

NÄKÖKOHTA KESKIMÄÄRÄISESTÄ TUOTOKSESTA METSÄTYÖTIEETEESSÄ

MATTI KÄRKKÄINEN

SUMMARY:

A POINT OF VIEW ON THE AVERAGE OUTPUT IN FOREST WORK
SCIENCE

Saapunut toimitukselle 21. 1. 1972

Tutkimuksessa kiinnitetään huomiota ajanmenekin ja tuotoksen käsitteiden käyttöön metsätyötieteellisissä tutkimuksissa. Kun tuotos määritellään ajanmenekin inverssiksi ja päin vastoin, voidaan osoittaa, että tiheysfunktion muoto on erilainen. Tästä aiheutuu mm. se, että esim. regressioanalyysissä ei ole samantekevää, käytetäänkö ajanmenekki- vai tuotoslukuja. Samoin keskimääräinen tuotos on erilainen riippuen siitä, lasketaanko se keskimääräisen ajanmenekin perusteella vai tuotoslukujen keskiarvona.

1. JOHDANTO

Yleensä *tuotoksella* tarkoitetaan muissa kuin rahayksiköissä ilmaistua tuotannon tulosta. Usein tuotos ilmoitetaan aikayksikköä kohti, jolloin sitä voi pitää eräänä tuottavuuskäsitteenä. Metsäteknologiassa puhutaan esimerkiksi jonkin koneen tuntituotoksesta, jonkin hakkuumenetelmän tai hakkuumiehen päivätuotoksesta jne.

Milloin eri aikoina syntyneet työn tulokset ovat toisiinsa verrattavia, tuotoksen ilmaiseminen on helppoa. Sen sijaan jos työn seurauksena syntyy toisistaan oleellisesti poikkeavia tuotteita, tehdyn työn kuvaaminen tuottaa vaikeuksia. Metsätyötieteessä yleensä on perustettua olettaa, että tehtyä työmäärää voidaan kuvata erilaisin yksinkertaisin fyysisin yksiköin. Näin ollen puhutaan esimerkiksi hakkuun tai kuljetuksen tuotoksesta kuutiometreinä, kappalemäärinä jne. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että käytetyt yksiköt liittyvät läheisesti kustannus- ja tuottolaskentaan. Sen vuoksi yksiköiden olemus ei ole itse työtehtävän kuvaamisen kannalta aina mahdollisimman hyvä.

Kun selvitetään jonkin työtehtävän vaatimaa työpanosta, metsätyötieteessä tarkastellaan tavallisesti *ajanmenekkiä*. Se ilmoitetaan yleensä tehtyä

työmäärää kohti. Näin ollen puhutaan esim. hakkuun ajanmenekistä minuutteina kiintokuutiometriä kohti, jonkin tien kunnossapitotöiden ajanmenekistä miestyöpäivinä kilometriä kohti jne. Joskus käytetään myös muita työpanoksen indikaattoreita, mutta tavallisimmin metsätyötieteessä tyydytään kuitenkin yksinomaan ajanmenekin tarkasteluun.

Kun tuotosta tarkastellaan suoritteena aikakausyksikköä kohti ja ajanmenekkiä suoriteyksikköä kohti, havaitaan, että ajanmenekki on tuotoksen inverssiluku ja päin vastoin. Esim. metsäkuljetuksen osalta käytetään yleisesti tunnuksia kiintokuutiometriä tunnissa ($k\text{-m}^3/h$) ja minuuttia kiintokuutiometriä kohti ($\text{min}/k\text{-m}^3$). Usein pelkkä tottumus ratkaisee, millaista tunnuslukua käytetään työmäärän ja sen tuloksen suhteen kuvaamisessa. Mahdollisesti ajanmenekkiä käytetään eniten työtieteellisissä tutkimuksissa ja tuotosta mitoitettaessa työvoimaa ja koneita yms. tehtävissä.

Vaikka ajanmenekkiä ja tuotosta käytetään samanlaisiin kuvailutehtäviin, on ilmeistä, että ne eivät käyttäydy samalla tavalla esim. eräissä tilastollisissa analyyseissä. Kun metsätyötieteessä yhä enemmän on ryhdytty käyttämään matemaattisia malleja erilaisten riippuvuuksien kuvaamisessa, on perusteltua kiinnittää huomiota myös näihin näkökohtiin. Samoin tilastomatematiikan eri keinojen käytön lisääntyminen metsätyötieteellisissä tuotos-tutkimuksissa aiheuttaa sen, että on syytä tuntea erilaisten tunnusten käytöstä aiheutuvat seuraukset. Seuraavassa esitetään eräs näkökohta, johon toistaiseksi ei ole kiinnitetty kirjallisuudessa huomiota, olkoonkin, että ilmiö lienee yleisesti tunnettu.

