

SUSTAVNO INŽENJERSTVO U UPRAVLJANJU PROJEKTIMA

nastavni materijali - predavanja : prof dr.sc. Snježana Knezić

Literatura:

[1] **Harlod Kerzner:** PROJECT MANAGEMENT, A SYSTEM APPROACH TO PLANNING, SCHEDULING AND CONTROLLING, VNR New York

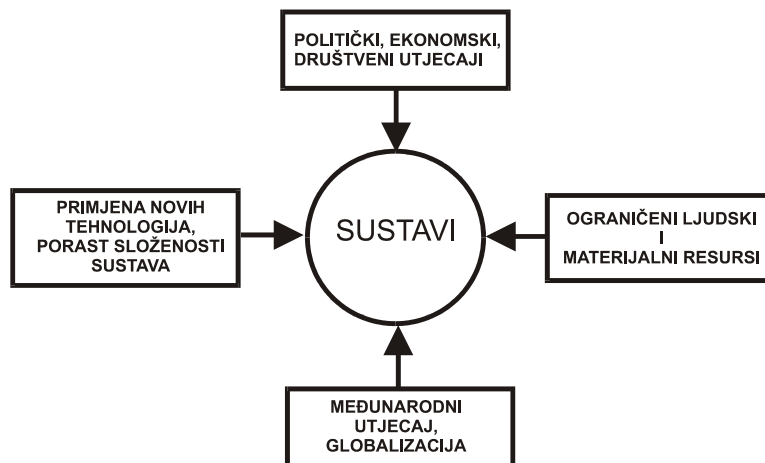
[2] **Benjamin S. Blanchard:** SYSTEM ENGINEERING MANAGEMENT, JOHN WILEY & SONS

[3] **Len Troncale:** The system sciences: What are they? Are they one or many?, Invited Review, EJOR Vol. 31, No. 1

[4] **H.N. Ahuja, S.P. Dozzi, S. M. Abourizk,** PROJECT MANAGEMENT, Techniques in Planning and Controlling Construction Projects, John Wiley & Sons, Inc. 1994.

Trend

- složenost sustava raste
- proizvodi često ne zadovoljavaju tržište
- konkurencija raste
- raste stupanj međunarodne razmjene i kooperacije
- ograničene količine resursa



Sustav i njegovo okruženje, Blanchard [2]

System(s) approach

u procesu postizavanja definiranih
ciljeva

Uočava se nedostatak ranog
planiranja i definiranja zahtjeva na
potpun i metodičan način

Postavlja se zahtjev za razvojem i proizvodnjom sustava

- dobro integriranih
- učinkovitih s obzirom na troškove
- visoke kakvoće
- s ciljem sveukupnog zadovoljenja kupca.

System sciences

trend phrase or a reality?

Len Troncale (1988)

Izraz 'system science'

- najprije se koristio u inženjerskoj struci i odnosio se na posebna područja matematičke teorije kontrole sustava
- raširio se na ostala područja ko što su humani sustavi, poslovanje, itd.

4 domene iz područja znanosti o sustavima

- opća teorija sustava
- teorija sustava temeljena na pojedinim disciplinama
- sustavna analiza
- primjena sustava

Opća teorija sustava

- Po svojoj definiciji je transdisciplinarna
- Koristi jezik i matematičke izraze za opisivanje i formalizaciju apstraktnih oblika i procesa koji su se pokazali sličnima u mnogim područjima, kao i mnogih razina složenosti i organizacijskih struktura.

Teorija sustava

- Koristeći koncept sustava uključuje empirijske rezultate različitih pojava, najčešće u okviru jednog područja.
- Teorija sustava vodi ka semantičkim ili opisnim modelima pojava koje je teže testirati od pojedinačnih pojava koje sintetiziraju.

Sustavna analiza

- Uključuje intenzivno proučavanje pojedinih pojava u nekom području modeliranjem, simulacijom ili matematičkim formalizmom.
- Najveći uspjesi su u primjeni u tzv. 'tvrdim' (hard) disciplinama gdje se potrebni parametri mogu lakše otkriti, prepoznati ili izmjeriti.

Primjena sustava

- uključuje relativno kvalitativna proučavanja sustava koji su uglavnom humani ili društveni, stoga se koriste tzv. 'mekim' (soft) metodologijama.
- Proizvod nije model ili neki od alata već korekcija ili poboljšanje problema.

Svako područje 'vidi' sustav

- iz različitih perspektiva i ciljeva
- proučava ga sa značajno različitim alatima
- kroz različit konačni proizvod

System science products

- prepoznavanje, definiranje, razjašnjavanje brojnih izomorfizama ili homeomorfizama sustava

System science products

- prepoznavanje, definiranje, razjašnjavanje brojnih izomorfizama ili homeomorfizama sustava
- usporedba postojećih i razvoj novih metodologija i alata

System science products

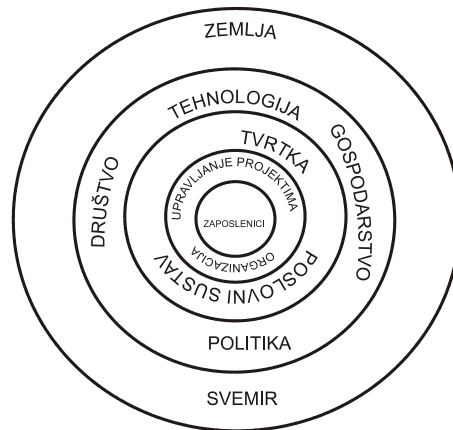
- prepoznavanje, definiranje, razjašnjavanje brojnih izomorfizama ili homeomorfizama sustava
- usporedba postojećih i razvoj novih metodologija i alata
- taksonomija sustava kako bi se uspostavila ograničenja u primjeni izomorfizama i alata

Izazovi

- sustavi se moraju sagledavati s obzirom na njihov cjelokupni životni vijek
- krajnja vrijednost sustava mora biti izravno povezana sa stupnjem zadovoljenja kupca i treba biti izražena u terminima mjere koja se odnosi na učinkovitost troškova
- procesi i metode moraju osigurati vremensku učinkovitost, čim veću djelotvornost i učinkovitost, uzimajući u obzir ograničenost resursa

Poslovni sustav

Hijerarhija sustava, Kerzner [1]



Namjena poslovnog sustava

- razvoj veza između resursa unutar organizacije
- tako da se može doći do informacije
- koja će pomoći u procesu donošenja odluka
- što je potrebno da bi se postigli ciljevi tvrtke

Poslovni podsustavi

- organizacijski sustavi
- informacijski sustavi
 - neformalni informacijski sustavi
 - formalni informacijski sustavi
 - upravljački informacijski sustavi (MIS)
 - sustavi za donošenje odluka
- financijski informacijski sustavi
- marketinški informacijski sustavi

- sustavi kontrole
- informacijski sustavi zaposlenih
- proizvodni / operacijski informacijski sustavi

Rast organizacijske složenosti

- ubrzani tehnološki razvoj i rast
- sve se više novca investira u razvoj
- dostupno je sve više informacija zbog brzog feed-back procesa
- skraćenje životnog vijeka projekta uključuje sve više promjena
- razvoj alata za podršku odlučivanju u okviru operacijskih istraživanja i znanosti o upravljanju

