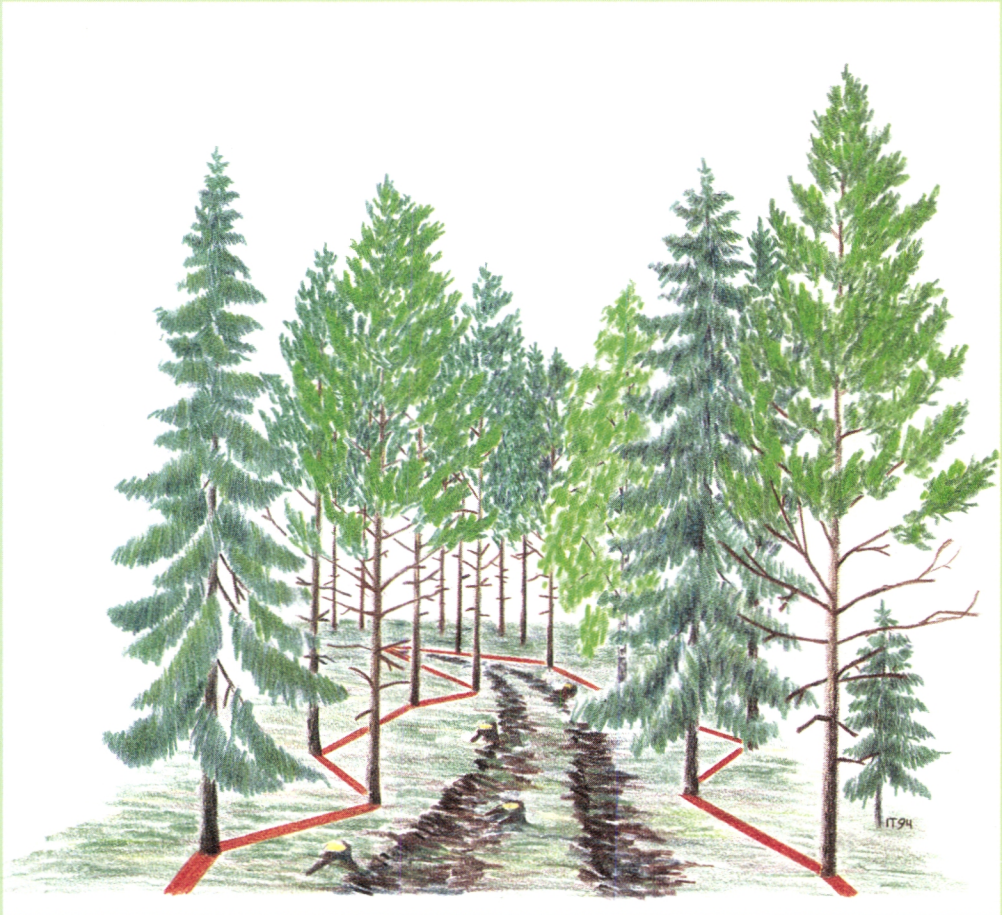


Ajouran leveyden määrittäminen

Determination of strip road width

Antti Isomäki



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 501

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Ajouran leveyden määrittäminen

Determination of strip road width

Antti Isomäki

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 501



Metsäntutkimuslaitos
Metsänkasvatuksen tutkimusosasto
Vantaa 1994

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Isomäki, Antti 1994. Ajouran leveyden määrittäminen. Summary: Determination of strip road width. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 501. 66 s. ISBN 951-40-1366-2, ISSN 0358-4283.

Tiivistelmä: Tutkimuksessa tarkastellaan ajoura-käsitettä pohjoismaisten puunkorjuu- ja puuntuotostutkimusten pohjalta. Käsitteen määrittämisongelma keskittyy ajouratilain rajaukseen eli pelkistettynä sen leveyden määrittämiseen. Näkökulmasta riippuen voidaan puhua joko ajouran korjuuteknisestä tai puuntuotannollisesta leveydestä. Korjuutekniseksi leveys-käsitteiksi voidaan kutsua ajouran ulkoleveyttä, joka kuvaa koneiden käytettävissä olevaa koko ajouratilaa sekä ajouran tavoiteleveyttä, joka puolestaan kuvaa koneiden liikkumisen ja työskentelyn kannalta tarpeellista ajouratilaa. Tutkimuksessa esitellään neljä ulkoleveyden ja viisi tavoiteleveyden käsitettä.

