

**Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku**  
**Specijalistički stručni studij**



**Predavanja iz predmeta**

# **UPRAVLJANJE PROJEKTIMA I OPTIMIZACIJA PROJEKATA**

## **Vremensko planiranje**



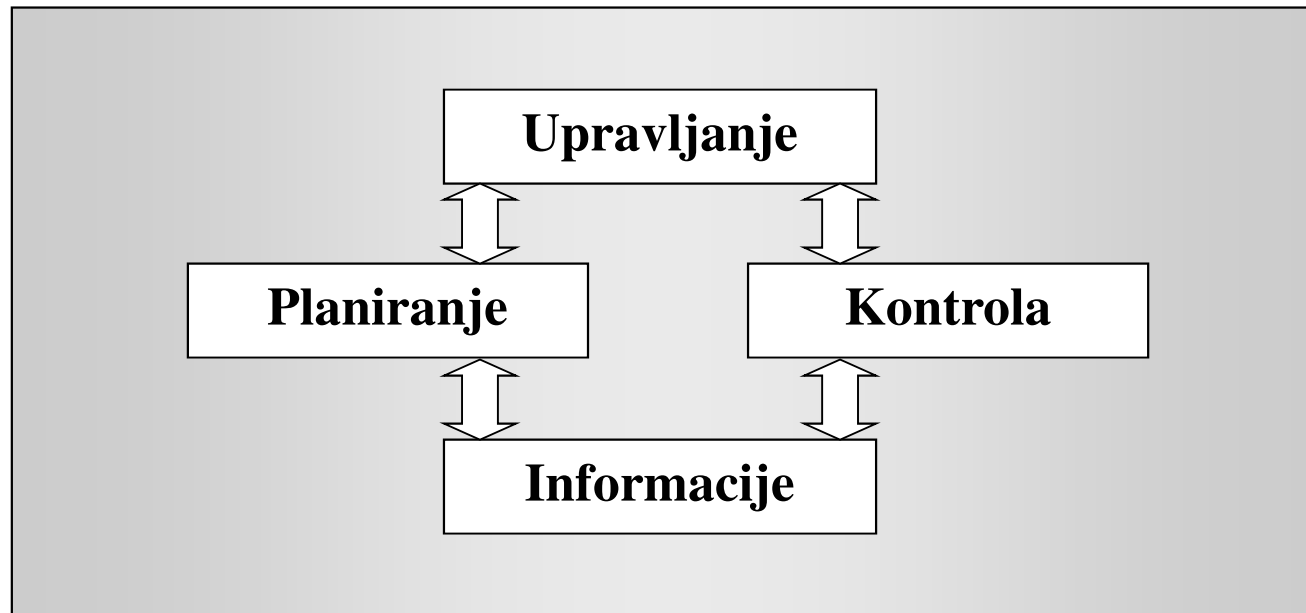
**2020 - 2021. akdem. god.**

**Viši predavač**  
**Mr.sc. Držislav Vidaković, d.i.g.**

# PLANIRANJE

- Planiranje je polazna funkcija rukovođenja manifestirana u procesu definiranja ciljeva koje treba ostvariti, utvrđivanju preduvjeta u kojima će se ti ciljevi realizirati, izbora pravaca djelovanja, sredstava, metoda i tehnika za njihovo postignuće. Planiranje se često definira kao **racionalna vizija budućnosti**. **Što je rukovodna razina viša, to vizija mora biti dugoročnija**. Ona, međutim, mora biti shvatljiva i menadžerima na nižim razinama jer skupni napor ne može biti učinkovit ako svi uključeni u rad ne znaju što se od njih očekuje. Planiranje je najvažnija funkcija rukovođenja. Uključuje *izbor ciljeva i aktivnosti za njihovo ostvarivanje; vodi na određeno mjesto u budućnosti na koje se želi stići* i bezuvjetno podrazumijeva inovativni duh menadžera. Da bi se učinkovito planiralo treba biti svjestan prilika u kojima će se ostvariti plan rada i realno dijagnosticirati šanse za razvoj, postaviti ciljeve, analizirati pretpostavke planiranja, identificirati moguće alternative, izraditi planove za pojedine segmente djelatnosti, te predvidjeti troškove realizacije planova.
- Ciljevi su krajnje točke kojima su usmjerene aktivnosti i oni izražavaju rezultate koje treba ostvariti. Da bi se planirani ciljevi mogli ostvariti, **treba uskladiti ljudske i materijalne resurse**, podijeliti radne uloge i koordinirati pojedinačne i skupne napore kroz proces organizacije rada.
- **Planiranje i kontrola za građevinske projekte su neophodni** jer :
  - građevinarstvo se odlikuje složenošću, specijalizacijom, multidisciplinarnošću;
  - u današnjim uvjetima tržišta treba biti brži od konkurencije;
  - rizici u građevinarstvu su u porastu, konkurencija sve veća, a opseg poslova i moguća visina cijene sve manji.Okolina utječe na plan, te je obvezatno trajno planiranje - dinamičko planiranje. Ne postoji jednoznačna tehnika planiranja projekata. Planiranje treba biti realno, široko, s jasnim ciljevima i dokumentacijom. Prilikom planiranja uvijek treba postavljati pitanja, **zašto, kada, kako, tko, gdje**.

# Praćenje, koordinacija i kontrola pokrenutih projekata



**Upravlјati projektom** znači planirati trajanje aktivnosti i vrijeme (termin) njihovog izvođenja, pratiti napredovanje i poduzimati mjere za postizanje ciljeva projekta.

# PLANIRANJE GRAĐEVINSKIH PROJEKATA

**Planiranje proizvodnje je jedno od osnovnih načela organizacije rada.** Ono omogućuje sagledavanje budućih događaja (prema Fayolu – predviđanje), te prema tome i poduzimanje potrebnih mjera da se oni svladaju.

**Planiranje je jedna od integralnih funkcija upravljanja** i za opću efikasnost poslovanja važna je organizacija njene provedbe.

**Plan je nezamjenjivi upravljački instrument project managementa tijekom svih faza razvoja građevinskog projekta.** Najzahtjevniju ulogu ima pri izvršenju, kada treba organizirati i realizirati konkretne radne zadatke uz optimalnu raspodjelu dostupnih resursa.



Sama **definicija projekta kao nerutinskog, nerepetivnog pothvata s određenim vremenom trajanja i određenim financijskim i tehničkim ciljevima ukazuje na složenost problematike njihovog planiranja.** Za razliku od planiranja procesa s repetativnim operacijama u relativno statičnoj situaciji, projekti su uvijek unikatni pothvati i odvijaju se u promjenljivim uvjetima. Zato, **osim tehničkih znanja, planiranje iziskuje i logiku i intuiciju, kao i dozu kreativne i konceptualne sposobnosti.**

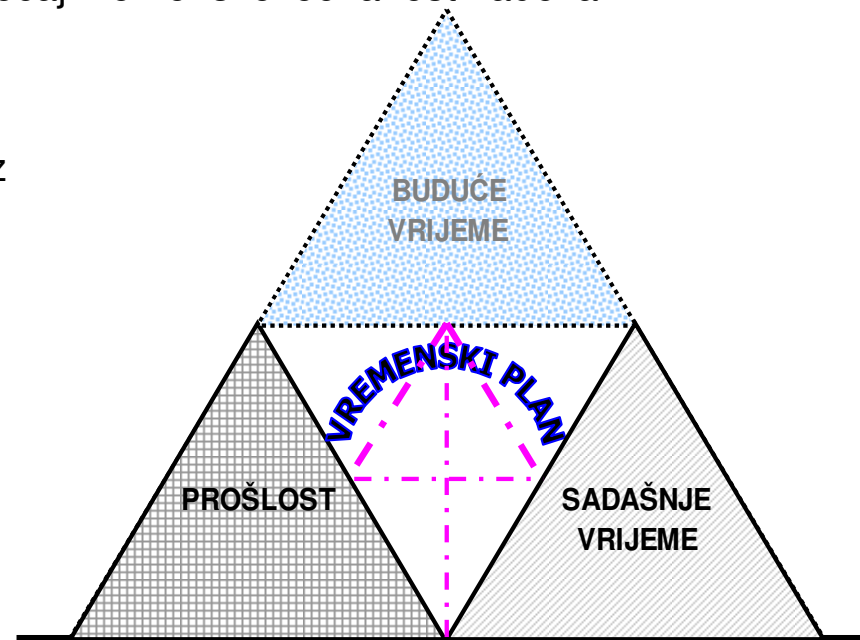
Građevinarstvo je u tom pogledu posebno zahtjevna djelatnost, zbog veličine i složenosti konačnog proizvoda, te okruženja u kojima se radovi odvijaju. Potrebna je velika količina najrazličitijih materijala, opreme i strojeva, te veliki broj radnika različitih struka i kvalifikacijske strukture, izvođenje je u velikoj mjeri izloženo prirodnim nepogodama, a vrijeme građenja proteže se na mjeseci i godine. Stoga je jasno da je **realizacija građevinskih projekata izložena djelovanju velikog broja predvidivih i nepredvidivih rizika.** Ali to nikako ne treba biti argument protiv posvećivanja pune pozornosti planiranju, već baš naprotiv.

Od idejnog do izvedbenog projekta organizacije građenja kod izvoditelja, i još prije, od početka razmatranja projektne ideje u fazi koncipiranja, pa sve do praćenja realizacije, **vrijeme je nezaobilazna komponenta planova.**

Vrijeme, ne samo u smislu nekog roka projekta s vremenskim rasporedom aktivnosti na koje je podijeljen, nego i definiiranja dinamičkog rasporeda radne snage, strojeva, materijala, novca i svih drugih potrebnih resursa, a s mogućnošću iznalaženja optimalnih veličina obzirom na njihov međusobne odnose i utjecaj vremenske lociranosti radova.

**Planiranje i planovi objedinjuju sva tri vremenska stanja** – na osnovu selektiranih i arhiviranih saznanja iz minulih projekata, regulative, kriterija i sredstava iz sadašnjosti i prema predvidljivim mogućnostima u budućem vremenu, određuju se lanci nadolazećih događanja (aktivnosti) izvršenja projekta kako bi se aktualni ciljevi ispunili.

U užem smislu planiranje je identifikacija slijeda događaja potrebnih za realizaciju projekta, a predviđanje je određivanje vremena i skupa projektnih aktivnosti.



**Korist koju planovi potencijalno mogu pružiti proporcionalna je trudu i znanju uloženom u njihovu izradu.** Naravno, da i vrijeme, zapravo troškovi, uloženi u njihovu izradu trebaju biti logični u odnosu na svaki konkretni slučaj (složenost, financijska vrijednost, stavke ugovora i dr.) po pitanju mogućeg sniženja rizika, odnosno u srazmjeru s mogućim uštedama (izbjegavanjem povećanja troškova).

**Praćenje rezultata realizacije velikog broja građevina, kako u nas, tako i u inozemstvu, nažalost potvrđuje učestalost proboja početno zacrtanih vremena i troškova.** Na to ukazuje izvješće Svjetske banke za razdoblje 1973 – 1988., prikupljeni podaci Sveučilišta u Bathu, te istraživanja projekata u Hrvatskoj u razdoblju 1996 – 1998. godine. Kod nas su utvrđeni proboji početno planiranog vremena kod čak 78% praćenih projekata, u prosječnom iznosu od 75% (uključujući i kašnjenja s početkom radova), a planirani troškovi su premašeni kod 81% projekata, u prosječnom iznosu od 32% (u fazi izvršenja). Rezultati nekih statističkih obrada projekata u SAD-u pokazuju da 75% projekata prekoračuje predviđene rokove, i to u prosjeku čak 222%, dok je prosječno premašivanje budžeta 189% (*The Product Development Institute Inc.*).

Planovi se na više načina odražavaju na proces i rezultate izvedbe. Koliki može biti njihov utjecaj pokazuju istraživanja u britanskom građevinarstvu kojima se ustanovilo da **prosječni gubitak od 12% raspoloživog vremena nastaje zbog zastoja koje se moglo izbjeći i koji su gotovo isključivo proizašli iz kasnog početka i ranog završetka radova.**

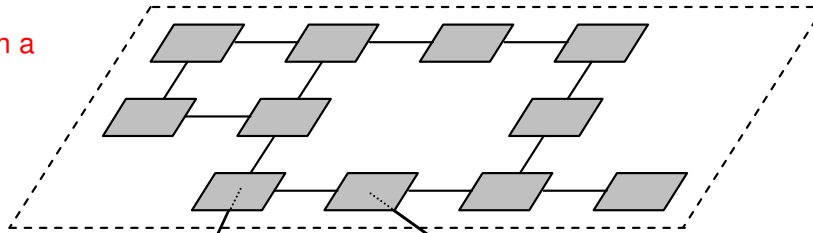
Sigurno da problemi s planiranjem i postupanjem s planovima nisu jedini uzrok devijacijama ostvarenih rezultata, ali znakovito je kako se čak **trećina od u nas motrenih projekata radi bez ikakvog planiranja**, svega 8% s mrežnim planom, a 58% koristilo je samo gantogram, koji pruža vrlo slabe mogućnosti za optimalizaciju (istraživanje od prije 10 god.). Uz to, planiranje često biva samo formalno (da se "zamažu oči"), a zapravo sasvim nefunkcionalno.

**Neuspjeh jednoga plana potiče sumnju i u druge, predstojeće**, i tako se u očima svih sudionika još više narušava vjerodostojnost cijelog koncepta planiranja.

Pri uvođenju sustava planiranja u poduzeće, kao i kod svakog uvođenja nečeg novog, **potreban je određeni period uhodavanja**, kada treba steći i neka nova znanja i općenito unositi više energije u posao. Novi način rada potrebno je artikulirati kroz više pokušaja, koji ne daju odmah pozitivan rezultat, pa se tu uobičajeno javlja povećani otpor zaposlenih.

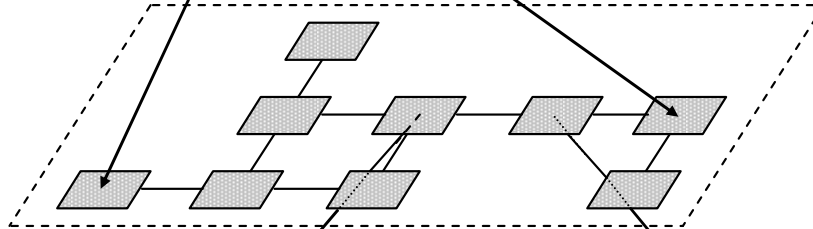
## Strateška razina

UKUPNO PODUZEĆE  
(sagledavanje  
svih projekata)



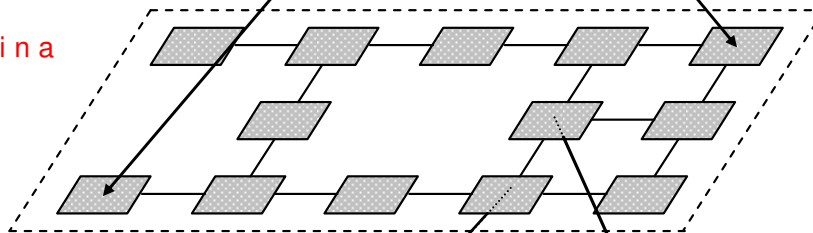
## Koordinacija

VODITELJ PROJEKTA  
(tzv. osnovni plan  
-obuhvaća cijeli projekt)

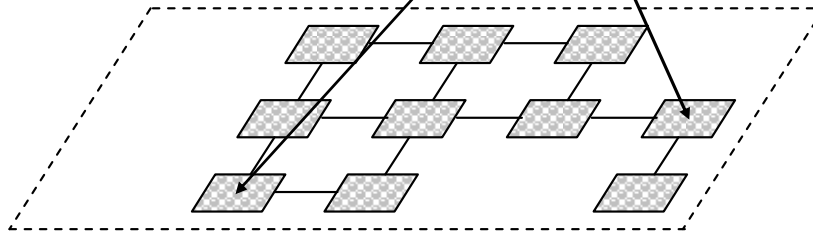


## Operativna razina

SPECIJALIST STRUKE  
(po vrstama radova)



STRUČNA OSOBA  
ZA IZVEDBU



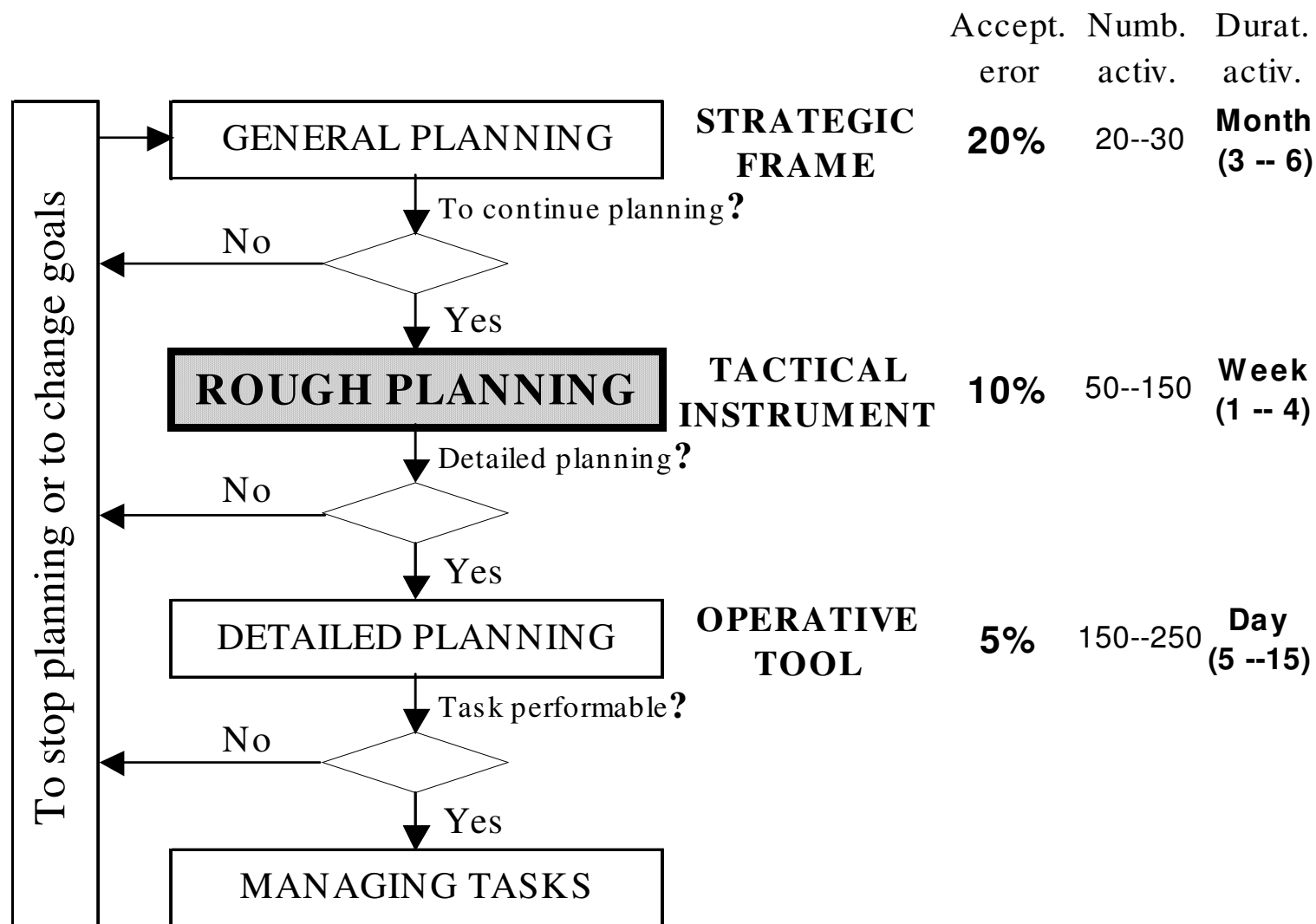
Kroz postupke planiranja u planovima se daju odgovori na pitanja: **ŠTO?**, **TKO?**, **KADA?**, **KOLIKO?**, **KAKO?**, **S ČIM?**



Prema strateškim odlukama donose se strateški planovi (dugoročniji), iz njih proizlaze taktični planovi, a oni određuju operativne planove (kratkoročniji) koji su u ovom predmetu u centru zanimanja.



# Razine detaljnosti planiranja u građevinskim poduzećima





# RAZINE I VRSTE PLANSKIH PRIKAZA I TEHNIKE (METODE) PLANIRANJA

Postoje različite tehnike planiranja, kao i načina prikaza njihovih rezultata, ali nema univerzalno najbolje. Svaka metoda ima svojih poznatih mana, a da bi one što manje došle do izražaja važan je izbor najprikladnije za svaki konkretni slučaj. To najprije ovisi o karakteristikama građevine koja će se izvoditi i fazi razvoja projekta, ali i krajnjem korisniku. Građevinarima, poglavito izvoditeljima, u fokusu zanimanja biti će vrste vremenskog planiranja za samu operacionalizaciju. Njihovi početni planovi izrađuju se i razrađuju u okviru idejnog i, nakon dobivanja posla, izvedbenog projekta organizacija građenja (POG), a poslije su vezani za tijek izvedbe.

