

Építési projektek szervezése

HÁLÓS IDŐTERVEZÉS

Dr. Vattai Zoltán András
www.ekt.bme.hu

Koenigsberg, Prussia, XVIII. sz.

ma: Kalinyingrág, Oroszország



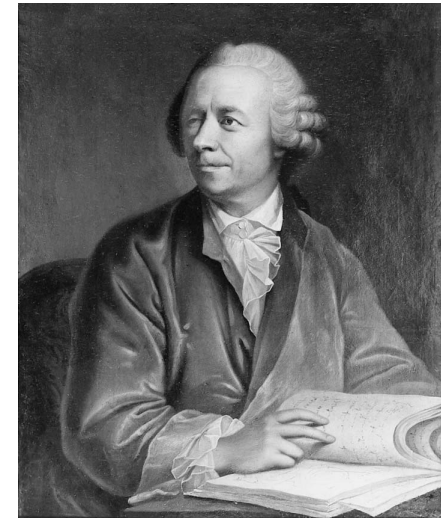
Kérdés: Lehet-e olyan körsétát tenni a város hét hídján át, hogy mindegyik hídon csak egyszer megy át az ember ?



„Königsbergi hidak problémája”

Kérdés: Lehet-e olyan körsétát tenni a város hét hídján át, hogy mindegyik hídon csak egyszer megy át az ember ?

Válasz és bizonyítás: Leonhard Euler, 1735
a gráfelmélet nyitánya

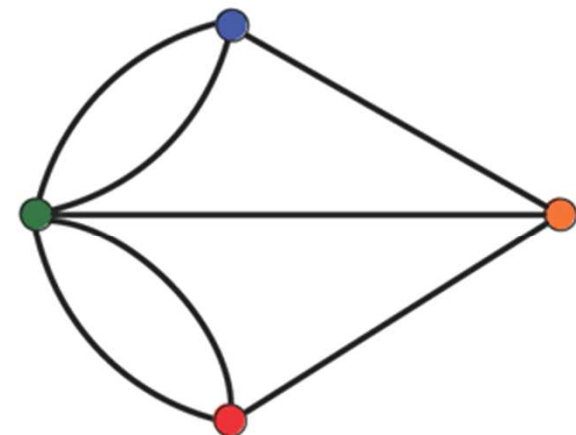


Leonhard Euler (1707-1783)

a



b



GRÁF

Modell struktúra:

jól beazonosított összetevők és a közöttük **páronként** feltárt összefüggések

összetevők:

alkotórészek, fázisok, folyamatok

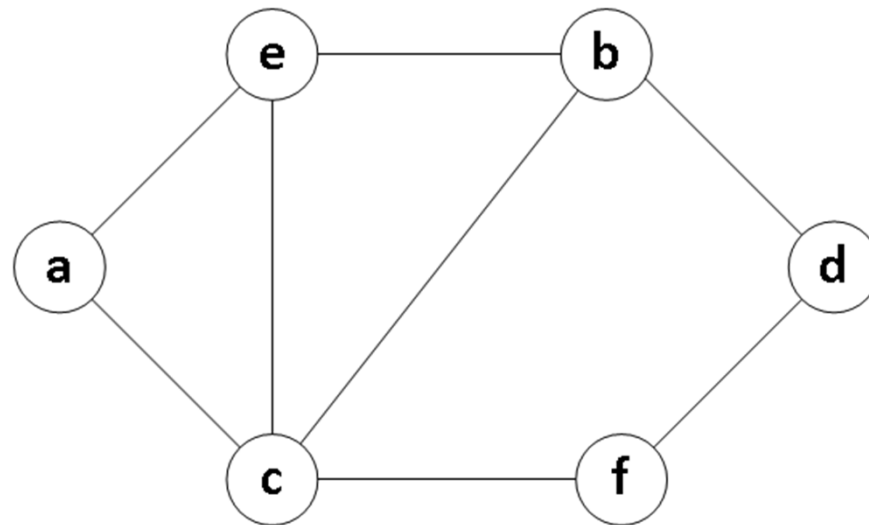
összefüggések:

techno-logikai kapcsolatok

Matematikailag:

csomópontok és élek
rendezett halmaza

él: összerendelt **csomópontpár**



GRÁF

Ponthalmaz: $N = \{ a, b, c, d, e, f \}$

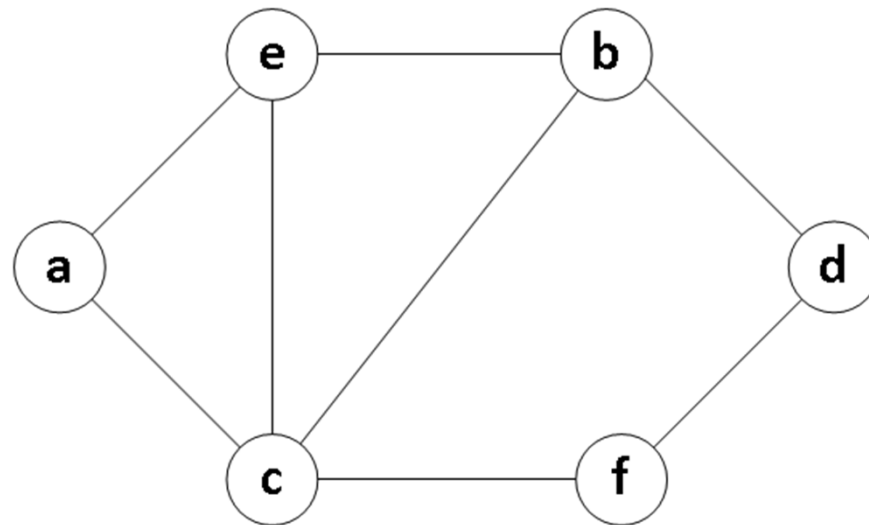
(N=node=csomópont)

Élhalmaz: $E = [\{a,c\}, \{a,e\}, \{b,c\}, \{b,d\}, \{b,e\}, \{c,e\}, \{c,f\}, \{d,f\}]$

(E=edge=él)

Gráf: $G = [N, E]$

(G=graph≅grafika)



GRÁF

Írányított él:

($A = \text{arrow} = \text{nyíl}$)

Az összerendelt csomópontok között csak egy irányban értelmezünk kapcsolatot

$N = \{ a, b, c, d, e, f \}$

$A = \{ (a,c), (a,e), (b,c), (b,d), (c,b),$
 $(c,f), (e,b), (e,c), (f,d) \}$

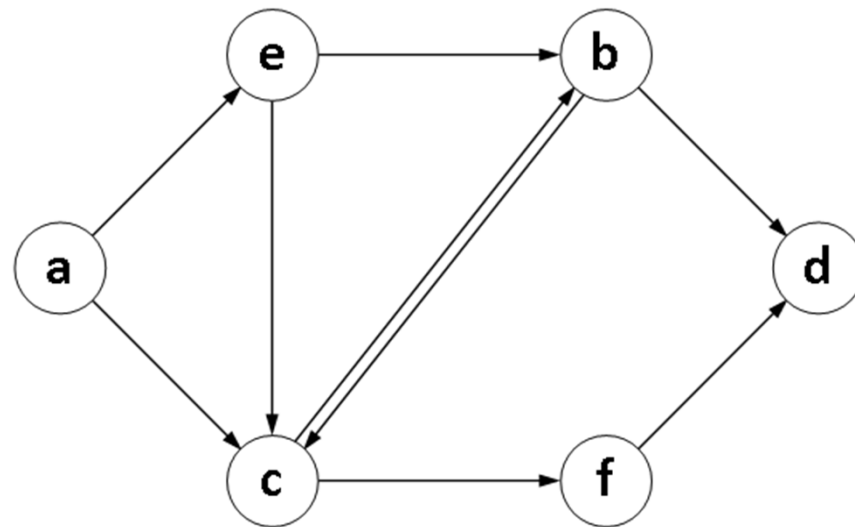
$G = [N, A]$

Írányított Gráf:

(*DiGráf=Directed Graph*)

Gráf, melynek minden éle irányított

De: $\{ i, j \} = \{ (i, j), (j, i) \}$



GRÁF

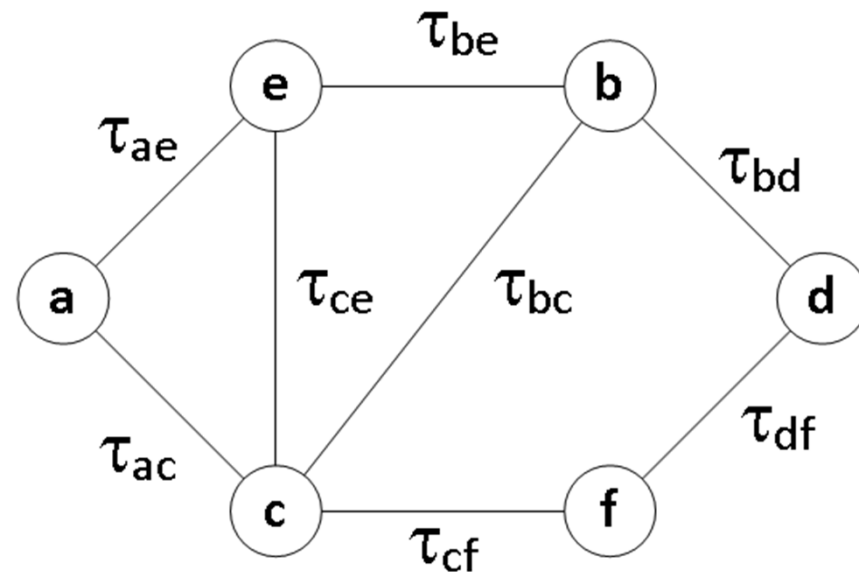
Súlyozott gráf:

A élek mentén kvantitatív jellemzőket, ú.n. **súlyszámokat** értelmezünk

$$N = \{ a, b, c, d, e, f \}$$

$$E = [\{a,c,\tau_{ac}\}, \{a,e,\tau_{ae}\}, \\ \{b,c,\tau_{bc}\}, \{b,d,\tau_{bd}\}, \\ \{b,e,\tau_{be}\}, \{c,e,\tau_{ce}\}, \\ \{c,f,\tau_{cf}\}, \{d,f,\tau_{df}\}]$$

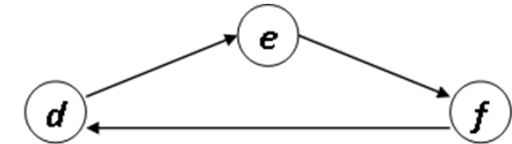
$$G = [N, E, \tau]$$



Írányított gráfnál: $G = [N, A, \tau]$

GRÁF

Irányított gráfok alapfogalmai



Forrás:

Csomópont mely legalább egy élnek kezdőpontja, de egynek sem végpontja

Nyelő:

Csomópont mely legalább egy élnek végpontja, de egynek sem kezdőpontja

Út:

$(P=Path=út/ösvény)$

Irányított élek ismétlésmentes nyíl-folytonos láncolata

Azonosításuk az érintett csomópontok felsorolásával

$pl.: P[i,l] = \{ i, j, k, l \}$

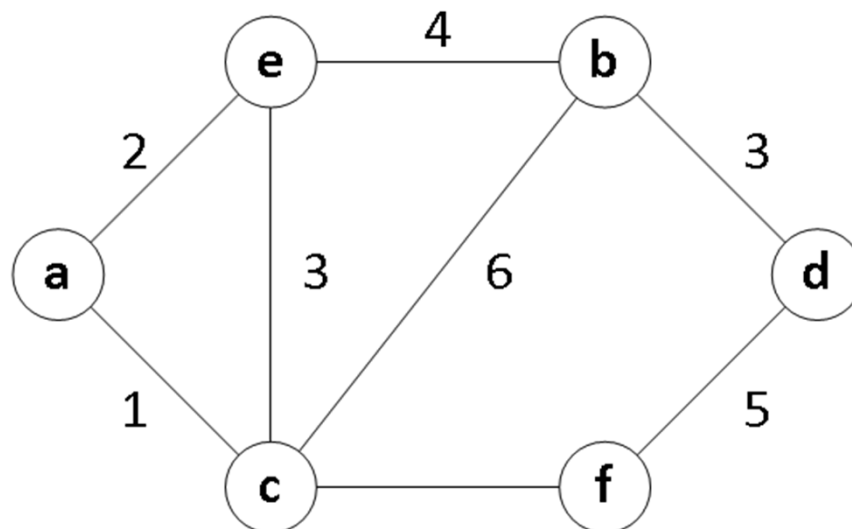
Hurok: Önmagába záródó nyíl-folytonos él-láncolat