Puuntuotannollisina leveyskäsitteinä esitellään puustoleveys, joka perustuu ajouralta poistetun puuston määrittämiseen sekä sisäleveys, joka kuvaa puuntuotannon ulkopuolelle jäävää ajouratilaa. Molemmat puuntuotannolliset leveyskäsitteet voidaan määrittää joko ennen harvennusta tai harvennuksen jälkeen vallinneen puustotilanteen mukaisesti. Lisäksi sisäleveyden määrittämiseksi on kehitetty kaksi työmäärältään ja tarkkuudeltaan eriasteista johtamistapaa.

Tutkimuksessa arvioidaan määrittäytapojen vaikutusta ajouran nimellisleveyteen. Kokeellisenä aineistona käytetään 19 koelaa, jotka edustavat eteläsuomalaisia, hyvin hoidettuja ensiharvennuskusikoita. Testiaineistossa tavoiteleveydet olivat vähintään viidenneksen ja enimmillään kolmanneksen alempia kuin ulkoleveyden arvot. Puuntuotannolliset leveydet olivat korkeintaan puolet ulkoleveyden arvosta.

Tutkimuksessa esitellään tekijän kehittämä ajouran leveyskäsite, joka on nimetty käyttötarkoituksen mukaisesti valvontaleveydeksi. Sen lähtötunnukseksi käytetään ajouran ulkoleveyttä eli reunapuiden rajoittaman koko ajouratilain keskileveyttä. Valvontaleveyden määrittämisessä otetaan lisäksi huomioon metsikön keskitiheydestä johdettu puiden välinen keskietäisyys sekä ajouran reunapuuston järeys ja tiheys. Valvontaleveys-käsitteen kehittämisessä on tavoiteltu selkeyttä ja yksinkertaisuutta ja samalla myös riittävää monipuolisuutta, että sen avulla voitaisiin mahdollisimman osuvalla ja tehokkaalla tavalla arvioida ajouran korjuuteknisiä ja puuntuotannollisia ominaisuuksia.

Avainsanat: ajoura, harvennus, koneellinen puunkorjuu

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos; hanke 3033-3.

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Jari Parviainen, 11.4.94.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa.

Puhelin: 90-857 051, fax: 90-857 05361.

Sisällys

1 Johdanto	4
1.1 Ajourakäsitteen ja -termin historia.....	4
1.2 Ajourat nykypäivän metsätaloudessa.....	6
1.3 Ajouran leveyden määrittäsongelmat.....	7
1.4 Tutkimuksen tavoitteet.....	10
2 Tutkimusmenetelmä ja -aineisto	11
3 Ajouran leveyskäsitteiden perusryhmittely	14
4 Korjuutekniset leveyskäsitteet	15
4.1 Tavoiteleveys.....	15
4.1.1 Sondellin eli Skogsarbetenin menetelmä.....	16
4.1.2 Arvidssonin ja Knutellin menetelmä.....	18
4.1.3 Buchtin menetelmä.....	19
4.1.4 Digglen ja Knutellin ns. Kniggle-menetelmä.....	22
4.1.5 Björhedenin ja Frödingin menetelmä.....	24
4.2 Ulkoleveys.....	26
4.2.1 Carlestålin ja Dehlénin menetelmä.....	26
4.2.2 Tjørn eli NISKin menetelmä.....	28
4.2.3 Isomäen ja Niemistön menetelmä.....	29
4.2.4 Rumpusen kehittämä ns. HaRu-menetelmä.....	31
5 Puuntuotannolliset leveyskäsitteet	35
5.1 Puustoleveys.....	35
5.2 Sisäleveys.....	37
5.3 Likimääräinen sisäleveys.....	39
6 Ajourakäsitteiden vertailu	44
6.1 Ajouran leveys eri menetelmillä.....	44
6.2 Käsitteiden soveltuvuusarviointi.....	46
6.3 Ideaalisen leveyskäsitteen ominaisuudet.....	49
7 Ehdotus ajouran valvontaleveyden yleiseksi määrittämiseksi ..	51
7.1 Valvontaleveyskäsitteen rakenne.....	51
7.2 Valvontaleveyden käyttöön liittyviä näkökohtia.....	52
7.3 Ajouran leveyden määrittämiseen liittyviä käsitteitä.....	55
Kirjallisuus — References	58
Summary	60

1 Johdanto

1.1 Ajourakäsitteen ja -termin historia

Ajouralla tarkoitetaan varsinaisen tiestön ulkopuolelle puunkorjuuta varten raivattua kulkutilaa. Ajouran raivaus kohdistuu vain puustoon. Kantojen ja kivien poistaminen tai muu maanrakennus eivät kuulu ajourien tavanomaiseen esivalmisteluun. Kuljetusta haittaavat maastoesteet joko kierretään tai tasoitetaan hakkuutähteillä. Talviolosuhteissa myös lumi ja vetisiin painanteisiin muodostuva jää tasoittavat kulkualustaa.