Modeli:

- komunikacijski
 - usmeni
 - pisani
- shematski modeli
 - statički
 - gantogrami
 - arrow diagrams

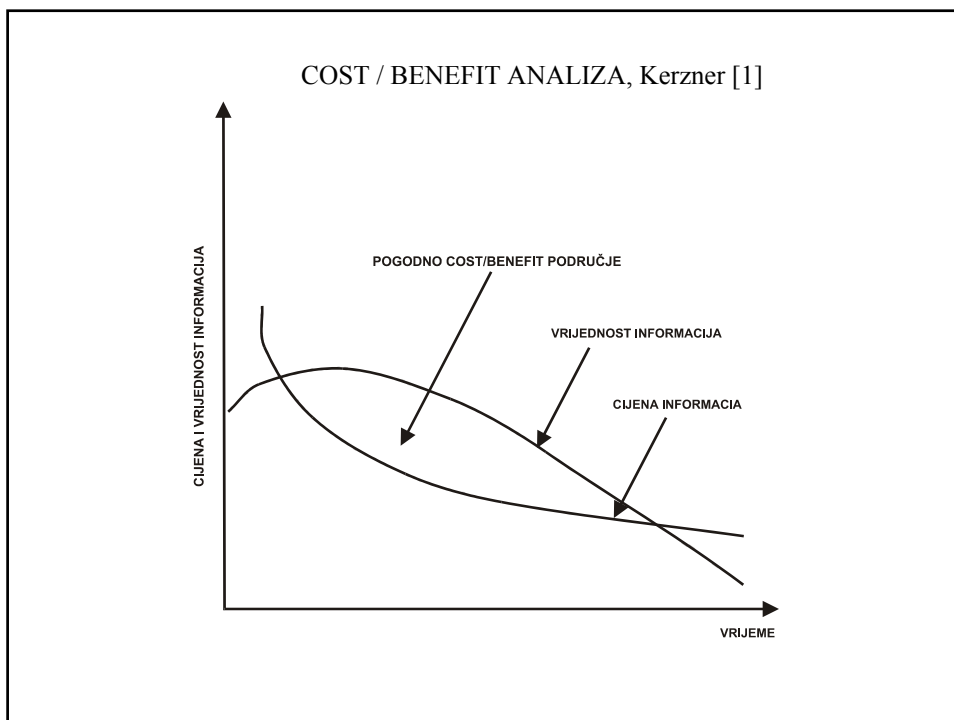
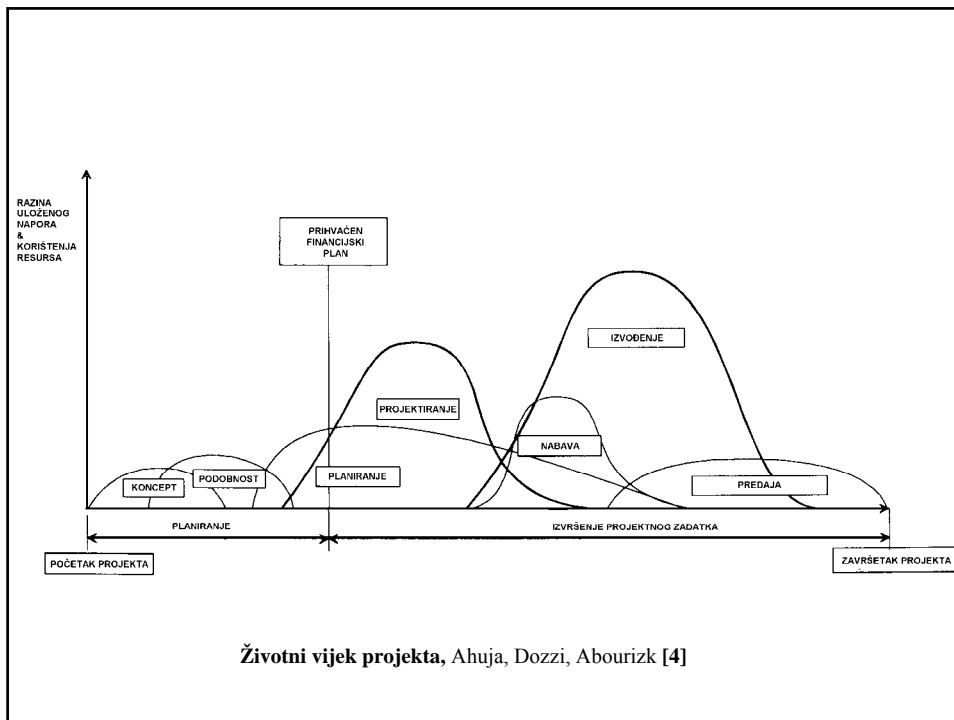
- Flow rate models
 - PERT/time
 - PERT/cost
 - Precedence
 - CPM
 - stabla odlučivanja
- dinamički modeli

- iconic models
- analogni modeli
- simbolički (matematički)
 - deterministički
 - probabilistički
- konceptualni

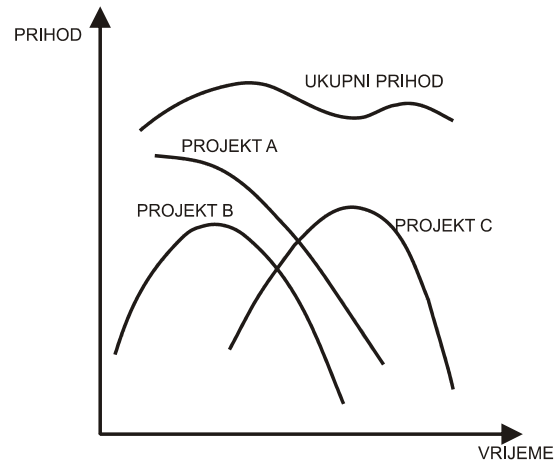
Kategorije projekata

- individualni projekti
- staff projects
- posebni projekti
- agregirani ili matrični projekti

ŽIVOTNI VIJEK PROJEKTA



Vremenski tijek projekata, Kerzner [1]

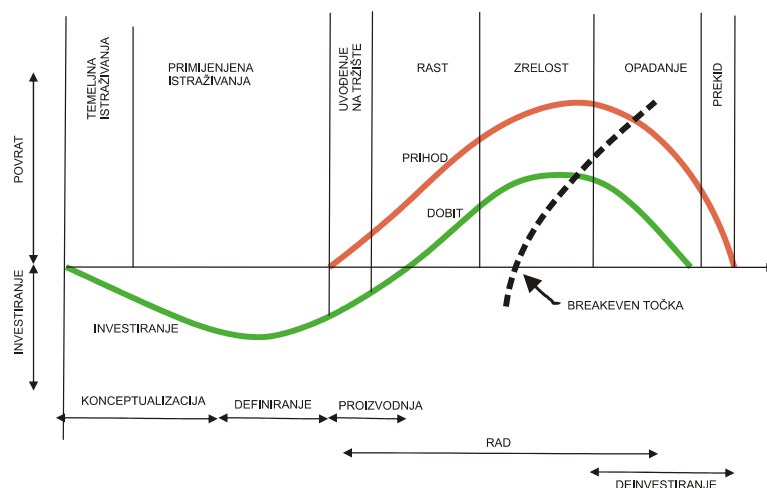


Pitanja kod multi-project managementa

- Jesu li ciljevi projekata isti?
 - Za dobrobit projekta?
 - Za dobrobit tvrtke?
- Postoji li razlika između malih i velikih projekata?

