izmantošanas intensitāte vienāda ar r . Celtniecības ilgums ($T = T_c \cdot m$) ir vislielākais. Te brigāžu darbā pie atsevišķu procesu izpildīšanas ir piespiedu pārtraukumi.

Pie paralēlās metodes visas ēkas tiek būvētas vienlaicīgi. Celtniecības laiks ($T = T_c$) ir vismazākais. Turpretī nepieciešams maksimālais resursu daudzums.

Plūsmas metode savieno kā secības, tā paralēlo metodi, novēršot abu iepriekšējo metožu trūkumus, saglabājot priekšrocības.

Pielietojot plūsmas metodi objekts būvniecības tehnoloģiskais process tiek sadalīts "n" procesos (piem. nulles cikls, ēkas korpusa būvniecība, apdares darbi u.c.), katram nosakot ilgumu, procesu izpildes secību.

Būvniecība ar plūsmas metodi prasa mazāk laika nekā ar secību metodi ($T < T_c \cdot m$). Vislielākais vienlaicīgi patērēto resursu daudzums arī būs mazāks kā paralēlās metodes gadījumā.

Lai izveidotu būvniecības plūsmu nepieciešams:

- sadalīt ražošanas procesu atsevišķās procesa sastāvdaļās;
- sadalīt darbus starp izpildītājiem, t.i. procesa sastāvdaļas piešķirāt brigādēm;
- izveidot ražošanas režīmu, sadalot ēkas, būves – tvērienos, kopējo darba fronti - procesos un izpildāmos procesus savietot telpā, tehnoloģiski un laikā.

Pielietojot plūsmas metodi var panākt:

- darba ražīguma pieaugumu;
- kopējās būvniecības ilguma samazināšanos;
- nepabeigtās būvniecības apjoma samazināšanos;
- būvniecības izmaksu samazināšanos.

1.4.2. Plūsmu iedalījums

Plūsmas būvniecībā iedalās:

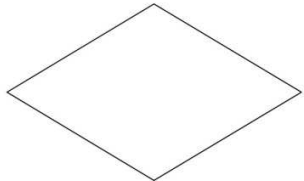
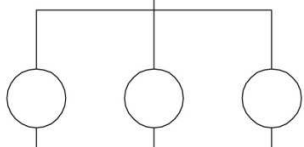
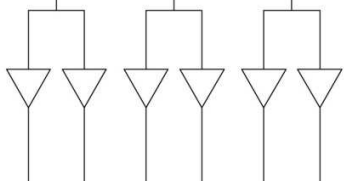
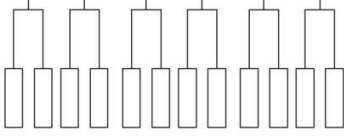
a) pēc produkcijas veida un rakstura (1.4.2.zīm.):

-elementārās plūsmas – viena vienkārša būvniecības procesa (darba procesa) secīga izpilde vairākās objekta daļās – tvērienos. Elementārās plūsmas produkcija ir konstrukciju elementi un atsevišķi darbu veidi, piem. stiegru ielikšana, veidņu uzstādīšana, betonēšana;

-specializētās plūsmās – elementāro plūsmu kopa, kurām ir kopēja produkcija – konstruktīvs elements, vai objekta daļa, piem., ēkas pamati, samontētas dzelzsbetona konstrukcijas, ierīkotas grīdas, jumta pārsegums u.t.t.;

-objektu plūsmās – specializēto plūsmu kopa, kuru kopējā produkcija ir vairāku, parasti vienveidīgu objektu grupa;

-kompleksās plūsmās – organizatoriski saistītu objektu plūsmu grupa, kuras produkcija ir rūpniecības uzņēmuma ēku un būvju komplekss, vai arī dzīvojamā rajona ēku un būvju komplekss;

Plūsmu iedalījums	Plūsmu struktūra	Produkcijas raksturs
Kompleksā plūsma		Pabeigti rūpnieciskie kompleksi, dzīvojamie masīvi
Objekta plūsma		Dzīvojamās, rūpniecības u.c. ēkas, būves
Specializētā plūsma		Pabeigti darbu kompleksi, konstruktīvie elementi
Elementārā plūsma		Darbu veidi, konstrukciju elementi

1.4.2.att. *Plūsmu iedalījums pēc produkcijas veida un rakstura*

b) pēc plūsmu attīstīšanas rakstura:

-plūsmas ar vienmērīgu ritmu, kad visas atsevišķas plūsmas ir ar vienotu ritmu;

-daudzkārtņi – plūsmas, kurās elementārās plūsmas atšķiras no kopējas plūsmas veselu skaitļu reizes (10, 30, 20);

-neritmiskās plūsmas - ja kaut vienā tvērienā darbu apjoms ievērojami atšķiras no darbu apjomiem citos tvērienos, vai arī ja jāveic papilddarbi, rodas nepastāvīgs ritms, piem. 10, 24, 16;

c) pēc būvniecības ilguma:

-īstermiņa plūsma – ja plūsma izveidota atsevišķa objekta būvniecībai, t. i. notiek īsu laiku;

-ilgtermiņa plūsma – darbojas neierobežotu laiku un aptver visu būvniecības organizācijas/firmas gada programmu.

d) pēc objekta tipa:

-līnijveida plūsma – pielieto izstieptu objektu būvniecībā;

-iecirkņu plūsma – lieto ēku un būvju būvniecībā, kas horizontālā plaknē var būt sadalīti iecirkņos (tvērienos);

e) pēc darbu apvienošanas lieluma – vienkāršās un kompleksās plūsmas.

1.4.3. Plūsmu parametri un ritmisko plūsmu aprēķini

Plūsmas laika parametri – plūsmas ritms un plūsmas solis.

Plūsmas ritms – laiks, kurā brigāde izpilda darba apjomu vienā tvērienā.

Plūsmas solis – laika intervāls starp divām esošām elementārām plūsmām (laiks, pēc kura sāk strādāt strādnieku brigādes vai posmi).

Plūsmas, kurās darba ritms ir pastāvīgs un vienāds ar soli, sauc par ritmiskām.

Kopējais būvniecības ilgums pēc plūsmas metodes sastāv no 3 daļām:

a) plūsmas izvēršanas ilgums (T_{izv}), t. i. būvniecības laiks, kurā plūsmā tiek ieslēgtas visas darba vienības (brigādes), bet produkcijas izlaide vēl nav sākusies;

b) stabila plūsmas periods (T_{st}) – laiks, kurā būvniecībā vienlaikus darbojas visas elementārās plūsmas;

c) plūsmas izbeigšanas periods (T_{izb}) – laika sprādis, kurā cita pēc citas beidz darbu elementārās plūsmas.

Darbu izpildes kopējais ilgums (T).

Elementārās plūsmas ilgumu (t) aprēķina:

$$t = m * k, \quad (1.4.1.)$$

kur m - tvērienu skaits,

k - plūsmas solis.

Ritmiskas kompleksas plūsmas ilgums (T) tiek aprēķināts pēc formulas:

$$T = m * k + (n - 1) * k, \text{ vai } T = (m + n - 1) * k, \quad (1.4.2.)$$

kur m – tvērienu skaits;

n – elementāro plūsmu skaits;

k – plūsmas solis.

Ja viena objekta celtniecības ilgums (objekta plūsmas ilgums) apzīmēt ar $T_c = n * k$,

tad

$$T = T_c + k * (m - 1) \quad (1.4.3.)$$

Ja būvniecības plūsmā tiek ieslēgti pārtraukti būvniecības procesi, t.i. tie, kas prasa tehnoloģiskus pārtraukumus pirms nākošā darba sākuma tvērienā (betona cietēšana, apmetuma žāvēšana u.c.), tad

$$T = (m + n - 1) * k + \sum_{\Delta} t, \quad (1.4.4.)$$

kur $\sum_{\Delta} t$ - kopējais tehnoloģisko pārtraukumu ilgums.

Lai saglabātu ritmu, tehnoloģisko pārtraukumu ilgums jāpieņem vienāds vai vairākkārt lielāks par plūsmas ritmu.

Būvniecības plūsmas tiek raksturotas ar izpildītāju skaitu. Strādnieku skaitu elementārās (specializētās) plūsmās aprēķina pēc formulas:

$$N_1 = \frac{Q_1}{t}, \quad N_2 = \frac{Q_2}{t}, \quad N_n = \frac{Q_n}{t}, \quad (1.4.5.)$$

kur $Q_1, Q_2 \dots Q_{n-1}, 2 \dots n$ – tās elementārās plūsmas darbu darbietilpība,

t – elementāro plūsmu ilgums.

Maksimālais strādnieku skaits objektu, vai kompleksajās plūsmās.

$$N_{max} = (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) / t = \sum_1^n Q/t, \quad (1.4.6.)$$

Vidējais strādnieku skaits:

$$N_{vid} = \sum_1^n Q/t, \quad (1.4.7.)$$

kur T – objekta vai kompleksa celtniecības ilgums.

$$A = \frac{N_{max}}{N_{vid}} \leq 1,5 - 2,0,$$

N_{max} un N_{vid} raksturo strādnieku kustības vienmērības koeficientu (A).

No diagrammas (1.4.3.att.) redzams, ka plūsmas izvēršanas periods (T_{izv}) un izbeigšanas periods (T_{izb}) vienāds:

$$T_{izv} = T_{izb} = (n-1)k \quad (1.4.8.)$$

Plūsmas stablais periods

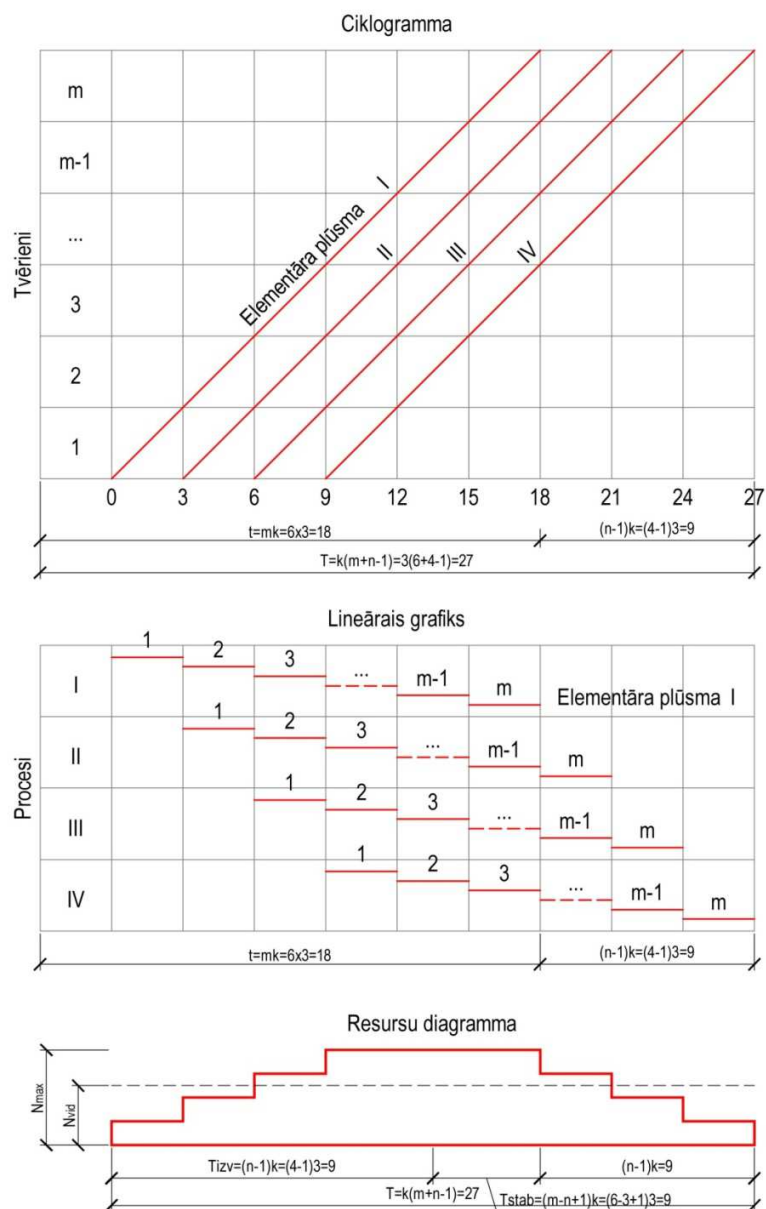
$$T_{st} = T - (T_{izv} + T_{izb}) = k * (m + n - 1) - 2 * k * (n-1) = (m - n + 1) * k, \quad (1.4.9.)$$

Praksē ir trīs gadījumi, kas raksturo plūsmas stāvokli:

- iestājusies plūsma;
- neiestājusies plūsma, bet novesta līdz pilnai jaudai;
- neiestājusies plūsma un nenovesta līdz pilnai jaudai.

Pirmajā gadījumā plūsma ir iestājusies sasniedzot pilnu jaudu, un notiek vienmērīgs resursu patēriņš.

Otrajā gadījumā plūsma sasniedz pilnu jaudu, nerasniedz pilnu iestāšanās raksturu. Te $T_{izv} = t$, vai $(n - 1) * k = m * k$. Tādā veidā visos gadījumos, kad $m = n-1$, t.i. tvērienu (objektu) skaits par vienu mazāks nekā pieņemtais procesa (elementāro plūsmu) skaits, iestāšanās periods vienāds ar 0.



Apzīmējumi:

k - plūsmas solis;

t – elementārās plūsmas ilgums;

T – kompleksās plūsmas ilgums;

n – elementāro plūsmu (procesu) skaits;

m – tvērienu skaits.

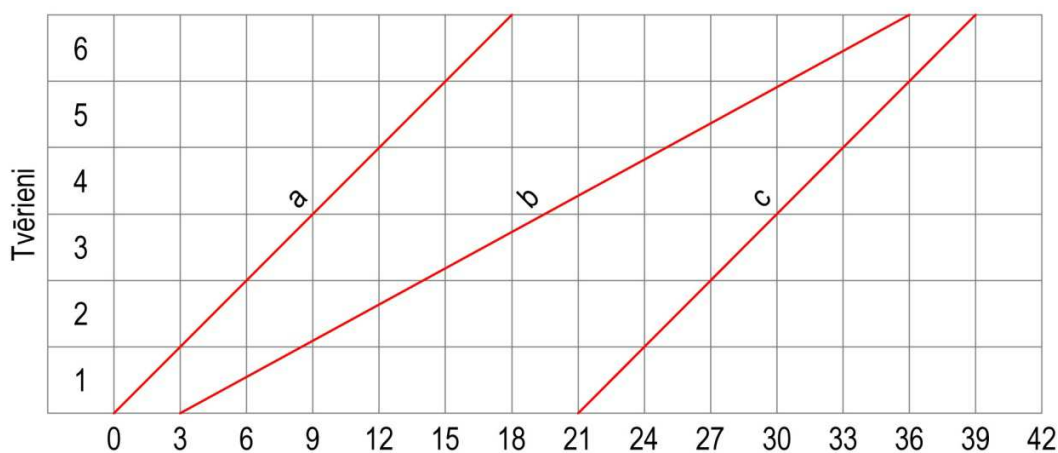
1.4.3.att. Grafiki plūsmai ar pastāvīgu ritmu.

Trešajā gadījumā procesu un tvērienu skaita starpība lielāka par vienu, bet plūsmas izvēršanas ilgums lielāks par elementārās plūsmas ilgumu.

Plūsmas metodes prasībām atbilst tikai iestājusies plūsma, tāpēc pie tvērienu skaita izvēršanas, vajag ņemt vērā, ka minimālam to skaitam jābūt:

$$m_{\min} \geq n-1.$$

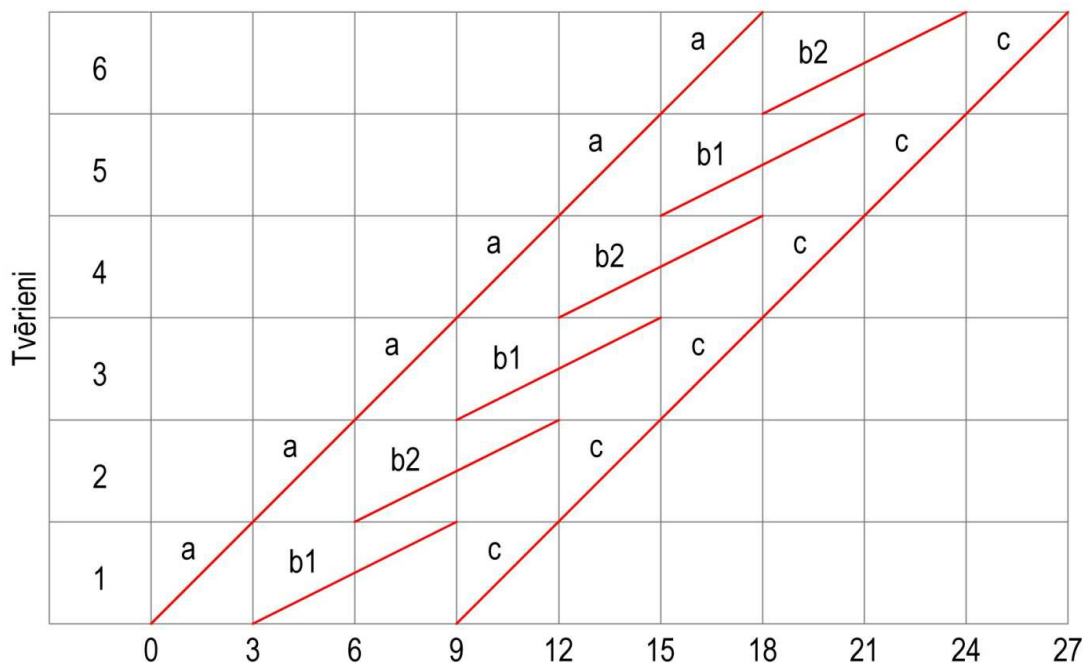
Projektējot plūsmas būvniecībā ir gadījumi, kad atsevišķu darbu izpildīšanai var pieņemt vienādu brigāžu darba ritmu, bet citiem darbiem, sakarā ar darbietilpību, ritmu jāpieņem vairākus reizes lielāku. Piem., 1.4.4. attēlā *a* un *c* darbu procesiem ritmi ir vienādi, bet darbu procesa *b* ritms ir divas reizes lielāks par abiem iepriekš minētiem. Tādas plūsmas sauc par plūsmām ar veselu skaitļu kārtas ritmu (daudzkārtņi).



