

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



Visokošolski strokovni študij
gradbeništva, Smer operativno
gradbeništvo

Kandidat:
Nenad Španić

Prikaz metode in tehnike linearnega planiranja gradbenih projektov z uporabo programske opreme Tilos 6.0

Diplomska naloga št.: 358

Mentor:
izr. prof. dr. Jana Šelih

Somentor:
viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Ljubljana, 2010

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **NENAD ŠPANIĆ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»PRIKAZ METODE IN TEHNIKE LINEARNEGA PLANIRANJA GRADBENIH
PROJEKTOV Z UPORABO PROGRAMSKE OPREME TILOS 6.0«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 8.1.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji operativne smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 004.42:65.012:69(043.2)
- Avtor:** Nenad Španić
- Mentor:** doc. dr. Jana Šelih
- Somentor:** asist. dr. Aleksander Srđić
- Naslov:** Prikaz metode in tehnike linearnega planiranja gradbenih projektov z uporabo programske opreme Tilos 6.0
- Obseg in oprema:** 70 str., 13 pregl., 42 sl., 10 en., 2 pril.
- Ključne besede:** linearno planiranje, računalniška podpora, Tilos, LSM, CPM

Izvleček

V diplomskem delu sem obravnaval linearno tehniko planiranja. Uporaba te je smiselna pri načrtovanju gradnje linearnih objektov, med katere sodijo ceste, plinovodi, predori, železnice, kanalizacije in v nekaterih primerih visoke stavbe.

Prednost linearnega planiranja se kaže predvsem v dvodimenzionalnosti. Na eni osi čas in na drugi lokacija omogočata jasno primerjavo med načrtovano in dejansko realizacijo plana.

Linearni objekt, ki je načrtovan s tehniko mrežnega planiranja, je potrebno razdeliti na odseke in znotraj vsakega določiti mrežno strukturo dejavnosti. Več kot je odsekov, bolj natančen in kompleksen je plan, kar lahko predstavlja težave pri spremljavi projekta.

Računalniška podpora ima pri izdelavi terminskega plana pomembno vlogo. Omogoča hitro posodabljanje plana, korekcijo naknadno ugotovljenih napak v planu, uporabo obstoječega pri izdelavi podobnega plana ter hkratno sodelovanje na daljavo.

V Tilosu, programskem orodju, ki je namenjeno linearnemu planiranju, sem analiziral obstoječi terminski plan plinovoda Kidričevo – Rogatec, izdelan v MS Projectu. Pri tem sem se osredotočil predvsem na morebitne napake obstoječega plana, kot so potencialna sočasna izvajanja več dejavnosti na isti lokaciji in nepravilna zaporedja dejavnosti, ki so posledica načrtovanja linearnega objekta z mrežno metodo planiranja. S testi kritične poti in dela z viri sem poskušal poiskati prednosti in slabosti Tilosa v primerjavi z MS Projectom.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:65.012:69(043.2)
Author: Nenad Španić
Supervisor: asist. prof. dr. Jana Šelih
Co supervisor: asist. dr. Aleksander Srdić
Title: Linear scheduling of construction projects by using Tilos 6.0
Notes: 70p ., 13 tab., 10 eq., 2 ann.
Key words: linear scheduling, computer support, Tilos, LSM, CPM

Abstract:

The following thesis focuses on the linear planning method. The method is particularly useful when planning linear objects, such as roads, pipelines, tunnels, railways, sewerage and in some instances multi-storied buildings.

The advantage of linear planning is primarily its two-dimensionality. One axis shows time and the other location, which enables a clear comparison between the planned and the current state of the plan.

When using the network planning method, the linear object must be divided into sections, and each section must have a network structure of activities applied. The more sections, the more precise and complex the plan, which can lead to difficulties monitoring the project.

Computer support has an important role in schedule-planning. It enables fast updating or correcting the plan, the use of an existing similar plan and working with a distant-access simultaneously.

In the program Tilos, which supports linear planning, I analyzed the existing schedule-plan for the Kidričevo-Rogatec pipeline that was made in MS Project. My focus was primarily on the possible mistakes in the existing plan due to the use of the network planning method for planning linear objects, such as collisions and incorrect sequence of activities. Implementing the critical path test and using various sources I attempted to point out the advantages and disadvantages of the Tilos program, compared to the MS Project.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici Jani Šelih in somentorju Aleksandru Srđiću za vse strokovne nasvete in velikodušno vsestransko pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Posebna zahvala gre tudi ekipi Prinsa iz SCT in snovalcem Tilosa, ki so mi bili v veliko pomoč.

Diplomsko nalogo posvečam svojim staršem, ki so mi v času študija stali ob strani, me spodbujali in bodrili.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Cilj in namen diplomske naloge	1
2	OPERATIVNO PLANIRANJE	2
2.1	Planiranje	2
2.1.1	Razvoj linearnega planiranja	3
2.1.2	Primerjava LSM in CPM	4
2.1.2.1	Ločeni in prekinjeni projekti	4
2.1.2.2	Načrtovanje linijskega objekta	4
3	TEHNIKA LINEARNEGA PLANIRANJA	8
3.1	Tipi dejavnosti	9
3.2	Kontrolna pot dejavnosti po Harmelinku	9
3.2.1	Seznam zaporedja dejavnosti	10
3.2.2	Račun navzgor	13
3.2.3	Račun navzdol	16
3.3	Pomičnost nekontrolnega segmenta	17
3.3.1	Začetni nekontrolni segmenti	18
3.3.1.1	Definicija najnižje stopnje produktivnosti	19
3.3.2	Končni nekontrolni segmenti	20
3.3.2.1	Definicija najnižje stopnje produktivnosti	21
3.4	Časovna in lokacijska kritična pot po Lucko-ju	22
3.4.1	Definicija singularnostne funkcije	23
3.4.2	Algoritem po korakih	24
3.4.2.1	Korak 1: Podatki o poteku, zaporedju in medsebojnih odvisnosti med dejavnostmi	24
3.4.2.1.1	Izhodiščni podatki o dejavnostih na projektu	25
3.4.2.2	Korak 2: Začetne enačbe dejavnosti in zamikov	26
3.4.2.2.1	Časovni zamik	26
3.4.2.2.2	Lokacijski zamik	29

3.4.2.3	Korak 3: Določitev minimalnih zamikov izvajanja dejavnosti – zgodnji časi	32
3.4.3	Časovna in lokacijska kritična pot	34
3.4.4	Pomičnost produktivnosti	35
3.4.4.1	Prosta pomičnost produktivnosti	35
3.4.4.2	Celotna pomičnost produktivnosti	37
3.4.4.3	Vezana pomičnost produktivnosti	37
3.4.4.4	Neodvisna pomičnost produktivnosti	37
3.4.4.5	Varna pomičnost produktivnosti	37
4	PROGRAM TILOS IN TESTNI PRIMER	38
4.1	Zakaj je Tilos boljši kot Ganttov diagram in mrežni diagrami?	39
4.2	Deset razlogov zakaj uporabiti Tilos	39
4.3	Uporaba Tilosa	40
4.4	Planiranje plinovoda s Tilosom	41
4.4.1	Definiranje projekta	41
4.4.2	Delo in upravljanje z dejavnostmi v Tilosu	45
4.4.3	Viri v Tilosu	52
4.4.4	Vizualizacija informacij	55
4.4.4.1	Definiranje izhodiščnega plana	60
4.4.4.2	Spremljava projekta	60
4.4.5	Kritična pot	61
4.4.6	Gantogram	63
5	PRIMER	64
5.1	Specifika gradnje plinovodov	64
5.1.1	Lastnosti zemeljskega plina	64
5.1.2	Ukrepi pri nezgodah	64
5.1.3	Osnove gradnje cevovoda	65
6	ZAKLJUČEK	68
	VIRI	1

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki za izračun kontrolne poti	12
Preglednica 2: Podatki o dejavnostih in minimalnem medsebojnem zamiku	26
Preglednica 3: Izhodiščna razporeditev dejavnosti - maksimalni časovni zamiki	27
Preglednica 4: Singularnostne funkcije časovnih zamikov med zaporednimi dejavnostmi	28
Preglednica 5: Izhodiščna razporeditev dejavnosti - maksimalni lokacijski zamiki	30
Preglednica 6: Ovojnice minimalnih predpisanih lokacijskih zamikov pri začetni lokacijski razporeditvi dejavnosti	31
Preglednica 7: Časovni zamiki med začetnimi lokacijskimi razporeditvami in ovojnico minimalnih lokacijskih zamikov	32
Preglednica 8: Določitev začetkov dejavnosti v končni razporeditvi linearnega plana	33
Preglednica 9: Končni linearni plan – »singularnostne« funkcije poteka dejavnosti	33
Preglednica 10: Nastopajoče oblike aktivnosti v Tilosu	46
Preglednica 11: Modeli stalnih in komponentnih virov	52
Preglednica 12: Modeli potrošnih virov	54
Preglednica 13: Modeli izračuna stroškov	55

KAZALO SLIK

Slika 1: Gantogram z linearnim terminskim planom	5
Slika 2: Shematični prikaz stopnje produktivnosti	6
Slika 3: Prikaz linearnega plana	8
Slika 4: Prikaz poenostavljenega primera tipičnega linearnega plana avtocestne gradnje	10
Slika 5: Prikaz logičnega zaporedja aktivnosti za projekt avtocestne gradnje	11
Slika 6: Izhodiščni linearni plan primera za prikaz določanja kontrolne poti	12
Slika 7: Določitev LT in LD za celoten projekt	16
Slika 8: Račun navzdol	17
Slika 9: Pomičnost produktivnosti v začetnih nekontrolnih dejavnostih	19
Slika 10: Pomičnost produktivnosti v končnih nekontrolnih dejavnostih	21
Slika 11: Osnovni model singularnostne funkcije	24
Slika 12: Osnovni plan z minimalnimi časovnimi in lokacijskimi zamiki	25
Slika 13: Določitev potencialnih kritičnih točk – minimalni časovni zamik	29
Slika 14: Časovna in lokacijska kritična pot	34
Slika 15: Vrste pomičnosti po metodi CPM	35
Slika 16: Določitev pomičnosti pri časovni kritični poti	36
Slika 17: Določitev pomičnosti pri lokacijski kritični poti	36
Slika 18: Prikaz povezave med lokacijo in časom v linearnem planu	39
Slika 19: Uporabniški vmesnik	41
Slika 20: Prikaz novega pogleda Plan plinovoda	42
Slika 21: Projektna celica	43
Slika 22: Definiranje projektne celice	43
Slika 23: Nastavitve časovne celice	44
Slika 24: Nastavitve dolžinske celice	44
Slika 25: Projektna celica z definirano časovno in dolžinsko celico	45
Slika 26: Primer povzete dejavnosti	48
Slika 27: Upoštevanje različnih stopenj produktivnosti znotraj dejavnosti	49
Slika 28: Hkratni potek izkopa jarka in varjenja cevi	50

Slika 29: Povezave dejavnosti 1	51
Slika 30: Povezave dejavnosti 2	51
Slika 31: Napredovanje dejavnosti z obeh koncev	56
Slika 32: Stolpasti grafikon za prikaz količine virov (levo) in histogram (desno)	57
Slika 33: Povprečna temperatura vsakega petega v mesecu	58
Slika 34: Dolžinski profili (zgoraj vzdolžni prerez, na sredini tloris trase, spodaj stacionaže)	58
Slika 35: Vzdolžni profil ceste	59
Slika 36: Območja vkopov in nasipov	59
Slika 37: Ploskovni (spodaj) in masni profil (zgoraj)	59
Slika 38: Prikaz izhodiščnega plana v projektni celici	60
Slika 39: Spremljanje napredka	61
Slika 40: Prikaz kritične poti v Tilosu	62
Slika 41: Prikaz kritične poti po Harmelinku	62
Slika 42: Kombinacija časovno - lokacijskega pogleda in gantograma	63

1 UVOD

Večina se nas je kdaj v življenju srečala s planiranjem. Tako lahko naprimer študent, pri primerjavi načrta opravljanja študijskih obveznosti in dejansko opravljenih izpitov, okusi sladkobo ali grenkobo planiranja. Z dobro pripravljenim planom zmanjšamo možnosti razočaranja, zamud, in dodatnih stroškov. Prav zaradi tega je izdelava terminskega plana eno najbolj pomembnih opravil pred pričetkom gradnje objekta. Ta predstavlja časovno zaporedje dejavnosti, njihov začetek in konec ter posledično čas trajanja projekta. Omogoča vpogled na predvidene stroške, na vrsto ter količino potrebnih virov in določitev kritične poti.

Dandanes imamo na voljo pestro izbiro zmogljive programske opreme v vseh vejah gradbeništva. Na področju načrtovanja projektov je najbolj znan in najbolj razširjen MS Project, ki temelji na metodi mrežnega planiranja. Do nedavnega se je ta uporabljal za planiranje vseh gradbenih objektov, zato je bilo potrebno razviti programsko opremo, ki bi omogočala enostavno planiranje linijskih objektov, saj je bilo to v MS Projectu vse prej kot enostavno. Uspeh implementiranja metode linearnega planiranja v računalniške sisteme se danes kaže v obliki pestre ponudbe programske opreme. Med najboljša orodja sodijo Dynaroad, Linearplus in Tilos.

1.1 Cilj in namen diplomske naloge

Namen diplomske naloge je predstavitev tehnike linearnega planiranja gradbenih projektov za longitudinalne objekte (ceste, železnice, plinovodi). V nadaljevanju sta predstavljeni metodi za določanje kritičnosti dejavnosti v linearnih planih, njuna medsebojna primerjava ter primerjava z metodo CPM, ki jo uporablja tehnika mrežnega planiranja. S pomočjo programske opreme Tilos 6.0 je izdelan linearni terminski plan za projekt izgradnje plinovoda Kidričevo – Rogatec, ki je že bil izveden vendar je bil planiran z uporabo programa MS Project. Tako predstavljene prednosti tehnike linearnega planiranja naj bi vzpodbudile njeno uporabo v praksi, kjer se trenutno (na območju R Slovenije) še ne uporablja.

2 OPERATIVNO PLANIRANJE

2.1 Planiranje

Izraz planiranje izhaja iz angleške besede plan, ki v prevodu pomeni načrt. Kadar planiramo, vnaprej predvidevamo dogodke, ki se morajo zgoditi, da bi dosegli določen cilj.

Bistvo vsake metode planiranja je določitev stopnje produktivnosti dejavnosti. Trajanje dejavnosti je odvisno od stopnje produktivnosti in števila enot, potrebnih za dokončanje dejavnosti. Iz trajanja posameznih dejavnosti izvednotimo čas potreben za izvedbo projekta. Produktivnost in raba virov sta medsebojno povezani. Med vire sodijo delovna sila, mehanizacija, material, sredstva, informacije in odločitve vodstva.

Pri vodenju projekta in razporejanju zahtev so pomembni sledeči dejavniki:

- **Načrtovanje**; prva faza v kateri vodja projekta izbere orodje za načrtovanje. Uporabi terminski plan za predstavitev načrta dela, za upravljanje z viri, analiziranje stanja napredka in nadzorovanje stroškov projekta. Pri tem mora jasno predstaviti dejavnosti in medsebojno povezavo. Iz plana mora biti razvidna produktivnost, odhodki in izraba virov. Določena mora biti kritična pot ali dejavnosti, ki vplivajo na čas trajanja projekta.
- **Povezovanje virov in izvedba**; druga faza v kateri se projektni vodja sooča z izzivom razporejanja virov. To je ena najbolj težavnih nalog planiranja, saj so viri največkrat omejeni. Pri tem mislim predvsem na čas in denar, ki jima je posvečeno največ pozornosti. Projektni vodja kombinira razpored virov s terminskim planom, dokler ne pride do najboljše rešitve. Razporeditev in izravnavanje virov je mogoče izboljšati, če je orodje za načrtovanje enostavno za uporabo, zmožno izračuna količin in kakovosti, ter dovoli načrtovalcem razumeti vpliv spremenljivih virov na mejnike in datume zaključka.
- **Nadzor**; v tretji fazi projektni vodja primerja dejanski napredek z načrtovanim in na podlagi opažanj posodablja terminski plan. Pomembno je, da je orodje za načrtovanje enostavno za uporabo in, da zagotavlja jasno razumevanje zamud in sprememb.

Z optimalnim načrtovanjem, povezovanjem virov in izvedbo ter nadzorom povečamo verjetnost, da bo celoten projekt končan v roku, z dobičkom in z ustrežno kvaliteto.

Naj omenim še nekaj tehnik planiranja, ki so najbolj uporabljene v gradbeništvu:

- Mrežno planiranje (metodi CPM - critical path method in PERT - Programme Evaluation Review Technique, ki jo uporabljamo za načrtovanje zapletenih projektov in načrtovanje rafinerij)
- Gantogram (uporablja ga programsko orodje MS Project)
- Linije ravnovesja prilagojene za gradnjo s ponavljajočimi se dejavnostmi (LOB - line of balance)
- Linearno planiranje (LSM - linear scheduling method)

2.1.1 Razvoj linearnega planiranja

V šestdesetih letih se je na področju gradnje razvilo ogromno tehnik planiranja. Tehnika mrežnega planiranja je zaradi vgrajene metode kritične poti (CPM) ter zaradi enostavnosti in učinkovitosti izstopala pred ostalimi tehnikami planiranja. Do danes je bila deležna razvoja in spremembam, kar jo uvršča med najmogočnejša planerska orodja. Nič ni popolno in tudi CPM ima pomanjkljivosti. Raziskave so pokazale, da je pri planiranju gradnje longitudinalnih objektov (ceste, cevovodi, železnice, predori, ponavljajoča se nadstropja v visokih zgradbah,...) CPM neučinkovita. Že s koncem 70-ih let prejšnjega stoletja je bila v uporabi t.i. tehnika linearnega planiranja (v našem prostoru imenovana »ortogonalno« planiranje), ki je uporabljala za prikaz ortogonalni sistem z lokacijo in časom, vendar ni bila metodološko podprta (določitev kritične poti) kot npr. tehnika mrežnega planiranja. Služila je predvsem kot enostaven in pregleden grafični prikaz terminskega plana. Tehnika se je uporabljala skupaj s tehniko mrežnega planiranja, kar da vedeti, da LSM ves ta čas ni bila samostojna. Šele leta 1995, ko Harmelink predstavi metodologijo za določitev »kontrolne poti« (Controlling path) v linearnih planih, postane LSM povsem neodvisna od CPM. V okviru svoje metode je razvil algoritem, ki identificira kontrolne dejavnosti in kontrolno pot dejavnosti znotraj linearnega plana. Pri tem upošteva medsebojni časovni in lokacijski zamik med izvajanjem dejavnosti.

2.1.2 Primerjava LSM in CPM

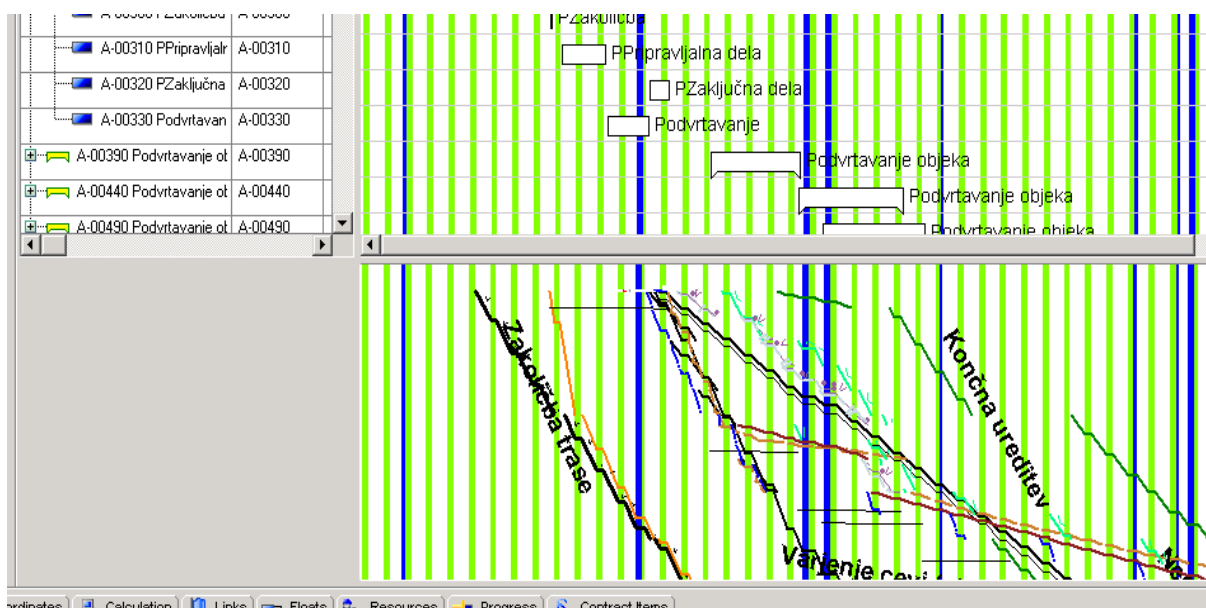
2.1.2.1 Ločeni in prekinjeni projekti

Pri ločenih in prekinjenih projektih (npr. načrtovanje gradnje betonskega mostu) se izkaže, da ima prednost CPM metoda. Pri gradnji takih projektov se lahko opravlja na isti lokaciji ob istem času več aktivnosti. Po LSM taka prekrivanja niso sprejemljiva, saj predstavljajo konflikt aktivnosti. Prednost LSM je v tem, da kljub križanju aktivnosti, ponuja vizualni prikaz zaporedja v katerem se bodo aktivnosti izvedle. Prednost se kaže tudi v tem, da je iz plana razvidna točna lokacija dejavnosti v nekem času. Nekatere dejavnosti so take, da zasedajo določeno količino prostora za določen čas. To pomeni, da dejavnosti niso povezane, kar zmanjšuje prednosti LSM. Iz obeh metod lahko identificiramo dejavnosti, ki vplivajo na spremembo datuma zaključka projekta.

2.1.2.2 Načrtovanje linijskega objekta

Z vidika načrtovanja in analize linearnega projekta predstavlja LSM natančno prostorsko - časovno razmerje za projekt. Če želimo primerjati LSM in CPM, moramo pri CPM vse dejavnosti, ki v projektu nastopajo, razdeliti na odseke. Mreža zaradi kaskadnega učinka dejavnosti in kompleksnih razmerij (SS – Start to start, FF – Finish to finish, FS – Finish to start, SF – Start to finish) postane zapletena.

Pri planiranju upravljanja z viri je zelo priročen gantogram. Uporablja ga tako CPM kot tudi LSM. Pri CPM ga je zaradi razumevanja potrebno uporabiti skupaj z mrežnim planom. LSM združuje gantogram s terminskim planom, ki pomaga vizualizirati uporabo virov na časovno enoto, skupaj s terminskim planom dejavnosti.

