

# TOIMINTAVERKOISTA JA NIIDEN KÄYTÖSTÄ MAATALOUDEN TYÖTEKNISISSÄ TUTKIMUKSISSA

ERKKI H. OKSANEN

*Maatalouden työtekniikan laitos, Helsingin Yliopisto*

Saapunut 5. 9. 1969

Päätöksenteossa tarpeellisten tietojen selvittämisessä ja myös omana tutkimusalanaan ovat operaatiotutkimukset yleistyneet nopeasti. Niiden nuorimpiin kuuluvaa toimintaverkkomenetelmää on viime vuosina alettu käyttää monista tehtävistä koostuvien hankkeiden eli projektien tutkimisessa, suunnittelussa, johdossa ja valvonnassa. Toimintaverkko on lyhyesti sanottuna tasoon piirretty havainnollinen malli hankkeesta. Siinä on esitetty hankkeeseen kuuluvat tehtävät ja tapahtumat sekä niiden väliset ajalliset riippuvuudet. Toimintaverkosta siihen liittyvine laskelmineen käy selville, missä järjestyksessä eri tehtävät voidaan toteuttaa ja paljonko se vaatii aikaa. Toimintaverkkoon voi kuulua myös resurssi- ja/tai kustannuslaskenta.

Vaikka toimintaverkot pääsevätkin täysin oikeuksiinsa vasta suurissa rakennus-, kehitys- yms. projekteissa, niitä on käytetty myös pienhankkeissa. Tässä esityksessä tarkastellaan toimintaverkkojen soveltuvuutta maatalouden työtekniikan tutkimusalalle, joksi on määriteltä työvoiman, koneiden ja laitteiden rationaalinen käyttö maatilataloudessa (Asetus Helsingin . . . 1968, p. 532).

## *Toimintaverkkomenetelmän synty ja kehitys*

Vuonna 1958 esiteltiin U.S.A.:ssa kaksi eri toimintaverkkotekniikkaa, PERT ja CPM. PERT, »Program Evaluation and Research Task», myöhemmin uudelleennimettynä »Program Evaluation and Review Technique» oli tuloksena insinööri-tutkimusryhmän työstä, jossa tavoitteena oli luoda valvontajärjestelmä Polaris ohjussuunnitelman kehitystyölle. Projektissa oli mukana useita suurteollisuuslaitoksia eri puolilla U.S.A.:ta. PERT'in avulla laaja ja aikataulultaan kireä yhteistyöohjelma voitiin toteuttaa menestyksellisesti (PERT rakennustoiminnassa 1966, AGRAVAL 1967, MODER ja PHILLIPS 1968).

CPM, »Critical Path Method», kehitettiin toisen insinööriryhmän toimesta tarkoituksella vähentää kemiallisessa teollisuuslaitoksessa (Du Pont) kunnossapito- ja huoltotoimin-

nan sekä rakennustyön vaatimaa aikaa, ja sitä tietä pienentää myös välittömiä ja välillisiä kustannuksia. Välillisiin kustannuksiin luettiin esim. laitoksen seisoksista aiheutuva tuotantotappio. Myös CPM-menetelmä täytti tarkoituksensa. PERT on suomennettu »ohjelman arvioinnin ja uudelleensuunnittelun tekniikaksi», CPM »kriittisen polun menetelmäksi». Viimeksimainitusta käytetään joskus suomalaista lyhennettä KPM, mutta koska PERT'istä ei ole vastaavaa, käytetään tässä esityksessä alkukielisiä lyhenteitä.

Toimintaverkoilla kuten muillakin operaatiotutkimuslajeilla on matemaattinen perusta. PERT'in osalta sitä ovat selostaneet menetelmän kehittäjät MALCOLM ym. (1959). Siihen palataan myöhemmin tässä kirjoituksessa. KELLEY (1961), joka on CPM:n kehittäjä, esittää sen pohjautuvan parametriseen lineaariseen ohjelmointiin tarkoituksella laskea projektin hyöty sen keston funktiona. Tältä perustalta lähtien on laadittu eri laskumenetelmiä lineaarisen ohjelmoinnin kuljetusongelman tapaisesta aina perinpohjaisen laskennallisen algoritmin käyttöön saakka (MODER ja PHILLIPS 1968).

Myöhemmistä toimintaverkkojen tutkijoista HEILAND ym. (1966) katsovat toimintaverkkotekniikan pohjautuvan Königin v. 1936 esittämään graafiteoriaan. Myös PEART ym. (1968) korostavat graafiteoriaa toimintaverkkojen perustana. ARCHIBALD ja VILLORIA (1967) sekä MODER ja PHILLIPS (1968) pitävät lähtökohtana janakaaviota eli ns. Gantt'in diagrammaa, jossa hankkeen eri tehtävät ja niiden ajoitus on esitetty janoina aika-akselilla varustetussa koordinaatistossa. Verkkokäsite on tuonut lisäksi riippuvuusuhteiden merkinnän ja tehtävien yksityiskohtaisemman määrittelyn. Silloin aika-akseli ja koordinaatisto yleensä häviävät, mutta aikatiedot esitetään joko verkkopiirroksessa tai siihen liittyvässä taulukossa.

Toimintaverkoilla on läheinen yhteys myös työntutkimuksiin (CAMM 1966). Menetelmätutkimuksissa on jo kauan käytetty työnkulku-, mies-kone-, vasen-oikea (käsien liikkeistä)-, lanka (työntekijän liikkuminen paikasta toiseen) - ym. kaavioita, joissa suoritetaan työn jaottelu, työnosien tapahtumisjärjestyksen ja ajan määrittäminen sekä matkojen ym. työnosan vaatimaan aikaan vaikuttavien tekijöiden mittaus. Tämän jälkeen kaavio tarkastetaan kriittisesti kohta kohdalta kysymysten »mitä-missä-milloin-kuka-miten-miksi» avulla pyrkien parannusten tekoon menetelmää muuttaen tai muulla tavoin (PUKKILA 1959, Työntutkimuksen peruskurssi 1964). Ellei menetelmämuutoksen edellyttämää uuden työnosan aikaa muutoin saada selville se arvioidaan. Toimintaverkoissa pyritään myös käyttämään eri tehtäville työntutkimuksin tai muilla tavoin selvitettyjä työaikoja. Tosin usein, etenkin PERT-tyyppisissä verkoissa, joudutaan turvautumaan yksinomaan arviointeihin, koska kyseessä on ennen suorittamaton tai harvoin esiintyvä projekti. Toimintaverkkoa voidaan pitää hankkeen ohjelmana, joka menetelmäparannuksen tavoin vastaa kysymyksiin mitä, milloin, missä ja miten tehdään, kuka tekee ja miksi. Lisäksi se voi ilmoittaa, minkä verran tarvitaan resursseja, ja mitkä ovat kustannukset. Toimintaverkkotekniikka sopii kirjoittajan kokemuksen mukaan hyvin jatkoksi työntutkimusten opetukselle ja käyttösovellutuksille.

PERT'in ja CPM:n lisäksi on yleiseen käyttöön suositeltu lukuisia niiden erilaisia versioita, ja tiettävästi monilla laitoksilla tai hallinnollisilla ym. yhteisöillä on omaa käyttöönsä varten PERT- tai CPM-muunnoksia. Entisten organisaatio-, johtamis- ja valvontajärjestelmien muutto esim. kustannustarkkailua varten toimintaverkkopohjalle on kohdannut vastoinkäymisiä monissa yrityksissä, joskin tilanne MODERin ja PHILLIPSin (1968) mukaan on muuttumassa, kun yleiskäyttöisiä tietokoneohjelmia on kehitetty tarkoitusta varten.

Taulukko 1. Hypoteettinen tutkimusprojekti toimintaverkolla esitettynä.

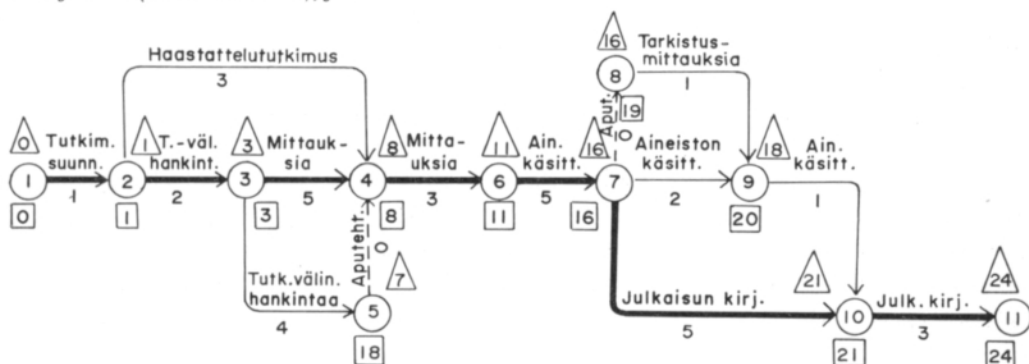
Laskenta:  $EF = ES + t$ ,  $LS = LF - t$ . Kokonaispelivara  $S = LS - ES = LF - EF$ . Vapaa pelivara  $S_F = kokonaispelivaraa omaavan tehtäväketjun viimeisen tehtävän pelivara$ , joka ei viivästyttä sitä seuraavan tehtävän ES-hetkeä.

Table 1. A hypothetical research project presented with a network.

Calculations:  $EF = ES + t$ ,  $LS = LF - t$ . Total slack  $S = LS - ES = LF - EF$ . Free slack  $S_F = the slack of the last activity in a chain of activities which has total slack, and which slack does not delay the ES-event of the succeeding activity$ .