1.4.4.att. Grafiks ritmiskai plūsmai ar dažādiem darbu procesu ritmiem

Brigāžu darba tehnoloģiskā sasaiste šajā gadījumā notiek samērā vienkārši – darba ar palielinātu ritmu izpildei ieprojektē vairākas brigādes. Tā, piemēram, ja darba process ir divkārtņis (ritma koeficients ($Kr = 2$), tad šī procesa izpildei nozīmē divas brigādes, ja trīskārtņis ($Kr = 3$) – nozīmē trīs brigādes u.t.t. Ritma koeficients Kr ir daudzkārtņu plūsmas procesa ritma attiecība šajā plūsmā. Plūsmas ciklogramma ar veselu skaitļu kārtas ritmu dota 1.4.5. zīmējumā.

Nav grūti pārliecināties par to, ka visas formulas, kas iegūtas plūsmām ar pastāvīgu un vienādu ritmu, derīgas arī plūsmām ar dažādiem ritmiem. Tām elementāro plūsmu skaits (n) ir visu brigāžu skaits, kuras piedalās būvniecībā. 2.5. attēlā tādas ir četras (a , b_1 , b_2 , c).



$$T_{izv} = (n-1) * k = (4-1) * 3 = 9$$

$$T_{st} = (m-n+1) * k = (6-4+1) * 3 = 9$$

$$T_{izb} = (n-1) * k = (4-1) * 3 = 9$$

$$T_1 = n * k = 4 * 3 = 12$$

$$T_2 = (m-1) * k = (6-1) * 3 = 15$$

$$T = (m + n - 1) * k = (6 + 4 - 1) * 3 = 27$$

Apzīmējumi:

T_1 -darbu ilgums pirmajā tvērienā;

T_2 -darbu ilgums visos tvērienos, izņemot pirmo.

1.4.5.att. Plūsmas ciklogramma ar veselu skaitļu kārtas ritmu

1.4.4. Neritmiskas plūsmas un to aprēķināšana

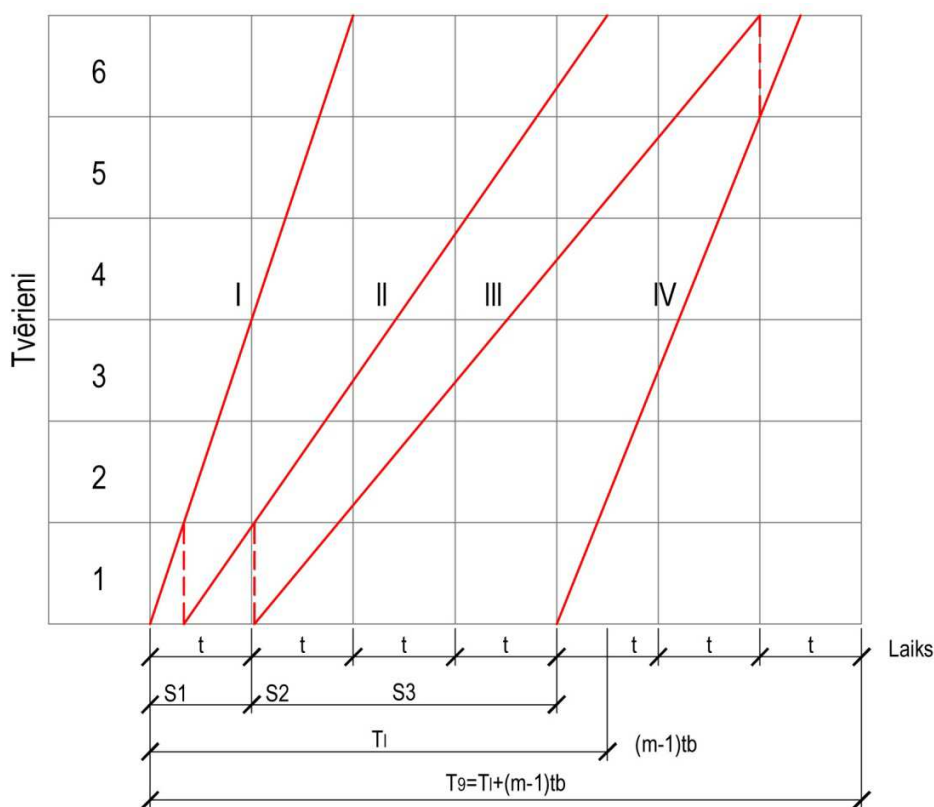
Atkarībā no būvniecības objektu konstruktīvajām un plānojuma īpatnībām pielieto trīs plūsmu tipus: dažādritmju plūsmas, neritmiskas plūsmas ar vienādu ritmu maiņu un neritmiskas plūsmas ar dažādiem, savā starpā nesaskaņotiem ritmiem.

Dažādritmju plūsma sastāv no ritmiskiem procesiem, kuru ritmi savstarpēji nav saskaņoti un kuri nav daudzkārtņi (nav sastapējās dalāmības). Dažādritmju plūsmas bieži

organizē vienveidīgu objektu celtniecībai. Tā dažādritmu plūsma var izveidoties būvējot kādas sērijas vairākas dzīvojamās mājas. Zemes darbu process būs īsāks par apakšzemes daļas izbūvi, virszemes daļas montāža garāka par abiem iepriekšējiem procesiem un arī par santehniskiem darbiem, kas seko pēc montāžas.

Šādas plūsmas praksē necenšas saskaņot, jo to darīt nav lietderīgi un pat nav tehniski un organizatoriski iespējams. Izveidojas plūsmas ar atšķirīgiem ritmiem un mainīgiem plūsmu soliem. Izveidojas situācija, kad vienā vai otrā tvēriena ir laiks, kad darbi nenotiek (1.4.6. att.)

Procesus pēc iespējas tuvina vienu otram tā radot kritisko plūsmu punktus. Tā kā pirmie trīs procesi sakārtoti pieaugošā secībā pēc ilguma, kritiskie tuvinājuma punkti atrodas pirmajā tvērienā. Samazinoties darba procesa ilgumam salīdzinot ar iepriekšējo procesu, kritiskais tuvināšanas punkts izveidojas pēdējā tvērienā (sk. 1.4.6.att.)

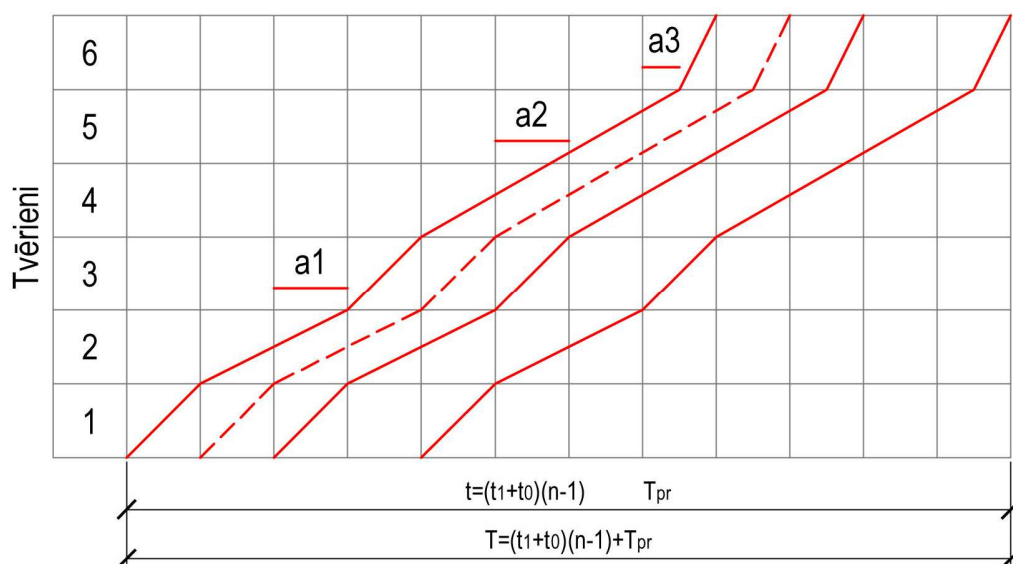


Apzīmējumi:

- S_1, S_2, S_3 - plūsmas soļi;
- T_1 - darbu izpildes laiks pirmajā tvērienā;
- m - tvērienu skaits;
- t_b - beidzamās elementārās plūsmas ritms.

1.4.6.att. Dažādritmu plūsmas piemērs

Neritmisku plūsmu ar vienādu ritmu maiņu organizē tādu objektu celtniecībai, kuru tvērieni atšķiras tikai pēc lieluma, bet darbu struktūra visos tvērienos ir vienāda un celtniecība ir proporcionāla tvērienu lielumam, piemēram, pie vienkāršu rūpniecības ēku celtniecības, kad plānā izveidojas dažāda lieluma tvērieni. Ciklogrammas šajā gadījumā veido laužas paralēlas līnijas (1.4.7.att.). Brigāžu darbus var sasaistīt ar grafisko metodi. Vispirms projektē pirmo elementāro plūsmu. Otrā elementārā plūsmā sāk, ka no pirmā tvēriena aizgājusi pirmā elementārā plūsma, un veido paralēli tai laužu pārtrauktu līniju. Tad atrod laika nogriežņus, par kuriem pārsedzas katrā no tvērieniem 1-ā un 2-ā elementārās plūsmas. Visgarākais nogrieznis nosaka laiku, par kuru jāpārbīda pa labi 2-ās elementārās plūsmas sākums, lai kādā no tvērieniem vienlaicīgi nestrādātu divas brigādes.



Apzīmējumi:

- t_1 – 1-ās elementārās plūsmas ilgums,
- t_0 – garākais nogrieznis "a", pa kuru jāpārbīda otrā elementārā plūsma (a_1, a_2);
- T_{pr} – produkcijas izlaides periods.

1.4.7.att. Neritmiska plūsma ar vienādu ritmu maiņu

Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem organizē nevienveidīgu objektu celtniecībai, kad darbu struktūra un apjomi tvērienos nav vienādi. Raksturīga neritmiska plūsma var veidoties būvējot administratīvo ēku kā atsevišķu tvērienu un vienkāršu rūpniecības ēkas kompleksu kā divus tvērienus, pie tam atšķirīgus pēc lieluma plānā. Darbi starp administratīvo

ēku un rūpniecības ēku būs atšķirīgi ne tikai pēc apjoma, darbietilpības, bet arī pēc to struktūras.

1.4.5. Neritmiskas plūsmas aprēķina metodes

Raksturīgs neritmiskai plūsmai ir tas, ka brigādes darba nepārtrauktības pamatošanai kādreiz pieļauj tukšus tvērienus.

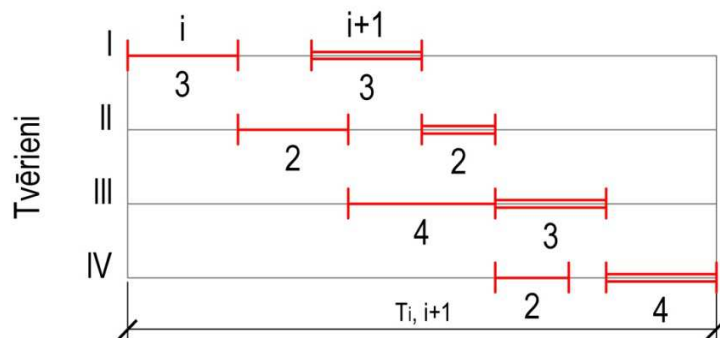
Neritmisku plūsmu aprēķins raksturojas ar:

- minimālo pārtraukumu atrašanu starp atsevišķu brigāžu darbu;
- grafika blīvuma noteikšanu;
- darba ilguma noteikšanu;
- plūsmu optimizēšanu.

Divu neritmisku plūsmu aprēķina shēmu nodemonstrēsim ar sekojošu piemēru:

Doti darbu ilgumi diviem procesiem i un $i+1$ četros būvobjekta tvērienos jeb iecirkņos.

Pirmā procesa ilgums $T_i = 3+2+4+2=11$ dienas, otra procesa ilgums $T_{i+1} = 3+2+3+4=12$ dienas (1.4.8.att.).



1.4.8.att. Neritmiskās plūsmas piemērs

Kopējo darbu ilgumu abiem procesiem visos četros tvērienos var atrast summējot abu procesu darbus no pirmā darba 1.tvērienā līdz pēdējam darbam pēdējā tvērienā. Vismaz vienā no tvērieniem starp darbiem nebūs laika rezerves ($r=0$). Šo vietu sauc par darba procesu kritisko tuvināšanas punktu. Šis jēdziens neritmisku plūsmu konstruēšanā un aprēķinos ir svarīgs, jo tikai caur kritiskajiem tuvināšanas punktiem var noteikt vairāku darbu procesu

kopējo ilgumu. Tāpēc visos aprēķinos viens no uzdevumiem atrast šos darba procesu kritiskos tuvināšanas punktus.

Konkrētajā piemērā šo divu darba procesu kritiskais tuvināšanas punkts ir III tvērienā.

Tas ir laika moments, kad pirmā brigāde savus darbus tvērienā ir pabeigusi un jau nākošajā dienā te sāk strādāt otra brigāde.

Izejot no iepriekš teiktā kopējais darba ilgums šajā gadījumā būs:

$$Ti, i + 1 = ti^I + ti^{II} + ti^{III} + (ti + 1^{III}) + (ti + 1^{IV}) = 3 + 2 + 4 + 3 + 4 = 16$$

dienas.

Šajā gadījumā 16 dienas būs pats garākais laiks, kas noteiks šo divu procesu kopējo ilgumu (ceļš caur kritisko tuvināšanas punktu).

Salīdzināšanai apskatīsim citus iespējamus darbu ilguma aprēķina ceļus:

$$ti^I + (ti + 1^I) + (ti + 1^{II}) + (ti + 1^{III}) + (ti + 1^{IV}) = 3 + 3 + 2 + 3 + 4 = 15;$$

$$ti^I + ti^{II} + (ti + 1^{II}) + (ti + 1^{III}) + (ti + 1^{IV}) = 3 + 2 + 2 + 3 + 4 = 14;$$

$$ti^I + ti^{II} + ti^{III} + ti^{IV} + (ti + 1^{IV}) = 3 + 2 + 4 + 2 + 4 = 15;$$

Kā redzam, pārēji ceļi, pa kuriem aprēķinājām procesu kopējo ilgumu, ir īsāki uz laika rezervju rēķina starp darbiem tvērienos. Tas nozīmē, ka kopējo procesu izpildes ilgumu T var noteikt pa jebkuru ceļu pēc formulas:

$$T = d + r, \tag{1.4.10}$$

kur d -darba ilgums;

r -laika rezerve starp darbiem tvērienā.

Izejot no šīs sakarības var noteikt laika rezerves starp abiem procesiem visos tvērienos iepriekš apskatītajā piemērā:

$$\text{I tvēriens } r = T - d = 16 - 15 = 1 \text{ diena};$$

$$\text{II tvēriens } r = 16 - 14 = 2 \text{ dienas};$$

$$\text{III tvēriens } r = 16 - 16 = 0 \text{ (kritiskais punkts);}$$

$$\text{IV tvēriens } r = 16 - 15 = 1 \text{ diena.}$$

Uz šī principa balstās kritisko plūsmu aprēķināšanas grafiskā matricu metode (1.4.9.att).

Aprēķinām visu iespējamo ceļu garumus procesiem 1-2:

$$1.\text{ceļš } t_1^I + t_2^I + t_2^{II} + t_2^{III} + t_2^{IV} = 6 + 5 + 6 + 4 + 2 = 23 \text{ dienas};$$

$$2.\text{ceļš } t_1^I + t_1^{II} + t_2^{II} + t_2^{III} + t_2^{IV} = 6 + 4 + 6 + 4 + 2 = 22 \text{ dienas};$$

$$3.\text{ceļš } t_1^I + t_1^{II} + t_1^{III} + t_2^{III} + t_2^{IV} = 6 + 4 + 6 + 4 + 2 = 22 \text{ dienas};$$

$$4.\text{ceļš } t_1^I + t_1^{II} + t_1^{III} + t_1^{IV} + t_2^{IV} = 6 + 4 + 6 + 3 + 2 = 21 \text{ diena}.$$

Rezerves 1-jā (iecirknī) starp 1 un 2 darbu $23-23=0$ dienas, otrajā $23-22=1$ diena, trešajā $23-22=1$ diena, ceturtajā $23-21=2$ dienas. Ceļu garuma aprēķins procesiem 2-3 un 3-4 un pārtraukumu aprēķins notiek tādā pat kārtībā, ka procesiem 1-2.

Lai noteiktu kopējo darbu ilgumu, vajag pa jebkuru darbu kustības virzienu plūsmā summēt visus darbu ilgumus un pārtraukumus starp tiem.

