

Peterson Pacific -haketusketjun optimointi

Esimerkki simuloinnin käytöstä

Tuomo Vuorenpää

Metsätehon raportti 4
27.8.1996

Osakkaiden yhteishanke

Asiasanat: haketus, kaukokuljetus, simulointi

Helsinki 1996

SISÄLLYS

| | |
|--|----------|
| 1 SIMULOINNISTA | 3 |
| 2 AINEISTO | 3 |
| 3 SIMULOINNIN SOVELTAMINEN HAKETUSKETJUN ANALYSOINTIIN..... | 5 |
| 4 SIMULOINTIMALLIN LÄHTÖ- JA TULOSTIEDOT | 6 |
| 5 SIMULOINTIMALLILLA LASKETUT TULOKSET | 7 |
| 5.1 Kuljetusmatkan vaikutus haketusketjun kustannuksiin..... | 7 |
| 5.2 Työmaan koon vaikutus | 7 |
| 5.3 Hakeautojen lukumäärän vaikutus terminaalivarastolla | 8 |
| 6 PÄÄTELMÄT | 9 |

1 SIMULOINNISTA

Simuloinneissa tehdään monimutkaisten systeemien toimintaa jäljitteleviä kokeita matemaattisilla malleilla jonkin aikavälin aikana. Simuloinnilla saatu ratkaisu ei koskaan ole tarkka, mutta useimmiten menetelmä on riittävän tarkka käytännön tarpeisiin. Usein simulointia joudutaan käyttämään tilanteissa, joissa ongelman dynaamisuuden, satunnaisuuden tai epälineaarisuuden takia todellisuutta kuvaavaa mallia on hankala esittää ja käsitellä matemaattisessa muodossa.

Simulointia on käytetty varsin vähän korjuuketjujen analysoinnissa. Aika- ja tuotostutkimuksiin tarkoitettu aineisto ei aina sovellu simulointiin, koska esimerkiksi ajanmenekkien keskiarvojen lisäksi usein tarvittaisiin tarkempaa vaihteluvälien ja hajontojen tuntemusta.

Kuumissa korjuuketjuissa yhden koneen keskeytykset näkyvät usein koko ketjun toiminnassa. Analyttisillä lähestymistavoilla on hankala määrittellä tämänkaltaisen vaihtelun merkitystä korjuuketjun tuottavuuteen ja kustannuksiin. Riittävän aineiston kerääminen vaikutusten laskemiseksi olisi erittäin työlästä. Vaihteluiden merkitystä pystytään tehokkaasti analysoimaan simulointimallilla tehtävillä kokeilla, joilla voidaan jäljitellä korjuuketjussa esiintyvää satunnaisuutta.

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikköön perustuvassa haketusketjussa puut karsitaan, kuoritaan ja haketetaan yhdellä koneyksiköllä, joka puhaltaa hakkeen aumaan tai kuorma-auton kuormatilaan. Ketju on tyypillisesti ”kuuma”, ja siinä jonkin työvaiheen hidastuminen hidastaa myös muita työvaiheita. Tämänkaltaisen dynamiikan (mm. hakkuutyömaiden valinnan ja ketjutuksen sekä autojen määrän ja aikataulutuksen) vaikutuksia haketusketjun tuottavuuteen ei ole selvitetty aiemmissä tutkimuksissa.

2 AINEISTO

Peterson Pacific DDC 5000 -ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön tuottavuudesta on kerätty aikatutkimusaineistoa vuosina 1992 - 1994 ja seuranta-aineistoa vuonna 1994. Metsätehon tutkimuksissa on aiemmin havaittu mm. seuraavia riippuvuuksia olosuhteiden ja hakkurin tuottavuuden välille:

- tehoajanmenekki tehdasvarastolla on 15 % pienempi kuin tienvarsi-
varastolla
- karsitun puuraaka-aineen haketuksen tehoajanmenekki on yli 20
%
pienempi kuin osapuun
- kuusen haketuksen tehoajanmenekki on yli 50 % suurempi kuin
männyn

- jo 5 - 10 %:n osuus kuusta lisäsi tehoajanmenekkiä lähes 20 % mäntyyn verrattuna
- kuljettajalla on suuri vaikutus tuottavuuteen

Tässä tutkimuksessa käytettiin vuosina 1992 - 1993 kerättyä aikatutkimusaineistoa, josta pystyttiin erottamaan simulointimalliin tarvittut työvaiheet. Laskennalla haluttiin selvittää hakkuriin perustuvan hakeusketjun kustannukset hyvissä olosuhteissa. Tämän vuoksi aineisto rajattiin mäntyosapuuhun ja tapauksiin, joissa kuljettajalla oli kokemusta hakkurin käytöstä eikä lumesta ollut haittaa.