Plan (rezultat planiranja) pogodan za prezentaciju prvih, inicijalnih ideja nikako neće biti dobar za gradilišnu primjenu, kao što ni operativni planovi sa svojim zahtjevima za brojnim tehničkim detaljima ne bi bili pogodni za ranije stadije projekta. Za primarne planove u fazi koncipiranja i definiranja projekta najčešće zadovoljavaju gantogrami, ortogonalni planovi i mrežni dijagrami. Kod svih projekata, osim onih vrlo jednostavnih, **uvijek je potrebno kombiniranje više komplementarnih tehnika planiranja.**

Razina detalja također treba biti prilagođena poziciji korisnika. Planovi ne smiju biti preopširni, niti pretjerano precizni, jer će takvi biti nerazumljivi i nepraktični za upotrebu, ali moraju pružati dovoljan opseg pravilno biranih informacija da bi ispunili sve svoje funkcije.

Rješenje može biti **podjela i razrada planova po hijerarhiji**. Cjelokupnim planom služi se voditelj projekta i koordinator svih radova, a pojedine dijelove detaljnije razrađuju oni koji su zaduženi za njihovo izvođenje (unutar poduzeća ili, kako je to u građevinarstvu često, kooperanti).

Obzirom na prethodno navedeno planovi mogu biti okvirni - direktivni (pregledni, po fazama radova) i operativni - detaljni.

# Razvoj SUSTAVNOG PRISTUPA u planiranju

- Sustav se definira kao objedinjenje ili pak kao kombinacija objekata, elemenata ili dijelova koji tvore složenu i jedinstvenu cjelinu. Sustavni pristup je pretpostavka za rješavanje složenih inženjerskih problema.
- Problem nastaje kada se stvori potreba za “nečim” iz okoline (nekim resursom, npr. strojevi, novac, radna snaga,...).
- Rješenje jest stvoriti sustav koji će “to nešto” uzimati iz okoline i pretvoriti ga u optimalni izlaz.
- Procedura za rješavanje problema:
  - Analiza nastalog problema;
  - Opis, specifikacija, definicija problema.
  - Definicija ciljeva. Ciljevi moraju biti jasno iskazani prije daljnjih koraka u rješavanju problema;
  - Razvoj kriterija, koji jasno vode rješenju;
  - Generiranje alternativa, što u stvari predstavlja rješenja problema;
  - Provjera fizičkih, ekonomskih i novčanih mogućnosti;
  - Optimizacija pogodnih alternativa.
  - Evaluacija optimizirane alternative i odabir najboljih rješenja. Ovaj korak zahtjeva uzimanje u obzir mogućih problema koji mogu nastati ukoliko se prihvati odabrano rješenje.
  - Implementacija rješenja.
  - Korištenje povratnih informacija i kontrole za neprestano unaprjeđenje sustava.

# Koraci u planiranju (u širem smislu) projekta

- Definirati ciljeve projekta i očekivani rok,
- Napraviti popis aktivnosti,
- Ustanoviti za promatranu aktivnost sve one koje joj neposredno prethode,
- Procijeniti trajanje svake aktivnosti,
- Izračunati vrijeme početka i kraja svake aktivnosti,
- Odrediti trajanje projekta i kritični put,
- Usporediti trajanje projekta sa zadanim rokovima,
- Rasporediti potrebne resurse po aktivnostima,
- Pratiti realizaciju aktivnosti,
- Poduzimati korektivne akcije radi postizanja cilja,



Planirati se mora baš zato, što se ništa ne odvija po prvotno postavljenom planu (*paradoks planiranja !*).

# UOČENI NEDOSTACI KOD VOĐENJA PROJEKATA (PLANIRANJA)

## KOJI VJEROVATNO VODE DO PREKORAČENJA PLANIRANIH ROKOVA I FINANCIJSKIH SREDSTAVA (M. Radujković, *Građevinar*, 1999.god.) :

- Ne postoji jača korelacija između roka građenja i veličine građevine i broja angažiranih aktivnosti (analiza međuzavisnosti urađena je na uzorku ispitivanih sličnih projekata)
- Početak realizacije se ne planira za klimatski povoljni period niti se klimatske smetnje uzimaju u obzir pri određivanju fonda radnog vremena i dinamike radova općenito
- Mali broj projekata se planira na odgovarajući način (od 105 ispitivanih 58% imalo je samo gantogram, a za 33% nije primjenjena niti jedna metoda planiranja)
- Kod gotovo svih ispitivanih projekata do prekoračenja dolazi odmah nakon početka izvršenja, a daljnji trend je gotovo linearan utrošku vremena
- Ne provodi se adekvatna koordinacija rada kroz tjedne sastanke za analizu izvršenja (samo 12% od ispitivanih projekata imalo je ažurirani plan sa naznačenim stanjem radova)

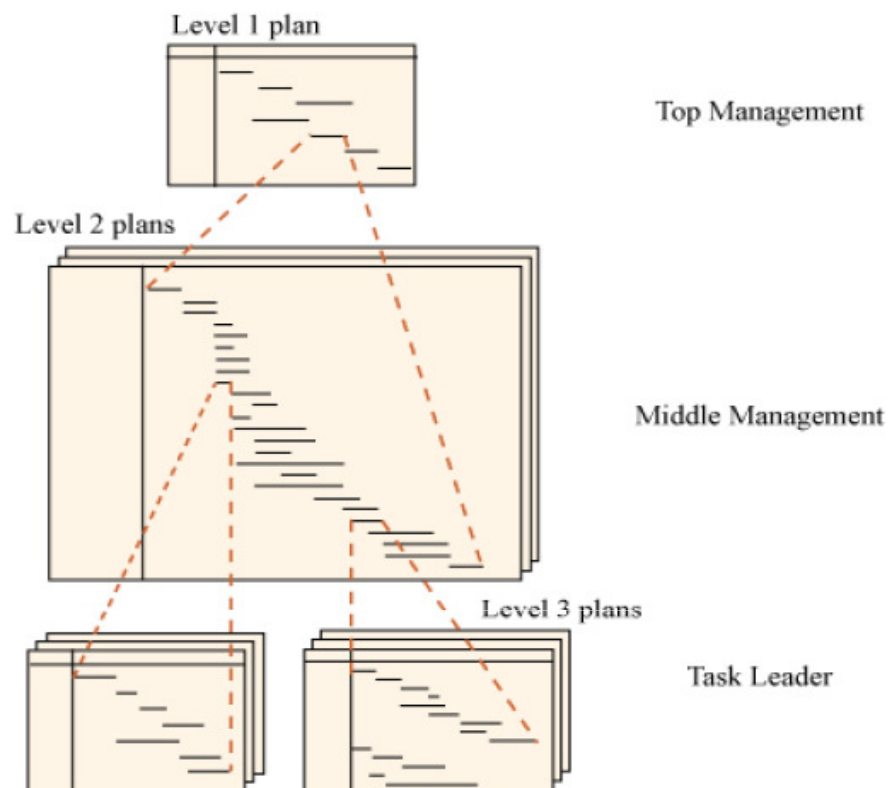
Sve to ukazuje na UČESTALU NEREALNOST PLANIRANIH I  
UGOVORENIH ROKOVA REALIZACIJE građevinskih projekata

# Planovi mogu biti:

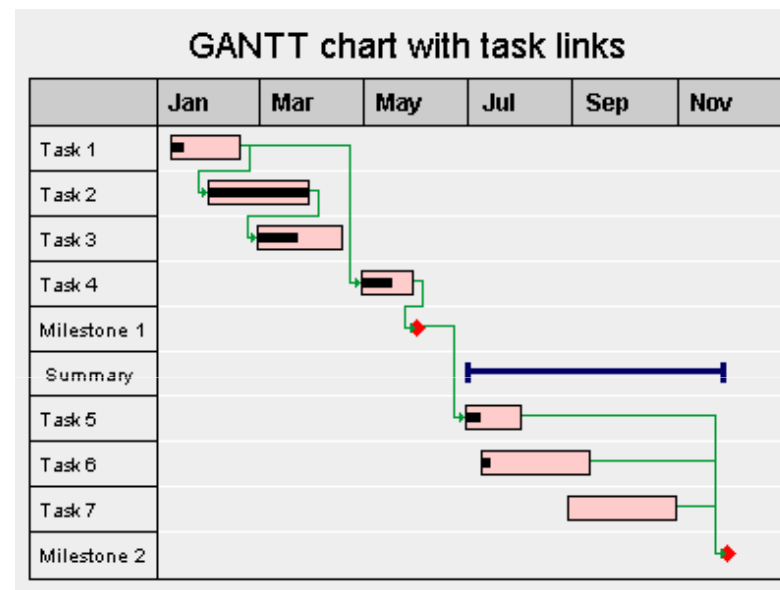
- statički** (bez vremenske komponente u sebi –npr. plan svih ukupno potrebnih materijala za projekt ili ukupno potrebnih radnih sati prema normativima) i
- dinamički ili vremenski**

Vrste dinamičkih planova prema sadržaju





Razne razine planiranja u planovima se uobičajeno povezuju preko ključnih događaja, koji se označavaju kao tzv. *milestone*.



## Za operativno rukovođenje,

ako je objekt linijski, odnosno ima jednu dimenziju jako izduženu u odnosu na druge (prometnice, tuneli, vijadukti, kanali, cjevovodi i sl.), preporučljivi su **ortogonalni planovi**.

U slučaju da je prema izabranoj tehnologiji i organizaciji izražena cikličnost radova tj. aktivnosti ili radnih proesa (uglavnom kod građevina koje se mogu podijeliti na više jednakih dijelova, npr. po etažama ili dužinskim dijelovima), kao osnovni ili pomoćni planovi primjereni su **ciklogrami**.

Za jednostavnije građevine koje nisu prethodno navedenih karakteristika dobar izbor mogu biti **gantogrami** ili samo **brojčani (tabelarni) planovi**.

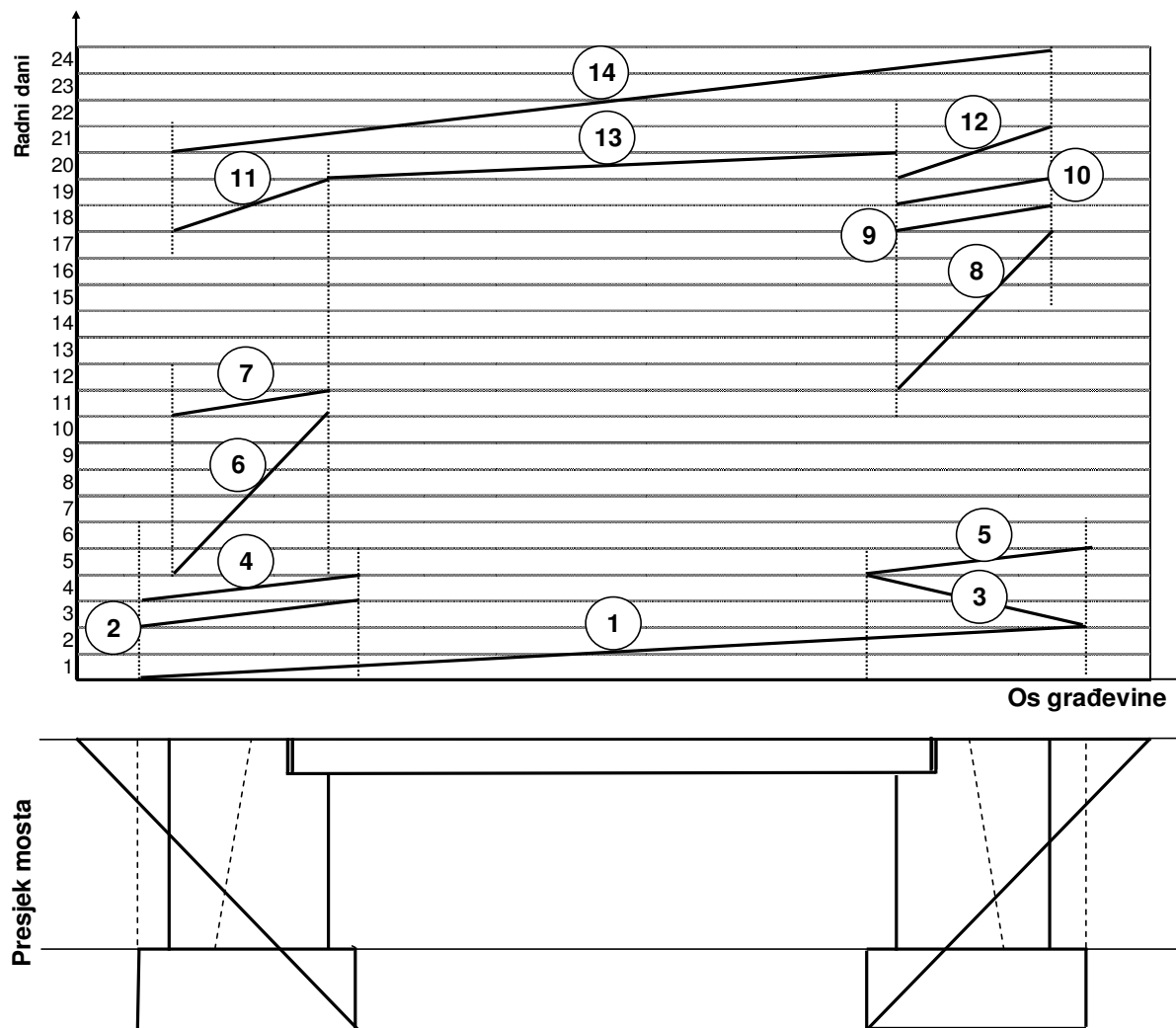
Svi ostali projekti iziskuju neku varijantu **tehnike mrežnog planiranja**.



## Ortogonalni planovi

Ortogonalni planovi imaju dvodimenzionalni prikaz i ubrajaju se u prostorne planove. Na jednoj osi (u pravilu vodoravnoj) vidljivo je mjesto odvijanja radova (uzdužni presjek, stacionaža), a na drugoj (okomitoj) upisana je vremenska podjela (radni dani ili kalendarski termini) u kojem je planirano odvijanje radova, koji su u planu prikazani linijama (nagib pravca označava brzinu izvođenja). Takvi planovi se mogu dobro koristiti u niskogradnji.

R. br.	Aktivnosti u ciklogramu	R. dana
1	Široki iskop	2
2	Iskop lijevog temelja	1
3	Iskop desnog temelja	1
4	Betoniranje lijevog temelja	1
5	Betoniranje desnog temelja	1
6	Armatura i opl. lijev. upornjaka	6
7	Betoniranje lijevog upornjaka	1
8	Skidanje opl. lijevog upornj. i postavljanje opl. i armature na desni	6
9	Betoniranje desnog upornjaka	1
10	Skidanje opl. desnog upornj.	1
11	Zemljani rad. oko lijevog upornjaka	2
12	Zemljani rad. oko desnog upornjaka	2
13	Montaža kolovozne ploče	1
14	Završni radovi na mostu	4



### Primjer ortogonalnog plana za gradnju manjeg mosta

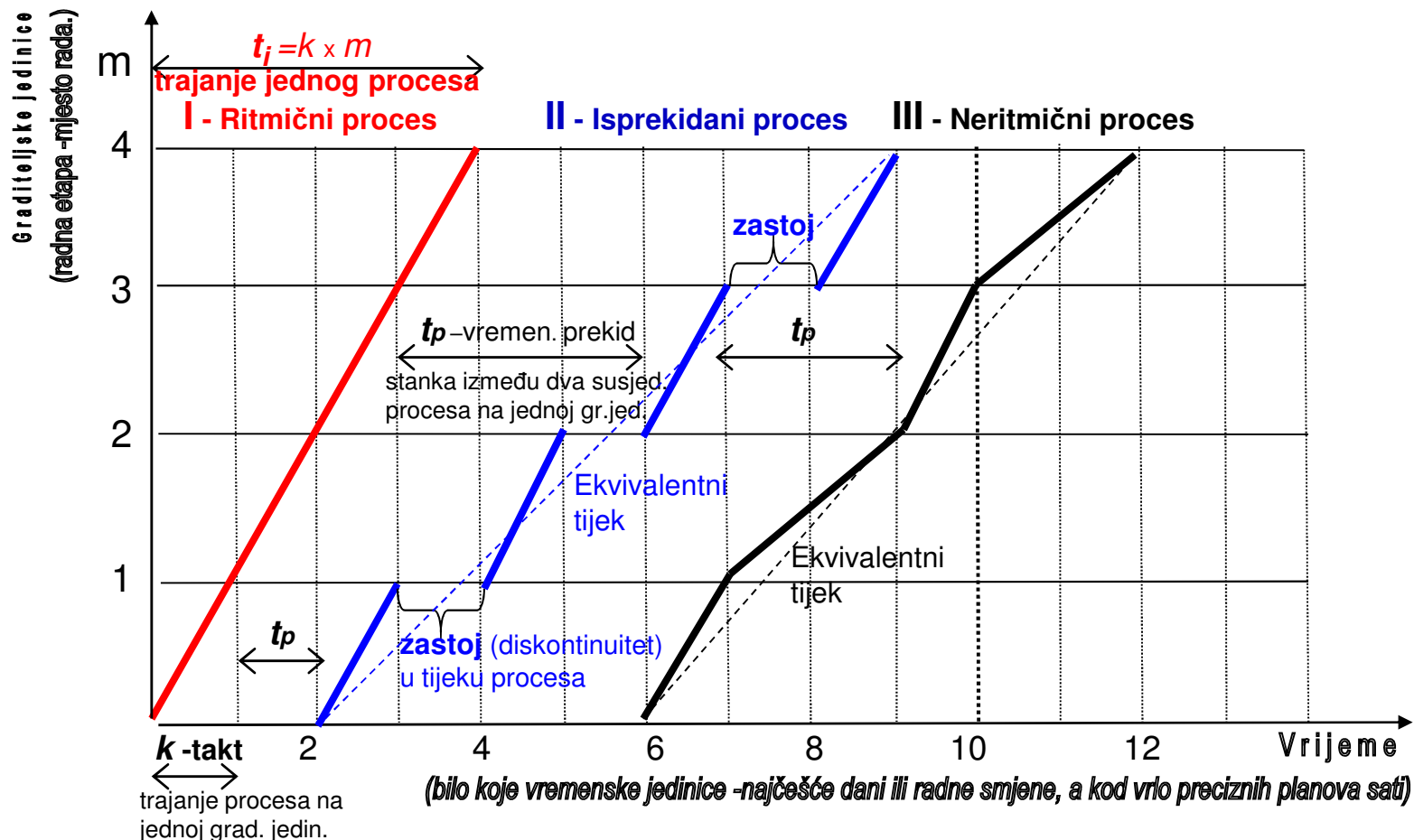
(Nonveiller S.: *Metode mrežnog planiranja i njihova primjena u rukovođenju građenjem*)



## Ciklogrami – posebna vrsta ortogonalnih planova

Razvila ih je mornarica SAD-a u II svjetskom ratu.

Pogodni su za radove koji imaju neprekinuti slijed aktivnosti, ali su nepregledni ako ih je veći broj.



