

CPM-TÍPUSHÁLÓ ALKALMAZÁSÁVAL KIALAKÍTOTT AUTOMATIZÁLT TERMELÉSPROGRAMOZÁSI RENDSZER

DR. PERGE IMRE

(Közlésre érkezett: 1978. december 31.)

1. BEVEZETÉS

A vállalatok termelésének szervezése a termelés volumenének növekedése és a rentábilis termelés megvalósítása miatt ma már egyre bonyolultabb ún. komplex feladat. Figyelemmel kell lenni többek között a termelőkapacításra, azok egyenletes és maximális kihasználására, a kooperációs, szállító és egyéb szervek együttműködésére, a különböző gazdasági és pénzügyi feltételek kielégítésére. Ahhoz, hogy ezt a szerteágazó, a termelésprogramozáshoz szükséges feltételrendszert figyelembe vehessük és abból időben reális, számszerű következtetéseket vonhassunk le, matematikai módszerek alkalmazása szükséges.

Egy-egy ilyen komplex probléma időben történő megoldása ma már feltételezi a legkorszerűbb információfeldolgozó berendezést, a számítógépet is. A számítógépes termelésirányítási információs rendszerek általában több alrendszert, előkészítés, tervezés, termelésütemezés, elszámolás stb. tartalmaznak. Jelen dolgozatban egy az útépitő vállalatok részére általunk kidolgozott és alkalmazásba vett komplex termelésirányítási rendszernek csak a termelésütemezési, termelésprogramozási információs alrendszerét ismertetjük. A termelés időbeli lefolyásának meghatározására az ún. hálótechnikai módszert alkalmazzuk. Ennek kapcsán kifejlesztettünk egy olyan reprezentáns típushálót, amely alkalmas minden konkrét feladat ütemezésére is. Ezáltal a tervező mentesült az esetenkénti hálótervezési feladat elvégzésétől is, amely döntően elősegítette az egész termelésprogramozási rendszer automatizálását.

2. TEVÉKENYSÉGEK ÉS ERŐFORRÁSOK

Az útépitő vállalatok is – hasonlóan más építőipari vállalatokhoz – feladatukat, termelésüket költségvetés alapján végzik. A költségvetés minden tétele egy-egy részfeladat, tevékenység, amelynek leírását és erőforrás normatíváit az országosan közreadott ún. Építőipari Költségvetési Normák (ÉKN) tartalmazzák. Ezen résztevékenységek száma építőipari vállalatoknál több ezer, de az útépitő vállalatoknál is kétezer körül mozog. Olyan mélységig tervet készíteni, tervezni tehát, hogy minden egyes költségvetési tételhez tartozó tevékenységet elkülönítve kezeljünk, szinte lehetetlen, de nem is lehet cél. A tervezéshez így olyan kisebb számú tevékenységrendszer kialakítása szükséges, amely a kívánt pontossághoz elegendő. Ez a követelmény azt vonja maga után, hogy a tevékenységeket összevontabban kell kezelni.

Egy-egy összevont tevékenységet a továbbiakban *típustevékenységeknek* nevezünk. Valamennyi költségvetési (ÉKN) tételt valamilyen típustevékenységekbe soroljuk.

A típustevékenységek meghatározásánál nemcsak azt kell figyelembe venni, hogy azok a vállalat tevékenységét jellemezzék, hanem azt is, hogy melyek azok a részfeladatok, amelyek a döntő erőforrásokból többet igényelnek. A típustevékenységek mennyiségi jellemzése azok mértékével történik, pl. földmunka, betonozás, alapozás, falazás köbméter, aszfaltozás tonna, zsaluzás, szigetelés, pályatisztítás négyzetméter stb.

Néhány erősen összevont tevékenységnél, ahol a mérték nem egyértelmű, közös mértéknek az 1000 Ft-ot választjuk, (út- és hídtartozékok elhelyezése, útpálya szerkezet bontása stb.).

Az útépítő vállalatok feladata 5 fő tevékenységbe sorolható

1. Földműépítés
2. Műtárgyépítés
3. Útalapok készítése
4. Útburkolatok készítése
5. Befejező munkák

A szóbanforgó fő tevékenységhez az alábbi típustevékenységek tartozhatnak, amelyek segítségével a vállalat profiljába tartozó feladatok ütemezhetők.

A típustevékenységekhez hasonlóan a nagyszámú erőforrás közül sem vonhatjuk be valamennyit, noha a költségvetés minden erőforrást tartalmaz, hanem csak a tervezés szempontjából döntőeket, amelyek vagy szűk keresztmetszetet képviselnek (pl. munkakerő), vagy maximális felhasználásuk vállalati érdek (pl. gépek) – ezek korlátos erőforrások – vagy olyan nem korlátos erőforrások, amelyek a tervezést nem befolyásolják ugyan, de a tervezéshez azok várható szükségletét és annak időbeli megoszlását célszerű megadni (pl. anyagok, termelési érték stb.).

Ilyen értelemben 52 standard erőforrással dolgozunk, melyek közül a tervezésnél az alábbiak játszanak döntő szerepet:

Kód	Megnevezés
4	dózer
5	szkréper
6	kotró
7	grader
9	henger
14	finisher
18	munkás

Tevékenyséjegyzékünkben is csak ezek a korlátos erőforrások szerepelnek.