$pl.: P[f,f] = \{ f, d, e, f \}$

GRÁF

Úthossz/Hurokhossz: Az utat/hurkot alkotó élek súlyszámainak összege $|P_{ij}|$

Struktúra ("adjacencia") mátrix



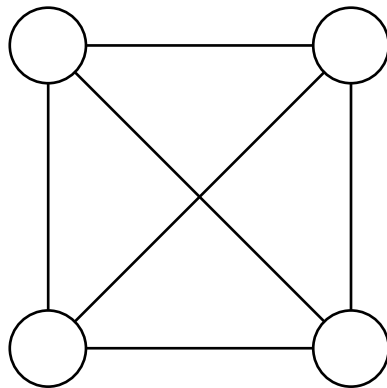
	a	b	c	d	e	f
a			1		2	
b			6	3	4	
c	1	6			3	4
d		3				5
e	2	4	3			
f			4	5		

	d	e	f
d		+	
e	+	+	
f	+	+	

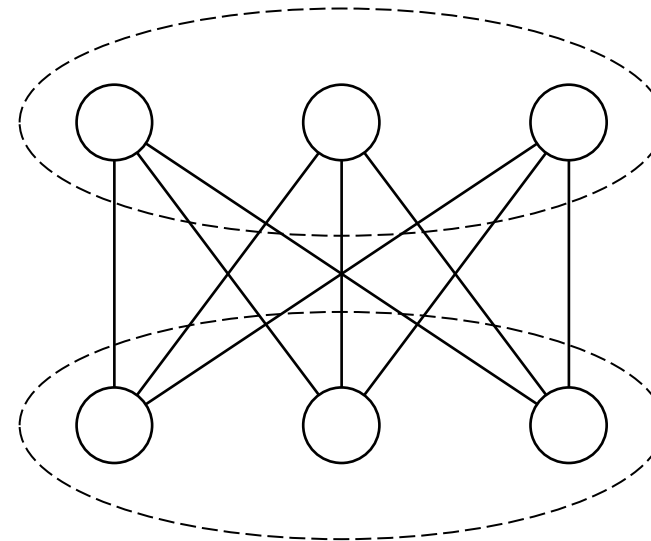
GRÁF

GRÁF – topológiák (csomópontok és élek/utak viszonya)

"teljes"



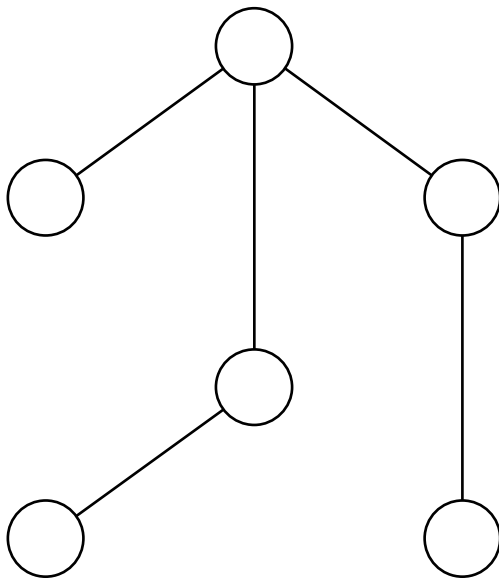
"páros"



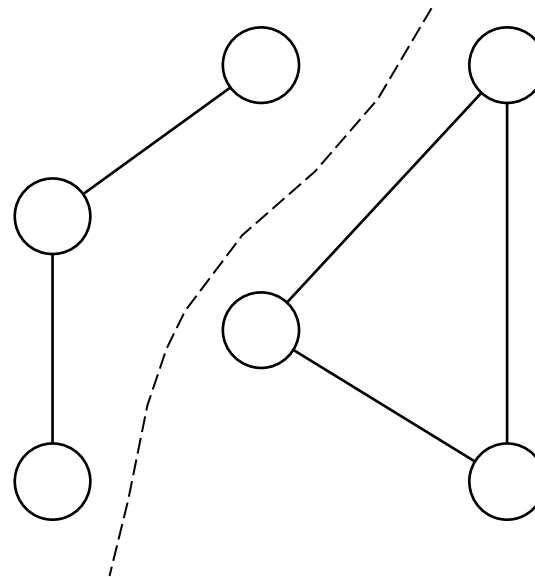
GRÁF

GRÁF – topológiák (csomópontok és élek/utak viszonya)

"fa"



*"összefüggő
nem összefüggő"*



GRÁF

GRÁF – topológiák (csomópontok és élek/utak viszonya)

Hálózat (Network):

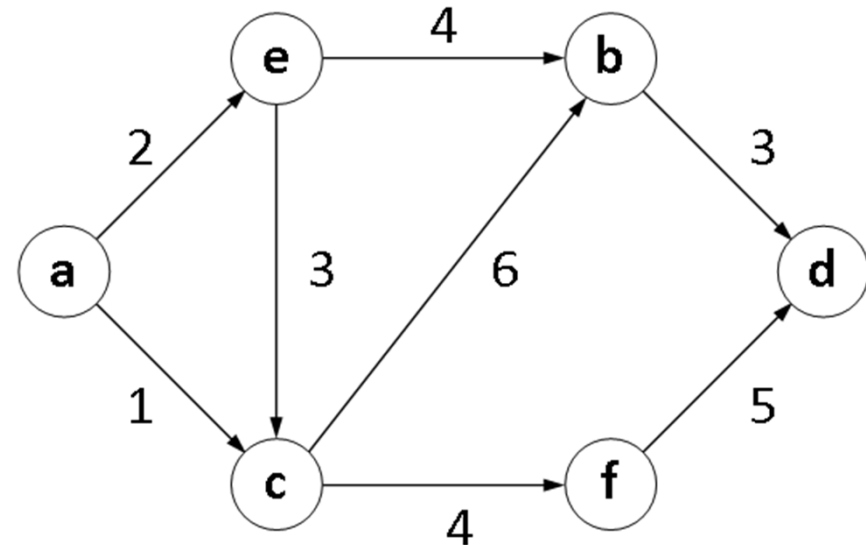
(*mint gráf-technikai fogalom*)

Összefüggő súlyozott irányított gráf,
egyetlen forrással és egyetlen nyelővel,
az éleken nem-negatív súlys számokkal

Hálózat (Network):

(*mint a gráf szinonimája*)

Gráf, ... mindennemű előzetes szűkítő,
avagy általánosító megkötés nélkül



GRÁF – IDŐ–ÜTEMTERV HÁLÓK

Hálózati problémák (alap-feladatok)

- Útkeresés
- Összefüggés (integritás) vizsgálat
- Hurok keresés
- Dominancia
- Út(variáns) számlálás
- Leghosszabb / legrövidebb út
- Súlypont / Centrum
- Maximális folyam / minimális vágás
- Potenciál feladatok
- :

Gráf-technikai analógiák

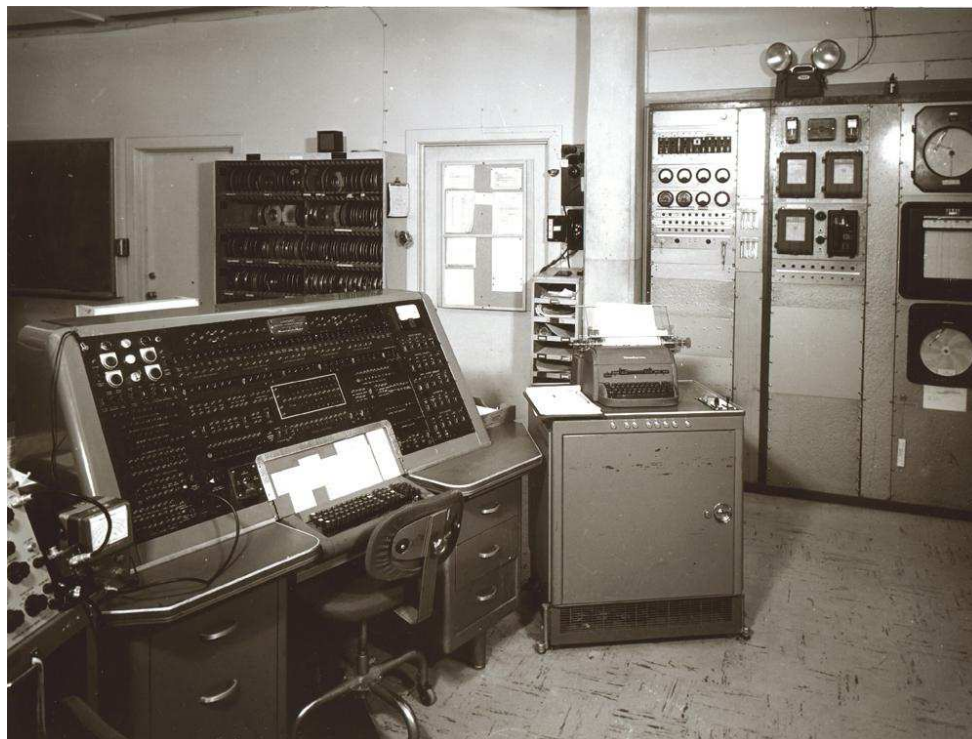
- Leghosszabb út keresése
- Potenciál feladatok

Hálós időtervezési technikák

- CPM^{time}
- CPM^{cost}
- PERT^{time}
- CPM^{létra}
- MPM^{time} / PDM^{time}
- MPM^{cost}
- GERT^{time}

Kelley-Walker Algoritmus (a későbbi CPM^{time} model)

1957 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker



Remington Rand UNIVAC-I Universal Automatic Computer



James Elliot Kelley Jr.



Morgan Walker

UNIVAC-I műszaki érdekességek:

Gyártó:	Remington Rand
Gyártás:	1951 - 1954
Installált példány:	46 db
Méret:	4,3 x 2,4 x 2,6 m (Σ 35,5 m ²)
Súly:	13 to
Energia igény:	125 kW
Központi egység:	5200 db vákuumcső
Órajel:	2,25 MHz
Műveleti sebesség:	1905 ops
Háttértár:	mágnesszalag
Adatbevitel:	lyukkártya
Ár:	1250-1500 US\$

Kelley-Walker Algoritmus (a későbbi CPM^{time} model)

1957 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker

Csomópont: közvetlen kapcsolat, megelőzési/sorrendiségi/ok-okozati viszony

Él: konkrétan beazonosított műszaki tartalmú tevékenység/rész-projekt, illetve – szükség szerint – megelőzési viszony, "látszat-tevékenység,,
(AOA = Activity On Arrow = Tevékenység-él típusú megfeleltetés)

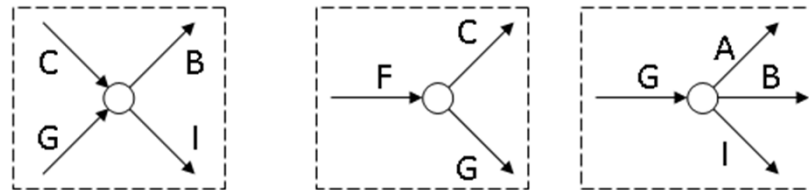
Él-paraméter (súly): becsült minimálisan szükséges idő, "időtartam"
(determinisztikus változó)

Cél: a projekt teljes átfutási idejének, valamint relatív rész-határidőinek meghatározása, a megvalósítás során meghatározó jelentőségű ("kritikus") tevékenység-láncolatok beazonosítása, ütemezési mozgástér vizsgálata

Kelley-Walker Algoritmus (a későbbi CPM^{time} model)

1957 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker

Operatív információk
alapján dinamikus
időmodell kidolgozása



Közvetlen megelőzési lista:

$A, B, I < H$

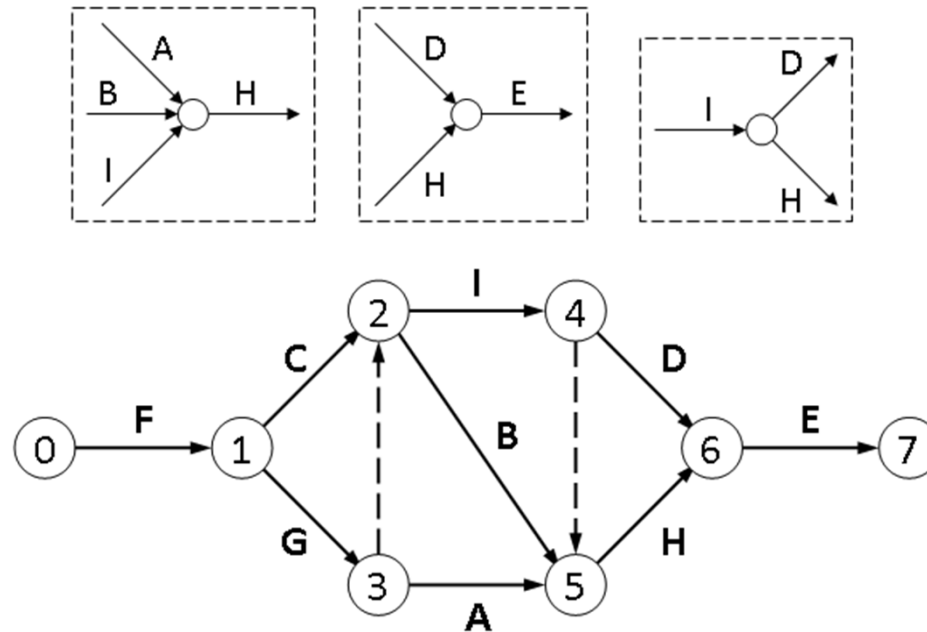
$C, G < B, I$

$D, H < E$

$F < C, G$

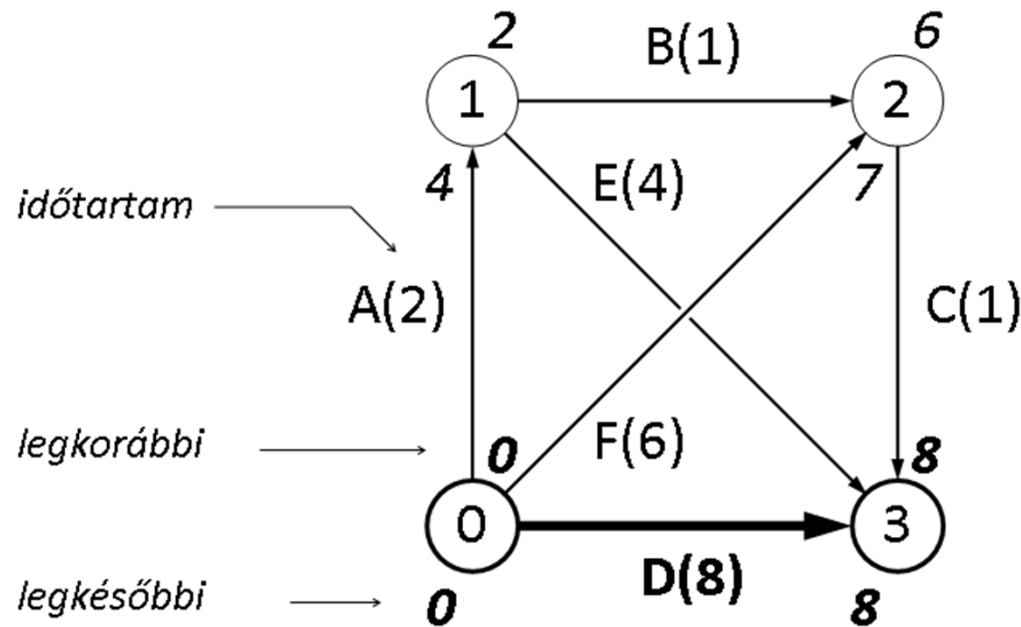
$G < A, B, I$

$I < D, H$



Kelley-Walker Algoritmus (a későbbi CPM^{time} model)

1957 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker



ID	D	ES	EF	LS	LF	TF	FF	CF	IF
A	2	0	2	2	4	2	0	2	0
B	1	2	3	6	7	4	3	2	1

ID=Identifier (azonosító); D=Duration (időtartam); ES=Early Start (legkorábbi kezdés); EF=Early Finish (legkorábbi befejezés); LS=Late Start (legkésőbbi kezdés); LF=Late Finish (legkésőbbi befejezés); TF=Total Float (teljes tartalékidő); FF=Free Float (szabad tartalékidő); CF=Conditional Float (feltételes tartalékidő); IF=Independent Float (független tartalékidő)

"KRITIKUS ÚT" (CP):

Azon csomópontok – és a közöttük lévő domináns élek – halmazából alkotott részgráf, mely csomópontjainál a legkorábbi és a legkésőbbi idő (-potenciál) megegyezik. *(potenciál feladat)*

A forrás és a nyelő közötti leghosszabb utak alkotta részgráf. *(leghosszabb út feladat)*

Kelley-Walker Algoritmus (a későbbi CPM^{time} model)

1957 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker

"Teljes" tartalékidő (TF): Adott tevékenység időtartamának (D) lehetséges növekménye (avagy kezdésének késleltetése) anélkül, hogy az a háló teljes átfutási idejét ($EF^{\max}$) növelné, feltéve, hogy valamennyi megelőző tevékenységét legkorábbi (EF) ütemezése szerint tudjuk befejezni.

"Szabad" tartalékidő (FF): Adott tevékenység időtartamának (D) lehetséges növekménye (avagy kezdésének késleltetése) anélkül, hogy az bármely, az adott tevékenységet követő tevékenység legkorábbi kezdését (ES) késleltetné, feltéve, hogy valamennyi megelőző tevékenységét legkorábbi (EF) ütemezése szerint tudjuk befejezni.

"Feltételes" tartalékidő (CF): Adott tevékenység időtartamának (D) lehetséges növekménye anélkül, hogy az a háló teljes átfutási idejét ($EF^{\max}$) növelné, feltéve, hogy valamennyi megelőző tevékenységét legkésőbbi (LF) ütemezése szerint tudjuk csak befejezni.

"Független" tartalékidő (IF): Adott tevékenység időtartamának (D) lehetséges növekménye anélkül, hogy az bármely, az adott tevékenységet követő tevékenység legkorábbi kezdését (ES) késleltetné, feltéve, hogy valamennyi megelőző tevékenységét legkésőbbi (LF) ütemezése szerint tudjuk csak befejezni. (Jellemzően, csak nem-negatív értékét értelmezzük!)

Critical Path Method (CPM^{cost})

1958 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker

Csomópont: közvetlen kapcsolat, megelőzési/sorrendiségi/ok-okozati viszony

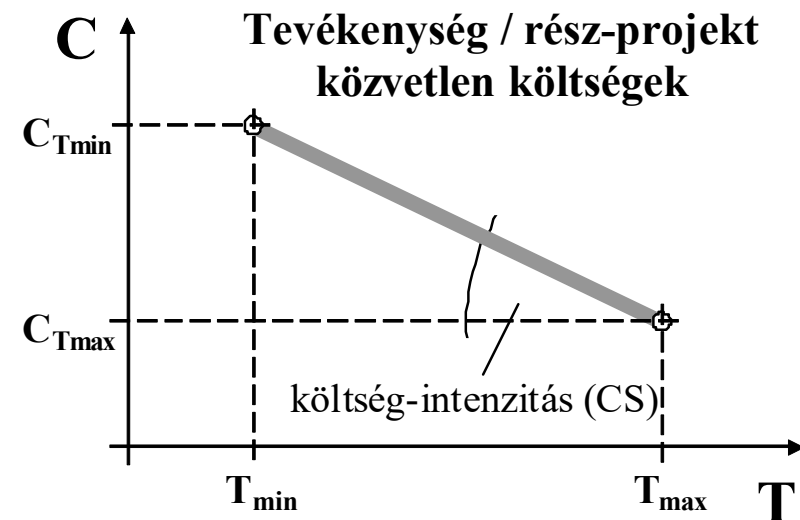
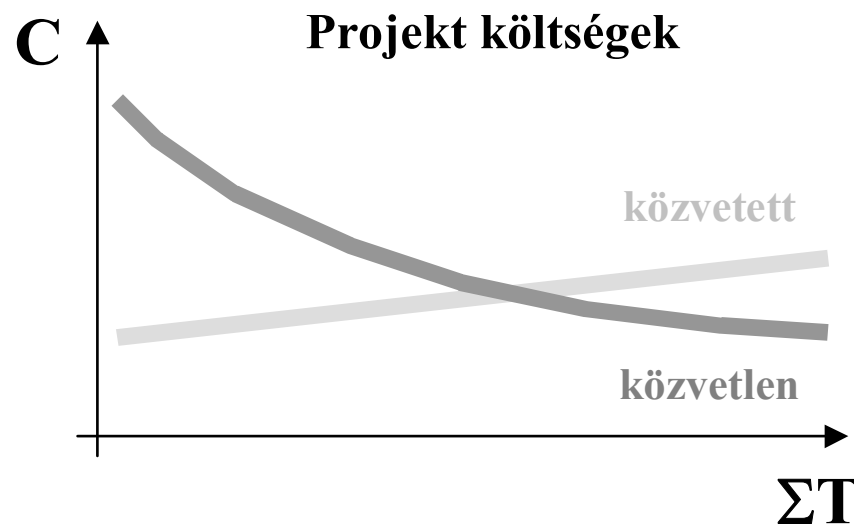
Él: konkrétan beazonosított műszaki tartalmú tevékenység/rész-projekt, illetve – szükség szerint – megelőzési viszony, "látszat-tevékenység"

Él-paraméterek (súlyok): becsült szükséges idő-, illetve "időtartam" változatok, a hozzájuk tartozó közvetlen költség értékekkel (a kettő között függvény jellegű kapcsolat)

Cél: a projekt adott hosszúságú teljes átfutási időhöz tartozó legkisebb közvetlen költségű ütemtervének kialakítása (közben: a megvalósítás során meghatározó jelentőségű „kritikus” tevékenység-láncolatok beazonosítása, a célszerűen megválasztandó tevékenységidők meghatározása)

Critical Path Method (CPM^{cost})

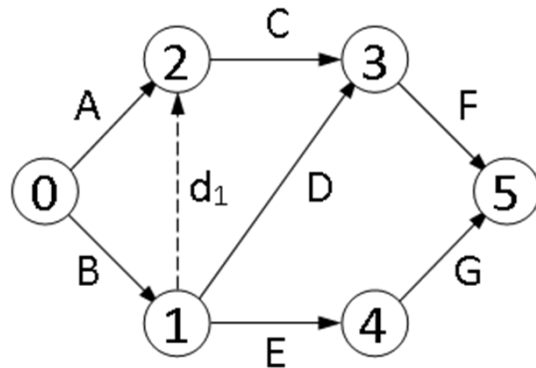
1958 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker



C =Cost (költség); T =Time (idő); $C_{T\min}$ =Crash Time (roham költség); $C_{T\max}$ =Normal Cost (normál költség); $T_{\min}$ =Crash Time (roham idő); $T_{\max}$ =Normal Time (normál idő); CS =Cost Slope (költség-intenzitás)

Critical Path Method (CPM^{cost})

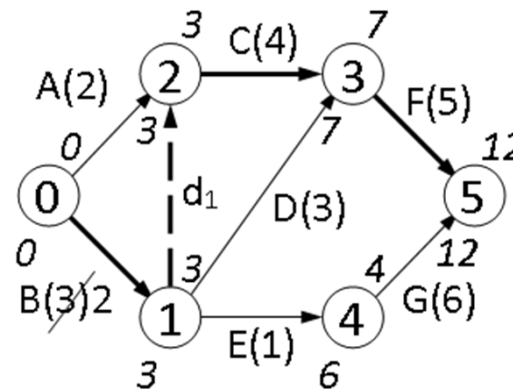
1958 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker



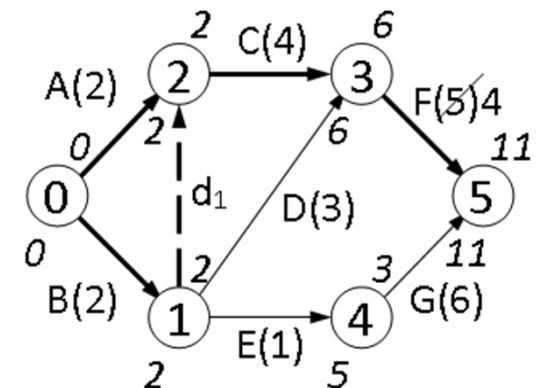
Tev	Normal		Roham		CS
	idő	ksg	idő	ksg	
A	2	120	1	200	80
B	3	80	1	200	60
C	4	100	2	350	125
D	3	150	3	150	-
E	1	250	1	250	-
F	5	130	2	460	110
G	6	80	5	110	30

CPM^{cost} feladat:

Milyen minimális (közvetlen) költség mellett valósítható meg az alábbi projekt 10 időegységénél nem hosszabb idő alatt?