**Modul cikličnosti** (takta) je trajanje jednog procesa na jednoj graditelj. jedinici i za ritmični kontinuirani tijek proizvodnje je:  $k = t_i / m$ . Tempo proizvodnje je recipročna vrijednost modula cikličnosti

*U jednoj graditeljskoj (prostornoj) jedinici ne smije se istovremeno odvijati više procesa.*

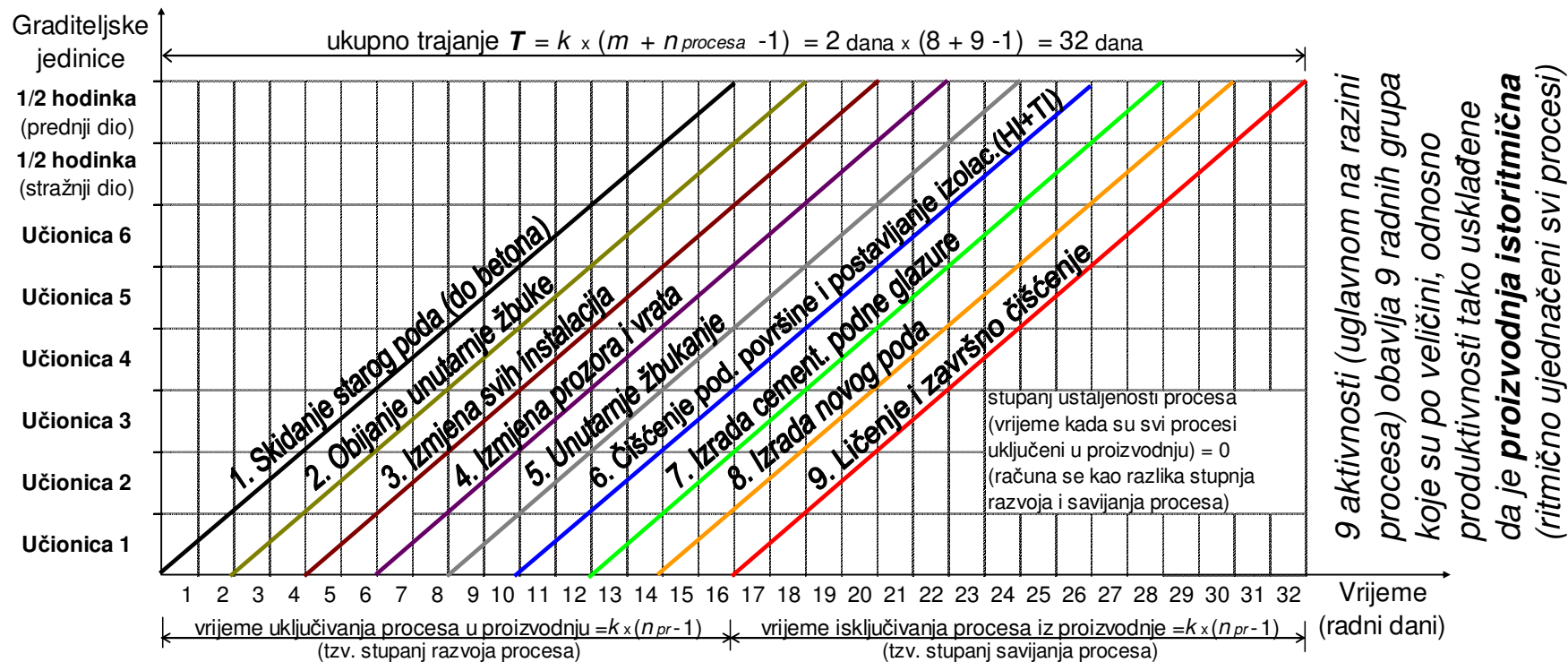
**Ritmična proizvodnja** je najpoželjnija jer omogućuje najkraće rokove uz minimalne proizvodne resurse (po jedna radna grupa za svaki proces), a za tehnološke procese koji se odvijaju na građevini poželjno je da su međusobno istoritmični ili barem sinkronizirani (prikazuju ih pravci koji su svi istog nagiba - paralelni). Ritmičnosti se u praktičnim slučajevima približava dobrom podjelom na graditeljske jedinice i prilagođavanjem (po veličini tj. učinku) radnih grupa koji na njima djeluju.

**Podjela građevina** može biti:

- vertikalna (-na etaže, tj. pojaseve rada) i
- horizontalna (-na približno jednake dijelove etaža, zbog čega je pogodno da su simetrične, tj. radne etape koje obavlja jedna grupa radnika; kod građevina velikih gabarita to može biti i podjela na dilatacije i sl.)

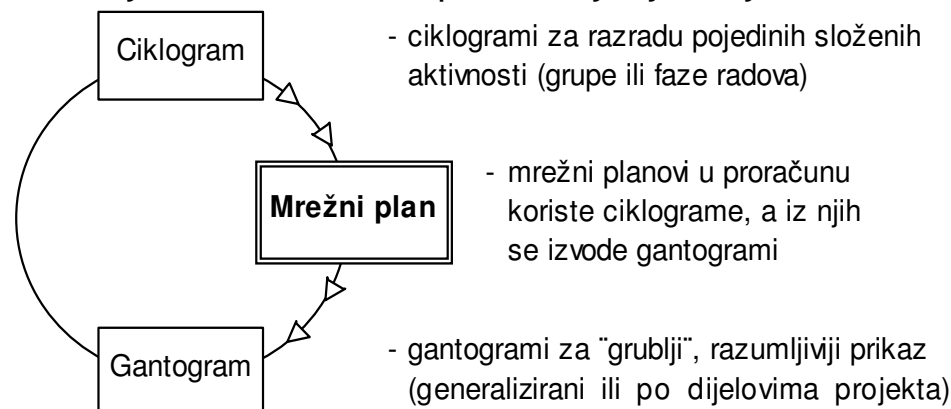
**Primjer ciklograma za obnovu dijela školske zgrade** (učionice i hodnik uz njih)

–horizontalna podjela prostora na 8 graditelj. jedinica približno jednake površine (količine plan. radova)

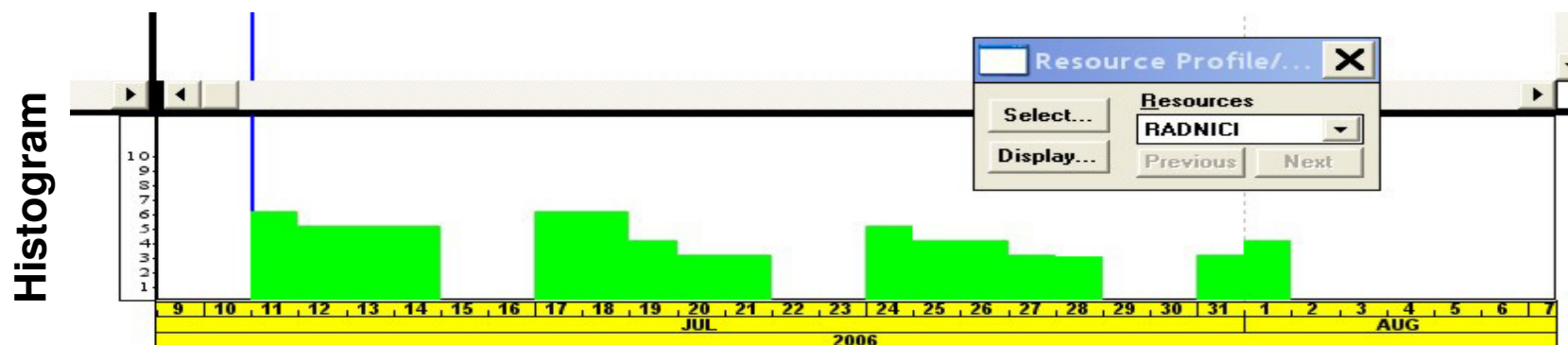


**Mrežni planovi** se primjenjuju od konca 50-tih godina 20. st. (*CPM - Critical Path method, PERT - Program Evalution and Review Technique*), no početno nisu osmišljeni za građevinske projekte). Od nekoliko vrsta i više podvrsta, obzirom na način određivanja trajanja aktivnosti, sadržaj čvorova i vremenske veze, za građevinske projekte **najpogodnijom se smatra metoda prethodnih aktivnosti** (*PDM - Precedence Diagramming Method*). Razvijena je 20-tak godina kasnije, ima aktivnosti u čvorovima i više vrsta vremenskih veza, uz primarno determinističko određivanje trajanja, te je na bazi njenog proračuna razrađeno najviše modela za optimizaciju rješenja.

**Za još detaljniju razradu** po potrebi se pristupa podjeli i proračunu plana po kraćim intervalima, te izradi tehničkih normala (definiiraju redoslijed pojedinih radnih procesa, uključujući i tehnološke zastoje, unutar jedne radne etape).



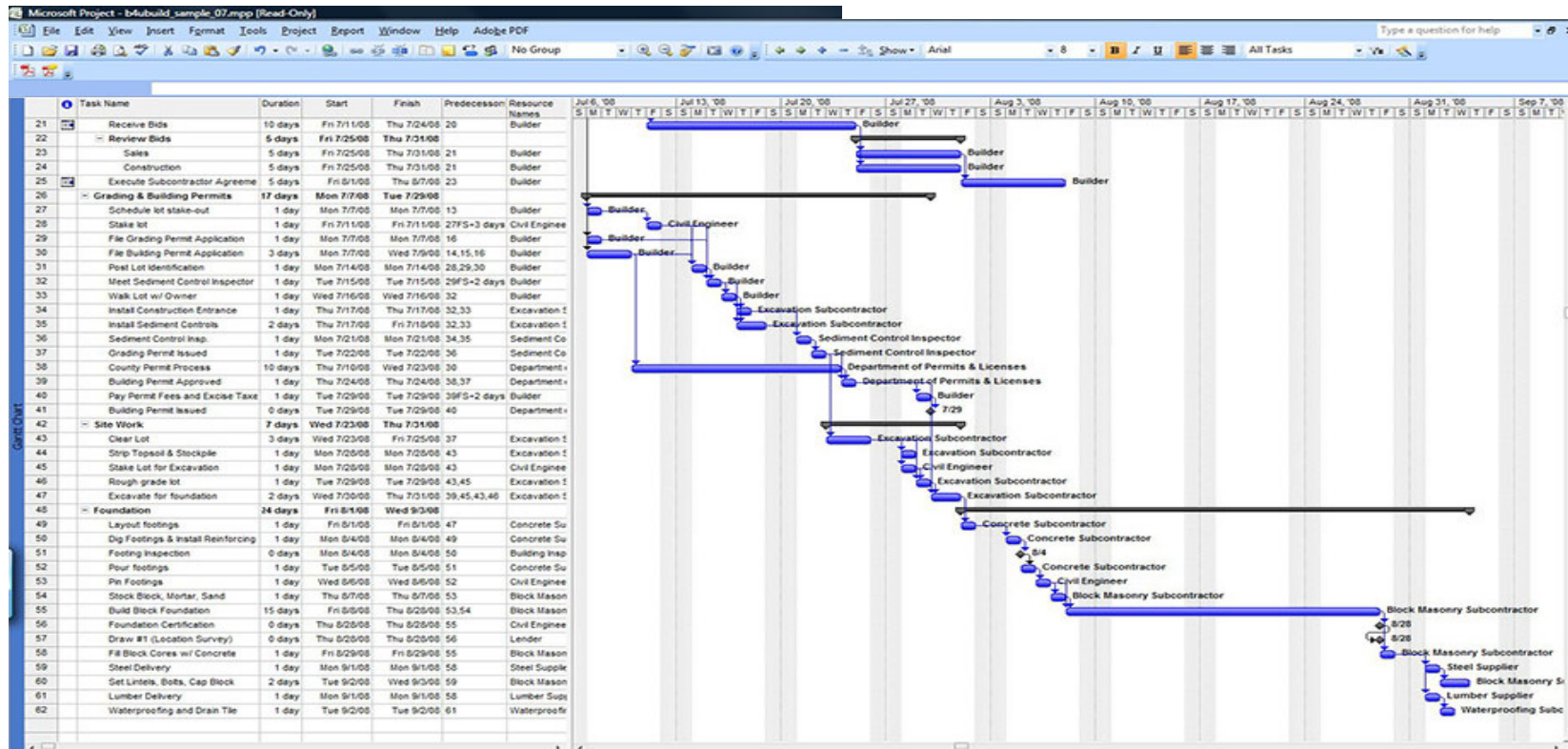
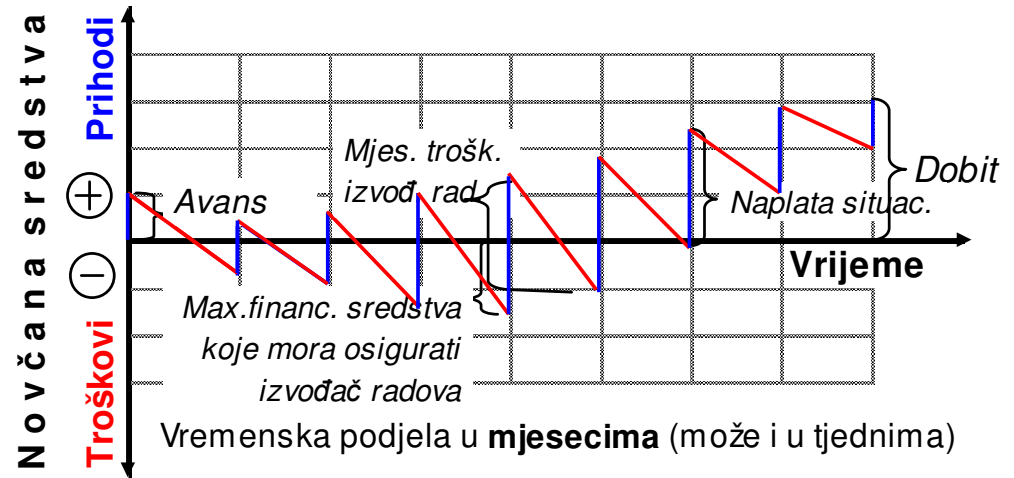
Kao dopuna se mogu koristiti različiti **izvedeni planovi** –tabelarni i jednostavni linijski prikazi - namijenjeni djelatnicima s manje znanja o planiranju i tehnologiji (i **za managere na više nivou upravljanja**). Takvi planovi su **cash flow dijagrami** (potrebni za finansijsko vođenje projekta) i **histogrami** rerursa koji služe za planiranje angažiranja potrebne radne snage i strojeva, te dobave i skladištenja materijala (uz iskaze materijale kao statične planove).

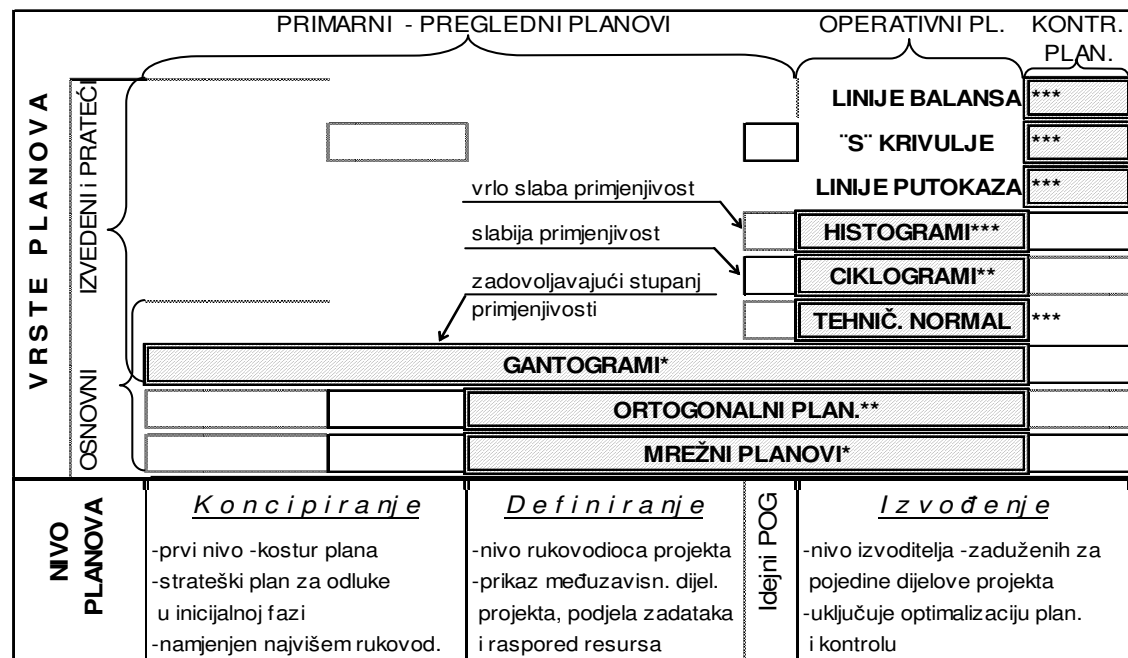


## “Cash flow” dijagram (tijeka novca) izvođača građ. radova

Na temelju mrežnog planiranja i dobivenog mrežnog plana može se izraditi gantogram koji ima naznačene veze i za kojega je poznato koje su aktivnosti kritične.

### Primjer gantograma s vezama





## Pregled najčešćih tehnika planiranja i kontrole u graditeljstvu obzirom na namjenu za pojedinu fazu projekta i nivo plana

- \* - širina polja primjene i kvaliteta rješenja znatno ovisi o izabranoj varijanti plana i stupnju razrade detalja;
- \*\* - primjenljivost znatno ovisi o karakteristikama objekta
- \*\*\* - zadovoljavaju samo u kombinaciji s drugim planovima

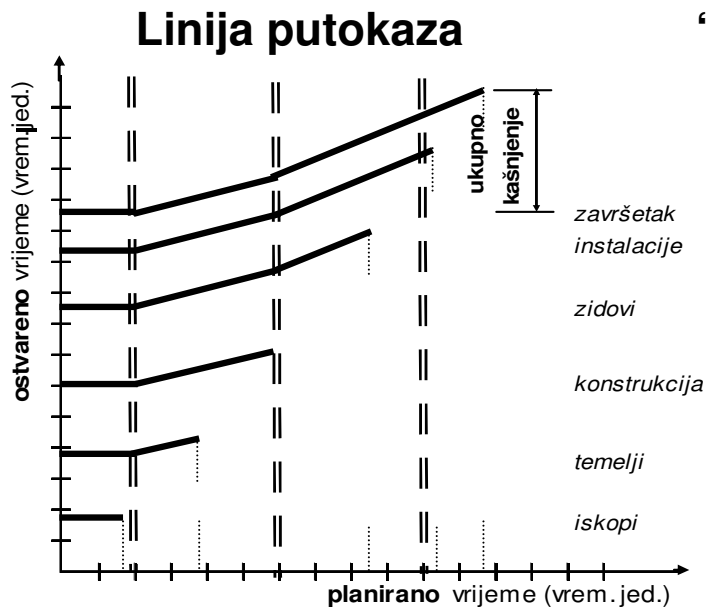
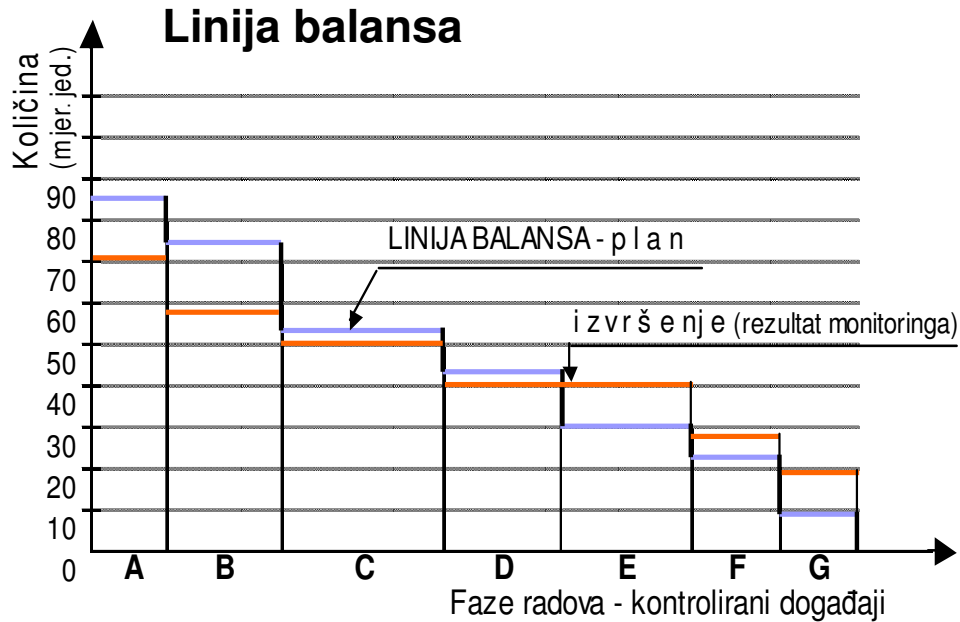
U fazi koncipiranja projekta potrebno je (i jedino moguće) grubo vremensko planiranje, odnosno procjenjuje vremena realizacije prema veličini, vrsti, sadržaju i kvaliteti buduće građevine. Kada je građevina isprojektirana (definirana) moguće je preciznije vremensko planiranje na bazi prosječne produktivnosti (opći normativi) ili s optimalnom organizacijom i najprimjerenijom opremom i drugim resursima. (Takav minimalni rok realizacije može odrediti samo konzalting s visokim nivoom stručnosti.) Izvođač radova planira realizaciju uzimajući u obzir svoje raspoložive resurse i njihovu učinkovitost (interni normativi i iskustvo), no za davanje ponude nije uobičajeno da se ulazi u detalje. Plan s ugovorenim rokom detaljno se razrađuje u fazi pripreme građenja, ali (pogotovo za veće građevine s dugotrajnijom realizacijom) i tijekom izvođenja radova (u skladu s napredovanjem i ostvarenim veličinama).