- Kako se nosimo s konfliktima kod određivanja prioriteta?
 - kritičan vs. kritičan projekt
 - kritičan vs. nekritičan projekt
 - nekritičan vs. nekritičan

Životni vijek sustava /proizvoda, Kerzner [1]



Razlozi za izradom proceduralnih priručnika koristeći faze životnog vijeka projekta:

- Jasno razgraničenje poslova koji se moraju baviti u svakoj fazi
- lakše određivanje cijena i troškova s dobro strukturiranim poslom (projektom)
- na kraju svake faze se donose odluke tako da je moguće stupnjevito financiranje

Sustavni pristup

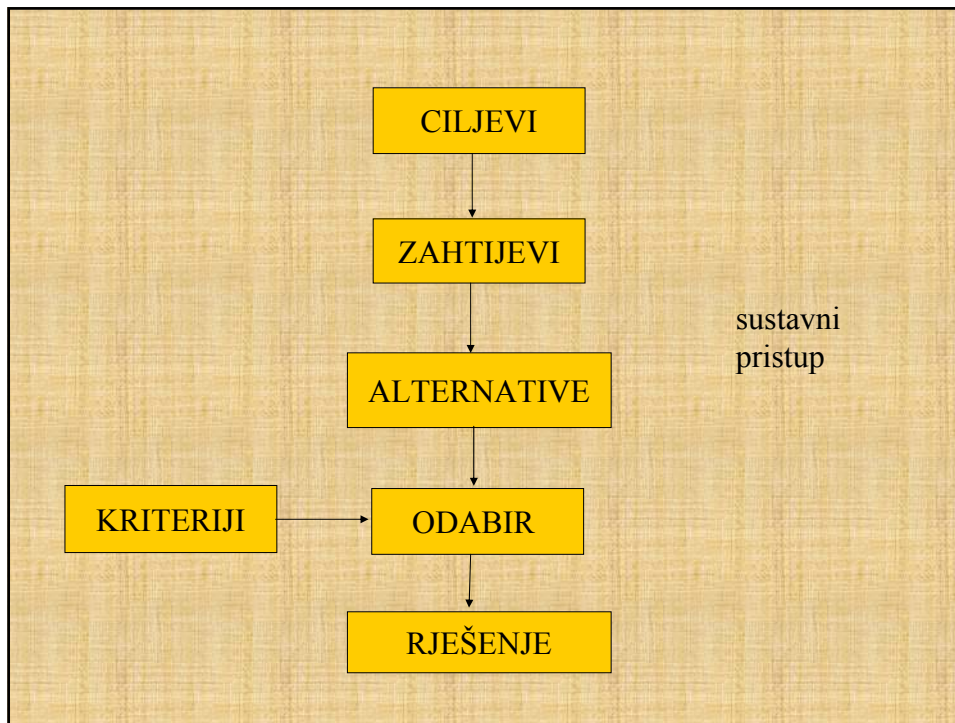
System approach - logical and disciplined process of problem solving

Sustavni pristup

- forsira prepoznavanje veza među različitim podsustavima
- dinamičan proces koji integrira aktivnosti u smislenu cjelinu
- sistematično pridružuje dijelove sustava u jedinstvenu cjelinu
- traži optimalno (kompromisno) rješenje u procesu rješavanja problema

Faze sustavnog pristupa

- spoznaja problema
- analiza
- trade-off / odabir rješenja
- sinteza



Cilj(evi)

Funkcija sustava ili strategija koja mora biti postignuta

Zahtjevi

Parcijalne potrebe koje zadovoljavaju
cilj(eve)

Izbor kriterija

Faktori koji se koriste u procesu
evaluacije alternativa kako bi se
izabrala optimalna (kompromisna)

Ograničenja

Apsolutni faktori koji opisuju uvjete
koje alternative moraju zadovoljiti

Upravljanje projektom

Project management

Projekt je niz aktivnosti i zadaća koji

- mora zadovoljiti određeni cilj unutar određenih posebnosti
- ima određen datum početka i kraja
- ima financijsko ograničenje
- troši resurse

Upravljanje projektom

- planiranje projekta
- nadziranje projekta

Planiranje projekta

- definiranje zahtjeva posla
- definiranje količine posla
- definiranje potrebnih resursa

Nadziranje projekta

- Napredovanje po zadanom planu
- usporedba stvarnog s predviđenim
- analiziranje vanjskih utjecaja
- prilagodba

Uspješno upravljanje projektom jest postizavanje ciljeva projekta

- u okviru vremena
- u okviru troškova
- na traženoj tehnološko - izvedbenoj razini
- koristeći se pridijeljenim resursima učinkovito i djelotvorno

Moguće koristi od upravljanja projektom su:

- utvrđivanje funkcijskih odgovornosti tako da su sve aktivnosti uzete u obzir
- minimizira potrebu za trajnim izvještavanjem
- utvrđivanje vremenskih ograničenja za proces raspoređivanja
- utvrđivanje metodologije za trade-off analizu

- mjerenje postignuća u odnosu na plan
- rano uočavanje problema tako da se odmah može intervenirati
- poboljšava mogućnost proračuna za buduća planiranja
- prepoznavanje situacije kada se ciljevi ne mogu zadovoljiti ili se pak mogu premašiti

Problemi

- složenost projekta
- posebni zahtjevi kupca
- organizacijsko restrukturiranje
- rizici
- tehnološke promjene
- planiranje i određivanje cijena unaprijed

Upravljanje projektom je planiranje, organiziranje, usmjeravanje i kontroliranje resursa tvrtke u skladu s relativno kratkoročnim ciljem koji je uspostavljen kako bi se zadovoljili posebni ciljevi. Upravljanje projektom koristi sustavni pristup prilikom upravljanja koristeći funkcionalni personal (vertikalna hijerarhija) kojima je pridjeljen odgovarajući projekt (horizontalna hijerarhija)

Nova definicija uspješnosti upravljanja projektom

- unutar zadanog vremena
- unutar zadanog budžeta
- na odgovarajući način ili na zadanoj razini izvođenja
- prihvatljivost od strane kupca/korisnika
- s minimumom odstupanja ili međusobnim dogovorom oko zadanih rokova

- bez ometanja poslovnog sustava organizacije
- bez mijenjanja načina ponašanja tvrtke