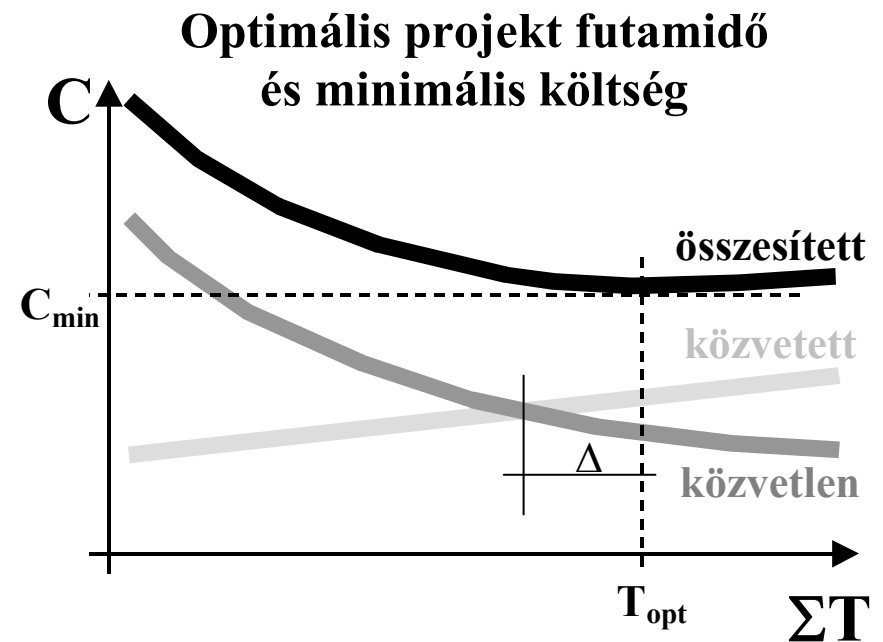
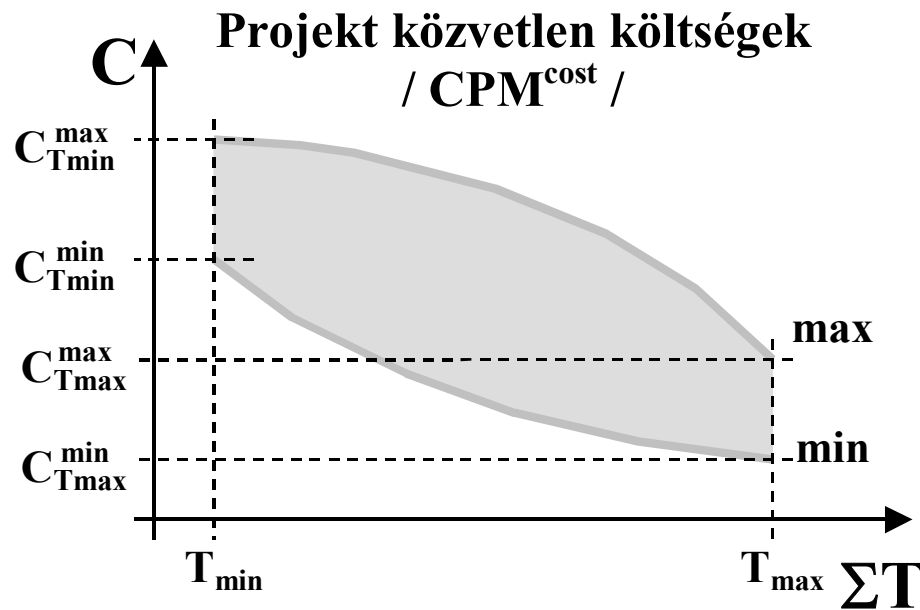
$$C_{11} = C_{12} + CS_B = 910 + 60 = 970$$

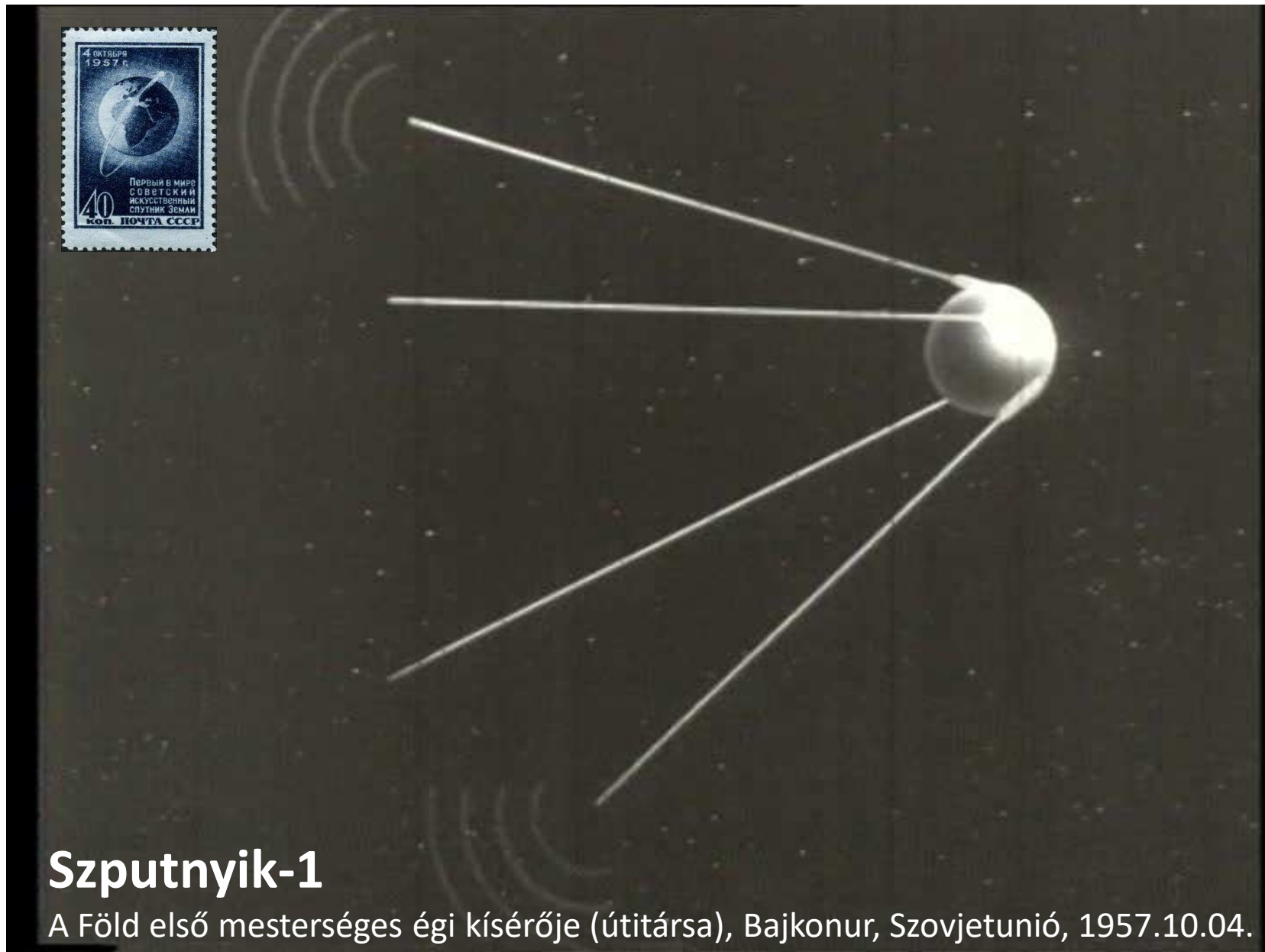


$$C_{10} = C_{11} + CS_F = 970 + 110 = 1080$$

Critical Path Method (CPM^{cost})

1958 : DUPONT de NEMOURS, James E. Kelley - Morgan Walker







US NAVY, Polaris Project

Első sikeres víz alóli indítás, USS George Washington,
1960.07.20.

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

1958 : US NAVY, SPO, Polaris Program, Willard Fazar

Csomópont: logikai kapcsolat, esemény, állapot, mérföldkő, fejlesztési fázis

Él: előző tapasztalatok híján bizonytalansággal terhelt műszaki jellegű kutatási-, fejlesztési rész-feladat (rész-projekt)

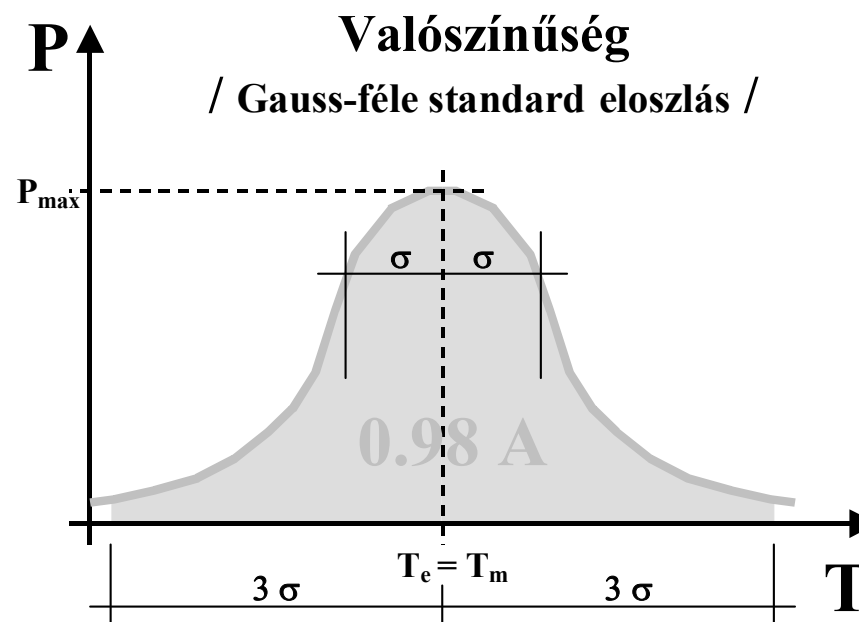
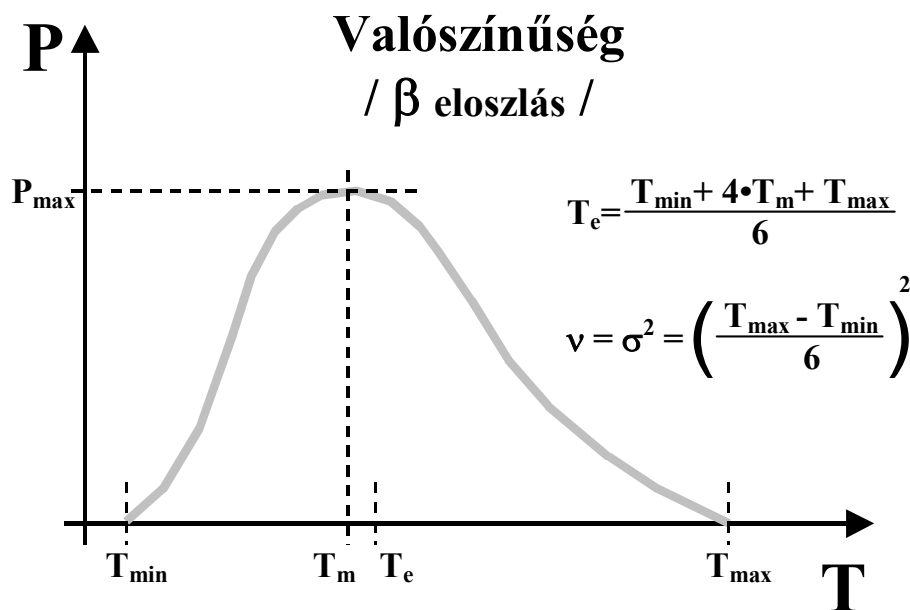
Él-paraméter (súly): β eloszlású valószínűségi változó, "idő-igény", becsült érték-hármas alapján (sztochasztikus modell)

Cél : A projekt várható teljes átfutási idejének és rész-teljesítési időpontjainak előrejelzése, a hozzájuk tartozó bizonytalansági mutatókkal (szórás) együtt. (kutatási-, fejlesztési programok végrehajtásának kockázatai, kritikus tényezői)

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

1958 : US NAVY, SPO, Polaris Program, Willard Fazar

Miért β eloszlás? Honnan a „6” érték? : Zárt tartomány! Aszimmetria! Elfogadható hiba!