Plan, kao dokument koji prezentira rješenja procesa planiranja, uvijek treba biti

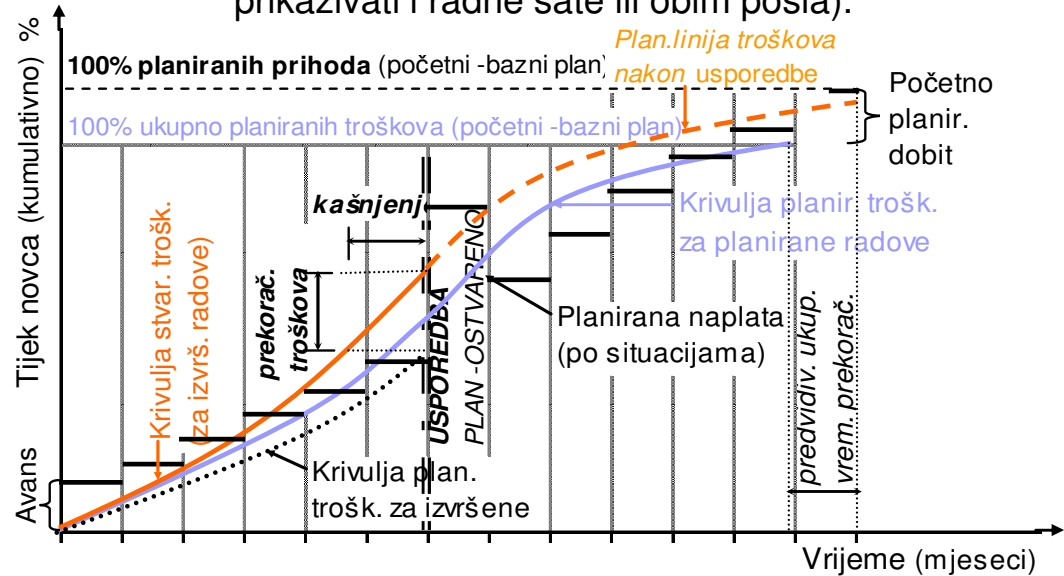
- **potpun** (sa svim radovima potrebnim za izvršenje projekta) i
- **pregledan** (čitljiv i razumljiv).

Isto tako je važna:

- **mogućnost rekonstrukcije podataka** (transparentnost puteva njihovog dobivanja) i
- **dinamičnost** tj. **fleksibilnost** (da se u slučaju odstupanja realizacije od planiranih vrijednosti što jednostavnije može ažurirati u skladu sa stvarno realiziranim količinama).



### “S” krivulja



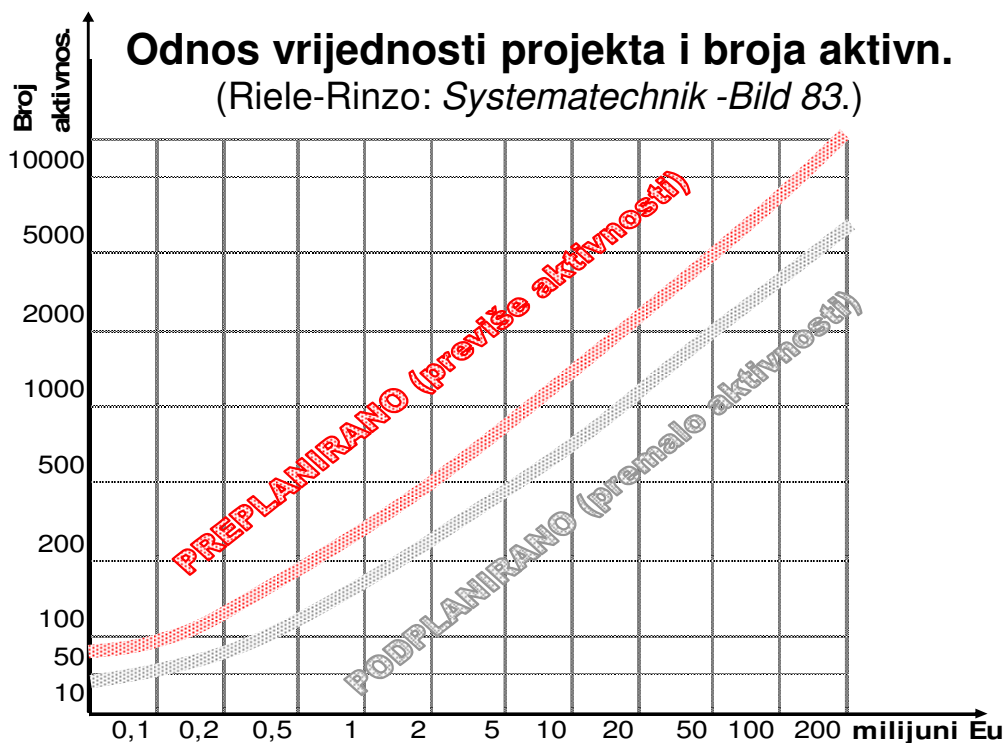
**Planiranje i kontrola** su tijekom faze izvršenja usko povezani. Za kontrolu postoje i posebni (iz drugih izvedeni) planovi, koji su kod nas manje poznati i rijetko korišteni. Takvi su, za sve razine upravljanja pogodni, **linije balansa**, **linije putokaza** (miljokazne karte), **“S” krivulje**, kao i prije spomenuti histogrami. Prva dva tipa planova su usmjerena na usporedbu planiranih i stvarno postignutih količina, odnosno trajanja radova, pa su dobro vidljivi prebačaji i podbačaji ili kašnjenja (ali ne i njihovi uzroci). Linije balansa su praktične za praćenje proizvodnje koja se odvija kontinuirano, a dobro se može izraziti u jedinicama proizvoda, što znači su pogodni npr. za industriju građevinskog materijala. “S” krivulja prikazuje postotak kumulativnih iznosa tijekom vremena (planirani troškovi i prihodi radni sati, te ostvareno, a može prikazivati i radne sate ili obim posla).

**Vremenske jedinice** prikazane u planu najviše ovise o trajanju plana i onome kome je plana namijenjen. Nešto starija orijentacijska uputa (dok računala nisu bila razvijena kao danas), prof. Thumba kazuje da je za:

- trajanje planskog zadatka **do 1 mjeseca** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **1 sat**
- trajanje planskog zadatka **1 - 3 mjeseca** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **1 dan**
- trajanje planskog zadatka **3 - 6 mjeseci** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **3 dana**
- trajanje planskog zadatka **6 - 9 mjeseci** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **1 tjedan**
- trajanje planskog zadatka **9 -12 mjeseci** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **10 dana (dekada)**
- trajanje planskog zadatka **1 - 2 godine** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **15 dana (1/2 mjes.)**
- trajanje planskog zadatka **2 - 3 godine** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **1 mjesec**
- trajanje planskog zadatka **3 -10 godina** potrebna vremen. jedinica aktivnosti **3 mjes. (1 kvartal)**

Građev. projekti

Prikaz cijelog vremenskog plana u satima je vrlo rijedak (čak i kod kraćih od mjesec dana). Tako kratke vremenske jedinice prikazuju se obično samo za neke kritične dijelove plana.



Što je projekt veći (mjereno u vrijednosti ili količini sadržanih radova) potreban je i veći **broj aktivnosti u planu** koje će obuhvatiti sve zadane radove, ali kako mu raste vrijednost prirast potrebnih aktivnosti je proporcionalno sve manji.

Izvedbeni planovi moraju svojim kompleksnošću biti prilagođeni mogućnosti praćenja od strane nadležne osobe. U tom smislu **preporuča se da broj aktivnosti bude maksimalno 100 do 200, jer više ih je teško držati pod nadzorom**. Ako se radi o jako velikim projektima i dugotrajnoj izvedbi, bolje je generalni plan detaljnije razraditi u tom opsegu za svakih nekoliko narednih mjeseci.

## Podjela projekta na aktivnosti (*Work Breakdown Structure*)

Da bi se moglo otpočeti s planiranjem potrebno je projekt, tj. njegovu realizaciju, na osnovu projektne dokumentacije dekomponirati -podijeliti na manje dijelove (određene aktivnosti).

**Work Breakdown Structure (WBS)** je proizvodno orijentirano stablo koje vodi identifikaciji aktivnosti, funkcija, zadaća, podzadaća, jedinica posla, itd, koji se moraju obaviti kako bi se izvršio zadani projekt. Prikazuje i definira sustav (proizvod -građevinu) koji se razvija i opisuje sve elemente posla koji se moraju obaviti. WBS grupira sve poslove i definira ukupni opseg projekta.

U postupku odabira aktivnosti ključan je **način podjele složene cjeline projekta** i izražavanje toga kroz tekst opisa svake pojedine aktivnosti, a iz toga proizlazi i broj aktivnosti.

Taj postupak donekle podsjeća na izradu dokaznice mjera i troškovnika u kojem se cjelina građevinskog projekta razlaže na stavke. No, izjednačavanje po principu “jedna stavka = jedna aktivnost” (kod vrlo grubih planova ponekad se uzima i “jedna vrsta građevinskih radova” (iz rekapitalacije troškovnika) = jedna aktivnost”), nije uputno, jer se loše održava na postupke planiranja, a posebno optimizaciju planova (mrežnih). Postoje bitne razlike između krajnjih ciljeva i kriterija kod ove dvije podjele iste cjeline, pa bi formiranje nove aktivnosti trebalo slijediti ispunjavanje kriterija koji to uvjetuju (“+”), a to bi (prema prof.dr.Radujkoviću) bile promjene:

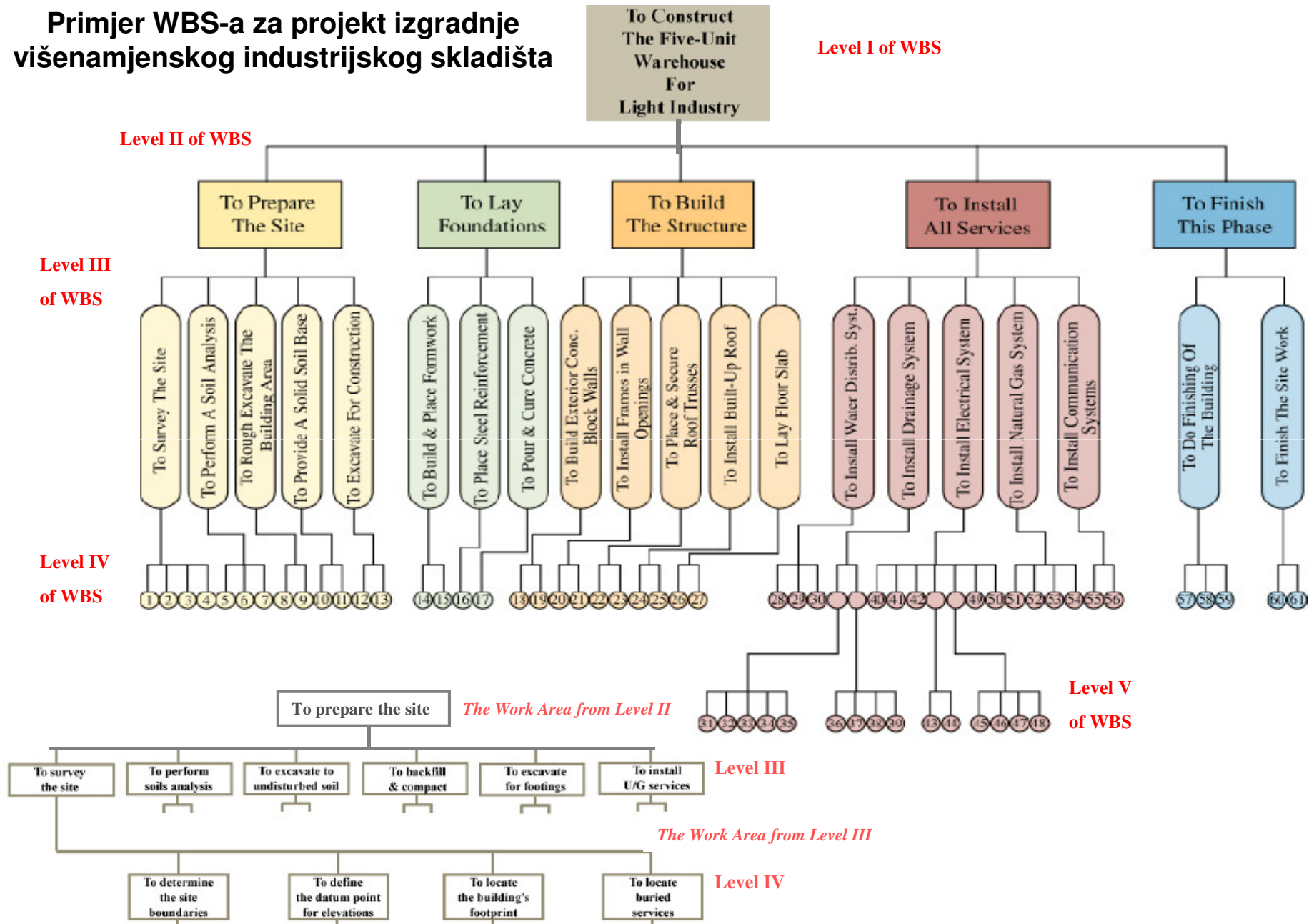
- opisa +                              - resursa + / -
- cijene +                              - količine + / -
- vremena +
- mjesta rada +
- smjera rada +

Dosljednim poštivanjem ispunjavanja navedenih kriterija stvorili bi se planovi s većim brojem aktivnosti nego što je stavki troškovnika, pa se treba imati u vidu i praktičnost provedbe postupaka planiranja s kasnijim optimizacijama. Iako računalni programi to znatno olakšavaju, treba biti oprezan i logičan po pitanju prihvatljivog broja aktivnosti u planu (voditi računa o iznesenom na prethodnoj stranici) i u tom smislu treba paziti koliko je koja uopće značajna.

Najčešće se u praksi aktivnosti definiraju na razini građevinskog procesa, mada mogu biti i na nižem (detaljnijem) i višem stupnju od toga,



# Primjer WBS-a za projekt izgradnje višenamjenskog industrijskog skladišta

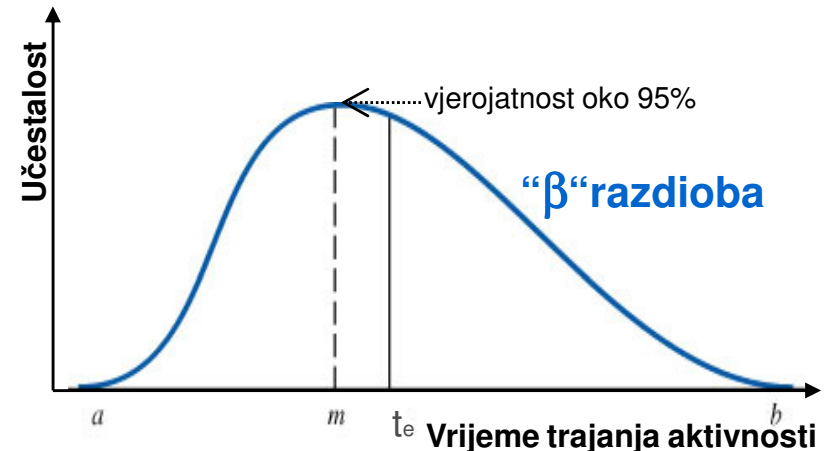


# Određivanje trajanja aktivnosti

Proračun trajanja plana može biti stohastički i deterministički.

**Stohastičko (probabilističko) određivanje trajanja aktivnosti** provodi se grubo kao jedna procjena, kada nema druge mogućnosti ili kada se radi o aktivnostima manje važnosti, a inače na temelju tri veličine (npr. kod *PERT* metode):

- optimističkog vremena izvršenja ( $t_{\text{minim}}$  ili  $a$ ), tj. trajanja aktivnosti koje se može postići u iznimno povoljnim uvjetima rada, a manje niako ne može;
- pesimističkog vremena izvršenja ( $t_{\text{maksim}}$  ili  $b$ ), tj. trajanja aktivnosti do kojeg bi došlo pod posebno nepovoljnim okolnostima, a duže bi bilo samo u slučaju neke katastrofe;
- normalnog vremena izvršenja ( $t_{\text{najveroj}}$  ili  $m$ ), tj. onog trajanja aktivnosti koje bi se najučestalije događalo da se ponavlja više puta.



**Očekivano vrijeme realizacije aktivnosti** proračunava se kao: 
$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Uobičajeno se proračunava i **varijanca trajanja aktivnosti**, koja iskazuje mjeru nesigurnosti s kojom je procijenjeno trajanje aktivnosti: 
$$\sigma_{T_e}^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2$$

Takva trajanja aktivnosti su očekivane vrijednosti, pa su i sumarne vrijednosti također očekivane vrijednosti neke razdiobe. No, iako vremena realizacije pojedinih aktivnosti slijede beta-raspodjelu, sumarna vrijednost, odnosno trajanje realizacije cijelog projekta, može se predočiti normalnom raspodjelom (Gaussova krivulja).

Zato je kod stohastičkog određivanja trajanja aktivnosti moguće izračunati faktor vjerojatnosti ( $Z$ ) za svako planirano vrijeme ( $T_{PI}$ ) u odnosu na mrežnim planiranjem izračunati najraniji mogući termin ( $T_E$ ).

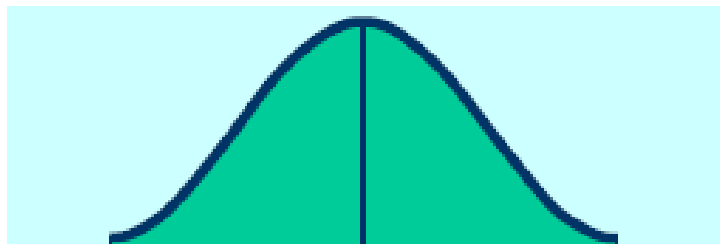
$$Z = \frac{T_{PI} - T_E}{\sqrt{\sum \sigma^2}}$$

Nazivnik u gornjem izrazu je drugi korijen iz zbroja varijanci koje su bile u proračunu  $T_E$  određenog događaja, sve od početka projekta. Prema ovom proračunu  $Z$  može imati i pozitivnu i negativnu vrijednost.

Iz desno prikazane tablice u odnosu na vrijednost  $Z$  očitava se vjerojatnost ( $P_R$ ) održanja planiranog vremena realizacije.

**Tablica s vrijednostima funkcija normalne raspodjele (u većini knjiga s područja statistike)**

### Normalna (standardna) raspodjela



**Očekivano vrijeme realizacije**

Z	Pr	Z	Pr
0,0	0,5000	- 3,0	0,0013
0,1	0,5398	- 2,9	0,0019
0,2	0,5793	- 2,8	0,0026
0,3	0,6179	- 2,7	0,0035
0,4	0,6554	- 2,6	0,0047
0,5	0,6915	- 2,5	0,0062
0,6	0,7257	- 2,4	0,0082
0,7	0,7580	- 2,3	0,0107
0,8	0,7881	- 2,2	0,0139
0,9	0,8159	- 2,1	0,0179
1,0	0,8413	- 2,0	0,0228
1,1	0,8643	- 1,9	0,0287
1,2	0,8849	- 1,8	0,0359
1,3	0,9032	- 1,7	0,0446
1,4	0,9192	- 1,6	0,0548
1,5	0,9332	- 1,5	0,0668
1,6	0,9452	- 1,4	0,0808
1,7	0,9554	- 1,3	0,0968
1,8	0,9641	- 1,2	0,1151
1,9	0,9713	- 1,1	0,1357
2,0	0,9772	- 1,0	0,1587
2,1	0,9821	- 0,9	0,1841
2,2	0,9861	- 0,8	0,2119
2,3	0,9893	- 0,7	0,2420
2,4	0,9918	- 0,6	0,2743
2,5	0,9938	- 0,5	0,3085
2,6	0,9953	- 0,4	0,3446
2,7	0,9965	- 0,3	0,3821
2,8	0,9974	- 0,2	0,4207
2,9	0,9981	- 0,1	0,4602
3,0	0,9987	- 0,0	0,5000

**Deterministički izračun trajanja aktivnosti** provodi se na temelju:

- količine rada –  $Q$  (iz troškovnika),
- učinka  $U_p$  (stroja ili radnika tj. radne grupe) ili normativ sati  $NS$  rada radnika ili strojeva (podatak iz normativa vremena, internih ili općih), jer je  $U_p = 1/NS$
- broja radnih resursa -radnika ( $N_{RG}$ ) ili strojeva ( $N_{SG}$ ) u grupi (ovisno o raspoloživim resursima poduzeća i raspoloživoj fronti rada),
- radnog vremena – zbog proračuna trajanja u danima broja radnih sati na dan ( $h_d$ ) (ovisno o mogućnostima gradilišta i poduzeća).

$$T_A [\text{raddana}] = \frac{Q [\text{mjerjed}] \times NS [\text{sati / mjerjed}]}{N_{RG} \times h_d [\text{sati / dan}]} \quad \text{ili} \quad T_A [\text{rad.dana}] = \frac{Q [\text{mjer.jed.}]}{U_p [\text{mjer.jed / sat}] \times N_{RG} \times h_d [\text{sati / dan}]}$$

U pravilu se prvo nastoji odrediti trajanje aktivnosti, kao i izvršenja cijelog projekta, s minimalnim troškovima (tzv. normalno vrijeme). Tek poslije, kada se utvrdi da to ne odgovara, u postupku optimizacije mijenjaju se ulazni podaci (radni resursi, odnosno uzimaju se tehnologije s drugačijom učinkovitosti, broj strojeva i radnika u radnoj grupi i broj radnih dana i sata na dan).