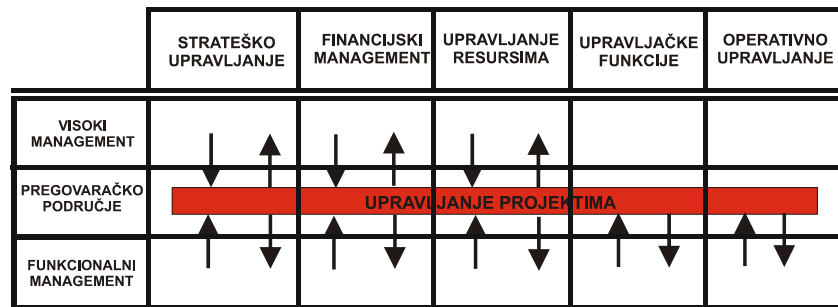
Najčešći resursi

- novac
- ljudi
- oprema
- znanje/usluga
- materijal
- informacije/tehnologija

Učinkovito upravljanje projektom zahtijeva razumijevanje

- kvantitativnih alata i tehnika
- organizacijskih struktura
- ponašanja unutar organizacije

Uloga project managera



PREGOVARANJE U OKVIRU MANAGEMENTA, Kerzner [1]

Interface management

- upravljanje ljudskim odnosima unutar organizacije u projektu
- održavanje ravnoteže između tehničkih i upravljačkih funkcija u projektu
- borba s rizicima u okviru procesa upravljanja projektom
- 'preživljavanje' organizacijskih ograničenja

Uloga visokog managementa u konfliktu

- uspostava kriterija odabira za projekt
- uspostava prioriteta među projektima

Uloga funkcionalnih menagera

Uloga se sastoji od dva elementa

- ima odgovornost definirati kako će zadaća biti izvršena i gdje će se zadaća izvršiti (tehnički kriteriji)
- ima odgovornost pribaviti dovoljno resursa kako bi zadovoljio ciljeve u okviru ograničenja (tko će raditi posao)

Uloga izvršnog managera

- planiranje i uspostava projekta
- u rješavanju konflikata
- u uspostavi prioriteta
- kao sponzor

Uloga project managera u planiranju

Project manager mora dati

- potpunu definiciju zadaće
- definirati potrebe za resursima
- glavne miljokaze
- definirati krajnju kakvoću i pouzdanost proizvoda
- temelj za mjerenje uspješnosti izvođenja

Navedeni faktori rezultiraju u slijedećem:

- funkcionalne jedinice razumiju svoju odgovornost u postizavanju potreba projekta
- problemi koji proističu iz raspodjele kritičnih resursa su prethodno prepoznati
- rano prepoznavanje problema koji mogu ugroziti uspješnost završetak projekta

Neispravno planiranje projektom rezultira

- kontinuiranom revidiranju i uspostavljanju projektne politike, procedura i direktiva
- trajnom prebacivanju organizacijske odgovornosti i moguće nepotrebno restrukturiranje
- potrebom za osobljem koje bi prihvatilo nova znanja i vještine

Je li formalni *project management* potreban?

- Jesu li poslovi složeni?
- Je li okolina dinamična?
- Jesu li ograničenja čvrsta?
- Postoji li više aktivnosti koje treba integrirati?
- Postoji li više funkcionalnih granica koje treba preći?

Organizacijska struktura

Organizacija se može definirati kao skupina ljudi koji moraju koordinirati svoje aktivnosti kako bi postigli ciljeve organizacije (tvrtke)

Organizacijska struktura je diktirana faktorima kao što su:

- tehnologija (stopa promjene)
- složenost
- raspoloživost resursima
- proizvodi i /ili usluge
- natjecanje
- zahtjevi procesa donošenja odluka

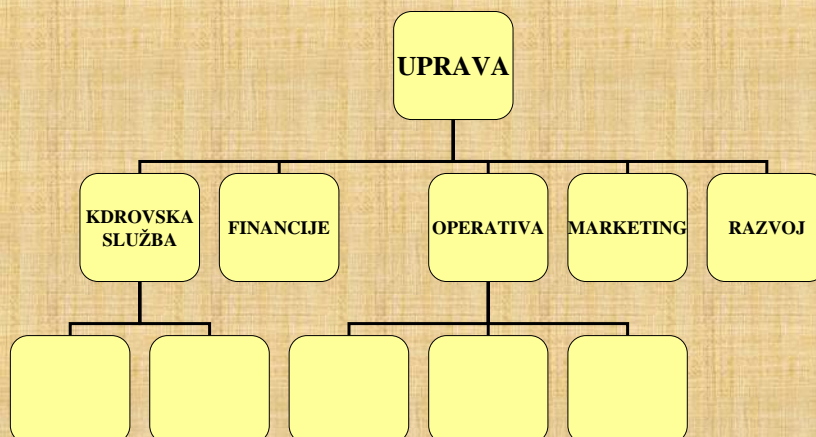
5 općih pokazatelja da tradicionalna organizacija ne pomaže:

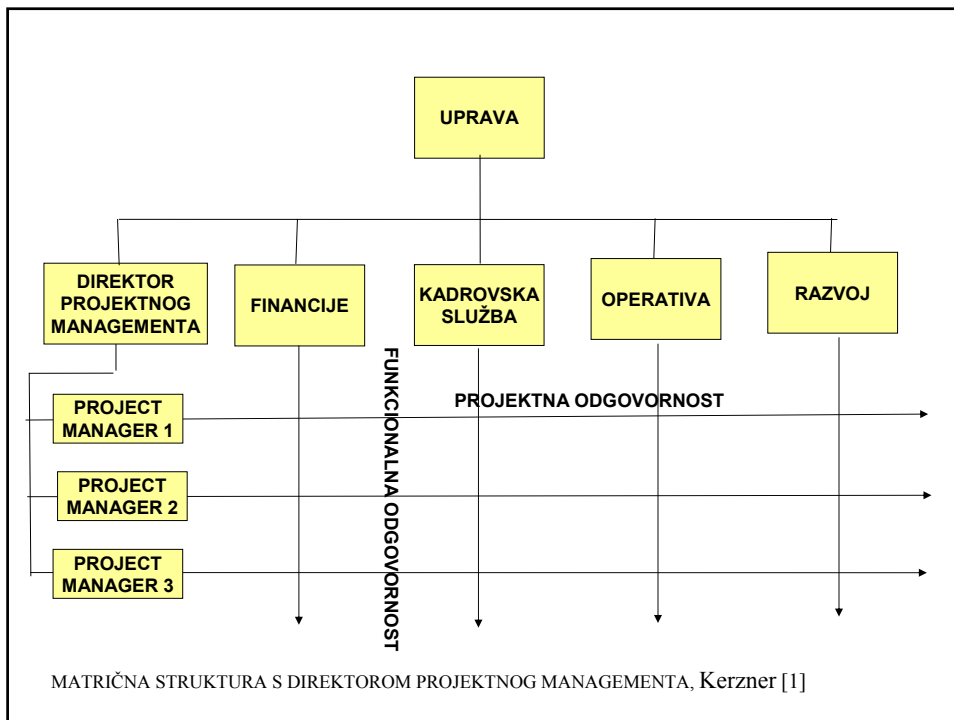
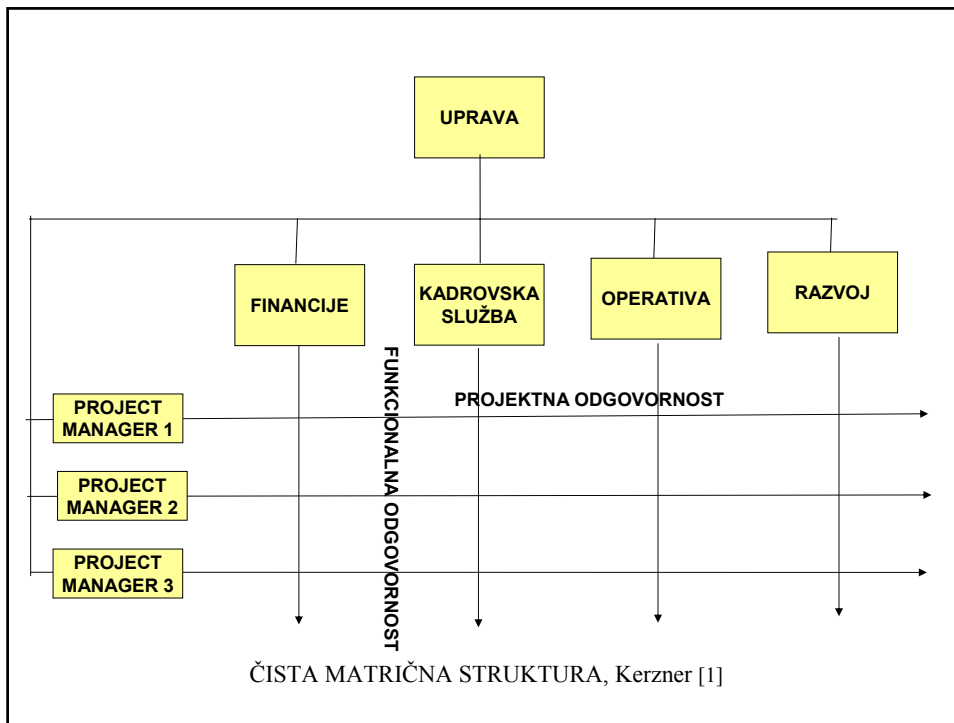
- management zadovoljava tehničke osobine, ali projekti nisu u okviru vremenskih, troškovnih i ostalih ograničenja
- postoji velika predanost izvođenju projekta, ali velika fluktuacija u načinu postizanja dobrog izvođenja
- visoko specijalizirani stručnjaci uključeni u projekt se osjećaju krivo iskorišteni i izrabljeni