Az erőforrások és típustevékenységek közötti kapcsolatot ún. *technológiai* mátrixszal fejezzük ki, amelynek sorai az erőforrásokat, oszlopai pedig a típustevékenységeket reprezentálják.

$$A = [a_{ij}],$$

ahol

a_{ij} , a j -edik típustevékenység egységének (m^3 , to, m^2 stb.) elvégzéséhez, az i -edik erőforrásigényt jelöli (óra, db stb.). Dimenziója tehát óra/ m^3 , óra/to, db/ m^2 stb.

Kód	Megnevezés	Mérték	Korlátos erőforrás		Fő tevékenység
			Kód	db v. fő	
10	Általános bontási munkák	m ³	18	6	1
11	Előkészítő munkák	eFt	18	6	1
12	Útpályaszerkezetek bontása	eFt	18	10	2
13	Kézi föld-, sziklamunka	m ³	18	10	1
14	Dózeres földmunka	m ³	4	1	1
15	Szkréperes földmunka	m ³	5	1	1
16	Kotrós földmunka	m ³	6	1	1
17	Földszállítás	m ³ t	18	8	1
18	Földtömörítés földműnél	m ³	18	8	1
20	Műtárgy bontás és előkész.	eFt	18	8	2
21	Műtárgy kotrós földmunka	m ³	6	1	2
22	Dúcolás, szádfalazás	m ²	18	8	2
23	Víztelenítés	üó	18	8	2
24	Műtárgy kézi földmunka	m ³	18	10	2
25	Műtárgy alapozások	m ³	18	8	2
26	Csatorna és áteresztés	m	18	8	2
27	Földvisszatöltés műtárgyaknál	m ³	18	8	2
28	Földtömörítés műtárgyaknál	m ³	18	8	2
29	Szivárgó építése	m ³	18	8	2
31	Zsaluzás	m ²	18	6	2
32	Vasszerelés	q	18	3	2
33	Műtárgy felmenő beton	m ³	18	8	2
34	Hídelemek elhelyezése	db	18	3	2
35	Felszerkezeti beton	m ³	18	8	2
36	Hátfal szigetelés	m ²	18	2	2
37	Háttöltés	m ³	18	6	2
38	Lemezszigetelés	m ²	18	2	2
39	Műtárgy falazatok	m ³	18	6	2
41	Tükörképzés	m ²	7	1	3
42	Szegélyépítés	m	18	8	3
43	Talajjavító és szivárgó paplan	m ³	7	1	3
44	Makadám útalap	m ³	9	1	3
45	Itatott aszfaltmakadám	m ³	9	1	3
46	Cementstabilizáció	m ³	18	8	3
47	Beton útalap	m ³	14	1	3
51	Pályatisztítás és bitumen pmet.	m ²	18	8	4
52	Kavicsaszfalt (U-)	to	14	1	4
53	Javított kavicsaszfalt (JU-)	to	14	1	4
54	Kötőréteg (K-)	to	14	1	4
55	Aszfaltbeton (AB-)	to	14	1	4
56	Beton útburkolat	m ³	14	1	3
61	Befejező földmunkák	m ²	18	8	5
62	Út- és hídtartozékok	eFt	18	8	5
63	Kő- és betonlap pályaburkolatok	m ²	18	8	5
64	Rézsű-, árok- és mederburkolat	m ²	18	8	5
65	Járda és folyóka betonburkolat	m ³	18	8	5
66	Öntöttaszfalt járdaburkolat	to	18	6	5

Egy-egy típus-tevékenység elvégzéséhez általában több erőforrásra is szükség van. A nem szükséges erőforrások 0 értékkel szerepelnek a mátrixban. A technológiai mátrix maximális mérete tehát 52×47 lehet. Egy-egy költségvetés számítógépes feldolgozása kapcsán az elemi feladatokat, költségvetési tételeket típus-tevékenységekbe soroljuk és meghatározzuk azok mennyiségét.

$$m_1, m_2, \dots, m_n, \text{ ahol}$$

m_j a j -edik típus-tevékenységből elvégzendő mennyiség

n a költségvetésben előforduló típus-tevékenységek száma ($n \leq 47$).

Előállítjuk többek között a termelés megvalósításához szükséges erőforrások mennyiségi szükségletét is.

$$B = [b_{ij}],$$

ahonnan a technológiai mátrix az

$$A = [a_{ij}] = [b_{ij}/m_j],$$

$$i = 1, 2, \dots, 52,$$

$$j = 1, 2, \dots, n,$$

amely a termelési tervezés kiinduló adata is. Így ugyanis a j -edik típus-tevékenység idő-alapra (nap, hét stb.) történő ütemezése az m_j mennyiség felbontása, amely a szóban forgó típus-tevékenységre jellemző szűk (korlátos) kapacitás alapján történhet. Egy lehetséges termelési terv tehát

$$t = (t_1, t_2, \dots, t_n),$$

ahol

$$t_i = \text{entier}(a_{ij} \cdot m_j / c_j) + 1$$

és c_j a j -edik tevékenységhez tartozó időalapra eső szükséglet. Így a j -edik tevékenységből időalap alatt elvégzendő mennyiség

$$d_j = m_j / t_j,$$

$$d = (d_1, d_2, \dots, d_n).$$

Mivel az egyes tevékenységeket 6, 8, 10 fős brigádok végzik, így a munkaerő-tervezésnél ezt vesszük figyelembe.