Alku- tapah- tuma i	Loppu- tapah- tuma j	Tehtävän nimi	Kesto- arvio (viikkoa) t	Alkamishetki Aikai- sin ES	Myö- häisin LS	Päättymishetki Aikai- sin EF	Myö- häisin LF	Kokon. pelivara S	Vapaa pelivara $S_F$
1	2	Tutkimussuunnitelma	1	0	0	1	1	0	0
2	3	Tutkimusvälineiden hankintaa	2	1	1	3	3	0	0
3	4	Mittauksia	5	3	3	8	8	0	0
2	4	Haastattelututkimus	3	1	5	4	8	4	4
3	5	Tutkimusvälineiden hankintaa	4	3	4	7	8	1	1
5	4	Aputehtävä	0	7	8	7	8	1	1
4	6	Mittauksia	3	8	8	11	11	0	0
6	7	Aineiston käsittelyä	5	11	11	16	16	0	0
7	9	Aineiston käsittelyä	2	16	18	18	20	2	0
7	8	Aputehtävä	0	16	19	16	19	3	0
8	9	Tarkistusmittauksia	1	16	19	17	20	3	1
8	10	Aineiston käsittelyä	1	18	20	19	21	2	2
7	10	Julkaisun kirjoitusta	5	16	16	21	21	0	0
10	11	Julkaisun kirjoitus loppuun	3	21	21	24	24	0	0

»Tehtävän nimi»- ja »Kestoarvio»-sarakkeiden välissä on täydellisessä taulukossa vielä sarakkeet »Edeltävät tehtävät» ja »Seuraavat tehtävät» tehtävien välittömiä riippuvuussuhteita ilmaisemassa. Niiden perusteella verkko voidaan piirtää. Siis esim. tehtävälle 2—3 ja 2—4 edeltävänä on tehtävä 1—2, ja tehtävälle 4—6 ovat edeltäviä 2—4, 3—4 ja 5—4 (oikeammin 3—5). Tehtävää 6—7 seuraavat 7—10, 7—9 ja 7—8 (oikeammin 8—9), jnc.



Kuva 1. Hypoteettinen tutkimusprojekti toimintaverkolla esitettynä. Tehtävät nuolilla, kestoarvot viikkoina nuolien alla, tapahtumanumerot pyyröissä. Tehtävien aikaisimmat odotetut päättymishetket kolmioissa, myöhäisimmät sallitut päättymishetket neliöissä. Laskenta taulukossa 1.

Fig. 1. A hypothetical research project presented with an activity network. Activities on arrows, duration estimates in weeks below the arrows, event numbers in circles. The earliest expected completion times in triangles, the latest allowable completion times in squares. Calculations in Table 1.

Toimintaverkot sopivat suhteellisen hyvin tietokonekäsitteeseen. Valmiita kirjasto-ohjelmia oli v. 1964 jo noin 60 (MODER ja PHILLIPS 1968), ja lukumäärä lienee nyt (1969) lähes kaksinkertainen. Suomessa on käytettävissä useita kymmeniä ohjelmia, eräät niistä nimenomaan suomalaisen työelämään sovellettuja.

### *CPM-toimintaverkon laatiminen ja käsinlaskenta*

Kun hankkeen päämäärä on selvitetty se jaetaan tehtäviin, joiden keskinäinen suoritusjärjestys tutkitaan. Tehtävä- ja riippuvuusluettelon perusteella verkko voidaan piirtää. CPM-verkoissa käytetään kullekin tehtävälle yhtä kestoajan arviota. Verkon muodostus ja käsilaskenta sekä yleisimmät meillä käyttöön otetut termit lyhenteineen (PERT rakennustoiminnassa 1966, MODER ja PHILLIPS 1968) käynevät parhaiten selville hypoteettisesta tutkimusprojekti-esimerkistä, joka esitetään taulukossa 1 ja sen perusteella piirrettynä nuoli-toimintaverkkona kuvassa 1. Verkossa nuolet kuvaavat tehtäviä. Ne alkavat tehtävän alkutapahtumasta ja päättyvät sen lopputapahtumaan. Tapahtumat kuvataan ympyröillä, joiden sisään tulee tapahtumanumero. Nuolien suunnalla ja pituudella ei yleensä ole merkitystä harvoja aikakaavioon piirrettyjä verkkoja lukuunottamatta. Suunta ilmaisee vain tehtävien keskinäistä riippuvuutta, mutta nuolien yhteyteen voidaan kirjoittaa verkkoa koskevaa informaatiota.

Kuvan mukaan tutkimusvälineiden hankinta ja haastattelututkimus voivat alkaa vasta tutkimussuunnitelman teon jälkeen. Mittauksia voidaan suorittaa sillä aikaa kun loppuja mittausvälineitä hankitaan. Tämän tapahduttua mittaukset suoritetaan loppuun ottaen huomioon haastatteluissa ilmiäyneet seikat. Näin verkko tutkitaan alusta loppuun. Tehtävä 5—4 samoin kuin myöhemmin 7—8 on katkonuolella ilmaistu aputehtävä, joka ei vaadi aikaa eikä resursseja eikä luonnollisesti aiheuta kustannuksiaakaan. Se on yksinomaan suoritusjärjestystä ilmaisemassa, ja estää näissä tapauksissa myös sen, että samalla numero-parilla olisi kaksi eri tehtävää. Ilman aputehtävää olisi 3—4 sekä »mittauksia» että »tutkimusvälineiden hankintaa» eri pituisine kestoineen. Aputehtävä voidaan merkitä myös välille 3—5 ja »tutkimusvälineiden hankinta» nuolelle 5—4. Tulos on sama kummassakin tapauksessa. Kohdassa 7—8—9 aputehtävä on ensin ja varsinainen tehtävä sen jälkeen. Tämä tapa tekee ns. vapaan pelivaran määrityksen yksiselitteisemmäksi (vrt. s. 195).

Tapahtumien numeroinnissa edetään yleensä suurempiin numeroihin päin, mutta väliltä voidaan jättää numeroja varalle mahdollisia verkon lisäyksiä tai muutoksia varten. Samaa numeroa ei saa käyttää kahdelle tai useammalle eri tapahtumalle, vaan kaikilla tulee olla eri numero. Toimintaverkon nuolien suuntaan kuljettaessa ei saa muodostua silmukkaa eli tulla takaisin jo ohitettuun tapahtumaan. Edeltävän tehtävän lopputapahtuma voi olla usean sitä seuraavan tehtävän jakautumistapahtuma, esimerkissä 2, 3 ja 7. Tapahtumat 4, 9 ja 10 ovat taas yhtymistapahtumia, jollaiseen päättyy kaksi tai useampia tehtäviä. Tapahtuma sinänsä on vain hetkellinen ajankohta toiminnan keskittyessä nuolille.

Taulukossa ja kuvassa on esitetty toimintaverkon tapahtumahetkien käsinlaskenta, joka on suhteellisen yksinkertaista muualla paitsi yhtymis- ja jakautumistapahtumien kohdalla (SCHRODER 1963, MODER ja PHILLIPS 1968). Taulukossa esitettyjen lyhenteiden lisäksi käytetään seuraavassa merkintää  $T_E$  tapahtuman aikaisimmalle tapahtumishetkelle ja merkintää  $T_L$  tapahtuman myöhäisimmälle sallitulle tapahtumishetkelle. Alkamistapahtumalle

$T_E$  on = 0, muille verkon alkutapahtumille  $ES = T_E$ , ja siten myös  $EF = T_E + t = ES + t$ . Yhtymistapahtuman  $T_E$  on = suurin ajoista ( $EF_1, EF_2, \dots, EF_n$ ), jos siinä yhtyy n tehtävää, eli siis ko. tapahtumaan päättyvien tehtävien aikaisimmista päättymishetkistä valitaan ajallisesti suurin.  $T_E$  on mielivaltaiselle lopputapahtumalle (j):

$T_E(j) = T_E(i) + t(ij)$ ;  $i =$  tehtävän alkutapahtuma ja  $t(ij) =$  kestoajan arvio;  
ja yhtymistapahtumalle:

$$T_E(j) = \text{Max}_i (T_E(i) + t(ij) \mid i < j).$$

Hankkeen päättymistapahtumalle samoin kuin alkamistapahtumallekin  $T_L$  on =  $T_E$ , eli myöhäisin sallittu ja aikaisin mahdollinen tapahtumishetki ovat samat. Muille verkon lopputapahtumille  $LF = T_L$ , ja siten myös  $LS = T_L - t = LF - t$ . Jakautumistapahtuman  $T_L$  on = pienin ajoista ( $LS_1, LS_2, \dots, LS_n$ ), jos siitä lähtee n tehtävää, eli siis ko. tapahtumasta lähtevien tehtävien myöhäisimmistä sallituista alkamishetkistä valitaan ajallisesti pienin.  $T_L$  on mielivaltaiselle alkutapahtumalle (i):  $T_L(i) = T_L(j) - t(ij)$ , ja jakautumistapahtumalle:

$$T_L(i) = \text{Min}_j (T_L(j) - t(ij) \mid i < j).$$

Näiden sääntöjen mukaan esim.  $T_E(4) = 8$  viikkoa tapahtumien 1—2—3—4 kautta, vaikka tapahtumien 1—2—4 kautta  $T_E(4)$  olisi vain = 4, ja tapahtumien 1—2—3—5—4 kautta = 7 viikkoa projektin alusta. Samoin  $T_L(7) = 16$  viikkoa tapahtumien 11—10—7 kautta, vaikka tapahtumien 11—10—9—7 kautta  $T_L(7)$  olisi = 18 ja tapahtumien 11—10—9—8—7 kautta = 19 viikkoa projektin alusta.