Prof. KALLE PUTKISTO, vt. apul.prof. PEKKA KILKKI ja MML RIHKO HAARLAA ovat lukeneet käsikirjoituksen. Kiitän saamastani tuesta.

2. MUUTTUJEN JA NIIDEN TRANSFORMAATIOIDEN JAKAUMAT

Jäljempänä muuttuja x kuvaa jonkin työn ajanmenekkiä. Vastaavasti on tällöin $1/x$ tuotos aikayksikössä. Muuttujan x arvo vaihtelee kerrasta toiseen. Kun x käsitetään jatkuvaksi satunnaismuuttujaksi, tätä vaihtelua voidaan kuvata sen tiheysfunktioilla¹⁾. Sitä merkitään tässä yhteydessä P_x .

Jos ajanmenekin transformaatio $y = f(x)$

- on yksikäsitteinen,
- sen käänteinen transformaatio $x = g(y)$ on olemassa, ja
- käänteisfunktion $g(y)$ derivaatta $g'(y)$ on olemassa ja on jatkuva, transformaation tiheysfunktio saadaan kaavasta (1) (Esim. RAO 1968, s. 125).

¹⁾ Empiiristä frekvenssijakautumaa edustaa tässä yhteydessä muuttujien tiheysfunktio.

$$(1) P_y = P_x [g(y)] |g'(y)| dy$$

Tässä yhteydessä, kun tuotos on ajanmenekin inverssiarvo, $|g'(y)|$ on $\frac{1}{y^2}$

Kun kysymyksessä on tiheysfunktio, satunnaismuuttujan saamien eri arvojen sattumistodennäköisyydet saadaan tavalliseen tapaan integroimalla. Esim. x:n odotusarvo saadaan tunnetusti kaavasta (2). Vastaavasti saadaan y:n odotusarvo transformaation tiheysfunktioista.

$$(2) E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x P_x dx$$

Käytännössä ajanmenekin ja tuotoksen tiheysfunktion muodon erilaisuus on usein selvästi nähtävissä. Esim. jos ajanmenekki on jossakin työtehtävässä jakautunut symmetrisesti keskiarvon suhteen, tuotoksen tiheysfunktio on huomattavan epäsymmetrinen. Samoin keskimääräistä ajanmenekkiä vastaava tuotos ei ole sama kuin tiheysfunktion perusteella laskettu keskimääräinen tuotos. Toisin sanoen, saadaan erilainen keskiarvo riippuen siitä, muunnettaanko ajanmenekki ensin tuotokseksi vai lasketaanko ensiksi keskimääräinen ajanmenekki ja sitten sitä vastaava tuotos.

3. ESIMERKKI JA PÄÄTELMÄ

Eräässä metsätraktoria koskeneessa tuotostutkimuksessa havaittiin, että kuormien ollessa 10 kiintokuutiometrin suuruisia ajanmenekki oli taulukon 1 esittämä. Näin ollen keskimääräinen ajanmenekki kuormaa ja kiintokuutiometriä kohti oli 6 minuuttia. Sitä vastaava keskimääräinen tuotos on näin ollen 10 kiintokuutiometriä tunnissa. Jos ajanmenekkiluvuista lasketaan suoraan tuotosluvut, havaitaan, että keskimääräiseksi tuotokseksi saadaan 10,118 kiintokuutiometriä tunnissa. Aineistosta havaitaan myös se, että tuotosten frekvenssijakautuma ei ole samalla tavalla symmetrinen kuin ajanmenekin jakautuma.

Edellä olevassa esimerkissä havainnoista laskettujen tuotosten keskiarvo oli suurempi kuin keskimääräistä ajanmenekkiä vastaava tuotos. Näin on usein asianlaita, kun ajanmenekin tiheysfunktio on symmetrinen. On myös mahdollista, että sopivalla tavalla vinoista ajanmenekin jakautumista seuraa tuotoksen symmetrinen jakautuma. Oleellista on kuitenkin se, että keskimääräistä tuotosta laskettaessa saatava tulos riippuu käytetystä laskentatastavasta.