Meg kívánjuk jegyezni, hogy vannak olyan típus-tevékenységek is, amelyeknek ütemezése nem erőforrás, hanem egy másik típus-tevékenység függvénye. Ezek a típus-tevékenységek rendszerint követő tevékenységek és átlapolva, vagy anélkül, de ugyanannyi ideig tartanak.

3. A TERMELÉS IDŐBELI LEFOLYÁSA HÁLÓTERVEZÉSSSEL

Az előző pontban már meghatároztunk egy lehetséges termelési tervet. Nem döntöttünk azonban a munka időbeli lefolyásáról, a termelés átfutási idejéről. A termelési folyamatok ábrázolására és időbeli lefolyásának meghatározására igen alkalmas módszer a hálótechnika, ahol egy-egy termelési folyamatot az ún. háló segítségével ábrázolunk. A háló tevékenységekből és eseményekből áll. A tevékenységeket (típus-tevékenységeket is) nyílal ellátott egyenessel, az eseményeket pedig körrel ábrázoljuk, a szokásos hálótechnikai eljárásnak megfelelően. Pontosabban egy háló olyan hurok nélküli, irányított gráf, amelynek egy kezdő (ún. forrás), és egy záró (ún. nyelő) pontja van, továbbá az eseményeknek csomópontok, a tevékenységnek pedig két csomópontot összekötő vonalak (élek) felelnek meg. A háló segítségével nekünk a fentiek alapján tehát az egyes termelési feladatok, típus-tevékenységek közötti logikai, sorrendi összefüggéseket kell szimulálni. Egy-egy háló összeállítása azonban egyrészt megfelelő szakembert kíván (aki az egyes típus-tevékenységek logikai sorrendjével és összefüggéseivel tisztában van), másrészt meg-

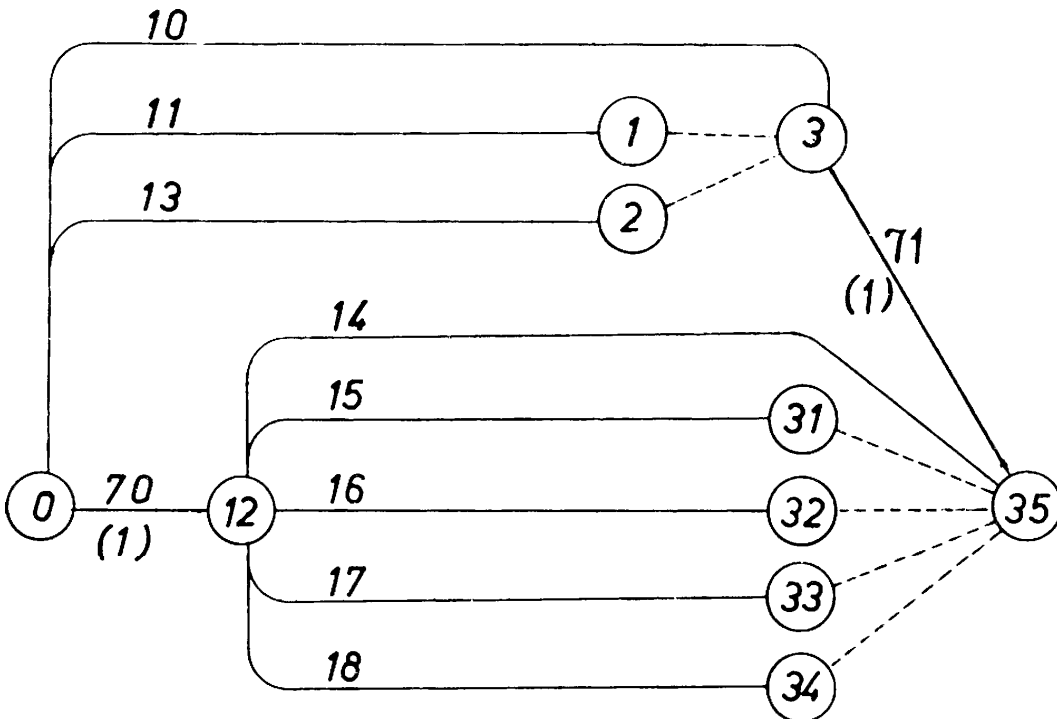
lehetősen munkaigényes és sok hibalehetőséget magában rejtő feladat. Valamennyi feladathoz, létesítmény elkészítéséhez hálót készíteni, mivel azok száma évente több száz, szinte lehetetlen feladatnak látszik. Célszerű viszont olyan ún. típushálót, vagy hálókat (szokták könyvtári hálónak is nevezni) készíteni, amely az azonos kategóriába eső összes technológiai lehetőséget magába foglalja.