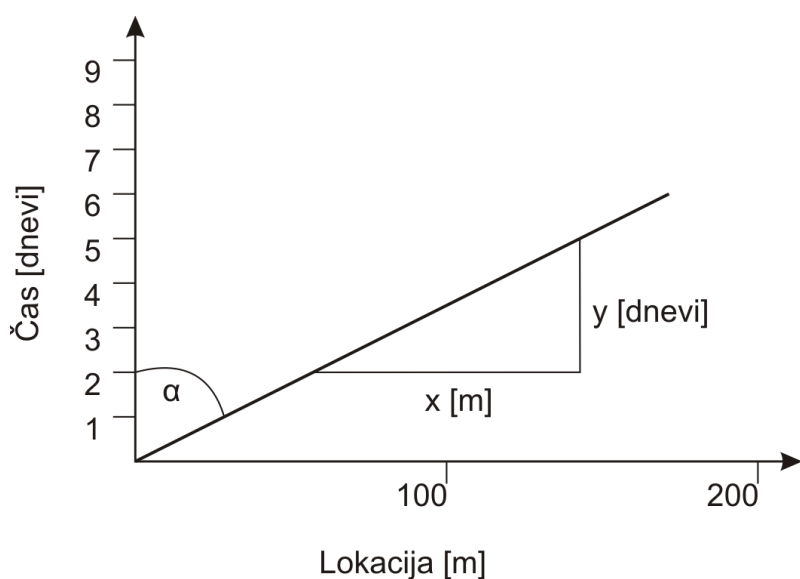


Slika 1: Gantogram z linearnim terminskim planom

Če se osredotočimo na preusmeritev virov, ugotovimo, da sta obe metodi omejeni. Prednost se kaže v metodi CPM, saj omogoča večkratno razporejanje virov. Poleg tega je bila zaradi množične uporabe deležna razvoja in prilagoditvam kot so izravnalne metode in algoritmi.

Glede sledenja in posodabljanja napredka projekta, ni med CPM in LSM bistvenih razlik. Čeprav terminski plan LSM ponuja dobro vizualno predstavo v primerjavi izhodiščnega in dejanskega plana, ni dodatne koristi z uporabo LSM.

Na trajanje projekta vplivajo potrebni viri in stopnja produktivnosti. Pri LSM stopnjo produktivnosti predstavlja naklon linije, ki predstavlja dejavnost.



Slika 2: Shematični prikaz stopnje produktivnosti

Sprememba naklona lahko vpliva na kontrolno pot in posledično na trajanje projekta. Iz terminskega LSM plana je med dejavnostmi lepo razvidna razporeditev prostor – čas, ki pa je pri CPM ni mogoče enostavno določiti. Prednost LSM je tudi v tem, da omogoča spremembe začetka in konca časa aktivnosti ter produktivnosti na načine, ki zagotavljajo kontinuiteto dejavnosti.

Za primerjanje izhodiščnega terminskega plana in dejanskega napredka je pri LSM potrebna le informacija o lokaciji dejavnosti v posodobljenem času. Pri CPM je nekoliko težje, ker je potrebno dobiti podatek o odstotku dovršitve vsake dejavnosti. Po opravljenih posodobitvah postane CPM težko berljiva medtem, ko se LSM s to težavo ne sooča.

Poleg že omenjenih razlik med metodama, bi rad izpostavil še nekaj pomembnih ugotovitev pri njuni primerjavi:

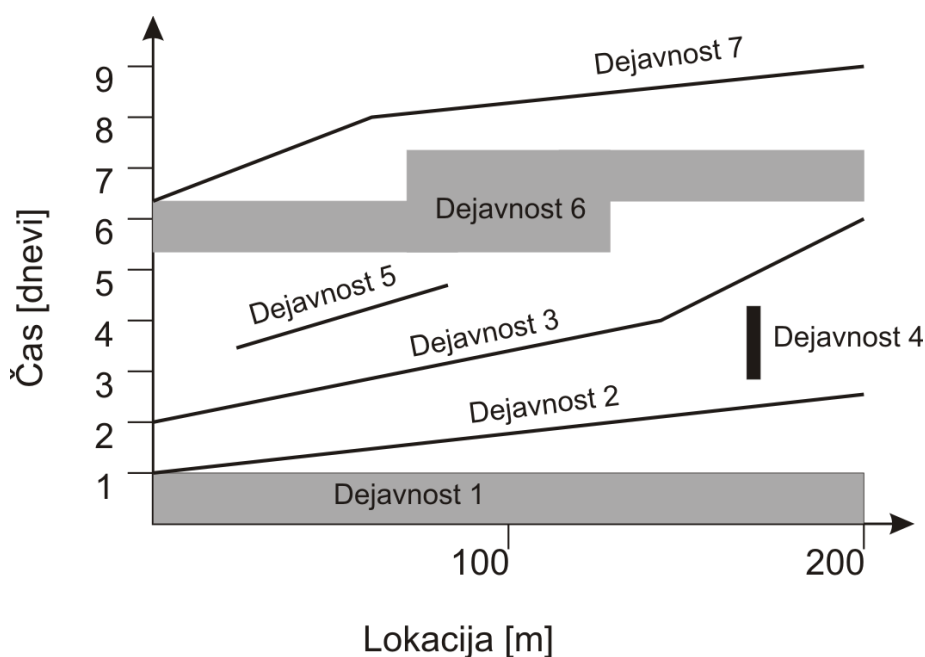
- LSM manjka nekaj zmogljivosti za upravljanje z viri. Tehnike linearnega planiranja obstajajo dolgo, vendar te ne nudijo močne analitične sposobnosti. Rešitev za ta problem nudi LSM. Na drugi strani je CPM dobro razvita na področju razporeditve in izravnave virov, katerih koristnost se kaže predvsem pri planiranju nelinearnih projektov. Tehnike razporejanja in izravnave virov omogočajo zmanjšanje stroškov in časa trajanja projekta.

- CPM je bolj primerna, ko se prostorsko – časovna razmerja pojavijo v različnih razsežnostih, ki ne morejo biti predstavljena v dvodimenzionalni obliki.
- Ne obstaja način, ki bi vključeval spreminjajočo proizvodnjo in trajanje neposredno v terminskem planu LSM.
- Pri CPM je mogoče s statističnimi funkcijami določiti tveganje. Metode, ki bi to pri LSM omogočala, zaenkrat še ni razvite.
- CPM omogoča vodji projekta natančen izračun potrebnega časa za dokončanje projekta. Težko pa je natančno določiti in predstaviti omejitve prostora. Z LSM je izračun kraja in časa enostaven, kar je, ko govorimo o načrtovanju linearnih projektov, največja prednost pred CPM.
- Izračun kritične poti je pri CPM enostaven. Algoritem LSM izračuna kontrolno pot, ki je enaka kritični poti z dodatno značilnostjo kritične lokacije.
- Razvoj računalništva je metodi CPM omogočil prednost pri načrtovanju kompleksnih projektov. V zadnjih letih ta prednost pred LSM blede, saj je z razvojem sodobnega računalništva dan poudarek tudi tej, do sedaj slabo razviti veji načrtovanja. Eno najboljših programskih orodij linearnega planiranja je Tilos, ki ga bom v nadaljevanju podrobneje opisal.

3 TEHNIKA LINEARNEGA PLANIRANJA

Gradnja linearnih objektov predstavlja operacije, ki se ponavljajo na različnih lokacijah. V to vrsto gradnje spadajo avtoceste, predori, cevovodi in visoke zgradbe. Pri gradnji omenjenih objektov je zelo pomembno, da istočasno ne pride do dveh ali več aktivnosti na isti lokaciji, kar bi v nasprotnem povzročilo zamude in dodatne stroške. Pri planiranju gradnje avtocest, predorov in cevovodov se poslužujemo metode linearnega planiranja, medtem, ko za planiranje visokih stavb (ponavljajoče se mreže) uporabljamo metodo LOB.

V kolikor želimo gradnjo omenjenih objektov načrtovati s pomočjo CPM metode, moramo linearne aktivnosti razdeliti v diskretne segmente, ker je to edini način, da jih razvrstimo v mrežo CPM. Poudariti moramo, da je ta tehnika kompleksna ter težka za uporabo in razumevanje.



Slika 3: Prikaz linearnega plana

Iz slike 3 lahko vidimo, da je terminski plan LSM na abscisi definiran z dolžinsko količino, ki predstavlja lokacijo, ter ordinato, definirano s časovno količino. V delovni prostor vnesemo dejavnosti. Pri planiranju ima pomembno vlogo določitev kontrolne poti dejavnosti.

3.1 Tipi dejavnosti

Obstajajo trije tipi dejavnosti, ki nastopajo v linearnem planiranju:

- Linearna
- Blokovna
- Drogovna

Linearne in blokovne dejavnosti lahko potekajo po celotni dolžini ali pa le na določenih lokacijah. Ti dve lastnosti razdelita omenjeni aktivnosti v šest skupin:

- Linearne, časovno neprekinjene dejavnosti, ki potekajo po celotni dolžini (CFL)
- Linearne, časovno prekinjene dejavnosti, ki potekajo po celotni dolžini (IFL)
- Linearne, časovno neprekinjene dejavnosti, ki potekajo le na določenih lokacijah (CPL)
- Linearne, časovno prekinjene dejavnosti, ki potekajo le na določenih lokacijah (IPL)
- Blokovne dejavnosti, ki potekajo po celotni dolžini (FB)
- Blokovne dejavnosti, ki potekajo le na določenih lokacijah (PB)

3.2 Kontrolna pot dejavnosti po Harmelinku

Kontrolna pot dejavnosti v linearnem planu je neprekinjena skozi projekt in določa zaporedje dejavnosti (oziroma njihovih segmentov) z najdaljšim trajanjem. Podobna je kritični poti v CPM dejavnostni mreži. Algoritem LSM plana določa kateri deli dejavnosti so kontrolni.

Postopek za določanje kontrolnih poti dejavnosti je sestavljen iz treh faz:

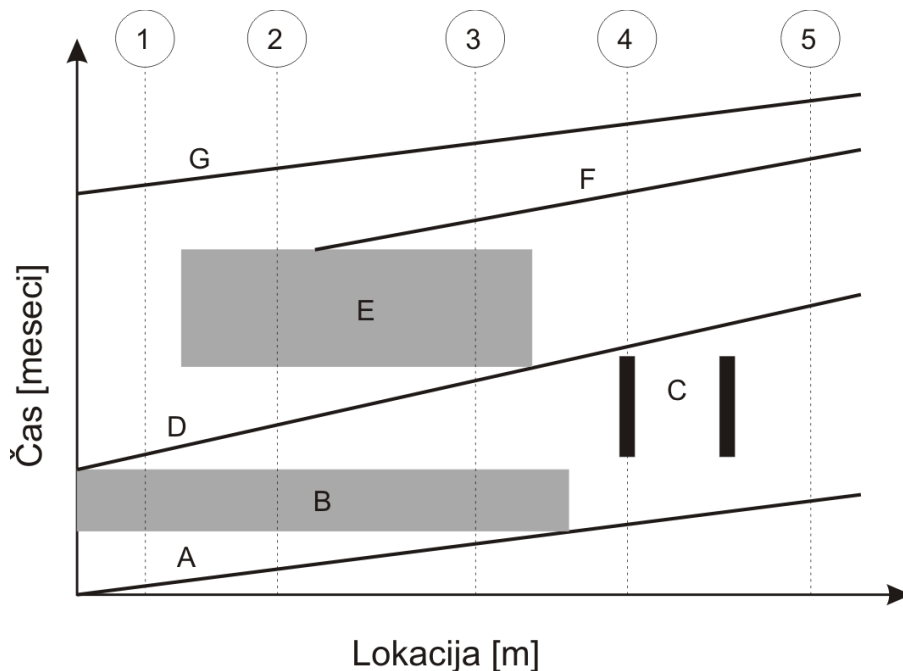
1. Določitev seznama zaporedja dejavnosti
2. Izvedba računa navzgor, od začetka do konca projekta (podobno kot pri CPM preračun naprej)
3. Izvedba računa navzdol, od konca do začetka projekta (podobno kot pri CPM preračun nazaj)

3.2.1 Seznam zaporedja dejavnosti

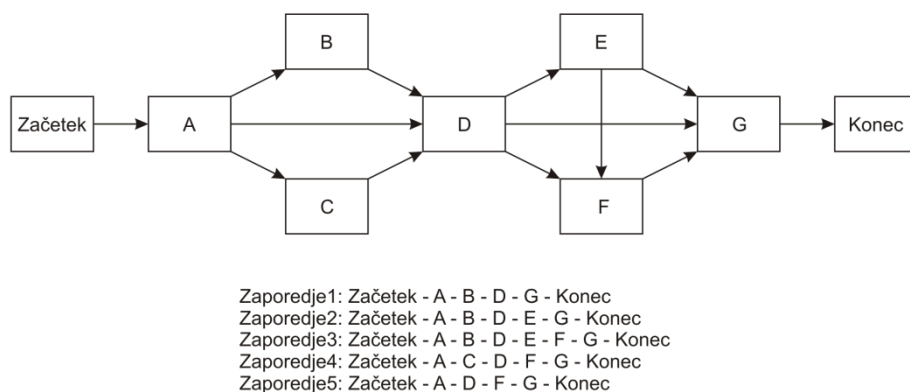
Seznam zaporedja dejavnosti določa vsa možna logična zaporedja dejavnosti v linearnem planu. Zaporedje dejavnosti z najdaljšim trajanjem vsebuje vse dejavnosti na kontrolni poti.

Ta faza za določitev kontrolne poti dejavnosti ni obvezna, je pa vsekakor pomembna za razumevanje računalniških algoritmov pri določanju kontrolne poti dejavnosti.

Seznam zaporedja dejavnosti mora definirati zaporedje dejavnosti skozi celoten plan, neglede na njihovo lego v njem. Spodnja slika prikazuje, s prekinjenimi vertikalami, pet možnih zaporedij dejavnosti.



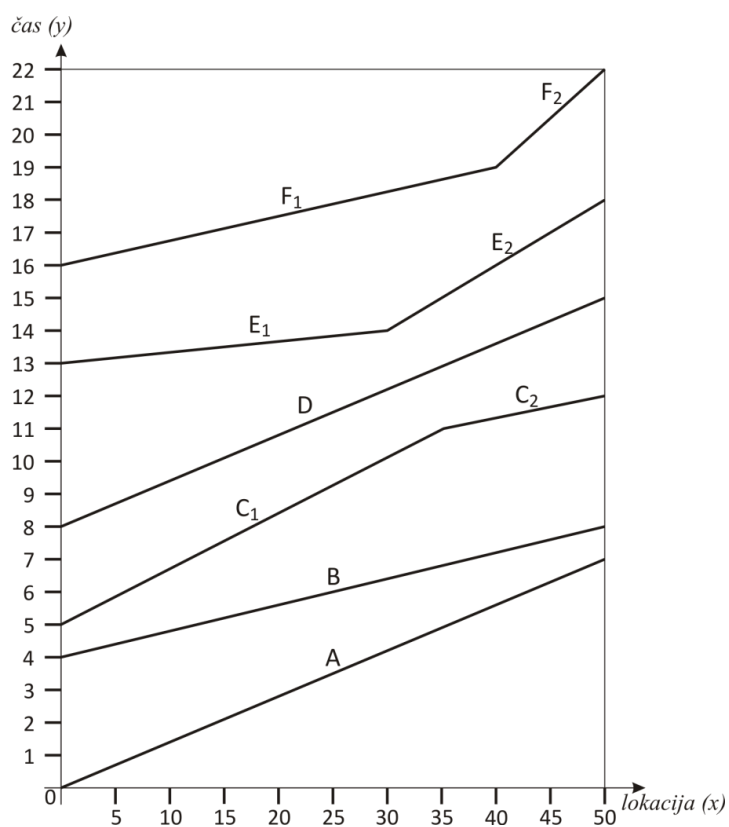
Slika 4: Prikaz poenostavljenega primera tipičnega linearnega plana avtocestne gradnje



Slika 5: Prikaz logičnega zaporedja aktivnosti za projekt avtocestne gradnje

V terminskem planu se pojavljajo tri (A, D, G) linearne, časovno neprekinjene dejavnosti, ki potekajo po celotni dolžini (CFL). Za neprekinjene dejavnosti smatramo tudi predviden začetek in konec projekta, ki sta prostorski in časovni točki. Za dejavnosti začetek, A, D, G in konec velja, da zanje obstaja le ena logična zaporedna pot. Vmes se med CFL pojavljajo dejavnosti B, C, E in F, ki niso časovno neprekinjene po celotni dolžini in omogočajo različne kombinacije zaporedja dejavnosti. Možno zaporedje dejavnosti določimo tako, da poiščemo vsa možna zaporedja dejavnosti glede na lokacijo (v našem primeru jih je pet).

V nadaljevanju bo metoda določitve kontrolne poti predstavljena na primeru prikazanem na sliki 6 in v preglednici 1.



Slika 6: Izhodiščni linearni plan primera za prikaz določanja kontrolne poti

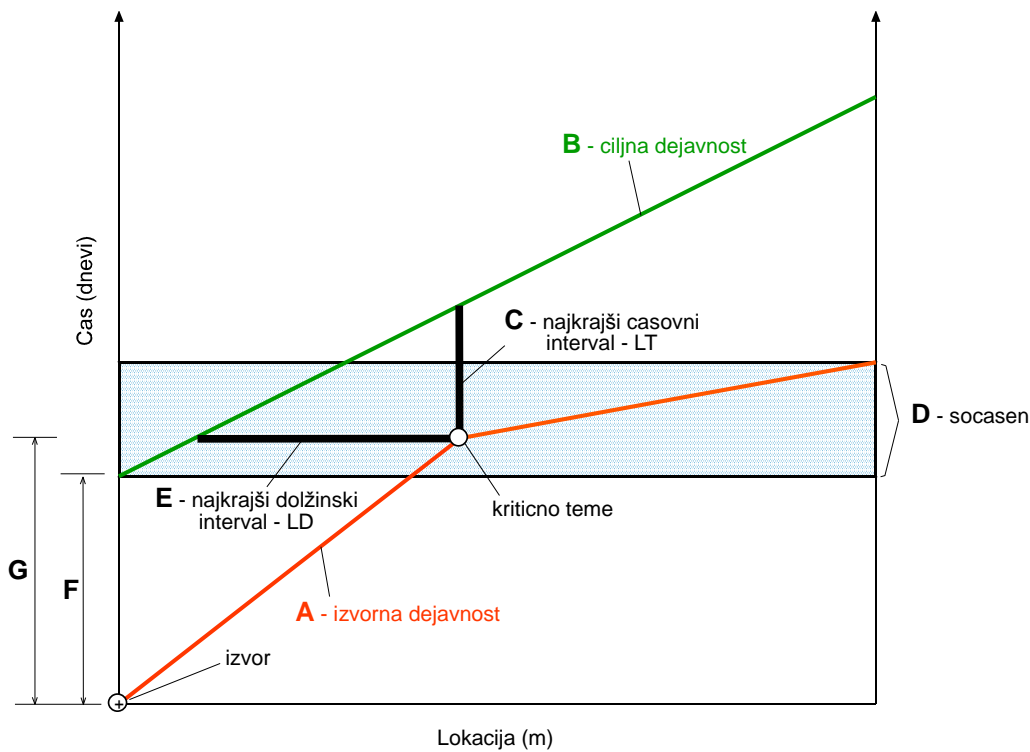
Preglednica 1: Podatki za izračun kontrolne poti

Dejavnost	Naslednik	Segment	Trajanje	Dolžina	Časovni zamik
A	B	A ₁	7	50	1
B	C	B ₁	4	50	1
C	D	C ₁	6	35	1.9
		C ₂	1	15	1.9
D	E	D ₁	7	50	1.8
E	F	E ₁	1	30	3
		E ₂	4	20	3
F	-	F ₁	3	40	-
		F ₂	3	10	-

3.2.2 Račun navzgor

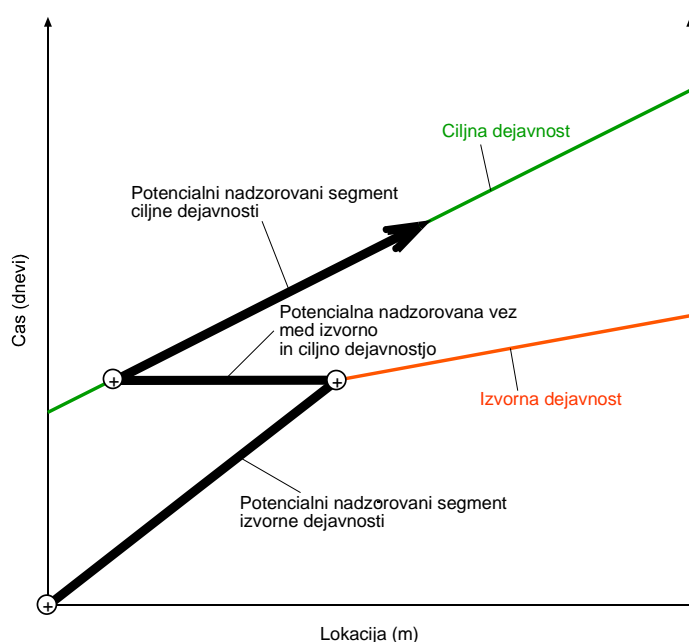
Z računom navzgor določimo potencialne kontrolne segmente dejavnosti. Postopek se prične v začetni točki in nadaljuje navzgor do končne točke projekta. Potrebno je poiskati najkrajši časovni interval med vsakim zaporednim parom linearne, časovno neprekinjene dejavnosti, ki poteka po celotni dolžini. Dejavnost, ki ji se določi potencialni kontrolni segment, se imenuje izvorna dejavnost. Njena najbolj zgodnja točka se imenuje izvor. Naslednja CFL dejavnost se imenuje ciljna dejavnost. Ta na podlagi medsebojnega odnosa priredi izvorni dejavnosti potencialni kontrolni segment. Za določitev medsebojnega odnosa med izvorno in ciljno dejavnostjo je potrebno poznati tri intervale:

- **Najkrajši časovni interval (LT – least time)**; definira časovno distanco med zaporednima dejavnostma in določa njuno najkrajšo časovno razdaljo. Zaporedni dejavnosti sta dejavnosti, ki ju časovno (vertikalno) povežemo in ne sekajo nobene druge dejavnosti. Najkrajši časovni interval se pri linearnih dejavnostih pojavi na začetku, na koncu, na celotni dolžini dejavnosti ali na mestih, kjer pride do spremembe produktivnosti (naklona linije) medtem, ko pri blokovnih dejavnostih nastopa na vogalih in pri drogovnih na koncih dejavnosti.
- **Interval sočasnega poteka**; časovni interval, v katerem zaporedni dejavnosti potekata sočasno.
- **Najkrajši dolžinski interval (LD – least distance)**; najmanjša razdalja med dejavnostma, ki potekata v intervalu sočasnega poteka in seka najkrajši časovni interval.