U slučaju kada je vrijeme izvršenja zadano, računa se potrebni broj radnika ili strojeva (u radnoj grupi) prema:

$$N_{RG} = \frac{Q [\text{mjer.jed.}] \times NS [\text{sati / mjer.jed.}]}{T_A [\text{rad.dana}] \times h_d [\text{sati / dan}]} = \frac{Q [\text{mjer.jed.}]}{U_p [\text{mjer.jed / sat}] \times T_A [\text{rad.dana}] \times h_d [\text{sati / dan}]}$$

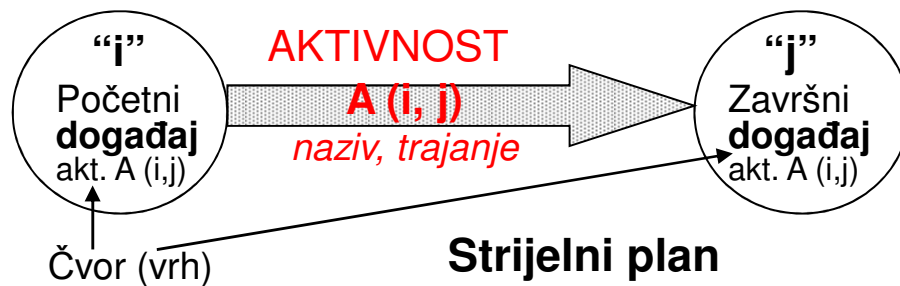
**Pri izboru ulaznih podataka**, da bi se postiglo kvalitetnije plansko rješenje, poželjno je:

- koristiti resurse koji mogu raditi više različitih vrsta poslova (univerzalne);
- kontrolirati heterogenosti specificiranih resursa (unificiranje strojeva i sl.);
- kontrolirati raspoloživosti svih vrsta resursa i broja resursa po aktivnostima i vremenu;
- uzimati radne grupe kao osnovne jedinice za proračun (umjesto pojedinaca).

# VRSTE MREŽNIH PLANOVA (DIJAGRAMA)

**Mrežni plan (dijagram, model ili "mreža") je neciklični, usmjereni graf (bez zatvorenih petlji).** Mrežni planovi mogu biti orijentirani događajima (čvorovi su definirani) ili orijentirani aktivnostima, (aktivnosti su definirane i njihov redoslijed grafički predočen), kao i kombinirani, a izrađuju se kao:

- **strijelni** -aktivnosti su na strijelama (događaji u čvoru) - **AOA** (Activity on Arrow), kao npr. CPM
- **čvorni** -aktivnosti su u čvorovima - **AON** (Activity on Node), kao npr. PDM



**Strijelni plan**

Dva susjedna događaja mogu biti povezana samo jednom aktivnošću i to samo u jednom smjeru.  
Strijele u mrežama su uvijek usmjerene s lijeva na desno.

**Događaji** (ili stanja) su primjerice:

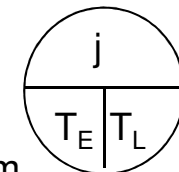
- nacrta dostavljeni
- završetak iskopa
- završetak betoniranja temelja
- montaža a.b. nosača završena itd.

$T_E$  ... najranije vrijeme događaja

$T_L$  ... najkasnije vrijeme događaja

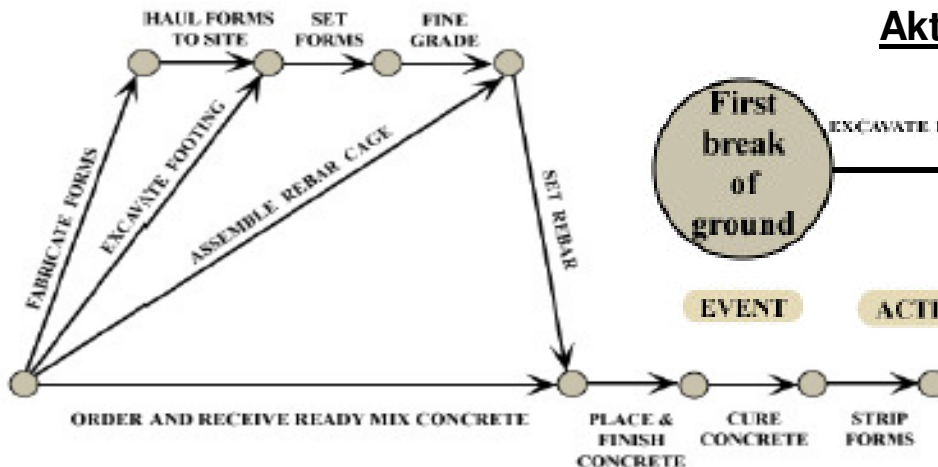
$i, j$  ... brojevi događaja

$A(i,j)$  ...aktivnost sa svojim trajanjem

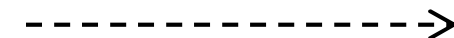


**Aktivnosti** su primjerice: -uređenje gradilišta

- betoniranje temelja
- zidanje zidova
- ugradba prozora i vrata itd.

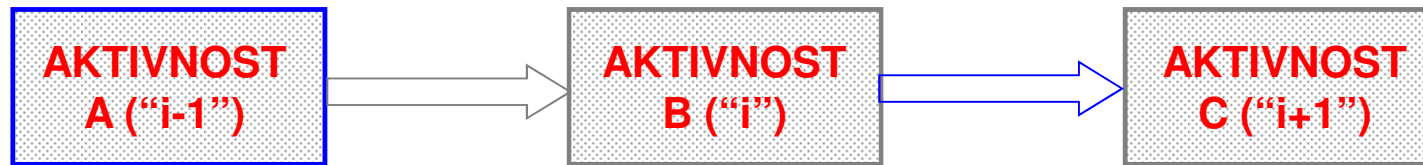


Dummy arrows



U strijelnim mrežama koristi se i fiktivna strijela (aktivnost) koja ne zahtjeva ni resurse ni vrijeme.

## Čvorni plan



Mrežni planovi (dijagrami) mogu biti: - **zatvoreni** (jedan početni i jedan završni čvor –kod *CPM-a*) i  
 - **otvoreni** (više početnih i/ili završnih čvorova –kod *PERT-a*)

	Mrežni dijagrami orijentirani aktivnostima		Mrežni dijagrami orijentirani događajima	
	Mrežni dijagram s aktivnostima na strelicama	Mrežni dijagram s aktivnostima na čvorovima	Mrežni dijagram s događajima na čvorovima	Mrežni dijagram događaja odluke
Grafički prikaz mrežnog dijagrama				
Elementi mreže	Aktivnost:  (-----> fiktivna) Događaj: 	Aktivnost: Tehnološka veza:  (više vrsta veza)	Tehnološka veza:  Događaj: 	Aktivnost:  -----> fiktivna Događaj: nekoliko tipova događaja
Određivanje trajanja aktivnosti	Deterministički (procjenom)		Stohastički (statistička razdioba)	
Poznatija metoda	<b>CPM</b>	<b>MPM, PDM</b>	<b>PERT</b>	<b>GERT</b>

## Podjela s osnovnim karakteristikama različitih vrsta mrežnih dijagrama



Za mrežno planiranje prvo je potrebno:

- utvrditi logični, tehnološki redoslijed aktivnosti** (*analiza strukture*) i
  - za **svaku pojedinu aktivnosti odrediti trajanje**, uobičajeno u radnim danima (*analiza vremena*).
- Nakon toga se nekom od tehnika mrežnog planiranja dobiva **mrežni plan u svojoj prvoj verziji** (koji najčešće zahtjeva daljnju *optimizaciju do zadovoljavajućeg rješenja*).

## Struktura plana

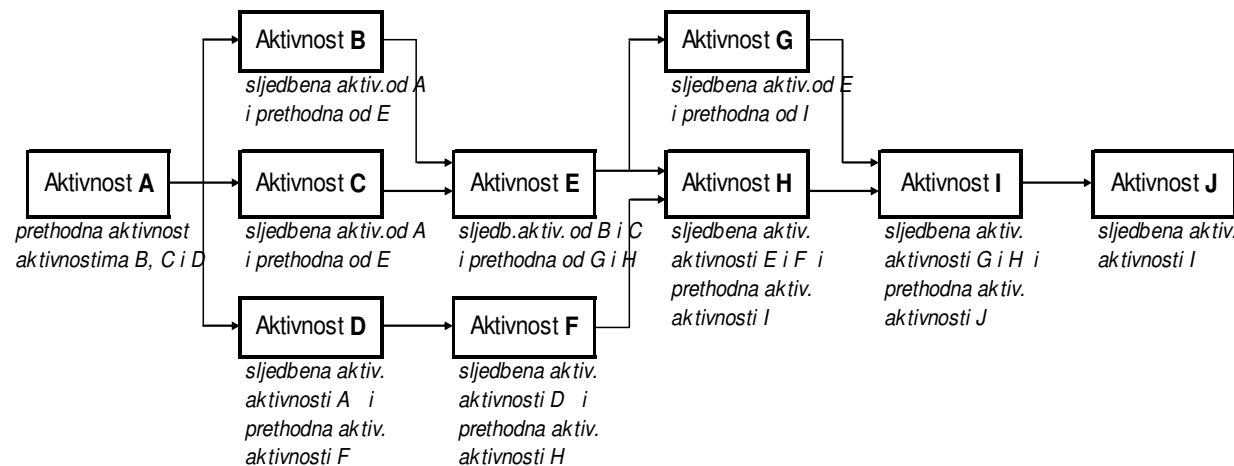
Mrežno planiranje u prvoj fazi zahtjeva određivanje odnosa između aktivnosti.

U tom smislu treba definirati koja je:

- **Prethodna aktivnost** - kontrolira početak ili kraj aktivnosti
- **Slijedbena (naredna) aktivnost** - ovisi o početku ili završetku aktivnosti

Da bi se utvrdio odnos (slijed) između aktivnosti u načelu za svaku treba postaviti pitanja:

- Koja(e) joj aktivnost(i) prethode (moraju završiti da ona može početi)?
- Koje su aktivnosti paralelne (vremenski) s njom?
- Koje aktivnosti slijede iza nje (ne mogu početi prije nego ova završi)?
- Dali se određena aktivnost može i treba podijeliti?



Mrežni planovi koji bi zbog veličine (prevelikog broja aktivnosti) bili nepregledni smanjuju se tako da im se pojedini dijelovi prikazuju samo s jednom, **zбирном aktivnošću**, koja se razradi sa svim potrebnim detaljima (aktivnostima) u posebnom mrežnom planu -**podmreži**.

# Odnosi među aktivnostima

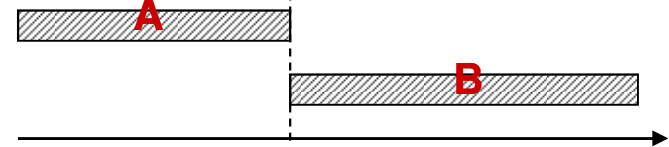
-prikazuju se vezama koje mogu biti različitih vrsta:  
(ne mogu sve kod svih metoda planiranja, mogućnost za korištenje svih navedenih ima PDM)

## ■ FS ( ili NT) - **Kraj – početak** ( Finish(end) – Start )

- početak naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (kada A završi, B može početi)

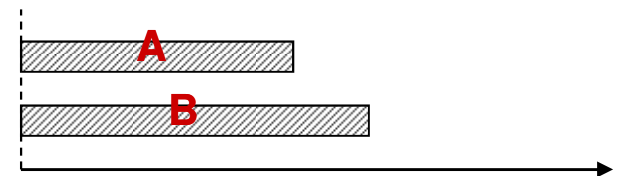
Ako nema odgode naziva se i **normalna veza**.

## Gantogramski prikaz odnosa aktiv.



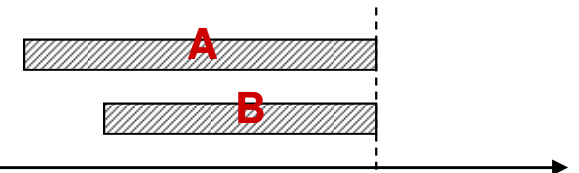
## ■ SS ( ili ST) - **Početak – početak** ( Start – Start )

- početak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne (kada A počne, B može početi)



## ■ FF ( ili FT) - **Kraj – kraj** ( Finish(end) – Finish(end) )

- kraj naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (kada A završi, B može završiti)



Neka literatura bavodi vezu **SF - Početak – kraj** (završetak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne), no ona se rijetko koristi jer se takav odnos obično izražava s drugom vrste veze.

**Vremenska odgoda (Lag)** predstavlja vremenski pomak ili odgodu između aktivnosti i njene slijedbene aktivnosti. Može predstavljati neki tehnološki zastoje, organizacijska stanka ili nešto drugo (npr. vrijeme sušenja žbuke između aktivnosti žbukanja i ličenja, vrijeme potrebno za premještanje stroja na drugo radno mjesto na građevini itd.)

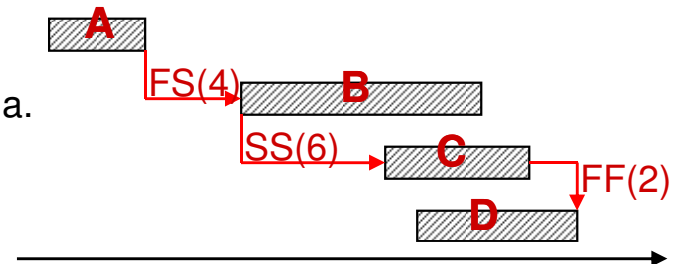
Može se dodati bilo kojoj vrsti veza.

U pravilu se izražava u danima.

Uglavnom je pozitivna, ali u iznimnim slučajevima može biti negativna.

Upisuje se u mrežni dijagram iza oznake veza (u zagradi ili ne).

Ako je odgoda nula, obično se ne bilježi posebno, a ako je veza pozitivna isto se to ne mora posebno označiti (ispred negativne obvezno se piše minus).





# Vremenske rezerve (*Float* ili *Slack*) u mrežnom planu – izračun

## TF - Ukupna vremenska rezerva (Total Float)

Ukupna rezerva je vrijeme za koje se trajanje aktivnosti može produžiti ili odgoditi početak aktivnosti, a da ukupno trajanje projekta ostane nepromijenjeno.

Aktivnosti kojima ukupna rezerva ima vrijednost nula su kritične aktivnosti. Uvijek je:  $TF = LS - ES = LF - EF$

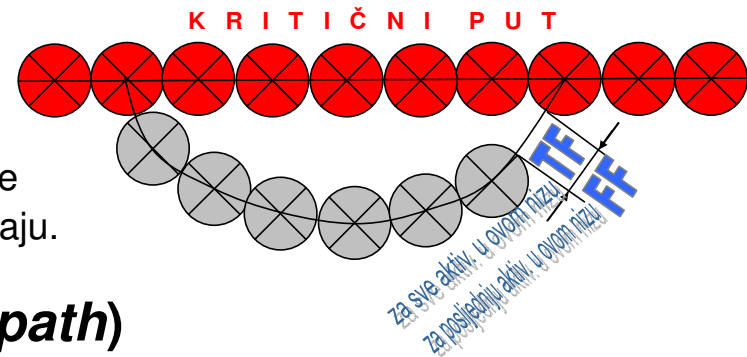
## FF - Slobodna vremenska rezerva (Free Float)

Slobodna rezerva je vrijeme za koje se trajanje aktivnosti može produžiti ili odgoditi početak aktivnosti, a da najraniji početak sljedbene aktivnosti ostane nepromijenjen.

Na kritičnom putu ne postoji jer je uvijek manja ili jednaka ukupnoj rezervi, a na drugim granama dijagrama nalazi se na posljednjoj aktivnosti. Proračunava se ovisno o vrsti veze:

*FS veza* :  $FF_1 = ES_2 - (Lag) - EF_1$  ; *SS veza* :  $FF_1 = ES_2 - (Lag) - ES_1$  ; *FF veza* :  $FF_1 = EF_2 - (Lag) - EF_1$

Neka literatura (kod strijelnih planova) spominje i nezavisnu (pokazuje koliko će se produžiti ili pomaknuti "i-j" aktivnost ako događaj "i", uslijed zadržavanja neke od prethodnih aktivnosti, ima najkasnije vrijeme, a događaj "j" treba održati ES za izlazne aktivnosti) i uvjetnu vremensku rezervu, ali one se rijetko računaju.



## Kritični put (*Critical path*)

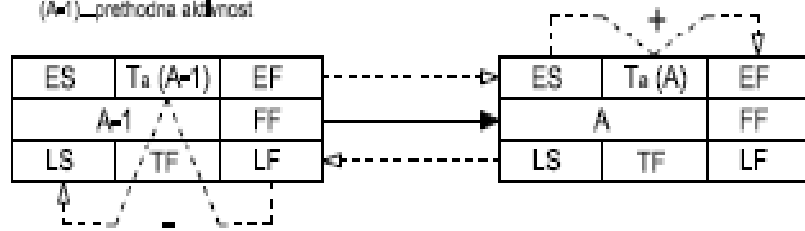
Kritični put je lanac (slijed) aktivnosti koje imaju najduže vrijeme završetka, odnosno najduži slijed aktivnosti koji određuje najranije vrijeme završetka, tj. projekta ukupno trajanje projekta (*project time* ili *project duration*). Kritični put započinje prvim čvorom i nastavlja se mrežom do završnog čvora, bez prekida (a može biti i više paralelnih kritičnih puteva u mrežnom planu).

Aktivnosti na kritičnom putu su **kritične aktivnosti** (kod njih je  $ES = LS$  i  $EF = LF$ , te nemaju rezerve:  $TF = FF = 0$ ).

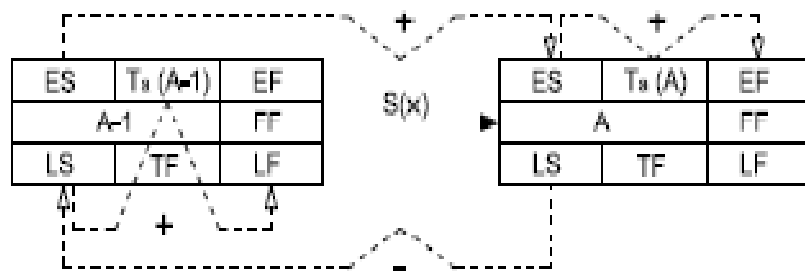
Promjena u trajanju jedne kritične aktivnosti uzrokuje promjenu trajanja cijelog projekta.