- Određene tehničke grupe ili pojedinci neprestano okrivljuju jedni druge za pogreške u postizavanju rokova, ograničenja ili kakvoće
- projekt je završen na vrijeme i u okvirima ostalih ograničenja, ali grupe i pojedinci nisu zadovoljni postignućem

Ne postoji dobra ili loša, postoji
samo odgovarajuća ili
neodgovarajuća organizacija

TRADICIONALNA ORGANIZACIJA, Kerzner [1]





Funkcije managementa

Općenito postoji 5 škola managementa

- klasična/tradicionalna škola
- empirijska škola
- bihevioralistička škola
- škola teorije odlučivanja
- škola management sustava

Principi i funkcije tradicionalne škole managementa

- planiranje
- organiziranje
- odabir kadrova
- kontroling
- upravljanje

Kontroling se sastoji od tri koraka

- mjerenje stupnja postignutosti cilja
- evaluacija uzroka odstupanja
- korekcija

Upravljanje uključuje slijedeće korake:

- odabir kadrova
- obuku
- nadziranje
- delegiranje
- motivacija
- konzultacije
- koordinacija

4 pitanja opisuju autoritet

- Što je autoritet unutar projekta?
- Što je moć i kako se postiže?
- Koliko autoriteta treba dati project manageru?
- Tko postavlja probleme sučelja među autoritetima unutar projekta?

PLANIRANJE PROJEKATA

Literatura:

Harlod Kerzner: PROJECT MANAGEMENT, A SYSTEM APPROACH TO PLANNING, SCHEDULING AND CONTROLLING, VNR New York

Benjamin S. Blanchard: SYSTEM ENGINEERING MANAGEMENT, JOHN WILEY & SONS

S.E. Elmaghraby: Activity nets: A guided tour through some recent developments, Invited Review, EJOR Vol. 82, No. 3

P. Brucker et al: Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models and methods, Invited Review, EJOR Vol. 112, No. 1

W.S. Herroelen et al: Project network models with discounted cash flows a guided tour through recent developments, EJOR Vol. 100, No. 1, p.p. 97-121

Uspješno implementiranje koncepta sustavnog inženjerstva ovisi o:

- top-down sustavnom pristupu
- ranoj integraciji aktivnosti koje se odnose na dizajn
- sagledavanju potreba u okviru cjelovitog životnog ciklusa projekta
- pripremi potrebne dokumentacije od samog početka (specifikacije, planovi,...)

Pogodnost alternativnog rješenja

- Jesu li definirani resursi?
- Jesu li definirani izvori opskrbe resursima?
- Hoće li potrebni resursi biti raspoloživi?
- Je li alternativa odražava cost-effective pristup temeljen na životnom ciklusu projekta?
- Je li provedena analiza utjecaja kako bi se utvrdili mogući sekundarni i tercijarni učinci?

ŠTO je u relaciji s
funkcionalnošću sustava

KAKO je u relaciji tehničkim
pristupom rješavanju problema

Evaluacija tehničkog rješenja, u ranoj
fazi, vodi ka formiranju odgovarajućeg
projekta (programa)

U ovom kontekstu, zahtjevi projekta se
odnose na management i korake koji se
moraju slijediti u kako bi sustav
zadovoljio definirane zahtjeve (potrebe),
zajedno s identifikacijom resursa
potrebnih za zadovoljenje cilja.

Struktura projekta se mora utvrditi na način da omogući dizajn i razvoj, proizvodnju i/ili konstrukciju, te isporuku sustava korisniku na cost-effective način.

Ovaj proces uključuje:

- prepoznavanje funkcija, procesa, zadataka
- razvoj organizacijske strukture
- razvoj work break down (WBS) strukture
- priprema rasporeda i projekcija troškova
- implementacija projekta i sposobnost kontrole
- itd.

Statement of Work (SOW) je
opis posla unutar projekta

SOW sadržava:

- Sumarnu postavku zadaća koje se moraju izvršiti, na što se kasnije naslanjaju elementi posla koji čine WBS strukturu
- identifikaciju ulaznih podataka iz preostalih zadaća (unutar projekta, od strane kupac, ili dobavljača)
- reference na primjenjive specifikacije, standardne procedure, i odgovarajuću dokumentaciju

- Opis posebnih rezultata koji se moraju postići

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.

WBS prikazuje i definira sustav (proizvod) koji se razvija i opisuje sve elemente posla koji se mora obaviti.