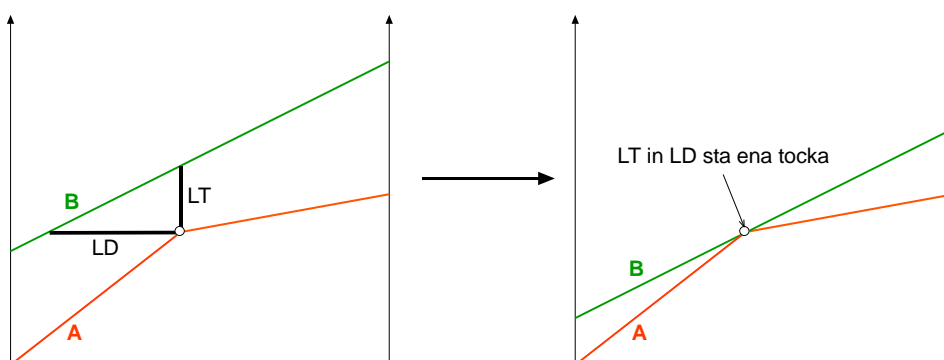
LT, LD in sočasen potek (A. Košorog, V. Babič, Linearno planiranje gradnje plinovoda s programom Tilos, 2009, str. 12)

Pri računu navzgor se izvorno dejavnost vedno obravnava kot prvo na seznamu dejavnosti. Potencialni kontrolni segment vedno poteka od izvorne točke do začetka ciljne dejavnosti. Nekje med začetkom izvorne in koncem ciljne dejavnosti se pojavi horizontalna vez, ki opisuje mesto, kjer sta si dejavnosti najbližji. Imenujemo jo najkrajši dolžinski interval (LD). Ko je LD poznan, lahko s presečiščem slednjega in izvorno dejavnostjo določimo kritično teme. Potencialni kontrolni segment izvorne dejavnosti poteka od izvora do kritičnega temena. LD med dejavnostma pa predstavlja potencialno kontrolno vez med izvorno in ciljno dejavnostjo.

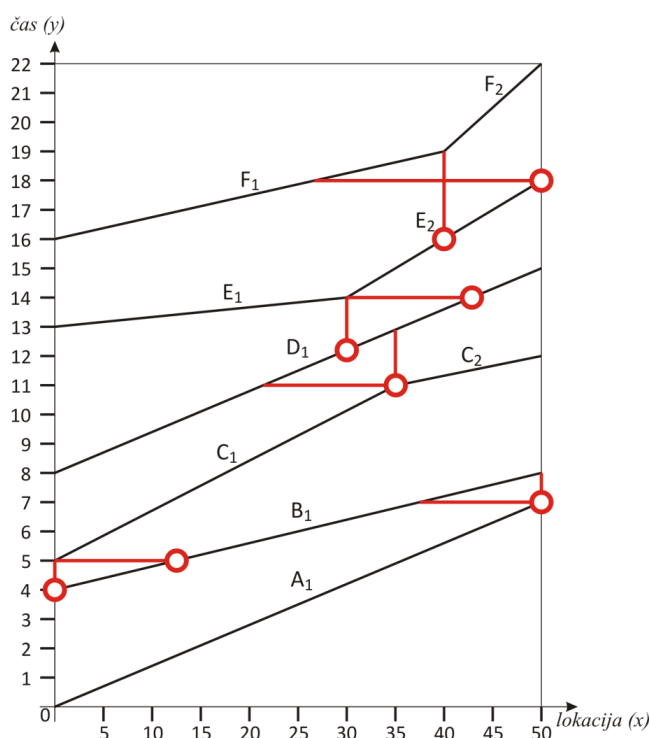


Določanje potencialnega nadzorovanega segmenta – prvi korak (A. Košorog, V. Babič, Linearno planiranje gradnje plinovoda s programom Tilos, 2009, str. 13)

Pri računu navzgor je naslednji korak enak zgoraj opisanemu, pri čemer se prejšnja ciljna dejavnost spremeni v izvorno dejavnost. Postopek ponavljamo dokler ne pridemo do konca projekta.



LT in LD sta lahko ena točka (A. Košorog, V. Babič, Linearno planiranje gradnje plinovoda s programom Tilos, 2009, str. 13)



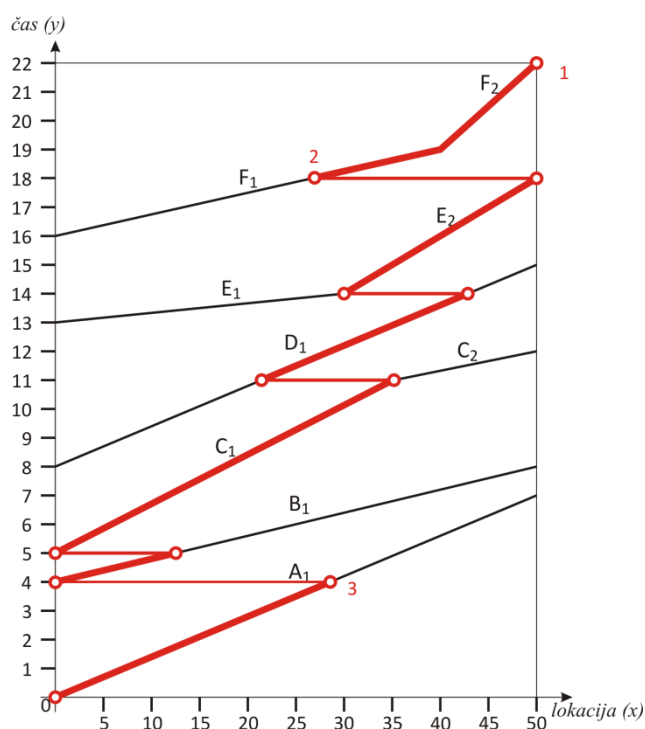
Slika 7: Določitev LT in LD za celoten projekt

3.2.3 Račun navzdol

Z računom navzdol določimo dejansko kontrolno pot ali z drugimi besedami, kateri deli potencialnih kontrolnih segmentov, ki smo jih izračunali z računom navzgor, ležijo na kontrolni poti dejavnosti. Delom aktivnosti, ki ležijo na kontrolni poti, ne smemo spreminjati produktivnosti, ker bi ta spremenila čas trajanja projekta in velja obratno, da tistim segmentom dejavnosti, ki ne ležijo na kontrolni poti, lahko spreminjamo produktivnost, pri čemer ne vplivamo na trajanje projekta. Deli, ki niso na kontrolni poti, imajo rezervne čase.

Postopek pričnemo iz konca zadnje dejavnosti. Tej dejavnosti (dejavnost F – slika 8: Račun navzdol) sledimo po planu navzdol oziroma nazaj po času, dokler ne pridemo do potencialno nadzorovane vezi s sosednjo dejavnostjo (dejavnost E – slika 8: Račun navzdol). S tem je definiran segment kontrolne poti na dejavnosti F. Potencialna kontrolna vez postane kontrolna vez, ki je časovna točka in pokaže kdaj kontrolna pot dejavnosti preide iz ene dejavnosti v drugo. Naslednji korak je enak začetnemu, vendar z razliko, da se pomik navzdol prične v točki, ki predstavlja sečišče kontrolne vezi predhodne dejavnosti ter dejavnosti na kateri iščemo kontrolni segment. Nadaljnji koraki so enaki in postopek ponavljamo do začetka

projekta. Če pri računu pridemo do začetka dejavnosti preden dosežemo potencialno kontrolno vez, uvedemo novo kontrolno vez na začetek dejavnosti (točka 3 – slika 8: Račun navzdol).



Slika 8: Račun navzdol

3.3 Pomičnost nekontrolnega segmenta

Del dejavnosti, ki ni na kontrolni poti, ima stopnjo rezerve ali, če se drugače izrazim, pravimo, da ima neko pomičnost produktivnosti, ki nam pove za koliko lahko spremenimo produktivnost nekontrolnega dela dejavnosti, preden ta postane kontrolni. Za blokovne in drogovne tipe dejavnosti je definicija pomičnosti podobna kot pri metodi CPM.

Praksa kaže, da se predvideni plan razlikuje od dejanske izvedbe. To se zgodi zaradi nepredvidenih zastojev in lahko pride do medsebojnih trkov dejavnosti, kar pa vodi do zamud pri izvajanju projekta. V izogib takim situacijam je potrebno dejavnosti dodati rezervni čas.

Lokacija nekontrolnih segmentov linearnih dejavnosti je odvisna od kontrolnih segmentov. Lahko se pojavijo pred-, za-, ali pred- in za- kontrolnim segmentom. Obstajajo tudi primeri,

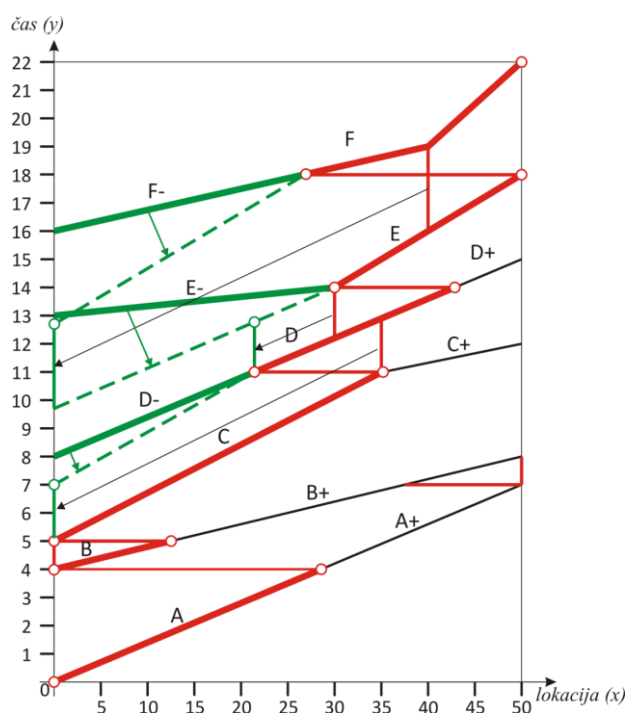
ko nastopa le kontrolni segment ali samo nekontrolni segment, samo vodilni nekontrolni in kontrolni segment ali samo vodilni kontrolni in nekontrolni segment.

Obstaja dogovor, ki pravi, da neko linearno dejavnost A razdelimo na:

- **A-** in **A**, če se nekontrolni del dejavnosti pojavi pred kontrolnim,
- **A** in **A+**, če se nekontrolni del dejavnosti nahaja za kontrolnim,
- **A-**, **A** in **A+**, če se nekontrolni segment dejavnosti nahaja pred- in za- kontrolnim delom.

3.3.1 Začetni nekontrolni segmenti

Na sliki 9 lahko opazimo, da se pojavijo tri dejavnosti D, E, F, ki imajo na začetku nekontrolni segment D-, E-, F-, kateremu sledi kontrolni del dejavnosti. Dejavnost C je zadnja v sklopu aktivnosti, ki imajo na začetku kontrolni del, zato jo označimo za mejno dejavnost. Zadnja dejavnost, ki se pojavi na terminskem planu in ima začetni del nekontrolni, je dejavnost F. Ta definira konec skupine, ki ima začetni nekontrolni segment. V primeru, da bi obstajala dejavnost, ki ne bi imela začetnega nekontrolnega dela in bi bila locirana za dejavnostjo F (časovno gledano), bi slednjo označili kot zgornjo mejo skupine začetnega nekontrolnega segmenta.



Slika 9: Pomičnost produktivnosti v začetnih nekontrolnih dejavnostih

Glavna lastnost nekontrolnega segmenta je, da mu lahko spreminjamo produktivnost oziroma naklon linije v terminskem planu, ne da bi spremenili čas trajanja projekta. Če želimo delati z manjšo produktivnostjo na nekontrolnem delu dejavnosti, je edino možno in logično, da se dejavnost prej začne. Začetek dejavnosti in s tem tudi stopnja produktivnosti pa ni neomejena. Omejuje jo že omenjeni najkrajši časovni interval (LT). Med dejavnostjo D na sliki 9, kateri želimo zmanjšati produktivnost, in njeno predhodno dejavnostjo C, ne sme priti do zmanjšanja najmanjšega časovnega intervala, saj bi v nasprotnem spremenili kontrolno pot dejavnosti.

3.3.1.1 Definicija najnižje stopnje produktivnosti

Analiza pomičnosti produktivnosti na začetku nekontrolnega dela nam pove, kdaj se lahko dejavnost najprej začne in določi najnižjo stopnjo produktivnosti, ki ne vpliva na podaljšanje trajanja projekta. Za razumevanje si pomagajmo s sliko 9 in za primer vzemimo dejavnost D. Predpostavimo, da ima začetna točka dejavnosti D- koordinate (x_1, y_1) in njena končna točka koordinate (x_2, y_2) . Novi začetni točki, ki upošteva LT in ima najzgodnejši začetek, naj pripadajo koordinate (x'_1, y'_1) . Tedaj lahko izračunamo najnižjo stopnjo produktivnosti:

$$\frac{(x_2-x'_1)}{(y_2-y'_1)} = \text{najnižja stopnja produktivnosti} \quad (1)$$

Pri spreminjanju produktivnosti dejavnosti D- je pomembno sledeče razmerje, ki predstavlja pomičnost produktivnosti:

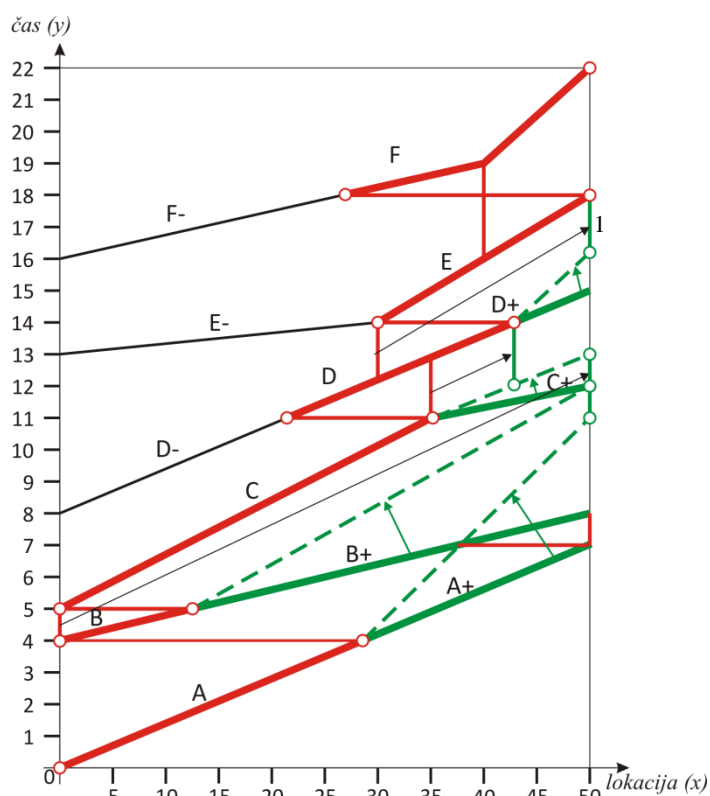
$$\frac{(x_2-x_1)}{(y_2-y_1)} - \frac{(x_2-x'_1)}{(y_2-y'_1)} = \text{pomičnost produktivnosti} \quad (2)$$

Pomičnost produktivnosti nam pove za koliko lahko, upoštevajoč najzgodnejši začetek, zmanjšamo produktivnost nekontrolnega segmenta, glede na planirano stopnjo produktivnosti kontrolnega dela dejavnosti.

Ko imamo določeno najnižjo stopnjo produktivnosti ene dejavnosti, opravimo enak postopek za naslednjo dejavnost, pri čemer moramo biti pozorni na to, da je relevantna nova linija predhodne dejavnosti in časovni interval med dejavnostma ne sme biti manjši od najkrajšega časovnega intervala LT.

3.3.2 Končni nekontrolni segmenti

Dejavnosti A, B, C in D na sliki 10 vsebujejo kontrolni segment, ki mu sledi nekontrolni del A+, B+, C+, D+. Začetek nekontrolnega segmenta je definiran s točko, ki leži na koncu kontrolnega dela. Končna točka nekontrolnega dela pa dopušča pomičnost, kar pomeni, da se dejavnost lahko zaključi nekoliko kasneje kot je planirano, pri tem pa ne vplivamo na čas zaključka projekta. Če uporabimo vso razpoložljivo pomičnost za najbolj zgodnjo dejavnost, imamo za vse naslednje dejavnosti na voljo manj pomičnosti.



Slika 10: Pomičnost produktivnosti v končnih nekontrolnih dejavnostih

3.3.2.1 Definicija najnižje stopnje produktivnosti

Analiza pomičnosti končnih nekontrolnih segmentov dejavnosti nudi informacijo za koliko lahko spremenimo (zmanjšamo) produktivnost nekontrolnim segmentom, da ta sprememba ne vpliva na rok končanja projekta. Postopek pričnemo z zadnjo aktivnostjo v skupini končnih nekontrolnih dejavnosti. V našem primeru začnemo z dejavnostjo D+ (ozirajoč se na sliko 10) in nadaljujemo navzdol do začetka projekta. Najkrajši časovni interval (oznaka 1 - slika 10: Pomičnost produktivnosti v končnih nekontrolnih dejavnostih) med dejavnostma D in E definira najmanjšo razdaljo, ki je potrebna med končnima točkama dejavnosti E in D+, da ne pride do spremembe kontrolne poti celotnega projekta.

Najnižjo možno stopnjo produktivnosti nekontrolnega dela dejavnosti bomo izpeljali tako, da določimo koordinate začetne točke dejavnosti D+ (x_1, y_1) in koordinate končne točke iste dejavnosti (x'_2, y'_2), pri čemer upoštevamo najpoznejši možni čas:

$$\frac{(x'_2 - x_1)}{(y'_2 - y_1)} = \text{najnižja stopnja produktivnosti} \quad (3)$$

Pomičnost produktivnosti je funkcija razlike med planirano stopnjo produktivnosti in najnižjo stopnjo produktivnosti:

$$\frac{(x_2-x_1)}{(y_2-y_1)} - \frac{(x'_2-x_1)}{(y'_2-y_1)} = \text{pomičnost produktivnosti} \quad (4)$$

Lahko se zgodi, da zamudimo začetek končnega nekontrolnega segmenta, vendar bi to povzročilo, da bi segment postal del kontrolne poti. Črtkano označeni segmenti na sliki 10 predstavljajo povsem izkoriščeno pomičnost končnih nekontrolnih dejavnosti. V kolikor bi katerakoli od njih potekala po nižji produktivnosti, bi to pomenilo spremembo trajanja projekta.

3.4 Časovna in lokacijska kritična pot po Lucko-ju

Za potrebe računalniške podpore metodi linearnega planiranja, se lahko uporabi matematični model, ki ga je razvil Gunnar Lucko ter metodo poimenoval »Productivity Scheduling Method« (v nadaljevanju PSM). Metoda predstavlja matematični model linearnega plana, ki temelji na t.i. »singularnostni funkciji« s katero opišemo lokacijsko – časovni potek posameznih dejavnosti in analitičnem algoritmu za določitev kontrolne poti in pomičnosti produktivnosti posameznih segmentov posameznih dejavnosti (analogno CPM metodi, ki omogoča določitev kritične poti in časovne pomičnosti posameznih dejavnosti). Prednosti uporabe singularnostnih funkcij:

- opisujejo pojav prirastka, ki temelji na geometriji
- ločijo pojav različnih naklonov na komponente
- zajemajo kakršnekoli spremembe v poteku časa in količine
- lahko vsebujejo neskončno mnogo segmentov drugačnega obnašanja
- so neprekinjene in njihova vrednost je vedno definirana
- lahko jih spremenimo s poljubnim faktorjem in so neodvisne od enot
- lahko se dodajajo ali odzamejo za enake n (stopnja) in a (zgornja meja)
- lahko jih integriramo ali odvajamo
- lahko jih vrednotimo ročno ali s pomočjo računalniških programov

3.4.1 Definicija singularnostne funkcije

Izhajamo iz enačbe

$$\langle x-a \rangle^n = \begin{cases} 0 & , x < a \\ x-a & , x \geq a \end{cases} \quad (5)$$

kjer je:

- x spremenljivka,
- a zgornja meja trenutnega odseka (segmenta)
- n potenca

Za nadaljnje razvijanje algoritma zgornjo enačbo (5) odvajamo (enačba 6) in integriramo (enačba 7):

$$\frac{d}{dx} \langle x-a \rangle^n = n \langle x-a \rangle^{n-1} \quad (6)$$

$$\int \langle x-a \rangle^n dx = \frac{1}{n+1} \langle x-a \rangle^{n+1} + C \quad (7)$$

kjer je:

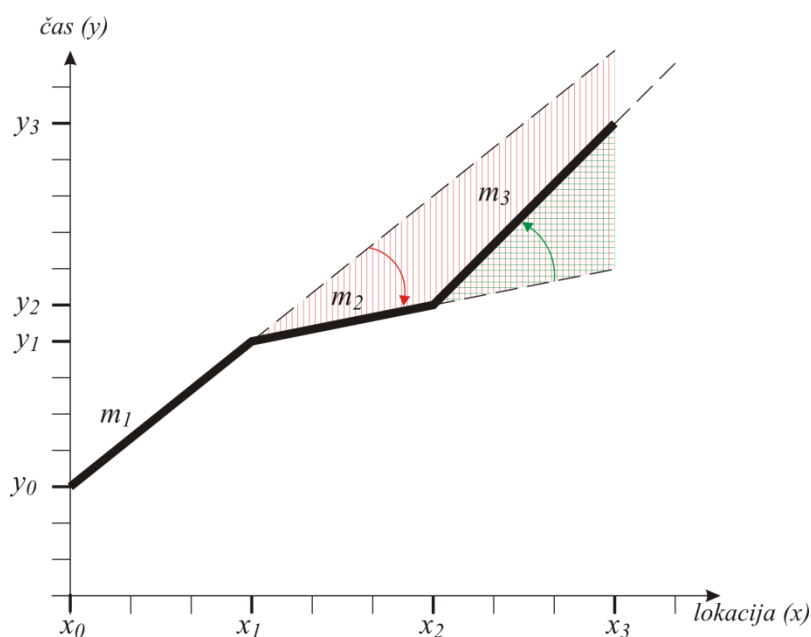
- C konstanta

Singularnostna funkcija za zapis časovnega poteka dejavnosti glede na lokacijo:

$$y(x) = y_0 \langle x-0 \rangle^0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \langle x-0 \rangle^1 + \sum_{k=1}^{m-1} \left[\left(\frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} - \frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} \right) \langle x-x_k \rangle^1 \right] \quad (8)$$

kjer je:

- x spremenljivka, ki predstavlja lokacijo izvajanja dejavnosti
- y čas kot funkcija produktivnosti in lokacije
- m število segmentov (odsekov) z različnim naklonom napredovanja del
- x_i zgornja meja (konec odseka) segmenta i
- y_i čas dokončanja dejavnosti na segmentu (odseku) i
- $\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}$ produktivnost na segmentu (odseku) i



Slika 11: Osnovni model singularnostne funkcije

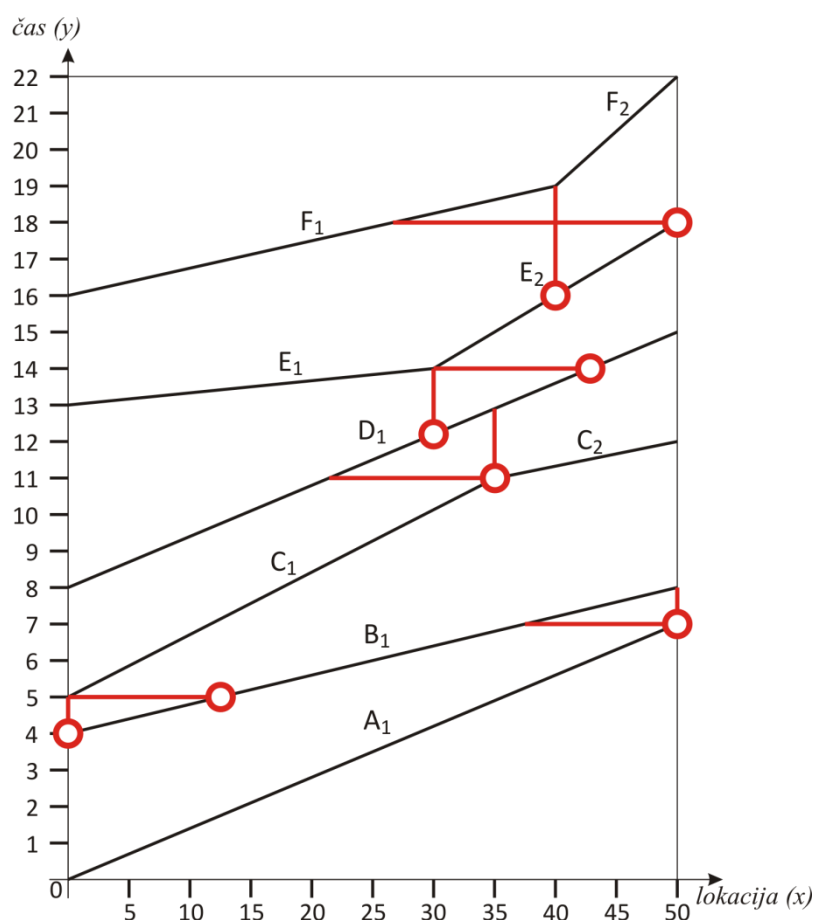
Desna stran enačbe (8) (znotraj sume) povezuje različne naklone dejavnosti (slika 11: Osnovni model singularnostne funkcije).