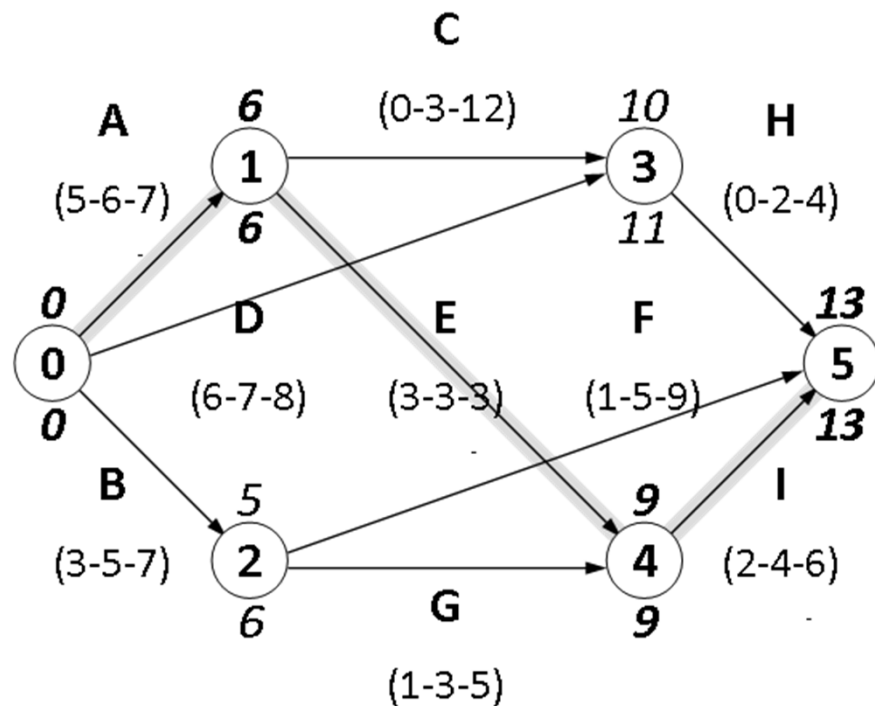


$T_e = \mu_e$ = várható érték; v = variencia, avagy szórás négyzet; σ = szórás; P = gyakoriság (sűrűség) érték

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

1958 : US NAVY, SPO, Polaris Program, Willard Fazar

PERT feladat : Mi a valószínűsége annak, hogy az alábbi projekt 12 ie alatt megvalósul?



ID
(a-m-b)

$$\mu_e = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6}$$

$$v = \sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

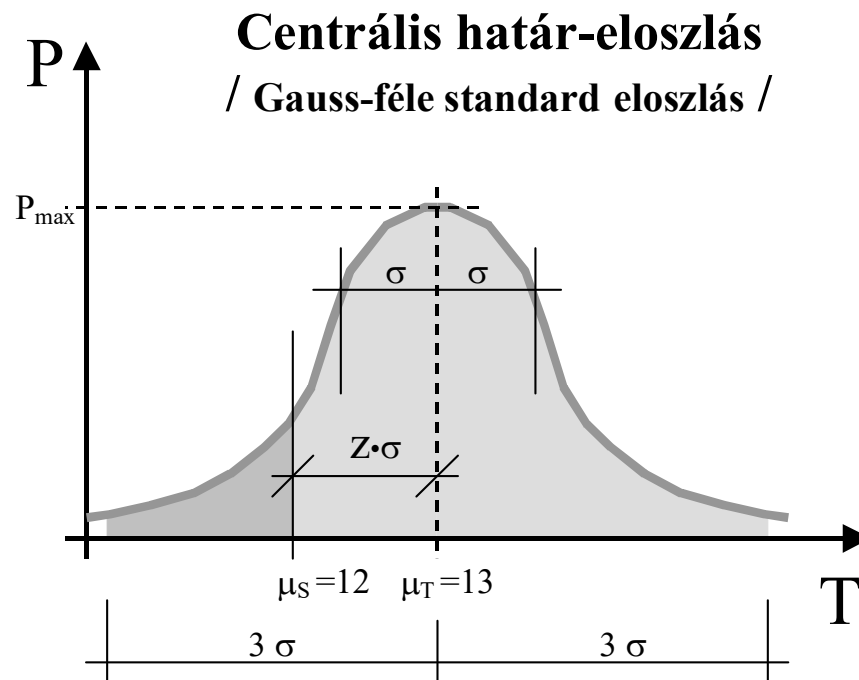
$\mu_T = 13$
 $v_T = 5/9$

$\mu_A = 6$	$v_A = \frac{1}{9}$	$\mu_F = 5$	$v_F = \frac{16}{9}$
$\mu_B = 5$	$v_B = \frac{4}{9}$	$\mu_G = 3$	$v_G = \frac{4}{9}$
$\mu_C = 4$	$v_C = \frac{36}{9}$	$\mu_H = 2$	$v_H = \frac{4}{9}$
$\mu_D = 7$	$v_D = \frac{1}{9}$	$\mu_I = 4$	$v_I = \frac{4}{9}$
$\mu_E = 3$	$v_E = \frac{0}{9}$		
$v_5 = v_A + v_E + v_I = \frac{1}{9} + \frac{0}{9} + \frac{4}{9} = \frac{5}{9}$			

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

1958 : US NAVY, SPO, Polaris Program, Willard Fazar

PERT feladat : Mi a valószínűsége annak, hogy az alábbi projekt 12 ie alatt megvalósul ?



$$Z = \frac{\mu_S - \mu_T}{\sqrt{v_T}} = \frac{12-13}{\sqrt{5/9}} = -1.3416$$

CP ≈ 9 %

Z	CP	Z	CP
- 2.0	0.02	+ 0.1	0.54
- 1.5	0.07	+ 0.2	0.58
- 1.3	0.10	+ 0.3	0.62
- 1.0	0.16	+ 0.4	0.66
- 0.9	0.18	+ 0.5	0.69
- 0.8	0.21	+ 0.6	0.73

μ_S = keresett érték; μ_T = legnagyobb úthossz várható értéke; $v_T = \mu_T$ -hez tartozó variencia; CP = halmozott valószínűség



Vostok-1, Yuri Gagarin

Föld körüli pályán, az első ember a világűrben, 1961.04.12. 09:07 (108 perces űrrepülés)



Alan Bartlett Shepard

Az első amerikai űrhajós a világűrben, szuborbitális pályán, 1961.05.05. (15' „űrugrás”)

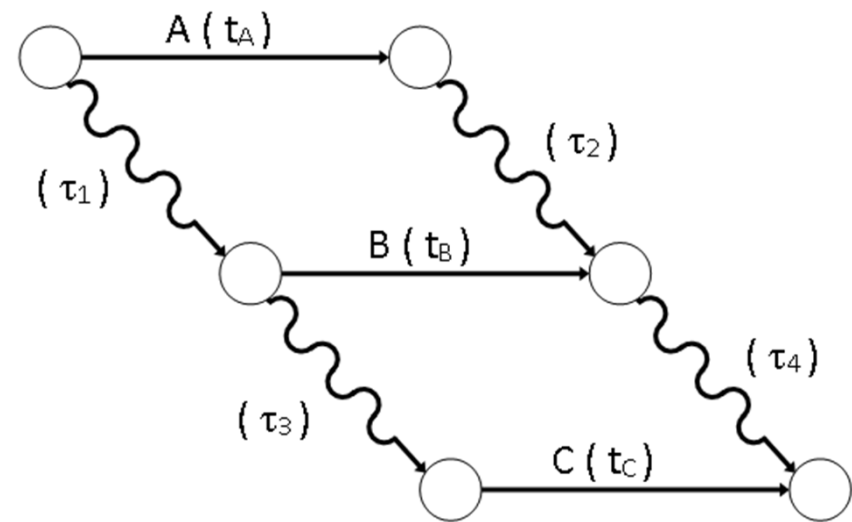
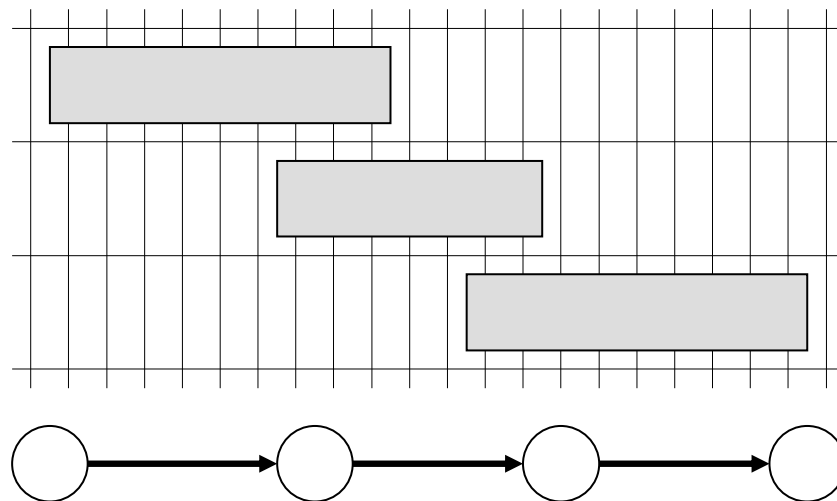
Az ötödik amerikai asztronauta, aki a Holdra lép, Apollo-14 tagjaként, 1971.01.31 - 02.09.

CPM^{létra} Konvenció

1961...: BTM / ICT, UK, J. Grant, P. A. Rhodes, H. S. Woodgate, ..

CPM / PERT: megoldatlan, illetve bonyolult az időbeli átlapolás modellezése

Egy javaslat: idő-paraméteres látszat- (ú.n. "létra") és "befüggesztett" tevékenységek

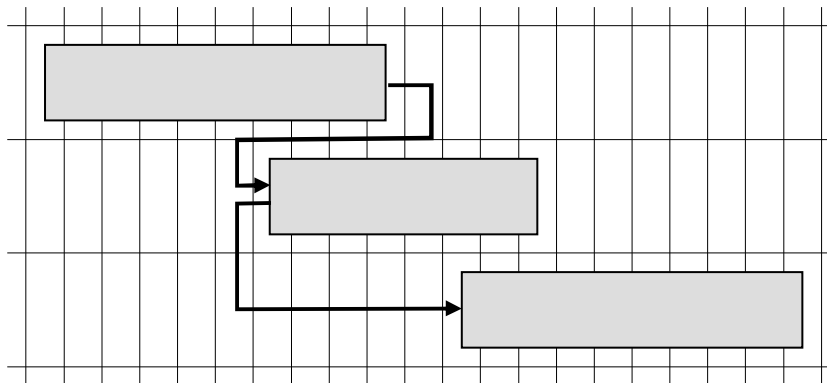
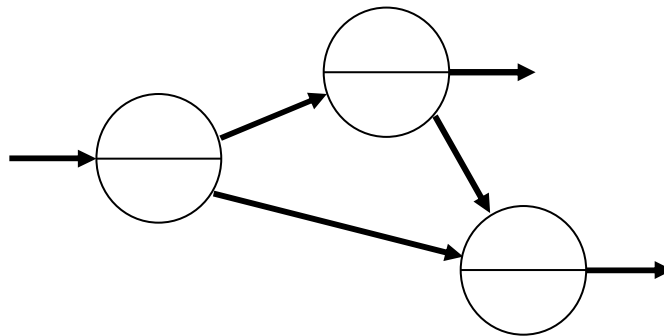


Továbbra is „tevékenység-él” (AOA=Activity On Arrow) megfeleltetés

Precedence Diagramming Method (PDM)

„tevékenység-csomópont” (AON=Activity On Node) megfeleltetés

1962 : Stanford University, John W. Fondahl



John W. Fondahl

IBM, MicroSoft, „Sávós-időléptékes háló”, USA, 1964-

METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy



Chinon Nuclear Power Plant, Loire valley, France, 1962



Bernard Roy

METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

Csomópont: meg-nem szakítható tevékenység (0 idejű tev.=esemény/mérföldkő)

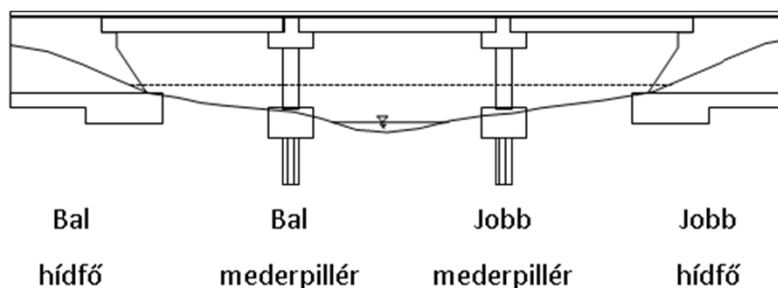
Él: műszaki-, technológiai, avagy erőforrás indíttatású paraméteres kapcsolat

Él-paraméter (súly): késleltetési idő, időtartam (determinisztikus változó)

Cél: termelés-közeli technológiai időtervek, termelésirányítás, termelés követés, változás menedzsment, ...