Vienmēr vieglāk skaitīt pa ārējo kontūru (A)

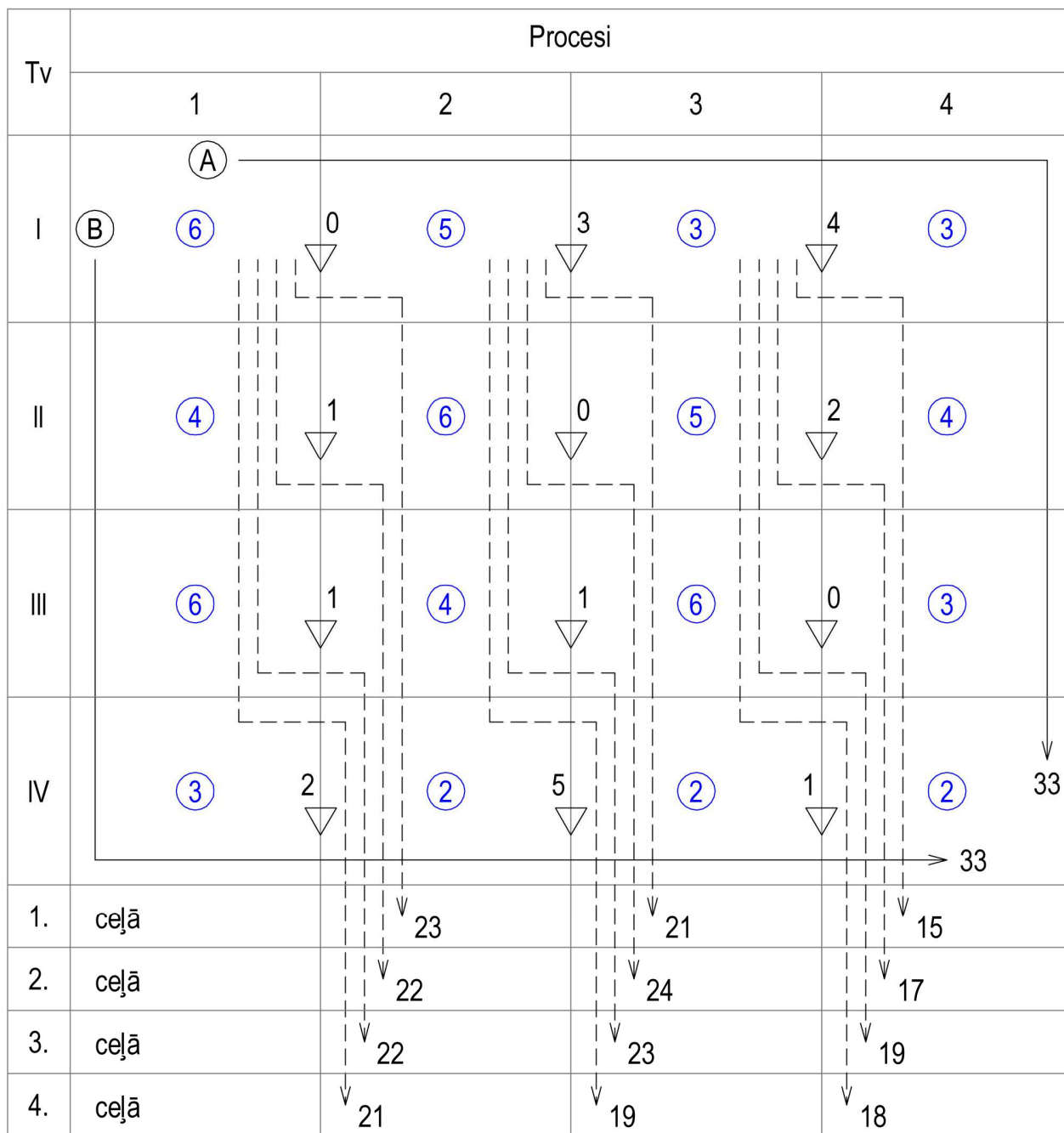
$$T_A = 6 + 5 + 3 + 3 + 5 + 3 + 4 + 3 + 2 = 33 \text{ dienas}.$$

Pārbaudi vajag izdarīt saskaitot pa otru ārējo kontūru (B). Rezultātiem abos kontūros jāsakrīt:

$$T_B = 6 + 6 + 3 + 2 + 2 + 5 + 2 + 1 + 2 = 33 \text{ dienas}.$$

Analoģisku rezultātu var dabūt pa jebkuru citu pilnu kontūru tabulas iekšienē.

Grafiskā metode ir darbietilpīga, neērta un tiek apskatīta galvenokārt plūsmu aprēķinu vispārējai izpratnei.



1.4.9.att. Neritmisko plūsmu grafiskās aprēķinu metodes piemērs

Mazāk darbietilpīga un ērtāka pielietošanai ir neritmisku plūsmu izskaitļošanas matricas metode (2.10.att.).

Ar matricas metodi aprēķins notiek sekojošā secībā:

-atrod katra procesa darbu kopējo ilgumu ($\sum t$);

-tad nosaka pirmā procesa sākuma un beigu laiku katrā no tvērieniem, ejot no augšas uz leju (no I – IV tvēr.);

-otrā procesa parametru aprēķins notiek arī tajā pašā virzienā, no augšas uz leju, jo šī procesa ilgums t_2 mazāks par pirmā procesa ilgumu $\sum t_1$, t.i. $\sum t_2 < \sum t_1$. (Ja būtu otrādi, otra procesa parametru aprēķinu racionālāk būtu sākt no apakšas);

-par otrā procesa sākumu pirmajā tvērienā pieņem pirmā procesa beigas šajā pašā tvērienā, t.i. skaitli 6;

-pārējo procesu aprēķins notiek kārtībā, kas norādīta ar bultām 1.4.10. attēlā.

Tv	Procesi				$\sum_1^n t_t$	$\sum t + \sum t_p$
	1	2	3	4		
I	0 (6) 6	6 0 (5) 11	14 3 (3) 17	21 4 (3) 24	17	24
II	6 (4) 10	11 1 (6) 17	17 0 (5) 22	24 2 (4) 28	19	22
III	10 (6) 16	17 1 (4) 21	22 1 (6) 25	28 0 (3) 31	19	21
IV	16 (3) 19	21 2 (2) 23	28 5 (2) 30	31 1 (2) 33	9	17
$\sum_1^m t_{pm}$	19	17	16	12	64	84

1.4.10.att. Neritmisku plūsmu aprēķina piemērs ar matricas metodi

Ja aprēķinu gaitā atklājas, ka nākoša darbu procesa sākuma laiks kādā no iecirkņiem būs agrāks par iepriekšējā darbu procesa beigām (piem. trešā procesa sākums II tvērienā vienāds ar 14, bet otra procesa beigas šajā pat tvērienā 17), tad nepieciešams izdarīt labojumu (sk. 1.4.10.zīm.).

Noslēdzošā darbu procesa beigu laiks pēdējā tvērienā nosaka kopējo darbu ilgumu (33 dienas).

Dotās darbu organizācijas efektivitāte raksturojas ar plūsmas blīvumu. Labajā pusē matricā dod darbu ilgumu katra tvērienā bez pārtraukumu uzskaites starp darbiem $\sum t_t$ un ar šo pārtraukumu uzskaiti ($\sum t_t + \sum t_p$).

Grafika blīvumu nosaka pēc formulas 1.4.11.:

$$K_{bl} = \sum_1^n t_t : (\sum_1^n t_t + \sum_1^n t_{tp}), \quad (1.4.11.)$$

kur t_t - darbs bez pārtraukuma;

t_{tp} - darbs ar pārtraukumiem.

$$\text{Mūsu piemērā } K_{bl} = \frac{64}{84} = 0,76$$

Matricas optimizācija pēc laika raksturojas ar darbu izpildes ilgumu saīsināšanu, samazinot vai pilnīgi likvidējot rezerves.

Optimizēšanas metodika apskatīta nodaļā 1.4.6.

1.4.6. Neritmisko plūsmu optimizēšana

Viens no galvenajiem paņēmieniem plūsmas ilguma izmaiņai (nemainot resursus) ir objektu vai tvērienu būvniecības secības izmaiņa. Optimizācijas uzdevums šajā gadījumā – atrast tādu objektu (tvērienu) būvniecības secību, pie kuras kopējais darbu ilgums būtu minimāls.

Objektu racionālu būvniecības secību var atrast izmantojot vienu no divām metodēm: daļu metodi un starpību metodi.

Ar daļu metodi objektu būvniecības racionālu secību nosaka sekojoši:

-atrod būvprocesu ar max. ilgumu (vadošais process);

-katra objektā (tvērienā) atrod darbu ilgumu summu līdz vadošam ($\sum t_1$) un pēc ($\sum t_2$) (2.11.att.);

-šīs darbu ilgumu summas ieraksta papildus ailē daļas veidā ($\sum t_1 / \sum t_2$).

Tv	Brigādes				$\sum t_1 / \sum t_2$	$t_n - t_1$	① ② max ↓ ↑ ↓ min
	1	2	3	4	1	2	
I	0 ⑤ 5	12 ⑦ 19	19 ⑤ 24	30 ④ 34	12 / 4	-1	skaitītājs ↓ ↑ saucējs
II	5 ⑥ 11	19 ① 20	24 ⑦ 31	34 ③ 37	7 / 3	-3	
III	11 ⑦ 18	20 ② 22	31 ⑥ 37	37 ⑤ 42	9 / 5	-2	
IV	18 ④ 22	22 ⑤ 27	37 ④ 41	42 ⑥ 48	9 / 6	+2	
	22		22				

1.4.11.att. Objektu (tvērienu) racionālās būvniecības secības noteikšana

Tā kā apskatāmajā piemērā ir divi vadošie procesi, šajā gadījumā jāapskata divi varianti, izskaitļojot matricu pēc pirmā un trešā procesa. Ja vadošais process ir pirmais, tad skaitītājam ir nulles vērtība, bet ja vadošais process ir pēdējais, tad saucējam ir nulles vērtība.

1.4.12.attēlā tvērieni sakārtoti racionālā secībā izejot no principa, ka procesu attīstības virzienā skaitītājam jāpieaug no minimuma uz maksimumu, bet saucējam otrādi – jāsamazinās. Tāpēc vispirms brigādes strādā otrajā tvērienā, ceturtajā, trešajā un beidzot pirmajā tvērienā.

Pēc racionalizētā variantā visas brigādes darbu beidz 41 - ja dienā, t.i. par 7 dienām ātrāk nekā pēc pamat variantā.

Tv	Brigādes				$\sum t_1 / \sum t_2$
	1	2	3	4	
II	0 ⑥ 6	14 ① 15	15 ⑦ 22	23 ③ 26	7 / 3
IV	6 ④ 10	15 ⑤ 20	22 ④ 26	26 ⑥ 32	9 / 6
III	10 ⑦ 17	20 ② 22	26 ⑥ 32	32 ⑤ 37	9 / 5
I	17 ⑤ 22	22 ⑦ 29	32 ⑤ 37	37 ④ 41	12 / 4

1.4.12.att. *Tvērienu sakārtošana racionālā secībā ar daļas metodi*

Ja izmanto otro optimizēšanas metodi (starpību metodi), jāatrod starpības starp darbu ilgumiem pēdējā un pirmajā plūsmā (brigādē) $t_n - t_1$ (sk.1.4.11.att.).

Dabūtās starpības (1.4.13.att.) jāaranžē no maksimālās vērtības uz minimālo procesu attīstības virzienā.

Tv	Brigādes				$t_n - t_1$
	1	2	3	4	
IV	0 ④ 4	8 ⑤ 13	16 ④ 20	23 ⑥ 29	+2
I	4 ⑤ 9	13 ⑦ 20	20 ⑤ 25	29 ④ 33	-1
III	9 ⑦ 16	20 ② 22	25 ⑥ 31	33 ⑤ 38	-2
II	16 ⑥ 22	22 ① 23	31 ⑦ 38	38 ③ 41	-3

1.4.13.zīm. *Ranžēšana pēc starpību metodes*

1.4.7. Potenciālās un paradoksālās rūtiņas

Par potenciālām sauc rūtiņas, kurās palielinot darbu ilgumu organizatoriskā pārtraukuma ietvaros kopējais celtniecības ilgums nemainās. Šīs rūtiņas var noteikt pēc diviem likumiem.

Pirmās ailes (stabiņa) likums:

Potenciālās rūtiņas pirmajā ailē atrodas zem rūtiņas, kura ir pati zemākā kritiskā tuvinājuma vieta no labās puses. (1.4.14.attēlā tādu rūtiņu nav.)

Pēdējās ailes (stabiņa) likums:

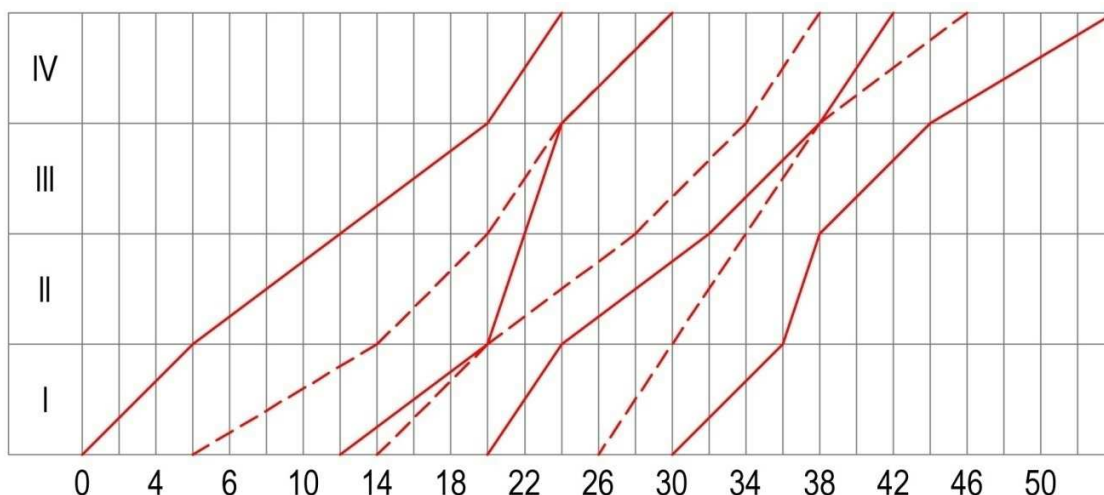
Potenciālās rutiņas pēdējā ailē atrodas augstāk par rutiņu, kurā ir virsējā kritiskā tuvinājuma vieta no kreisās puses. 1.4.14.attēlā pēdējā ailē tādas rutiņas ir divas.

Vidējās ailēs darbojas abi noteikumi. Iesvītrotot pēc pirmā likuma rutiņas no apakšas uz augšu ar slīpām līnijām, bet pēc otrā likuma – no augšas uz apakšu, rutīnas, kurās parādās krustiski svītrojumi, ir paradoksālas. Par paradoksālām sauc tādas rutīnas, kurās palielinot darbu ilgumu organizatorisko pārtraukumu ietvaros kopējais celtniecības ilgums samazinās.

Tv	Procesi			
	1	2	3	4
I	0 ⑥ 6	13 ⑧ 21	21 ⑥ 27	33 ⑤ 38
II	6 ⑦ 13	21 ② 23	27 ⑧ 35	38 ④ 42
III	13 ⑧ 21	23 ③ 26	35 ⑦ 42	42 ⑥ 48
IV	21 ⑤ 26	26 ⑥ 32	42 ⑤ 47	48 ⑦ 55
	26	19	26	22

1.4.14.att. Potenciālo un paradoksālo rutiņu noteikšanas piemērs

1.4.15.attēlā dots iepriekšējai matricai atbilstošā ciklogramma. Tajā var redzēt, ka palielinot otrās plūsmas II un III tvērienu darba ilgumu attiecīgi par 5 un 3 dienām, kopējais celtniecības ilgums samazinās par 6 dienām. Tas izskaidrojums ar to, ka palielinot darbu ilgumu paradoksālajās rūtiņās organizatorisko pārtraukumu ietvaros, plūsmas kļūst ritmiskākās un to blīvums palielinās, t.i. nākošo procesu var uzsākt ātrāk.



Piezīme:

ar pārtrauktām līnijām parādīta otrās, trešās un ceturtais plūsmas pārbūve pa kreisi palielinot darbu ilgumu otrajai plūsmai otrajā un trešajā tvērienā.

1.4.15.att. *Ciklogrammas optimizēšana piemērs ar paradoksālo rūtiņu palīdzību*

1.4.8. Kompleksas plūsmas, to parametru aprēķini

Kompleksās plūsmas projektē lauksaimnieciska, rūpnieciska rakstura ražošanas uzņēmumu, kā arī dzīvojamo masīvu būvniecībai.

Kompleksās plūsmas projektēšana ietver plūsmas struktūras formēšanu, aprēķinu shēmas sastādīšanu, laika parametru aprēķināšanu, ciklogrammu vai tīkla grafika sastādīšanu.

Ar kompleksās plūsmas struktūru jāsaprot savstarpēji saistītu un paralēli attīstošos objektu plūsmu kopa (komplekss).

Kompleksā plūsmā ir dažāda rakstura objekti, kuri atšķiras pēc konstruktīvajiem, plānojuma risinājumiem, objektu būvniecības tehnoloģijas, darbu apjomiem u.t.t.

Kompleksās plūsmas ietvaros ir lietderīgi projektēt sekojošas objektu plūsmas: būvniecības pamatobjekti; kultūras, palīgsaimniecības objekti; inženiertīkli un ceļi; speciālas būves; teritorijas labiekārtošana.

Izstrādājot aprēķina shēmu iziet no tā, ka būvniecības process sastāv no sagatavošanas un pamatperioda. Sagatavošanas periods ietver inženiergatavošanas darbus, pagaidēku un būvju būvniecību. Šos darbus izpilda pirms objekta plūsmu izvēršanas.

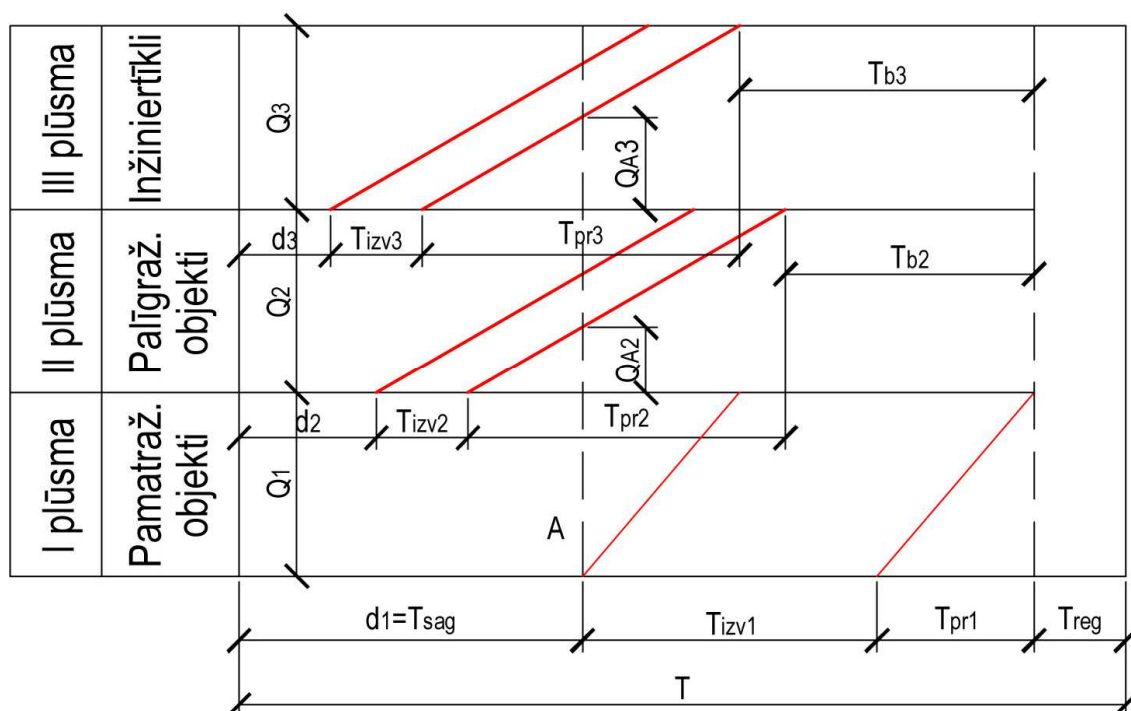
Komplekso plūsmu ražošanas rakstura objektiem projektē izejot no objektu kompleksa pabeigšanas termina (gads, mēnesis) pēc līguma ar pasūtītāju. Tas arī noteiks kopējo kompleksa būvniecības laiku (T) un sagatavošanas perioda ilgumu (T_{sag}).