Egy ilyen háló készítése nyilván még sokkal bonyolultabb, mint egy létesítményre vonatkozó háló elkészítése, tekintettel arra, hogy egy konkrét létesítmény nem tartalmaz valamennyi típus-tevékenységet. Így azok a tevékenységek, amelyek nem fordulnak elő, látszatevékenységgé (nulla idejű tevékenység) válnak. Továbbá bizonyos tevékenységek csak meghatározott várakozási idő után kezdhetők el, amelyek bizonyos tevékenységek létezésétől függően még változhatnak is, illetve látszatevékenységgé válhatnak (pl. betonozás utáni várakozási idő).

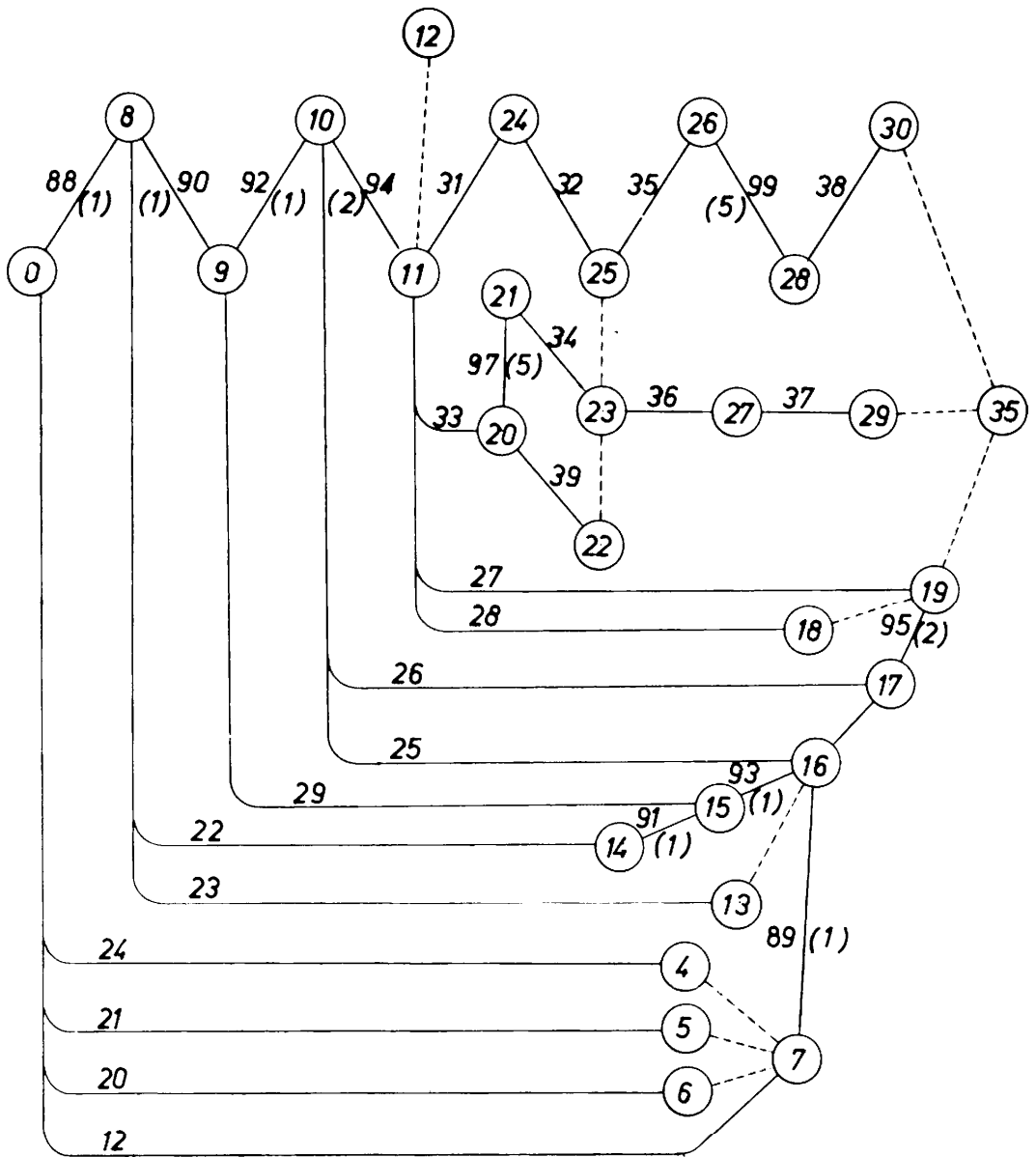
A költségvetés megbontása miatt, a típusháló alkalmas kell hogy legyen a főfeladatok (pl. aszfaltozás) típus-tevékenységeinek a kiértékelésére is.

Ha tudunk készíteni ilyen típushálót, akkor a termelés időbeli lefolyását is automatizáltuk, vagyis a tervezőket mentesítjük az esetenkénti hálótervezési feladatok elvégzésétől.

Az alábbiakban megadjuk az útépítő vállalatnál előforduló feladatok, olyan háló-diagramját (típushálóját), amely reprezentánsnak tekinthető és így ezen belül érvényes minden konkrét feladatra. A háló 99 tevékenységből és 0-tól 61-ig sorszámozott csomópontból áll. A hálót a jobb áttekinthetőség kedvéért fő tevékenységenként adjuk meg, feltüntetve azok egymáshoz illeszkedő csatlakozási pontjait is. Mivel a csomópontok számozása növekvő sorrendbe történik, ezért a tevékenységek iránya egyértelmű, így azok nyilazásától eltekintünk.