Hakkurin ja hakeauton työvaiheet olivat:

Hakkurin työvaiheet

Valmistelu ennen haketusta
 Alle 15 min:n keskeytykset ennen haketusta
 Yli 15 min:n - ” -
 Siirtymiset ennen haketusta
 Valmistelu haketuksen aikana
 Alle 15 min:n keskeytykset haketuksen aikana
 Yli 15 min:n - ” -
 Siirtymiset haketuksen aikana
 Haketus (tehoaika)
 Valmistelu haketuksen jälkeen
 Alle 15 min:n keskeytykset haketuksen jälkeen
 Yli 15 min:n - ” -
 Siirtymiset haketuksen jälkeen
 Siirrot
 Lepo

Hakeauton työvaiheet

Ajoaika tyhjänä
 Kuormauksen valmistelu
 Hakkurin odotus
 Valmistelu hakkurityön aikana
 Keskeytykset - ” -
 Siirtymiset - ” -
 Haketus (tehoaika)
 Ajon valmistelu
 Ajoaika kuormattuna
 Jonotus tehtaalla
 Mittausaika
 Purkuaika
 Lepo

Työvaiheille laadittiin Monte Carlo -simulointitekniikan mukainen, esiintymistodennäköisyyteen perustuva ajanmenekifunktio. Tehoajanmenekifunktio laskettiin taakkakohtaisena runkojen järeyden mukaan erikseen tienvarsivarasto- ja terminaalihaketukselle. Yksittäisen taakan puumäärät saatiin selville kuormattujen taakkojen lukumäärän ja tehtaalla mitatun hake-erän tilavuuden perusteella (taulukko 1)

TAULUKKO 1 Varastopaikan ja runkojen keskikoon vaikutus hakkurin kuormaintaakkojen kokoon.

| Runkojen keskikoko, dm ³ | Varastopaikka | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | Tienvarsi | Terminaali |
| | Kuormaintaakan koko, i-m ³ | |
| alle 50 | 0,616 | 0,748 |
| 50 - 70 | 0,728 | |
| yli 70 | 0,742 | |

Kustannustietoina käytettiin Pertti Szepaniakilta saatuja kirjanpitoon perustuvia kustannustietoja. Niitä täydennettiin seuraavasti.

Hakkurin siirtoaikana työmaalta toiselle käytettiin 4:ää tuntia ja siirrosta aiheutuvina lisäkustannuksina 250 mk:aa / siirtokerta. Koneiden pitoaika asetettiin riippuvaiseksi simulointijaksolla toteutuneesta käyttötuntimäärästä. Työajan laskennassa periaatteena oli, että hakuri toimii keskeytymättömässä kolmivuorotyössä.

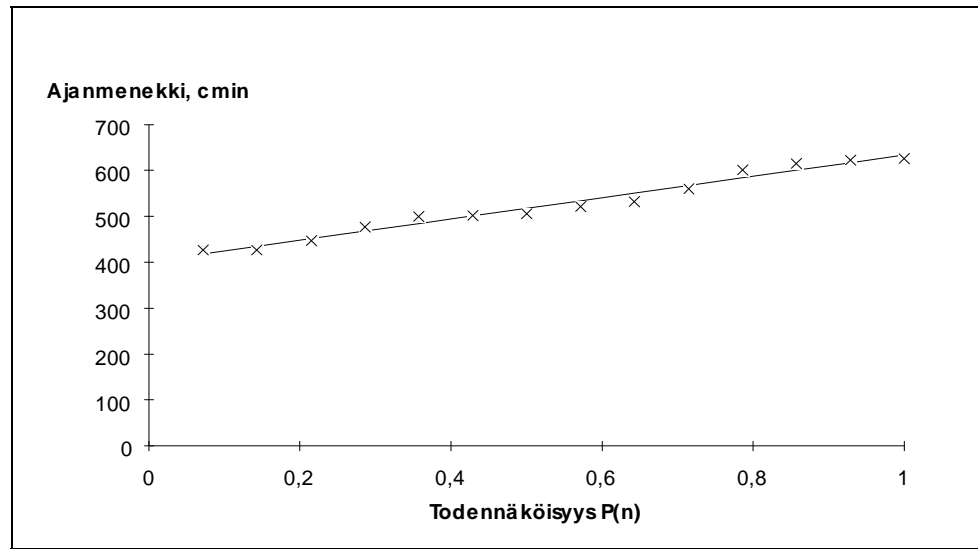
Autojen ajonopeuksina ja kustannustietoina käytettiin Metsätehossa laaditun puutavara-autojen kustannuslaskentamallin tietoja. Kuorma-autojen ja perävaunun hinnat päivitettiin vastaamaan laskenta-ajan ja kaluston tasoa. Purkuun ja tehtaalla jonotukseen käytetyt ajanmenekifunktiot laskettiin Metsätehon tätä tutkimusta varten keräämästä hakeautojen tehdasmittausaineistosta.