Maastoon raivatusta puutavaran kuljetusväylästä käytettiin aikaisemmin pääasiassa nimitystä palstatie, joka usein tarkennettiin kuljetustavan mukaan hevos- tai traktoripalstatieksi. Palstatieitä yhdistävää pääväylää kutsuttiin yleisesti varsitieksi (Putkisto 1957). Palstatie-nimitystä käytettiin aikana, jolloin puutavaran maastokuljetus valtaosaltaan tapahtui talviolosuhteissa. Vaikka lumi tasoittikin kuljetusta haittaavia pienesteitä, teiden pohjat jouduttiin useissa tapauksissa raivaamaan. — Kantoja lyhennettiin, kiviä raivattiin ja kuoppia tasoitettiin. Hevosella tai maataloustraktorilla vedettävät rekikuormat edellyttivät, ettei kuormattuna-ajosuunnassa esiintynyt huomattavaa nousua. Myös rekien ja maataloustraktoreiden pieni maavara pakotti tasoittamaan kulkuväylien pohjat.

Putkiston antaman haastattelulausunnon (1990) mukaan ajatus palstatieiden käytöstä tuli Suomeen 1940-luvun lopulla Kanadasta, jonka puunkorjuuolosuhteisiin oli ollut tutustumassa Kajaani Oy:n silloinen metsäpäällikkö, metsänhoitaja Olli Parviainen. Hänen aloitteestaan Kajaani Oy:n mailla ryhdyttiin kokeilemaan menetelmää, jossa metsään raivattiin hakkuun yhteydessä ennen talven tuloa työnjohdon viitoittama palstatieverkko 30...40 m palstatie-etäisyyttä käyttäen (Simola 1950, Putkisto 1957). Kokeilu muuttui pikkuhiljaa yleiseksi käytännöksi.

Kun kokemukset hevospalstatieverkosta ja maataloustraktoreiden käytöstä puutavaran lähikuljetuksiin yhdistettiin ja lisäksi kehitettiin tekniikka tiivistää paksu lumi aurauksen sijasta ns. polannetieksi (Putkisto 1952, 1953), oltiin valmiita kokeilemaan pyörätraktoreiden käyttöä puutavaran metsäkuljetuksiin (Putkisto 1957). Putkiston tätä aihetta koskeva tutkimus oli koneellisen puunkorjuun kehityksen kannalta historiallinen ja merkitykseltään kauaskantoinen. Kokeillut menetelmät olivat laajassa käytössä yhtiöiden ja metsähallituksen työmailla jo tutkimuksen valmistumisvaiheessa eli 1950-luvun puolivälissä.

Suomen metsätaloudessa ryhdyttiin käyttämään 1960-luvun taitteessa puun-

korjuuseen suunniteltuja erikoistraktoreita. Niiden maavara ja muutkin maasto-ominaisuudet olivat sitä luokkaa, että ajolinjat voitiin valita tavanomaisessa suomalaisessa metsämaastossa melko vapaasti. Runko-ohjattavien laahus- ja kuormatraktoreiden nopeasti laajeneva käyttö myös kasvatusmetsien puunkorjuussa merkitsi sitä, ettei metsään avattavien tilapäisten kulkuväylien raivaamisessa tarvinnut enää ryhtyä minkäänlaisiin maantasoitustöihin. Juuri tästä syystä alettiin etsiä uutta nimitystä palstatie-käsitteelle. Katsottiin, että termissä oleva *tie*-liite viittaa pohjaltaan rakennettuun, pysyväluonteiseen kulkuväylään.