Kompleksās plūsmas projektēšanu un aprēķinus izdara sekojošā secībā: nosaka kompleksās plūsmas struktūru, piem.: I – pamatražošanas objekti; II - palīgražošanas objekti; III - inženiertīklu izbūve.

Katrai objekta plūsmai nosaka tas izvēršanas periodu, ņemot vērā kompleksās plūsmas struktūru, vai izmantojot normatīvus.

Sastāda kompleksas plūsmas aprēķina shēmu (1.4.16.att.).

Pēc līnijas A nosaka katras nākošas plūsmas sasaistes punktus ar I plūsmas izvēršanas sākumu. Šie punkti nosaka, kāds apjoms jāizpilda katrā nākošajā plūsmā līdz I plūsmas izvēršanas sākumam.



1.4.16.att. Kopējās plūsmas ciklogramma ražošanas objektiem

Katrai objektu plūsmai nosaka gatavās produkcijas izlaides periodu.

Pirmajai plūsmai:

$$T_{pr1} = T - T_{sag} - T_{izv1} - T_{reg}, \quad (1.4.12.)$$

kur T_{pr1} – I plūsmas produkcijas izlaides periods;

T_{izv1} – I plūsmas izvēšanas periods;

T_{reg} – iekārtu regulēšanas periods.

Otrai plūsmai:

$$T_{pr2} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_{A2}} (T_{izv1} + T_{b1} - T_{b2}), \quad (1.4.13.)$$

kur Q_2 – II plūsmas celtniecības un montāžas darbu apjoms vērtības izteiksmē;

Q_{A2} – celtniecības un montāžas apjoms, kas jāveic otrajai plūsmai līdz momentam A;

T_{b2} – II plūsmas pabeigšanas apsteiguma ilgums pirms darbu kompleksas pabeigšanas termiņa.

Līdzīgi gatavās produkcijas izlaišanas periodu var noteikt jebkurai nākošajai plūsmai:

$$T_{pri} = \frac{Q_i}{Q_i - Q_{Ai}} (T_{izv1} + T_{b1} - T_{bi}), \quad (1.4.14.)$$

Objektu plūsmu iekļaušanas laiku kompleksajā plūsmā (d) nosaka ņemot vērā, ka nevienu objekta plūsmu nav vēlams uzsākt vienlaicīgi ar sagatavošanas perioda sākumu. Tas izskaidrojams ar to, ka katrai objekta plūsmai nepieciešams daļēji vai pilnīgi izpildīt dažādus sagatavošanas perioda darbus (būvlaukuma iežogošana, plānošana u.t.t.). Tātad lielums d nevienai objektu plūsmai nevar būt vienāds ar nulli.

Lielumu d var noteikt pēc formulām:

$$d_1 = T_{sag}, \quad (1.4.15.)$$

$$d_2 = T_{sag} - T_{izv2} - \frac{Q_{A2} \cdot T_{pr2}}{Q_2}, \quad (1.4.16.)$$

$$d_i = T_{sag} - T_{izvi} - \frac{Q_{Ai} \cdot T_{pri}}{Q_i}, \quad (1.4.17.)$$

kur Q_{Ai} – celtniecības un montāžas darbu apjoms, kas jāveic i -tajai plūsmai līdz momentam A;

T_{pri} – i -tās plūsmas produkcijas izlaides periods;

Q_i – i -tas plūsmas celtniecības un montāžas darbu apjoms.

Izmantojot aprēķinātos parametrus projektē kompleksās plūsmas ciklogrammu.

Kompleksas plūsmas parametrus dzīvojamo un sabiedrisko ēku kompleksa būvniecībai aprēķina līdzīgi kā ražošanas kompleksi. Dzīvojamo un sabiedrisko ēku kompleksā ietilpst dzīvojamās ēkas, skolas, bērnu dārzi, veikali u.t.t.

Pieņemsim, ka kompleksajā plūsmā ir četras objektu plūsmas: I – ārējo inženieru būve; II – dzīvojamo māju celtniecība; III – skolas celtniecība; IV – ceļu būvniecība (1.4.17.att.).

Kompleksa kopējās celtniecības ilgums T sastāv no sekojošiem saskaitāmiem:

T_{sag} – sagatavošanas periods; T_a – periods, par kuru pirmā objekta plūsma apsteidz pamatplūsmas sākumu; T_{po} – pamatobjektu (dzīvojamo māju) plūsmas ilgums.

$$T = T_{sag} + T_a + T_{po}, \quad (1.4.18.)$$

Sagatavošanas perioda ilgumu T_{sag} var pieņemt robežās no 10 - 25% no kompleksa kopējā celtniecības ilguma:

$$T_{sag} = (0,10 - 0,22)T = \alpha T, \quad (1.4.19.)$$

Periodam T_a , pa kuru apsteidz I plūsma pamat plūsmas sākumu, jābūt pietiekami lielam, lai varētu izvērst plūsmas jebkurā dzīvojamo un sabiedrisko ēku masīva vietā.

Lielumu T_a var pieņemt 20 – 25% no pamatbūvju plūsmas ilguma T_{po} :

$$T_a = (0,2 - 0,25)T_{po} = \beta T_{po}.$$

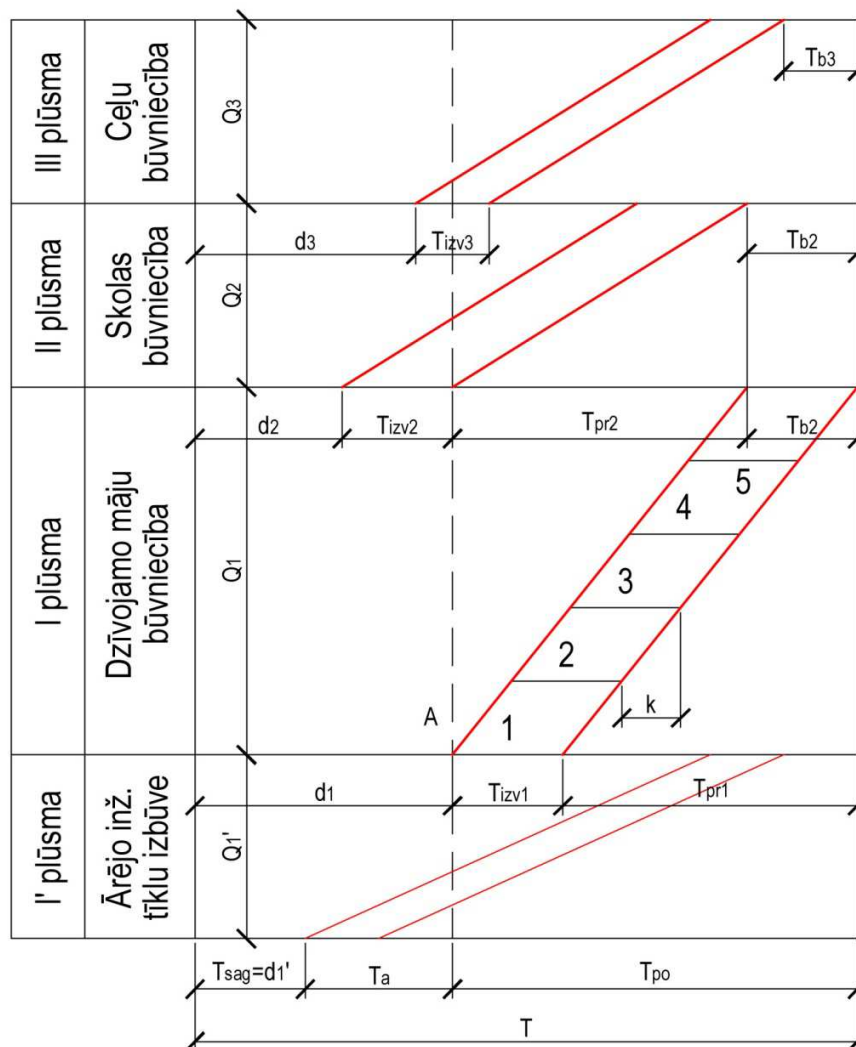
Dzīvojamo ēku būvniecības plūsmas ilgumu var aprēķināt pēc celtniecības plūsmas aprēķināšanas vispārējās formulas:

$$T_{po} = T_1 + K(N - 1), \quad (1.4.20.)$$

kur T_1 – atsevišķas dzīvojamās ēkas būvniecības periods bez T_{sag} ;

K – plūsmas solis – periods starp pamat plūsmas gatavās produkcijas izlaidēm;

N – viena tipa objektu skaits objektu plūsmā.



1.4.17.att. Dzīvojamo un sabiedrisko ēku būvniecības kompleksās plūsmas ciklogramma

Plūsmas soli var izskaitļot pēc formulas:

$$K = \frac{T_1}{\sqrt{N+1}}. \quad (1.4.21.)$$

Ievietojot vērtības T_{sag} , T_a , T_{po} kompleksa kopējā celtniecības ilguma formulā dabūsim:

$$T = \alpha T + \beta T_{po} + T_1 + K(N - 1) \text{ vai}$$

$$T = \frac{(1+\beta)[T_1+k(N-1)]}{1-\alpha}. \quad (1.4.22.)$$

Kompleksās plūsmas nepieciešamo intensitāti var aprēķināt:

$$I_k = \frac{Q_k}{T_{pr1}}, \quad (1.4.23.)$$

kur Q_k - kopējais veicamo darbu apjoms gatavās produkcijas vienībās (kopējais derīgās platības m^2 vai ēkas celtniecības m^3).

1.4.9. Plūsmas metodes ekonomiskā efektivitāte būvniecībā

Plūsmas metodes lietošana būvdarbu organizēšanā dod reālu ekonomisko efektu no:

- darba un materiālo resursu racionālas un vienmērīgas izmantošanas;
- objektu savlaicīgas nodošanas ekspluatācijā.

Resursu racionāla izmantošana izpaužas:

- nepārtrauktā un vienmērīgā strādnieku nodarbinātībā sakarā ar ko paceļas darba ražīgums, samazinās nepieciešamais strādnieku skaits, uzlabojas to darba kvalitāte;
- celtniecības mašīnu, transporta līdzekļu un palīgrāžošanas uzņēmumu vienmērīgā darbā, kas ļauj labāk izmantot to jaudu;
- samazinās resursu krājumi un līdz ar to atbrīvojot apgrozāmos līdzekļus, samazinot izdevumus noliktavu saimniecību uzturēšanai.

Objektu savlaicīga nodošana ekspluatācijā nodrošina investīciju efektivitātes plānoto līmeni pasūtītājam un pieskaitāmo izdevumu līmeni būvuzņēmējiem. Samazinot būvniecības laiku salīdzinot ar plānoto, gan pasūtītājs, gan būvuzņēmējs gūst ekonomisko efektu attiecīgi no investīciju ātrākas atmaksāšanas (pasūtītājam) un no nosacīti pastāvīgās pieskaitāmo izmaksu daļas ekonomijas (būvuzņēmējam).

Visvieglāk organizēt plūsmu un maksimālu efektivitāti plūsmas metode dod dzīvojamo ēku būvē, jo tās ir vienveidīgas pēc konstruktīvajām plānojuma u.c. pazīmēm. Plūsmu lietot rūpnieciska rakstura objektu būvniecībā ir sarežģītāk, jo katrs objekts ir atšķirīgs gan pēc konstruktīvajiem risinājumiem, gan ražošanas tehnoloģijas. Te var palīdzēt objektu klasifikācija vienveidīgās grupās.

2. NODAĻA – METODIKA, RISINĀJUMU VARIANTI UN TO ANALĪZE

2.1. Būvniecības kalendārās plānošanas ar grafiskajām metodēm analīze

Lai būtu vieglāk izprast un pielietot grafiskās plānošanas metodes, jāiepazīstas ar vairākiem tajos pielietotajiem nosacījumiem un terminiem.

Kalendārajā plānošanā būvniecībā pielieto plūsmas metodes. Plūsma būvniecībā ir būvdarbu kopums, kuru izpilda noteiktu strādnieku brigāde. Plūsmas ritms (brigāžu darba ritms) - laiks, kurā brigāde izpilda darbu vienā tvērienā (stāvā, laidumā, būvobjektā, būvobjekta daļā). Plūsmu solis ir laika intervāls starp divām elementārām plūsmām vai brigādēm (laiks, kura cita pēc citas sāk strādāt strādnieku brigādes). Plūsmas, kurās brigāžu darba ritms ir pastāvīgs un vienāds ar soli, sauc par ritmiskām, pretējā gadījumā – par neritmiskām.

Šo metožu ietvaros, plūsmas projektē ar vairākām grafiskajām metodēm: līniju grafikiem, ciklogrammām, darbaspēka resursu izmantošanas grafikiem un tīkla grafikiem.

Līniju grafiks ir būvdarbu kompleksa shematisks attēls, kuru iegūst, katram būvdarbam (brigādei) atbilstošā rindā parādot tā ilgumu ar taisnu līniju.

Ciklogramma ir būvdarbu kompleksa shematisks attēls, kurā pa diagonāli parāda būvprocesu tvērienā, no sākumpunkta līdz beigu punktam, kas vienlaicīgi ir šī būvniecības procesa sākumpunkts nākošajā tvērienā.

Resursu izmantošanas grafiks parāda, cik cilvēku vai brigāžu strādā konkrētā darba dienā. Tīkla grafiks ir savstarpēji saistītu darbu kopums, kas atspoguļo būvražošanas procesu tehnoloģiskā secībā. [1]

Tālāk apskatīsim astoņos dažādus praktiskus paņēmienus, ar kuru palīdzību iespējams veikt būvniecības kalendāro plānošanu.

1. Praktiskais darbs

Ritmiskas plūsmas plānošana ar dažādiem ritmiem

Darba uzdevums:

Līniju grafikā un cikloogrammā parādīti ritmiskās plūsmas ar dažādiem ritmiem, noteikt būvniecības darbu kopējo ilgumu, parādīt strādnieku (brigāžu) kustības grafiku. Uzdevuma pamatdati doti 2.1.1. tabulā.

2.1.1.tabula

Ritmiskas plūsmas plānošana ar dažādiem ritmiem (pamatdati)

Varianta Nr.	Tvērienu skaits (m)	Brigāžu (n) darba ritms dienās (t_n)			
		(1)	(2)	(3)	(4)
1.	3	3	6	3	6
2.	6	1	3	2	1
3.	4	2	4	2	4
4.	4	1	3	3	1
5.	3	2	6	4	2
6.	3	3	9	3	6
7.	5	1	2	1	3
8.	5	1	3	1	2
9.	3	3	6	9	3
10.	4	4	2	6	2
11.	3	6	3	3	9
12.	4	8	4	8	4
13.	6	1	3	2	1
14.	4	1	4	2	3
15.	6	1	4	1	3
16.	4	2	2	4	6
17.	5	1	1	2	3
18.	4	8	8	4	4
19.	3	4	6	2	2
20.	3	6	3	9	3
21.	4	3	2	1	1
22.	3	4	4	8	8
23.	3	3	3	9	6
24.	5	2	3	1	1
25.	6	3	2	1	1
26.	3	3	3	6	9
27.	3	3	9	9	6
28.	6	1	1	2	3
29.	4	1	1	3	4
30	6	2	1	3	1

Piemērs:

$t_1 = t_3 = t_5 = 1$ diena; $t_2 = t_4 = 2$ dienas

Brigāžu darba ritms nav vienāds, tātad šī nav vienādrītmu plūsma. Mazākais brigāžu ritms - plūsmas solis (k).

$k = \min t = t_1 = t_3 = t_5 = 1$ diena.

Pārējo brigāžu ritmi atšķiras no tā veselo skaitļu reizes.

$$X = \frac{t_2}{k}; \text{ šajā gadījumā } X = \frac{t_2}{k} = \frac{t_4}{k} = 2$$

Var uzskatīt, ka mūsu plūsma ir ritmiska plūsma ar dažādiem ritmiem.

Lai plūsmas būtu ritmiskas un tās varētu aprēķināt atbilstoši ritmisko plūsmu likumiem,

plūsmās, kuru ritms ir "x" reizes lielāks par minimālo, brigāde jāsadala "x" daļās tā, lai strādnieku skaits katrā daļā (apakš brigādē) ir "x" reizes mazāks par pamat brigādi.

Piemērs:

1., 3. un 5. brigādē strādā 10 cilvēki, bet dalītajās brigādēs: 2^a , 2^b , 4^a , 4^b , - 5 cilvēki.

Kopējais brigāžu skaits n ir 7, kuras strādā četros tvērienos (I, II, III, IV).

Kopējais darba ilgums $T = (n+m-1) * k$,

kur: n - kopējais elementāro brigāžu skaits (n=7 brigādes),

m - tvērienu skaits (m=4 tvērieni),

k - plūsmas solis (k=1 diena).

$T = (7+4-1) * 1 = 10$ dienas.

Aprēķināsim plūsmas izvēršanas, izbeigšanas un stabilo periodu:

$T_{izv} = (n-1) * k = (7-1) * 1 = 6$ dienas;

$T_{izb} = T_{izv}$;

$T_{st} = (m-n+1) * k = (4-7+1) * 1 = -2$ dienas;

kur: T_{izv} - plūsmas izvēršanas periods;

T_{izb} - plūsmas izbeigšanas periods;

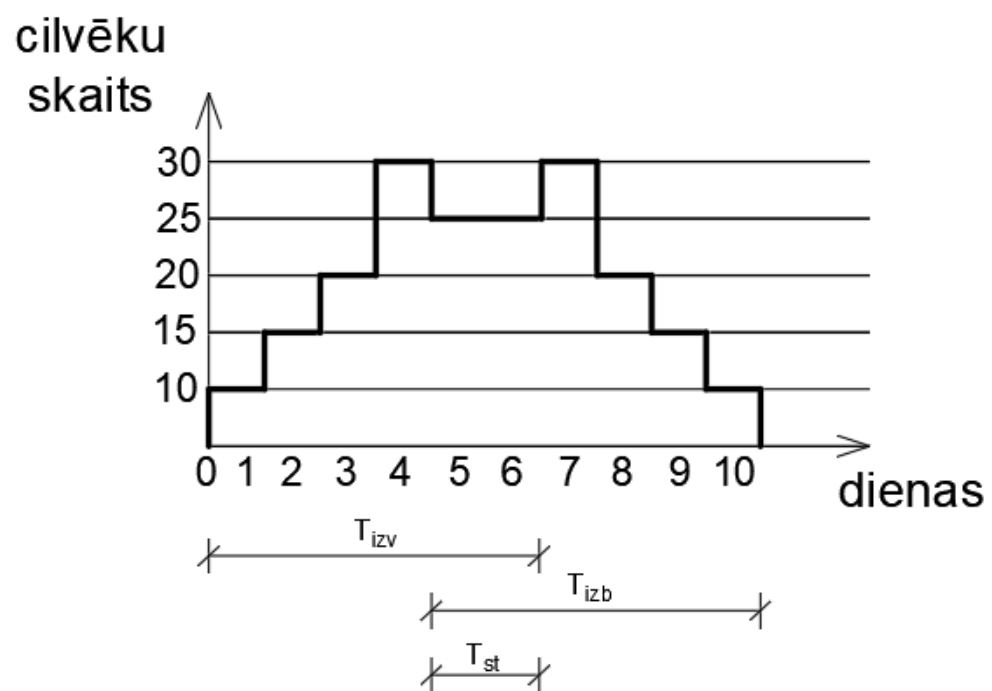
T_{st} - plūsmas stabils periods.