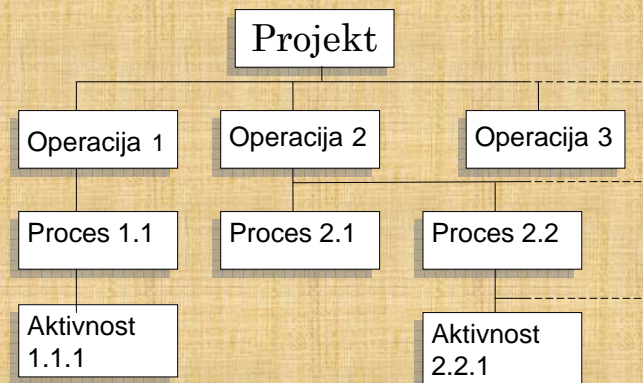
WBS nije organizacijska shema u smislu pridjeljivanja posla i odgovornosti, već predstavlja organizaciju dijelova posla izrađenog s namjerom planiranja projekta, budgeting, ugovaranja i izvještavanja

U razvoju WBS-a mora se obratiti pažnja kako bi se osigurao:

- kontinuirani protok informacija vezanih uz posao od vrha ka dnu
- prikaz svih primjenjivih poslova
- prikaz dovoljnog broja razina kako bi se osigurali dobro definirani dijelovi posla, zbog kontrole rasporeda i troškova
- eliminaciju dvostrukog napora u kontroli posla

Work Breakdown Structure (WBS)

Dekompozicija proizvodnog procesa



‘WBS Dictionary’ - dokument koji sadrži terminologiju i definiciju svakog elementa WBS-a

WBS struktura pridonosi slijedećem:

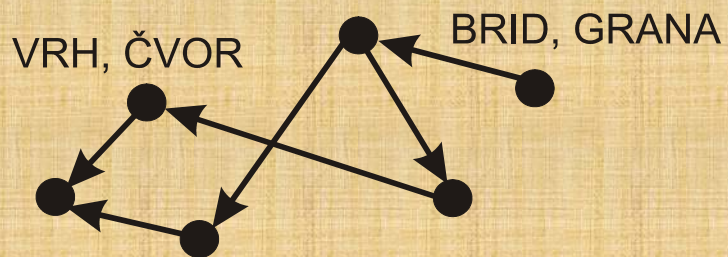
- Projekt (sustav) se lako opisuje putem logične podjele elemenata u fine dijelove posla koji se mogu definirati kao cjelina.
- Daje veću vjerojatnost da će svaka aktivnost biti prepoznata i uključena.
- Izvršno je sredstvo za povezivanje ciljeva projekta i aktivnosti s raspoloživim resursima.

- WBS olakšava početno određivanje budeta, te kasnije, prikupljanje podataka i izvještavanje o troškovima.
- WBS je izvršna matrica za pridjeljivanje zadaća i dijelova posla različitim organizacijskim odjelima, grupama i sekcijama. Isto vrijedi i za prodjeljivanje odgovornosti.
- Olakšava izvještavanje o tehničkim karakteristikama sustava s obzirom na raspored i troškove

MREŽE AKTIVNOSTI

Activity Nets
Project Networks

Mrežni plan je acikličan usmjeren graf.



$$D = (N, A)$$

Najčešće korišteni izrazi za mreže aktivnosti

- CPM
- Precedence Diagramming Method
- PERT

Što zanima managera?

- Predstavljanje projekta i modeliranje
- Raspored aktivnosti
- Financije
- Neizvjesnost

Vrste mreža

- activity-on-arc (AOA)
- activity-on-node (AON)



AOA



AON

Optimizacije na mreži:

- Resource leveling
- Resource-constrained scheduling

AOA mreže

Bitni parametri:

- najranija i najkasnija vremena početaka i završetaka aktivnosti
- rezervna vremena aktivnosti (*activity floats*)

Graf $D = (N, A)$

N - skup vrhova, čvorova
koji se odnose na događaje

$$A = A_r + A_d$$

A_r - stvarne aktivnosti

A_d - dummy aktivnosti

Rezervna vremena aktivnosti v

Total float: $TF(v) = LS(v) - ES(v) = LF(v) - EF(v)$

Free float: $FF(v) = \min_{w \in A(v)} \{ES(w)\} - EF(v)$

Safety float: $SF(v) = LS(v) - \max_{u \in B(v)} \{LF(u)\}$

Interference float: $IF(v) = \min_{w \in A(v)} \{ES(w)\} - \max_{u \in B(v)} \{LF(u)\} - y(v)$

A(v) - aktivnosti koje slijede nakon v

B(v) - aktivnosti koje prethode v

- TF maksimalno dozvoljena vremenska rezerva bez produžetka trajanja projekta
- FF je maksimalno dozvoljena vremenska rezerva kada sve naredne aktivnosti započnu najranije moguće, a sve prethodne aktivnosti završavaju najranije moguće.
- SF je maksimalna moguća vremenska rezerva kada sve prethodne aktivnosti završavaju najkasnije moguće, a sve naredne aktivnosti završava najkasnije moguće.

- IF je, ukoliko je pozitivan, opisuje maksimalno moguću vremensku rezervu kada sve naredne aktivnosti započinju najranije moguće, a sve prethodne aktivnosti završavaju najkasnije moguće. U slučaju da je negativan, IF je minimalno skraćenje trajanja aktivnosti kako bi se omogućilo narednim aktivnostima da završe najranije moguće, a svim prethodnim aktivnostima da završe najkasnije moguće.

Razlozi za dummy aktivnostima i događajima:

- zahtjev da je svaka aktivnost jedinstveno definirana svojim završnim čvorom (izbjegavanje multigrafa)
- za prezentaciju nekih posebnih odnosa u slijedu aktivnosti
- zahtjev da mreža nema više završetaka

Za svaku aktivnost (ij) $t_i(\mathbf{E})$ - najranije vrijeme početka i $t_j(\mathbf{L})$ - najkasnije vrijeme završetka su invarijantni s obzirom na prezentaciju mreže.

Total float je invarijantan s obzirom na prezentaciju AOA mreže, jer ovisi samo o dva parametra.

Preostala tri rezervna vremena (floats) su ovisna o prezentaciji, odnosno ovise o strukturi AOA mreže.

AON mreže

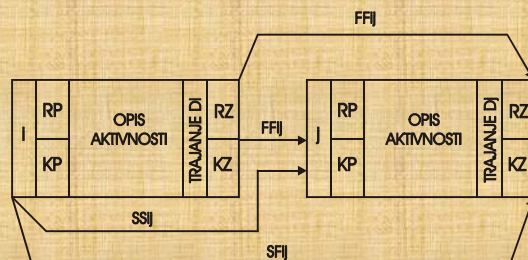
Odnosi među aktivnostima:

SS - početak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne (**start to start**)

FF - završetak naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (**finish to finish**)

FS - početak naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (**finish to start**)

SF - završetak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne (**start to finish**)



RP - NAJRAJNI POČETAK AKTIVNOSTI
 KP - NAJKASNI POČETAK AKTIVNOSTI
 RZ - NAJRAJNI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI
 KZ - NAJKASNI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI

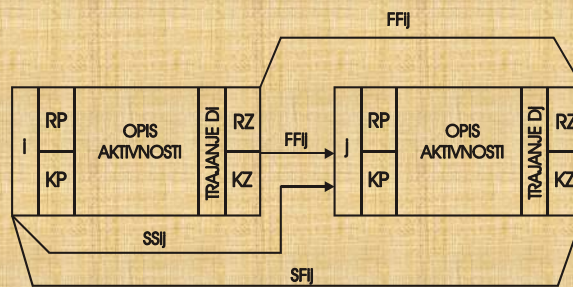
Za prolazak kroz mrežu unaprijed:

$$RP_j = \max (RP_i + SS_{ij}; RZ + FS_{ij})$$

$$RZ_j = \max (RZ_i + FF_{ij}; RP_i + SF_{ij}; RP_j + D_j)$$

Ukoliko ne postoje FS_{ij} ni SS_{ij} , a aktivnost se ne može razbiti
 tada je $RP_j = RZ_j - D_j$, 1

RP_j = početak projekta ukoliko nema FS_{ij} , a aktivnost se može razbiti.