Professori Aulis E. Hakkaraisen haastattelulausunnon (1990) mukaan termi *ajoura* otettiin käyttöön Metsätehon teknillisen toimikunnan aloitteesta v. 1968. Metsätehon Tiedotuksessa 272 (Kahala & Salminen 1968) esiintyvät vielä sanat *juontoura, tieura ja traktoripalstatie*. Saman sarjan julkaisussa 277 (Salminen 1968) käytetään termiä *palstatie*, mutta pian tämän jälkeen ilmestyneessä Metsätehon tiedotuksessa 280 (Kahala & Savolainen 1968) on jo otsikossa sana *ajoura*. Julkaisun tekstiosassa *ajoura*-sanaa seuraa selvennys: "(= *palstatie*)".

Palstatiien ja ajouran välisen käsitteellisen eron voi todeta mm. Tapion Taskukirjan metsätraktorikuljetusta koskevasta kappaleesta (Putkisto 1971), jossa kirjoittaja toteaa kuormatraktoreista, ettei *varsinaisia palstateitä ... traktorin hyvän maastokelpoisuuden vuoksi ole tarpeen rakentaa, vaan yleensä riittää ajouran avaaminen*. Puu- ja metsäteknologian peruskäsitteitä ja termejä koskevan julkaisun (Granvik 1993) mukaan *ajoura* on *maastoon suunniteltu väylä, jolta on poistettu kuljetusta haittaavat puut ja muut esteet*.

Ajoura-sana on otettu metsätaloudessa yleiseen käyttöön, eikä sitä enää ammattiväen piirissä vierasteta. Asiaa tuntemattomille termi saattaa kuitenkin tuoda mieleen lähinnä pyörien tai telojen aiheuttaman painuman maassa eli raiteen. Tämä on ymmärrettävää, kun otetaan huomioon *ura*-sanan alkuperäinen merkitys suomenkielessä. Nykysuomen Sanakirjan (1983) mukaan *ura* kuvataan seuraavasti: *liikkuvan esineen tai veden maastoon tekemä, pitkänomainen jälki. Ihmisten tai eläinten kulkemisesta jäänyt jälki, polku. Kärryn pyörien urat tiessä. Harv. kulkutie, reitti*. Yhdyssanaa *ajoura* Nykysuomen Sanakirjassa ei mainita.

Ruotsinkieleen on kehitetty *ajouraa* vastaava sana *körstråk*, jota käytetään yleisesti vain Suomessa. Myös tanskalaiset käyttävät *uraan* viittaavaa sanaa *stikspor* (= pistoura). Sitä vastoin riikinruotsalaiset ovat pitäytyneet tiepäätteisessä sanassa *stickväg* (= pistotie), samoin norjalaiset sanassa *stikkvei*. Englanninkielessä käytetty yleisin *ajouraa* tarkoittava sana *strip road* sisältää niin ikään tie-liitteen. Venäjänkieleen on luotu kokonaan uusi sana *volog*, jolla ei ole mitään yhtymäkohtaa *ura*- tai *tie*-sanojen kanssa. Saksankieleen omak-

suttu sana *Rückegasse* (= juontokuja) vastanee ehkä parhaiten sitä mielikuvaa, joka metsään avatusta ajouratilasta ihmisille syntyy.

Vaikka ajoura-sanaan liittyykin ura-päätteen osalta hieman harhaista vivahdetta, ei tätä sanaa ole syytä hylkiä eikä missään nimessä kokonaan hylätä. Ajoura-sanana käyttöä tukee sen saama yksimielinen hyväksyntä ammattiväen keskuudessa. Lisäksi on todettava, ettei ajoura-sanalle ole esitetty yhtä nasevaa ja käyttökelpoista vaihtoehtoista termiä.

1.2 Ajourat nykypäivän metsätaloudessa

Nykyisin lähes kaikki puunkorjuumenetelmät perustuvat tela- tai pyöraajoneuvojen käyttöön. Kuormatraktorin ja hakkuukoneen liikkuminen harvennustyömaalla edellyttää aina vähintään ajolinjojen valitsemista ja usein myös jonkin asteisten ajourien avaamista.

Aikaisemmin Metsäkeskus Tapion yksityismetsien käsittelyohjeissa sallittiin korkeintaan 4 m levyisten ajourien avaaminen vähintään kolmenkymmenen metrin välein. Hakkuun koneellistuminen on kuitenkin lisännyt paineita ajouravälin kaventamiseksi. Tapion vuonna 1989 uusimissa metsänhoitosuosituksissa hyväksytään kasvatushakkuiden yhteydessä avattavien ajourien väliksi 20–30 metriä ja ajourien leveydeksi 3–4 metriä.