Strādnieku kustības grafikā katrā dienā jāparāda kopējo strādājošo skaitu visās brigādēs, kas nodarbināti šajā dienā. Plūsmu līniju grafiku un ciklogrammu, kā arī strādnieku kustības grafiku skatīt 2.1.4. attēlā. [1]

Brigāde	Darba dienas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ^a	I	II	III	IV						
2 ^a		I	II	III	IV					
2 ^b			II	III	IV	IV				
3				I	II	III	IV			
4 ^a					I	II	III	IV		
4 ^b						II	III	IV	IV	
5							I	II	III	IV

Tvēriens	Darba dienas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IV					2 ^b			4 ^b		
III			1.br.	2 ^a	3.br.		4 ^a			
II			2 ^b			4 ^b		5.br.		
I		2 ^a			4 ^a					

$$T = (n+m-1) \cdot k$$



2.1.4.att. Ritmiskas plūsmas ar dažādiem ritmiem līniju grafiks, ciklogramma un strādnieku kustības grafiks

2. Praktiskais darbs

Neritmiskās plūsmas ar vienādu ritmu maiņu plānošana

Darba uzdevums:

Parādīt plūsmu līniju grafikā un cikloogrammā, aprēķināt plūsmas parametrus un darbu kopējo ilgumu, parādīt strādnieku (brigāžu) kustības grafiku.

Četras brigādes (1-4) strādā piecos tvērienos (I-V). Katrā tvērienā visas brigādes strādā vienu un to pašu laiku, tāpēc katras brigādes darba laiks dažādos tvērienos ir dažāds. Brigādes darba laika tvērienos pamatdati doti 2.2.1. tabulā.

2.2.1. tabula

Neritmiskās plūsmas plānošana ar dažādiem ritmiem (pamatdati)

Varianta Nr.	Brigāžu skaits	Brigādes darba laiks tvērienos, dienās				
		I	II	III	IV	V
1.	4	2	4	2	4	1
2.	5	1	2	4	3	1
3.	3	2	4	3	5	1
4.	3	4	3	2	1	5
5.	4	3	4	1	2	5
6.	4	1	3	4	2	5
7.	4	4	3	2	5	1
8.	3	3	2	1	5	4
9.	4	2	3	2	4	6
10.	4	3	4	2	1	5
11.	4	2	4	2	3	5
12.	4	4	2	1	5	4
13.	5	1	2	3	4	5
14.	4	2	3	1	5	4
15.	3	3	2	1	4	5
16.	4	2	4	6	5	2
17.	3	4	3	5	6	1
18.	3	5	6	3	4	3
19.	4	3	4	6	5	1
20.	3	4	6	5	4	2
21.	3	3	5	6	4	3
22.	3	4	5	6	3	2
23.	3	3	6	5	4	3
24.	3	2	4	6	5	1
25.	3	4	6	4	5	3
26.	4	2	4	6	5	1
27.	3	4	2	5	6	2
28.	3	6	4	5	6	1
29.	3	3	6	4	5	3
30	3	4	5	6	6	2

Piemērs:

Četras brigādes (1-4) strādā sešos tvērienos (I-VI) un to darba laiki tvērienos ir $t^I=2$ dienas, $t^{II}=4$ dienas, $t^{III}=3$ dienas, $t^{IV}=4$ dienas, $t^V=1$ diena, $t^{VI}=5$ dienas.

Jebkuras plūsmas plānošanas galvenais nosacījums ir, lai tvērienā vienlaicīgi nestrādātu divas dažādas brigādes un lai brigādes darba laikā nebūtu pārtraukumu.

Sākumā līniju grafikā vai ciklogrammā parādām pirmās brigādes darba laiku visos tvērienos. Tad, sākot ar nākošo dienu pēc pirmās brigādes darba beigām I tvērienā, plānojam otras brigādes darba laiku tvērienos, obligāti pārbaudot, vai šī brigāde nav sākusī darbu tvērienā pirms tur pabeidza darbu iepriekšējā brigāde. Mūsu gadījumā, jau plānojot otrās brigādes darbu otrā tvērienā, var redzēt, ka darbu sākumu tajā jāpārbīda no piektās dienas uz septīto, jo tika sestajā dienā tur beidz darbu pirmā brigāde, un tā tālāk. *Noteicošais būs tvēriens ar maksimālo darba dienu skaitu, bet, ja tādi tvērieni ir vairāki, tad pēdējais no tiem.* Tāpēc, apskatot pirmās brigādes darba laiku tvērienos, var izvēlēties tvērienus ar lielāko darba laiku un saplānot brigāžu darbu tajā (*mūsu piemērā tas ir VI tvēriens, kur darba laiks ir piecas dienas*). Pēc tam var plānot brigāžu darbu pārējos tvērienos, gan turpgaitā, gan atpakaļgaitā. Tad brigādes kritiskās tuvināšanas vieta ir sestajā tvērienā.

Plūsmas solis ir laiks, pēc kura cita pēc citas sāk strādāt brigādes. Mūsu gadījumā tās ir 5 dienas. Galvenās produkcijas izlaides laiks sākās ar pēdējās brigādes darba sākumu un ir vienāds ar brigādes darba laiku kopumā (visos tvērienos).

T_{pr} - gatavās produkcijas izlaides laiks dienās:

$$T_{pr} = 2+4+3+4+1+5 = 19 \text{ dienas.}$$

Būvdarbu kopējais ilgums ir :

$$T = k * (n-1) + T_{pr}, \text{ kur:}$$

k - plūsmas solis (k=5 dienas);

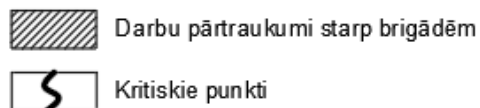
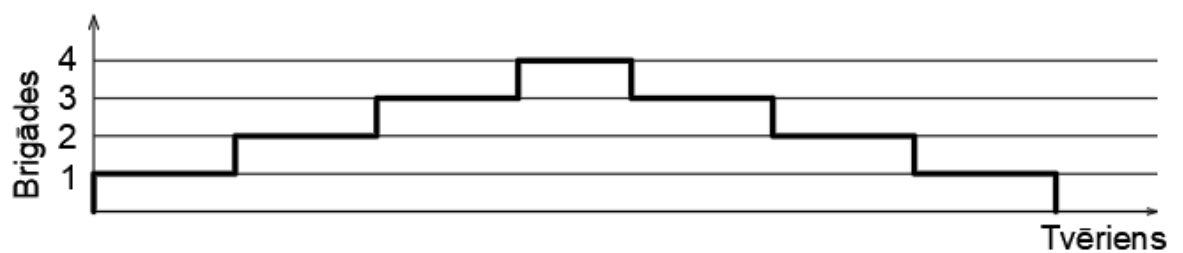
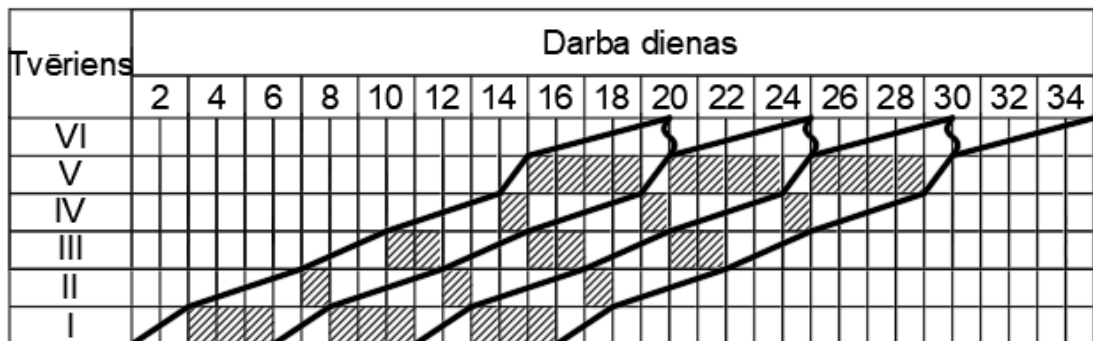
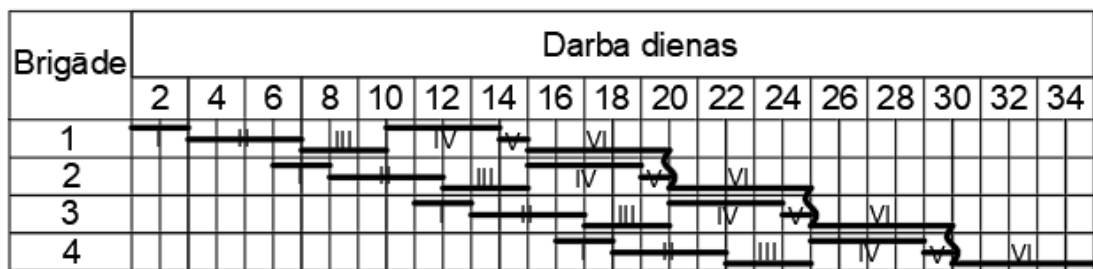
n - brigāžu skaits (n=4 brigādes);

t - pirmās brigādes darba ilgums 1 tvērienā, (t=2 dienas);

tc - pārtraukuma laiks starp brigādēm (tc= 5 dienas).

$$T = 5 * (4-1) + 19 = 34 \text{ dienas.}$$

Neritmiskas plūsmas ar vienādu ritma maiņu līniju grafiku, ciklogrammu un strādnieku kustības grafiku skatīt 2.2.1. attēlā. [1]



2.2.1.att. Neritmiskas plūsmas ar vienādu ritmu maiņu līniju grafiks, ciklogramma un strādnieku kustības grafiks

3. Praktiskais darbs

Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem plānošana

Darba uzdevums:

Parādīt neritmisko plūsmu līniju grafikā un cikloграмmā. Aprēķināt darba ilgumu.

Uzdevuma pamatdati (četrus brigāžu darba laiks piecos tvērienos) doti 2.3.1. tabulā.

2.3.1. tabula

Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem (pamatdati)

Varianta Nr.	Pirmās brigādes darba laiks piecos tvērienos					Otrās brigādes darba laiks piecos tvērienos					Trešās brigādes darba laiks piecos tvērienos					Ceturtās brigādes darba laiks piecos tvērienos				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1.	2	4	5	1	3	4	5	3	3	2	2	3	3	4	5	2	2	3	4	5
2.	5	4	3	2	1	4	3	2	2	5	3	2	4	5	4	2	3	4	5	3
3.	4	5	6	2	3	3	4	4	5	6	4	6	6	2	3	3	4	3	5	6
4.	2	3	4	5	6	6	4	5	5	3	5	6	4	4	3	5	6	3	3	4
5.	2	4	3	5	6	1	2	4	6	5	2	4	5	2	1	3	2	5	4	3
6.	2	5	6	4	3	2	4	3	5	2	4	2	5	6	2	2	4	3	5	2
7.	3	2	5	6	4	4	3	2	5	6	2	4	4	2	1	4	2	3	5	2
8.	3	5	6	4	2	4	4	3	2	2	4	3	2	2	1	2	4	3	5	2
9.	4	5	6	2	3	5	5	6	2	1	4	5	2	3	1	3	2	3	2	1
10.	4	6	5	3	2	4	3	2	1	5	4	4	5	5	2	5	2	1	2	1
11.	6	4	5	2	3	3	4	5	6	2	3	4	3	4	3	3	2	1	5	2
12.	6	1	4	4	5	4	4	5	2	1	5	4	3	2	2	2	3	2	1	5
13.	5	3	2	6	1	2	2	4	5	3	4	4	5	2	2	3	3	2	1	1
14.	6	4	5	4	2	4	3	2	5	1	2	3	1	4	2	2	2	3	2	2
15.	5	3	2	4	1	1	2	3	4	5	2	3	4	5	2	5	2	1	5	3
16.	5	2	4	4	1	2	4	3	5	1	3	2	4	3	4	2	5	2	3	1
17.	2	2	1	4	5	3	3	4	4	3	4	2	1	2	1	2	5	2	3	1
18.	3	3	4	4	5	4	2	3	5	1	2	3	2	2	3	3	2	1	1	5
19.	5	6	4	3	2	4	2	5	2	1	5	2	1	1	2	2	5	3	2	1
20.	4	4	5	6	1	4	3	2	5	2	3	2	3	2	1	5	2	3	2	1
21.	3	3	2	1	4	3	4	2	5	2	2	5	2	3	1	2	3	2	5	1
22.	5	6	3	2	1	4	3	2	4	3	3	2	5	2	1	1	2	3	4	5
23.	4	7	2	1	2	2	3	5	2	4	3	3	5	2	1	5	3	2	1	1
24.	5	6	2	1	4	3	2	5	2	1	2	3	5	2	2	4	2	5	2	2
25.	7	2	1	4	2	4	3	5	2	2	2	1	5	2	1	2	4	3	2	1
26.	5	6	2	4	3	4	4	6	2	1	3	3	2	5	2	1	2	3	4	5
27.	6	2	4	3	3	1	2	5	6	4	3	2	5	2	1	1	2	4	2	4
28.	5	5	2	2	1	2	5	6	2	1	2	2	3	5	1	2	3	1	2	3
29.	6	2	3	2	3	1	5	2	3	4	5	2	3	3	1	4	4	2	3	2
30.	4	4	5	5	2	2	3	4	5	2	3	4	3	4	1	2	3	2	2	2

Piemērs:

Četras brigādes strādā četros tvērienos un to darba laiks ir:

1. brigādei $t_1^I=4$ dienas, $t_1^{II}=3$ dienas, $t_1^{III}=4$ dienas, $t_1^{IV}=6$ dienas.
2. brigādei $t_2^I=3$ dienas, $t_2^{II}=2$ dienas, $t_2^{III}=4$ dienas, $t_2^{IV}=5$ dienas.
3. brigādei $t_3^I=4$ dienas, $t_3^{II}=1$ diena, $t_3^{III}=4$ dienas, $t_3^{IV}=5$ dienas.
4. brigādei $t_4^I=2$ dienas, $t_4^{II}=2$ dienas, $t_4^{III}=1$ diena, $t_4^{IV}=2$ dienas.

Vispirms plāno ciklogrammā vai līniju grafikā pirmās brigādes darbu. Otrā brigāde sāk darbu pirmajā tvērienā tad, kad tur darbu beigusi pirmā brigāde. Tad ar intervālu t_1^I sākam projektēt otro plūsmu, kuru apzīmējam ar pārtrauktu līniju. Tālāk atrod laika nogriežņus, par kuriem katrā no tvērieniem pārsedzas elementārās plūsmas, kuras apzīmējam ar c_1 un c_2 . Visgarākais nogrieznis nosaka laiku, par kuru jāpārbīda pa labi otras elementārās plūsmas sākums, lai kādā no tvērieniem vienlaicīgi nestrādātu divas brigādes. (Šo visgarāko nogriezni apzīmē ar C_1 .)

Pirmās plūsmas solis – $k_1=t_1^I+c_1$

Piemērā pirmās un otrās plūsmas kritiskās tuvināšanās vieta ir ceturtajā tvērienā.

$$k_1 = t_1^I + c_1 = 4+4=8 \text{ dienas,}$$

$$k_2 = t_2^I + c_2 = 3+2=5 \text{ dienas,}$$

$$k_3 = t_3^I + c_3 = 4+5=9 \text{ dienas.}$$

Analoģiski projektējam arī pārējās plūsmas.

Gatavās produkcijas izlaides laiks ir vienāds ar pēdējās brigādes kopējo darba ilgumu dienās.

$$T_{pr} = t_4^I + t_4^{II} + t_4^{III} + t_4^{IV} = 2+2+1+2= 7 \text{ dienas.}$$

Būvdarbu kopējais ilgums ir:

$$T=\sum k_i+T_{pr}, \text{ kur:}$$

T - būvdarbu kopējais ilgums, dienās;

k_j - brigāžu solis, dienās;

T_{pr} - gatavās produkcijas izlaides laiks, dienās.

$$T = 8 + 5 + 9 + 7 = 29 \text{ dienas.}$$

Neritmiskas plūsmas aprēķins ar analītiskās metodes palīdzību parādīts 2.3.2. tabulā.