3.4.2 Algoritem po korakih

3.4.2.1 Korak 1: Podatki o poteku, zaporedju in medsebojnih odvisnosti med dejavnostmi

V linearnem planu je dejavnost predstavljena z daljico od začetne do končne lokacije izvajanja dejavnosti. Productivity scheduling model (PSM) preko produktivnosti izraža povezavo med lokacijo in časom, ki je odvisna spremenljivka. Naklon daljice predstavlja inverzno vrednost produktivnosti (P), ki je v gradbeništvo opredeljena kot normativ - N ($N=1/P$). Seveda ta normativ ne smemo smatrati dobesedno kot normativ za izvedbo dejavnosti, temveč v lokacijskem pomenu – čas, potreben za napredovanje dejavnosti za enoto mere dolžine (npr. pri izkopu uporabljamo isto izkopno mehanizacijo in lahko predpostavimo, da je dnevna količina izkopane zemljine konstantna, vendar pa se z lokacijo spreminja prečni profil izkopa in s tem tudi količina na enoto mere dolžine, kar vpliva na čas – naklon napredovanja del).

Za linearne plane je značilno, da se posamezne dejavnosti ne izvajajo hkrati na isti lokaciji, torej jih lahko lokacijsko smatramo kot zaporedne, čeprav se dejansko izvajajo sočasno na projektu. Dve zaporedni dejavnosti sta medsebojno povezani z lokacijskim - ΔS_{ij}^l in/ali časovnim zamikom - ΔS_{ij}^t . Za prikaz metode je uporabljen hipotetičen primer 6-ih dejavnosti (slika 12).



Slika 12: Osnovni plan z minimalnimi časovnimi in lokacijskimi zamiki

3.4.2.1.1 Izhodiščni podatki o dejavnostih na projektu

Projekt se izvaja na lokaciji dolžine 50 enot (npr. 5000 m). Sestavlja ga 6 zaporednih dejavnosti – A, B, C, D, E in F. Vse dejavnosti so linearne, neprekinjene in potekajo čez celotno lokacijo. Dejavnosti C, E in F so sestavljene iz dveh segmentov, ki predstavljata

različne stopnje produktivnosti. Podatki o trajanju dejavnosti in minimalnih časovnih ΔT_{ij}^{\min} in lokacijskih ΔL_{ij}^{\min} zamikov med njimi so podani v preglednici 2.

Preglednica 2: Podatki o dejavnostih in minimalnem medsebojnem zamiku

Dej. (a_i)	Seg.	Trajanje (d_i)	Dolžina (L_i)	Pred.	Nas.	Min čas.zamik		Min lokac. zamik	
						Kt	ΔT_{ij}^{\min}	Kt	ΔL_{ij}^{\min}
A	A ₁	7	50	-	B	50,00	1,0	50,00	$\frac{50}{4} = 12,5$
B	B ₁	4	50	A	C	0,00	1,0	12,50	$\frac{50}{4} = 12,5$
C	C ₁	6	35	B	D	35,00	1,9	35,00	$\frac{95}{7} \approx 13,57$
	C ₂	1	15						
D	D ₁	7	50	C	E	30,00	1,8	42,86	$\frac{9 \cdot 0}{7} \approx 12,68$
E	E ₁	1	30	D	F	40,00	3,0	50,00	$\frac{70}{3} \approx 23,33$
	E ₂	4	20						
F	F ₁	3	40	E	-				
	F ₂	3	10						

3.4.2.2 Korak 2: Začetne enačbe dejavnosti in zamikov

3.4.2.2.1 Časovni zamik

V izhodiščni postavitvi poteka dejavnosti, z vidika časovnega zamika, predpostavimo, da so vse dejavnosti, z upoštevanjem minimalnega dopustnega časovnega zamika ΔT_{ij}^{\min} (Preglednica 2: Podatki o dejavnostih in minimalnem medsebojnem zamiku), na celotnem poteku projekta. Tako se posamezna dejavnost a_j lahko prične po zaključku predhodne in preteku minimalnega časovnega zamika: $S_j = F_i + \Delta T_{ij}^{\min}$. Tak potek nam zagotovi, da nikjer ne bo kršeno pravilo minimalnega časovnega zamika in lahko imenujemo potek z izhodiščnim časovnim zamikom $a_i^{\Delta T^0}$. Z uporabo singularnostne funkcije lahko zapišemo časovno – lokacijski potek dejavnosti $a_i^{\Delta T^0}(x)$:

Preglednica 3: Izhodiščna razporeditev dejavnosti – maksimalni časovni zamiki

a_i	S_i	$a_i^{\Delta T^0}(x)$	F_i	Linearni plan
$a_A^{\Delta T^0}(x)$	0,0	$= 0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	7,0	
$a_B^{\Delta T^0}(x)$	$7,0+1,0$ =8,0	$= 8 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	12,0	
$a_C^{\Delta T^0}(x)$	$12,0+1,0$ =13,0	$= 13 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{6}{35} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{6}{35} - \frac{1}{15} \right) \times \langle x-35 \rangle^1$	20,0	
$a_D^{\Delta T^0}(x)$	$20,0+1,9$ =21,9	$= 21,9 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	28,9	
$a_E^{\Delta T^0}(x)$	$28,9+1,8$ =30,7	$= 30,7 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{1}{30} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{1}{30} - \frac{4}{20} \right) \times \langle x-30 \rangle^1$	35,7	
$a_F^{\Delta T^0}(x)$	$35,7+3,0$ =38,7	$= 38,7 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{3}{40} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{3}{40} - \frac{3}{10} \right) \times \langle x-40 \rangle^1$	44,7	

Z razliko enačb dejavnosti $a_j^{\Delta T^0}(x)$ in njene predhodne dejavnosti $a_i^{\Delta T^0}(x)$, zmanjšano za minimalni časovni zamik med dejavnostma, dobimo enačbo (9) za potek izhodiščnega časovnega zamika med dejavnostma $\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)$ (Preglednica 4: Singularnostne funkcije časovnih zamikov med zaporednimi dejavnostmi).

$$\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x) = a_j^{\Delta T^0}(x) - a_i^{\Delta T^0}(x) + \Delta T_{ij}^{\min} \quad (9)$$

Primer: časovni zamik med dejavnostma A in B

$$\begin{aligned} \Delta t_{AB}^{\Delta T^0}(x) &= a_B^{\Delta T^0}(x) - a_A^{\Delta T^0}(x) = \left(8 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 \right) - \left(0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 + 1 \right) = \\ &= (8-1) \times \langle x-0 \rangle^0 + \left(\frac{4}{50} - \frac{7}{50} \right) \times \langle x-0 \rangle^1 = 7 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{3}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 \end{aligned}$$


Preglednica 4: Singularnostne funkcije časovnih zamikov med zaporednimi dejavnostmi

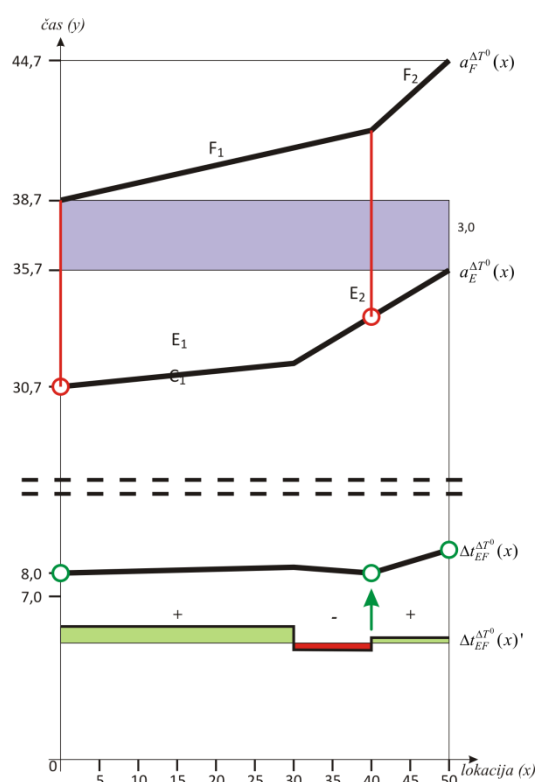
	Singularnostna funkcija izhodiščnih časovnih zamikov $\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)$	Časovni zamik	
		Potencialne kritične točke(x)	$\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)$
$\Delta t_{AB}^{\Delta T^0}(x)$	$= 7 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{3}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	0,00 50,00	7,00 4,00
$\Delta t_{BC}^{\Delta T^0}(x)$	$= 4 \times \langle x-0 \rangle^0 + \left(\frac{32}{350}\right) \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{11}{105} \times \langle x-35 \rangle^1$	0,00 50,00	4,00 7,00
$\Delta t_{CD}^{\Delta T^0}(x)$	$= 7,0 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{11}{350} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{11}{105} \times \langle x-35 \rangle^1$	0,00 35,00 50,00	7,00 5,90 7,00
$\Delta t_{DE}^{\Delta T^0}(x)$	$= 7,0 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{16}{150} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{1}{6} \times \langle x-30 \rangle^1$	0,00 30,00 50,00	7,00 3,80 6,80
$\Delta t_{EF}^{\Delta T^0}(x)$	$= 5,0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{5}{120} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{1}{6} \times \langle x-30 \rangle^1 + \frac{9}{40} \times \langle x-40 \rangle^1$	0,00 40,00 50,00	5,00 5,00 6,00

Na intervalu celotnega odseka $[0, x_{max}]$ projekta poiščemo t.i. kritične točke, kjer je časovni zamik med izvajanjem dveh zaporednih dejavnosti minimalen. Te točke so potencialno lahko na začetku ($x=0$) ali na koncu intervala ($x=x_{max}$), ali pa v konkavnih singularnih točkah funkcije časovnih zamikov $\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)$, kjer vrednost njenega odvoda $\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)'$ preide iz negativne v pozitivno vrednost (Preglednica 4: Singularnostne funkcije časovnih zamikov med zaporednimi dejavnostmi).

Primer: Potencialne točke za minimalni časovni zamik med $a_E^{\Delta T^0}(x)$ in $a_F^{\Delta T^0}(x)$ (slika 13: Določitev potencialnih kritičnih točk – minimalni časovni zamik)

$$\text{Odvod: } \Delta t_{EF}^{\Delta T^0}(x)' = \frac{5}{120} \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{1}{6} \times \langle x-30 \rangle^0 + \frac{9}{40} \times \langle x-40 \rangle^0$$

Vrednosti odvoda na intervalih:	x	interval	$\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)'$	pot.točka
		0,00	0,00-40,00	+0,041
	30,00			
	40,00	40,00-50,00	+0,100	
	50,00			



Slika 13: Določitev potencialnih kritičnih točk – minimalni časovni zamik

Vrednosti časovnih zamikov v potencialnih kritičnih točkah:	x	$\Delta t_{ij}^{\Delta T^0}(x)$	kr. točka
začetek intervala	0,00	5,00	⚡
sprememba vrednosti odvoda iz – v +	40,00	5,00	⚡
konec intervala	50,00	6,00	

3.4.2.2.2 Lokacijski zamik

Lokacijski zamiki delujejo v horizontalni smeri. Prvotna postavitev dejavnosti je, z vidika lokacijskega zamika, z maksimalnim možnim lokacijskim zamikom (enak je celotni lokaciji – npr. 50 enot). Tako se posamezna dejavnost a_j lahko prične po zaključku predhodne a_i : $S_j = F_i$. Tak potek nam zagotovi, da nikjer ne bo kršeno pravilo minimalnega lokacijskega zamika in lahko imenujemo potek z izhodiščnim lokacijskim zamikom $a_i^{\Delta L^0}$. Z uporabo singularnostne funkcije lahko zapišemo časovno – lokacijski potek dejavnosti $a_i^{\Delta L^0}(x)$:

Preglednica 5: Izhodiščna razporeditev dejavnosti - maksimalni lokacijski zamiki

	S_i	$a_i^{\Delta L^0}(x)$	F_i	Linearni plan
$a_A^{\Delta L^0}(x)$	0,0	$= 0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	7,0	
$a_B^{\Delta L^0}(x)$	7,0	$= 7 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	11,0	
$a_C^{\Delta L^0}(x)$	11,0	$= 11 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{6}{35} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{6}{35} - \frac{1}{15} \right) \times \langle x-35 \rangle^1$	18,0	
$a_D^{\Delta L^0}(x)$	18,0	$= 18,0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	25,0	
$a_E^{\Delta L^0}(x)$	25,0	$= 25,0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{1}{30} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{1}{30} - \frac{4}{20} \right) \times \langle x-30 \rangle^1$	30,0	
$a_F^{\Delta L^0}(x)$	30,0	$= 30,0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{3}{40} \times \langle x-0 \rangle^1 - \left(\frac{3}{40} - \frac{3}{10} \right) \times \langle x-40 \rangle^1$	36,0	

Tako razporejene dejavnosti $a_i^{\Delta L^0}(x)$ zamaknemo za minimalne predpisane lokacijske zamike $-\Delta L_{ij}^{\min}$ in dobimo lokacijske ovojnice dejavnosti $a_i^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$.

Primer: Lokacijska ovojnica dejavnostmi A in B

$$a_A^{\Delta L^0}(x) = 0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$$

$$\Delta L_{AB}^{\min} = \frac{50}{4}$$

$$a_A^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x) = 0 \times \left\langle x - \frac{-50}{4} \right\rangle^0 + \frac{7}{50} \times \left\langle x - \frac{-50}{4} \right\rangle^1 - \frac{7}{50} \times \left\langle x - \left(50 - \frac{-50}{4} \right) \right\rangle^1$$

Z upoštevanjem samo pozitivnih vrednosti x je možna poenostavitev enačb lokacijskih ovojnic.

$$a_i^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(0) = 0 \times \left(0 + \frac{50}{4} \right)^0 + \frac{7}{50} \times \left(0 + \frac{50}{4} \right)^1 = \frac{7}{4} = 1,75$$

$$a_i^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x) = 1,75 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{7}{50} \langle x-37,5 \rangle^1$$

Preglednica 6: Ovojnice minimalnih predpisanih lokacijskih zamikov pri začetni lokacijski razporeditvi dejavnosti

a_i	$a_i^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	Linearni plan
$a_A^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	$= 1,75 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{7}{50} \langle x-37,5 \rangle^1$	
$a_B^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	$= 8,0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{4}{50} \langle x-37,5 \rangle^1$	
$a_C^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	$= \frac{653}{49} \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{6}{35} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{11}{105} \left\langle x - \frac{150}{7} \right\rangle^1 - \frac{1}{15} \left\langle x - \frac{255}{7} \right\rangle^1$	
$a_D^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	$= 19,8 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{7}{50} \left\langle x - \frac{260}{7} \right\rangle^1$	
$a_E^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x)$	$= \frac{232}{9} \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{1}{30} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{1}{6} \left\langle x - \frac{20}{3} \right\rangle^1 - \frac{1}{5} \left\langle x - \frac{80}{3} \right\rangle^1$	

S ciljem iskanja kritičnih točk, kjer se potek dejavnosti časovno najbolj približa lokacijski ovojnici predhodne, določimo enačbe za njun časovni razmik:

$$\Delta t_{ij}^{\Delta L^0}(x) = a_j^{\Delta L^0}(x) - a_i^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x) \quad (10)$$

Primer: časovni zamik med dejavnostjo B in lokacijsko ovojnico dejavnosti A

$$\begin{aligned} \Delta t_{AB}^{\Delta L^0}(x) &= a_B^{\Delta L^0}(x) - a_A^{\Delta L^0 - \Delta L^{\min}}(x) = \\ &= \left(7 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 \right) - \left(1,75 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{7}{50} \times \langle x-37,5 \rangle^1 \right) = \\ &= 5,25 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{3}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{7}{50} \times \langle x-37,5 \rangle^1 \end{aligned}$$

Preglednica 7: Časovni zamiki med začetnimi lokacijskimi razporeditvami in ovojnico minimalnih lokacijskih zamikov

j-i	Singularnostna funkcija časovnih zamikov $\Delta T_{ij}^{\Delta L^0}(x)$	Časovni zamik	
		Poten. (x)	$\Delta T_{ij}^{\Delta L^0}(x)$
$\Delta T_{AB}^{\Delta L^0}(x)$	$= 5,25 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{3}{50} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{7}{50} \langle x-37,5 \rangle^1$	0,00 37,5 50,00	5,25 3,00 4,75
$\Delta T_{BC}^{\Delta L^0}(x)$	$= 3 \times \langle x-0 \rangle^0 + \left(\frac{16}{175}\right) \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{11}{105} \times \langle x-35 \rangle^1 + \frac{4}{50} \times \langle x-37,5 \rangle^1$	0,00 37,50 50,00	3,00 6,17 7,00
$\Delta T_{CD}^{\Delta L^0}(x)$	$= \frac{229}{49} \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{11}{350} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{11}{105} \times \langle x-35 \rangle^1 + \frac{1}{15} \times \left\langle x - \frac{255}{7} \right\rangle^1$	0,00 21,43 50,00	4,67 4,00 7,00
$\Delta T_{DE}^{\Delta L^0}(x)$	$= 5,2 \times \langle x-0 \rangle^0 - \frac{8}{75} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{1}{6} \times \langle x-30 \rangle^1 + \frac{7}{50} \times \left\langle x - \frac{260}{7} \right\rangle^1$	0,00 30,00 50,00	5,20 2,00 5,00
$\Delta T_{EF}^{\Delta L^0}(x)$	$= \frac{38}{9} \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{1}{24} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{1}{6} \times \left\langle x - \frac{20}{3} \right\rangle^1 + \frac{1}{5} \times \left\langle x - \frac{80}{3} \right\rangle^1 + \frac{9}{40} \times \langle x-40 \rangle^1$	0,00 26,67 50,00	4,22 2,00 6,00

3.4.2.3 Korak 3: Določitev minimalnih zamikov izvajanja dejavnosti – zgodnji časi

Paroma povezane razlike so izračunane med časovnim in/ali lokacijskim zamikom vseh predhodnikov in njihovih naslednikov, pri čemer je potrebno upoštevati zaporedje dejavnosti. Če ima dejavnost več predhodnikov, upoštevamo najmanjšo razliko. Če ima dejavnost oba tipa zamikov (časovni in lokacijski), ju je med seboj potrebno razlikovati, da zagotovimo izpolnjenost obeh omejitev. V tem primeru uporabimo tisti zamik, ki prinese maksimalen časovni zamik pri naslednji dejavnosti.

Preglednica 8: Določitev začetkov dejavnosti v končni razporeditvi linearnega plana

a_i	Časovni zamiki			Lokacijski zamiki			Končna postavitev		
	S_i^{AR}	$\Delta_{\min} t_{ij}^{AR^0}$	ΔS_i^{AR}	S_i^{AL}	$\Delta_{\min} t_{ij}^{AL^0}$	ΔS_i^{AL}	S_i	$dej\Delta S_i^{AR}$	$dej\Delta S_i^{AL}$
A	0,0	0	0	0	0	0	0,0	0	0
B	8,0	4,0		7	3		4,0	8-4=4	7-4=3
		4,0	8-4=4		3	7-3=4		13-5=8	11-5=6
C	13,0	5,9		11	4		5,0	13,9	10
		3,8	13-4-4=5		2	11-3-3=5		17,7	12
D	21,9	3,8		18	2		8,0		
		5,0	21,9-5,9-8=8		2	18-4-6=8			
E	30,7	5,0		25	2		13,0		
		5,0	30,7-3,8-13,9=13		2	25-2-10=13			
F	38,7		38,7-5-17,7=16	30		16,0			

Na osnovi tako dobljenih začetkov izvajanja dejavnosti, v zaključni fazi določimo singularnostne funkcije dejavnosti za končni linearni plan (Preglednica 9).