# Proračun najranijeg i najkasnijeg početka i završetka aktivnosti u mrežnim dijagramima s višestrukim vezama

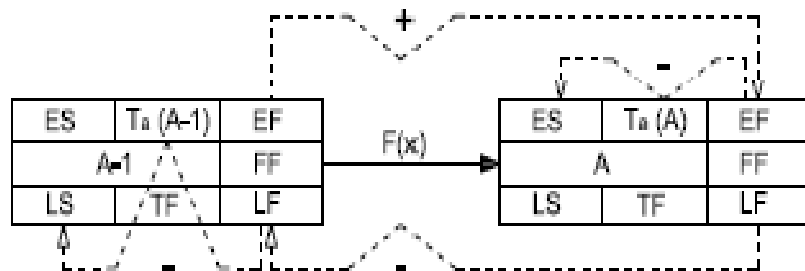
1 Najraniji početak i završetak aktivnosti sa vremenskom vezom kraj - početak (Tip N)  
 (A) - promatrana aktivnost  
 (A-1) - prethodna aktivnost



2 Najraniji početak i završetak aktivnosti sa vremenskom vezom tipa S (Početak - početak)

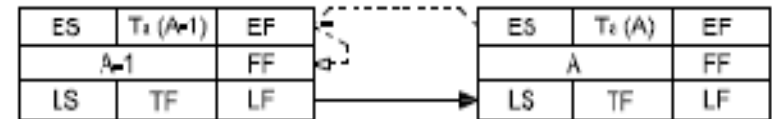


3 Najraniji početak i završetak aktivnosti sa vremenskom vezom tipa F (Kraj - kraj)

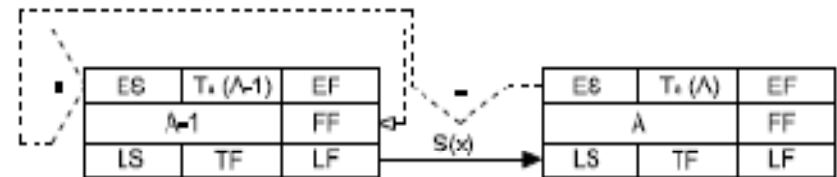


# Proračun slobodne vremenske rezerve kod tri tipa veza u mrežnim dijagramima

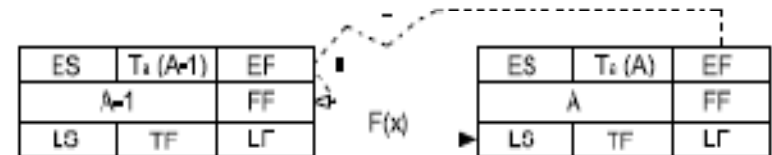
1 Slobodna vremenska rezerva tipa N



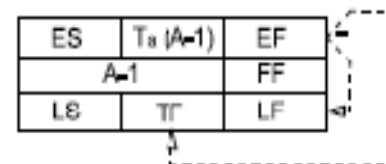
2 Slobodna vremenska rezerva tipa S



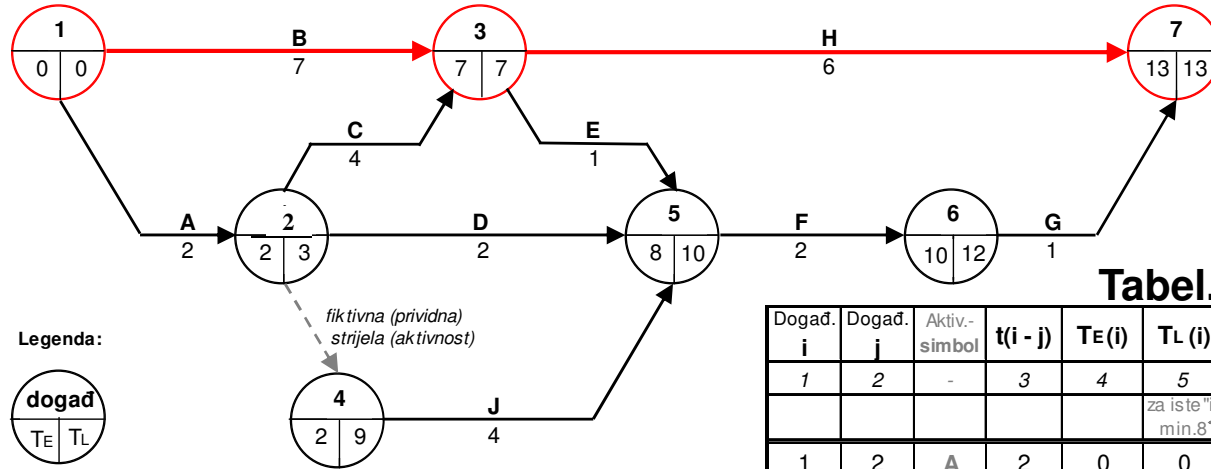
3 Slobodna vremenska rezerva tipa F



# Proračun ukupne vremenske rezerve u mrežnim dijagramima



# 4 primjera proračunatih strijelnih mrežnih dijagrama – CPM



1. Mrežni dijagram

Legenda:



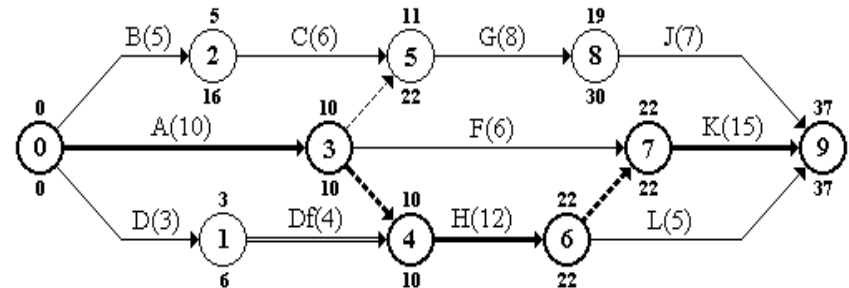
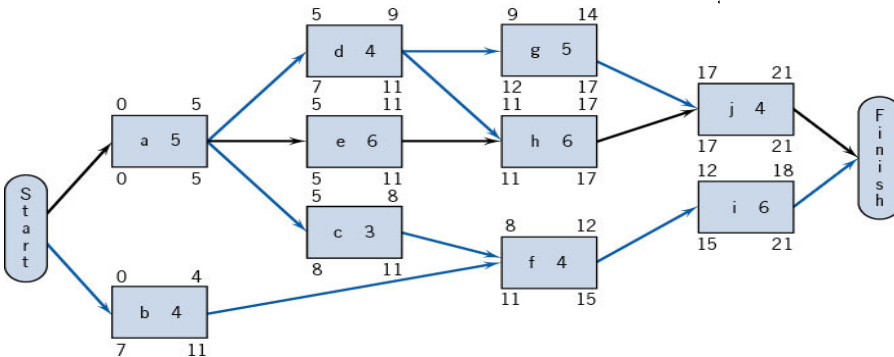
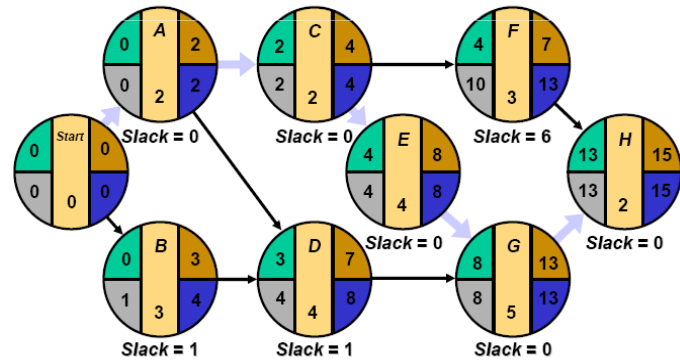
fiktivna (prividna) strijela (aktivnost)

Tabel. prikaz proračuna za 1.mrežu

Događ. i	Događ. j	Aktiv-simbol	t(i - j)	TE(i)	TL(i)	TE(j)	TL(j)	t <sup>1</sup> (i - j)	t <sup>0</sup> (i - j)	Ukupna vr. rez.	Slobod. vr. rez.	Nezavis. vr. rez.	
1	2	-	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
						za iste "j" min.8	za iste "i" max.9	kontrola	7-3	4+3	7-4-3 =7-9	6-4-3 =6-9	6-5-3
1	2	A	2	0	0	2	3	1	2	1	0	0	
1	3	B	7	0	0	7	7	0	7	0	0	0	
2	3	C	4	2	3	7	7	3	6	1	1	0	
2	4	-	0	2	3	2	9	9	2	7	0	-1	
2	5	D	2	2	3	8	10	8	4	6	4	3	
3	5	E	1	7	7	8	10	9	8	2	0	0	
3	7	H	6	7	7	13	13	7	13	0	0	0	
4	5	J	1	2	9	8	10	9	3	7	5	-2	
5	6	F	2	8	10	10	12	10	10	2	0	-2	
6	7	G	1	10	12	13	13	12	11	2	2	0	

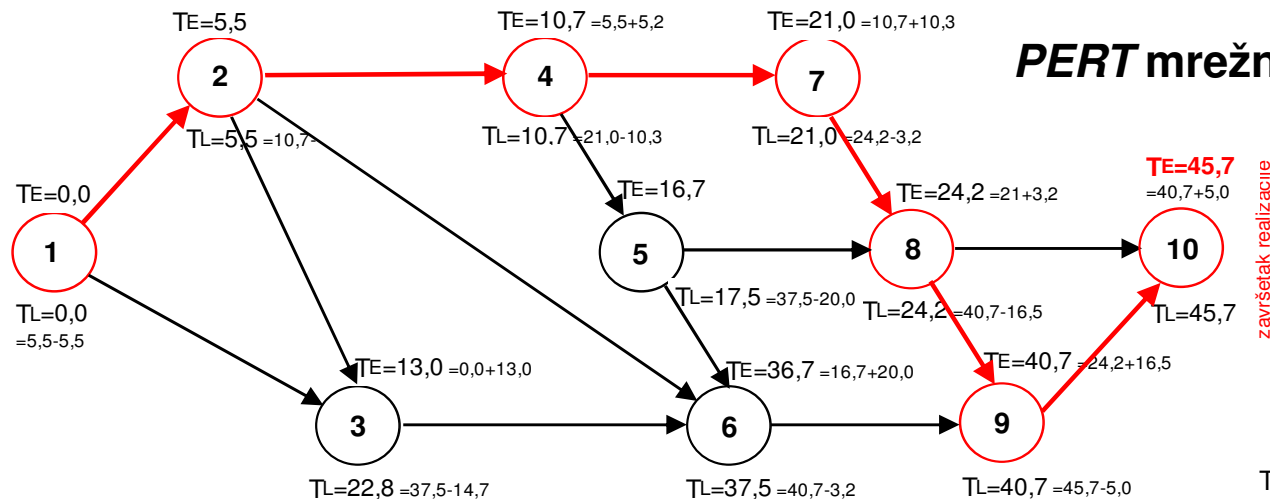
Nakon analize strukt. i određ. trajanja: Proračun unaprije | Proračun unatrag | Proračun unaprije | Proračun unatrag | Proračun u tablici

2., 3. i 4. Mrežni dijagram



# Primjeri PERT mrežnog planiranja

(-stohastičko određivanje trajanja aktivnosti i vjerojatnost izvršenja)



Tablica s proračunom za PERT dijagram

Za planirani rok od 50 radnih dana izračunava se:

$$Z = \frac{T_{Pl} - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{TE}^2}} = \frac{50 - 45,7}{\sqrt{1,36 + 0,69 + 2,78 + 0,69 + 1,36 + 1,00}} = 1,53$$

Za izračunatu vrijednost Z iz tablice s vrijednostima funkcija normalne (standardne) raspodjele očitava se  $P_R=0,933$  što znači da je vjerojatnost da se planirani rok održi 93,3%.

Ako bi se npr. planiralo s rokom realizacije od 40 dana bilo bi:  $Z = \frac{40 - 45,7}{\sqrt{1,36 + 0,69 + 2,78 + 0,69 + 1,36 + 1,00}} = -2,03$

U tom slučaju očitava se za normalnu raspodjelu  $P_R= 0,023$ , pa je vjerojatnost za taj rok samo 2,3 %.

Ako je tražena vjerojatnost za realizaciju planiranoga roka 66% iz tablice se očitava  $Z=0,4$  (za  $P_R=0,6554$ ), pa slijedi da rok treba biti:  $0,4 = \frac{T_{Pl} - 45,7}{\sqrt{7,88}} \Rightarrow T_{Pl} = 0,4 \times 2,81 + 45,7 = 46,8 = 47 \text{ dana}$

Prethod. događ."i"	Slijedbeni događ."j"	Trajanje aktivnosti					Događaj		Vremen. odstup. = $T_E - T_L$
		Optimist. a	Pesimist. m	Pesimist. b	Očekivan. $t_e = \frac{a+4m+b}{6}$	Varijansa $s^2 = \left[\frac{b-a}{6}\right]^2$	Najranije $T_E(i)$	Najkasn. $T_L(i)$	
1	2	3	5	10	5,5	1,36	0,0	0,0	0,0
1	3	6	12	24	13,0	9,00			
2	3	4	7	10	7,0	1,00	5,5	5,5	0,0
2	4	3	5	8	5,2	0,69			
2	6	10	16	25	16,5	6,25			
3	6	10	15	18	14,7	1,78	13,0	22,8	9,8
4	5	3	6	9	6,0	1,00	10,7	10,7	0,0
4	7	6	10	16	10,3	2,78			
5	6	10	20	30	20,0	11,11	16,7	17,5	0,8
5	8	2	4	6	4,0	0,44			
6	9	2	3	5	3,2	0,25	36,7	37,5	0,8
7	8	1	3	6	3,2	0,69	21,0	21,0	0,0
8	9	12	17	19	16,5	1,36	24,2	24,2	0,0
8	10	2	3	6	3,3	0,44			
9	10	2	5	8	5,0	1,00	40,7	40,7	0,0
10	-	-	-	-	-	-	45,7	45,7	0,0

# Čvorni mrežni plan (PDM) - primjer

(aktivost je u pravokutniku -čvoru, a strijelice prikazuju veze između aktivnosti)

**Plan dogradnje kuće** (50m<sup>2</sup> proširenje prizem. + 150m<sup>2</sup> kat -visoki roh bau) -cijena cca.70.000 €  
 ⇒ 20 aktivnosti (trajanje u rad. danima)

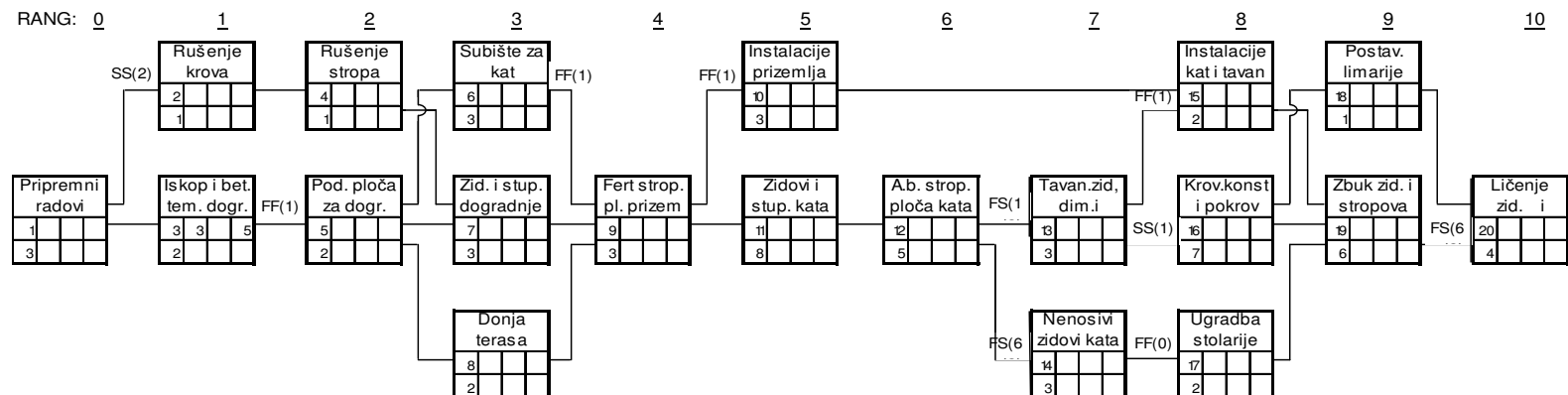
Red. br.	Opis aktivnosti	T <sub>A</sub> (dana)	Prethodna akt. i veza	Sljed. aktiv.
1.	Pripremni radovi	3	-	2, 3
2.	Rušenje krova i tavan. zidova	1	1 SS(2)	4
3.	Iskop i betonir. temelja za dogradnju	2	1	5
4.	Rušenje stropa priz. i dijela zid.	1	2	7
5.	Izrada bet.podne ploče dogradnje	2	3 FF(1)	6, 7, 8
6.	Izrada a.b. stubišta za kat	3	5	9
7.	Zidanje zidova i a.b. stup. dogradnje	3	4, 5	9
8.	Izvođenje radova na donjoj terasi	2	5	9
9.	Izrada Fert stropa prizemlja	3	6, 7, 8	10, 11
10.	Postavljanje grubih instalacija u prizem.	3	9 FF(1)	15
11.	Zidanje nosivih zidova i a.b. stupovi kata	8	9	12
12.	Izvedba a.b. stropne ploče i greda kata	5	11	13, 14
13.	Zidanje tavnanskih zidova i dimnjaka	3	12 FS(1)	15, 16
14.	Zidanje nenosivih zidova kata	3	12 FS(6)	17
15.	Postav. grubih instalac. na katu i tavanu	2	10, 13 FF(1)	19
16.	Izvedba krovne konstrukcije i krovopokriv.	7	13 SS(1)	18, 19
17.	Ugradba stolarije -vanjske i unutarnje	2	14 FF(0)	19
18.	Postavljanje limarije	1	16	20
19.	Žbukanje zidova i stropova	6	15, 16, 17	20
20.	Ličenje unutr. zidova i stropova	4	18, 19 FS(6)	-

## Lista aktivnosti

-Upisuju se sve aktivnosti pod rednim brojem i uz njih njihovo trajanje, prethodne im i eventualno sljedbene aktivnosti i veze (kod rada s računalnim programima za mrežno planiranje –nakon upisa podataka u ovoj tablici oni odmah “izbacuju” mrežni plan s također prethodno definiranim karakteristikama grafiškog prikaza), a mogu i resursi i troškovi (da bi se iz mreže mogli izvesti odgovarajući histogrami).

Da obrojčavanje dijagrama ne bi bilo proizvoljno, preporuča se **Fulkersonovo pravilo**. Prema njemu, prvi broj u nizu dobiva početna aktivnost (ili događaj), a daljnje obrojčavanje ide redom od onih kojima je prethodna aktivnost (događaj) već obrojčena. Aktivnosti (događaji) koji su završne za više prethodnih dobivaju broj tek kada su im sve prethodne već obrojčene.

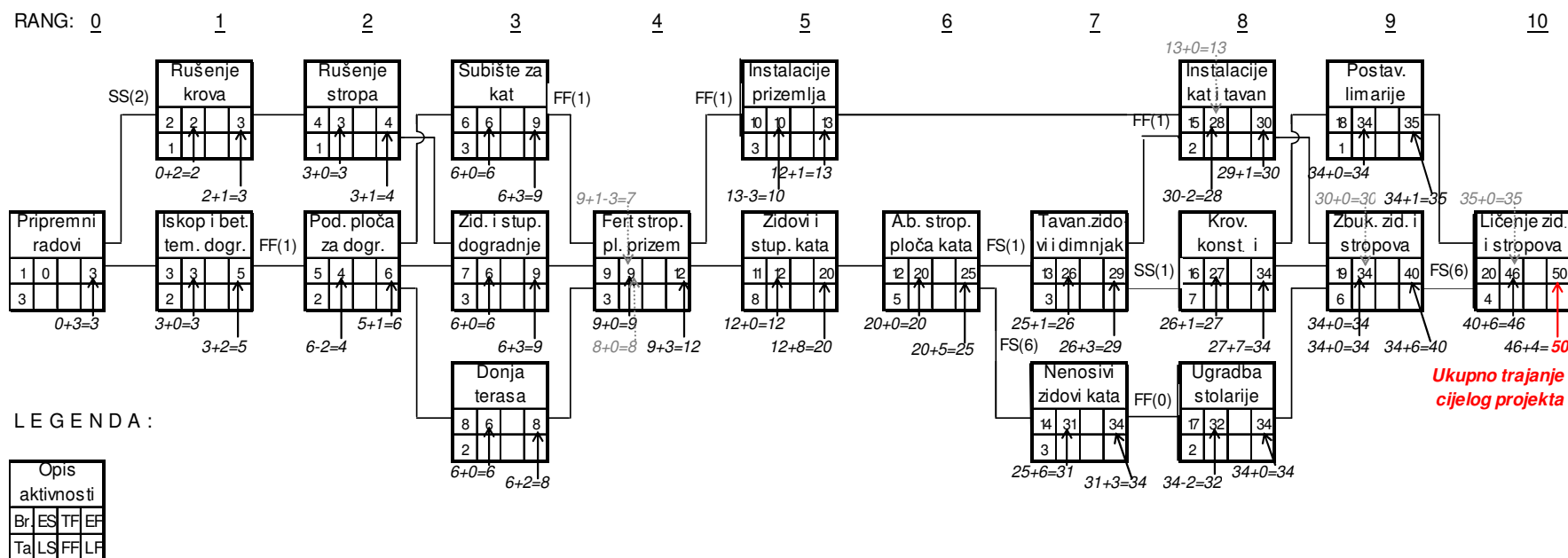
**Rang** čvorova (aktivnosti) pokazuje rastojanje od početnog čvora (aktivnosti) koji se označava s 0 ili 1



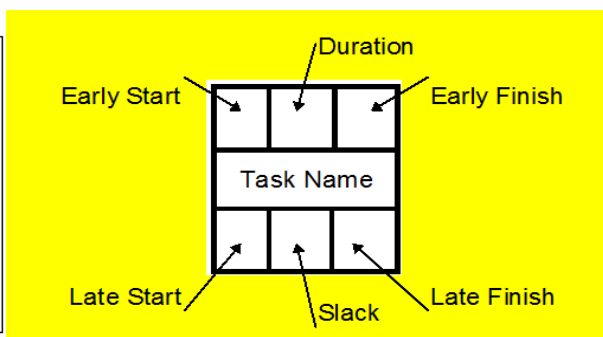
**Struktura mrežnog dijagrama**

# Plan dogradnje kuće

## Vremenski proračun unaprijed (ES i EF)



ES	Num	EF
LS	Name	LF
TF	Dur	FF

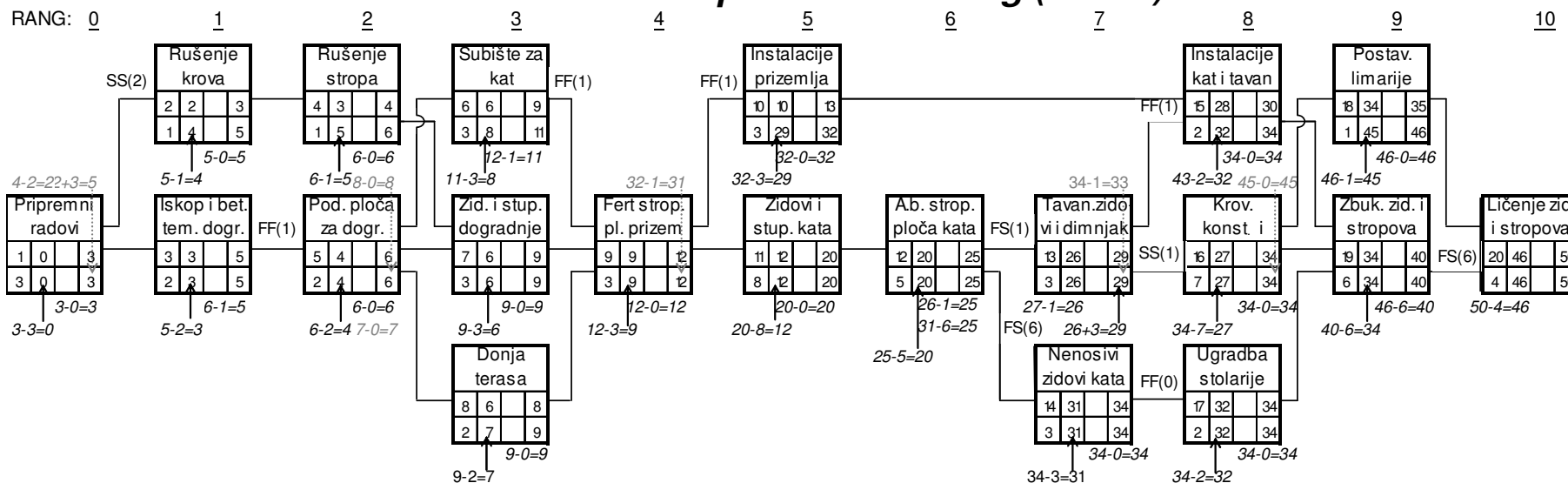


**Legenda** uz mrežni plan je obavezna jer se u grafičkom prikazu u čvorove mogu upisivati različiti podaci. Postupak bitno olakšavaju računalni programi (prikazani sadržaj čvorova lako se mijenja –ovisno o tome kome je plan namjenjen), a moguć je i ispis tablice sa svim podacima iz čvorova.