Ruotsissa ajourien määrää koskevat säädökset on kirjattu Ruotsin metsänhoitolain (SVL 1979: 429) soveltamisohjeessa (SKS FS 1983), jonka mukaan ajourien osuus leimikon pinta-alasta saa olla enintään 20 %. Vaikka Ruotsin metsänhoitolaissa tai sen soveltamisohjeissakaan ei ole yksiselitteisesti sanottu, miten ajourien pinta-ala määritetään, on käytännössä lähdetty siitä, että tavanomaiset 4 m:n levyiset ajourat voidaan avata 20 m välein.

Kun Suomen talousmetsissä pyritään harventamaan jokainen metsikkö vähintään kerran ja hyvin yleisesti kolmekin kertaa kiertoaajan kuluessa, tulee harvennushakkuiden piiriin nuoria ensiharvennusmetsiä pitkällä aikavälillä keskimäärin n. 200 000 ha/v. Jos ajourat avattaisiin kaikkiin metsiköihin 20 m välein, syntyisi meillä 100 000 km uusia ajouria vuosittain. Ja jos tämä käytäntö jatkuisi vuosikymmeniä, olisi Suomen metsissä varsinaisen tiestön ulkopuolella pysyvästi arviolta 5 milj. km ajouria. Olettaen niiden keskileveydeksi 4 m, ne peittäisivät 2 milj. ha eli noin 10 % Suomen metsäpinta-alasta.

1.3 Ajouran leveyden määrittämisongelmat

Koska ajouraa ei eroteta ympäristöstään ojilla eikä muilla maastoon merkityillä rajoilla, sen leveyden määrittelyyn jää useita eri mahdollisuuksia. Lähtökohtana voidaan pitää joko korjuukoneen tilantarvetta tai ajourasta aiheutuvaa puuntuotannollista haittaa. Lähestymistavasta riippuen voidaan puhua ajouran korjuuteknisestä tai puuntuotannollisesta leveydestä.

Historiallisista syistä johtuen korjuutekninen ajourakäsite on edelleen vallitseva. Ajoura mielletään ensisijaisesti tilaksi, jonka metsätraktori tarvitsee palstalla liikkumista varten. Kun puutavara valmistettiin ihmistyönä ja kasattiin ajouran varten, ajourat avattiin ainoastaan puutavaran metsäkuljetusta varten. Ajouran tunnusmerkkinä käytettiin myös sitä, että se oli ennalta suunniteltu ja merkitty maastoon tai ainakin kartalle.

Harvennushakkuiden koneellistaminen on asettanut korjuuteknisen ajourakäsitteen uudelleen arvioitavaksi. Koneellisessa puutavaran valmistuksessa hakkuukone liikkuu palstalla myös varsinaisiksi ajouriksi tarkoitettujen kulkuväylien ulkopuolella.

Korostaakseen pelkästään hakkuukoneen käyttämän kulkuväylän eroa varsinaiseen ajouraan verrattuna Metsäteho alkoi 1980-luvun puolivälissä nimittää sitä *haamu-uraksi*. Aloituksen tästä uudesta termistä teki Metsätehon silloinen tutkimusjohtaja, MH Aarne Elovainio. Edelleen hänen ehdotuksestaan haamu-ura korvattiin muutamaa vuotta myöhemmin termillä *hakkuu-ura*, joka on sittemmin vakiintunut yleiseen käyttöön. Keskusmetsälautakunta Tapion metsänhoitosuosituksissa (1989) hakkuu-ura tulkitaan ajouraksi, jos sen leveys ylittää 3 metriä. On merkillepantavaa, ettei tässä yhteydessä ole mainintaa, mitä ajouran ja hakkuu-uran leveydellä tarkoitetaan.