Esimerkin tehtäväketjussa voi eräiden tehtävien suoritus lykkäytyä aikaisimmasta alkamishetkestään ilman, että koko hankkeen vaatima aika, 24 viikkoa, pitenee. Niinpä haastattelututkimuksen suorittamiseen on aikaa 7 viikkoa, mutta vain 3 tarvitaan. Tällainen tehtävän kokonaispelivara voidaan laskea kuten taulukossa:  $S = LS - ES = LF - EF$ , ja myös:  $S = T_L - EF$ , eli tehtävää seuraavan tapahtuman (= päättymishetki) myöhäisimmästä sallitusta tapahtumishetkestä vähennetään ko. tehtävän aikaisin päättymishetki. Kokonaispelivara voidaan merkitä myös:

$$S = T_L(i) - T_E(i) = T_L(j) - T_E(j).$$

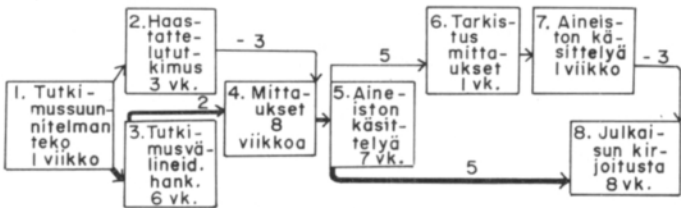
Kuvasta 1 ja taulukosta 1 ilmenee, että yhtymiskohtiin päättyvällä tehtävällä tai tehtäväketjun viimeisellä tehtävällä voi olla vapaata pelivaraa. Se lasketaan kaavasta  $S_F(ij) = T_E(j) - EF(ij)$ ; siis tehtävän aikaisin päättymishetki vähennetään ko. tehtävää seuraavan tapahtuman aikaisimmasta odotetusta tapahtumishetkestä. Tehtävän suoritusta voidaan viivyttää vapaan pelivaran verran ilman, että se vaikuttaa toimintaverkon minkään muun tehtävän aikaisimpaan alkamishetkeen. Vapaa pelivara voi olla korkeintaan kokonaispelivaran suuruinen, koska  $S = T_L - EF$  ja  $S_F = T_E - EF$  ja  $T_L \geq T_E$ . Tehtävällä 8—9 on esimerkissä kolmen viikon kokonaispelivara mutta vain yhden viikon vapaa pelivara, sillä  $T_E(9) = 18$  mutta  $T_L(9) = 20$ . Kokonais- ja vapaan pelivaran erotusta kutsutaan pelivaramarginaaliksi. Koska aputehtävä ei vaadi aikaa, on myös sitä edeltävällä verkon tehtävällä vapaata pelivaraa, vaikka yhtymiskohtaan päättyisikin aputehtävä (esimerkissä tehtävät 3—5 ja 5—4). Piirros- ja laskuteknisesti verkon tehtävä voi tällaisessa tapauksessa olla yhtä hyvin aputehtävän perässä kuten tehtävä 8—9, jolloin se päättyy yhtymiskohtaan ja tulkinta yksinkertaistuu. Toimintaverkoissa harvoin esiintyvillä muilla pelivaroilla (väli- ja riippumaton-) ei ole mainittavaa merkitystä, joten niiden käsittely sivuutetaan.

Hankkeen kriittinen polku kulkee toimintaverkon läpi sitä tehtäväketjua pitkin, jonka

kokonaispelivara on pienin. Esimerkissämme noudatettu CPM-menettely, jossa hankkeen päättymistapahtumalle  $T_L = T_E$ , antaa kokonaispelivaralle arvon  $= 0$ . Näin ollen myös kriittisen polun tehtävien kokonaispelivara on  $= 0$ , joten se kulkee tehtäväketjua 1—2—3—4—6—7—10—11 pitkin. Toimintaverkkoon kriittinen polku merkitään yleensä vahvennetuin nuolin. Jos hankkeelle on asetettu kiinteä päättymishetki (päivämäärä), kokonaispelivara kriittisellä polulla voi olla positiivinen tai negatiivinen. Viimeksimainittu pakottaa etsimään keinoja kriittisten tehtävien nopeuttamiseksi. Suurissa hankkeissa on tavallisesti myös kiinteitä välipäivämääriä, joihin mennessä tiettyjen projektin osien tulee olla valmiina.

Jos esimerkin edellyttämää 24 viikon aikaa pidetään liian pitkänä tutkimusprojektille, kriittisen polun lyhentämismahdollisuudet on selvitettävä objektiivisuudessa pysyen. Jos tehtävää 3—4, »mittauksia», voidaan lyhentää viikolla, tehtävä 3—5, »tutkimusvälineiden hankintaa», tulee myös kriittiselle polulle eli pullonkaulatehtäväksi. Toimintaverkoissa esiintyy kriittisen polun ohella usein tällaisia lähes kriittisiä tehtäväketjuja, joiden pelivarojen käyttöä ja suoritusta on tarkkailtava.

Toimintaverkko voidaan esittää myös lohko- ja verkko-esityksellä. Silloin tehtävät ja niitä koskevat tiedot kirjoitetaan suorakaiteisiin, soikioihin tms. kuvioihin, joita yhdistävät nuolet osoittavat vain tehtävien riippuvuussuhteita. Kuva 2 esittää tutkimusprojektiesimerkin lohko- ja verkko-esityksellä kuvattuna. Kullekin tehtävälle tulee vain yksi tapahtumanumero. Lohko- ja verkko-esityksessä ei käytetä aputehtäviä paitsi mahdollisesti projektin alku- tai lopputapahtumaa esittämään.



Kuva 2. Hypoteettinen tutkimusprojekti lohko-toimintaverkolla esitettynä. Tehtävät ja niiden kestoarviot kuten taulukossa 1 ja piirroksessa 1.

Fig. 2. The hypothetical research project on a network with activities on nodes. The activities and their duration estimates as in Table 1 and Fig. 1.

Samalla aikaa käynnissä olevista tehtävistä, joiden alku- ja/tai lopputapahtumat sattuvat eri hetkille (limittäiset tehtävät), annetaan tiedot ns. viiveillä. Ne ilmoittavat aikaeron tehtävän alkamishetkestä tai loppumishetkestä limittäisen (tai myös seuraavan) tehtävän alkamis- tai loppumishetkeen. Kuvassa 2 viiveiden laskuperustat on ilmaistu nuolien lähtö- ja päättymiskohdilla, mutta numeromerkintöjen käyttö on myös yleistä (PERT rakennustoiminnassa 1966). Viiveet ilmaisevat, että 2 viikkoa tutkimusvälineiden hankinnan alkamisesta mittaukset pääsevät käyntiin, ja haastattelututkimusten on päättyttävä 3 viikkoa ennen mittauksen päättymistä. Tarkistusmittaukset ja julkaisun kirjoitus voivat alkaa, kun aineistoa on käsitelty 5 viikkoa, ja tarkistusmittauksen jälkeinen aineiston loppukäsittely on oltava päätöksessä 3 viikkoa ennen julkaisun kirjoittamisen päättymishetkeä.

Lohko- ja verkko-esityksessä päästään nuoliverkkoon verrattuna vähemmällä tehtävillä ja niiden numerointi on yksinkertaisempaa. Lohko- ja verkko-esityksessä tehtävät voidaan kirjoittaa paperille

sijoitettuihin ruutuihin ja sen jälkeen piirtää riippuvuusnuolet. Nuoliverkossa käsilaskelmien teko on helpompaa ja tehtäväjako on tarkempi. Nuoliverkot ovat toistaiseksi yleisempiä mm. sen vuoksi, että niille on laadittu enemmän tietokoneohjelmia kuin lohko-verkoille. Kirjoittaja on käyttänyt tutkimuksissaan nuoliverkolle kirjoitettua ohjelmaa.

### PERT-toimintaverkot

Kun CPM käyttää kunkin tehtävän kestoajalle vain yhtä aika-arviota kuuluu PERT-verkon tehtävään niitä kolme:

$a$  = optimistinen kestoaja, jossa tehtävä arvioidaan suoritettavan, jos kaikki menee hyvin; siis lyhin mahdollinen kesto.

$b$  = pessimistinen kestoaja, jonka tehtävä voi viedä, jos kaikki menee huonosti; siis pisin arvioitu kesto.

$m$  = todennäköinen kestoaja, jossa tehtävästä normaalioloissa selvitäisiin, tai jonka useimmat asiantuntijat sille määrittäisivät; arviojakautuman maksimiarvo.

PERT-menetelmää käytetään projekteissa, joiden tehtävät ovat yleensä ennen suorittamattomia. Kestoaikoihin vaikuttavat monet satunnaistekijät, esim. sää, konerikot ja epätietoisuus työmenetelmistä. Harvinaisia luonnontapahtumia kuten hirmumyrskyjä ja tulvia ei arvioissa oteta huomioon. Väli ( $a$ ,  $m$ ,  $b$ ) esittää mitan sille epävarmuudelle, joka liittyy tehtävän suorituksen vaatimaan todelliseen aikaan. Kestoarvioiden perusteella voidaan tilastomatematiikkaa käyttäen johtaa todennäköisyysarvot sille, että hanke valmistuu määräaikaan mennessä. Laskutoimituksia perusteinen on selostettu alan kirjallisuudessa (mm. MALCOLM ym. 1959, ARCHIBALD ja VILLORIA 1967, MODER ja PHILLIPS 1968); seuraavassa esitetään lyhyt yhteenveto.

Kestoaja-arvioiden jakautuma pysyy välillä ( $a$ ,  $b$ ), ja sitä pidetään epäsymmetrisenä. PERT-menetelmässä otettiin tehtävien kestoajojen matemaattiseksi malliksi positiivinen eli oikealle vino beta-jakautuma. Lähinnä siihen perustuen ja eräitä oletuksia sekä yksinkertaistuksia tehden kehitettiin tehtävän kestoajakautuman keskiarvon  $t_e$  arvioimiseksi kaava, josta  $t_e$  saadaan arvioiden  $a$ ,  $b$  ja  $m$  painotettuna keskiarvona:

$$t_e = \frac{1}{3} \left[ 2m + \frac{1}{2}(a + b) \right] = \frac{a + 4m + b}{6}.$$

Kestoaja-arviot muodostavat yksihuippuisen jakautuman, joka tosin on hypoteettinen, koska tilastollista näytteenottoa ei voida suorittaa. Yksimoodisessa jakautumassa keskihajonta on noin  $1/6$  jakautuman leveydestä. Aika-arvioista lasketaan keskihajonta ( $\sigma$ ) ja varianssi ( $\sigma^2$ )  $t_e$ :lle seuraavasti:

$$\sigma(t_e) = \sqrt{\frac{b-a}{6}}, \text{ ja } \sigma^2(t_e) = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2.$$

Todennäköisyyslaskennan keskeisen raja-arvolauseen mukaan tehtäväsarjan odotettu kokonaiskesto on tehtävien keskiarvoaikojen summa. Kullekin tehtävälle saatuja  $t_e$ -arvoja käyttäen PERT-verkko piirretään ja lasketaan kuten CPM-verkko. Aika-arvioista lasketut varianssit lasketaan myös yhteen. Kriittisen polun tehtäväketjua pitkin edetessä on kunkin tehtävän alkamistapahtuman  $T_E$  = aikaisemmin polulla olleiden tehtävien

$t_c$ -keskiarvojen summa ja alkamistapahtuman varianssi edeltäneiden varianssien summa. Keskeisen raja-arvolauseen perusteella varianssien summan jakautuma voidaan olettaa normaaliseksi. Hankkeen toteutumistodennäköisyys  $Z$  johonkin määrähetkeen  $T_s$  mennessä hankkeen alusta lukien saadaan seuraavasti:

$$Z = \frac{T_s - T_E}{\sigma};$$

saatua osamäärää verrataan, etumerkki huomioonottaen, normaalijakautuman taulukkoarvoon. Jos  $T_s = T_E$ , todennäköisyys on 0.50.