Auton kantavuutena käytettiin 36:ta tonnia. Kun kantavuus jaetaan tiheydellä ja tilavuussuhteella (irtotilavuuden suhteella kiintotilavuuteen), saatiin selville kuorman koko irtokuutiometreinä. Tästä kuorman koosta katsottiin voitavan hyödyntää 95 %. Vetoauton kuormatilan kokona käytettiin 42,6 % koko yhdistelmän kuormatilan koosta.

3 SIMULOINNIN SOVELTAMINEN HAKETUSKETJUN ANALYSOINTIIN

Teknillisen Korkeakoulun Systeemianalyysin laboratorion simulointikurssilla harjoitustyönä tehty simulointimalli on toteutettu SIM2-simulointityökalulla. Se on Simula-simulointikielen kaltainen prosessisimulointiin soveltuva ohjelma. Ohjelmakoodi on laadittu Pascal-kielellä. Ohjelma laatii simulointikokeista tekstitiedostot, joita voidaan analysoida taulukkolaskentaohjelmalla.

Mallissa käytettiin stokastista Monte Carlo -simulointitekniikkaa. Se on matemaattinen menetelmä, joka käyttää hyväkseen tutkittavan ilmiön satunnaisuutta. Esimerkiksi haketuksen valmisteluihin saattaa mennä 4 min tai 7 min, ts. ajanmenekkiä ei tiedetä tarkasti ennen haketuksen alkua. Simulointimallissa tämänkaltaiset ongelmat ratkaistiin arpomalla satunnaisluku väliltä 0 - 1 ja hakemalla satunnaislukua vastaava ajanmenekki kerätyn aineiston perusteella laaditusta ajanmenekifunktiosta. Esim. jos generaattori arpoo luvun 0,3, niin valmistelu tehdashaketuksen aikana kestää 4 min 50 s (kuva 1).



Kuva 1. Esimerkki ajanmenekifunktiosta ja Monte Carlo -menetelmän hyödyntämisestä

4 SIMULOINTIMALLIN LÄHTÖ- JA TULOSTIEDOT

Tekstitiedostona talletettavassa ohjaustiedostossa kullekin simulointikerralle annetaan seuraavat ohjaustiedot:

- tilavuussuhde (kiintotilavuuden suhde irtotilavuuteen, esim. 0,451)
- leimikon koko, m³
- varastotyyppi (vaihtoehto 1 = metsä, 3 = tehdas/terminaali)
- runkojen koko (vaihtoehto 1 = alle 50 dm³, 2 = 50 - 70 dm³, 3 = yli 70 dm³)
- onko käytössä vaihtoperävaunu (vaihtoehto 1 = ei, 2 = on)
- käytössä olevien autojen lukumäärä
- autojen ajomatka, km
- autojen lähtöväli, min
- simulointiaika, pv
- auton mittausaika tehtaalla, min
- auton purkuaika tehtaalla, min

Jos on perusteltua olettaa, että kohteella toteutuva taakka-aika poikkeaa aineiston taakka-ajoista, voidaan taakka-aikaa korjata syöttötietona annettavalla parametrilla, esim. kerroin 1.1 tarkoittaa, että taakka-aika on 10 % hitaampi kuin aineiston taakka-ajat.

Tulostiedostoon tallentuvat kaikki mallin lähtötiedot (yllä), simulointijakson aikana yhteensä haketettu puumäärä, hakkurin ajanmenekit työvaiheittain sekä hakkurin kustannukset työvaiheittain jaoteltuna