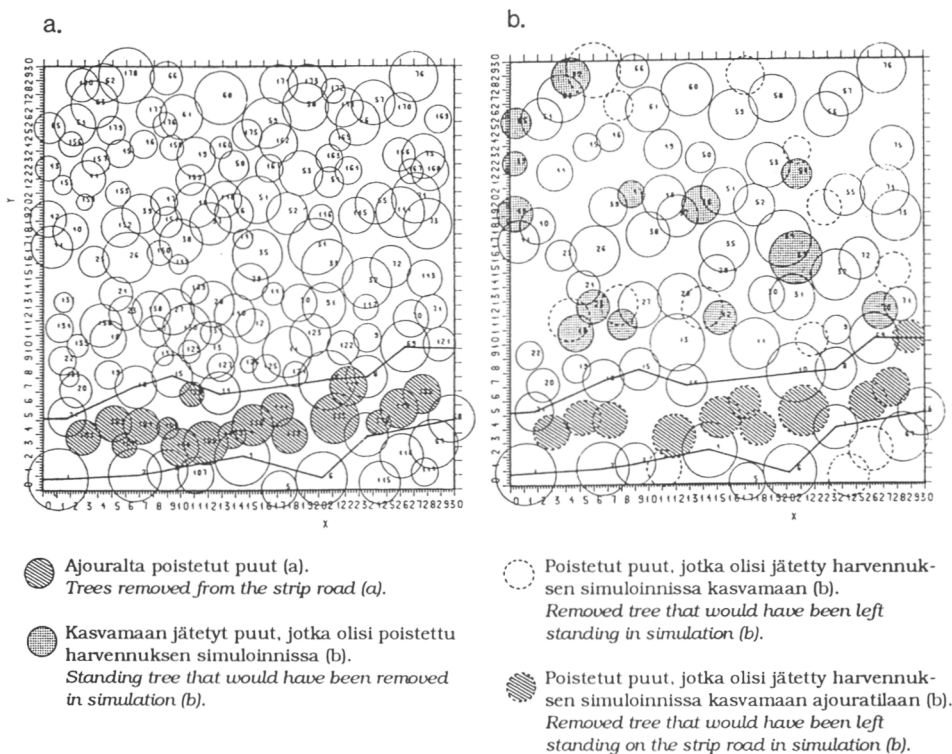
Buchtin (1981) mukaan ajoura syntyy, kun leimikosta poistetaan harvennuksen yhteydessä puita ensisijaisena tarkoituksena helpottaa puunkorjuuta. Jos puutavaran hakkuu ja kuljetus voidaan suorittaa metsikön luontaisia aukkoja hyväksi käyttäen, Buchtin mukaan ajouria ei syntyisi lainkaan. Hän tulkitsee ajourakäsitteen siten, että ajouran piiriin kuuluu työkoneiden kulkutilan lisäksi niiden muu tilantarve. Siten myös nosturin, monitoimiosan ja käsiteltävän puun vaatima tila on ajouraa, jos työskentely edellyttää kasvatettavaksi tarkoitettujen puiden poistamista.

Vaikka Buchtin esittämän ajouramääritelmän lähtökohtana on selvästi puutavaran valmistuksen ja kuljetuksen vaatima tilantarve, hän on huomionnut myös metsikön luontaisesta aukkoisuudesta aiheutuvat työskentelytilat. Yleensä puut sijaitsevat metsikössä niin epätasaisesti, että niiden väliin jää vapaata tilaa,

jota työkonet voivat käyttää hyväkseen. Koska nämä aukot ovat metsikössä joka tapauksessa, vaikka ajouraa ei olisikaan, ei niitä voida Buchtin mukaan lukea ajouraan kuuluviksi.

Vaikka Buchtin esittämä ajouramääritelmä on lähtökohdaltaan korjuutekninen, pitää se kuitenkin sisällään erään puuntuotannollisten leveyskäsitteiden keskeisen perusajatuksen. Sen mukaan ajoura on puuntuotannon kannalta menetettyä aluetta vain siltä osin, kuin se edellyttää kasvatettavaksi tarkoitettujen puiden poistamista.

Puuntuotannollisissa ajourakäsitteissä ajoura nähdään ensisijaisesti puuston kasvutilaa vähentävänä tekijänä. Tällöin ei ole niinkään tärkeää se, kuinka leveä ajoura-aukko on, vaan se, kuinka paljon ajouran takia poistettujen puiden mukana menetetään metsikön kasvupotentiaalia. Kaikkia ajoura-alueelta poistettuja puita ei ole poistettu itse ajouran takia vaan osa olisi poistettu valikoivan harvennuksen yhteydessä joka tapauksessa (kuva 1).



Kuva 1. Esimerkki leimausohjelman käytöstä harvennuksen simulointiin. Koala 10 ennen harvennusta (a) ja harvennuksen jälkeen (b). Koala on jaettu ympyränmuotoisiin puukohtaisiin kasvutiloihin puiden poikkileikkauspinta-alojen ($g_{1,3}$) suhteessa, Isomäki & Niemistö 1990.

Figure 1. An example case presenting the simulation method produced for thinning selection. The sample plot 10 before (a) and after thinning (b). The plot is divided into circular growing spaces proportionally to the cross sectional areas ($g_{1,3}$) of the trees, Isomäki & Niemistö 1990.