Jonkin empiirisen frekvenssijakautuman keskiarvo tai teoreettinen odotusarvo ei ole kuitenkaan ainoa ominaisuus, mihin transformaatio voi vaikuttaa. Mm. käytettäessä erilaisia pienimmän neliösumman menetelmiä ei ole samantekevää, miten havainnot ovat jakautuneet. Esim. regressioanalyysissä py-

Taulukko 1. Esimerkki keskimääräisen tuotoksen laskemisesta keskimääräisen ajanmenekin perusteella tai tuotoslukujen keskiarvona. Ajanmenekki on normaalisti jakautunut.

Havainnot	Ajanmenekki kuormaa kohti min.	Tuotos k-m ³ /h	Havainnot	Ajanmenekki kuormaa kohti min.	Tuotos k-m ³ /h
4	45	13,33	4	75	8,00
5	46	13,04	5	74	8,11
7	47	12,77	7	73	8,22
9	48	12,50	9	72	8,33
12	49	12,24	12	71	8,45
14	50	12,00	14	70	8,57
18	51	11,76	18	69	8,70
21	52	11,54	21	68	8,82
24	53	11,32	24	67	8,96
28	54	11,11	28	66	9,09
31	55	10,91	31	65	9,23
34	56	10,71	34	64	9,38
36	57	10,53	36	63	9,52
38	58	10,34	38	62	9,68
39	59	10,17	39	61	9,84
40	60	10,00			
Keskiarvo			60		10,118

ritään minimoimaan havaintojen neliöpoikkeamien summa regressiosuorasta. Jos näin ollen jollakin riippumattoman tekijän arvolla riippuvan muuttujan jakautuma muuttuu, se vaikuttaa havainnoista laskettuun regressioyhtälöön. Kun yleensä oletetaan, että havainnot ovat normaalisti jakautuneita kullakin riippumattoman muuttujan arvolla, kyseinen inverssitransformaatio vaikuttaa haitallisesti saataviin tuloksiin, mikäli alkuperäiset havainnot ajanmenekistä ovat todellakin normaalisti jakautuneita. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, ettei ole työntutkimuksessa ollenkaan samantekevää, käytetäänkö mittarina ajanmenekkiä vai tuotosta.

Ajanmenekin ja tuotoksen hyvistä ja huonoista puolista ei ole mahdollista esittää mitään yleispätevää analyysiä. Kulloinkin tutkimuksen viitekehys ratkaisee, millainen on paras käytäntö. Yleisesti ottaen on kuitenkin syytä välttää ajanmenekkihavaintojen suoraa muuttamista tuotosarvoiksi. Sen sijaan on syytä korostaa sitä, että on tarvetta aikaisempaa käytäntöä useammin esittää työtieteellisissä tutkimuksissa ne valintaperusteet, joilla johonkin tunnuksen on päädytty. Myös laskentamenetelmän esittely lienee nykyistä useammin tarpeen tuotostutkimuksissa, koska mitään vakiintunutta käytäntöä ei näytä olevan.

VIITE:

RAO, C. R. 1968. Linear statistical inference and its applications. New York — London — Sydney.

SUMMARY:

A POINT OF VIEW ON THE AVERAGE OUTPUT IN FOREST WORK SCIENCE

The concepts of the time consumption and the output of work are analyzed in this paper as to their use in forest technology. In this connection the output is defined as the inverse of time consumption, when the latter is stated as a time per some physical unit needed to perform a job. Defined as above the terms «the time consumption» and «the output» have both been used in forest work science. For example, one speaks often in the terrain transportation about the time consumption (min/cu.m) and the output (cu.m/h).

The variability of time consumption in some work can be described by the probability density function. Using formula (1) one can compute the probability density function of the output, when the probability density function of the time consumption is known. Often these functions are not alike as to their shape. For example, if the time consumption is distributed symmetrically to the mean, the output is distributed asymmetrically. Therefore it is not the same if the time consumption or the output is used as a dependent variable in a regression analysis, for example. As to the average output, it is different depending on the calculation method, i.e. if the observations on the time consumption will be transformed immediately or if the average time consumption will be calculated first.

As a practical consequence of the paper it is recommended that the use of the concepts «the time consumption» and «the output of the work» would be more motivated in the research papers, because the choice affects the results and there seems to be no conventional usage in this matter.