2.3.2. tabula

Neritmiskas plūsmas aprēķins ar analītiskās metodes palīdzību

Dati	Brigāžu Nr.	Tvērieni			
		I	II	III	IV
Brigāžu darba ilgums katrā tvērienā	1	4	3	4	6
	2	3	2	4	5
	3	2	1	4	5
	4	2	2	1	2
Brigāžu darba beigas katrā tvērienā	1	4	7	11	17
	2	11	13	17	22
	3	17	18	22	27
	4	24	26	27	29

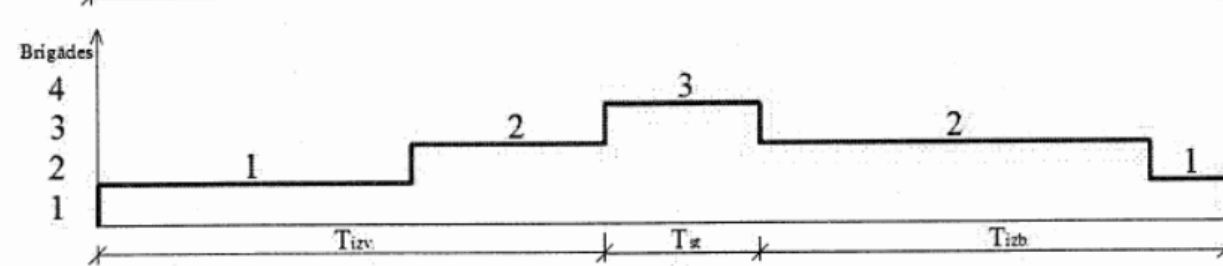
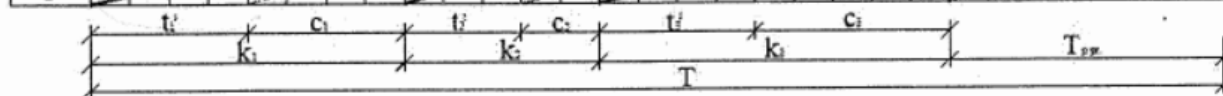
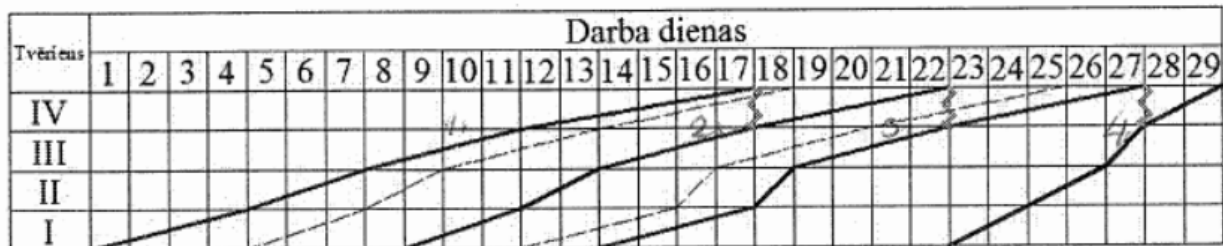
Aprēķina piemērs:

3. brigādes darba beigas I tvērienā:

$$t_1^I + c_1 + t_2^I + c_2 + t_3^I = 4 + 4 + 3 + 2 + 4 = 17 \text{ dienas.}$$

Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem līniju grafiks, ciklogramma un strādnieku kustības grafiks parādīti 6. attēlā. [1]

Brigāde	Darba dienas																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	I	I	I	I	I	I	I	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
2								I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
3																		IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
4																													



 Kritiskie punkti

2.3.1.att. Neritmiskas plūsmas ar nesaskaņotiem ritmiem līniju grafiks, ciklogramma un strādnieku brigāžu kustības grafiks

4. Praktiskais darbs

Dažādrītmu plūsmas kalendārā plānošana

Darba uzdevums:

Parādīt dažādrītmu plūsmas līniju cikloграмmā. Aprēķināt būvdarbu kopējo ilgumu. Dažādu plūsma sastāv no ritmiskiem procesiem, kuru ritmi savstarpēji nav saskaņoti un nav daudzkārtīgi (nav savstarpējas dalāmības).

Uzdevumā piecas brigādes strādā četros tvērienos. Katras brigādes darba ritms parādīts 2.4.1.tabulā.

2.4.1. tabula

Dažādrītmu plūsmas
(pamatdati)

Varianta Nr.	Brigāžu ritmi				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.	2	3	4	2	3
2.	3	4	2	3	4
3.	4	3	2	4	2
4.	5	2	3	1	3
5.	4	3	2	1	5
6.	2	4	3	4	1
7.	1	2	4	3	1
8.	2	4	3	5	1
9.	3	4	1	2	5
10.	1	3	4	2	4
11.	4	3	2	5	1
12.	3	2	1	5	4
13.	2	3	2	4	3
14.	3	4	2	1	5
15.	2	4	2	3	5
16.	3	2	4	3	2
17.	4	3	2	4	3
18.	2	4	2	3	4
19.	3	1	3	2	5
20.	5	1	2	3	4
21.	1	4	3	4	2
22.	1	3	4	2	1
23.	1	5	3	4	2
24.	5	2	1	4	3
25.	4	2	4	3	1
26.	1	5	2	3	4
27.	5	5	1	2	3
28.	3	4	2	3	2
29.	5	1	2	4	3
30	5	3	2	4	2

Piemērs:

Piecas brigādes strādā četros tvērienos. Brigāžu ritms (darba laiki katrā tvērienā) ir šādi:

$t_1=3$ dienas, $t_2=2$ dienas,

$t_3=4$ dienas, $t_4=5$ dienas, $t_5=1$ diena.

Vispirms līniju grafikā vai ciklogrammā projektē pirmo plūsmu. Tad zīmē otro plūsmu, meklējot kritiskās tuvināšanās vietu pēc principa, ja nākošās plūsmas ritms ir lielāks par iepriekšējās plūsmas ritmu, tad kritiskās tuvināšanās vieta atrodas pirmajā tvērienā, ja otrādi - tad pēdējā tvērienā.

Būvdarbu kopējais ilgums ir :

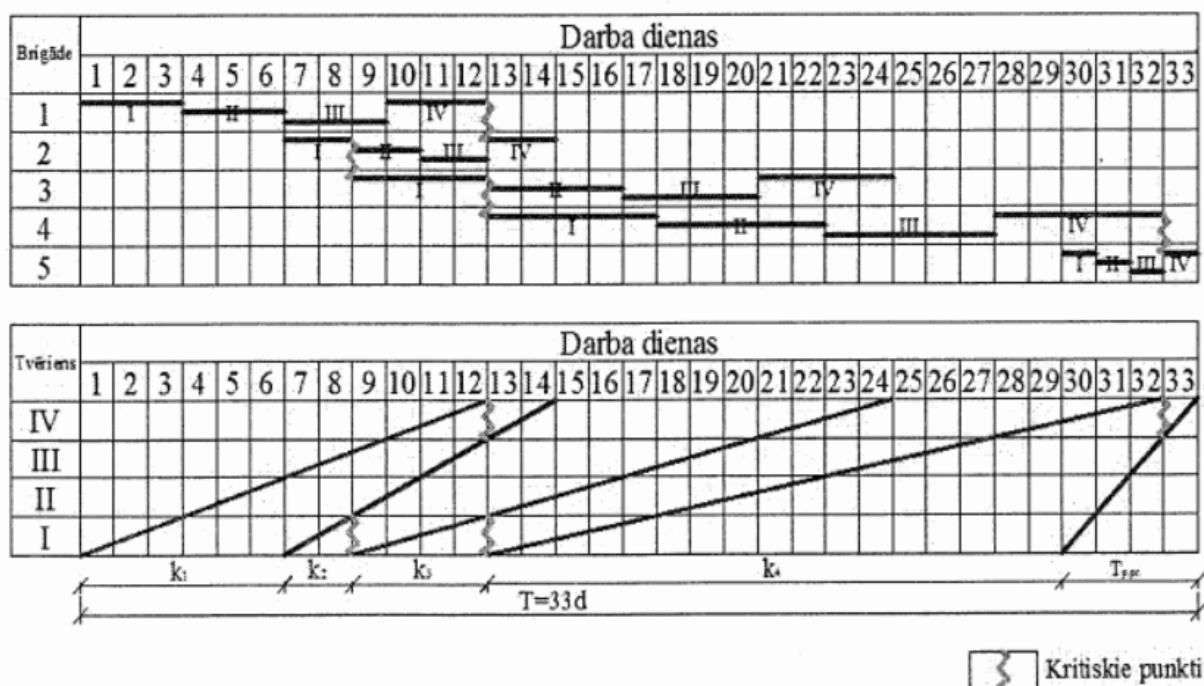
$T=\sum k_i+T_{pr}$, kur:

k_i - plūsmas solis, dienas;

T_{pr} - gatavās produkcijas izlaides laiks.

$T = 6+2+4+17+4 = 33$ dienas.

Dažādritmu plūsmas līniju grafiks un ciklogramma parādīti 2.4.1. attēlā.



2.4.1.att. dažādritmu plūsmas līniju grafiks un ciklogramma

5. Praktiskais darbs

Neritmiskas plūsmas aprēķins ar matricas metodi

Darba uzdevums:

Četrus dažādu objektu būvniecībā piedalās četras brigādes. Brigāžu darba laiki katrā no tvērieniem (objektiem) doti 2.5.1. tabulā. Aprēķināt neritmiskas plūsmas parametrus ar matricas metodi un aprēķināt sekojošus parametrus:

1. noteikt būvdarbu kopējo ilgumu;
2. aprēķināt katrā tvērienā pārtraukumus (rezerves) brigāžu darbā;
3. aprēķināt katra objekta tīro būvēšanas laiku un kopējo (ieskaitot pārtraukumus);
4. izskaitļot matricas blīvumu;
5. noteikt uz matricas kritisko ceļu (bez pārtraukuma vai vismazākajiem pārtraukumiem);
6. noteikt objektu būvniecības optimālo secību, tādu, pie kuras būvdarbu kopējais ilgums ir vismazākais;
7. parādīt objektu būvniecības optimālo secību cikloграмmā;
8. pārbaudīt, kā kopējo darbu ilgumu ietekmēs divu visilgāko objektu sadale divos tvērienos;
9. noteikt potenciālās un paradoksālās rūtiņas, pierādot to esamību ar aprēķinu.

Piemērs:

Tiek celti četri objekti, katrā no tiem strādā četras brigādes un to darba ilgumi ir:
pirmajai brigādei: $t_1^I = 6$ dienas, $t_1^{II} = 7$ dienas, $t_1^{III} = 8$ dienas, $t_1^{IV} = 5$ dienas;
otrajai brigādei: $t_2^I = 8$ dienas, $t_2^{II} = 2$ dienas, $t_2^{III} = 3$ dienas, $t_2^{IV} = 6$ dienas;
trešajai brigādei: $t_3^I = 6$ dienas, $t_3^{II} = 8$ dienas, $t_3^{III} = 7$ dienas, $t_3^{IV} = 5$ dienas;
ceturtajai brigādei: $t_4^I = 5$ dienas, $t_4^{II} = 4$ dienas, $t_4^{III} = 6$ dienas, $t_4^{IV} = 7$ dienas.

Aizpildot matricu, horizontālā virzienā ieraksta procesu (brigāžu) darba ilgumu katrā no tvērieniem.

Tātad, izskatot kādu no stabiņiem, mēs varam analizēt procesu (brigādes darbu) visos tvērienos, bet, apskatot horizontālo rūtiņu, redzams, kādos laikos noteiktā tvērienā strādās brigādes.

Neritmiskas plūsmas procesu ilgums, dienās

(pamatdati)

Varianta Nr.	Tvērieni															
	I				II				III				IV			
	Procesu ilgums, dienās															
1.	7	5	8	4	4	5	6	4	6	2	4	7	4	6	4	5
2.	4	5	6	5	7	2	3	5	4	5	6	5	6	4	5	7
3.	6	5	4	7	8	2	3	6	6	4	2	5	4	5	6	8
4.	5	8	5	4	7	3	2	6	8	6	3	5	7	5	6	4
5.	4	6	5	7	6	2	3	8	9	7	3	6	5	4	6	7
6.	8	5	7	6	9	4	3	7	8	7	2	9	4	5	7	8
7.	6	7	5	4	6	4	8	6	5	3	2	7	4	6	5	7
8.	6	8	9	5	7	2	3	6	6	5	8	9	6	4	5	8
9.	7	8	6	8	4	6	2	7	8	3	7	5	4	7	8	4
10.	3	4	6	5	6	4	7	6	8	5	2	7	5	3	4	6
11.	4	8	7	6	5	7	3	8	7	6	8	9	4	6	5	3
12.	5	6	8	7	7	6	5	7	6	7	3	7	5	7	6	4
13.	3	6	4	5	8	3	2	6	5	6	5	8	4	5	4	6
14.	4	7	5	6	7	2	3	5	6	7	6	9	5	6	5	7
15.	7	4	6	8	5	7	8	4	7	3	2	6	6	5	7	5
16.	7	5	6	9	7	3	2	6	5	7	8	4	6	7	6	9
17.	4	5	6	7	6	7	5	4	8	2	3	5	7	5	9	6
18.	6	7	6	9	7	3	2	6	5	7	8	4	5	7	6	4
19.	5	4	8	5	5	6	7	6	7	3	2	6	7	6	8	9
20.	6	4	5	7	6	2	8	5	7	8	6	4	5	4	6	7
21.	4	6	7	5	6	8	6	4	7	2	3	5	6	4	8	6
22.	7	5	4	6	5	2	3	7	6	5	6	7	5	7	6	4
23.	4	7	5	6	6	5	8	7	7	3	2	6	6	5	7	5
24.	6	5	7	5	7	3	2	8	6	7	5	6	4	6	8	6
25.	4	7	8	4	7	6	8	9	6	2	3	7	7	6	5	7
26.	5	7	6	5	6	2	3	6	7	5	6	6	4	5	7	5
27.	8	6	5	7	7	5	6	8	6	3	2	7	6	7	8	5
28.	9	8	7	6	6	7	3	9	8	7	9	6	5	7	6	4
29.	6	7	8	9	9	7	6	8	7	2	3	8	4	5	6	7
30.	8	7	9	6	5	2	3	7	6	5	7	9	7	5	4	6

Neritmiskas plūsmas aprēķins ar matricas metodi parādīts 2.5.1.attēlā.

S	t	B
---	---	---

Nosacītie apzīmējumi: t – darba ilgums, dienās;
S – darba sākums, dienās;
B – darba beigas, dienās.

Tvērienu Nr.	Brigāžu Nr.				Σt_t
	I	2	3	4	$\Sigma t_t + \Sigma t_p$
I	0 6 6	13 8 21	21 6 27	33 5 38	$\frac{25}{38}$
II	6 7 13	21 2 23	27 4 35	38 4 42	$\frac{21}{36}$
III	13 8 21	23 3 26	35 9 42	42 6 48	$\frac{24}{35}$
IV	21 5 26	26 6 32	42 10 47	48 7 55	$\frac{23}{34}$
	26	19	26	22	$\Sigma=93/143$

2.5.1.att. Neritmiskas plūsmas aprēķins ar matricas metodi

Matricas aprēķina pamatā ir vienas rūtiņas aprēķins. Rūtiņas vidū ir rakstīts dotās brigādes darba ilgums dotajā tvērienā, augšējā kreisajā stūrī - darba sākums, bet labajā apakšējā stūrī - darba beigas, ko atrodam, summējot darba sākumu un darba ilgumu.

Matricu sākam aprēķināt, plānojot pirmās brigādes darbu visos tvērienos pēc kārtas. Aprēķina noteikumi ir tie paši - brigādei jāstrādā bez pārtraukumiem, vienā tvērienā vienlaicīgi nedrīkst strādāt divas brigādes. Aprēķinot pirmās brigādes darbu, sākam plānot otrās brigādes darbu arī no pirmā tvēriena, pieņemot par darba sākumu pirmās brigādes darba beigas un virzāties uz leju. Ja aprēķinu gaitā atklājas, ka nākošā darba procesa sākuma laiks kādā no rūtiņām būs agrāks par iepriekšējā darba beigām, tad nepieciešams izdarīt labojumu, pielīdzinot nākošās brigādes darba sākumu pie iepriekšējās brigādes darba beigām un, pārrēķinot šīs brigādes darba laikus iepriekšējos tvērienos, ir ieteicams ievērot sekojošu likumu: ja nākošā procesa darba ilgums mazāks par pirmā procesa ilgumu, tad otrā procesa parametrus aprēķina tajā pašā virzienā, no augšas uz leju, ja otrādi - otrā procesa parametru aprēķinu racionālāk sākt no apakšas.

Noslēdzošā darba procesa beigu laiks pēdējā tvērienā nosaka kopējo darba ilgumu (55 dienas).

Ja kādā tvērienā nākošā procesa darba sākums ir lielāks par iepriekšējā procesa darba beigām, tas nozīmē, ka tvērienā ir organizatorisks pārtraukums, kura ilgums ir šo lielumu starpība, un to parasti ieraksta uz rūtiņu kopējās maliņas.

Saskaitot visu procesu darba ilgumu tvērienā, atradīsim darba ilgumu objektā Σ , bet pieskaitot klāt visus organizatoriskos pārtraukumus, aprēķināsim kopējo darbu ilgumu objektā.

Saskaitot procesa ilgumu visos tvērienos vertikālā virzienā, atradīsim procesa kopējo ilgumu.

Darbu organizācijas efektivitāti raksturo plūsmas blīvums. Plūsmas blīvuma koeficientu aprēķināsim pēc formulas:

$$K_{bl} = \frac{\sum_1^n t_t}{\sum_1^n t_t \sum_1^n t_p}$$

kur: K_{bl} - plūsmas blīvuma koeficients;

t_t - darba ilgums tvērienā;

t_p - pārtraukuma ilgums tvērienā.

$$K_{bl} = \frac{93}{93 + 50} = 0,65$$

Jo lielāks ir koeficients, jo labāk ir organizēts darbs.

Objektu būvniecības optimālās secības noteikšana parādīta 2.5.2. attēlā.

Tvērienu Nr.	Brigāžu (procesu Nr.)				$\frac{\sum_{t1}}{\sum_{t2}}$	$t_n - t_1$
	1	2	3	4		
I	6	8	6	5	14/5	-1
II	7	2	8	4	9/4	-3
III	8	3	7	6	11/6	-2
IV	5	6	5	7	11/7	+2
	26		26			

Vadošie procesi : 1 un 3 proc.

2.5.2.att. Objektu būvniecības optimālās secības noteikšana

Matricas optimizācija pēc laika ir darbu izpildes ilguma saīsināšana, samazinot vai pilnīgi likvidējot rezerves. To iespējams izdarīt, mainot objektu būvniecības secību.

Objektu optimālu būvniecības secību var atrast, izmantojot daļu metodi vai starpības metodi.

Ar daļu metodi objektu (tvērienu) būvniecības optimālu secību nosaka sekojoši:

- atrod būvniecības procesu ar maksimālo ilgumu (vadošais process);
- katrā objektā (tvērienā) atrod darba ilgumu summu līdz vadošajam procesam (Σt_1)

un

pēc tā (Σt_2);

- Šīs darbu ilgumu summas ieraksta papildus ailē dalījumu veidā ($\Sigma t_1 / \Sigma t_2$).

Tā kā apskatāmajā piemērā ir divi vadošie procesi, jāapskata divi varianti, izskaitļojot matricu pēc pirmā un trešā procesa. Ja vadošais process ir pēdējais, tad saucējam ir nulles vērtība.

Tālāk optimālā secībā jāsakārto tvērienus, izejot no principa, kā procesu attīstības virzienā skaitītājam jāpieaug no min uz max, bet saucējam otrādi - jāsamazinās. Objektu būvniecības optimālā secība parādīta 2.5.3. attēlā.