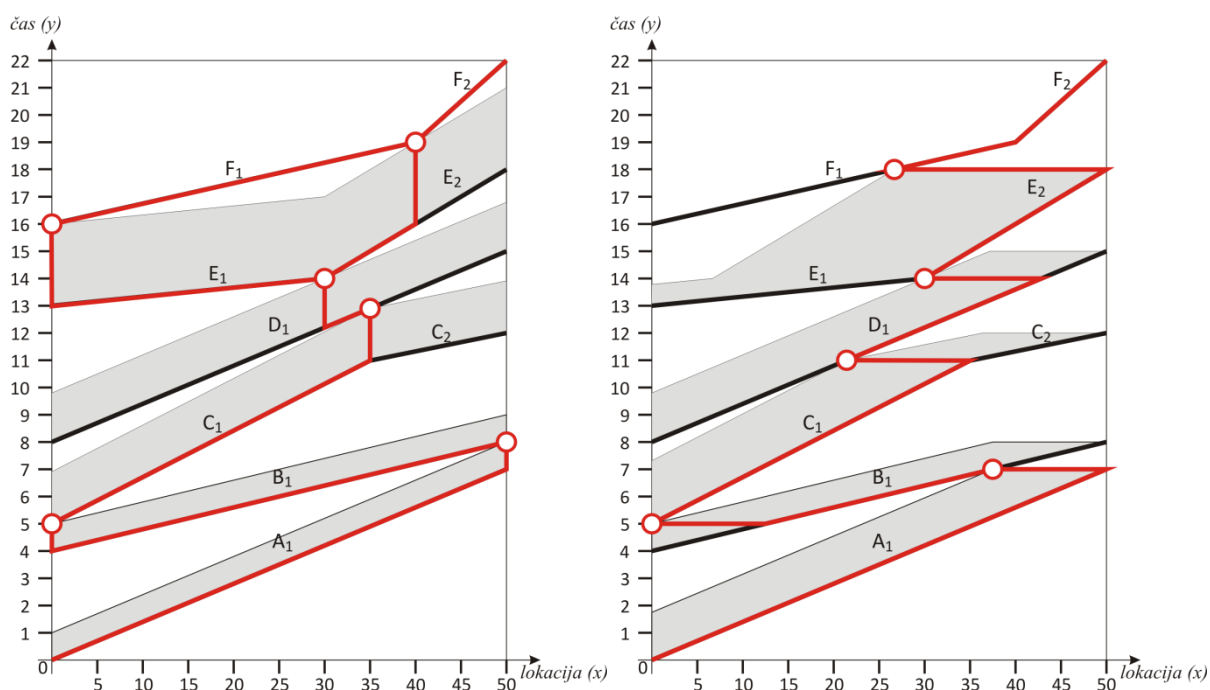
Preglednica 9: Končni linearni plan – »singularnostne« funkcije poteka dejavnosti

a_i	S_i	$a_i(x)$	F_i	Linearni plan
$a_A(x)$	0,0	$= 0 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	7,0	
$a_B(x)$	4,0	$= 4 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{4}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	9,0	
$a_C(x)$	5,0	$= 5 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{6}{35} \times \langle x-0 \rangle^1 - \frac{11}{105} \times \langle x-35 \rangle^1$	11,0	
$a_D(x)$	8,0	$= 8 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{7}{50} \times \langle x-0 \rangle^1$	15,0	
$a_E(x)$	13,0	$= 13 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{1}{30} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{1}{6} \times \langle x-30 \rangle^1$	18,0	
$a_F(x)$	16,0	$= 16 \times \langle x-0 \rangle^0 + \frac{3}{40} \times \langle x-0 \rangle^1 + \frac{9}{40} \times \langle x-40 \rangle^1$	22,0	

3.4.3 Časovna in lokacijska kritična pot

Z dejavnostmi in njihovimi zamiki v končni postavitvi je, upoštevaje časovne ali količinske zamike, možno sestaviti kritično pot. Za povezovanje kritičnih lokacij in posledično določitev kritične poti za časovne ali količinske zamike, je potrebno upoštevanje naslednjih pravil:

- kritična pot je neprekinjena od začetne do končne točke;
- sledi zaporedju dejavnosti in se lahko razcepi ali združi;
- lahko vsebuje celotno aktivnost ali le njen del (odsek);
- z dejavnosti na dejavnost prehaja vertikalno preko časovnih zamikov;
- z dejavnosti na dejavnost prehaja horizontalno preko lokacijskih zamikov.



Slika 14: Časovna in lokacijska kritična pot

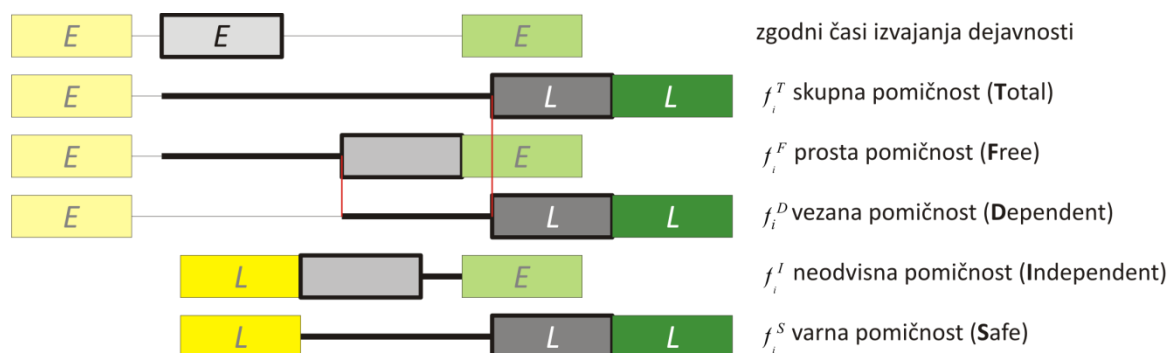
Tako dobljeni časovni in količinski kritični poti sta na sliki (slika 14: Časovna in lokacijska kritična pot) prikazani z rdečo črto. Kritične točke, kjer pot prehaja iz predhodne dejavnosti na sledečo, so označene z majhnimi krogi – nastopijo lahko le na začetku dejavnosti, ob spremembi njene stopnje produktivnosti ali na njenem koncu.

Lokacijska kritična pot se povsem razlikuje od časovne, zato moramo ti dve kritični poti obravnavati ločeno.

3.4.4 Pomičnost produktivnosti

Dve zaporedni dejavnosti sta lahko, če predpostavimo njuno konstantno produktivnost, divergentni, vzporedni ali konvergentni. V praktični uporabi pa se dejavnostim produktivnost spreminja med potekom oziroma glede na lokacijo. V kolikor se z lokacijo produktivnost povečuje (npr. učinek privajanja/učenja), lahko tako dejavnost poimenujemo »konveksna dejavnost«, v primeru zmanjševanja produktivnosti (npr. utrujenost), pa jo poimenujemo »konkavna dejavnost«. Upoštevati je potrebno, da imajo pomičnost produktivnosti le segmenti ali celotne dejavnosti, ki mejijo na nekritične dejavnosti oziroma na kritične segmente dejavnosti. Enačbo pomičnosti je torej potrebno oceniti po nekritičnem segmentu.

Pomičnost produktivnosti je analogna pomičnosti po metodi CPM v tehniki mrežnega planiranja, kjer poznamo več vrst pomičnosti (slika 15: Vrste pomičnosti po metodi CPM). Po metodi CPM lahko določimo pomičnost nekritičnim dejavnostim, po metodi PSM pa lahko določimo pomičnost produktivnosti nekritičnim segmentom dejavnosti.

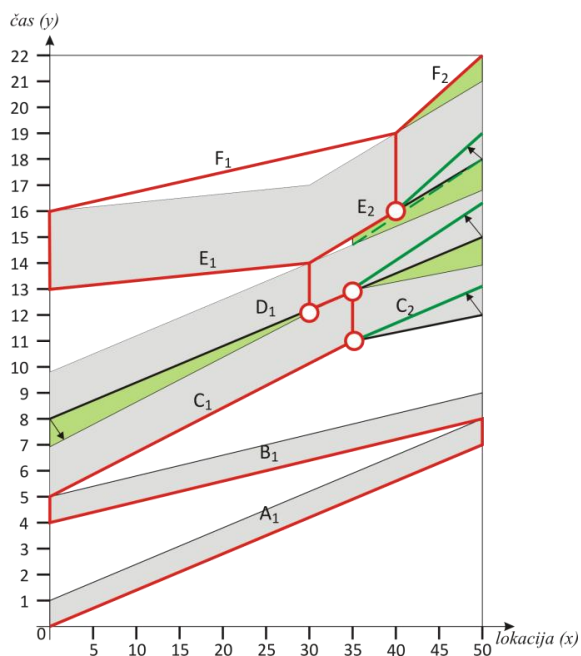


Slika 15: Vrste pomičnosti po metodi CPM

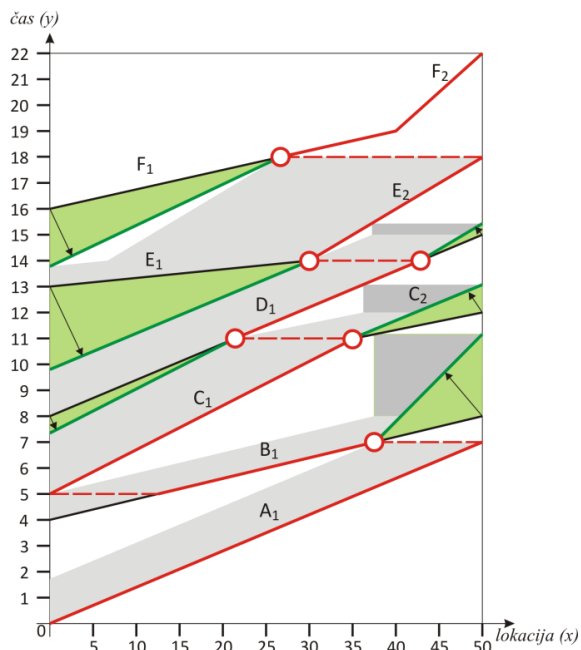
3.4.4.1 Prosta pomičnost produktivnosti

Ni potrebno izpeljevati nove enačbe za prosto pomičnost, saj lahko slednjo izračunamo kot razliko med minimumom vseh enačb naslednikov in enačbo zamika obravnavane dejavnosti.

Sliki 16 in 17 prikazujeta časovni in lokacijski zamik (siva barva), ki določata področja proste pomičnosti produktivnosti (svetlo zelena barva). Točke, okoli katerih rotira nekritični segment, so označene z majhnim krogom.



Slika 16: Določitev pomičnosti pri časovni kritični poti



Slika 17: Določitev pomičnosti pri lokacijski kritični poti

3.4.4.2 Celotna pomičnost produktivnosti

Celotno pomičnost lahko dobimo šele po izračunu vseh prostih pomičnosti. Vrednost izračuna celotne pomičnosti končnih nekritičnih segmentov je enaka vsoti maksimalnih vrednosti enačb proste pomičnosti končnih nekritičnih segmentov. Za izračun celotne pomičnosti začetnih nekritičnih segmentov je postopek enak, z razliko, da upoštevamo proste pomičnosti začetnih nekritičnih segmentov dejavnosti.

3.4.4.3 Vezana pomičnost produktivnosti

Vezana pomičnost se izračuna po analogiji s CPM in sicer kot razlika med enačbami celotnih in prostih pomičnosti. Z drugimi besedami, gre za vsoto vrednosti vseh enačb prostih pomičnosti končnih nekritičnih segmentov, ki sledijo obravnavanemu nekritičnemu segmentu ali za vsoto vrednosti vseh enačb prostih pomičnosti začetnih nekritičnih segmentov, ki ležijo pred obravnavanim nekritičnim segmentom, razen za neposredno naslednjega.

3.4.4.4 Neodvisna pomičnost produktivnosti

Neodvisna pomičnost ima tri komponente. Neodvisna pomičnost končnega nekritičnega segmenta dejavnosti je minimalna vrednost enačbe kateregakoli naslednika minus razlika med vrednostmi enačb zamika in dejavnosti obravnavane aktivnosti, minus maksimalna vsota enačbe zamika kateregakoli naslednika in vrednosti njegove enačbe celotne pomičnosti. Pri izračunu neodvisne pomičnosti začetnega nekritičnega segmenta dejavnosti zamenjamo »naslednika« s »predhodnikom«.

3.4.4.5 Varna pomičnost produktivnosti

Varna pomičnost končnega nekritičnega segmenta dejavnosti je vsota enačb zamika in celotne pomičnosti obravnavane dejavnosti, zmanjšana za maksimalno vsoto enačb zamikov kateregakoli predhodnika in njegove totalne pomičnosti. Pri izračunu varne pomičnosti začetnega nekritičnega segmenta dejavnosti, v prejšnjem stavku zamenjamo »naslednika« s »predhodnikom«.

4 PROGRAM TILOS IN TESTNI PRIMER

Tilos je računalniško programsko orodje za planiranje longitudinalnih objektov. Ime Tilos izhaja iz angleške besede »time – location planning software«, kar v prevodu pomeni časovno – lokacijsko planersko programsko orodje. Razvit je bil za izboljšanje vizualizacije ponavljajočih nalog pri načrtovanju in upravljanju velikih projektov. Primeren je predvsem za načrtovanje avtocest, cest, železnic, kanalizacij, tunelov in plinovodov. Razvijalci programa imajo 18 letne izkušnje vodenja projektov. Zadnjih 10 let so posvetili predvsem linearnemu načrtovanju projektov. Tilos je rezultat dolgoletnih izkušenj ter trdega dela strokovnjakov. Slednji se niso ustavili pri prvem uspehu, saj svoj produkt konstantno izpopolnjujejo. Vsaka naslednja različica ima več funkcij, boljšo zmogljivost in enostavnost za uporabnike. Pri nadgrajevanju svojega dela često spremljajo in upoštevajo pripombe svojih zvestih uporabnikov (med drugimi HDR Inc. iz ZDA in NACAP iz Nizozemske).

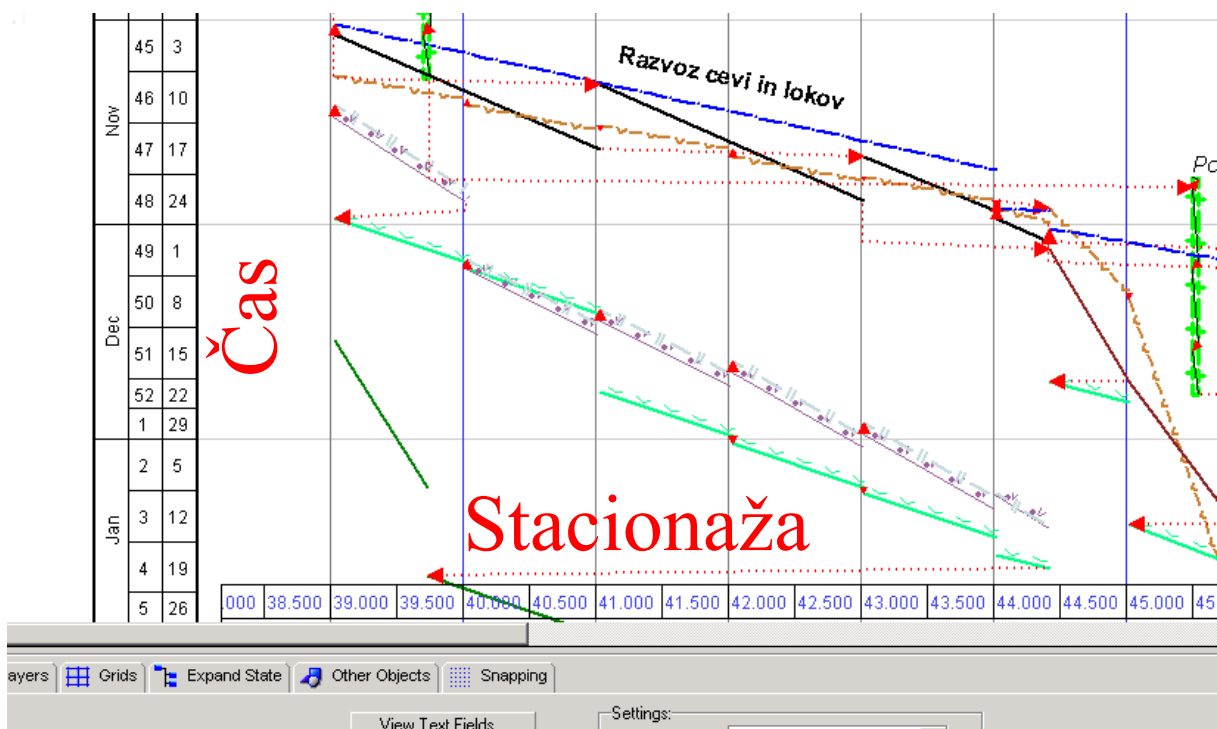
Ključna prednost Tilosa je časovna in lokacijska vizualizacija poteka projekta. CPM načrti in mrežni diagrami so res bolj analitični, vendar pri vizualni povezavi med projektnim načrtom in samim projektom povsem odpovejo.

Zaradi pomanjkanja dostojnih programskih orodij je bilo veliko linearnih planov izdelanih v Officu in CADu. Ti plani so imeli to napako, da je bilo že ob manjši spremembi potrebno posodobljati celoten plan. Tilos združuje razdaljo in čas v eno zmogljivo orodje za upravljanje projektov, ki omogoča:

- Popolno CPM analizo
- Prikaz kritične poti v časovno – lokacijskem diagramu.
- Popolno podporo za podprojekte. Drogovne dejavnosti, ki nastopajo v projektu lahko načrtujemo v ločenem podprojektu in jih povežemo v časovno – lokacijski diagram.
- Popoln nadzor nad količinami, produktivnostjo, viri in stroški, povezanimi s podatki o lokaciji.
- Pregledno spremljanje napredka vzdolž proizvodne linije.

4.1 Zakaj je Tilos boljši kot Ganttov diagram in mrežni diagrami?

Tradicionalni sistemi načrtovanja rezultate prikazujejo v obliki stolpastih (Gantt) ali pa mrežnih diagramov. Noben od teh sistemov pa ne omogoča grafičnega prikaza povezave med lokacijo, kjer se delo opravlja in časom, ko se delo izvaja. Časovno – lokacijski diagram v Tilosu, kot je razvidno iz spodnje slike, to povezavo jasno prikaže.



Slika 18: Prikaz povezave med lokacijo in časom v linearnem planu

4.2 Deset razlogov zakaj uporabiti Tilos

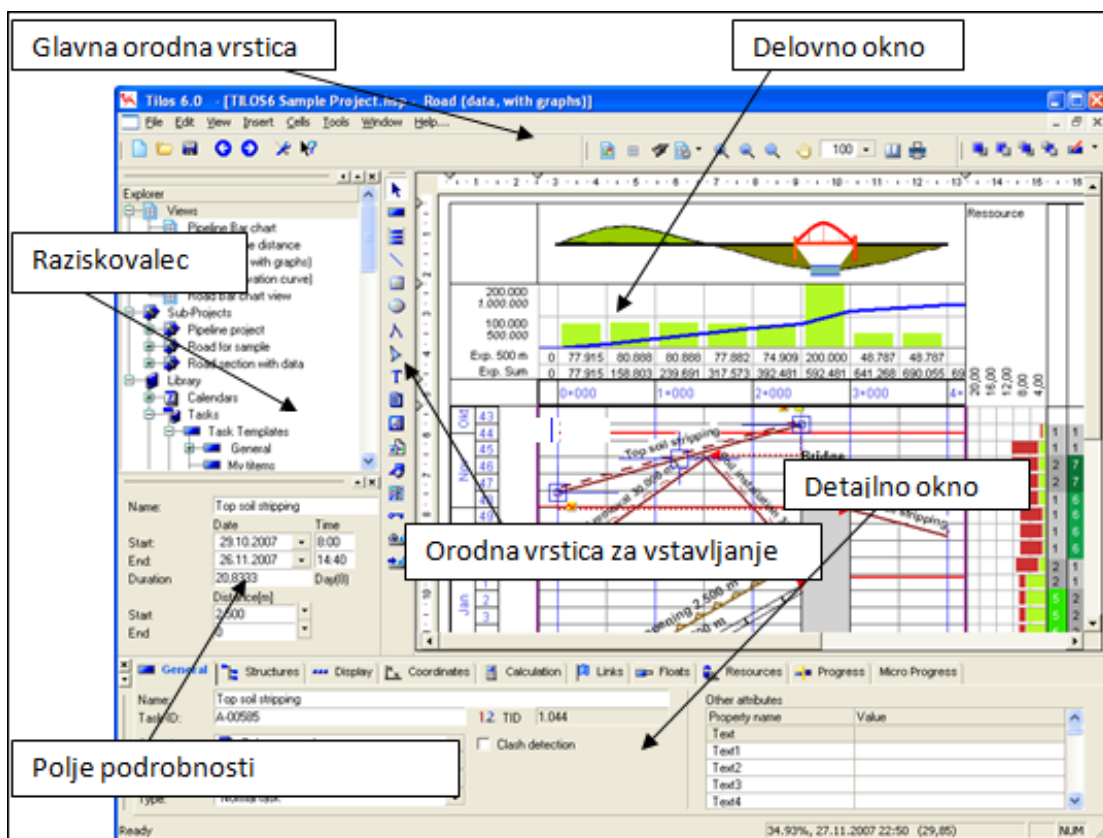
- Planiranje projekta je enostavno; naloge lahko dodelimo tako, da jih preprosto zrišemo v delovno okno.
- Ponuja maksimalno prilagodljivost v organizaciji plana.
- Omogoča integracijo podatkov iz drugih programskih orodij kot so MS Excel in MS Project.
- Preprečuje napake pri planiranju; sposoben je ugotoviti trk dveh ali več dejavnosti.

- Ponuja realno načrtovanje z uporabo specifikacij izdelave; kar na primeru železnice pomeni, da je na podano dolžino trase sposoben izračunati število železniških pragov, ki se postavljajo na 0,667 m.
- Omogoča popolni nadzor nad stroški in viri.
- Z njim lahko prihranimo na času, saj omogoča izdelavo osnutka projekta, ki ga kot podlogo uporabljamo v vseh naslednjih projektih.
- Poudari spremembe za pripravo zahtevkov; konfiguracija omogoča primerjavo izhodiščnega terminskega plana z dejanskim napredkom ter identificira in zabeleži vse spremembe.
- Zagotavlja visoko kakovostno produkcijo profesionalnih planov; kar pomeni, da je pri tiskanju terminskih planov možno nastaviti poljubne velikosti načrtov.
- Omogoča hitro donosnost naložb in dosledne prihranke na novih projektih; raziskave uporabnikov so pokazale, da že pri prvem projektu Tilos zniža načrtovani čas za 50%.

4.3 Uporaba Tilosa

Na prvi pogled daje Tilos vtis, da gre za kompleksen in za uporabnika kompliciran računalniški program. Vendar se po kratkem pregledu priročnika in malce logičnega sklepanja kaj kmalu izkaže, da gre, kadar govorimo o osnovnih operacijah, za dokaj preprost program.

Uporabniški vmesnik (glej sliko 19: Uporabniški vmesnik) je razdeljen na glavno orodno vrstico in delovno področje. Slednje se razdeli na delovno okno, raziskovalca, polje podrobnosti, orodno vrstico za vstavljanje ter na detajlno okno.



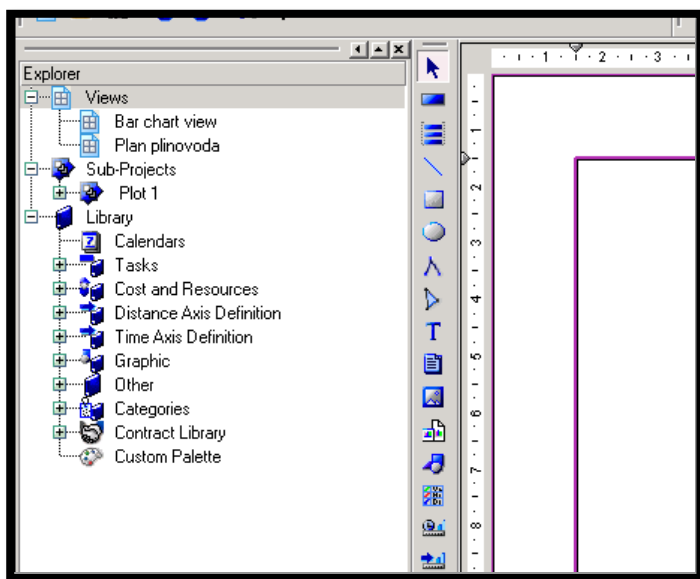
Slika 19: Uporabniški vmesnik

4.4 Planiranje plinovoda s Tilosom

Za izdelavo linearnega plana sem izbral gradnjo 19,371 km dolgega plinovoda M1-1, Kidričevo – Rogatec. Prvotni terminski plan je izdelan s strani izvajalca, podjetja SCT d.d., s pomočjo MS Projecta, ki podpira tehniko mrežnega planiranja. V nadaljevanju bom predstavil osnovne in druge pomembne funkcije, ki jih omogoča Tilos, primerjal rezultate mrežnega in linearnega planiranja, ter skušal ovrednotiti učinkovitost uporabe programskega orodja Tilos.