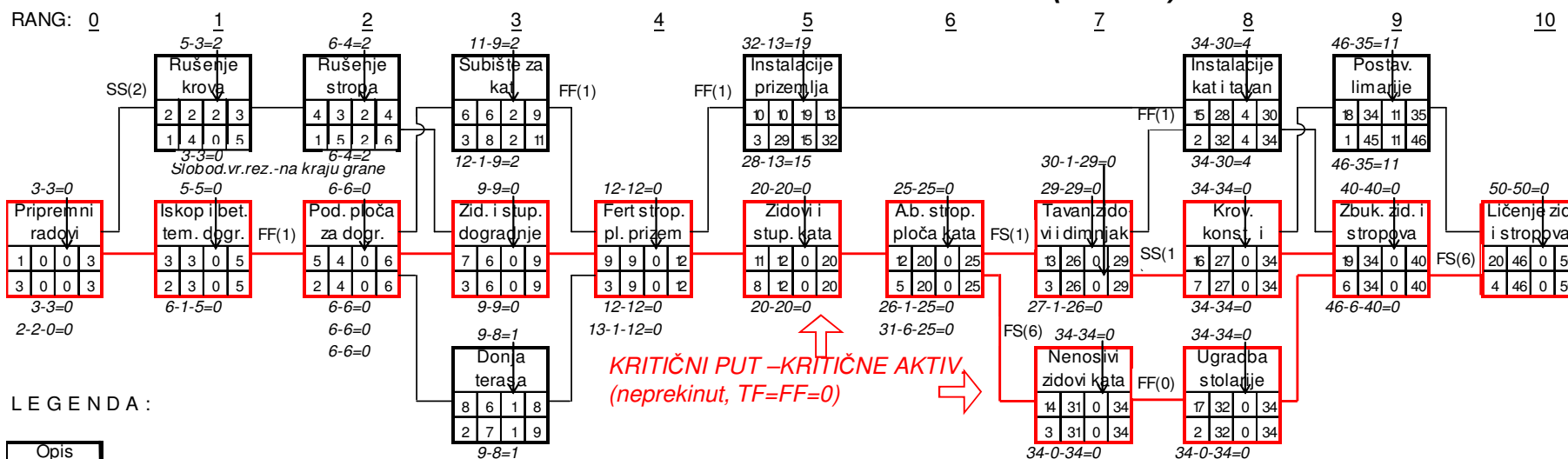
Ako je u mrežnom dijagramu nezgodno upisivati opis (skraćeni) aktivnosti, one se mogu označavati simbolima (slovima) ili samo brojevima. Uvijek je praktično pojedine vrste radova označavati istim početnim brojem (slično kao kod građevinskih normativa).

# Plan dogradnje kuće

## Vremenski proračun unatrag (LS i LF)



## Proračun vremenskih rezervi (TF i FF)



LEGENDA :

Opis aktivnosti			
Br	ES	TF	EF
Ta	LS	FF	LF

# ***CRITICAL CHAIN* – Teorija kritičnog lanca**

Jedan novi pristup u upravljanju projektima, posebno glede problema rizika i rezervi, proklamira teorija kritičnog lanca ili *Critical Chain Project Management*. Razvijena je u okviru holističkog gledišta **teorije ograničenja** (*TOC*) ili kako su neki skloni reći "procesa mišljenja. Od ove filozofije upravljanja (predstavljena knjigom **E. N. Goldratta** "Kritični lanac", 1997.g.), očekuje se da bude odgovor već apostrofiranim problemima učestalih prekoračenja planskih vrijednosti u praksi realizacije građevinskih projekata. Pristupom *C.C.* nastoji se, na vrlo pragmatičan način, maksimalno riješiti različite uočene probleme upravljanja, uz uvažavanje prirode ljudskog ponašanja sudionika – izvršitelja zadataka u okviru građevinskog projekta.

*Svako upravljanje projektima ima potrebu da se suprotstavlja neizvjesnostima tj. ima zadatak da sa što većom izvjesnošću isporuči ciljeve projekta.*

U tu svrhu postavljene su **mjere zaštite od širenja trajanja projekta** (Parkinsonov zakon) i od nepoznatih faktora, tj. neizvjesnosti (Murphyjev zakon: "Što može poći krivo, poći će"). Pozornost je koncentrirana na područje razvoja rasporeda, gdje:

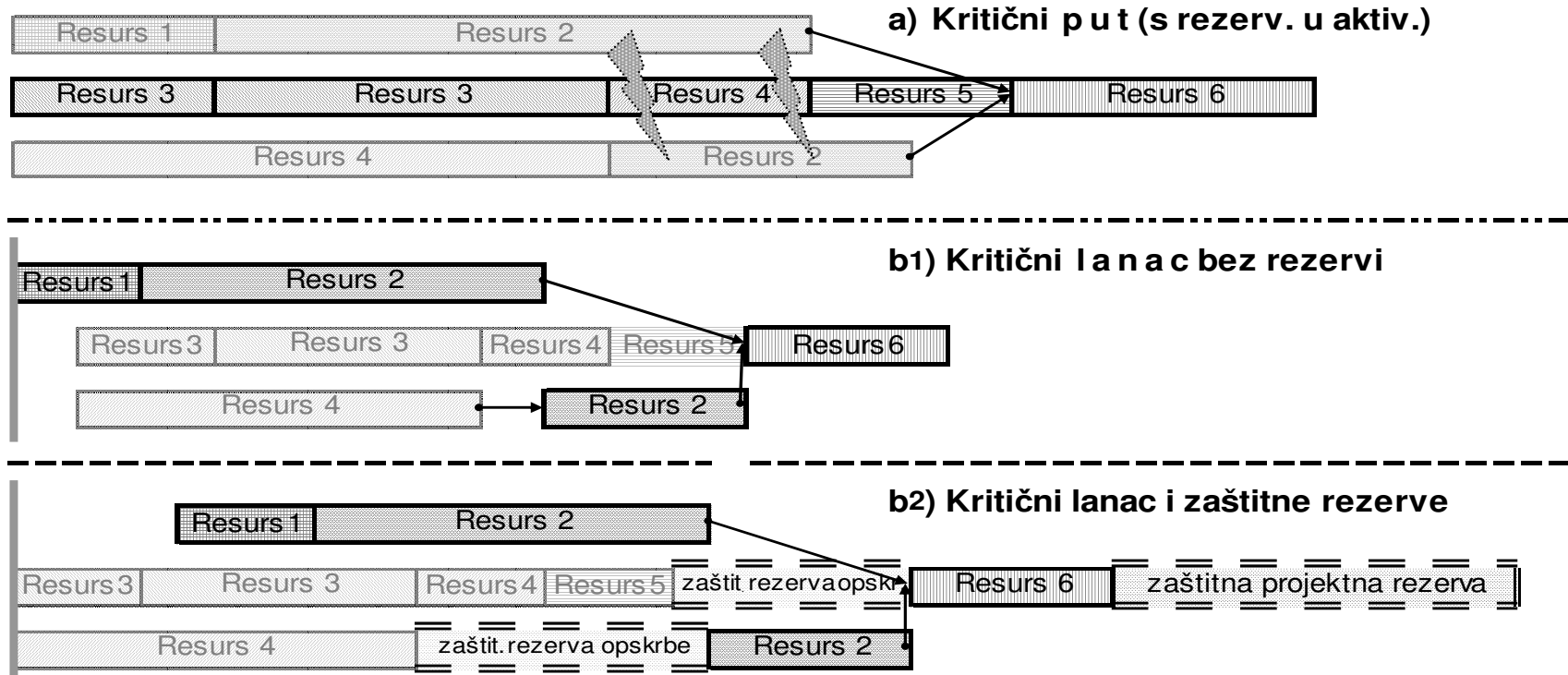
- kritični lanac zamjenjuje konvencionalni kritični put,**
- baš na vrijeme počeci dolaze umjesto uobičajenih što je moguće prije početaka,**
- izbjegavaju se aktivnosti sa zadanim rokovima** i
- rezerve vremena se izdvajaju iz aktivnosti na kraj lanaca (projekta) kako bi se zaštitila očekivanja projekta.**

Strategija metode kritičnog lanca **identificira najdulji lanac aktivnosti**, definiran kao slijed ovisnih događaja unutar projekta, te osigurava da ne postane još dulji. Proces pronalaženja kritičnog lanca projekta otpočinje s konvencionalnom mrežom projekta. To se može učiniti pomoću odgovarajućeg programskog paketa za računala (kao što je *ProChain*) uz unos traženih ulaznih informacija.

Preporuča se da izrada mreže počne s željenim krajem u mislima jer se tako koncentrira na zavisnosti koje su potrebne da se taj kraj postigne. Koncentriranje na zavisnosti je ustvari koncentriranje na rizik, budući da su zavisnosti propuštene u planovima i rasporedima ozbiljni izvor rizika. Da bi se to što uspješnije izbjeglo, pri izradi mreže naglasak je na identifikaciji ulaznih parametara, a ne tijeku aktivnosti.



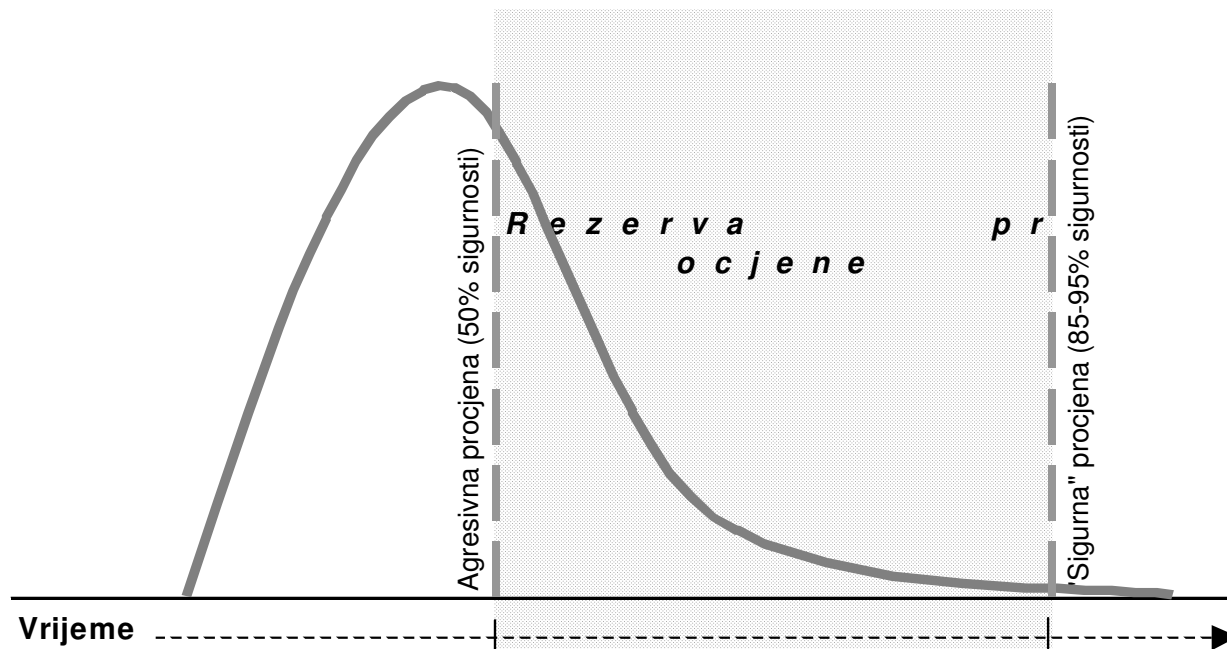
# Razlikovni primjer kritičnog puta i kritičnog lanaca (s unosom zaštitnih rezervi)



Izrada mreže završava razvojem niza procjena trajanja i iteracija aktivnosti. Pristup kritičnog lanaca eksplicitno prihvaća stvarnost varijacija i neizvjesnosti povezanih sa svakim projektom. Čak i kad je rizik identificiran, ublažen ili izbjegnuto kroz dodatne aktivnosti u mreži, izvršenje aktivnosti u mreži ostaje podložno tehničkim rizicima ili rizicima izvedbe.

Prva razlika u odnosu na konvencionalnu mrežu je u tome da **procjena trajanja aktivnosti (projektnih zadataka) ne uključuje nikakve rezerve (zaštitne intervale).**

Procjena se, inače, u cjelini ne sastoji od jednog broja, nego je statistička veličina koja odražava vjerojatnost završetka aktivnosti u određenom periodu. **Agresivna procjena** koja odražava samo količinu potrebnog rada može imati samo **50% sigurnosti**, dok je vremenski dulja, **realističnija procjena**, na koju se izvođač lakše obvezuje, bliže vrijednosti **85 – 95%**. Razlika između te dvije veličine jeste rezerva, koja je u takvim procjenama obično puno veća nego što je stvarno očekivano vrijeme trajanja posla. Praksa je pokazala da se takve rezerve prečesto kod rada prema mrežnom planu troše bez razloga i uglavnom nekontrolirano gube.



U ovoj metodi ideja je da se **rezerve vezane uz kritične aktivnosti prebace na kraj kritičnog lanca**, gdje štiteći od varijacija (Murphyja) u njemu osiguravaju očekivanje projekta – njegovog stvarnog krajnjeg roka. Ova **koncentrirana nakupina rezervi predstavlja osiguravajuću, zaštitnu projektnu rezervu (project buffer)**.

**Kritični lanac čuva se od varijacija u nekritičnim lancima, odnosno integracijskih djelovanja tih lanaca** ("da kritično ostane kritično") **uz pomoć opskrbnih rezervi (feeding buffer)**. Ta vrsta rezerve zapravo "služi zaštiti očekivanja projekta od univerzalnog izvora rizika koji se može naći u svakom projektu koji uključuje paralelne aktivnosti. One se ugrađuju na strateška mjesta prema kritičnom lancu, tamo gdje god se na zadatke -aktivnosti kritičnog lanca vežu, odnosno "opskrbljuju" ih na izvjestan način, zadaci -aktivnosti nekritičnog lanca. Budući da se može očekivati kako će se neke ranije aktivnosti vjerojatno izvesti i bolje, tj., brže od planiranoga, to može ublažiti kašnjenja nekih od narednih u lancu, pa je za pretpostaviti da rezerva projekta može biti manja od sume svojih dijelova izdvojenih po aktivnostima.

**Drugi vid razlikovanja od konvencionalnog mrežnog planiranja je u pomicanju svih aktivnosti u, ne kako je uobičajeno najraniji položaj, već najkasniji mogući položaj prema ranije utvrđenim ovisnostima.** Smatra se da se time minimaliziraju šanse za ponovni rad i da se tako lakše otkriva kritični lanac. Zapravo, umjesto da se s poslom započne što prije, posao se treba početi kada se o njemu imaju bolje informacije. Gledajući na prikazani primjer - b2) može se primjetiti da rad na kritičnom lancu može otpočeti u isto vrijeme kada i na najranijem opskrbljujućem lancu, ali sve samo dok radeći to ne stvaramo okolnosti za ponovni rad i ne tratimo radnu snagu.

Tendencija eliminiranja rokova završetaka aktivnosti iz planova projekta također je usmjerena na zaštitu od Parkinsonova zakona. Iz toga razloga raspored treba biti napravljen tako da ne dozvoljava "diverzije pažnje". Pokazalo se da ovakav pristup znatno umanjuje potrebni broj reažuriranja planova, koje je inače uobičajeno pri svakom uočenom odstupanju od kritičnog puta. **Treći korak u formiranju kritičnog lanca je uklanjanje konflikta resursa, odnosno otklanjanje prekomjerno uplaniranih resursa.** Nerijetki su slučajevi kada bi prema planu (početni mrežni dijagram) jedno te isti resurs trebao biti istovremeno na obavljanju više zadataka, a kako je to u stvarnosti nemoguće (osim u posebnim situacijama), primjenjuju se različiti rutinski postupci da se to izbjegne. Kritični lanac uz prethodne ovisnosti (aktivnosti) uzima u obzir i resursne ovisnosti, koje tradicionalni kritični put (u mreži) ignorira, iako su jednako stvarne.

Na primjeru je vidljivo kako kritični lanac "skače" s puta na put baš zbog uvažavanja resursnih veza. Razumljivo je da treba posebno brinuti o resursima koji se angažiraju na kritičnim aktivnostima, jer njihovo trajanje najdirektnije određuje rok projekta. Zato se oni moraju bukirati unaprijed, kako bi bili dostupni čim je prethodna aktivnost završena, a sve bez oslanjanja na fiksne rokove.

**Kritični lanac otkriva i gdje se mogu angažirati dodatni resursi da bi se projekt završio u kraćem roku. Način na koji se nosimo s neizvjesnošću u projektima u srži je poboljšanje izvedbe projekta, određeno kao završenje projekata u kraćem roku i s većom pouzdanošću održanja očekivanih rokova isporuke.**

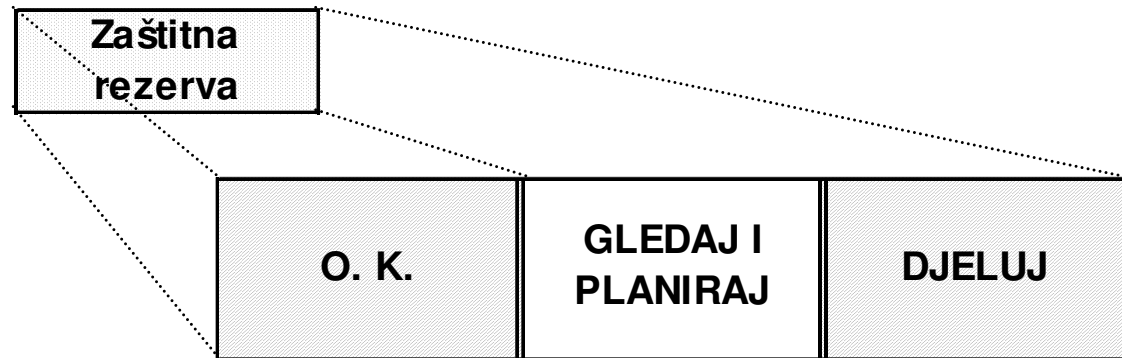
Dok se u tradicionalnoj izradi plana rasporeda projekta učinak integracija s kritičnim putem na vjerojatnost završetka procjenjuje uobičajeno Monte Carlo simulacijom, raspored kritičnog lanca sa zaštitnim rezervama projekta i opskrbe postavljen je tako da izbjegava integraciju rizika (množi se!) i na taj način vjerojatnost održi visokom. Ova metoda značajna je po širem i fleksibilnijem pristupu u vođenju projekta, što se očituje i u specifičnom načinu kontrole.