Kuten edellisestä on todettavissa PERT-menetelmään sisältyy monia olettamuksia ja arvioita. Laskentaperusteita ja -menetelmiä on myös arvosteltu sekä osoitettu eri kohdissa piileviä virhelähteitä ja niiden korjausmahdollisuuksia (SOWELL ja LINK 1967, ARCHIBALD ja VILLORIA 1967, MODER ja PHILLIPS 1968). Puutteistaan huolimatta PERT-menetelmää on pidettävä suurena edistysaskeleena operaatiotutkimuksissa samoin kuin uusien hankkeiden suunnittelussa ja toteutuksen valvonnassa. Vuosien mittaan sitä on kehitetty. Eräisiin PERT-ohjelmiin on yhdistetty CPM:n kustannus- ja resurssilaskentaa. Toisaalta on CPM-ohjelmia laajennettu projektien aikavalvontaan ja uudelleenlaskentaan sopiviksi, mitkä ovat PERT:ille luonteenomaisia. Menetelmät ovat vähitellen sulautumassa yhteen ja erot ovat hävinneet siinä määrin, että usein puhutaan vain CPM/PERT-verkoista. Tätä vielä lyhennettäessä jää CPM pois. Meillä Valtion Tietokonekeskus on jo muutaman vuoden ajan käyttänyt nimitystä »PERT» kaikille toimintaverkoille, ja samoin tekevät Yhdysvaltain hallinnolliset virastot (MODER ja PHILLIPS 1968).

Alle 100 tehtävän toimintaverkot, jos kyseessä on CPM-tyyppinen pelkkä aikaverkko, lasketaan yleensä käsin. Jos verkko on PERT-tyyppiä kolmine aika-arvioineen ja varianssien laskemiseen, tai verkkoon kuuluu kustannus- tai resurssilaskenta tai molemmat, jo 20—30 tehtävän verkko kannattaa lasketta tietokoneella, jos sellainen on sopivasti käytettävissä. Nykyiset ohjelmat ovat monipuolisia käytöltään ja tulostukseltaan. Ne ovat myös tarkkoja ja ilmaisevat verkossa olevat silmukat ja muut virheellisyydet, jotka käsinlaskennassa voivat jäädä huomaamatta tai aiheuttavat paljon lisätyötä. Verkon korjaaminen tai muuttaminen muuttuneiden olosuhteiden mukaiseksi tai yleensä uusinta-ajo on tietokoneella suhteellisen helppoa. Monimutkaisten verkkojen lähtötietolomakkeiden täyttö vaatii luonnollisesti oman työnsä, mutta on sittenkin vähäinen käsinlaskentaan verrattuna.

#### *Toimintaverkkojen käyttö maataloudellisissa tutkimuksissa*

**Yleistä.** Operaatiotutkimusten ja myös toimintaverkkojen pääasiallisina käyttäjinä maatalouden piirissä ovat olleet ekonomistit ja insinöörit. Suomessa ei tietävästi ole esitetty maataloudellisia toimintaverkkotutkimuksia. USA:ssa ekonomistit MORRIS ja NYGAARD (1962) käyttivät PERT-verkkoa vertaillen sikalan lannanpoistomenetelmiä. Tämän jälkeen he löysivät kustannuksiltaan edullisimman polun lineaarisen ohjelmoinnin (matriisi-)laskennalla. SCHRODER (1963) käytti PERT-menetelmää maaseudun kehitys-ohjelman hypoteettiseen esimerkkiin. SNYDER ja SWACKHAMER (1966) käsitelivät sen monipuolista käyttöä maataloustuotteiden jalostustoiminnassa, etenkin projektin johdon apuvälineenä. HEILAND ym. (1966) tutkivat navettatöitä ja 40 peltohehtaarin tilan



töiden järjestelyä CPM-lohkoverkolla. Viimeksimainitussa sään vaikutus sekä pyhä- ja juhlapäivät otettiin huomioon käyttämällä korjauskerrointa kestoaja-arvioille. Työvoima- ja konerajoituksia oli myös. AGRAWAL (1967) sovelsi CPM-verkkoa intialaisen viljelijän syystöiden suorittamiseen. CAMM (1966) totesi toimintaverkkojen sopivan monia maatalouden probleemoita tutkittaessa, mm. ryhmä- ja yhteistyötä, rakennustyötä, tuotannon laajennusohjelmaa ja peltoviljelyitä.

Insinöörien tutkimuksista mainittakoon LINKIN (1962) kehittämä jonoteoriaa ja PERT-verkkoa käyttävä matemaattinen malli maissinviljelyssä tarvittavista koneyhdistelmistä ja töiden suorittamistodennäköisyyksistä tutkituissa sää- ym. olosuhteissa. LINK (1967) on myös esittänyt ehdollisen tapahtuman (conditional node) käyttöä tapauksissa, jolloin tehtävän suoritus on pakko lopettaa ennen sen valmistumista, esim. maissin haraus kasvien tullessa niin pitkiksi, että harausta ei voida enää jatkaa. SOWELL ja LINK (1967) ovat käyttäneet CPM- ja PERT-verkkoja talonrakennusprojektissa vertaillen verkkojen yhtäläisyyksiä ja eroavuuksia. PERT'in mukaan laskien talon valmistusaika piteni n. 5 prosentilla. PEART (1967) on esittänyt puutarhatuotteiden kuljetusmahdollisuuksia pellolta tehtaaseen käyttäen vertailevia toimintaverkkoja, joiden kustannusminimin löytämiseksi kirjoitettiin tietokoneohjelma. WOLF (1968) on käsitellyt toimintaverkon käyttöä maataloudellisen tuotanto-osuuskunnan töiden suunnittelussa ja BÖLKE (1968) lannoitus- ja kalkitusbrigaadin toiminnan järjestelyssä. Viimeksimainittuun on liitetty resurssilaskenta.

Vaikka toimintaverkkoja on käytetty maataloudessa tutkimus- ja suunnitteluvälineenä, käytännön viljelijät eivät sitä ole ehtineet vielä omaksua. PEART ym. (1968) tosin mainitsevat erään amerikkalaisen lannoitetehtaan valmistaneen CPM-ohjelman viljelijöiden käytettäväksi. Ohjelma auttaa viljelijää uusien lannoitteiden ja tuotantotekniikojen hyväksikäytössä. Näin voidaan tilan taloudellista tulosta parantaa. Useimmissa mainituista tutkimuksista toimintaverkko on ratkaistu käsilaskennalla. Varsinaisten PERT- tai CPM-tietokoneohjelmien käyttöä, joko valmiiden tai tutkimusta varten kirjoitettujen, kirjoittaja ei ole tavannut maataloudellisissa toimintaverkkotutkimuksissa.

Kirjoittaja on käyttänyt toimintaverkkoa seuraavassa selostettavissa tutkimuksissa, joista kaksi on koskenut rakennusprojekteja (kuivuri ja tilan päärakennus), yksi sala- ojitushanketta ja yksi kevätyömenetelmien vertailua. Kaikkiin on kuulunut aika- ja kustannuslaskenta sekä resurssilaskenta muihin paitsi kevätyömenetelmien vertailuun. Tutkimusaineistojen tietokonekäsitely on suoritettu Valtion Tietokonekeskuksessa Elliot 503-koneella VTKK:n PERT C-kirjasto-ohjelmaa käyttäen. Se on yhtä kestoaja-arviota tehtävää kohden käyttävä nuoliverkko-ohjelma, siis CPM-tyyppinen. Kustannusten optimointia ohjelma ei sisällä. Aikayksikkönä on yksi päivä, joka oli sovelias muissa projekteissa paitsi kevätyömenetelmien vertailussa. Siinä esiintyi puolen päivän tehtäviä. Kun kestoajan arviot kerrottiin kahdella ja tulostukseen tehtiin uusi kalenteri (kuva 3), PERT C-ohjelmaa voitiin käyttää sellaisenaan. Koska tehtäviä eri projektien verkoissa oli suhteellisen vähän, alkutietolomakkeiden eräissä kohdissa käytettiin tulostuksen tiivistämiseksi normaalista poikkeavaa merkintätapaa.

Toimintaverkko työmenetelmävertailussa. Kevätyömenetelmien vertailututkimus tehtiin helmi-maaliskuussa 1969 Helsingin Yliopiston Viikin opetus- ja koetilan peltotöitä koskevaksi samana keväänä. Tässä 83.4 ha kylvöalan käsittävässä hankkeessa vertailtiin ajankäytön, töiden joutumisen ja kustannusten suhteen kol-

mea eri työketjuja: 1) esimuokkaus—pintaanlannoitus—kylvömuokkaus—kylvö erillisin työkonein, 2) esimuokkaus—rivilannoitus—kylvö, jossa rivilannoitin muokkaa maata ja sijoittaa lannoitteen n. 8 cm syvyyteen, sekä 3) esimuokkaus—yhdistelmäkonella ajo. Viimeksimainittu muokkaa maata, sijoittaa lannoitteen ja kylvää siemenet. Peltojen jyräys otettiin kaikissa työketjuissa mukaan eri tehtävänä suoritettavaksi. Sokerijuurikkaan kevättyöt, jotka sattuvat viljankylvöjen kanssa samaan aikaan, otettiin kaikkiin tehtäväketjuihin samanlaisina, joskin ne ajoittuivat hieman eri päiville. Sen sijaan perunan kevättyöt kiirekauden ulkopuolelle sattuvina jätettiin pois. Koetoimintaan kuuluvien lohkojen kevättyöt jätettiin myös pois, mutta niitä varten varattiin koko kevätajaksi yksi traktori äkeineen, kuten tarvekin on. Ennen muokkaukautta suoritettava laiturien ja heinänurmien lannoitus ei kuulunut tehtäväketjuihin. Koska käytetystä työketjusta riippumatta siemenet ja lannoitteet tuotaisiin pellolle tilan kuorma-autolla, kuljetustöitä ei tarvinnut ottaa huomioon. Työmenetelmällä ei katsottu olevan vaikutusta käytettävään siemen- tai lannoitemäärään.