Izmantojot otru optimizēšanas metodi - starpības metodi - atrod starpības starp darbu ilgumiem pēdējā un pirmajā plūsmā (brigādē) $t_n - t_1$ (sk. 2.5.4.attēlu). Tālāk objektu secību jāsakārto tā, lai šīs starpības izvietotos no lielākās līdz mazākai, samazinoties procesu attīstības virzienā. Sakārtota matrica parādīta 11. attēlā, un abos gadījumos jaunais būvdarbu ilgums ir 48 dienas, t.i., 7 dienas īsāks nekā pamat variantā.

Potenciālās un paradoksālās rūtiņas

Par potenciālām sauc rūtiņas, kurās, palielinot darba ilgumu organizatoriskā pārtraukuma ietvaros, kopējais būvdarbu ilgums nemainās. Šīs rūtiņas var noteikt pēc diviem likumiem:

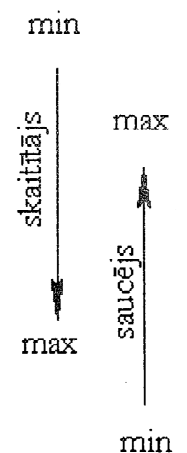
- Pirmās ailes (stabiņa) likums.

Potenciālās rūtiņas pirmajā ailē atrodas zem rūtiņas, kura ir pati zemākā kritiskā tuvinājuma vietā no labās puses. 2.5.3. attēlā tādu rūtiņu nav.

- Pēdējās ailes (stabiņa) likums.

Potenciālās rūtiņas pēdējā ailē atrodas augstāk par rūtiņu, kura ir virsējā kritiskā tuvinājuma vieta no kreisās puses. Mūsu gadījumā pēdējā ailē tādas ir divas augšējās rūtiņas.

Tvērienu Nr.	Brigāžu Nr.				$\frac{\sum t_{1.v.pr.}}{\sum t_{2.v.pr.}}$
	1	2	3	4	
II	0 7 7	15 2 17	17 8 25	26 4 30	$\frac{9}{4}$
IV	7 5 12	17 6 23	27 5 30	30 7 37	$\frac{11}{7}$
III	12 8 20	23 3 26	30 7 37	37 6 43	$\frac{11}{6}$
I	20 6 26	26 8 34	37 6 43	43 5 48	$\frac{14}{5}$



2.5.3.att. Objektu būvniecības optimālās secības noteikšana ar daļas metodi

Tvērienu Nr.	Brigāžu Nr.				$t_n - t_1$
	1	2	3	4	
IV	0 5 5	9 6 15	18 5 23	26 7 33	+2
I	5 6 11	15 8 23	23 6 29	33 5 38	-1
III	11 8 19	23 3 26	29 7 36	38 6 44	-2
II	19 7 26	26 2 28	36 8 44	44 4 48	-3



2.5.4.att. Objektu būvniecības optimālās secības noteikšana ar starpības metodi

Vidējās ailēs darbojas abi likumi. Iesvītrojot pēc pirmā likuma atrastās rūtiņas ar slīpām

līnijām vienā virzienā, bet atrastās pēc otrā likuma - citā virzienā, iznāk, ka dažas rūtiņas ir ar krustisko svītrojumu. Šīs rūtiņas sauc par paradoksālām. Palielinot tajās darba ilgumu organizatorisko pārtraukumu ietvaros, kopējais būvdarbu ilgums samazinās. Tas izskaidrojams ar to, ka, palielinot darba ilgumu paradoksālajās rūtiņās organizatorisko

pārtraukumu ietvaros, plūsmas kļūst ritmiskākas un to blīvums palielinās, t.i., nākamo procesu var uzsākt ātrāk.

Palielināsim otrās brigādes darba ilgumu trešajā tvērienā par 9 dienām, parādot jaunu darba ilgumu daļas skaitītājā. Aprēķinot matricu ar šo jauno darba ilgumu, iznāk, ka kopējais darba ilgums ir 53 dienas, tas ir 2 dienas mazāk, nekā pamat matricā (skat. 2.5.5. attēlu).

Samazinot šajā rūtiņā darba ilgumu no 3 līdz 1 dienai un izskaitļojot matricu, iznāk, ka kopējais darba ilgums ir 57 dienas, neskatoties uz tīrā darba ilguma samazināšanos (skat. 2.5.5. attēlu).

Tvērienu Nr.	Brigāžu Nr.			
	1	2	3	4
I	0 6 6	11 8 19	19 6 25	31 5 36
II	6 7 13	19 2 21	25 8 33	36 4 40
III	13 8 21	21 12 33	33 7 40	40 6 46
IV	21 5 26	33 6 39	40 5 45	46 7 53

2.5.5. att. Būvniecības ilguma noteikšana, palielinot darba ilgumu paradoksālajā rūtiņā

Tvērienu Nr.	Brigāžu Nr.			
	1	2	3	4
I	0 6 6	15 8 23	23 6 29	35 5 40
II	6 7 13	23 2 25	29 8 37	40 4 44
III	13 8 21	25 3 1 26	37 7 44	44 6 50
IV	21 5 26	26 6 32	44 5 49	50 7 57

2.5.6 .att. Būvniecības ilguma noteikšana, samazinot darba ilgumu paradoksālajā rūtiņā

6. Praktiskais darbs

Tīkla grafika konstruēšana laika mērogā

Darba uzdevums:

Konstruēt tīkla grafiku laika mērogā trīs laidumu ēkas būvniecībai. Dati - darba ilgums otrajā tvērienā (laidumā) - doti 2.6.1. tabulā.

Darba ilgumu pirmajā tvērienā pieņemt par 1 dienu mazāku, bet trešajā tvērienā par 1 dienu lielāku, nekā otrajā tvērienā. Bet, sākot ar apmetuma darbiem, - otrādi. Pirmajā tvērienā darba ilgums ir par 1 dienu lielāks, bet trešajā tvērienā par vienu dienu mazāks. Ja darba ilgums otrajā tvērienā ir 1 vai 2 dienas, tad to nevajag samazināt, bet pieņemt tādu pašu. Tīkla grafika paraugs ir pielikumā.

Metodiskie norādījumi:

Konstruējot tīkla grafiku, jāievēro sekojošais:

- katrs darbs atrodas starp diviem notikumiem, un tam ir savs šifrs;
- celtni var strādāt paralēli vai secīgi, montējot kolonnas, sijas, pārseguma paneļus un sienu paneļus;
- ēkas virszemes daļas montēšanu var plānot, izmantojot vienu vai divus celtnus;
- plānojot darbus, izmanto plūsmas metodi;
- brigādes un celtni strādā bez pārtraukumiem;
- jāatzīmē celtna ierašanās un aiziešanas laiks no būvlaukuma;
- jāparāda visas atkarības brigādēm, pārejot no viena tvēriena uz otru;
- laika rezerves darbā atzīmē ar pārtrauktu līniju, kā darba turpinājumu;
- celtna pārvietošanos no viena tvēriena otrā var parādīt ar pārtrauktu līniju;
- tīkla grafikam jābūt konstruētam laika mērogā ar piesaisti pie darba dienām;
- ēku jāsadala trijos tvērienos (atbilstoši laidumu skaitam), katru tvērienu tīkla grafikā vēlams parādīt taisnā līnijā, kur izvietoti visi darbi tvērienā;
- jumta ierīkošanu parāda paralēli pārējiem darbiem un sasaista ar apmetuma darbiem;
- darba nosaukumus var šifrēt;
- tīkla grafiku aprēķina tieši uz grafika ar vienkāršoto metodi, parādot zem notikuma daļas veida darba agrāko sākumu un iepriekšējā darba vēlākās beigas.

Kritiskajā ceļā atrodas notikumi, kuriem ir vienādi agrākā sākuma un vēlāko beigu lielumi. Kritisko ceļu apzīmē ar dubultlīniju vai resnu līniju.

Trīs laidumu ēkas būvniecības darba ilgumi, dienās

Nr. p.k.	Darba nosaukums	Varianti																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1.	Zemes rakšana	4	3	4	2	3	4	2	4	3	2	4	3	2	4	3	2	4	3	2	2	3	4	4	3	2	1	4	4	3	4
2.	Pamatu ierīkošana	4	3	2	2	4	3	2	4	3	3	3	4	3	3	4	4	2	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2	2	4	3
3.	Zemes aizbēršana	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1
4.	Kolonnu montāža	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3
5.	Siju un pārseguma paneļu montāža	6	6	7	8	9	8	8	10	10	8	8	8	10	8	6	6	6	8	8	8	9	6	8	10	10	10	8	8	6	8
6.	Sienu montāža	8	8	9	8	8	9	9	11	8	9	9	10	8	9	10	10	8	9	7	10	8	9	9	11	8	9	9	10	8	9
7.	Jumta ierīkošana	9	4	6	4	6	7	7	10	4	6	6	4	10	8	7	6	4	4	6	7	4	8	5	6	4	7	5	8	4	7
8.	Galdnieku un stiklinieku darbi	4	3	4	4	5	3	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	5	5	4	4	3	3	4	4	5	5	4	4	5	5
9.	Santehniskie darbi, 1. posms	2	2	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	5	5	4	4	3	3	2	2
10.	Elektrotehniskie darbi, 1. posms	2	2	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	2	2	4	4	2	2	4	4	5	5	4	4	3	3	2	2
11.	Apmetums	5	4	5	4	3	4	5	3	3	4	4	2	3	4	3	3	3	3	3	4	3	5	5	3	3	3	3	4	3	5
12.	Sagatavošana darbi zem grīdām	3	3	4	5	6	4	3	3	4	5	6	4	3	5	6	4	3	3	6	4	4	5	5	4	5	6	5	4	4	4
13.	Krāsošana	6	5	4	5	4	5	5	5	6	6	6	4	4	4	5	6	7	5	4	4	3	4	6	6	6	5	5	4	4	5
14.	Santehniskie darbi, 2. posms	3	2	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	3	2	2	4	4	4	5	5	3	4	3	3	4	4	5	4	5	4
15.	Elektrotehniskie darbi, 2. posms	3	2	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	3	2	2	4	4	4	5	5	3	4	3	3	4	4	5	4	5	4
16.	Grīdas seguma ierīkošana	4	5	4	4	3	5	5	4	3	5	4	5	4	3	5	6	5	6	7	5	4	7	4	3	5	5	4	4	5	5

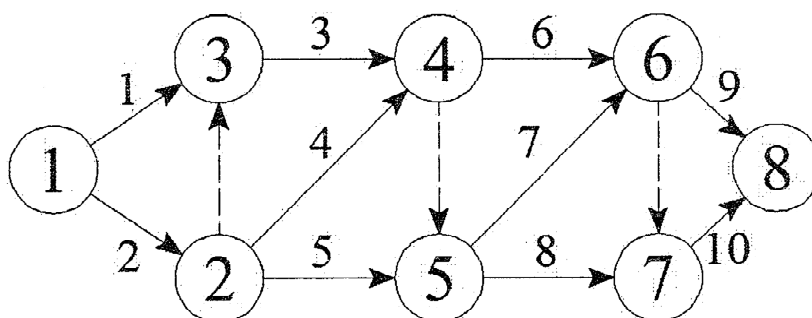
7. Praktiskais darbs

Tīkla grafiku aprēķins tabulā

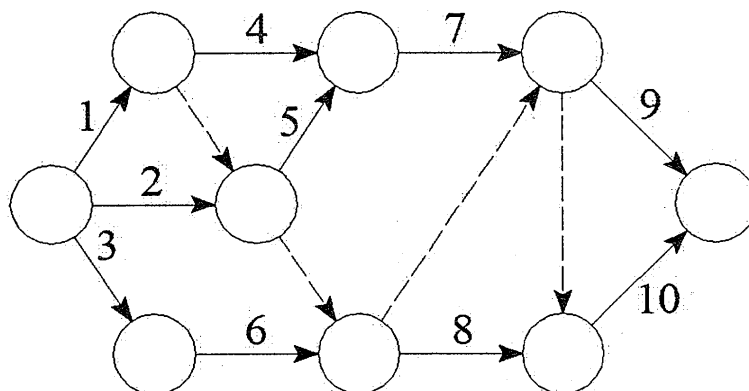
Darba uzdevums:

Izskaitļot tīkla grafiku tabulā, noteikt kritisko ceļu.

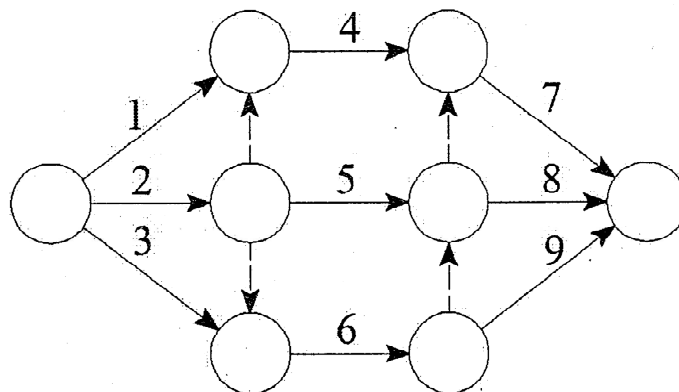
Tīkla modeļi parādīti 2.7.1. attēlā (no 1. līdz 10. variantam), 2.7.2. attēlā (no 11. līdz 20. variantam) un 2.7.3. attēlā (no 21. līdz 30. variantam). Darbu ilgumi atbilstoši darbu šifriem – 2.7.1. tabulā.



2.7.1. att. Tīkla modelis 1.- 10. variantam



2.7.2. att. Tīkla modelis 11. - 20. variantam



2.7.3. att. Tīkla modelis 21. - 30. variantam

Tīkla grafika aprēķins tabulā
(pamatdati)

Varianta Nr.	Darba ilgums dienās									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	7	6	4	7	5	3	6	2	5	4
2.	8	6	7	8	6	9	2	4	8	2
3.	4	7	9	3	2	8	6	6	5	3
4.	9	2	6	4	3	7	9	8	7	4
5.	2	5	6	7	4	8	3	9	2	5
6.	7	4	6	3	9	2	8	6	1	6
7.	3	5	8	4	9	6	5	6	7	7
8.	4	7	2	3	5	1	6	9	7	6
9.	7	1	6	4	5	3	9	4	2	6
10.	4	5	7	6	3	9	5	2	4	5
11.	4	7	5	8	7	6	3	9	2	7
12.	6	3	9	2	4	5	8	1	7	4
13.	2	8	4	5	1	7	3	6	9	3
14.	1	8	2	7	6	3	8	4	5	6
15.	7	3	5	2	9	6	4	8	2	5
16.	3	5	7	4	8	6	8	5	1	8
17.	5	6	4	2	8	4	9	3	9	4
18.	9	7	5	6	8	2	4	5	3	8
19.	3	4	7	5	6	8	2	7	8	9
20.	6	7	6	2	8	5	4	9	1	7
21.	4	8	2	4	3	6	8	5	2	6
22.	2	6	5	8	4	1	5	4	7	5
23.	5	7	7	6	4	5	3	3	2	4
24.	3	7	5	3	6	4	8	2	5	4
25.	2	4	6	7	8	8	9	1	4	5
26.	9	7	4	7	6	1	5	8	3	6
27.	2	8	7	6	5	9	4	6	3	7
28.	3	5	6	9	4	8	2	7	4	8
29.	4	5	7	4	8	2	8	6	7	9
30.	5	7	6	8	5	4	2	8	4	6

Piemērs:

Izskaitļot tīkla grafiku, kas parādīts 2.7.4. attēlā.

Tīkla grafika aprēķins parādīts 2.7.2. tabulā.

Pirmkārt, jāsanumurē notikumus to pieaugošā kārtībā. Darba beigu notikumam jābūt lielākam par šī paša darba sākuma notikumu. Tad sākam aizpildīt tabulu.

Pirmajā ailē rakstām iepriekšējo darbu sākuma notikumu numurus (darbu, kas jāveic, lai nokļūtu pie nākamā darba).

Otrajā ailē rakstām darbu šifrus secīgi - pieaugošā to sākumu notikumu numuru secībā.

Trešajā ailē rakstām šo darbu ilgumu.

Tad sāk aprēķināt darbu agrākos termiņus. Agrākais darbu sākums darbiem, kuru pirmais notikums šifrēts ar 1, ir 0. Pieskaitot agrākiem sākumiem darbu ilgumus, dabūsim šo darbu agrākās beigas.

$$T_{i-j}^{ab} = T_{i-j}^{as} + t_{i-j}$$

Ja dotais darbs seko vairākiem iepriekšējiem darbiem, tad dotā darba agrākais sākums ir vienāds ar maksimālo no iepriekšējo darbu agrākām beigām. Tādā veidā, veicot aprēķinu līdz pēdējam darbam, izskaitļosim būvdarbu kopējo ilgumu, kurš būs vienāds ar darbu agrāko beigu

maksimālo lielumu.

Tālāk sākam aprēķināt darbu vēlākos termiņus, veicot aprēķinu atpakaļgaitā no pēdējā notikuma, sākot ar vēlākajām beigām. Pēdējā notikuma vēlākās beigas ir vienādas ar kopējo darba ilgumu, tāpēc visiem darbiem ar pēdējo notikumu (8) ierakstam vēlākās beigas (22). Tad, atskaitot no vēlākām beigām darba ilgumu, atradīsim vēlāko sākumu.

$$T_{i-j}^{vs} = T_{i-j}^{vb} - t_{i-j}$$

Ja dotajam darbam seko vairāki sekojoši darbi, tad dotā darba vēlākās beigas ir sekojošo darbu vēlāko sākumu minimālais lielums.

Darba kopējā rezerve ir darba vēlāko un agrāko sākumu starpība vai arī darba vēlāko un agrāko beigu starpība.

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{vs} - T_{i-j}^{as} = T_{i-j}^{vb} - T_{i-j}^{ab}$$

Darba vietējā rezerve η_{i-j} ir maksimālais laiks, par kuru var pārcelt konkrētā darba sākumu vai palielināt tā ilgumu bez nākošā darba agrākā sākuma izmaiņas.

Vietējā rezerve ir nākošā darba agrākā sākuma un dotā darba agrāko beigu starpība.

$$\eta_{i-j} = T_{j-k}^{as} - T_{i-j}^{ab}$$

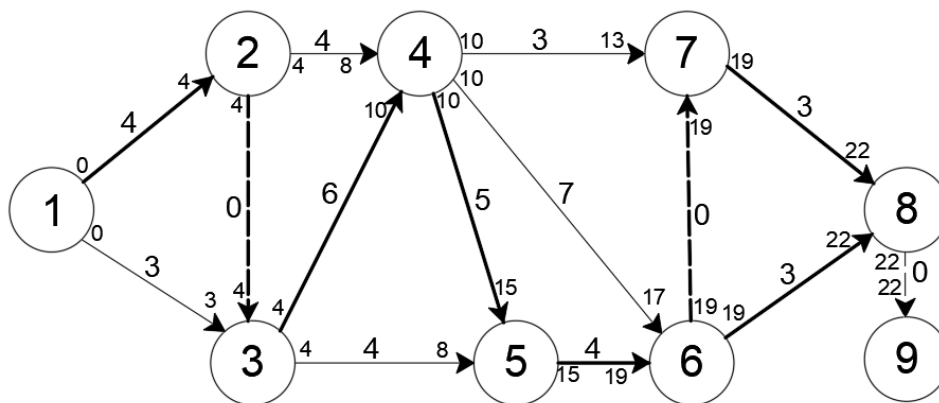
Nem vērā, ka meklējot darbu agrāko sākumu/beigas, to darām, apskatot visu tabulu, t.i., piemēram, apskatīsim darba šifru 3-5.