4.4.1 Definiranje projekta

Najprej zaženemo program Tilos in pod rubriko »Views« dodamo nov pogled, ki ga v našem primeru poimenujemo Plan plinovoda. S tem imamo definirano novo delovno okno. Novemu pogledu je potrebno definirati osnove, med katere sodijo datum začetka projekta, datum predvidenega zaključka projekta, začetna in končna stacionaža, koledar in vrsta delavnika, šele nato lahko vstavljamo dejavnosti in načrtujemo.

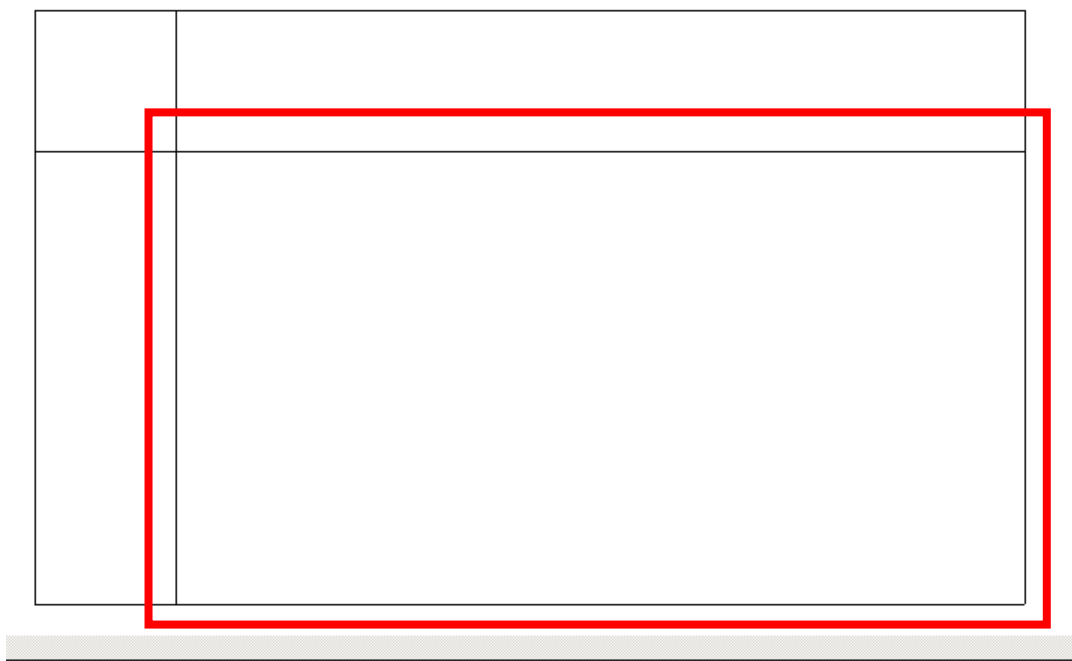


Slika 20: Prikaz novega pogleda Plan plinovoda

Poudariti moram, da je za definiranje koledarja, dejavnosti, virov, stroškov, skratka vsega kar je potrebno za izdelavo terminskega plana, pomemben prej omenjeni raziskovalec (sestavni del delovnega področja). Postopek definiranja bom opisal na primeru koledarja, ki mora vsebovati vse dela proste dni in načrtovane prekinitve. Z levim klikom miške na »+« poleg »Library« odpremo drevesno strukturo, nato poiščemo podskupino »Calendars« in nanjo kliknemo z desnim klikom miške. Tedaj se pojavi meni, na katerem je opcija »New Calendar«. S klikom na »New Calendar« potrdimo izbor in prikaže se novo okno v katerem definiramo koledar. Priredimo lahko poljubno število koledarjev. Vsi pa postanejo podskupina skupine »Calendars«. Ostale faktorje, pomembne za izdelavo terminskega plana, definiramo na podoben način. Edina razlika je v novem pojavnem oknu, v katerem so definicijski parametri drugačni.

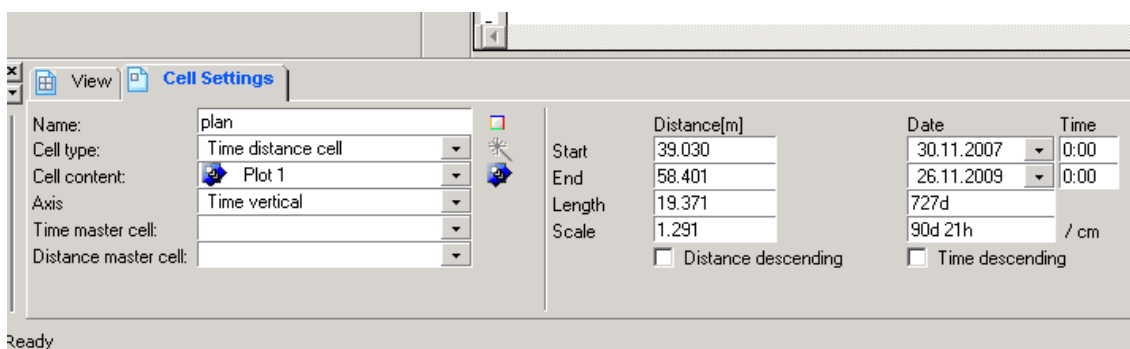
Sedaj, ko imamo definiran koledar, lahko začnemo z urejanjem delovnega okna. Sprva se odločimo kateri položaj naj zavzema časovni in katerega dolžinski parameter plana. Za naš primer bo čas na ordinati in dolžina oziroma stacionaže na abscisi. Da bi lahko omenjena parametra vnesli v plan, moramo v delovnem oknu dodati nov stolpec in novo vrstico. Kliknemo na delovno okno, nato se v detajlnem oknu pojavita dva zavihka. Prvi je namenjen dodajanju novih vrstic in stolpcev ter za urejanje velikosti celic, medtem, ko je drugi zavihek predviden za nastavitve celic. Nov stolpec dodamo s klikom na »+« v rubriki »Columns« in

ново vrstico s klikom na »+« v rubriki »Rows«. Na ta način se delovno okno formira v tabelo. Posameznim celicam tabele je v drugem zavihku »Cell settings« potrebno prirediti vrsto podatkov, ki jih bodo vsebovale. Začnemo s celico v katero bomo vstavljali dejavnosti (ponavadi največja celica; glej sliko 21: Projektna celica).



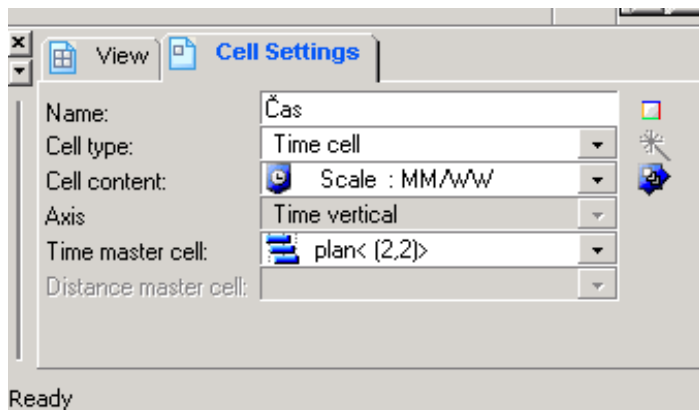
Slika 21: Projektna celica

V zavihku »Cell settings« napišemo ime celice, za vrsto celice privzamemo možnost »Time Distance cell« in za vsebino celice izberemo opcijo Plot1, kar nam omogoči določanje začetnega in končnega datuma projekta ter začetne in končne stacionaže.



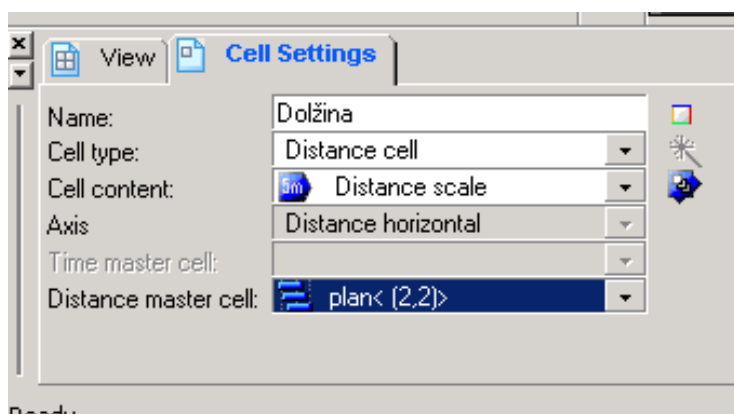
Slika 22: Definiranje projektne celice

Celico, levo od projektne celice, definiramo kot vertikalno, navzdol naraščajočo časovno os, pri čemer morajo biti polja v nastavitvah urejena kot je prikazano na spodnji sliki.



Slika 23: Nastavitve časovne celice

Celico nad projektno celico definiramo kot horizontalno dolžinsko os. Nastavitve celice so razvidne na naslednji sliki.



Slika 24: Nastavitve dolžinske celice

Po določitvi osnovnih parametrov projekta bi moral zgornji levi del delovnega okna izgledati kot je prikazano na sliki 25.

		39	40	41	42
Dec		49	3		
		50	10		
		51	17		
		52	24		
Jan		1	31		
		2	7		
		3	14		
		4	21		
		5	28		
Feb		6	4		
		7	11		
		8	18		
		9	25		

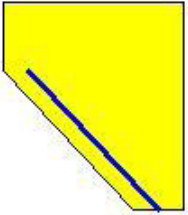
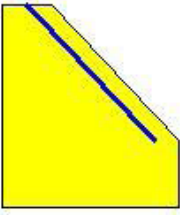
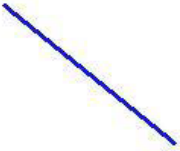
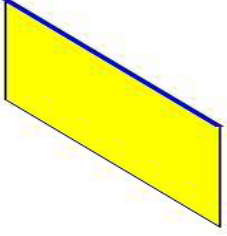
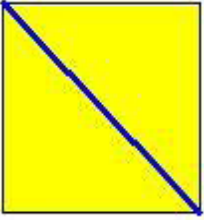
Slika 25: Projektna celica z definirano časovno in dolžinsko celico

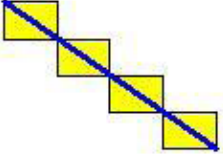
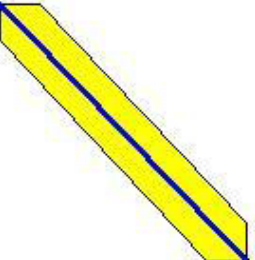
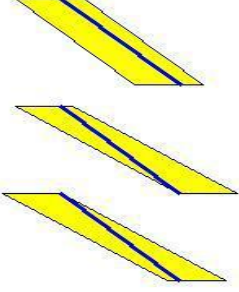
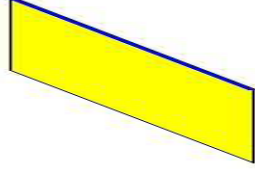
4.4.2 Delo in upravljanje z dejavnostmi v Tilosu

Po določitvi osnovnih parametrov terminskega plana lahko pričnemo z vstavljanjem dejavnosti. Tilos ima v svoji bazi že določene nekatere dejavnosti, ki so pomembne za gradnjo linearnih objektov. Manjkajoče enostavno definiramo v raziskovalcu. Postopek je podoben definiranju koledarja. Drugi način dodajanja novih dejavnosti je s pomočjo uvoza iz datotek drugih programskih orodij. Tilos je združljiv z ameriškim standardnim naborom za izmenjavo informacij ali takoimenovanim ASCII (American Standard Code for Information Interchange), s preprostim računalniškim jezikom XML, z Excelom, MS Projectom in ASTA power projectom.

Pri delu z aktivnostmi se v Tilosu srečamo z izredno pestrim izborom oblik. Za lažje razumevanje so vse vrste opisane v naslednji preglednici.

Preglednica 10: Nastopajoče oblike aktivnosti v Tilosu

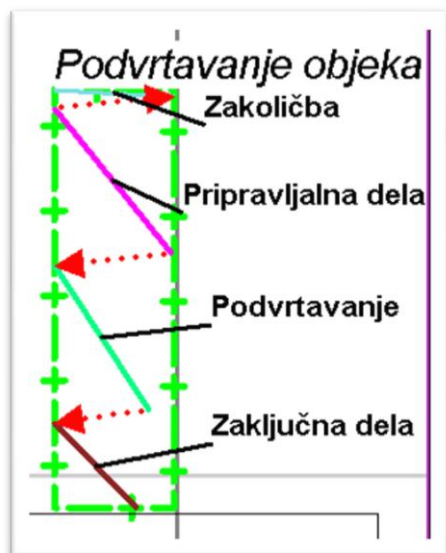
Slikovna predstavitev dejavnosti	Opis dejavnosti
	<p><u>Zgornji trikotnik</u></p> <p>Na začetku je celotno območje razdalje dejavnosti zaprto za druge dejavnosti. Sklenjeno območje se zmanjšuje z napredovanjem del.</p>
	<p><u>Spodnji trikotnik</u></p> <p>Z napredovanjem del se razdalja sklenjenega območja povečuje. Nobena druga dejavnost ne sme potekati znotraj območja, saj bi to pomenilo križanje dejavnosti.</p>
	<p><u>Linjska aktivnost</u></p> <p>Ni nobenega območja, ki bi omejevalo drugo dejavnost. Paziti moramo le, da se dejavnosti ne križajo.</p>
	<p><u>Paralelogram delovnega časa</u></p> <p>Lokacija je po zaključku dejavnosti za določen delovni čas zaprta za druge dejavnosti.</p>
	<p><u>Pravokotnik</u></p> <p>Popolna zapora segmenta razdalje po katerem poteka dejavnost. Naslednja dejavnost se lahko prične šele, ko je prejšnja končana.</p> <p style="text-align: right;">se nadaljuje...</p>

<p>...nadaljevanje</p> 	<p><u>Stopnice</u></p> <p>Podobno kot pri modelu pravokotnika, z razliko, da je dejavnost razdeljena na manjše enote.</p>
	<p><u>Paralelogram časa in razdalje</u></p> <p>Segment razdalje je pred pričetkom izvajanja in/ali po končanju dejavnosti za določen čas zaprt za druge dejavnosti.</p>
	<p><u>Paralelogram razdalje</u></p> <p>Segment razdalje je pred pričetkom izvajanja in/ali po končanju dejavnosti zaprt za druge dejavnosti.</p>
	<p><u>Paralelogram koledarskega časa</u></p> <p>Lokacija je po zaključku dejavnosti za določeno koledarsko obdobje zaprta za druge dejavnosti.</p>

Dejavnosti so razvrščene v naslednje zvrsti:

- Normalna dejavnost; najbolj pogosta
- Povzeta dejavnost; povzame dejavnosti podprojekta, kar na primeru pomeni, da je povzeta dejavnost podvrtavanje objekta sestavljena iz štirih nalog in sicer iz zakoličbe, pripravljalnih del, podvrtavanja in zaključnih del. Dolžina in trajanje povzete

dejavnosti je vedno določena s parametri dolžine in trajanja dejavnosti, ki jo sestavljajo.



Slika 26: Primer povzete dejavnosti

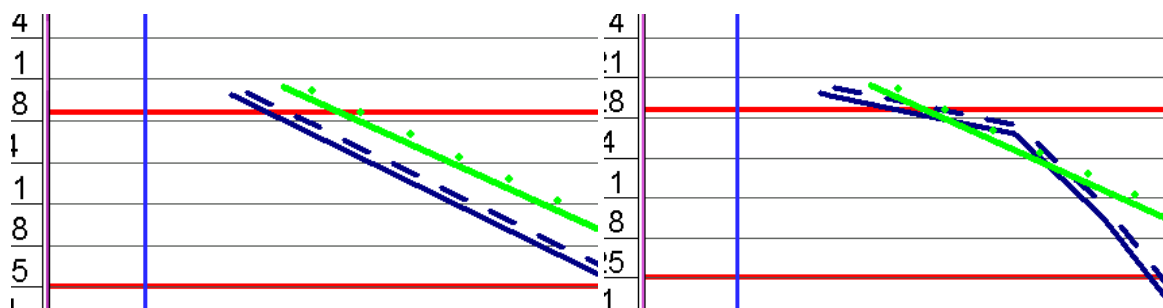
- Obesna dejavnost; neko dejavnost »obesimo« na druge. Za začetek privzame najzgodnejši datum in za konec najpoznejši datum izbranih dejavnosti.
- Izravnalna dejavnost; skrajša ali podaljša trajanje, pri čemer ne spremeni planiranega datuma zaključka dejavnosti.
- Vmesna dejavnost; dejavnost kateri priredimo povezavo predhodne aktivnosti in povezavo naslednje aktivnosti. Trajanje vmesne dejavnosti je odvisno od obeh povezav.

Program omogoča pet načinov kalkulacij:

- Izračun količine dela dejavnosti; na podlagi podane stopnje produktivnosti (npr. 100 m³/dan) in trajanja dejavnosti (npr. 35 dni) izračuna količino dela (3500 m³).
- Izračun stopnje produktivnosti; na podlagi podane količine dela (npr. 3500 m³) in trajanja dejavnosti (npr. 35 dni) izračuna stopnjo produktivnosti (100 m³/dan).
- Izračun trajanja dejavnosti; na podlagi podane količine dela (npr. 3500 m³) in stopnje produktivnosti (100 m³/dan) izračuna koliko časa je potrebno za dokončanje dejavnosti (35 dni).

- Izračun trajanja dejavnosti na podlagi celotne dolžine l_e - t_e . Razdelimo jo na segmente ter za vsakega definiramo stopnjo produktivnosti ali stopnjo produktivnosti in količino dela. Za ta način kalkulacije moramo iz seznama modela kalkulacije izbrati »Duration (Profile driven)«.
- Izračun trajanja dejavnosti na podlagi virov. Aktivnosti priredimo količino dela in vire. Slednjim dodamo še pripadajočo porabo časa na enoto količine dela. Iz danih podatkov program izračuna stopnjo produktivnosti ter nato trajanje dejavnosti.

Naklon linije dejavnosti je odvisen od stopnje produktivnosti. V praksi se redko zgodi, da dejavnost poteka od začetka do konca z enakim naklonom. Avtorji tega programskega orodja so omogočili upoštevanje različnih nagibov linije znotraj ene dejavnosti. S tem se linija dejavnosti spremeni v krivuljo sestavljeno iz lomljenih črt, kar omogoča realen prikaz poteka dejavnosti. Tako se lahko izognemo morebitnim neželenim križanjem, ki bi nastala ob neupoštevanju dejanskega poteka aktivnosti.



Slika 27: Upoštevanje različnih stopenj produktivnosti znotraj dejavnosti

Če pride do križanja nas program o tem obvesti in hkrati poda identifikacijske šifre dejavnosti. V kolikor ne želimo spremljave križanj aktivnosti, ki lahko potekajo na isti lokaciji ob istem času in se pri tem ne bi motile (npr. varjenje cevi in izkop jarka), lahko detekcijo križanja zanj izklopimo.

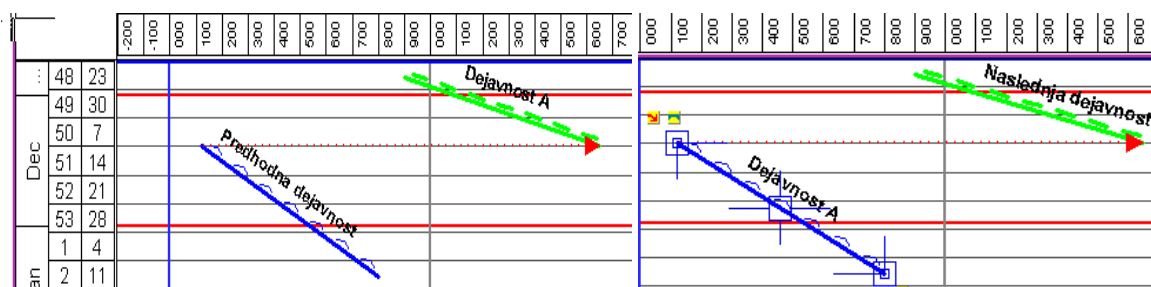


Slika 28: Hkratni potek izkopa jarka in varjenja cevi

Nemalokrat imamo v projektu dejavnosti, ki si vedno sledijo v določenem redosledu. Tak primer je pri gradnji plinovoda polaganje cevi v jarek in posteljica, ki jo vedno položimo kakšen dan prej. Da obeh dejavnosti ni potrebno vstavljati posebej, obstaja funkcija grupiranja dejavnosti. Izberemo dejavnosti, ki nastopajo v skupini in določimo medsebojna razmerja. Tako dobimo eno sestavljeno dejavnost, ki jo enostavno vstavljamo v terminski plan.

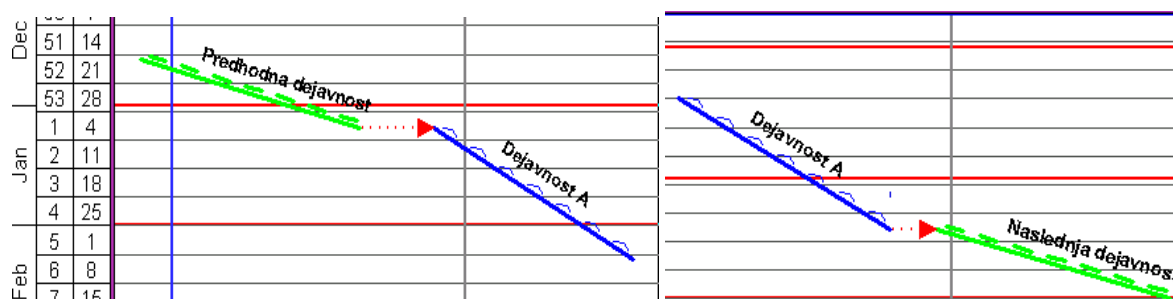
Vsaki aktivnosti lahko priredimo tiste, ki so predhodne in tiste, ki ji sledijo. Za to skrbijo štirje tipi povezav:

- Začetek - začetek; dejavnost A se začne, ko se začne predhodna ali, ko se začne dejavnost A, se začne tudi naslednja.
- Začetek - konec; dejavnost A se konča (slika 29: Povezave dejavnosti 1 - levo), ko se predhodna začne ali, ko se dejavnost A začne (slika 29: Povezave dejavnosti 1 - desno), se naslednja konča.



Slika 29: Povezave dejavnosti 1

- Konec – začetek; dejavnost A se začne (slika 30: Povezave dejavnosti 2 - levo), ko se konča predhodna ali, ko se dejavnost A konča (slika 30: Povezave dejavnosti 2 - desno), se naslednja začne.



Slika 30: Povezave dejavnosti 2

- Konec – konec; dejavnost A se konča, ko se konča predhodna ali, ko se konča dejavnost A, se konča tudi naslednja.