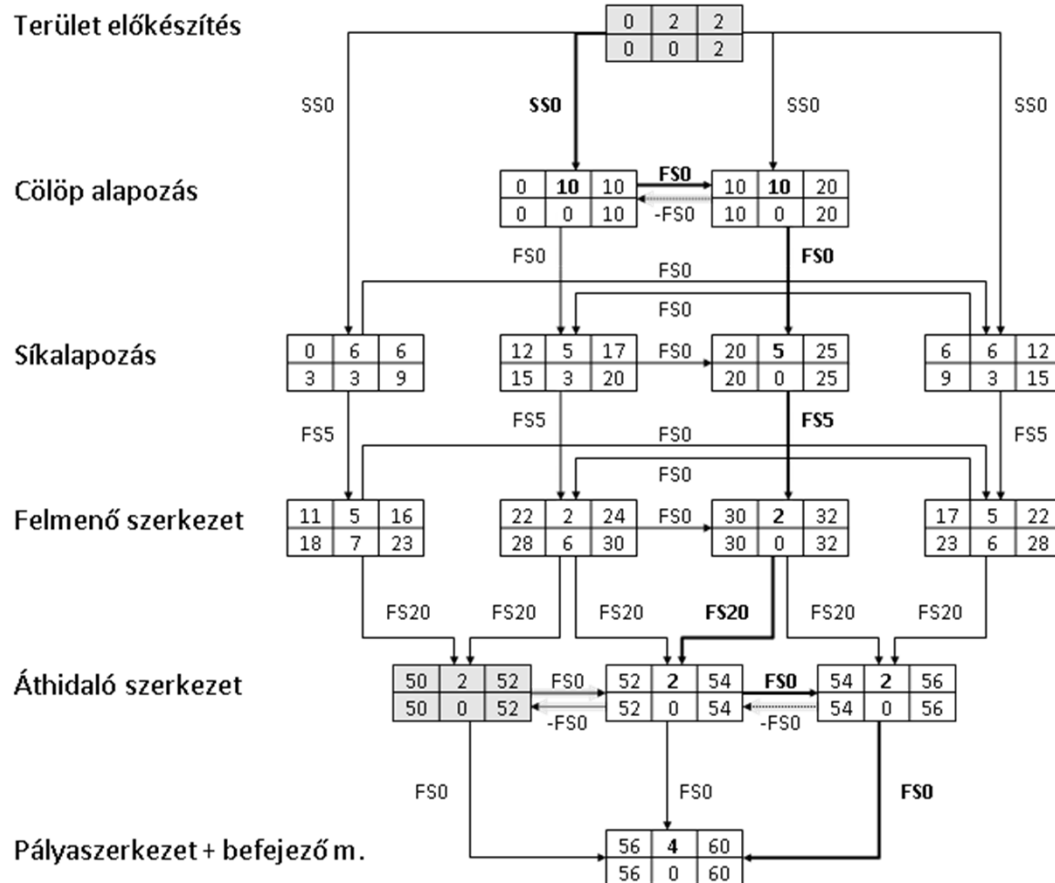
”Tevékenység-csomópont” (AON = Activity On Node) megfeleltetés

*... tetszőlegesen átlapolt relatív időbeli helyzetek, alsó / felső idő-korlátok
(min. / max. típusú kapcsolatok) kezelése ...*



METRA Potenciálok Módszere (MPM)

*1958-61 : SEMA-METRA,
France, Építési Feladatok,
Bernard Roy*

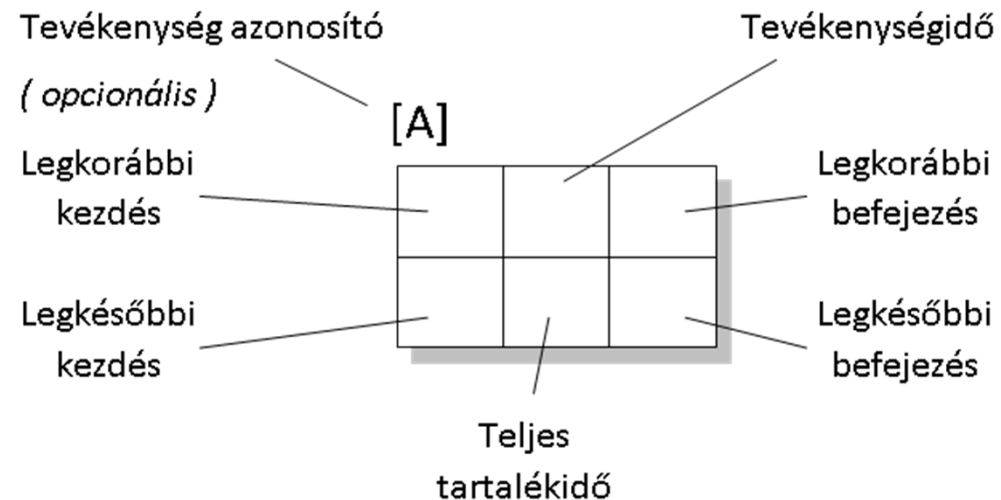


Egy hídépítési feladat
egyszerűsített MPM
diagramja (pl.)

METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

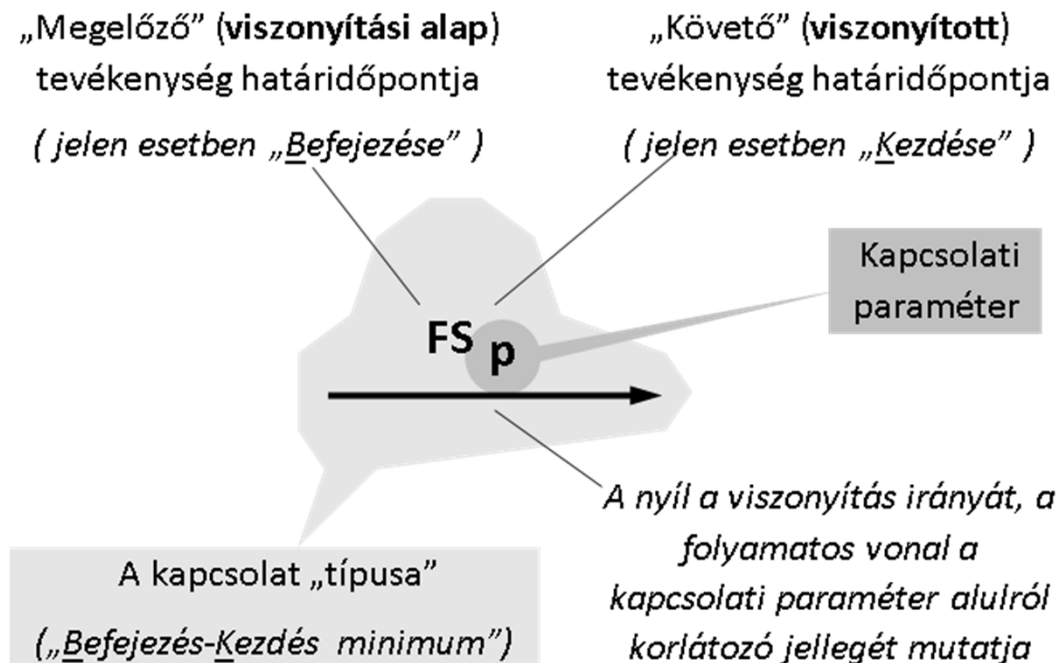
Tevékenység pajzs (csomópont)



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

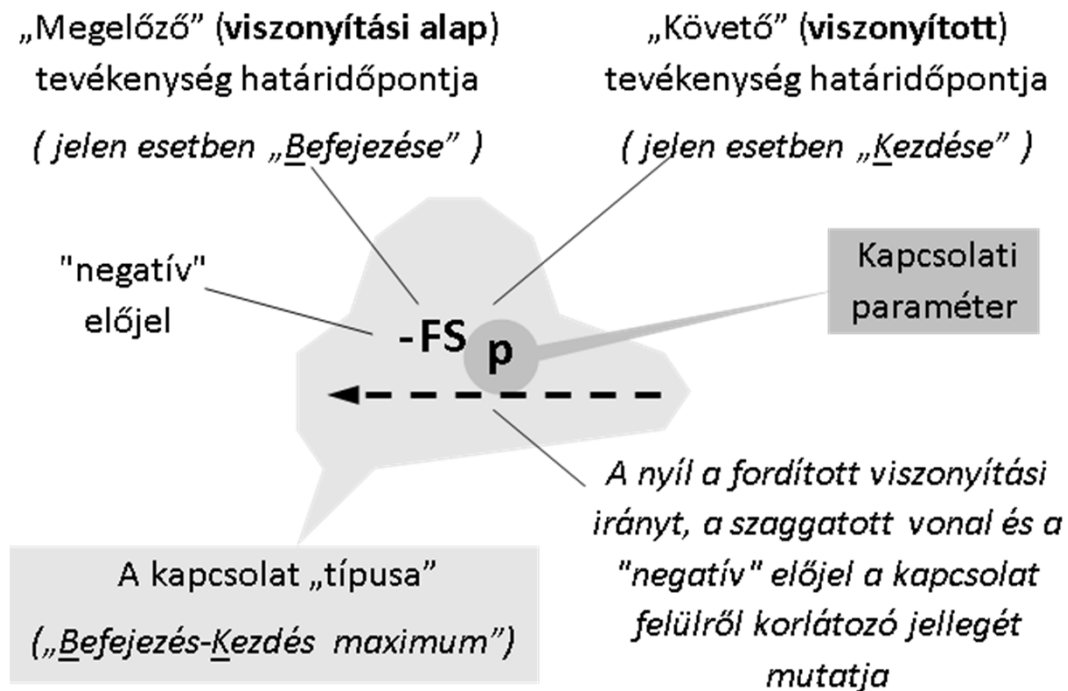
Alulról korlátozó (minimális) kapcsolat



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

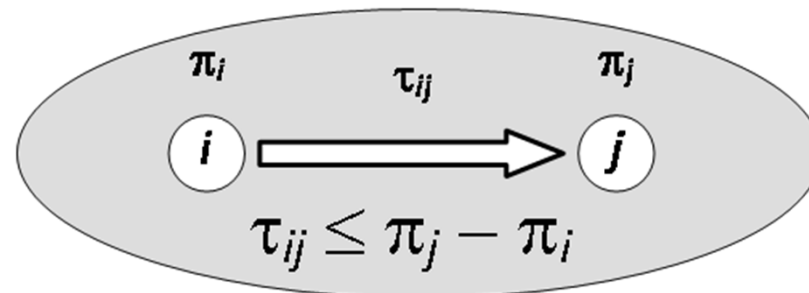
Felülről korlátozó (maximális) kapcsolat



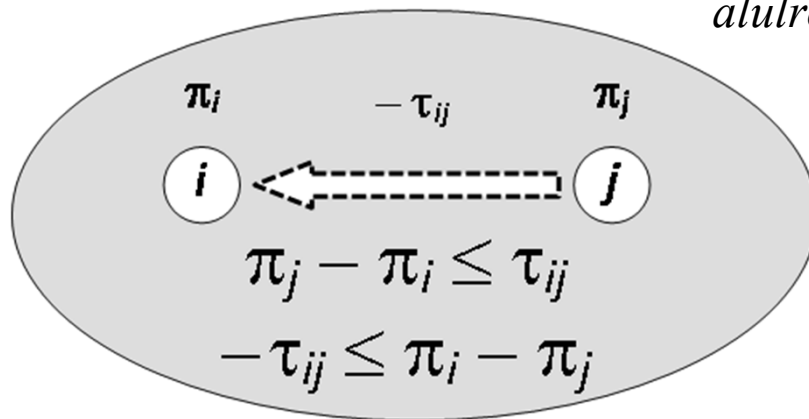
METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