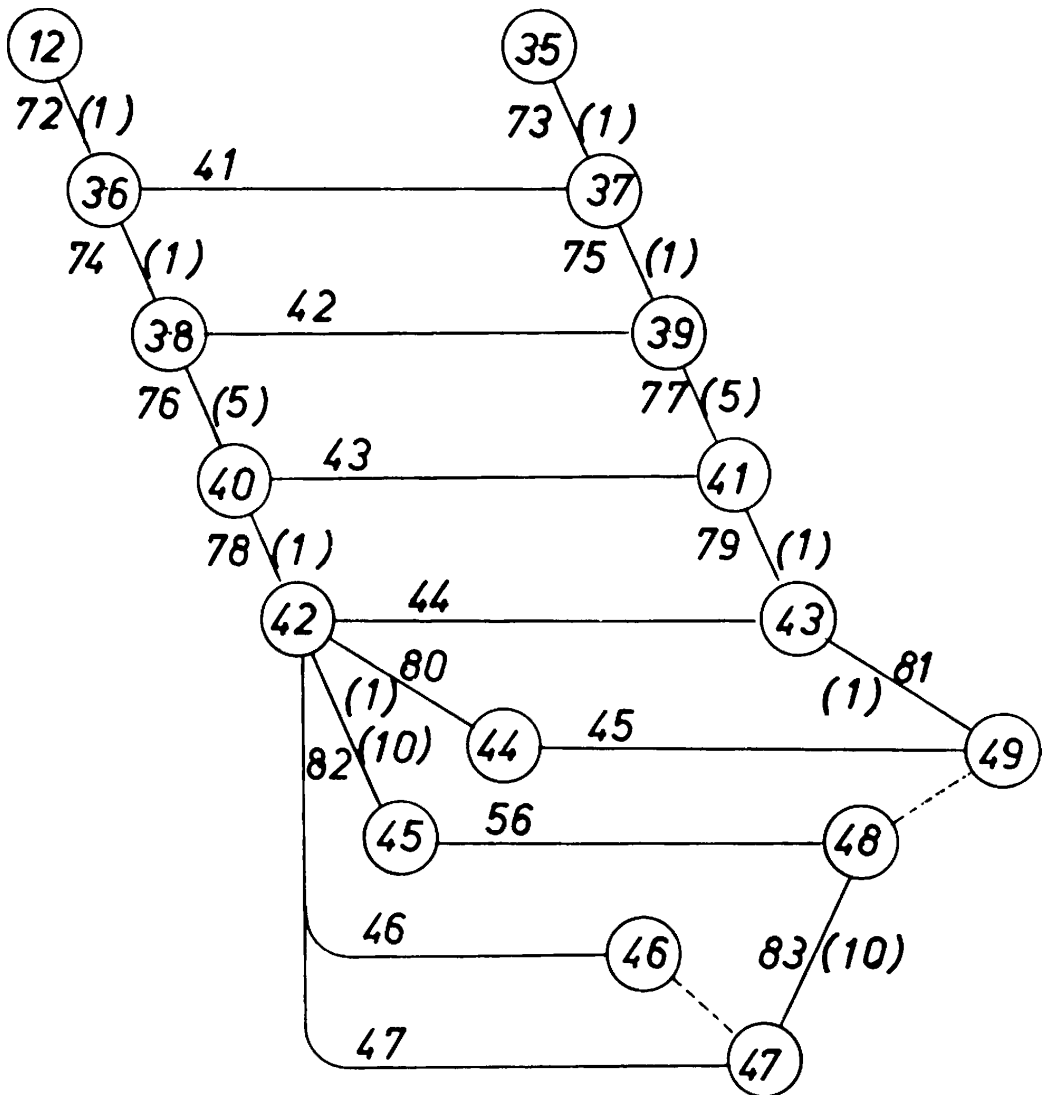


Földműépítés



Műtárgyépítés

Számítástechnikai megfontolásokból az egyes (i, j) tevékenységeket, amely az i időpontban kezdődik és a j időpontban végződik, sorszámval is elláttuk úgy, hogy a típus-tevékenységek kódszáma megegyezik az általunk választott tevékenységsorszámval. Ezáltal az egyes típus-tevékenységek információi közvetlenül elérhetők. Pl. a 42-es kódú típus-tevékenység – szegélyépítés – a háló 42-es sorszámú (38, 39) tevékenysége, vagy a 31-es kódú zsaluzás a 31 sorszámú (11, 24) tevékenység stb.