Peltolohkojen muokkausjärjestys ja -tarve otettiin huomioon Viikin tilanhoitajan ilmoituksen mukaisena, samoin työryhmät eri koneilla, pyhä- ja ylitöiden teettäminen, työmiesten palkat ja traktorityön tuntikustannus. Muiden koneiden tuntikustannus otettiin kirjoittajan laskelmista. Tehtävien kestoajan arviot määritettiin Työetohuseuran (UOTILA 1968) ja PEHKÖSEN (1968) tutkimusten sekä maatalousharjoittelijain työsaavutushavaintojen perusteella. Hankkeen alkutapahtuman ajankohdaksi otettiin 2. 5., joka tilanhoitajan päiväkirjan mukaan on tämän vuosikymmenen keskimääräinen muokkaukaiden alkamispäivä Viikissä. Yliopiston kasvibiologian ja -patologian laitoksen Viikissä tekemien säähavaintojen perusteella vuosilta 1954—68 laadittiin keskimääräiskalenteri sateiden ja kylmän sään aiheuttamista peltotöiden keskeytyksistä: niiden lukumäärä, pituus ja ajoittuminen toukokuussa. Koneiden tai -rikköjen arvioitiin aiheuttavan yhden päivän viivytyksen töissä. Tämä samoin kuin sääkeskeytykset otettiin tietokoneohjelmaan lomapäivinä, koska niinä ei tapahtuisi peltotöiden suhteen mitään.

Kuva 3a esittää yhden sivun tietokonetulostuksesta (tosin selvyuden vuoksi uudelleen ladottuna). Kuva koskee peltotöiden suoritusta yhdistelmäkonetta käyttäen. Tulostuksen tehtävät on jälkeinpäin numeroitu ja yläpuolella olevalle aika-akselille tehty aikaisemmin mainittu uusi kalenteri ja alapuolelle merkitty sadekeskeytykset, sunnuntait ja konerikko. Tulostuksen diagrammaesityksessä tehtävien aikaisimmat mahdolliset suorituspäivät on merkitty E-kirjaimella. Kriittisen polun tehtävät on merkitty kirjaimella Ø. Tehtävien kokonaispelivara on merkitty tähdellä sekä kokonais- ja samalla vapaa pelivara &-merkillä.

Kuvassa 3b on toimintaverkkopiirros kevättöiden suorituksesta yhdistelmäkonetta käyttäen. Nuolien yläpuolelle on kirjoitettu tehtävät ja alapuolelle merkitty niiden arvioidut kestoajat. Kriittisen polun tehtävät on merkitty vahvennetuin nuolin. Kuten huomataan, aputehtäväkin voi olla kriittisellä polulla. Tietokonetulostuksessa aikaa, resursseja ja kustannuksia vaatimattomat aputehtävät eivät tule esille, mutta kone ottaa ne huomioon laskutoimituksissaan.

Kuvan 3a esittämässä tulostuksessa tehtävät on lajiteltu »alkaa viimeistään» eli LS-päivämäärien mukaan. Tällöin samana päivänä alkavista kirjoitetaan ensin se, jonka myöhäisin sallittu alkamishetki ( $T_L$ ) on aikaisin, jotta tehtävä tulee ajallaan suoritettua. Esimerkiksi tehtävä 1—2 eli esimuokkaus on ensin, koska tehtävän 1—3 eli rivilannoitus-

kylvön  $T_L$  voisi siirtyä puoli päivää myöhäisemmäksi. Samoin tehtävä 11—16 eli jyräys on kirjoitettu ennen tehtävää 14—15 eli rivilannoitus-kylvön loppuosaa, vaikka käytännössä jyräys voi tietenkin päättyä vasta kylvön päätyttyä. Muita tietokonetulostusten lajitteluja olivat ES-, EF- ja LF päivämäärien sekä kokonaispelivarojen mukaiset. Näiden diagrammaesitysten lisäksi valittiin tulostukseen eräitä sen mahdollisista taulukkoesityksistä. Ohjelmasta saadaan tarvittaessa 39 eri tulostusta verkkoa kohden (Valtion Tietokonekeskuksen. . 1965).

Kuvan 3 mukaan sokerijuurikkaan kevättyöt muodostuvat tehtävistä 2—7, 2—8, 8—9, 6—10 ja 10—11. Kylvömuokatuksi alaksi on tullut 10 ha, sillä 5 ha:n lohko muokataan kahteen kertaan. Myös viljoilla muokkausala on suurempi kuin lannoitus- tai kylvöala, koska eräät lohkot vaativat tilanhoitajan ilmoituksen mukaan muokkauksen kahteen kertaan. Verkon tehtävä 9—13 koskee epäsäännöllisen muotoista ja muutenkin hankalaa lohkoa, jolle ei kannata mennä yhdistelmäkoneen kanssa.

Tulostuskuvasta on todettavissa, että pelloilla olisi samanaikaisesti työssä kahdesta neljään traktoria. Käytettävissä on enintään 5, joten reservitraktoria voidaan käyttää aluksi apuna esimuokkauksessa, joka ei sen jälkeen ole kriittisellä polulla. Jos pellot ovat valmiina muokattaviksi, tämä toimenpide nopeuttaa kevättöitä päivällä. Sen jälkeen kriittinen polku käy yhdistelmäkoneella suoritettavan rivilannoituskylvön ja lopuksi jyräyksen kautta. Jyräys on traktori- ja miesresurssien puiteissa mahdollista aloittaa kuvassa esitettyä aiemmin ja myös suorittaa sellaisessa lohkojärjestyksessä, että loput heinänsiemenet kylvetään samanaikaisesti viimeisten lohkojen jyräyksen kanssa. Tehtäväketjun kestoa voidaan siis lyhentää kahdella päivällä lisäämällä kriittisen polun tehtävien resursseja ja muuttamalla työjärjitystä. Tällöin esitetyt kevättyöt saataisiin päätökseen 18. 5., kun ne kuvan 3 mukaisessa tiivistämättömässä verkossa sateen takia päättyisivät vasta 23. 5.

Toisia työketjuja koskevista tulostuksista voitiin todeta, että erilliskoneita käyttäen työt saataisiin päätökseen 23. 5. ja rivilannoitinta käyttäen 24. 5. Kriittisten ja lähes kriittisten polkujen tehtäville resursseja lisäten sekä tehtävien sisäistä suoritusjärjitystä muuttaen verkkoja voitiin tiivistää niin paljon, että laskelmissa päästiin samaan päivämäärään kuin yhdistelmäkoneetta käyttävässä työmenetelmässä. Erilliskone-työketjuissa käytettäisiin silloin lähes koko ajan kaikki traktori- ja miesresurssit. Diagrammoista näkee esilläolevissa tapauksissa verkoissa kulloinkin tarvittavat resurssit, joten erillistä resurssitulostusta ei katsottu tarpeelliseksi. Edelläesitetyn perusteella voitiin vertailtavia työmenetelmiä pitää töiden joutumisen kannalta samanarvoisina.

Toimintaverkoilla käsiteltyjen töiden kustannustulostuksista voitiin tehdä seuraava yhteenveto suhdelukuineen:

	Miesten palkat mk	Konekustan- nukset mk	Yht. mk	Suhdeluku
Rivilannoittimella	1 293	2 303	3 596	100
Erilliskoneilla	1 654	2 232	3 886	108
Yhdistelmäkoneella	1 294	2 862	4 156	116

## AIKALASKELMA I

## T U O K O K U U 1969

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Tehtävän nimi	..	oo	..	..	..	..	oo	oo	..	o	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1—2 Esimuokaus 47,5 ha	..	EE	..	..	..	..	EE*	EE	..	E&	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1—3 Rivilann.-kylvöä	..	..	..	..	..	..	EE	EE	..	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3—4 Rivil.-kylvö lopp. 31 ha	..	..	..	..	..	..	EE	EE	..	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3—5 Jyräys, 31 ha	..	..	..	..	..	..	..	EE	..	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2—7 Esimuokaus 5 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	o	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5—6 Heinäsiem. kylvö, 13,7 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E	E	EE	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2—8 Lannoitus 5 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E	E	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4—14 Rivilann.-kylvöä	..	..	..	..	..	..	..	..	..	o	oo	oo	..	oo	oo	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8—9 Kylvömuokaus 10 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	EE	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6—10 Jyräys 5 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10—11 Sokerijuurikkaan kylvö 5 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E	E	E&	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7—12 Esimuokaus 55 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E	EE	..	..	EE	EE	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9—13 Esimuokk.—kylvö 0,4 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	E*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11—16 Jyräys 52,4 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
14—15 Rivil.kylvö lopp. 52 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	oo	o	..	..	..
16—17 Heinäsiem. kylvö 3,4 ha	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	EE	E*	..	..	..

Sade  
Pyhä  
rikko  
Kone

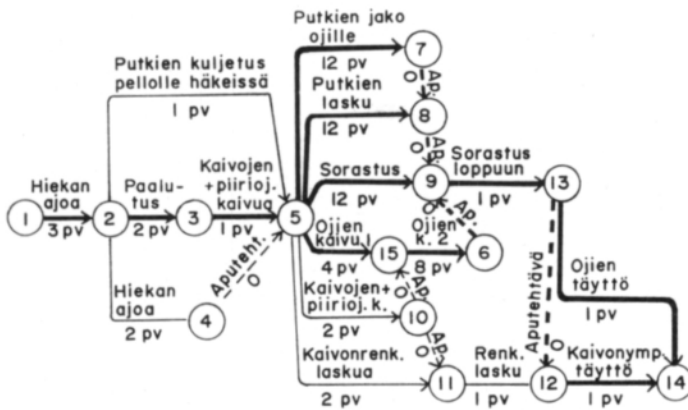
Kuva 3 a. Tietokoneen (uudelleen ladottu) tulostusdiagramma Viikin tilan kevättöistä yhdistelmäkonetta käyttäen.  
Fig. 3 a. A computer output (reset) of the spring field work on Viik farm when using a combined fertilizer drill.