Pri planiranju rezerve izdvojene iz aktivnosti u opskrbne i projektne, statističke zaštite očekivanja od varijabilnosti imaju jednu još značajniju funkciju kao operativno mjerilo za novi, specifični način upravljanja, bolje rečeno, kontrole kao dijela upravljanja.

U usporedbi s kontrolom predviđenom tradicionalnim načinom upravljanja ovo predstavlja odmak težišta od "onoga što je napravljeno", putem izvješća o postotku završenog posla, na ono što je potrebno da bi se što realnije procijenilo stanje projekta i pristupilo mu se na pravi način – vrijeme preostalo za dovršenje preostalih aktivnosti. Kontrolom rezervi tijekom izvršavanja projekta dobivaju se potrebne informacije o tome gdje bi bilo najbolje koristiti resurse, te gdje i kada su potrebne korektivne akcije. Rezerve pojednostavljaju prioritete i pružaju rana upozorenja o "zdravlju" projekta prilikom utjecaja stvarnih okolnosti na planski model u početnom rasporedu.

**Trajanje aktivnosti dulje od predviđenog vremena troši rezerve, a kraće trajanje ih puni.** Spoznaja o stanju iskorištenosti rezervi projekta u odnosu na kraj kritičnog lanca i očekivanu varijabilnost preostalog posla daje uporišnu točku za upravljanje izvršenjem projekta. Planiranje i akcije ovise o količini rezervi koja je iskorištena ili popunjena izvedbom aktivnosti, a što dobro signalizira ne samo kada djelovati, nego i kada ne djelovati jer to nije potrebno da bi se zaštitio kritični lanac i očekivanja projekta



Upravljanje na bazi kontrole rezervi uključuje kombinaciju raznih pristupa stanju rezervi u realnom vremenu i povremene sastanke na tu temu. Redovito obnavljanje podataka o stvarnom statusu rezervi iziskuje samo jednostavne podatke o aktivnostima – recentnu procjenu (brojčanu) vremena za njihovo zgotovljavanje. Kako se aktivnosti završavaju zna se definitivno koliko su rezervi iskoristile. Uz obnovljene procjene vremena do završenja aktivnosti koje su trenutno u tijeku, može se vidjeti koliko je rezervi stvarno potrošeno.

## Vrijednosti preostale rezerve (%)

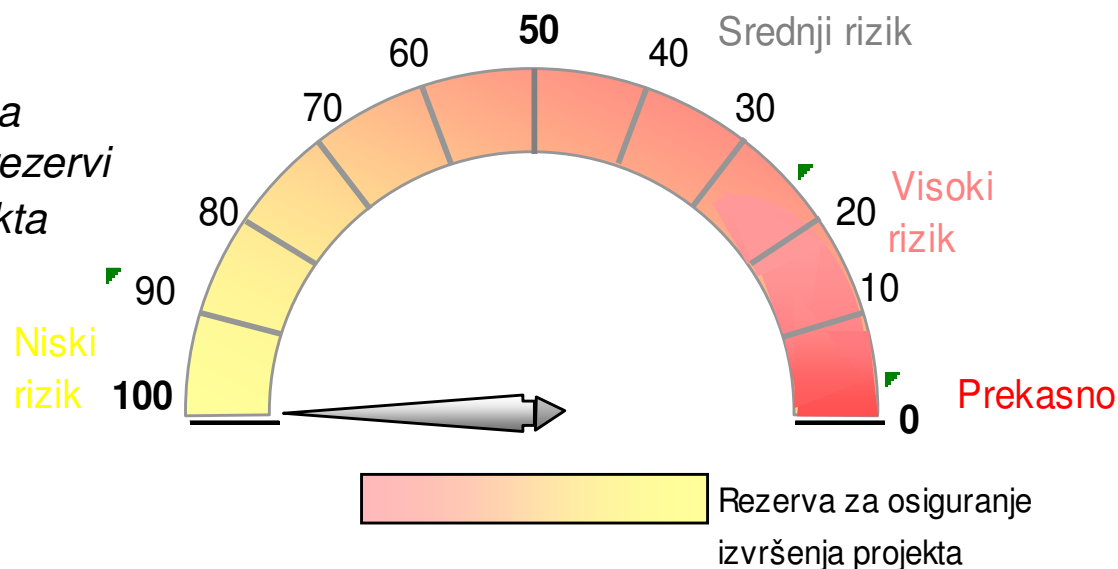
### "Risk-O-Meter"

– upozoravajuća stanja prema praćenju preostalih ukupnih rezervi za osiguranje izvršenja projekta

Grafički prikazi stanja rezervi u odnosu na postotak izvršenja lanaca, ili prema rezervama potrebnim za preostali posao, koriste se kao kontrolni grafovi u statističkim postupcima kontroliranja proizvodnje.

**Ako se prati potrošnja rezervi u odnosu na količinu obavljenog posla u lancu ili, alternativno, ako se preostala rezerva prati u odnosu na količinu rezerve potrebne da se zaštiti ostatak lanca, trendovi smanjenja stanja rezervi ili prelaženja okvira rezervi prije utvrđenih ulaza pomoći će u prepoznavanju indikacija rizika za projekt u cijelosti.**

*Dok ostaje unaprijed utvrđena proporcija rezervi, sve je u redu. Ako varijacije – promjene trajanja aktivnosti iskoriste određenu količinu rezervi, ustanovljava se što je potrebno učiniti u slučaju da se situacija nastavi odvijati u tom smjeru. Kako su rezerve primarni objekt za mehanizam kontrole projekta, do razmatranja korektivnih akcija dolazi kada status rezerve izađe iz "zelene zone" i pređe u "žutu zonu", ili kada su zamjećeni trendovi povećanja korištenja rezervi. Ovo poticanje procjena javlja se kada još postoji dosta rezervi, i zato omogućuje da se potrebno razmišljanje ne odvija u panici. Kada se stanje zaista pogorša ispod druge granične crte, utvrđeni planovi se aktiviraju. Ako rezerva prijeteći da uđe u "crveno", onda ublažavanje potrebno za zaštitu očekivanja projekta, odnosno poboljšanje stanja rezervi potrebno da se vrate u "zeleno" osigurava samo izvođenje korektivne akcije primjerene veličine.*



Upravljanje rezervama kao kontrola reakcija ima u sebi ugrađenu analizu korisnu i za procjenu pojedinačnih rizika, pa ako preostaje dovoljno rezerve za zaštitu očekivanja od varijacija predvidljivih za preostali posao, tada rizik nije vrijedan pažnje i vremena potrebnog za razvoj novih planova.

**Utvrđeno stvarno stanje zaštitnih rezervi izvor je operativno korisnih informacija za procjenu stupnja rizika kojemu je svaki zaštićeni događaj izložen.**

*U upravljanju nije poželjno ni prerano paničarenje, niti poduzimanje akcije na svaki nagovještaj odstupanja od plana, jer se time samo rasipa pozornost i oduzima ograničeno vrijeme vrijedno za upravljanje. Izuzetno je pozitivno što se ovdje radi upravo o ranim znakovima upozorenja.*

Aдекватno se postupa i **na razini upravljanja s više projekata** (multiprojektom).

Na sastancima predstavnika (manageri, vlasnici) svih projekata razmatra se status rezervi, a u žarištu rasprave su oni projekti čije su rezerve "u žutom" ili, pogotovo, "u crvenom". Pri tome se posebna pozornost obraća sposobnosti rezervi da apsorbiraju utjecaj identificiranih rizika i pokušavaju se iznaći prilike i akcije za oporavak rezervi.

*US Navy, "izumitelji" projektnog menadžmenta prihvatili su **Critical Chain Project Management** kao optimalno rješenje za upravljanje projektom nesigurnost.*

*Rezultati pokazuju da Critical Chain upravljanje projektima pruža skokoviti napredak u odnosu na prethodne načine upravljanja -učinkovitim rješavanjem njihovog temeljnog pitanja zašto projekti isporučeni krajem ili preko proračuna.*

*Korištenje Kritičnog Lanac uspješni su:*

- završiti 28 projekata u usporedbi s 20 sličnih projekata u prethodnoj godini
- udvostručiti produktivnost
- smanjiti prekovremeni rad za više od 50%
- smanjiti osoblje za više od 1 / 3
- poboljšani raspored nastupa 133%

# OPTIMIZACIJA

- **Najčešći RAZLOZI ODUSTAJANJA OD OPTIMIZACIJE:**
  - NEDOSTATAK VREMENA (a vrlo mnogo mogućih rješenja) I  
POUZDANIH PODATAKA (često su nedostatni, nepotpuni, nesigurni)  
*-u izvjesnoj mjeri može biti opravdanje u fazi davanja ponude, ali **samo za odlaganje procesa za izvedbeni POG***
  - STRUČNO NEZNANJE (zahtjeva specijalistička znanja) *-ne smije biti ograničavajući čimbenik*
  - KORISNIČKI NEDOSTACI METODA (nijedna se ne smatra zadovoljavajućom za sve praktične slučajeve) I  
RAČUNALNIH PROGRAMA *-riješiti pravilnim pristupom i izborom*  
*- Nedostaci najviše proizlaze iz kompleksnosti postupaka.*
- **RAZLOZI ZA PROVOĐENJE OPTIMALIZACIJE prije svega su:**
  - SNIŽAVANJE TROŠKOVA IZVOĐENJA (ukupno gledano)
  - POVEĆAVANJE VJEROJATNOSTI IZVEDBE (u zadanim, odnosno planiranim okvirima)
- *Modeli budućih događaja i aktivnosti nikada se ne mogu u potpunosti predvidjeti, kao što se ne mogu uključiti ni sve okolnosti i utjecaji koji će nastupiti, pa u rješenjima uvijek postoji određen stupanj nesigurnosti, odnosno **rizika**.*
- Optimizacija postoji otkada i planiranje i ti procesi su zajedno razvijani. Kod tehnika linijskog planiranja primjenjuju se samo jednostavniji, lako razumljivi postupci kojima se poboljšava prva varijanta plana (unutar nekog šireg područja koje se smatra optimalnim). *Mrežno planiranje daje čvrstu matematičku podlogu za optimaliziranje (do "najoptimalnijeg" iz skupa svih mogućih rješenja).*

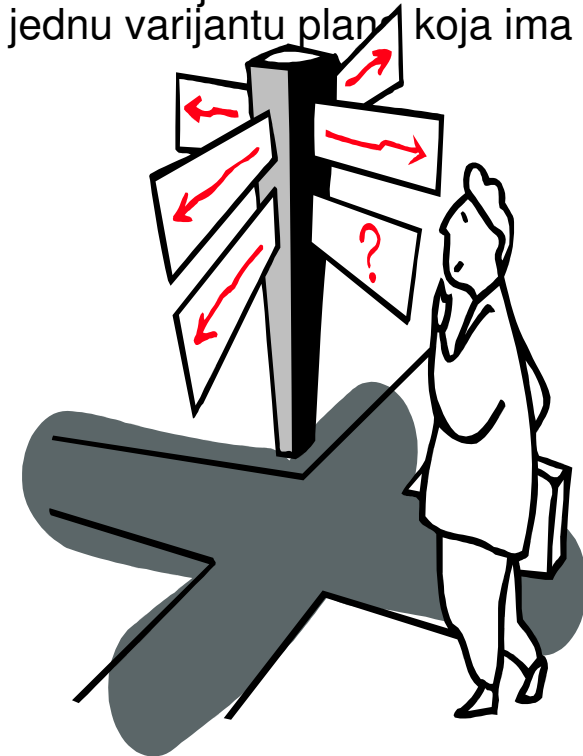
# OPTIMIZACIJA PLANOVA

**Optimizacija je 3. faza planiranja** i zahtjeva odgovarajuću matematičku podlogu (samo tehnika mrežnog planiranja detektira kritični put i rezerve). Nakon što se obavi analiza strukture i vremena dobiva se **prvo plansko rješenje** koji **rijetko zadovoljava po pitanju svih zadanih ciljeva**. Najčešći je slučaj da je potrebno skratiti rok realizacije i poboljšati uporabljivost plana (za što je usko vezana i vjerojatnost realizacije). No, sređivanje plana u tom smjeru mora biti takvo da što manje negativno utječe na troškove i rizike. Zbog suprotnog djelovanja postupaka optimizacije na različite kriterije kvalitete plana i ciljeve realizacije, svi oni se pri moraju zajedno sagledavati (usklađivati -imajući u vidu njihovu interakciju) i to prema unaprijed određenim prioritetima.

Praktično postoji niz operacija, njihovih slijedova i skupina resursa koje se može očekivati tijekom realizacije projekta, a svaki njihov skup predstavlja jednu varijantu plana koja ima svoje troškove, trajanje i rizike.

- **FAKTORI (smjerovi) optimizacije:**
  - **TROŠKOVI**
  - **VRIJEME (rok građenja)**
  - **BROJ i RASPORED (-DINAMIKA)**
  - **KORIŠTENJA RESURSA (rad. snage i strojeva)**
  - **RIZIK**

Optimalizacija ima suprotno djelovanje na rezultate prema različitim faktorima, pa se moraju svi zajedno sagledavati tj. usklađivati (prema unaprijed određenim prioritetima) imajući u vidu njihovu interakciju. **Jednokriterijalni pristup zanemaruje ostale faktore i s tim već u startu onemogućuje optimalno rješenje.**





**Matematičke metode (programiranja)** za optimizaciju uglavnom su orijentirane na jedan kriterij i građevinskoj praksi nisu pružili alat zadovoljavajuće upotrebljivosti. Matematičke metode temelje se najviše na matematičkom programiranju i za praktične slučajeve nemoguće je bez računala.

Mnogi praktičari daju prednost **heurističkom pristupu** kod rješavanja ovakvih problema (nije ograničen samo na jednostavne slučajeve), kojim se postizu rezultati koji su u granicama od dobrih do optimalnih (heuristika shvaća optimalnost fleksibilnije od matematičkih definicija, pa ovi postupci imaju šire područje rezultata od strogo matematičkog optimuma).

Općenito, smjerovi djelovanja optimalizacije mogu biti:

- minimalizacija –racionaliziranje troškova** (*n a j č e š ć e*): mijenjajući trajanja aktivnosti (do izvjesne mjere skraćivanjem, ali ponekad i produžujući ih) i ukupni rok gradnje, a djelujući i na vremenski raspored i maksimalni broj resursa (prvo smanjujući ih na nekritičnim aktivnostima) i eventualno smanjujući neke od prije uračunatih rezervi;
- podizanje kvalitete vremenskog rasporeda resursa**: ujednačujući plan korištenja, čime se obično podižu direktni troškovi po N.S. i smanjuju jednokratni i režijski, te ujedno smanjujući rizik provedbe plana;
- skraćivanje prvobitno planiranog roka realizacije**: mijenjajući vremenski raspored i maksimalni broj resursa (premještanjem s nekritičnih na kritične aktivnosti), a nadalje neposredno podižući direktne troškove (veći maksimalni broj resursa, pa sve do promjena tehnologija za skraćivanje trajanja kritičnih aktivnosti, smanjujući i vjerojatnost realizacije do maks. granice troškova ili min. roka (realno ako uz pretpostavku o ograničenju raspoloživih resursa));
- povećavanje vjerojatnost izvedbe**: ugrađivanjem i uvećavanjem rezervi u planu - produžujući tako rokove i povećavajući troškove (što daje veću sigurnost da neće biti prebačaja plana).

U optimizaciji kao i planiranju postoji deterministički i probabilistički pristup, koji se razlikuju u dobivenim informacijama.

**Deterministički modeli** kroz postupke opće objektivne zakonitosti i uzročne uvjetovanosti određenih, neslučajnih varijabli istražuju raspored resursa ili minimum troškova ili vremena.

**Probabilistički modeli** istražuju spektar pouzdanost podataka i rezultata (npr. trajanja plana), uz tvrdnju da je svaka spoznaja samo vjerojatna.

# Optimizacije roka i troškova građenja

Najčešći smjerovi optimizacije planova su:

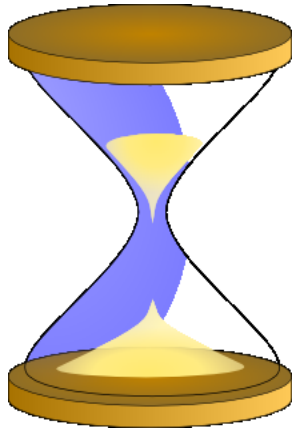
- iznalaženje takvog roka gradnje kod kojeg će ukupni troškovi biti minimalni (tzv. “normalno” vrijeme –dno parabole koja prikazuje sumarne troškove gradnje);
- iznalaženje odgovarajućeg roka gradnje uz optimalno angažiranje raspoloživih (zadanih) resursa;
- iznalaženje minimalnog (ili zadanog) roka gradnje uz pripadne troškove (traži se uz minimalno potrebno uvećanje troškova u odnosu na one koji odgovaraju “normalnom” vremenu)

Skraćivanje planiranog roka realizacije postiže se mijenjajući vremenski raspored i maksimalni broj resursa (skraćujući uvijek one aktivnosti koje su na kritičnom putu), čime se podižu direktni troškovi (zato se to čini prije na aktivnostima koje imaju manji prirast troškova po danu skraćjenja).

Za skraćjenje vremena prvenstveno treba poduzimati mjere koje će imati što manji prirast troškova, kao što su obično:

- *uvođenje više radnih smjena na dan,*
- *uvođenje prekovremenog rada, odnosno duže trajanje radne smjene (kao i prethodna mjera smanjuje pojedinačni postotak učinka radnika u odnosu na 8-satni rad u prvoj smjeni),*
- *primjena produktivnijih materijala (npr. cementa),*
- *primjena efikasnijih metoda i postupaka (npr. za brže očvršćavanje betona, kao što su aditivi i termička obrada),*
- *povećanje broja radnika (ograničeno zbog radnog prostora, može se koristiti i usluge nekog kooperanta),*
- *povećanje broja mehanizacije (uglavnom najefikasnija mjera, ali najčešće i najskuplja jer npr. uključuje i jednokratne troškove uvođenja u rad novih strojeva),*
- *davanje premija za raniji završetak posla (investitor izvođaču, a izvođač svojim radnicima i/ili kooperantima).*

# PRAĆENJE REALIZACIJE I AŽURIRANJE PLANOVA



Za uspješnost planiranje iznimno je važna pouzdanost podataka, pa je stoga vezana za praćenje izvedbe i stvaranje kvalitetnih, ažuriranih baza podataka.

**Planiranje nije jednokratna aktivnost.** Razumljivo je da su izmjene planova pri izvođenju građevinskih projekata često neizbježne, ali i u tom slučaju početni plan je neophodan kao osnova za određivanje odstupanja, ispitivanje uzroka uočenih smetnji i analiziranje učinka nastalih promjena. Tek kada se osigura povratni tijek informacija (putem kontrole) plan može funkcionirati kao dinamički model. S tako dobivenim novim ulaznim podacima, moguće je tražiti varijantna rješenja za predstojeće akcije, te u novonastalim situacijama utvrditi optimalni put za održavanje ciljeva projekta.

Uvijek je nužna pravovremenost reagiranja u odnosu na aktualnost rezultata monitoringa, te dinamički modeli tehnika planiranja moraju omogućavati dovoljno brzo provođenja analiza da voditelj ne bi morao donositi odluke isključivo na osnovi intuicije i svoje paušalne procjene. U tome veliki doprinos mogu dati računala s pravilno primjenjenim programima. Kod nas se koristi nekoliko domaćih (*Gala, Adria, Agra*) i stranih (*Microsoft Project* -najrasprostranjeniji, *Primavera* –najkompleksniji i s najviše mogućnosti) programa. Često je vremensko planiranje samo jedna od mogućnosti koje pružaju (osnovni dio za koji neki imaju upisane i građevinske normative), uz ostale funkcije potrebne za vođenje projekata (kalkulacija cijena, obrasci različite dokumentacije i dr.)

**Planiranje je proces** čiji su postupci sastavni dio skupa upravljačkih djelovanja i zauzima znatno šire polje od aktivnosti koje podrazumijevaju tehnike za izradu planova. Njegova funkcija povezuje rad više dijelova proizvodnog sustava izvoditelja (pripremu, operativni sektor, kontroling, nabavu resursa, financije i dr.) i mora na odgovarajući način biti uklopljeno u komunikacijske tokove.

# Planiranje na različitim nivoima i praćenje ostvarenoga