Út alapok készítése

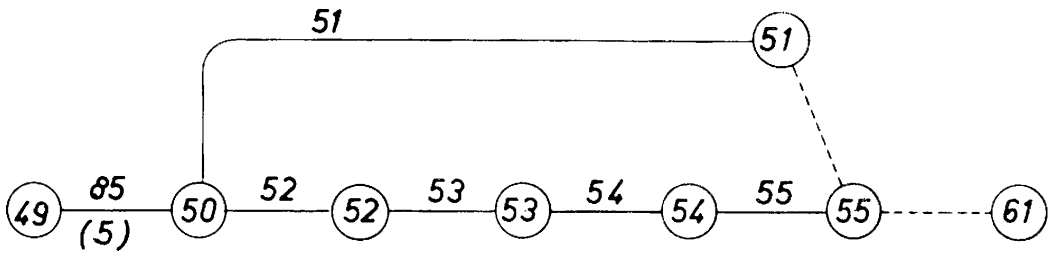
A típus-tevékenységek

$$y(i, j) = t(s)$$

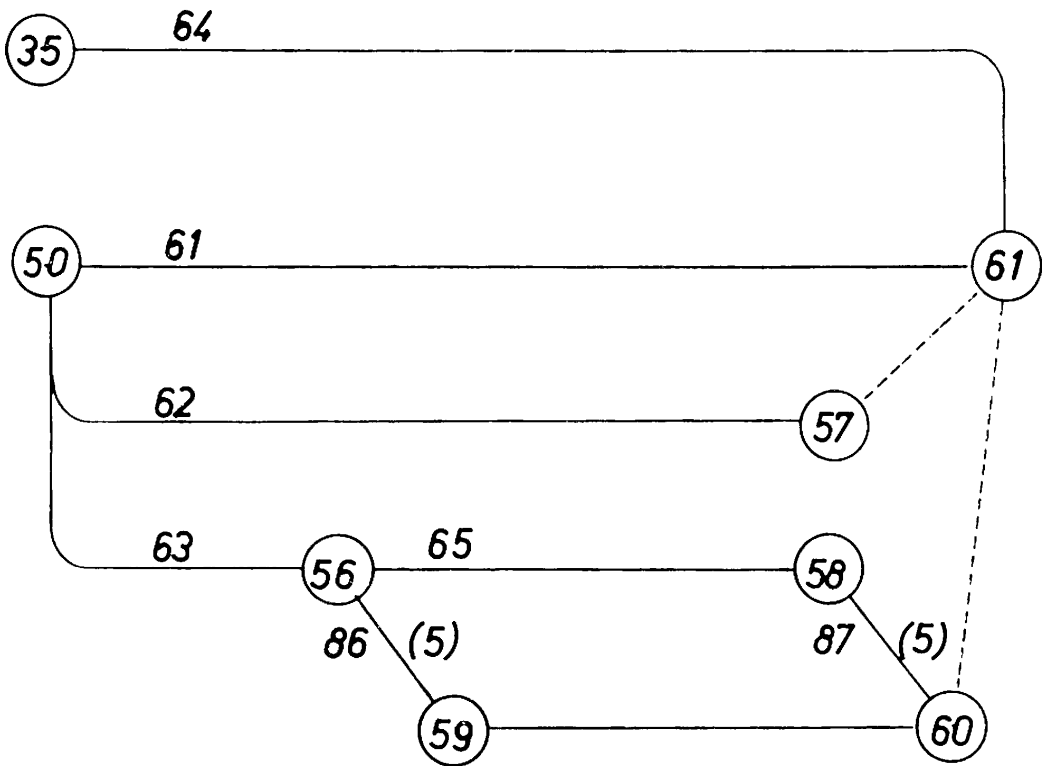
időtartama, ahol s az (i, j) tevékenység sorszáma, a kiinduló adatbázisban zérus. Az aktuális időtartamok meghatározása után ugyanis csak az előforduló típus-tevékenységek időtartama kerül felülírásra, aktualizálásra, így a nem szereplő típus-tevékenységek időtartama zérus marad. A hálóban szereplő nem típus-tevékenységekhez viszont fix időtartamok tartoznak, amelyeket az ábrán zárójelben feltüntettünk. Ezeket az időtartamokat az átlapolási és egyéb műszaki várakozási idők szabják meg.

Pl. $t(70) = 1$, $t(76) = 5$ stb.

A nem típus-tevékenységek időtartama azonban függ a szóbanforgó munkában szereplő típus-tevékenységek létezésétől. A zérus időtartamú típus-tevékenység a szóbanforgó



Útburkolatok készítése



Befejező munkák

feladatban nem fordul elő. Így ezek segítségével a nem típus-tevékenységek időtartama egyértelműen jellemezhető, amelyek a már ismerttetett jelölések és a