Taulukko 2. Salaojitusprojektin tehtäväluettelo (aputehtäviä lukuunottamatta, joita tulostuksessa ei mainita, mutta jotka ovat esillä kuvassa 4), tehtävien alku- ja loppupahatumanumerot, kestoarvot, jako osastoihin sekä alkamis-, loppumis- ja pelivaralaskenta.

Table 2. List of activities in the drainage project (despite of dummies which are not mentioned in the computer output but which appear in Fig. 4), the numbers of the start and completion events, duration estimates, division into departments, and the calculations of start, completion, and stacks.

Aikalaskelma 1		Salaojitus										Sivu 1 Lajittelu 1	
Osathtävän nimi	AT-num.	LT-num.	Kesto	Osasto	Alkaa aikaisintaan	Loppuu aikaisintaan	Alkaa viimeistään	Loppuu viimeistään	Pelivarat vap.	kok.			
Hiekkanajo pelloille	1	2	3	22	TI 27. 5. 69	TO 29. 5. 69	TI 27. 5. 69	TO 29. 5. 69	+0	+0			
Putkien kulj.pelloille	2	5	1	22	PE 30. 5. 69	PE 30. 5. 69	MA 2. 6. 69	MA 2. 6. 69	+2	+2			
Ojien paalutus	2	3	2	24	PE 30. 5. 69	LA 31. 5. 69	PE 30. 5. 69	LA 31. 5. 69	+0	+0			
Hiekkanajoa pelloille	2	4	2	22	PE 30. 5. 69	LA 31. 5. 69	LA 31. 5. 69	MA 2. 6. 69	+0	+1			
Kaivojen + püirioj. kaivu	3	5	1	23	MA 2. 6. 69	MA 2. 6. 69	MA 2. 6. 69	MA 2. 6. 69	+0	+0			
Ojien kaivu 1	5	15	4	21	TI 3. 6. 69	PE 6. 6. 69	TI 3. 6. 69	PE 6. 6. 69	+0	+0			
Putkien jako ojille	5	7	12	22	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	+0	+0			
Putkien lasku	5	8	12	21	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	+0	+0			
Sorastus	5	9	12	22	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	TI 3. 6. 69	KE 18. 6. 69	+0	+0			
Kaivojen + püirioj. kaivu	5	10	2	23	TI 3. 6. 69	KE 4. 6. 69	TO 5. 6. 69	PE 6. 6. 69	+0	+2			
Renkaiden lasku	5	11	2	24	TI 3. 6. 69	KE 4. 6. 69	TI 17. 6. 69	KE 18. 6. 69	+0	+10			
Renkaiden lasku	11	12	1	24	TO 5. 6. 69	TO 5. 6. 69	TO 19. 6. 69	TO 19. 6. 69	+10	+10			
Ojien kaivu 2	15	6	8	21	TI 10. 6. 69	KE 18. 6. 69	TI 10. 6. 69	KE 18. 6. 69	+0	+0			
Sorastus	9	13	1	22	TO 19. 6. 69	TO 19. 6. 69	TO 19. 6. 69	TO 19. 6. 69	+0	+0			
Kaivonypärysten täyttö	12	14	1	24	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	+0	+0			
Ojien täyttö	13	14	1	24	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	MA 23. 6. 69	+0	+0			



Kuva 4. Salaojitusprojektin toimintaverkko taulukon 2 perusteella.

Fig. 4. Network of the drainage project according to Table 2.

kaivu, kuljetukset, kaivot + piiriojat ja esi- + aputyöt. Rajoituksia asetettiin koneiden ja miesten käytettävissäolon suhteen. Työviikko oli 6-päiväinen; arkipäivien työaika 9 ja lauantain 6 tuntia. Työt laskettiin päästävän alkamaan kevätkylvöjen päätyttyä 27. 5. 1969 ja ne oli määrä saada päätökseen ainakin kaivutöiden osalta ennen juhannusaattoja (viimeistään 19. 6.). Toimintaverkon mukaan tämä on mahdollista, vaikka työ keskeytyisi kahdeksi tai kolmeksi päiväksi sateen tai konerikon takia.

Taulukon mukainen töiden suoritus »alkaa aikaisintaan»-päivinä ylittäisi resurssit 30. 5., jolloin tilan neljästä työmiehestä kolme on kiinni hiekan ajossa pellolle ja neljän oijen paalutuksessa. Putkien kuljetus pellolle vaatisi samanaikaisesti vielä yhden miehen, mutta tämän tehtävän voi pelivaransa puitteissa siirtää tapahtuvaksi rinnan kaivojen ja piiriojien kaivun kanssa 2. 6. Näin tapahtui resurssien sovittamistulostuksessa. Tämä muutos ei vaikuttanut lauantapäivän (31. 5.) töihin, joiden muuttuessa kustannustulostus ennen resurssien sovittamista ja sen jälkeen olisi erilainen (arkipäivä 9-tuntinen, lauantai 6-tuntinen).

Pelkän aikalaskennan takia tätä pientä hanketta ei olisi kannattanut laskea tietokoneella, vaikka siten saatiinkin mm. mielenkiintoiset pelivaratiedot. Hankkeen resurssi- ja kustannuslaskenta olisi kuitenkin ollut aikaavieppää käsilaskennalla. Seuraavassa esitetään tilien yhteenveto hankkeen kustannuksista ohjelmaan annettujen palkka-, materiaali- ym. tietojen perusteella.

Tilan työmiesten palkat	1 896,—
Kaivuryhmän työmiesten palkat	1 188,—
Putket + kaivonrenkaat	8 400,—
Traktori- ja niiden työkonekustannus	3 959,70
Ojien kaivutyö (urakkana)	5 760,—
Kaivojen ja piiriojien kaivu	378,—
Ojasora, oijen paalutus, oijen ja kaivojen täyttö yms.	945,—

Yht. mk 22 526,70

Hehtaaria kohden kustannukset ovat 1 877 mk. Kustannustulostuksessa esitetään myös niiden päivittäinen kertymä, joka auttaa tarkan rahoitussuunnitelman teossa. Verkko puolestaan auttaa materiaalin, erikoismiesten, koneiden jne. varaamisessa niiksi päiviksi, jolloin niitä tarvitaan.

Taulukko 3. Viijan kuivurin rakennushankkeen kustannusjako taulukko (tulostuksen mukaan uudelleen ladottuna) osastoittain ja tileittäin verkon resurssien sovituksen jälkeen.

Table 3. The costs division table of the building project of a grain drying plant by departments and accounts after the adjustment of resources.

Sivu 31

Kuivurin rakentaminen  
Kustannusjako taulukko aikakausella 3:n mukaan

Tilin nimi	No	Käivutyöt		Rakennustyöt		Koneiston laito		Kustannukset/tili		yhteensä
		kiint. kust.	muut. kust.	kiint. kust.	muut. kust.	kiint. kust.	muut. kust.	kiint. kust.	muut. kust.	
Kirves- ja työmiesten pal.	111	0,00	128,00	0,00	7584,00	0,00	2848,00	0,00	10560,00	10560,00
Firman miehet	114	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2080,00	0,00	2080,00	2080,00
Sähkömiehet	115	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	768,00	0,00	768,00	768,00
Välisumma	11*	0,00	128,00	0,00	7584,00	0,00	5696,00	0,00	13408,00	13408,00
Traktorikaivuri	121	0,00	360,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	360,00	360,00
Traktori ja etukuorm.	122	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	320,00	0,00	320,00	320,00
Välisumma	12*	0,00	360,00	0,00	0,00	0,00	320,00	0,00	680,00	680,00
Välisumma	1**	0,00	488,00	0,00	7584,00	0,00	6016,00	0,00	14088,00	14088,00
Perustojen materiaalikust.	201	0,00	0,00	1750,00	0,00	0,00	0,00	1750,00	0,00	1750,00
Kuivurin puutavara	202	0,00	0,00	1900,00	0,00	1000,00	0,00	2900,00	0,00	2900,00
Kattotarvikkeet ja maalit	203	0,00	0,00	1000,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	1000,00
Välisumma	20*	0,00	0,00	4650,00	0,00	1000,00	0,00	5650,00	0,00	5650,00
Kuivuri, pannu, kulj., siilot	211	0,00	0,00	0,00	0,00	9500,00	0,00	9500,00	0,00	9500,00
Sähkötarvikkeet	212	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	0,00	2000,00	0,00	2000,00
Välisumma	21*	0,00	0,00	0,00	0,00	11500,00	0,00	11500,00	0,00	11500,00
Välisumma	2**	0,00	488,00	4650,00	7584,00	12500,00	6016,00	17150,00	14088,00	17150,00
Kokonaissummat		0,00	488,00	4650,00	7584,00	12500,00	6016,00	17150,00	14088,00	31238,00



Taulukko 4. Resurssiensovitus osassa maatalan päärakennuksen rakentamista koskevaa projektia. Yläosassa resurssitilannetta ennen sovituksia, alaosassa sovituksen jälkeen.

Table 4. Adjustment of resources in part of the project for the building of a farm house. In upper part the resource loading before the adjustment, in lower part after the adjustment.