Ajoura-aukon aiheuttaman kasvutappion määrittämiseksi ei kuitenkaan riitä, että tiedetään ajouran takia poistettujen puiden mukana menetetty kasvu-potentiaali, sillä ajouran reunassa sijaitsevat puut käyttävät hyväkseen vapautunutta ajouratilaa ja korvaavat siten osan menetetystä kasvusta.

Useiden selvitysten mukaan ajoura-aukon aiheuttama kasvun voimistuminen reunapuissa eli ns. reunavaikutus korvaa huomattavan osan ajoura-aukon aiheuttamasta kasvutappiosta, joten ajouran puuntuotannollinen merkitys jää yleensä pienemmäksi kuin ajouran pinta-alasta suoraan voitaisiin päätellä (Isomäki & Niemistö 1990).

Puuntuotannollisessa mielessä ajoura voidaan tulkita myös optimaalista puuvalintaa häiritseväksi tekijäksi. Valikoivassa harvennuksessa tavoitellaan yleensä jäävän puuston osalta mahdollisimman tasaista tilajärjestystä. Erityisesti alaharvennuksessa pyritään lisäksi siihen, että kasvamaan jätettävä puusto koostuisi metsikön voimakkaimmista ja kilpailukykyisimmistä puuyksilöistä.

Ajourien takia harvennuksen liittyvä puuvalinta, leimaus, on aina eräänlainen kompromissi, jossa ajourien kohdalla harvennetaan systemaattisesti ja ajourien välissä metsänhoidollisesti valikoiden. Systemaattisessa harvennuksessa poistettavien puiden valintaan vaikuttaa ainoastaan puiden sijainti. Valikoivassa harvennuksessa valintaan vaikuttavat mm. puulaji sekä puun koko, terveydentila, tekninen laatu ja puun sosiaalinen asema naapuripuihin verrattuna.

Käytännössä ajourien kohdallakaan ei tehdä puhdasta systemaattista harvennusta, sillä ajourat suunnitellaan yleensä siten, että ne kiertävät parhaat puuyksilöt (Dahlin 1980, Isomäki & Niemistö 1990). Ajourien vaikutusta puuston rakenteeseen ja myöhempään tuotokseen on vaikeaa arvioida myös siitä syystä, että usein ajouran reunaan jätetään ylimääräisiä puita, jotka korvaavat ajouran takia poistettuja puita.

Ajouran puuntuotannollinen leveyskäsite on edellä kuvattu käyttäen lähtökohtana puutavaran valmistuksen ja kuljetuksen aiheuttamaa kasvun menetystä. Puuntuotannollisessa mielessä ajoura voidaan tulkita myös sellaiseksi alueeksi, jolla ajoura vaikuttaa läsnäolevaan puustoon. Useissa tutkimuksissa on havaittu ajouran vaikuttavan myös ajouran reunapuiden takana sijaitsevien puiden kasvuun. Tämän ns. reunavyöhykkeen leveydeksi Bucht ja Elfving (1977) mainitsevat 4 m, Bucht (1981) 4 m, Eriksson (1982, 1987) 3 m, samoin Isomäki ja Niemistö (1990) 3 m. Mikäli ajoura määritettäisiin alueeksi, jossa ajoura-aukko vaikuttaa puuston kasvuun, sen leveyteen tulisi lisätä siis 3–4 m levyiset reunavyöhykkeet aukon kummallakin puolella.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Käsillä oleva julkaisu on syntynyt ajourien tuotosvaikutuksia selvittävän tutkimuksen (Isomäki & Niemistö 1990) yhteydessä. Tutkimuksessa paneuduttiin tavanomaisten ajourien puuntuotannollisen merkityksen arviointiin. Tutkimuksen painopiste oli ajourien aiheuttamien kasvuvaikutusten selvittämisessä. Tämän ohella siinä analysoitiin myös ajouran leveyden käsitettä. Tutkimusraportissa esiteltiin yhteenvetona keskeisimmät ajouran leveyteen liittyvät näkökohdat.

Ajouran leveyskäsitteen sisältöä ei ole vielä kukaan yksiselitteisesti määritellyt, vaikka itse sanaa käytetään sekä yksityismetsälain valvontaa ohjaavissa Metsäkeskus Tapion metsänhoitosuosituksissa (1989) että myös yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeissa (1991) samoin kuin Skogscentralen Skogskulturin laatimissa vastaavissa suosituksissa ja ohjeissa. *Ajouran leveys* saatetaan siis tämän päivän käytännössä tulkita usealla eri tavalla.