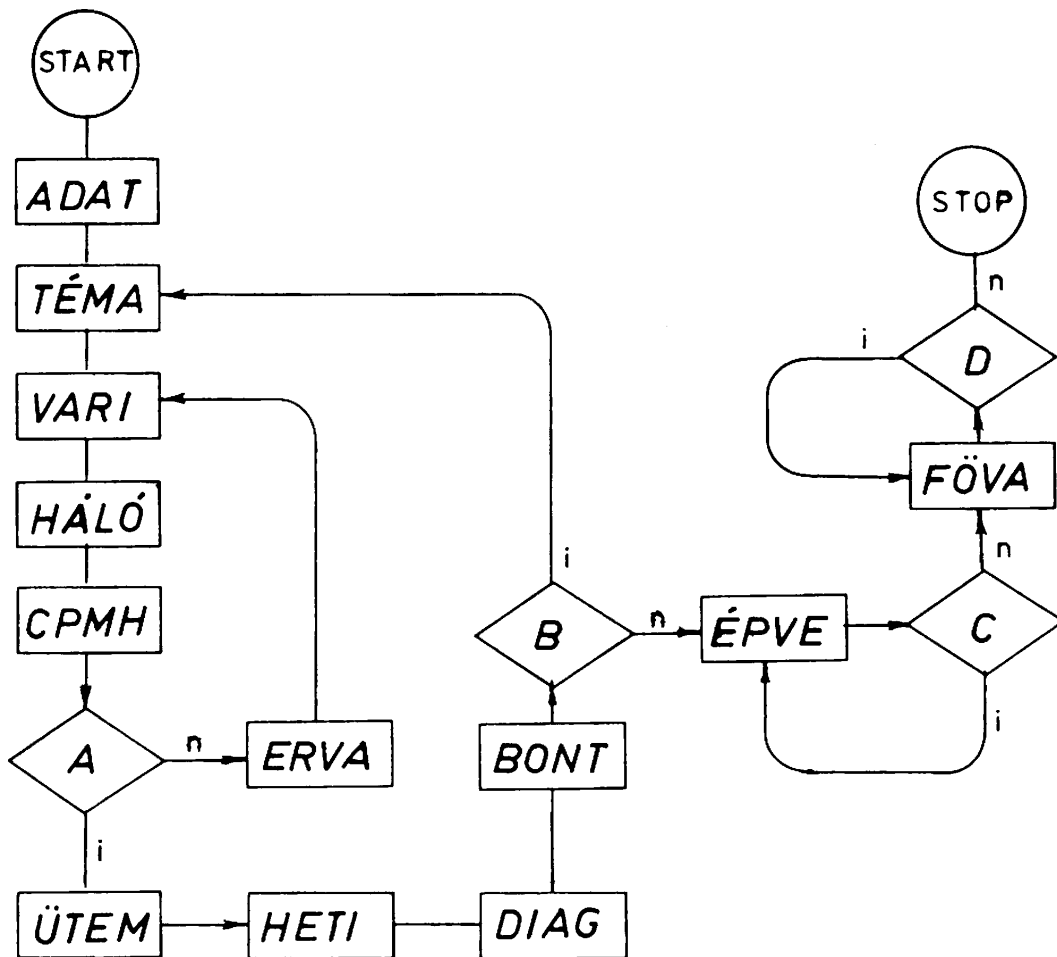
$$g(s_1, s_2, \dots, s_n) \stackrel{def}{=} t(s_1) = 0 \wedge t(s_2) = 0 \wedge \dots \wedge t(s_n) = 0$$

logikai függvény bevezetésével az alábbiak:

ha igaz	akkor igaz
g(10, 11, 13)	$t(70) = t(71) = 0$ vagy rövidebben g(70, 71)
g(41)	g(72, 73)
g(42)	g(74, 75) és $t(76) = t(77) = 1$
g(43)	g(76, 77)
g(44)	g(78, 79)
g(45)	g(80, 81)
g(56)	g(82, 83)
g(47)	g(85)
g(66)	g(86, 87)
g(12, 20, 21, 24)	g(88, 89)
g(22, 23)	g(90, 91)
g(29)	g(92, 93)
g(25, 26)	g(94, 95)
g(26)	g(96)
g(34)	g(97)
g(38)	g(99)

Az információs alrendszer működető programrendszer tizenkét szegmensből (programból) áll, ahol az egyes szegmensek automatikusan hívják a soron következő szegmenst. A szegmensek logikai kapcsolatát vázlatosan folyamatábrán mutatjuk be. Az egyes szegmensek működése és funkciója az alábbi:

- ADAT:** Biztosítja, hogy a feldolgozáshoz szükséges standard adatok (típusháló adatai, erőforrás – típus-tevékenység-megnevezések, erőforráskorlátok) megfelelő helyen tárolásra kerüljenek.
- TEMA:** Beolvassa és tárolja a soron következő munkaütemezéssel kapcsolatos technológiai matrixot és a szóbanforgó feladatban előforduló típus-tevékenységeket és a tervezett átfutási idő adatokat.
- VARI:** Meghatározza az egyes típus-tevékenységekhez tartozó szűk kapacitásokat, azok alapján a szükséges időtartamokat napokban, amelyeket bizonylatol is.
- HALO:** Felülírja a típusháló adatait a tényleges napokkal és korrekt hálót készít az adott feladatra.
- CPMH:** Az előző szegmensben tárolt hálódatok alapján CPM hálót értékel a Ford–Fulkerson algoritmus felhasználásával. Ellenőrzi is a hálót és meghatározza a legkorábbi és legkésőbbi kezdési és befejezési időket, időtartalékokat és a kritikus utat, valamint bizonylatolja is. Az „A” döntési ponton az átfutási idő kerül kiértékelésre. Ha a munka az átfutási időn belül elvégezhető, akkor áttér a rendszer a következő szegmensre, ha nem, akkor az
- ERVA** szegmens lép működésbe, amely az erőforráskorlátokon belül a kritikus úton levő leghosszabb ideig tartó tevékenységhez tartozó jellemző erőforrást meg-



A termelésütemezési információs alrendszer működető programrendszer

duplázza és visszavezérel a VARI szegmensbe. Lehetőséget biztosít ez a szegmens a külső vezérlésre is. Az erőforrások egyenként is és valamennyi többszörözéssel is megváltoztatható.