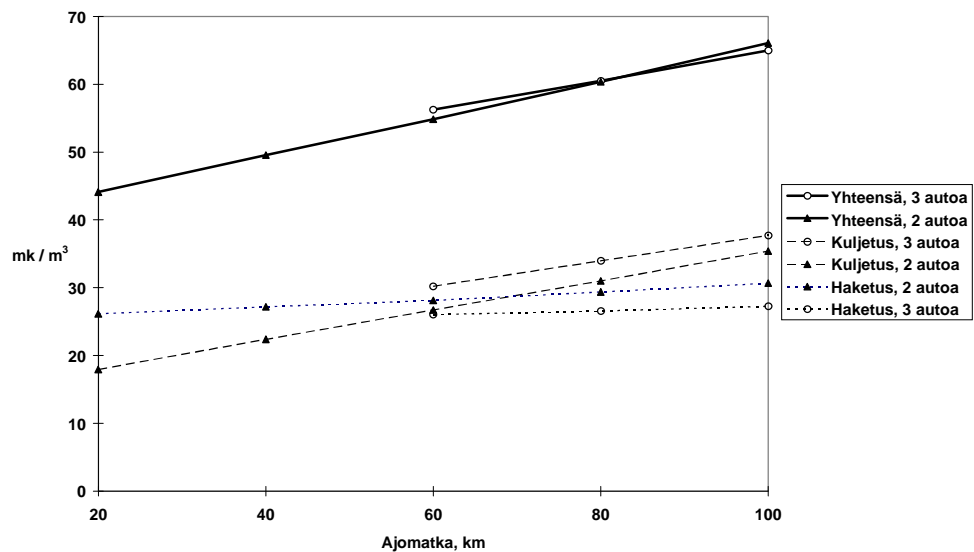
myös muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Lisäksi tiedostoon tallentuu hakkurin ja autojen pitoaika simulointijakson mukaisella työmäärällä.

5 SIMULOINTIMALLILLA LASKETUT TULOKSET

Simulointimallilla on laskettu kuljetusmatkan, työmaan koon ja hakeautojen lukumäärän vaikutusta haketuksen ja kaukokuljetuksen kustannuksiin. Kullekin tutkitulle vaihtoehdolle suoritettiin kymmenen simulointiajoa, joiden tuloksista laskettiin keskiarvot. Satunnaislukuja hyödyntävällä Monte Carlo -tekniikalla ei olisi välttämättä ilman useamman kokeen keskiarvon laskentaa kyetty laatimaan loogisia kustannusfunktioita.

5.1 Kuljetusmatkan vaikutus haketusketjun kustannuksiin

Tienvarsihaketuksessa työmaan koko oli 400 m^3 , mikä vastaa suotuisimpien ensiharvennuskohteiden olosuhteita. Kustannukset ovat edullisimmat, kun käytössä on kaksi hakeautoa. Kolmas hakeauto laskee kustannuksia vasta, kun kaukokuljetusetäisyys on yli 80 kilometriä.

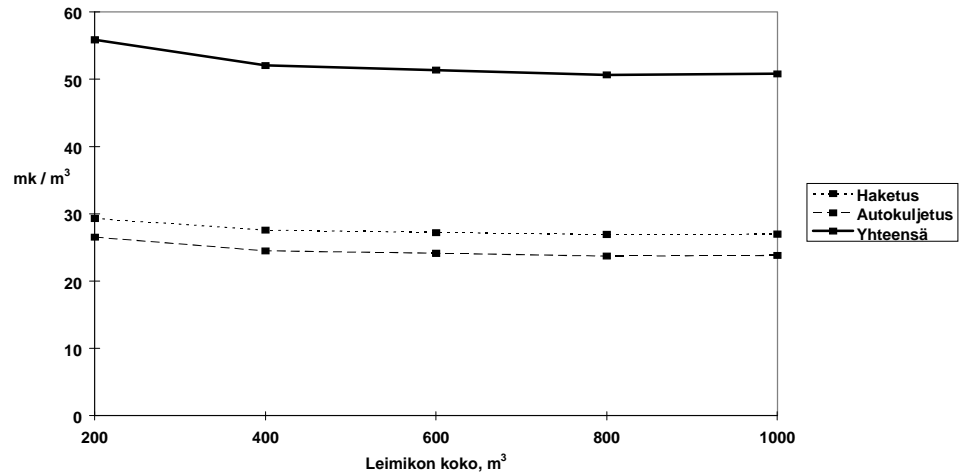


Kuva 2. Tienvarsihaketuksen ja kaukokuljetuksen kustannukset, mk/selluhake- m^3

5.2 Työmaan koon vaikutus

Työmaan koon vaikutusta selvitettiin laskennalla, jossa kuljetusmatka oli 50 km ja käytössä oli kaksi hakeautoa. Työmaan koon laskiessa alle 400 m^3 :n haketusketjun kustannukset alkavat nousta. Haketusketjun kustannukset selluhakekuutiometriä kohti ovat 50 - 60 mk.