3 šajā gadījumā ir dotais darbs, tam meklēsim agrākās beigas. 3. darbs visagrāk beidzas šajā pašā darbu šifrā – 3-5, un tas ir "8".

Tālāk meklēsim darba 5 agrāko sākumu. Darba 5 agrākais sākums ir šifrā 5-6, un tas ir 15.

Ievietojot iegūtos skaitļus formulā, iegūstam: $\eta_{i,j} = 15 - 8 = 7$

Darbi, kuriem nav laika rezervju ($k = r = 0$), atrodas uz kritiskā ceļa. Piemērs ir izskaitļots 9. tabulā (kritiskais ceļš attēlots ar biezāku līniju, t.i. – 1-2-3-4-5-6-7-8-9 vai 1-2-3-4-5-6-8-9). [1]



2.7.4. att. Tīkla grafiks

Tīkla grafika aprēķins tabulā

Iepriekš. darbu sākuma notikuma Nr.	Darba šifrs $i-j$	Darba ilgums t_{ij}	Agrākie termiņi		Vēlākie termiņi		Rezerves	
			Darba sākums T_{ij}^{as}	Darba beigas T_{ij}^{ab}	Darba sākums T_{ij}^{vs}	Darba beigas T_{ij}^{vb}	Kopējās R_{ij}	Vietējās η_{ij}
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
-	1-2	4	0	4	0	4	0	0
-	1-3	3	0	3	1	4	1	1
1	2-3	0	4	4	4	4	0	0
1	2-4	4	4	8	6	10	2	2
1.2	3-4	6	4	10	4	10	0	0
1.2	3-5	4	4	8	4	15	7	5
2.3	4-5	5	10	15	10	15	0	0
2.3	4-6	7	10	17	12	19	2	2
2.3	4-7	3	10	13	16	19	6	6
3.4	5-6	4	15	19	15	19	0	0
4.5	6-7	0	19	19	19	19	0	0
4.5	6-8	3	19	22	19	22	0	0
4.6	7-8	3	19	22	19	22	0	0
6.7	8-9	0	22	-	-	-	-	-

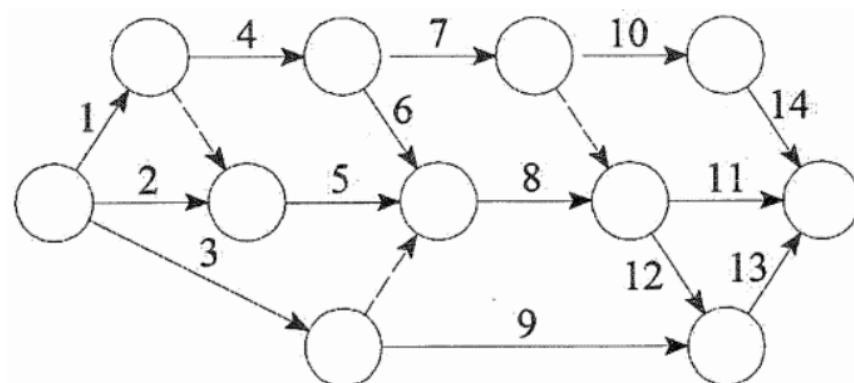
8.Praktiskais darbs

Tīkla grafika izskaitļošana uz grafika

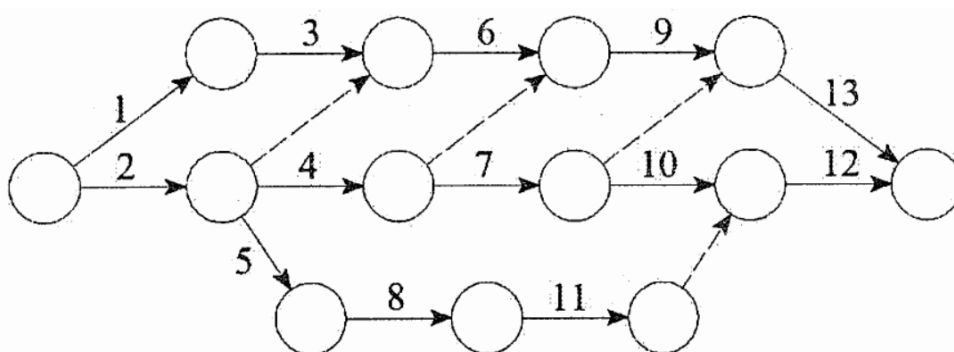
Darba uzdevums:

Sanumurēt notikumus, izskaitļot tīklu uz grafika, noteikt kritisko ceļu.

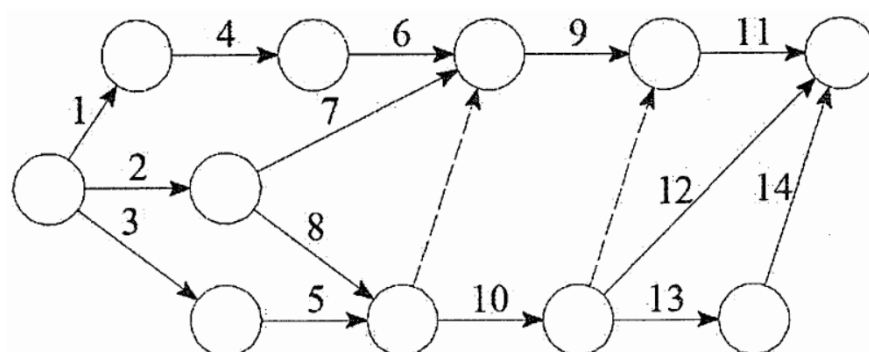
Tīkla modeļi atbilstoši variantu numuriem parādīti 2.8.1. (1.-10. var.), 2.8.2. (11.-20. var.), 2.8.3. (21.-30. var.) attēlā, bet darbu ilgums 2.8.1. tabulā.



2.8.1. att. Tīkla modelis 1.-10. variantam



2.8.2. att. Tīkla modelis 11.-20. variantam



2.8.3. att. Tīkla modelis 21.-30. variantam

Tikla grafika izskaitļošana uz grafika

(pamatdati)

Varianta Nr.	Darba ilgums							
	1	2.3	4.6	5	7.8	9.12	10.11	13.14
<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>	<i>5.</i>	<i>6.</i>	<i>7.</i>	<i>8.</i>	<i>9.</i>
1	5	2	4	9	6	4	2	3
2	2	5	3	8	5	3	4	1
3	1	2	4	6	4	7	5	2
4	4	3	4	9	5	5	6	1
5	2	5	3	7	6	8	3	4
6	4	1	6	8	5	12	4	2
7	3	4	2	5	5	3	3	2
8	2	1	3	8	4	5	2	1
9	2	6	3	7	6	4	1	3
10	5	3	2	6	4	6	4	2
11	3	6	5	9	4	7	2	3
12	2	1	4	8	5	3	7	4
13	5	4	2	9	4	2	6	3
14	4	1	5	7	6	8	5	4
15	3	2	6	6	4	7	3	6
16	5	1	2	4	8	4	2	5
17	7	2	4	9	5	2	7	1
18	3	2	4	6	6	3	1	3
19	6	1	3	7	5	6	4	2
20	1	7	4	9	8	5	4	1
21	2	3	5	8	4	8	5	2
22	2	4	3	6	5	4	3	2
23	6	4	3	7	4	6	1	2
24	1	5	2	6	7	3	11	4
25	4	2	3	5	6	4	3	2
26	3	4	2	6	5	6	4	5

27	1	3	2	5	4	3	4	2
28	5	4	1	8	7	5	3	4
29	2	5	3	9	6	2	3	2
30	3	1	4	6	3	5	4	1

Piemērs:

Izskaitļot tīklu uz grafika, katru notikumu dala četros sektoros – sk. 2.8.4. attēlu, un tajos atrodas visa nepieciešamā informācija.

Notikuma i augšējā sektorā ieraksta notikuma numuru, kreisajā sektorā – sekojošā darba i-j agrāko sākumu. Labajā sektorā ieraksta darba h-i vēlākās beigas. Apakšējā sektorā ieraksta notikuma i ieejošā darba sākuma numuru, caur kuru iet maksimālais ceļš. Darba loka galā dod darba vēlāko sākumu. Zem darba loka dod darba ilgumu.

Katram darbam parāda kopējās un vietējās rezerves. Aprēķinu sāk ar darbu agrāko termiņu noteikšanu virzienā no ieejas notikuma uz izejas notikumu.

Izejas darbu agrākais sākums ir nulle. Sekojošo darbu agrākos sākumus nosaka, kā maksimālo iepriekšējo darbu un to ilguma summu:

$$T_{i-j}^{as} = \max(T_{h-i}^{as} + t_{h-j}) = \max(T_{h-i}^{ab})$$

Iepriekšējā darba agrākās beigas atrod, pie agrākā sākuma (kreisais sektors) pieskaitot darba ilgumu un pierakstot to loka galā virs bultiņas.

Vēlākos laikus nosaka sākot ar modeļa izejas notikumu un beidzot ar ieejas notikumu.

Darba vēlākās beigas ir sekojošo darbu vēlāko beigu un šo darbu ilgumu mazākā starpība.

$$T_{h-i}^{vb} = \min(T_{j-k}^{vb} - t_{j-k}) = \min(T_{i-j}^{vs})$$

Vēlākos sākumus nosaka, no iepriekšējā darba vēlākajām beigām atņemot tā ilgumu un dabūto skaitli pieraksta loka sākumā.

Lai noteiktu kritiskā ceļa darbus, jāsalīdzina darbu agrākās beigas (loka galā) T_{h-i}^{ab} ar lielumiem kreisajā T_{i-j}^{as} un labajā sektorā T_{i-j}^{vb} . Ja visi trīs lielumi vienādi, tad darbs ir uz kritiskā ceļa.

Izmantojot šos lielumus, nosaka arī rezerves. Kopējo rezervi atrod, no labējā sektora lieluma atņemot lielumu loka galā.

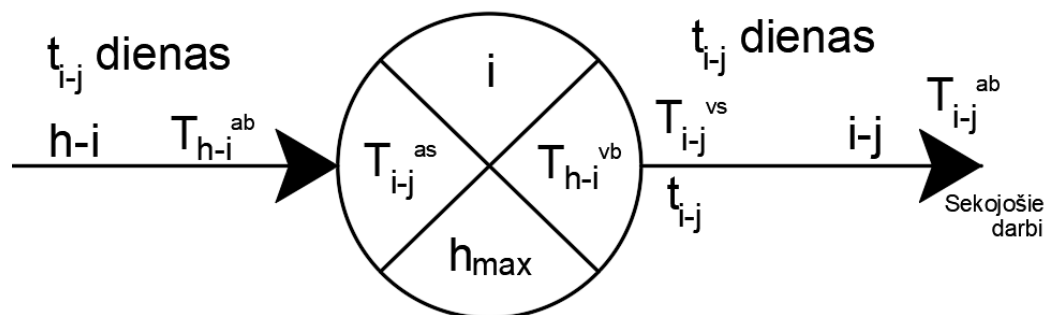
$$R_{i-j} = T_{h-i}^{vb} - T_{h-i}^{ab} = T_{i-j}^{vs} - T_{i-j}^{as}$$

Vietējo rezervi darbam nosaka, no kreisā sektora lieluma atņemot lielumu lok galā.

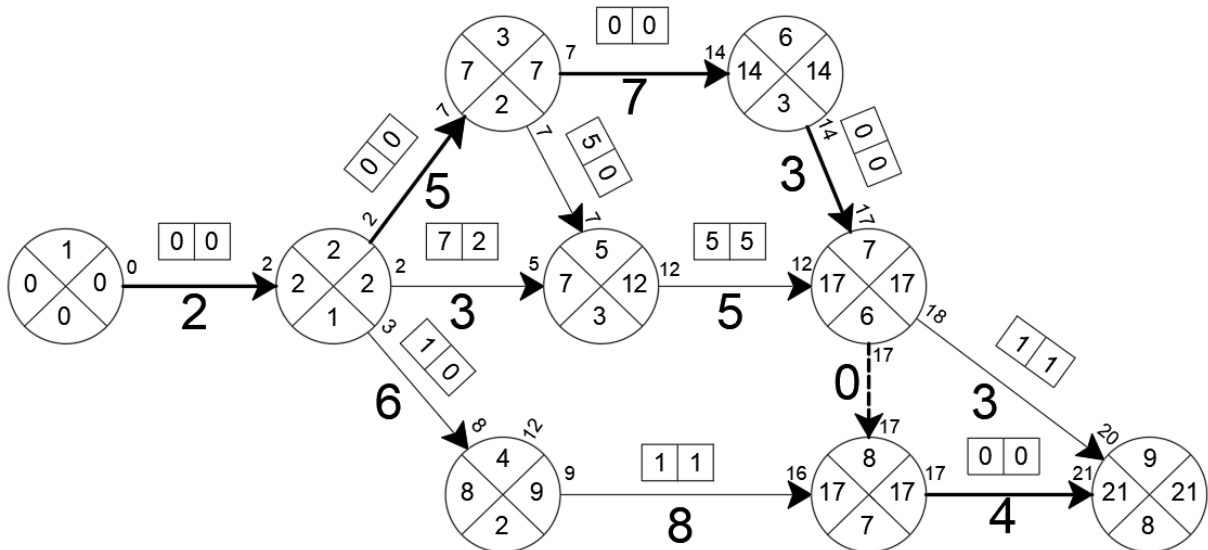
$$r_{i-j} = T_{i-j}^{as} - T_{h-i}^{ab}$$

Kritiskā ceļa darbiem nav laika rezervju, jeb $R = r = 0$ un, ja $T_{h-i}^{ab} = T_{i-j}^{as} = T_{h-i}^{ab}$

Tīkla modeļa izskaitļošanas grafika piemērs parādīts 2.8.5. 2.8.1. attēlā (kritiskais ceļš attēlots ar biezāku līniju, t.i. – 1-2-3-6-7-8-9). [1]



2.8.4. att. Notikuma sadalījums un apzīmējumi tīkla grafika izskaitļošanai uz grafika



2.8.5. att. Tīkla grafika izskaitļošana uz grafika

SECINĀJUMI

Plānošana un kalendārā plānošana būvniecības un projektēšanas procesā ir nozīmīgs posms, lai projekts būtu ekonomisks, efektīvs un loģisks. Ir nepieciešams pielietot kāda veida plānošanu, lai samazinātu iespējamās kļūdas, patvaļības un nesaprašanās. Dažādu rīku un programmu pielietošana atvieglo un paātrina būvniecības procesu.

Būvniecības plānošanu ar grafiskajām metodēm iespējams pielietot gan lielāka, gan mazāka apjoma būvobjektiem, to kombinējot ar dažādām citām programmatūrām un modeļiem, kas kopā sniedz nepieciešamo informāciju secīga un loģiska būvniecības procesa nodrošināšanai visā tā garumā – sākot ar projektēšanu, būvniecību un apsaimniekošanu un beidzot ar ēkas nojaukšanu (visā tā dzīves ciklā).

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Fjodorova S., Gusta S. (2010) *Metodiskie norādījumi praktisko darbu veikšanai priekšmetā "Būvniecības plānošana un organizēšana"*. Rīga: RTU izdevniecība.
2. Paulson B.C., Douglas S.A., Kalk A., Touran A., Victor (1983) Simulation and Analysis of Construction Operations. *ASCE Journal of Technical Topics in Civil Engineering*, Vol. 109, issue 2, p. 89-104.
3. *Construction Planning* [tiešsaiste] [skatīts 20.05.2020.]. Pieejams: https://www.cmu.edu/cee/projects/PMbook/09_Construction_Planning.html#fn1
4. Chinn S. *Construction Project Planning and Scheduling: A Complete Guide* [tiešsaiste] [skatīts 01.06.2020.]. Pieejams: <https://esub.com/construction-project-planning-and-scheduling-guide/>
5. Aston B. (2020) *Plan Your Projects: 10 Best Project Scheduling Software Of 2020* <https://thedigitalprojectmanager.com/project-scheduling-software/>
6. *Būvniecības plānošana ar daudzdimensiju modeli BIM* [tiešsaiste] [skatīts 03.06.2020.]. Pieejams: <https://abc.lv/raksts/buvniecibas-planosana-ar-daudzdimensiju-modeli-bim>
7. *Būvniecības informācijas modelēšana – BIM* [tiešsaiste]. LR Ekonomikas ministrijas mājas lapa. [Skatīts 01.06.2020.]. Pieejams: https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/buvnieciba/buvniecibas_informacijas_modele_sana/
8. *BIM konsultācijas* [tiešsaiste]. Uzņēmuma SITERA mājas lapa. [Skatīts 01.06.2020.]. Pieejams: <https://sitera.lv/musu-piedavajumi/bim-konsultacijas/#Buvnieciba>
9. *What is BIM?* [tiešsaiste] [skatīts 10.06.2020.]. Pieejams: <https://www.app-consultoria.com/what-is-bim-building-information-modelling/>
10. *The Ultimate BIM Software List for 2019* [tiešsaiste] [skatīts 03.06.2020.]. Pieejams: <https://www.lodplanner.com/bim-software/>

Pateicības

Vēlos pateikties LLU VBF Arhitektūras un būvniecības katedras laboratorijas vadītājai Dacei Slokenberga un LLU VBF 5.kursa studentei Evelīnai Mirbahai par sadarbību metodisko norādījumu tapšanā, kā arī LLU VBF vieslektorei Mag.oec.Initai Viksei un vieslektoram Mag. ing. Marekam Pavāram par darba recenzēšanu.

Vēlos pateikties arī manai bijušajai kolēģei RTU IEVF prof. Svetlanai Fjodorovai, un maniem pasniedzējiem RPI prof. Vsevolodam Actiņam un Pēterim Čudaram, kas mani ievadīja šajā jomā un, kuru darbu vēlos turpināt - nododot tālāk zināšanas studentiem.