RP - NAJBRANIJI POČETAK AKTIVNOSTI
 KP - NAJKASNIJI POČETAK AKTIVNOSTI
 RZ - NAJBRANIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI
 KZ - NAJKASNIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI

Za prolazak kroz mrežu unazad:

$$KZ_i = \min (KZ_j - FF_{ij}; KP_j - FS_{ij})$$

$$KP_i = \min (KP_j - SS_{ij}; KZ_j - SF_{ij}; KZ_i - D_i)$$

Ukoliko ne postoje FF_{ij} ni FS_{ij} , a aktivnost se ne može razbiti tada je

$$RZ_i = RP_i + D_i, i$$

KZ_i je vrijeme završetka projekta ukoliko se aktivnost može razbiti.

Resource-constrained project scheduling

Projekt se sastoji od aktivnosti $1, \dots, n$ na AON mreži. Dodane su dvije dummy aktivnosti 0 - početna i $n+1$ - završna. Odnosno dan je graf $G(V,E)$ gdje je $V=(0, 1, \dots, n, n+1)$, tako da je slijed aktivnost uvjetovan, a trajanje aktivnosti j je dano s p_j .

R^ρ skup obnovljivih resursa

R^ν skup neobnovljivih resursa

r_{jk}^ρ korištenje obnovljivog resursa k od aktivnosti j unutar perioda

R_k^ρ broj jedinica obnovljivog resursa k raspoloživih u svakom periodu (konstanta)

p_j vrijeme trajanja aktivnosti j

M_j skup načina procesiranja aktivnosti j

p_{jm} vrijeme trajanja aktivnosti j na način m

R_k^v ukupna količina raspoloživih jedinica
neobnovljivog resursa k

r_{jkm}^v potrošnja neobnovljivog resursa k
od strane aktivnosti j na način m

r_{jkm}^p korištenje obnovljivog resursa k od strane
aktivnosti j unutar perioda na način m

S_j - početak aktivnosti j
 $S = (S_1, \dots, S_n)$ - raspored; vremena početaka
 C_j - završetak aktivnosti j
 $C = (C_1, \dots, C_n)$ - vremena završetaka

S_T - vremenski pogodna rješenja
 S_R - rješenja pogodna s obzirom na resurse
 $S = S_T \cap S_R$ skup pogodnih rasporeda

\bar{d} - dozvoljeno trajanje projekta

$d_{ij}^{\min} / d_{ij}^{\max}$ minimalni/maksimalni vremenski razmak
između početaka aktivnosti i i j

$\alpha|\beta|\gamma$ shema - koristi se u literaturi kod optimizacije rasporeda rada strojeva

α : resursi

- PS - project scheduling
- MPS - multi-mode project scheduling
- PSm, σ , ρ - m resursa, σ jedinica svakog raspoloživog resursa, svakoj aktivnosti treba najviše ρ jedinica resursa
- MPSm, σ , ρ ; μ , τ , ω - m obnovljivih resursa, σ jedinica svakog raspoloživog resursa, svakoj aktivnosti treba najviše ρ jedinica resursa, μ neobnovljivih resursa, τ jedinica svakog raspoloživog resursa, svakoj aktivnosti treba najviše ω jedinica resursa

β : aktivnosti

- $p_j=1$ - trajanje svih aktivnosti je 1
- $p_j=sto$ - trajanje svih aktivnosti je stohastično
- d - trajanje projekta je ograničeno
- $prec$ - postoji ograničenje u slijedu aktivnosti
- chains, intree, outtree, tree - način prikazivanja slijeda aktivnosti
- opća vremenska ograničenja dana kao minimum ili maksimum start-start vremenski razlika između aktivnosti

γ : funkcije cilja

$$\sum c_j^F \beta^{c_j} \quad \text{Neto sadašnja vrijednost}$$

(c^F cash flow, β diskontni faktor)

$$\sum c_k f(r_k(S, t)) \quad \text{Uravnoteženje resursa (} c_k \text{ trošak}$$

po jedinici resursa k , $r_k(S, t)$ korištenje resursa k u vremenu t za dani raspored S)

$$\sum c_k \max r_k(S, t) \quad \text{Investicija u resurse}$$

PS $|prec/ C_{\max}$ - ograničenja s obzirom na
slijed aktivnosti i resurse

Općenito, je formuliran kao 0-1 cjelobrojno
programiranje.

Metode rješavanja:

1. *Branch-and-bound*
2. *Lower bounds*
3. *Heurističke metode*

Time-cost tradeoff problems

Budget problem

Za zadani nenegativni budet $b \geq 0$, nađi realizaciju p tako da vrijedi $c(p) \leq b$ koja minimizira trajanje projekta $C_{\max}(p)$.

Deadline problem

Za zadani deadline d trajanja projekta nađi realizaciju p tako da vrijedi $C_{\max}(p) \leq d$ koja minimizira ukupni trošak $c(p)$.

Problem koji uključuje sve moguće budete i zadana vremena (deadlines) definira minimalno vrijeme trajanja kao funkciju budeta b , odnosno minimalni trošak kao funkciju zadanog vremena d .

$$T_{\text{opt}}(b) := \min \{ C_{\max}(p) \mid p_j \in M_j, c(p) \leq b \}$$

$$B_{\text{opt}}(\bar{d}) := \min \{ c(p) \mid p_j \in M_j, C_{\max}(p) \leq \bar{d} \}$$

Problem buđeta je poseban slučaj

MPS $|prec/ C_{max}$,
odnosno MPS1 $|prec/ C_{max}$

Deadline problem je kombinacija
multi-mode problema MPS $|prec/ C_{max}$
i *resource levelling* problema, odnosno
može se pisati kao:

MPS1 $|prec/ \sum c_k r_k (S, t)$

***Minimum and maximum time
lags***

PS $|temp|C_{max}$

minimalni vremenski razmak između dvije aktivnosti i i j:

$$d_{ij}^{\min} \in Z_{\geq 0}$$

$$S_j - S_i \geq d_{ij}^{\min}$$

uvodi se nova grana i,j s težinom:

$$\delta_{ij} = d_{ij}^{\min}$$

maksimalni vremenski razmak između dvije aktivnosti i i j:

$$d_{ij}^{\max} \in Z_{\geq 0}$$

$$S_j - S_i \leq d_{ij}^{\max}$$

uvodi se nova grana j,i s težinom:

$$\delta_{ij} = -d_{ij}^{\max}$$

$$S_j - S_i \geq \delta_{ij}$$

Za dani raspored $S = (S_0, S_1, \dots, S_{n+1})$
 $A(S,t) = \{j \in V \mid S_j \leq t < S_j + p_j\}$ je skup aktivnosti
koje su u tijeku u trenutku $t \in Z_{\geq 0}$,
ili u vremenskom intervalu $[t, t+1[$,
ili periodu $t+1$.