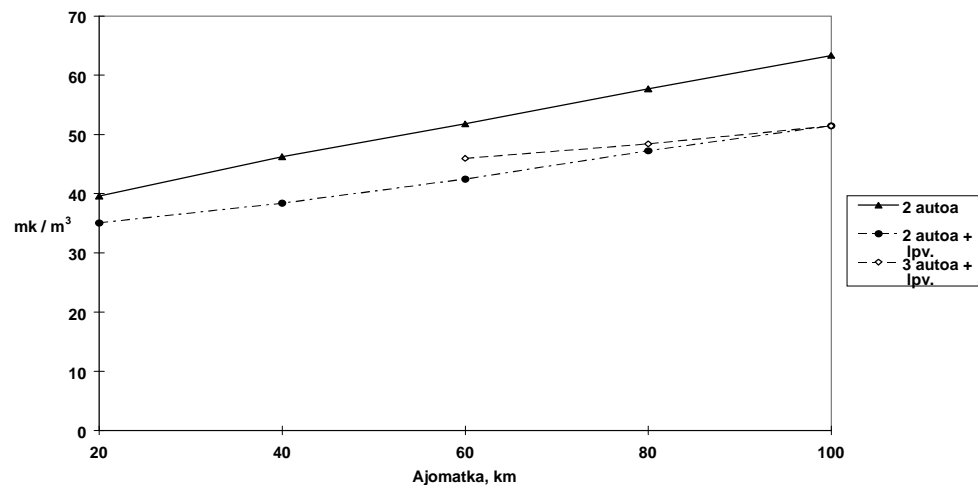
Pienillä työmailla havaittu kustannusten nousu johtuu työmaiden välisten siirtojen lisääntymisestä. Työmaata aloitettaessa aiheutuu lisäkustannuksia myös haketuspaikan valmisteluista, joiden osuus ajanmenekistä kasvaa työmaiden pientyessä. Näitä kustannuksia ei sisällytetty simulointimalliin.



Kuva 3. Työmaan koon vaikutus ketjukarsinta-kuorinta-haketuksen kustannuksiin

5.3 Hakeautojen lukumäärän vaikutus terminaalivarastolla

Terminaalivarastolla keskeytyksiä ja siirtymisiä on vähemmän ja hakkurin kuormaintaakkojen keskikoko on isompi kuin tienvarsivarastolla. Sen vuoksi haketusketjun kustannukset ovat alemmat, kun osapuun kuljetus terminaalille jätetään ottamatta huomioon. Sekä haketuksen että kaukokuljetuksen kustannuksia pystytään alentamaan, mikäli käytetään ylimääräistä perävaunua, joka vähentää hakkurin ja autojen odotusaikoja.



Kuva 4. Terminaalihaketuksen ja hakkeen kuljetuksen yhteenlasketut kustannukset (lpv. = lisäperävaunu käytössä)

6 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksessa selvitettiin ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikköön perustuvan käsittelyketjun kustannukset eri olosuhteissa ketjun toimintaa kuvaavan simulointimallin avulla. Haketukselle ja autokuljetukselle laskettiin työvaiheittaiset ajanmenekki- ja kustannusfunktiot. Laaditulla mallilla laskettiin haketusolosuhteiden ja -menetelmien vaikutuksia haketuksen ja kaukokuljetuksen tuottavuuteen ja kustannuksiin.

Simulointijakson pituudeksi riitti yksi viikko. Tässä ajassa mallin stokastisuuden vaikutukset olivat tasoittuneet.

Mallissa oletettiin, että haketusketju toimii keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Käytännössä tätä on varsin hankala järjestää. Sen vuoksi todellisuudessa kustannukset ovat kaluston tehottomammasta käytöstä johtuen esitettyä korkeammat.

Ylimääräisen perävaunun käyttö tehostaa haketusketjun käyttöä tuntuvasti. Normaaleilla kaukokuljetusmatkoilla haketusketjussa on edullisinta käyttää kahta hakeautoa.

Kerätystä aineistosta oli hankalaa laatia hakkurin työvaiheittaisia ajanmenekki-funktioita, koska aineistoa ei alunperin kerätty simulointimallia varten. Mikäli käsittelyketjua on tarkoitus analysoida simuloimalla, tulisi se ottaa huomioon jo aineiston keruuvaiheessa. Huomiota tulisi kiinnittää etenkin siihen, että yhden työtehtävän (esim. hakeauton täyttö) kaikkien työvaiheiden ajanmenekit pystyttäisiin kohdistamaan oikealle tuotokselle.