Po izbranem tipu lahko določimo časovno zakasnitev med dvema dejavnostma. Zanimivo je, da je pri planiranju v Tilosu možno pri povezavah tipa začetek – začetek ter konec - konec določiti tudi dolžinsko zakasnitev. Slednje je dobrodošlo pri nalogah za katere je pomembno obdržati razdaljo s predhodno aktivnostjo. Eden takih primerov je pri gradnji predorov, kjer mora biti, zaradi odlaganja izkopnega materiala in varnosti, med izkopom kalote in talnega oboka predpisana razdalja. S pomočjo CPM je upoštevanje dolžinske zakasnitve izredno komplicirano, saj jo je potrebno substituirati s časovno zakasnitvijo.

4.4.3 Viri v Tilosu

Tilos pozna tri vrste virov:

- Stalni viri; so tisti, ki jih ni mogoče porabiti. Sem spadajo delavci in stroji.
- Potrošni viri; kot že ime govori, gre za vire, ki se med opravljanjem nalog porabijo (material).
- Komponentni viri; gre za vire podobne stalnim. Razlika je v tem, da je komponentni vir sestavljen iz »podvirov«. Za lažje razumevanje vzemimo primer bagra. Nalogi dodelimo bager in voznika. Oba vira sta stalna. Lahko pa bager in voznika združimo v en vir »bager z bageristom«, ki predstavlja komponentni vir.

Pri delu z viri je poleg določitve ustrezne vrste pomembno opredeliti tudi model vira, saj ta definira način izračuna obsega dela. V preglednicah 11 in 12 so opisane enačbe znotraj posameznih modelov.

Preglednica 11: Modeli stalnih in komponentnih virov

Stalni in komponentni viri		
Model	Izračun obsega dela	Kratek opis
Dodelitev	$\text{obseg dela} = \text{vhodni podatek} \times \text{trajanje}$ $\text{število potrebnih (dodeljenih) virov} = \text{vhodni podatek}$ $\text{strošek} = \text{obseg dela} \times \text{cena enote}$	Na podlagi števila dodeljenih virov in trajanja naloge se izračuna obseg dela.
Obseg dela / enoto dela	$\text{obseg dela} = \text{vhodni podatek} \times \text{količina dela}$ $\text{število potrebnih virov} = \text{obseg dela} / \text{trajanje}$ $\text{strošek} = \text{obseg dela} \times \text{cena enote}$	Obseg dela se izračuna z upoštevanjem količine dela in obsega dela na časovno enoto. se nadaljuje...

...nadaljevanje	<p>obseg dela = vhodni podatek</p> <p>število potrebnih virov = obseg dela / trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Obseg dela je podan v urah.
Ure		
Dnevi	<p>obseg dela = vhodni podatek</p> <p>število potrebnih virov = obseg dela / trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Obseg dela je podan v dnevih.
Meseci	<p>obseg dela = vhodni podatek</p> <p>število potrebnih virov = obseg dela / trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Obseg dela je podan v mesecih.
Enote / čas	<p>obseg dela = količina dela / vhodni podatek</p> <p>število potrebnih virov = obseg dela / trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Obseg dela se izračuna na podlagi količine dela in vhodnega podatka, ki predstavlja količino na časovno enoto.
Tovor	<p>število potrebnih virov = količina dela / vhodni podatek</p> <p>obseg dela = število potrebnih virov × trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Izračun števila vagonov, ki so potrebni za transport gramoza.
Enote / čas (vozne naloge)	<p>število potrebnih virov = vhodni podatek</p> <p>obseg dela = število potrebnih virov × trajanje</p> <p>strošek = obseg dela × cena enote</p>	Vhodni podatek predstavlja proizvodno stopnjo enega vira.

Preglednica 12: Modeli potrošnih virov

Potrošni viri		
Model	Izračun obsega dela	Kratek opis
Količina	obseg dela = vhodni podatek strošek = obseg dela × cena enote	Vhodni podatek predstavlja količino.
Količina / enoto dela	obseg dela = vhodni podatek × količina dela strošek = obseg dela × cena enote	Količino se izračuna iz količine dela.
Količina / uro	obseg dela = vhodni podatek × trajanje (h) strošek = obseg dela × cena enote	Količino se izračuna iz trajanja aktivnosti in količine vira na uro.
Količina / dan	obseg dela = vhodni podatek × trajanje (delovni dan) strošek = obseg dela × cena enote	Količino se izračuna iz trajanja aktivnosti in količine vira na delovni dan.
Količina / mesec	obseg dela = vhodni podatek × trajanje (mesec) strošek = obseg dela × cena enote	Količino se izračuna iz trajanja aktivnosti in količine vira na delovni mesec.

Stroške, ki jih Tilos računa preko virov, lahko razdelimo v več kategorij. Na primeru plinovoda sem zaradi boljše preglednosti plana stroške razdelil na tiste, ki so nastali zaradi dela, strojev ali materiala. Tudi pri računanju stroškov imamo na voljo več vrst modelov izračuna.

Preglednica 13: Modeli izračuna stroškov

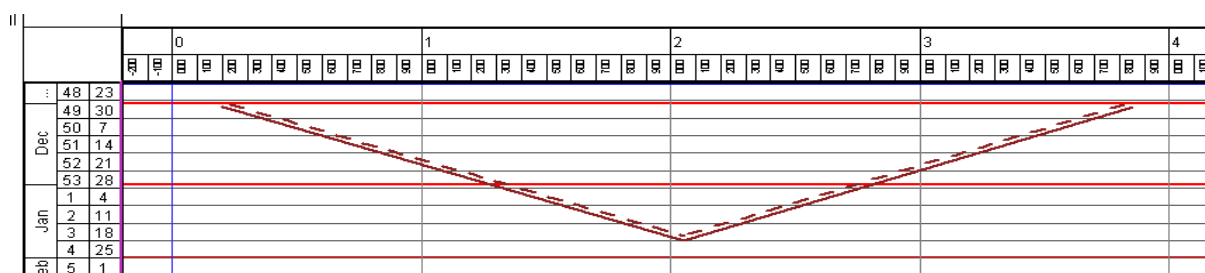
Model	Izračun	Opis
Fiksni strošek	strošek = vhodni podatek	Vhodni podatek predstavlja fiksni strošek.
Strošek / enoto dela	strošek = vhodni podatek × količina dela	Strošek se izračuna iz količine dela in vhodnega podatka, ki predstavlja strošek na enoto dela
Strošek / uro	strošek = vhodni podatek × trajanje (h)	Strošek se izračuna iz trajanja in vhodnega podatka, ki predstavlja strošek na časovno enoto (h).
Strošek / dan	strošek = vhodni podatek × trajanje (delovni dan)	Strošek se izračuna iz trajanja in vhodnega podatka, ki predstavlja strošek na časovno enoto (dan).
Strošek / mesec	strošek = vhodni podatek × trajanje (mesec)	Strošek se izračuna iz trajanja in vhodnega podatka, ki predstavlja strošek na časovno enoto (mesec).

4.4.4 Vizualizacija informacij

Pri grafičnem prikazu podatkov se TILOS izkaže za izredno zmogljivo orodje. Časovno – lokacijski pogled zagotavlja popoln nadzor nad terminskim planom. V kolikor planiramo s pomočjo uvoza iz drugih orodij, lahko takoj ugotovimo kje trki dejavnosti nastajajo in jih tudi odpravimo. Odseka plinovoda Kidričevo – Rogatec sem se lotil z uvozi podatkov iz Excela, le-te pa sem pridobil iz MS Projecta. Čeprav so uvozi in izvozi Excelovih datotek zadovoljivi, moram omeniti, da je izmenjava podatkov mnogo boljša in bistveno lažja z uporabo ASCII. Po vstavljenih aktivnostih in pripadajočih virih je bilo moč opaziti glavno prednost linearne metode planiranja. Ta se kaže v razmerju med časom in lokacijo in sicer tako, da za vsak odsek nudi informacijo o zaporedju ter trajanju dejavnosti. Prav tako velja obratna relacija, da je v nekem času razvidna točna lokacija dejavnosti.

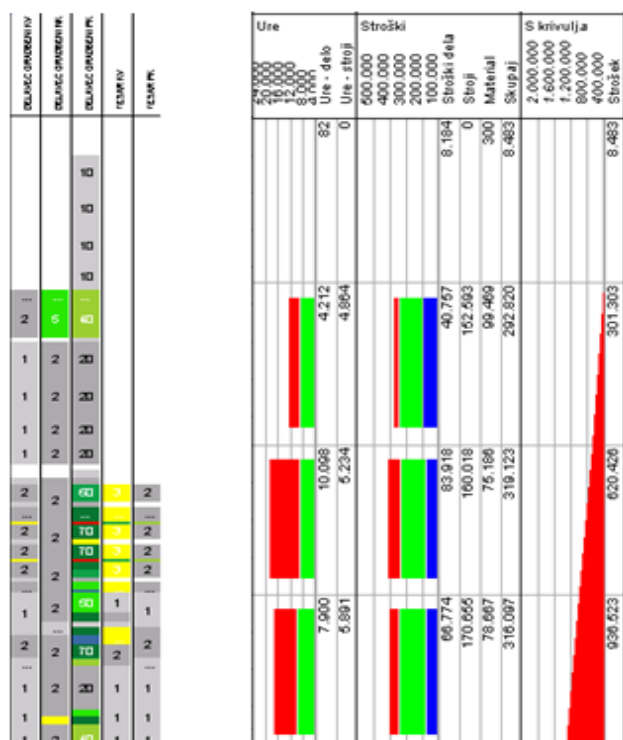
Na prvi pogled se dobro zasnovan in urejen plan, izdelan s tehniko mrežnega planiranja, izkaže za nezanesljivega in zgolj približnega. Opazil sem precej križanj in nepravilnih

zaporedij dejavnosti (priloga A: Linearni terminski plan plinovoda Kidričevo – Rogatec, izdelan po metodi mrežnega planiranja). Predvidevam, da je do tega prišlo zaradi preobsežnosti pri mrežnem načrtovanju. Vsako dejavnost je bilo treba razdeliti na dolžinske segmente ter jih tako med seboj kot tudi z drugimi dejavnostmi povezati, kar povzroča zmedo in zelo razvejano mrežno strukturo. V kolikor bi že v samem začetku plinovod načrtovali v Tilosu, bi se izognili neželenim trkom dejavnosti in tako zmanjšali zamude pri izvedbi projekta. Bistveno bi skrajšali čas izdelave terminskega plana, saj ne bi bila potrebna delitev na mnogo odsekov. Ne bi skrajšali le dobe izdelave terminskega načrta, temveč bi s pametnimi odločitvami lahko tudi krepko zmanjšali čas izvedbe projekta. Ena takih rešitev je hkratno napredovanje del z obeh koncev pod pogojem, da imamo na razpolago dovolj virov. Teoretično bi se trajanje projekta prepolovilo. Planiranje takega pristopa k delu bi s pomočjo metode mrežnega planiranja zahtevalo izkušenega planerja, medtem, ko je tak način v Tilosu sila preprost (slika 31: Napredovanje dejavnosti z obeh koncev). V prilogi (priloga B: Terminski plan plinovoda Kidričevo – Rogatec, izdelan s tehniko linearnega planiranja) sem poskušal izboljšati obstoječi plan (priloga A: Linearni terminski plan plinovoda Kidričevo – Rogatec, izdelan po metodi mrežnega planiranja). Naj omenim, da v slednjem podvrtavanje objekta poteka časovno za končno ureditvijo gradbišča, kar je le ena izmed mnogih tovrstnih napak. Aktivnosti sem uredil tako, da sedaj potekajo v pravilnem vrstnem redu. Druga vrsta napak s katerimi sem se srečal pri obstoječem planu so trki dejavnosti. V prilogi B so tudi ti odpravljeni. Križanja dejavnosti se v nekaterih primerih sicer pojavljajo, vendar gre tu za dovoljene trke. Dejansko sploh ne pride do trka, saj dejavnosti ne potekajo na povsem isti lokaciji in se zato ne motijo. Takšen primer je predstavljen na sliki 28. Pri izdelavi plana po linearni metodi (priloga B) sem predvideval potek del z obeh koncev gradbišča in na ta račun skrajšal trajanje projekta za 25 %. Verjetno bi se dalo plan še bolj optimizirati in na ta račun še dodatno skrajšati čas projekta.



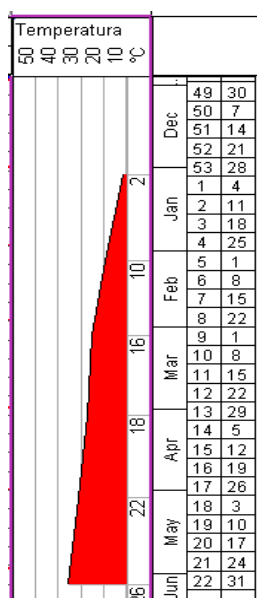
Slika 31: Napredovanje dejavnosti z obeh koncev

V Tilosu me je navdušila fleksibilnost in preglednost virov ter stroškov. Te lahko spremljamo tako po času kot tudi po dolžini. Ob projektni celici je potrebno definirati histogram in določiti katere informacije naj prikaže. Nudi prikaz porabe časa, količin dodeljenih virov, S krivulje, dohodkov in stroškov, skupne količine dela in trajanje vseh dejavnosti v nekem časovnem intervalu ali dolžini. V kolikor želimo informacijo le o količini virov po času ali dolžini, lahko namesto histograma uporabimo stolpasti grafikon za prikaz resursov. Zanj je značilno, da z različnimi barvnimi odtenki prikazuje količino virov.



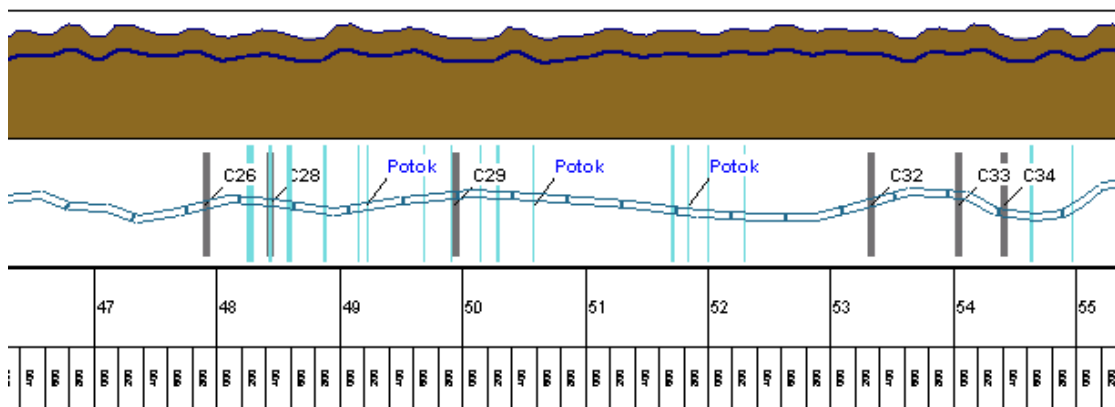
Slika 32: Stolpasti grafikon za prikaz količine virov (levo) in histogram (desno)

V plan imamo, poleg vstavljanja tabel, možnost vnosa fotografij in različnih profilov. Slednje lahko dodajamo na časovno ali dolžinsko os. Pri uporabi časovnega profila vnesemo vrednost za določeno časovno točko in prikazana bo kot grafična vrednost v diagramu. Za primer lahko uporabimo prikaz povprečne temperature (slika 33: Povprečna temperatura vsakega petega v mesecu).



Slika 33: Povprečna temperatura vsakega petega v mesecu

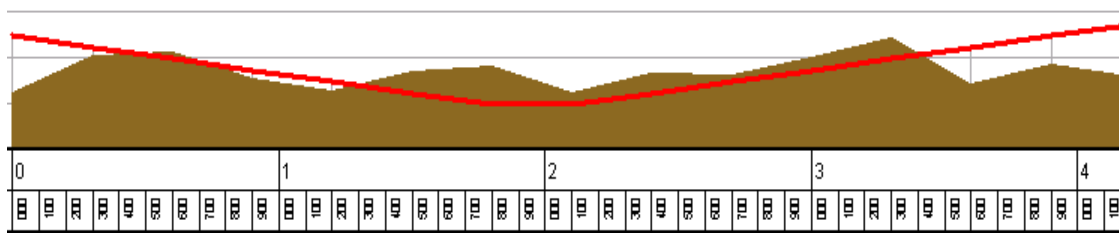
Pri uporabi dolžinskega profila vnesemo vrednost za določeno točko in prikazana bo kot grafična ali prosta vrednost v diagramu. Dolžinski profil je uporaben pri izdelavi tlorisa trase, vzdolžnega profila, lahko pa ga uporabimo tudi pri izdelavi ploskovnega profila.



Slika 34: Dolžinski profili (zgoraj vzdolžni prerez, na sredini tlorisa trase, spodaj stacionaže)

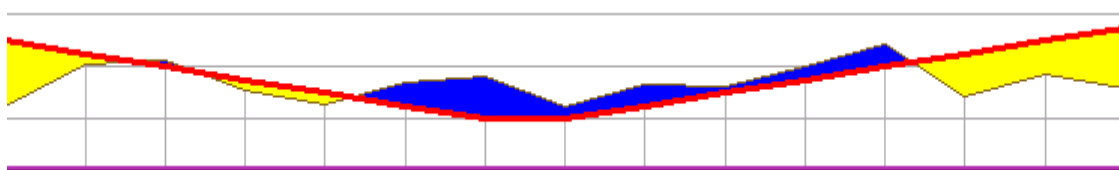
Izravnava mas pri gradnji plinovodov nima takšnega pomena kot pri gradnji prometnic. Izdelavo ploskovnega profila bom ponazoril s pomočjo izmišljenega primera gradnje ceste.

Iz naslednje slike vidimo teren (rjavo obarvan) in potek predvidene ceste (rdeča črta).



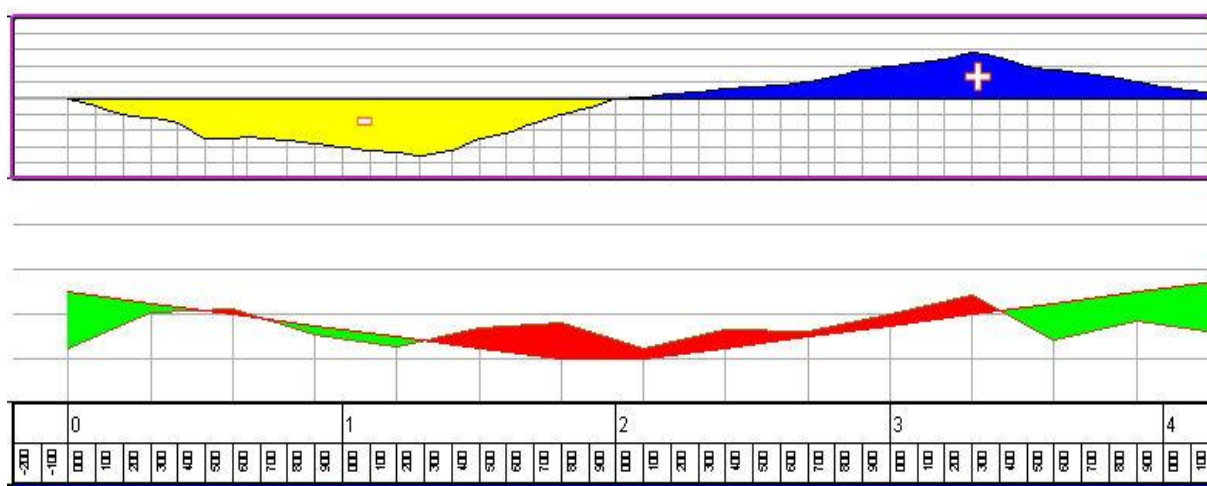
Slika 35: Vzdolžni profil ceste

Določimo območja vkopov ter nasipov (slika 36: Območja vkopov in nasipov).



Slika 36: Območja vkopov in nasipov

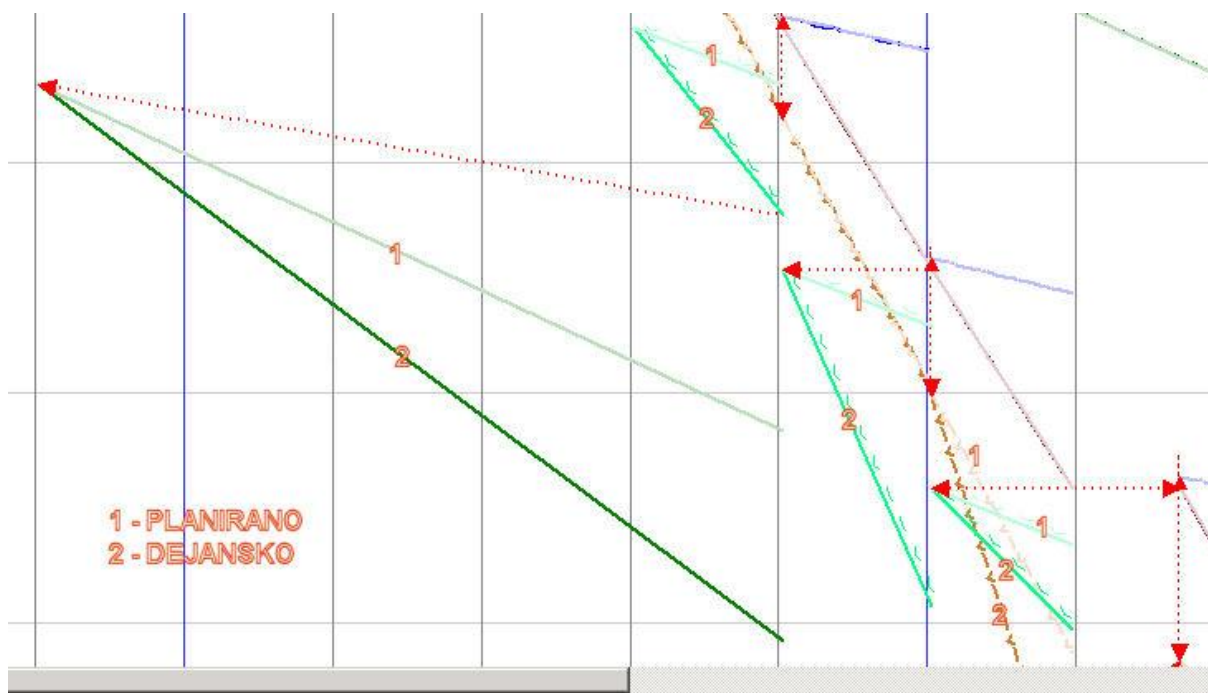
S pomočjo prečnih profilov izračunamo količine mas ter jih vstavimo v ploskovni profil. Po izdelavi masnega profila (kumulativa mas) lahko izračunamo višek ali primanjkljaj materiala, kateri del izkopnega materiala (med katerimi profili) bomo uporabili na določenem delu nasipa in srednjo transportno pot.



Slika 37: Ploskovni (spodaj) in masni profil (zgoraj)

4.4.4.1 Definiranje izhodiščnega plana

Funkcija izhodiščnega plana služi za primerjavo različnih variant projekta. Uporaben je tudi pri primerjavi planiranega in dejanskega napredka. Na ta način je sprememba prikazana neposredno v projektni celici.