Päivämäärä	Carpenters			Plumbers			Electricians			Heat-vent. work.		
	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%
PE 1. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
MA 4. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
TI 5. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
KE 6. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
TO 7. 8. 69	4	2	50	0	0	—	0	0	—	0	0	—
PE 8. 8. 69	4	2	50	0	0	—	0	0	—	0	0	—
MA 11. 8. 69	4	4	100	* 2	3	150	0	0	—	0	0	—
TI 12. 8. 69	* 4	6	150	2	2	100	0	0	—	0	0	—
KE 13. 8. 69	* 4	6	150	2	2	100	0	0	—	0	0	—
TO 14. 8. 69	4	4	100	2	2	100	0	0	—	* 0	2	—
PE 15. 8. 69	4	0	0	2	0	0	* 0	3	—	* 0	2	—
MA 18. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	3	100	* 0	2	—
TI 19. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	0	0	* 0	2	—
KE 20. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	0	0	0	0	—
TO 21. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	0	0	0	0	—
PE. 22. 8. 69	4	0	0	0	0	—	0	0	—	0	0	—

Päivämäärä	Carpenters			Plumbers			Electricians			Heat-vent. work.		
	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%	saat.	käyt.	%
PE 1. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
MA 4. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
TI 5. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
KE 6. 8. 69	4	1	25	0	0	—	0	0	—	0	0	—
TO 7. 8. 69	4	2	50	0	0	—	0	0	—	0	0	—
PE 8. 8. 69	4	2	50	0	0	—	0	0	—	0	0	—
MA 11. 8. 69	4	4	100	* 2	3	150	0	0	—	0	0	—
TI 12. 8. 69	4	4	100	2	2	100	0	0	—	0	0	—
KE 13. 8. 69	4	4	100	2	2	100	0	0	—	0	0	—
TO 14. 8. 69	4	4	100	2	2	100	0	0	—	0	0	—
PE 15. 8. 69	4	2	50	2	0	0	0	0	—	0	0	—
MA 18. 8. 69	4	2	50	0	0	—	3	3	100	0	0	—
TI 19. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	3	100	* 0	2	—
KE 20. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	0	0	* 0	2	—
TO 21. 8. 69	4	0	0	0	0	—	3	0	0	* 0	2	—
PE 22. 8. 69	4	0	0	0	0	—	0	0	—	* 0	2	—

Taulukko 3 on tulostussivu viljankuivurin rakennushankkeen kustannusjakotaulukosta osastoittain ja tileittäin verkon resurssiensovituksen jälkeen. Sovitus ei aiheuttanut kustannusten muuttumista eikä pidentänyt projektin kestoakaan. Taulukon sarakkeessa »kustannukset/tili» 11\* ilmoittaa työpalkkojen yhteisumman, 12\* rakennustyössä käytettyjen koneiden kustannuksen ja 1\*\* näiden kahden yhteisumman. 20\* ilmoittaa kuivurirakennuksen materiaalikustannuksen, 21\* itse kuivurin hinnan sähkötarvikkeineen ja 2\*\* materiaalin yhteiskustannuksen. Tällä periaatteella toimien eräät tietokoneohjelmat voivat esittää myös itse toimintaverkon tiivistetyssä muodossa projektin ylintä johtoa varten. Toimeenpaneville alemmille elimille ohjelma voi antaa yksityiskohtaisen verkon kutakin osastoa tai yksikköä varten. — Kuivuriprojektin toimintaverkon laadintaa laskentoiheen ei tarkemmin esitetä, koska se seurasi tavanomaista menettelyä.

Maatilan päärakennuksen toimintaverkko on myös normaali. Se pohjautuu SOWELLIN ja LINKIN (1967) esittämään aineistoon, jota kirjoittaja North Carolina State Universityssä toukokuussa 1969 ollessaan laajensi resurssi- ja kustannuslaskentaa varten tarvittavilla tiedoilla. Taulukon 4 yläosa esittää osan hankkeen resurssitilanelaskelmasta ennen resurssien sovitusta ja taulukon 4 alaosa sovituksen jälkeen. Tähti resurssiryhmän edessä on varoitusmerkki resurssien ylityksestä sinä päivänä. Esimerkiksi tiistaina ja keskiviikkona, 12. ja 13. 8. 1969 kirvesmiehiä on taulukon yläosan mukaan saatavilla vain 4, mutta verkon tehtävissä käytetään 6 eli käyttöprosentti on 150. Taulukon alaosassa todetaan tilanteen korjautuneen tältä osin, mutta yhdestä putkimiehestä on jatkuvasti puute yhtenä sekä lämmitys- ja ilmastointilaitteiden asentajista neljänä päivänä. Näitä resurseja ei hankkeen alkutietojen mukaan ollut saatavilla sallittujen kolmen lykkäyspäivän puitteissa. Verkon perusteella resurssivaraukset voi ajoittaa paremmin ja muutetuin alkutiedoin ajaa sen uudelleen tietokoneessa. Edelläolevassa hankkeessa resurssien sovitusta pidensi sen valmistumista kahdella päivällä. Uudelleenajoa varten tehtäviä voi järjestellä siten, että jatkuvasti käytettävissä olevien resurssien (esim. kirvesmiehet) kuormitus tasoittuu.

Edellä on käsitelty toimintaverkkojen VTKK:n PERT C-ohjelmalla saatuja tietokonetulostuksia ja niiden tulkintaa. Tähän ohjelmaan jouduttiin turvautumaan siksi, ettei VTKK:lla ollut muita toimintaverkko-ohjelmia, jotka ottaisivat huomioon ajan lisäksi resurssit ja kustannukset. Yliopiston laskentakeskuksella ei ole toimintaverkko-ohjelmia lainkaan, vaan sellaisia vaativat työt ohjataan tehdyn sopimuksen mukaan VTKK:een; ainoastaan alkutietojen lävistys suoritetaan laskentakeskuksessa. Muut meillä käytetyt tietokoneohjelmat tuskin olisivat antaneet mainittavaa lisää projektien työtekniisiin aspekteihin. PERT C-ohjelma on esilläoleviin tapauksiin sopinut hyvin mm. monipuolisen tulostuksen ansiosta. Tietokoneaikaa projektia kohden (tulostus neljänä kopiona) käytettiin 0.08 . . . 0.15 tuntia. Mahdollisissa myöhemmissä tutkimuksissa voitaneen käyttää esim. Projekt Management System/360 (PMS/360)-ohjelmia, joita kesällä 1969 on alettu käyttää VTKK:ssa. Ne ovat monipuolisia sekä käytöltään että tulostuksiltaan; mm. aikayksikkö voi tulla tunnista neljännesvuoteen, ja tehtävämäärä voi olla kymmeniä tuhansia, jos tietokoneella on suuri muisti tai tukimuisti (LIPPONEN 1969).

#### *Tulosten tarkastelua*

Edellä on käsitelty toimintaverkkotekniikkaa työvoiman, koneiden ja laitteiden rationaalisessa käytössä maatilataloudessa. Esimerkeistä on käynyt selville, että tämä tek-

niikka vaatii tarkan ja yksityiskohtaisen tehtäväluettelon hankkeesta ja tehtävien riippuvuuksien sekä niiden vaatimien resurssien ja aiheuttamien kustannusten selvittämisen. Tästä johtuen etukäteissuunnittelu lisääntyy ja suunnittelukustannukset samoin. Tämä on kuitenkin täysin oikeutettua, koska siten saadaan mahdollisimman selvä käsitys hankkeesta sen edelleensuunnittelua ja/tai toteuttamista ja johtamista varten. Verkko on projektin yksityiskohtainen kuva, joka muodostaa täsmällisen yhteysvälineen kaikille hankkeen kanssa tekemisiin joutuville; viljelijän lisäksi heitä olivat esimerkeissä tilan ulkopuolisten koneiden, laitteiden ja tarvikkeiden toimittajat, erikoistyöryhmät, jopa lainanantajana toimiva rahalaitoskin.

Toimintaverkon paljastamalla kriittisellä polulla ja toisten polkujen pelivaroilla on keskeinen merkitys projektin johtamiselle. Toimintaverkko, kuten työntutkimuksetkin, paljastavat turhia tehtäviä tai niiden väärän sijoituksen työketjuun. Sillä voidaan myös vaihtoehtoiset ratkaisut tutkia edeltäkäsien. Jonkin tehtävän myöhästymisen seuraukset voidaan ennustaa verkosta nopeasti ja ryhtyä toimenpiteisiin haittavaikutusten supistamiseksi. Tehtävien jaolla vastuuosastoihin vältetään eri henkilöiden vastuualueiden raja-  
mailla olevien tehtävien unohtaminen. Toimintaverkon etuna muihin suunnittelumenetelmiin nähden voidaan pitää mm. sitä, että päällekkäisiä samanaikaisia tehtäviä ei voi tulla enempää kuin resurssit ja olosuhteet sallivat, joten verkko antaa totuudenmukaisen kuvan töistä (HAMMER ja HEILAND 1967). Valmiita toimintaverkkojen tietokoneohjelmia monipuolisine tulostuksineen ei tule aliarvioida. Voitaneen todeta, että toimintaverkkotekniikka on hyvin käyttökelpoinen maatalouden työteknisissä tutkimuksissa.

Aikaisemmin on eri yhteyksissä mainittu toimintaverkkojen yhteydestä lineaariseen ohjelmointiin ja niiden käytöstä kustannusten minimointiin. LINK (1967) on korostanut Monte Carlo-menetelmän soveltuvuutta parannettaessa toimintaverkkomallin matemaattista perustaa. Myöhemmin hän on esittänyt verkkomuunnoksen, jossa tehtävien kestoajat voivat vaihdella satunnaisesti (LINK 1968). Tällaisilla varustettu verkko muodostaa totuudenmukaisen mallin peltotöiden suorittamisesta ja kasvien kasvusta, joihin säätekijöillä on suuri vaikutus. Mallin laadinta liittyy laajaan puuvillan viljelyä USA:n etelävaltioissa käsittelevään simulointiohjelmaan, jonka toteuttaminen tapahtuu siitä laadittua toimintaverkkoa noudattaen.

ARCHIBALD ja VILLORIA (1967) valottavat toimintaverkko-algoritmien ja tietokoneohjelmien käyttöä simuloitaessa yritysten toimintaa. Myös pelimallien teossa ja käytössä verkkotekniikka voi olla perustana. Matemaattinen yrityksen, järjestelmän yms. malli on simulointia varten tehtävä niin täydelliseksi, että se ei toimiakseen (tietokoneessa) vaadi ihmisen asioihin puuttumista lainkaan. Pelissä taas pelaajat saavat tietoja mallilta ja antavat niitä sille pelin kestäessä. Toimintaverkkomallilla simuloitaessa malli saisi läpikäydä monen vuoden toiminnat erilaisissa olosuhteissa, eri resurssein jne., mikä tietokoneella kävisi nopeasti. Malli voisi olla esim. maatilan toiminnasta. Pelissä taas pelaajat voisivat antaa kestoajaa-arvioita PERT-verkkoon, joka olisi pelin mallina. Tällä tavoin yrityksen johtaja saisi nopeasti arvokasta tietoa päätösten tekoa varten. Tämäntapaiset toimintaverkkotekniikan laajennukset ja yhdistämiset muihin operaatiotutkimuksiin ilmeisesti yleistyvät sitä mukaa, kuin mallien toimintaan tarvittavaa luotettavaa perustietoa saadaan käytettäväksi.