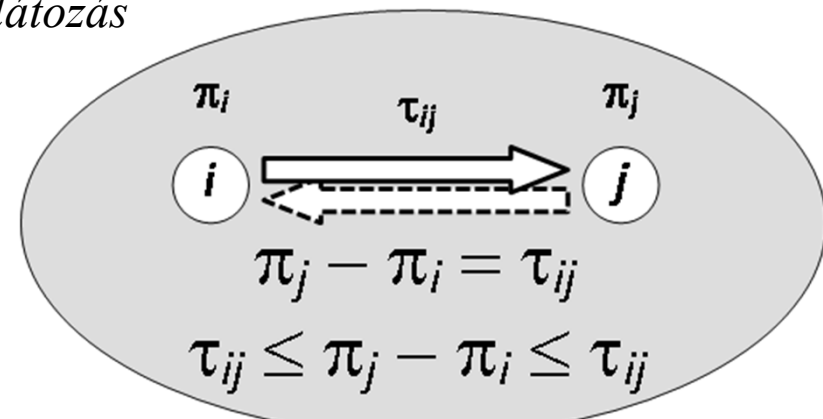
Kapcsolatok (korlátok) "homogenizálása" – a "leghosszabb út" analógia megtartása



alulról korlátozás



felülről korlátozás

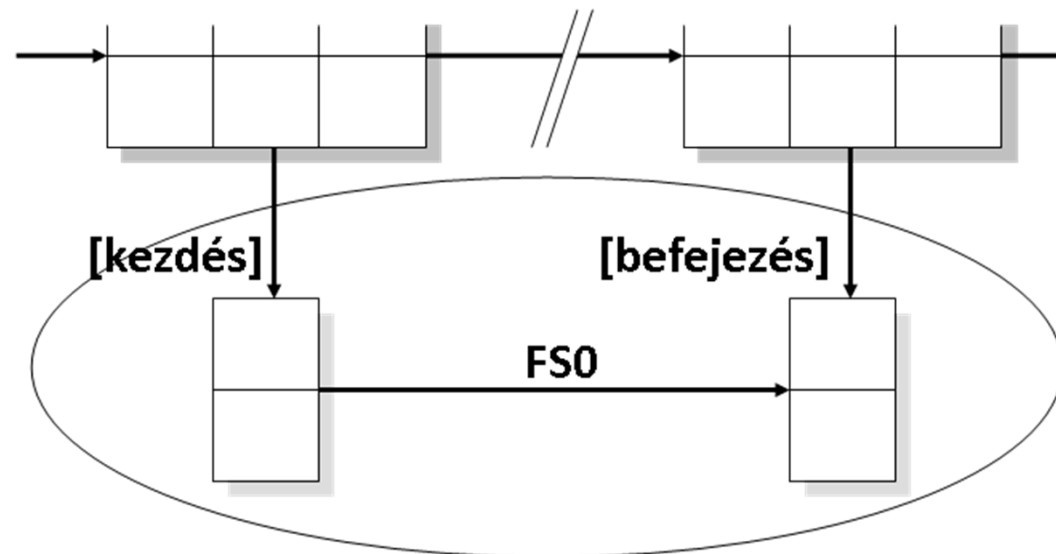


adott értéken rögzítés

METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

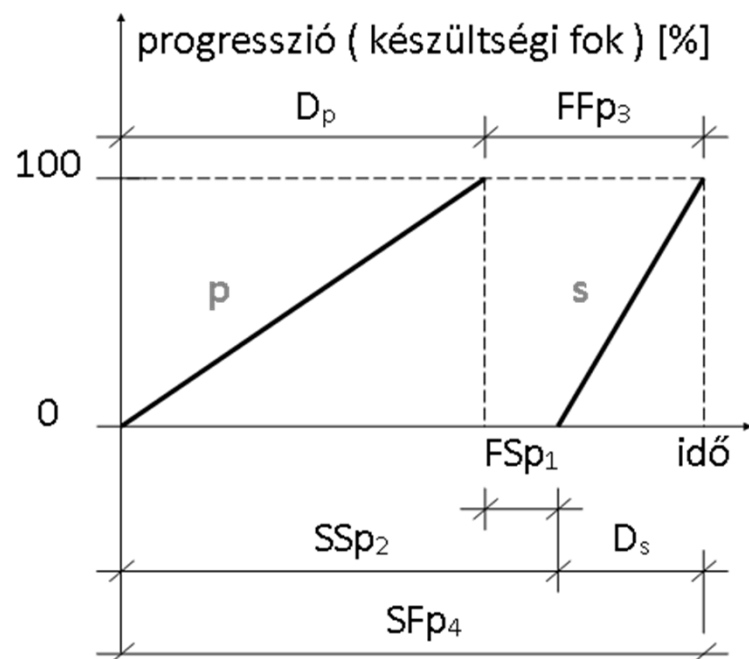
Befüggesztett ("hammock") tevékenység



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

A négy egyszerű kapcsolati alaptípus



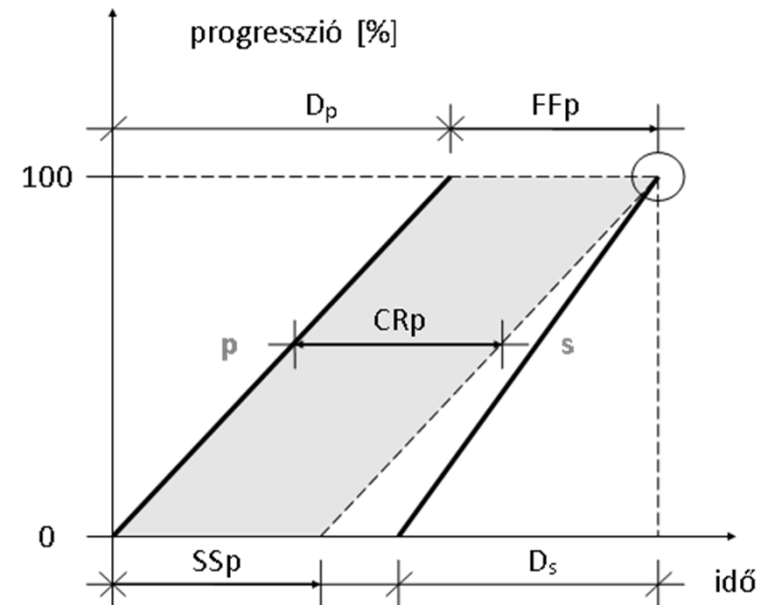
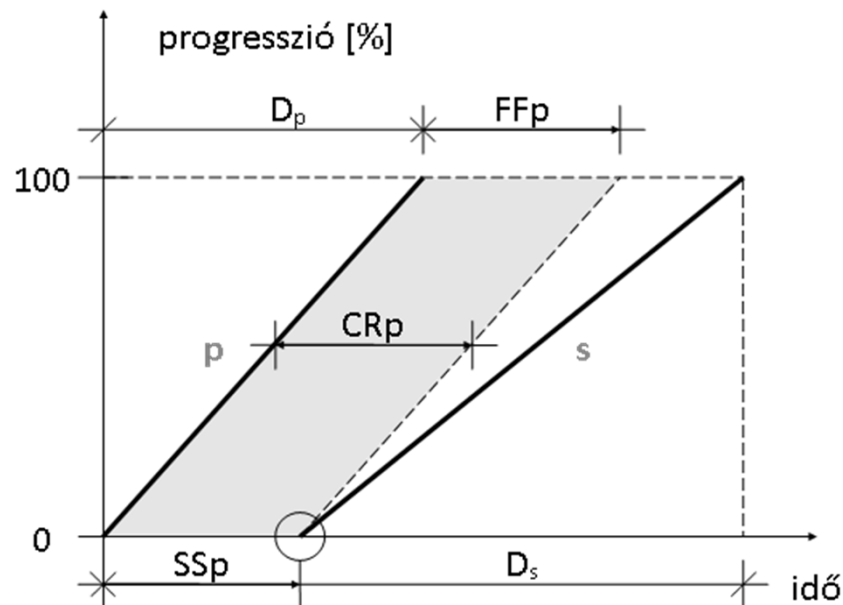
Átjárás a kapcsolati alaptípusok között

	FFq	FSq	SFq	SSq
FFp		$q = p - D_s$	$q = p + D_p$	$q = p + D_p - D_s$
FSp	$q = p + D_s$		$q = p + D_p + D_s$	$q = p + D_p$
SFp	$q = p - D_p$	$q = p - D_p - D_s$		$q = p - D_s$
SSp	$q = p + D_s - D_p$	$q = p - D_p$	$q = p + D_s$	

METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

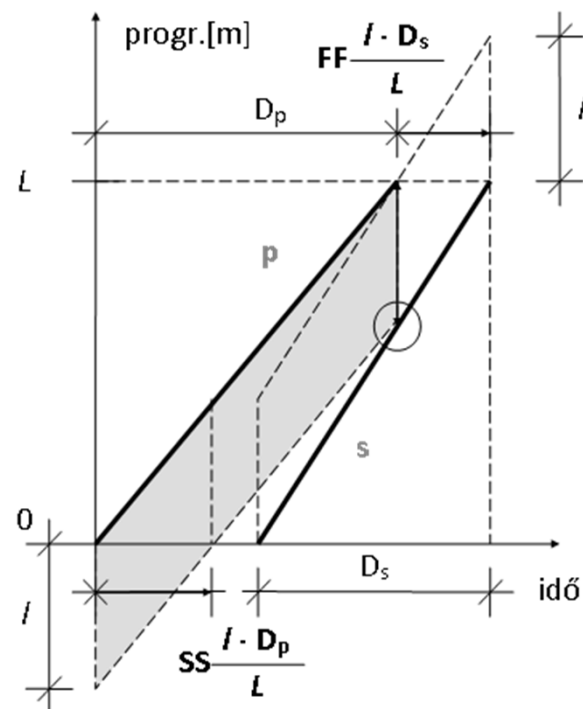
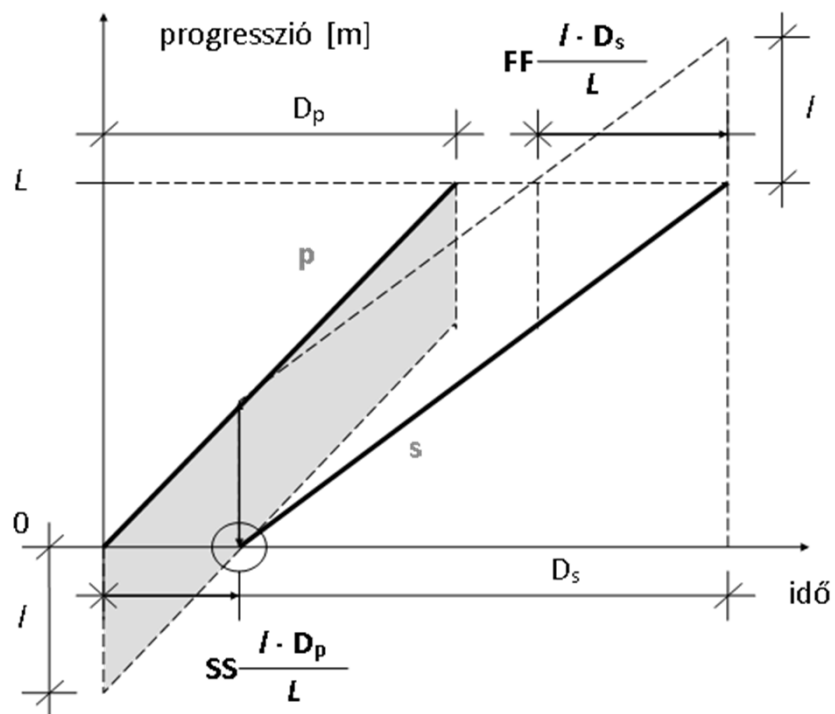
Technológiai szünet biztosítása időben átlapoló tevékenységek között



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

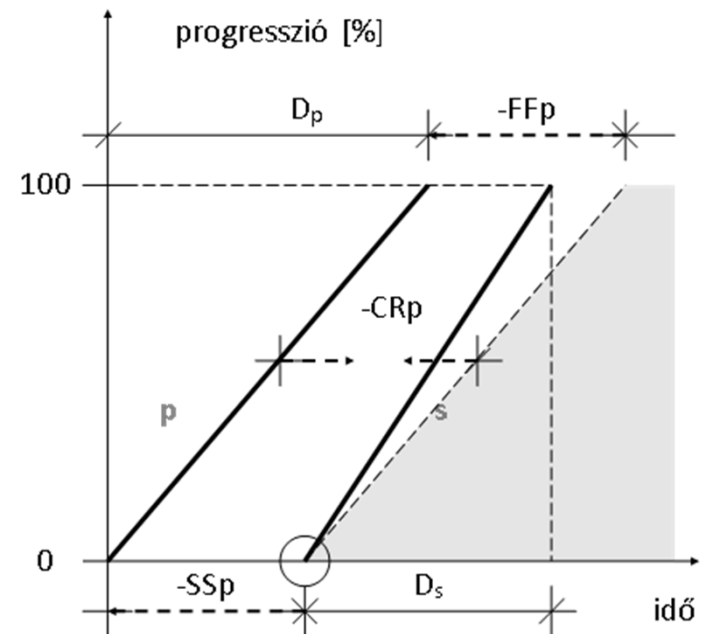
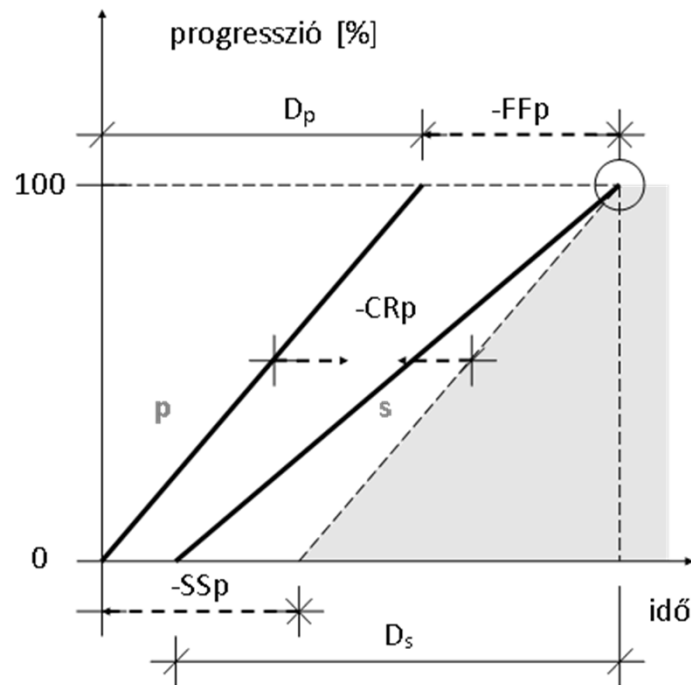
Minimális térköz biztosítása időben átlapolt tevékenységek között