Slika 38: Prikaz izhodiščnega plana v projektni celici

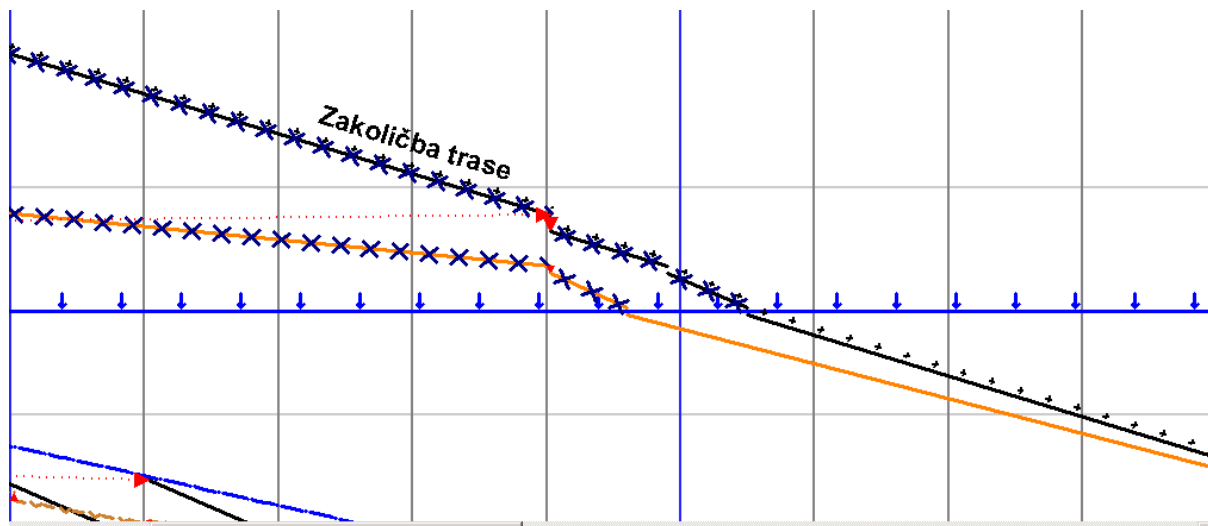
4.4.4.2 Spremljava projekta

Spremljanje projekta je ena najbolj zanimivih funkcij Tilosa. Obstajajo trije načini za spremljavo napredka:

- glede na delež izvedenih del
- glede na opravljeno delo
- glede na razdaljo

Najprej izberemo datum za katerega želimo izvesti spremljavo izvedenih del, nato za vsako aktivnost vpišemo dejanski napredek. Povratna informacija, ki jo dobimo, je na dva dela razdeljena dejavnost. Del, ki je označen s križci predstavlja izveden segment aktivnosti. V

kolikor želimo, lahko ob morebitnem odstopanju od izhodiščnega plana, novo nastalo stanje posodobimo (dejavnosti z zamudo Tilos prestavi pod linijo dneva poročila).



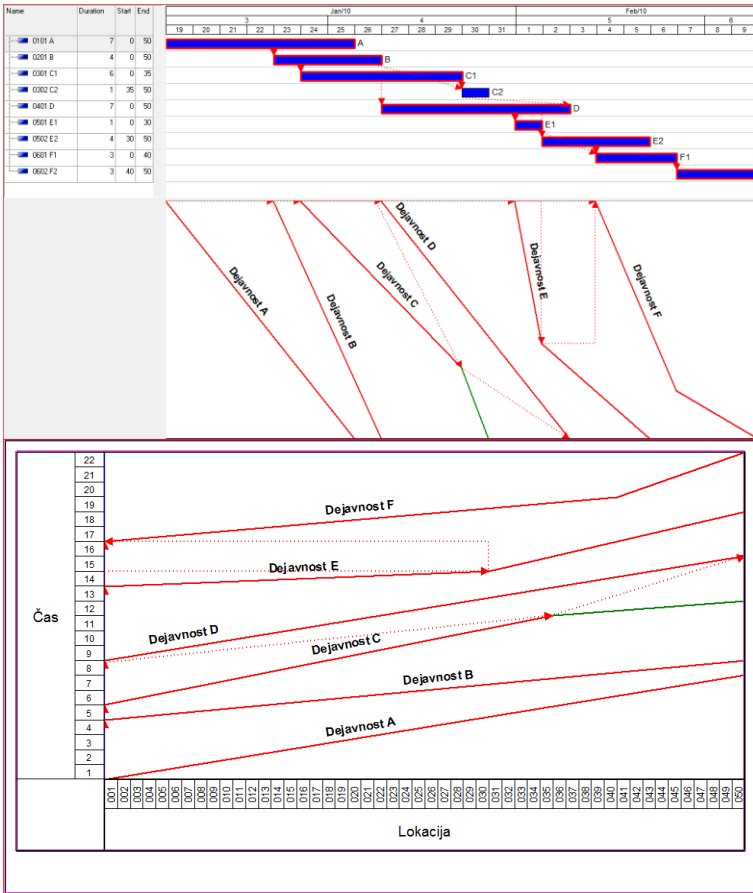
Slika 39: Spremljanje napredka

Spremljanje napredka, ki ga nudi Tilos, se mi zdi zanimivo predvsem za analizo po sami izvedbi projekta. S posodabljanjem izhodiščnega plana dobimo drugačen, toda realen potek projekta. Grafični prikaz poteka aktivnosti, zaradi svoje enostavnosti, omogoča trivialno analizo vzroka odstopanj, ki jih lahko upoštevamo v naslednjih projektih. To pomeni, da bi bil z vsakim izvedenim projektom dejanski potek bolj podoben izhodiščnemu planu. Zaradi tega ne bi prihajalo do zamud in posledično do kršenja pogodbe. Mislim, da je tak način zniževanja stroškov veliko bolj efikasen, kot naprimer zniževanje na račun delovne sile, katere produktivnost bi, zaradi negativne stimulacije, še dodatno padla.

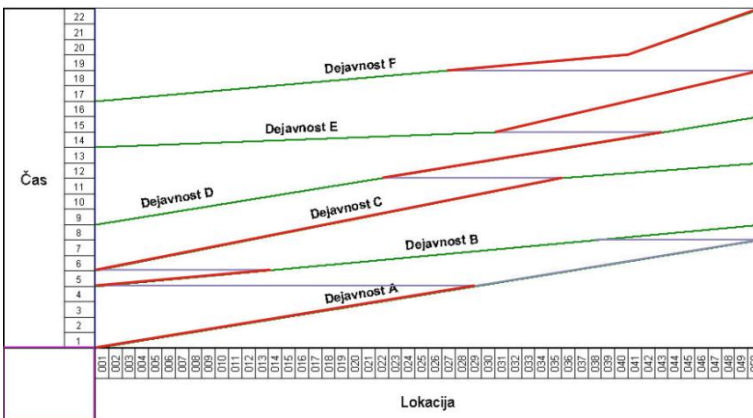
4.4.5 Kritična pot

Tilos kritično pot izračuna in prikaže s pomočjo algoritmov za izračun kritične poti po metodi CPM, kar lahko vidimo s pomočjo gantograma iz naslednje slike (slika 40: Prikaz kritične poti v Tilosu - zgoraj). Slika 40 (spodaj) z rdečo prikazuje potek kritične poti projekta. Za primerjavo sem na istem primeru z rdečo označil kritično pot po Harmelinku (slika 41: Prikaz kritične poti po Harmelinku). Opazimo lahko, da sta kritični poti povsem različni. Metoda CPM prepozna celotno dejavnost kot kritično medtem, ko je pri LSM lahko kritičen le segment dejavnosti. Tako je več maneverskega prostora za planiranje, saj imajo nekritični

segmenti rezervo, s katero ne vplivamo na trajanje projekta. Po metodi CPM bi imeli za isti projekt rezervo le v dejavnosti C₂.



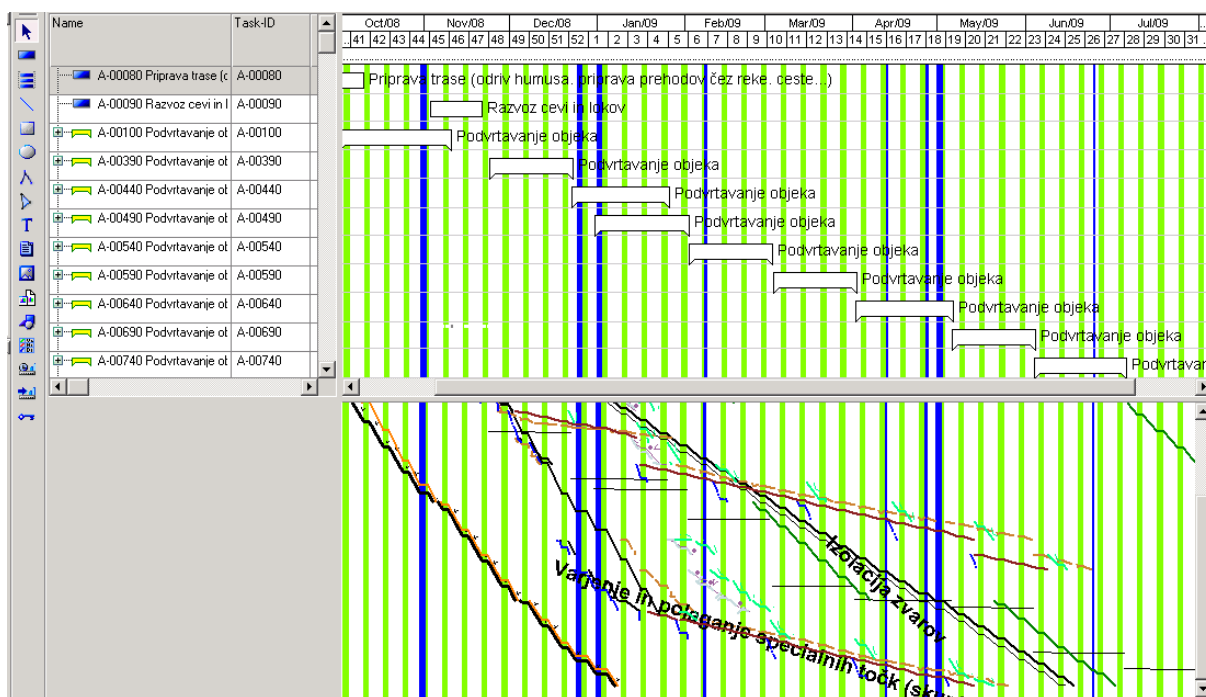
Slika 40: Prikaz kritične poti v Tilosu



Slika 41: Prikaz kritične poti po Harmelinku

4.4.6 Gantogram

V Linear projectu GmbH so snovalci Tilosa pomislili tudi na uporabnike, ki so vajeni dela v gantogramu. Slednji se lahko prav tako pohvali s pestrostjo funkcij. Osebnostno mi je bolj všeč delo v časovno – lokacijskem pogledu. Prednost gantograma se kaže v urejenem seznamu vseh dejavnosti. Za tiste, ki želijo oba pogleda hkrati, obstaja kombinirani pogled. Za delo v Tilosu je potreben velik zaslon, še posebej, če bi radi delali z obema pogledoma hkrati.



Slika 42: Kombinacija časovno - lokacijskega pogleda in gantograma

5 PRIMER

5.1 Specifika gradnje plinovodov

V Republiki Sloveniji urejata področje gradnje plinovodov za javno oskrbo s plinom Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom do vključno 16 barov (Ur.l.RS 26/04, 64/02) in Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom nad 16 bar (Uradni list RS, št. 60/2001). Visokotlačni plinovodi morajo biti zgrajeni po zadnjem stanju tehnike.

5.1.1 Lastnosti zemeljskega plina

Zemeljski plin, katerega glavna sestavina je metan, nastopa v plinastem agregatnem stanju. Je brez barve, vonja in ni strupen. Lažji je od zraka in je gorljiv. Pri načrtovanju, gradnji in vzdrževanju plinovodov je potrebno posvetiti posebno pozornost varnosti proti eksploziji. Slednja je možna le, če so hkrati izpolnjeni naslednji pogoji:

- prisotnost kisika, pri čemer je koncentracija mešanice znotraj eksplozijskih meja,
- prisotnost učinkovitega vira vžiga in
- navzoča nevarna količina eksplozivne atmosfere.

Za preprečitev eksplozije je potrebno zagotoviti zaščito pred vsaj enim od zgoraj omejenih pogojev. Pomagamo si z zračenjem, dodajanjem inertnih plinov in nadzorom koncentracije.

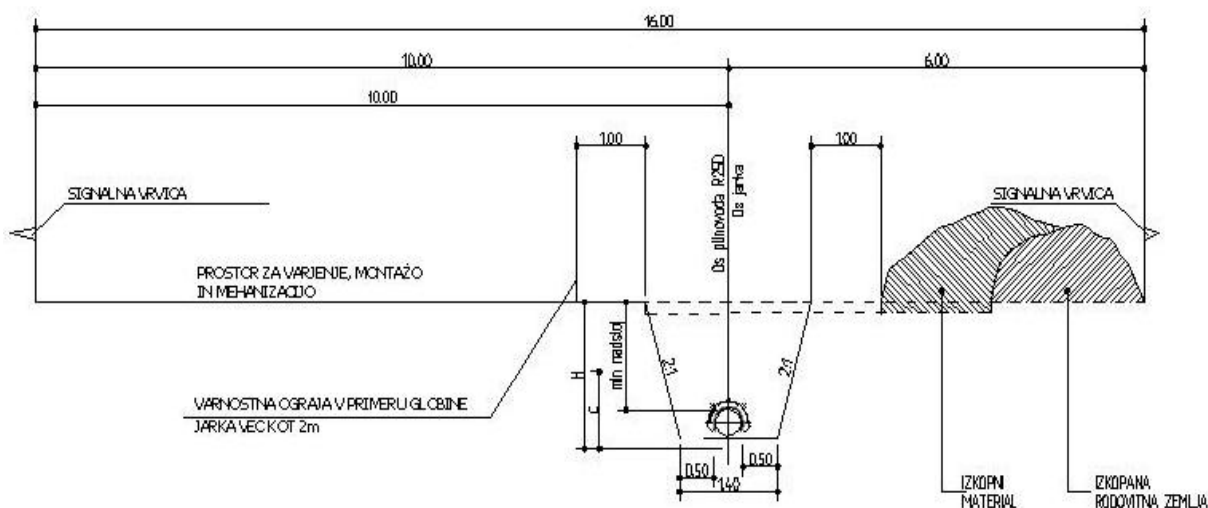
5.1.2 Ukrepi pri nezgodah

- Zemeljski plin, pri vdihovanju večjih koncentracij, povzroča izgubo zavesti in nato zadušitev zaradi pomanjkanja kisika, zato je potrebno poškodovanca v najkrajšem času prenesti na svež zrak, odpeti tesna oblačila in po potrebi nuditi umetno dihanje in masažo srca do prihoda nujne medicinske pomoči.
- Kadar pride do požara, le tega gasimo s prahom, vodno meglo in CO₂ v zaprtih prostorih. Uporaba pene je v tem primeru neučinkovita. Po daljšem požaru plamen pogasimo šele, ko je okolica ohlajena z vodo, sicer obstaja možnost ponovnega vžiga.

- Pri uhajanju plina se tvorijo z zrakom eksplozivne zmesi, ki ob učinkovitem viru vžiga reagirajo, zato je potrebno preprečiti iskrenje. Izvoru uhajanja vedno pristopimo iz smeri »veter v hrbet«. Z eksplozimetrom moramo določiti nevarna območja, jih označiti in preprečiti dostop. V ogroženem območju je obvezna uporaba zaščitnih oblek pred visoko temperaturo in izolirnih dihalnih aparatov.

5.1.3 Osnove gradnje cevovoda

Pred začetkom gradnje je potrebno določiti delovni pas za izvajanje del. Širina delovnega pasu se določi na podlagi premera plinovodne cevi, načina polaganja, vrste strojev, odlaganja in količine izkopanega materiala ter potrebne transportne poti.



Karakteristični prerez delovnega pasu plinovoda (Z. Vučkovič, Tehnološka podpora gradnji plinovodov, 2008, str. 5)

Gradnja plinovodov je tehnološki proces, ki ga definirajo naslednje gradbene dejavnosti:

- **odriv humusa**; omogočimo nemoten prehod po delovnem pasu. To fazo izvedemo z bagrom ali z buldožerjem (odvisno od količine humusa).
- **izkop kanala**; poteka tako, da bager goseničar z izkopno zajemalko koplje kanal in material odlaga na delovni pas plinovoda. Zajemalka je trapezne oziroma V-oblike, širine 60 – 120 cm, odvisno od premera cevi, in ustreznega naklona stranic (2:1).



Trapezna oziroma V izkopna zajemalka (Z. Vučkovič, Tehnološka podpora gradnji plinovodov, 2008, str. 7)

- **priprava posteljice**; posteljico pripravimo v debelini 10 cm po celotnem dnu kanala. Uporabimo material frakcije 0/4 mm, ki ga pripeljemo s kamnoloma ali gramoznice. Pri pripravi posteljice in obsipu plinovodne cevi si pomagamo s specialnimi bagri s podaljšano ali takoimenovano »long reach« roko, s čimer zagotovimo večje vplivno območje za delovanje stroja.



Bager z long reach roko (Z. Vučkovič, Tehnološka podpora gradnji plinovodov, 2008, str. 8)

Zgornja fotografija prikazuje tudi delovne pogoje pri gradnji plinovoda. Kljub slabim vremenskim razmeram ne ustavljamo gradnje, zato je potrebno priskrbeti primerno

mehanizacijo kajti v nasprotnem primeru bi prišlo do občutnega povečanja nepotrebnih stroškov.

- **polaganje cevi**
- **obsip plinovodne cevi** poteka tako, da s pripeljanim materialom frakcije 0/4 mm obsujemo položeno cev. Material za pripravo posteljice in obsip cevi lahko pridobimo tudi s pomočjo mobilnih drobilcev. Ti izkopani material zdrobijo v ustrezne frakcije. S tem ukrepom zmanjšamo stroške transporta materiala, saj lahko izkopani material drobimo neposredno na samem gradbišču. Poleg tega je cena izkopenega materiala bistveno nižja kot cena materiala pripeljanega iz gramoznice ali kamnoloma.



Drobljenje izkopenega materiala (Z. Vučkovič, Tehnološka podpora gradnji plinovodov, 2008, str. 9)

- **zaključna dela**; na koncu je zemljišče potrebno vzpostaviti v prvotno stanje in sicer tako, da humus, ki smo ga odrinili, planiramo po celotnem delovnem pasu.

6 ZAKLJUČEK

Za uspešno realizacijo gradbenih projektov je potrebna izdelava dobrega plana, v katerem moramo predvideti vse morebitne motnje, hkrati pa mora omogočati nadzor nad projektom.

Poznamo precej tehnik planiranja, vendar je, zaradi enostavnosti in možnosti vsestranske uporabe, najbolj razširjena mrežna metoda planiranja. Na žalost ta metoda ni najbolj primerna za načrtovanje longitudinalnih objektov, katerih dejavnosti potekajo linearno in kontinuirano. Za razliko od stavb je pri linearnih objektih poleg časa, pomembna tudi lokacija, zato se je izdelave plana zanje bolje lotiti z linearno metodo planiranja, saj mrežna lokacije ne upošteva.

V diplomski nalogi sem preverjal smotrnost uporabe Tilosa pri izdelavi terminskega plana gradnje linearnega objekta. V mojem primeru je bil to plan plinovoda Kidričevo – Rogatec, ki je bil že izdelan v MS Projectu. Tilos lepo prikaže napake, ki so nastale pri izdelavi plana v MS Projectu. Tu gre predvsem za križanja in nelogičen vrstni red dejavnosti. Prav ta grafični prikaz dejavnosti je glavna prednost Tilosa pred MS Projectom. Dodatni razlogi, ki Tilosu štejejo v prid, so izredno pregledne tabele ter grafi virov in stroškov, enostavno spremljanje plana in kompatibilnost z drugimi programskimi orodji.

Največji problem Tilosa in podobnih programov je po mojem mnenju cena, ki znaša nekaj tisoč evrov. Naj za primerjavo omenim ceno licence najbolj uporabljanega planerskega programa MS Projecta, ki se giblje nekje do petsto evrov. Razlika je na videz ogromna, vendar podjetja, ki se ukvarjajo z izgradnjo linearnih objektov, ne bi smela oklevati pri nakupu tovrstnih programskih orodij, saj se vložena sredstva povrnejo pri naslednjem večjem projektu.

Druga velika težava, ki negativno vpliva na uporabo sodobne programske podpore, je starejša generacija planerjev. Večina jih je strokovnjakov na področju organizacije del, vendar zna le peščica kombinirati svoje znanje z uporabo računalnika. Računalniška pismenost je danes ključ k napredku in menim, da bi se moral vsak udeležiti pomembnejših tečajev.

Metoda linearnega planiranja je končno doživela uporabnost v računalniškem smislu, saj je do pred kratkim veljala le za grafično tehniko prikazovanja plana. K uspehu so pripomogli

predvsem Harmelink, Rowings in Lucko. Zasluge lahko pripišemo tudi strokovnjakom, ki so linearno metodo planiranja implementirali v računalniške sisteme. V prihodnje je Tilosu potrebno dodati še algoritem za izračun kontrolne poti po LSM in tedaj bo povsem neodvisen od mrežnega planiranja.

VIRI

Gradnja visokotlačnih plinovodov z delovnim tlakom nad 16 bar - Priporočila za gradnjo in nadzor, hammerer-system-messtechnik, 2006. Ljubljana, Geoplan d.o.o.: str. 5, 6, 9, 10.

Harmelink, D. J., Rowings, J. E. 1998. Linear scheduling model: Development of controlling activity path. *Journal of construction engineering and management* 124, 4: 263–268.

Harmelink, D. J., 2001. Linear scheduling model: Float characteristics. *Journal of construction engineering and management* 127, 4: 255–260.

Harmelink, D. J., Yamin, R. A. 2001. Comparison of linear scheduling model (LSM) and critical path method (CPM). *Journal of construction engineering and management* 127, 5: 374-381.

Košorog, A., Babič, V. 2009. Linearno planiranje gradnje plinovoda s programom Tilos. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 7, 8, 12, 13, 15.

Linear project GmbH. Tilos version 6, What is new in this version?.

<http://www.tilos.org/fileadmin/downloads/doc/Tilos6WhatIsNew.pdf> (10.12.2009).

Lucko, G. 2009. Productivity scheduling method: Linear schedule analysis with singularity functions. *Journal of construction engineering and management* 135, 4: 246-253.

Lucko, G., Orozco Pena, A. A. 2009. Float types in linear schedule analysis with singularity functions., *Journal of construction engineering and management* 135, 5: 368-377.

Mattila, K. G., Abraham, D. M. 1998. Resource leveling of linear schedules using integer linear programming. *Journal of construction engineering and management* 124, 3: 232-244.

Mattila, K. G., Park, A. 2003. Comparison of linear scheduling model and repetitive scheduling method. *Journal of construction engineering and management* 129, 1: 56-64.

Vučkovič, Z. 2008. Tehnološka podpora gradnji plinovodov. Ljubljana, SCT d.d.: str. 4, 5, 6, 7, 8, 9.