Toimintaverkko on tasoon piirretty projektin havainnollinen malli, jossa on esitetty projektiin kuuluvat tehtävät ja niiden väliset ajalliset riippuvuudet. Toimintaverkkoon voi kuulua myös resurssi- ja/tai kustannuslaskenta. Toimintaverkkomenetelmistä tunnetuimmat, CPM ja PERT kehitettiin Yhdysvalloissa 1950-luvun loppupuolella. Pääasiallinen ero näiden välillä oli se, että CPM käytti tehtävää kohden yhtä kestoajan arviota, mutta PERT kolmea. CPM keskittyi projektin kustannusten minimointiin, PERT sen kehitystyön vaatiman ajan määrittämiseen ja valvontaan. Myöhemmin erot ovat supistuneet vähäisiksi.

Toimintaverkkojen laatiminen ja käsinlaskenta esitetään tässä kirjoituksessa hypoteettisen tutkimusprojekti-esimerkin avulla (taulukko 1, kuvat 1 ja 2). Toimintaverkko ilmaisee projektin kriittisen polun. Se käy toimintaverkon läpi sitä tehtäväketjua pitkin, jonka pelivara on pienin; yleensä se on  $= 0$ . Kriittistä polkua lyhentämään pyrittäessä myös lähes kriittiset tehtävät tulee ottaa huomioon, koska ne tulevat nopeasti ns. pullonkaulatehtäviksi.

Kirjoittaja on käyttänyt Valtion Tietokonekeskuksen PERT C-ohjelmaa tutkiessaan kahta rakennus- ja yhtä salaojitushanketta sekä kevään peltotyömenetelmiä. Viimeksimainitussa (kuva 3) on todettu eri työmenetelmät: kevätyöt erilliskoneita, rivilannoitinta + kylvökoneetta, tai yhdistelmäkonetta käyttäen Viikin koetilalla suunnilleen samanveroisiksi töiden joutumisen suhteen. Rivilannoitin-menetelmä on ollut kustannuksiltaan halvin ja yhdistelmäkonemenetelmä kallein. Erilliskoneita käytettäessä mies- ja traktoriresurssija on kuormitettu eniten. Talvella tehty toimintaverkko sääennusteineen on pitänyt hyvin paikkansa töiden alkamisen ja valmistumisen sekä kriittisen polun suhteen. Salaojitus- ja rakennusprojektien (kuva 4, taulukot 2—4) tulostuksien avulla on selvitetty lähinnä resurssien käyttöä ja sovitusta sekä kustannuslaskentaa.

Lopuksi on mainittu toimintaverkkomallien soveltuvan simuloinnin ja pelien pohjaksi, joiden yleistymistä rajoittaa tarvittavien perustietojen puute. Nykyiset toimintaverkkomenetelmät soveltuvat hyvin maatalouden työtekniisiin tutkimuksiin, joissa käsitellään työvoiman, koneiden ja laitteiden rationaalista käyttöä maatilataloudessa.

#### KIRJALLISUUTTA

- AGRAWAL, R. 1967. Applications of operations research techniques in agriculture. Univ. Microfilms 68—5937. 279 p. Ann Arbor.
- ARCHIBALD, R. D. & VILLORIA, R. L. 1967. Network-based management systems (PERT/CPM). 508 p. New York.
- Asetus Helsingin yliopiston apulaisprofessoreista annetun asetuksen muuttamisesta. 1968. Suom. Asetusk. 285:531—532.
- BÖLKE, M. 1968. Ablauf- und Kapazitätsplanung im Spezialisierungsprozess der Feldwirtschaft mit Hilfe der Netzwerkplanung. Deutsche Agrartechn. 18:69—74.
- CAMM, B. M. 1966. Network analysis in farm management. Span 9:98—100.
- HAMMER, W. & HEILAND, H. 1967. Netzplantechnik und Planzeitwerte in der Landwirtschaft. 61 p. Darmstadt.
- HEILAND, H., JÄNDL, A. & KASTNER, W. 1966. Zur Anwendung der Netzplantechnik in der landwirtschaftlichen Unternehmensforschung. Agrarwirtschaft 15:89—101.

- KELLEY, J. E., Jr. 1961. Critical-path planning and scheduling: mathematical basis. *Operations Res.* 9: 296—320.
- LINK, D. A. 1962. Weather probabilities affecting machine system capabilities. University Microfilms. 63—2985. 146 p. Ann Arbor.
- LINK, D. A. 1967. Activity network techniques applied to a farm machinery selection problem. *Amer. Soc. Agric. Engin. Publ. PROC—567:23—30.*
- LINK, D. A. 1968. Research needs for farm machinery scheduling. *Amer. soc. Agric. Engin. Publ. PROC—468:28—32.*
- L(IPPONEN), J. V. 1969. Project Management System/360 versio 3. Moniste. 24 p. (Saatavissa VTKK:sta, Helsinki).
- MALCOM, D. G., ROSEBOOM, J. H., CLARK, C. E. & FAZER, W. 1959. Applications of a technique for research and development program evaluation. *Operations Res.* 7:646—669.
- MODER, J. J. & PHILLIPS, C. R. 1968. Toimintaverkot projektien käsittelyssä. 308 p. Suomentanut A. Rautsara. Kuopio.
- MORRIS, W. H. M. & NYGAARD, A. 1962. The utilization of calculations on farm work for decision making in farm management. XI CIOSTA Congr. Seelisberg. 35 p. Moniste. (Saatavissa Purdue Univ., Agric. Econ. Dept., Lafayette, Indiana, U.S.A.).
- PEART, R. M. 1967. Analysis of fruit and vegetable harvesting and handling. Moniste. 24 p. + 18 p. (Saatavissa Purdue Univ., Agric. Engin. Dept., Lafayette, Indiana, U.S.A.).
- PEART, R. M., VON BARGEN, K. & DEASON, D. L. 1968. Network analysis in agricultural systems engineering. *Amer. Soc. Agric. Engin. Paper 68—441:1—14.*
- PEHKONEN, A. 1968. Rivilannoitus teknillistaloudellisena ongelmana. *Konekirj.* 128 p. (Saatavissa Helsingin Yliopiston Maanviljelystalouden laitokselta.).
- PERT rakennustoiminnassa. 1966. Rastor-julk. 64 p. Helsinki.
- PUKKILA, A. 1959. Työntutkimus. 318 p. Helsinki.
- SCHRODER, W. E. 1963. PERT: A prospective aid to better management. *Can. J. Agric. Econ.* XI, 2:1—11.
- SNYDER, J. C. & SWACKHAMER, G. L. 1966. Management planning and control systems. *Purdue Univ. Res. Bull.* 809:1—32.
- SOWELL, R. S. & LINK, D. A. 1967. Network analysis and mathematical programming. *Trans. Amer. Soc. Agric. Engin.* 10:820—828.
- Työntutkimuksen peruskurssi. 1964. Monisteita. (Saatavissa Oy Rastor Ab:stä, Helsinki).
- UOTILA, P. J. 1968. Muokkaus-, lannoitus- ja kylvötyömenetelmien vertailuja erillisillä ja yhdistelmä-koneilla. *Työtehoseur. maatal.tied.* 102:1—4.
- Valtion Tietokonekeskuksen aika-, resurssi- ja kustannuslaskentaohjelma PERT C. 1965. Moniste. 12 p. (Saatavissa VTKK:sta, Helsinki).
- WOLF, J. 1968. Rationelle Planung von komplexen Arbeiten in der Landwirtschaft. *Deutsche Agrartechn.* 18:67—69.

## S U M M A R Y

### ON ACTIVITY NETWORKS AND THEIR USE IN AGRICULTURAL TECHNOLOGY STUDIES

ERKKI H. OKSANEN

*Department of Agricultural Engineering, University of Helsinki*

An activity network is a visual model of a project drawn on a plane where the different activities of a project and their time dependences are presented. Resource and/or cost calculations may also belong to a network. The best known activity networks, CPM and PERT, were developed in the U.S.A. towards the end of the 1950's. The main difference between the two was that CPM used one duration estimate per activity while PERT used three. CPM concentrated on cost minimization of the project, PERT on the

determination and control of the time required by a project development. Later the differences between the two methods have been much reduced.

In this article, the planning of networks and their calculation by hand are presented with the aid of a hypothetical example of a research project (Table 1, Figs. 1 and 2). The network reveals the critical path of a project. The path goes through the network along the chain of activities that has the smallest slack (float); in general it is  $= 0$ . When attempts are made to shorten the critical path the near critical activities should also be considered since they may easily turn into bottleneck activities.

The author has used the PERT C-programme of the State Computer Centre in the study of two building projects and a drainage project, and spring field work methods. In the last mentioned study (Fig. 3) the different working methods, i.e. work with separate machines, work with a row fertilizer + seed drill, and work with a combined fertilizer drill, have been found about equal at the Viik Experimental Farm as far as completion of the work is concerned. The row fertilizer method was the cheapest while the method using a combined fertilizer drill involved the highest costs. Man and tractor resources have been loaded at their heaviest when using separate machines. The activity network with weather forecasts made in the winter has tallied well with the starting and completing dates of the work, and with the critical path.

With the computer outputs from the drainage and building projects (Fig. 4, Tables 2—4), the use and adjusting of the resources have been explained, as well as the calculation of the costs.

The suitability of the network models as basis for simulation and gaming is mentioned at the end of the article. They are assumed to become more common when enough basic data is available. The present day activity networks are easily applicable to agricultural technology studies which deal with the rational use of manpower, machinery and equipment on a farm.