- g) ÜTEM: Ez a szegmens végzi az ütemezést. Először azok a tevékenységek kerülnek ütemezésre, amelyek nem szakíthatók meg a CPM számítás alapján. Ha munkaerőben, mint erőforrásban hiány mutatkozik, akkor a lebegésen belül eltolja a tevékenységet, mivel feltehetően egy későbbi időpontban már lehet elegendő munkaerő.

Amennyiben ez nem vezet célra, vagy kritikus úton levő tevékenységről van szó, akkor a tevékenység eltolódik egy olyan későbbi időpontra, hogy már a befejezési határidő sem tartható. Ez a megoldás azonban nem okoz túl nagy problémát, ha az átfutási idő meghatározásánál már erre a célra eleve egy bizonyos %-os rátartást biztosítunk.

A megszakítható tevékenységeknél ha nincs elegendő erőforrás, akkor a tevékenységet megszakítja, és a tevékenységet akkor folytatja, ha a szükséges erőforrás rendelkezésre áll.

- h) HETI: Az előző ütemezési szegmens alapján elkészíti a hetekre bontott ütemezést.

- i) **DIAG:** Ez a szegmens bizonylatolja az ütemezés vonalas diagramját napi, illetve heti bontásban.
- j) **BONT:** A szóbanforgó munka technológiai mátrixát naptárhelyesen felbontja hetekre, illetve hónapokra. A heti erőforrás-szükségleteket bizonylatolja, a havi szükségletet pedig további feldolgozás érdekében tárolja, vagy más információhordozón rögzíti.
A „B” döntési helyen a további egyedi munkák, amelyek általában egy-egy építésvezetőség feladatkörébe tartoznak, feldolgozásának folytatásáról döntünk. Ha még további feladatok ütemezését is el kívánjuk végezni, visszatérünk a TEMA szegmensre.
A szóbanforgó vállalatok szervezeti felépítésében a vállalat több főépítésvezetőségből, a főépítésvezetőség pedig több építésvezetőségből áll. További feladatként jelentkezik tehát, hogy az egyedi munkák technológiai mátrixát építésvezetőségekre, főépítésvezetőségekre és vállalatokra is összegezzük. Ez az igény havi bontásban jelentkezik.
- k) **ÉPVE:** Ez a szegmens egy-egy építésvezetőséghez rendelt feladatok technológiai mátrixát összegezi és bizonylatolja, míg a
- l) **FŐVA:** szegmens a főépítésvezetőségek, illetve a vállalat havi erőforrás-szükségletét határozza meg és bizonylatolja a technológiai mátrix segítségével.
A „C” és „D” döntési helyeken a szóbanforgó újabb szervezeti egységek feldolgozásának folytatására vonatkozóan kell dönteni. A „B” „C” és „D” döntési helyeken természetesen a feldolgozás le is állítható. Az elmondottakból következik, hogy a programrendszer bizonyos részrendszerei önállóan is működhetnek.

Az ismertetett modell és rendszer segítségével nemcsak az útépitő vállalatok termelésirányítása valósítható meg, hanem kisebb módosításokkal, amelyek elsősorban a kiinduló adatbázisra vonatkoznak pl. bármely építőipari vállalatnál is hasznosan alkalmazható.

A rendszer gyakorlati bevezetése ODRA 1204 számítógépen valósult meg, de a rendszer kidolgozásánál messzemenően figyelembe vettük az ESZR gépekre történő adaptálási lehetőségeket is.

IRODALOM

1. Papp Ottó: Hálós programozási módszerek gyakorlati alkalmazása. Bp., 1969. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó.
2. Dr. Dányi Dezső–Dr. Fügedi Tamás: Hálótervezési rendszerek. (PERT, CPM) Bp., 1965.
3. Fügedi Tamás: Alkalmazott hálótervezés. (PERT, CPM). Bp., 1976. Tankönyvkiadó.
4. A. Kaufmann: Az optimális programozás. 1964. Műszaki Könyvkiadó.
5. Dr. Stander Ernő: Ipari termelésirányítási feladatok számítógépes megoldása. Bp., 1972. Statisztikai Kiadó Vállalat.
6. Majtényi György: Az ipari termelés számítógépes irányítása. Bp., 1976. Közgazdasági és Jogi Kiadó.
7. Dr. Perge Imre: Különböző gépeken meghatározott sorrendben megmunkálendő gyártmányok gyártási ütemének meghatározása heurisztikus módszerrel. Eger, 1974. (ACTA ACADEMIAE PAEDAGOGICAE AGRYENSIS XII. 335–347.)

**THE AUTOMATIZED PRODUCTION-PROGRAMMING SYSTEM DEVELOPED
BY THE APPLICATION OF CPM STANDARD-NET**

Dr. IMRE PERGE

The organization of direction and production systems at companies is already such a complicated task which needs up-to-date computer technics and mathematical methods. In our paper we introduce to a special automatized production programming system of ours which we have elaborated for the production system and conditions of road building companies. The fact that we solved the schedule of production in time by forming CPM standard-net decisively promoted the automatization of the system. We carried out production programming in practice on ODRA-1204 computer.