$$r_k(S, t) = \sum_{j \in A(S,t)} r_{jk}$$

korištenje obnovljivog resursa $k \in R$ u trenutku t

Zadaća PS|temp|C_{max} se formulira
na slijedeći način:

$$\min S_{n+1}$$

$$\text{s.n. } S_j - S_i \geq \delta_{ij} \quad (i,j) \in E$$

$$S_j \geq 0, \quad j \in V$$

$$r_k(S,t) \leq R_k, \quad k \in R; \quad t = 0, 1, \dots, T-1$$

$$\text{gdje je } T = \sum_{i \in V} \max(p_i, \max_{(i,j) \in E} \delta_{ij})$$

gornja granica minimalnog trajanja projekta

Resource leveling problem

$PS|temp|\sum c_k f(r_k(S,t))$,
 gdje je c_k je jedinična cijena resursa k
 može se formulirati na slijedeći način:

$$\min \sum_{k \in R} c_k f(r_k(S,t))$$

$$\text{s.n. } S_j - S_i \geq \delta_{ij} \quad (i,j) \in E$$

$$S_0 = 0$$

$$S_{n+1} \leq \bar{d}$$

$$S_j \in Z_{\geq 0} \quad j \in V$$

$$r_k(S,t) \leq R_k, \quad k \in R, \quad t = 0, 1, \dots, \bar{d} - 1$$

Tri vrste funkcija f :

a) $f(r_k(S,t)) = \max_{t=0,1,\dots,\bar{d}-1} r_k(S,t)$ resource investment problem:
 $PS|temp|\sum c_k \max r_k(S,t)$

b) $f(r_k(S,t)) = \sum_{t=0}^{\bar{d}-1} [r_k(S,t) - Y_k]^+$

odstupanje potrošnje resursa k od zadane vrijednosti $Y_k \geq 0$.
 Y_k može biti jednako prosječnom korištenju resursa:

$$\sum_{j \in V} r_{jk} p_j / \bar{d}$$

c) varijacija korištenja resursa za različitu vrstu resursa

$$f(r_k(S, t)) = \sum_{t=0}^{\bar{d}} [r_k(S, t) - r_k(S, t-1)]^+$$

gdje je $r_k(S, -1) = r_k(S, \bar{d}) = 0$

Mrežni plan i diskontirani tijek novca

*Project networks and discounted
cash flows*

Diskontni faktor (*discount rate*)

$$\beta = (1 + r)^{-1}$$

Neto sadašnja vrijednost (*net present value*)

$$\text{npv} = C_0 + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

C_0 - tok novca na kraju perioda 0
 C_t - tok novca na kraju perioda t

Kontinuirano diskontiranje

$$\beta = e^{-\alpha}$$

Vrste zadaća

- unconstrained min-duration problem
- unconstrained max-npv problem
- stochastic unconstrained max-npv problem - payment scheduling problem
- constrained max-npv problem
- capital-constrained max-npv problem
- max-npv time / cost trade-off problem
- multi-mode max-npv problem

Unconstrained max-npv problem

Rusell (1970)

Neka projekt ima m aktivnosti (AOA prezentacija mreže) s fiksnim trajanjima $\{d_k\}$ ($k=1, \dots, m$), i n događaja koji se događaju u trenucima $\{T_i\}$ s pridruženim neto tijekom novca $\{C_i\}$ ($i=1, \dots, n$), tada je funkcija cilja:

$$\max \sum_{i=1}^n C_i e^{-\alpha T_i} \quad \text{ili} \quad \max \sum_{i=1}^n C_i \beta^{T_i}$$

s obzirom na vremenski slijed:

$$T_{i(k)} + d_k \leq T_{j(k)}, \quad k = 1, \dots, m$$

Nakon linearizacije, odnsono uzimanja samo prvog člana razvoja u Taylorov red.

$$-\sum_i T_i C_i \alpha e^{-\alpha T_i^0} = -\sum_i T_i C_i \beta^{T_i^0}$$

Deterministic resource-constrained max-npv problem

Baroum (1992)

$$\sum_{i \in S_t} r_{ik} \leq b_k, \quad t = 1, 2, \dots, f_n, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

r_{ik} - količina obnovljivog resursa vrste k kojeg
potražuje aktivnost i

b_k - ukupna raspoloživost resursa vrste k

f_n - varijabla odlučivanja koja označava završno vrijeme
završnog čvora projekta

$S_t = \{i: f_i - d_i < t \leq f_i\}$, gdje je d_i fiksno trajanje aktivnosti unutar
skupa aktivnosti koje se odvijaju u vremenskom intervalu
] $t-1, t$]

Integer programming algoritam for the resource- constrained max-npv problem in AON networks

Yang et al. (1992)

$$D_j = \sum_{t=1}^{d_j} f_{jt} e^{\alpha(d_j-t)} + C_j (1 - e^{\alpha d_j})$$

D_j - krajnja vrijednost tijeka novca za aktivnost j u
trenutku njenog završetka

f_{jt} - tijek novca za aktivnost u periodu t , $t = 1, \dots, d_j$

$e^{-\alpha}$ - diskontni faktor

d_j - trajanje aktivnosti

C_j - kapitalno ulaganje za aktivnost j

Bonusi (penali)

$$\max \sum_{j=1}^n q_{f_j} D_j + q_{f_n} B_{f_n}$$

q_t - diskontni faktor za t perioda do trenutka 0

B_t - bonus za dovršenje projekta u trenutku t

$B_t < 0$ označava penale

f_j - cjelobrojna varijabla koja označava završno vrijeme aktivnosti j ($f_n \leq$ planirani završetak projekta)

Stohastično trajanje aktivnosti

Glavne karakteristike:

- trajanje aktivnosti p_j je stohastična varijabla
- $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ slučajni vektor
- raspodijele P je poznata
- $PS|prec, p_j = sto|C_{max}$
- očekivano trajanje projekata $E(C_{max}(p))$

Konflikt je ponašanje pojedinca, grupe ili organizacije koji opstruira ili ograničava druge u postizavanju cilja, te može biti pozitivan ukoliko potiče proces donošenja odluka, i obrnuto, štetan ukoliko rezultira dezintegracijom unutar tima, lošim procesom donošenja odluka, pridavanjem važnosti procesima koji ne pridonose uspješnosti projekta

7 potencijalnih izvora konflikata:

- oko prioriteta unutar projekta
- oko administrativnih procedura
- oko tehničkih problema i izbora izvođenja
- oko izbora kadrova
- oko troškova
- oko rasporeda
- osobni konflikti