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

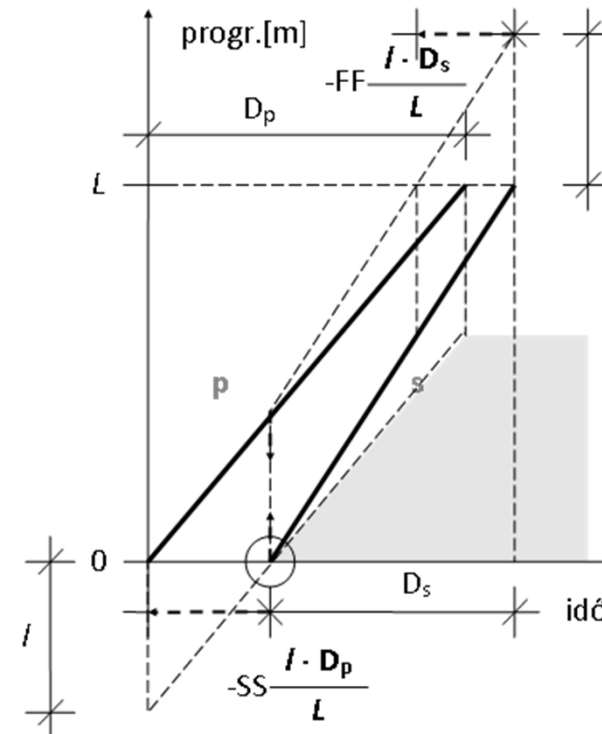
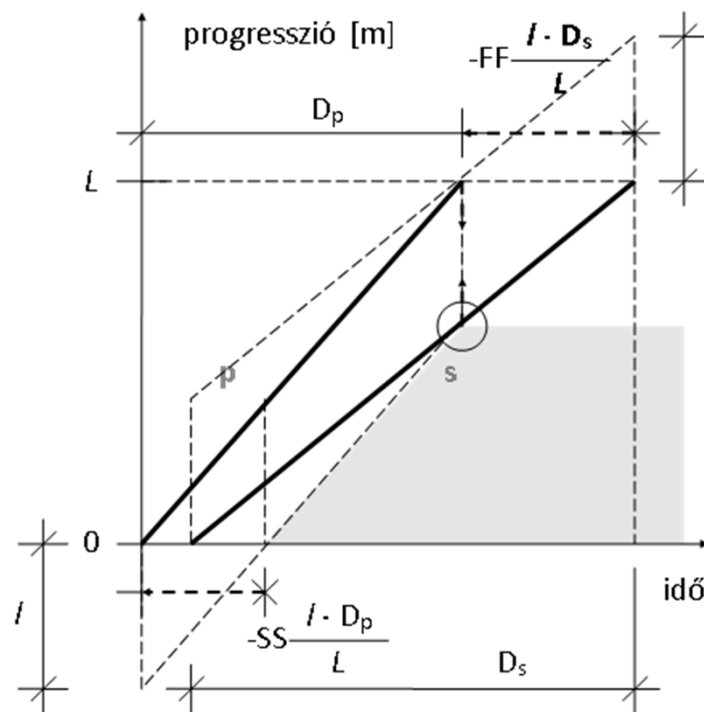
Sérülékeny állapotok biztosítása időben átlapolt tevékenységek között



METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

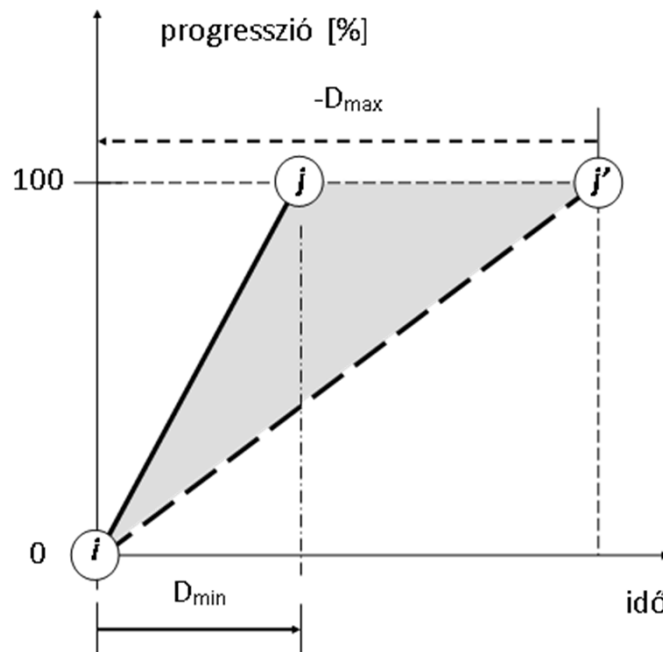
Maximális eltávolodás korlátozása időben átlapolt tevékenységek között



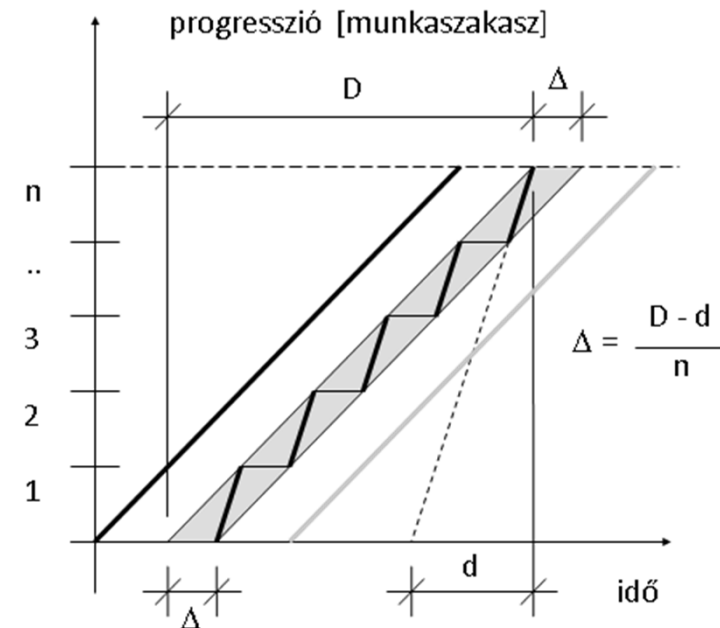
METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

Tevékenységidő korlátozása

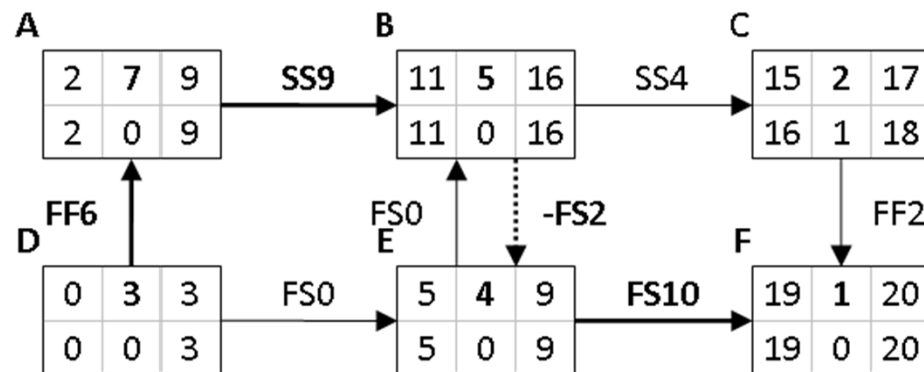


Virtuális lassítás kezelése



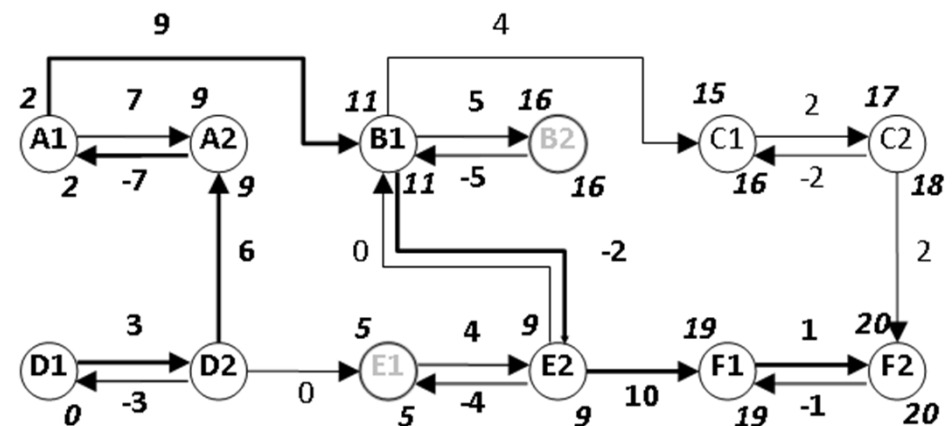
METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy



MPM hálódiaagram ...

... és DiGráf átírata

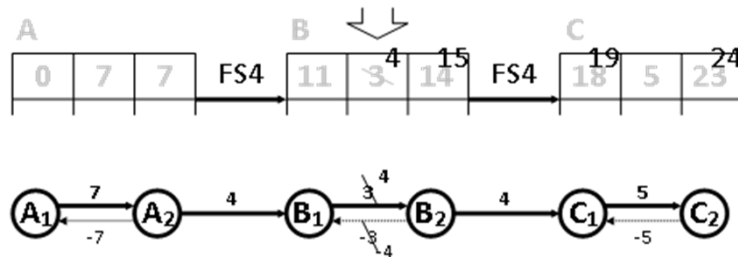


METRA – Potenciálok Módszere (MPM)

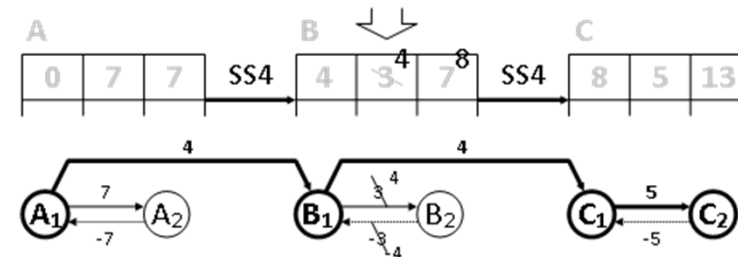
1958-61 : SEMA-METRA, France, Építési Feladatok, Bernard Roy

KRITIKUSSÁGI (DOMINANCIA) ALAPTÍPUSOK

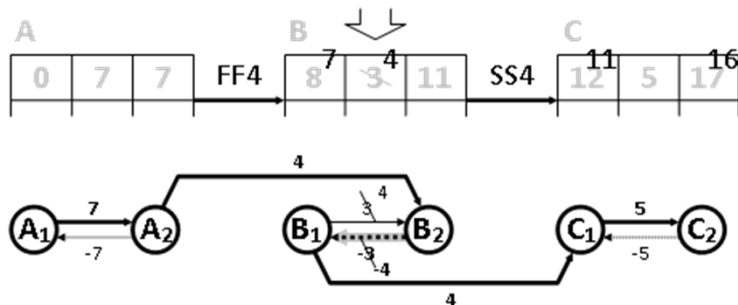
Pozitív kritikus



Kvázi (itt: "kezdés") kritikus



Negatív kritikus



Abszolút kritikus