Jos yksityismetsälain valvonnassa halutaan ehkäistä ennakoita tulkintariitoja, jotka ovat mahdollisia ja jopa todennäköisiäkin kasvatusmetsien puuntuotannollisen tilan arvioinnissa, tulee käsitteet määrittellä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja yksiselitteisesti. Käsitteiden määrittelyssä tulee pyrkiä siihen, että tarvittavat tunnuksot voidaan mitata helposti sellaisinaan, tai että ne voidaan johtaa riidattomalla tavalla helposti mitattavista aputunnuksista.

Vaikka ajouraa kosketellaan käsitteenä yleensä sekä puuntuotosta että puunkorjuuta koskevissa tutkimuksissa, siitä ei ole Suomessa aikaisemmin tehty kokoavaa selvitystä. Nyt esiteltävässä tutkielmassa tarkastellaan ajouraa käsitteenä ja esitetään vaihtoehtoja ajoura-alueen määrittämiseksi. Raportti perustuu pohjoismaisiin, asiaa sivuaviin tutkimuksiin.

Raportti on tarkoitettu taustansa mukaisesti ensisijaisesti tutkimustyön yhteydessä syntyneeksi *puheenvuoroksi* ja välivaiheeksi prosessiin, jonka tuloksena voidaan odottaa mahdollisimman osuvaa, helppotajuista ja käytännöllistä ohjeistoa kasvatusmetsien puuntuotannollisen tilan kuvaamiseksi ja valvomiseksi.

Selvityksen perimmäisenä tavoitteena ei ole osoittaa vain yhtä oikeata ajouran leveyskäsitettä ja sen mittaustapaa, vaan tarjota ideoita ja koeteltuja vaihtoehtoja kasvatushakkuiden laadunvalvontaohjeita laativille. Tämän objektiivisen tarkastelun lisäksi tekijä ei kuitenkaan malta olla esittelemättä myös eräitä työn yhteydessä kirkastuneita näkemyksiään. Nämä tuodaan esille raportin lopussa uutena ehdotuksena ajouran valvontaleveyden määrittämiseksi.

2 Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

Käsillä oleva julkaisu on erillinen, ajouran leveyteen keskittyvä ja siltä osin laajennettu raportti Isomäen ja Niemistön v. 1990 julkaisemasta tutkimuksesta *Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa*. Mainitussa tutkimuksessa käsiteltiin jo monessa suhteessa riittävästi ajouran leveyskäsitettä, mutta raportissa ei voitu paneutua aiheeseen niin laajasti ja yksityiskohtaisesti kuin mihin kirjallisuusselvitykset ja kerätyt tutkimusaineistot olisivat antaneet mahdollisuuden.

Raportin taustana ovat ennen muuta pohjoismaiset ajouratutkimukset, joissa on esitelty useita variaatioita ajoura-käsitteelle. Tosin tätä käsitettä ei ole juuri missään yhteydessä yksiselitteisesti kuvattu sanallisessa muodossa, mutta se voidaan kuitenkin päätellä niistä työohjeista, joiden mukaan se eri tutkimuksissa ja käytännössäkin on määritelty.

Tutkimus perustuu vain vähäiseltä osalta empiiriseen aineistoon. Sitä on käytetty ainoastaan menetelmien pienimuotoiseen testaukseen ja esittelyyn. Aineiston muodostaa sama yhteispohjoismaiseen ajouratutkimukseen kerätty suomalainen osa-aineisto, johon perustui myös em. Isomäen ja Niemistön julkaisu.

Yhteensä 20 tilapäiskoealaa käsittävä materiaali kerättiin nuorista etelä-suomalaisista kuusikoista 1980-luvun alkupuolella. Koemetsiköiksi valittiin tasarakenteisia metsiköitä, joissa ensiharvennus oli tapahtunut 6–11 vuotta ennen mittausta. Näin ollen harvennuksen ja ajourien avaamisen yhteydessä ei ole voitu mitenkään ennakoita tulevaa tutkimusta.

Kohteet oli valittu hyvin hoidetuista, yleensä viljellen uudistetuihin metsiköistä, joissa harvennus ja siihen liittyvä ajourien avaus ja varsinainen puunkorjuu oli toteutettu ammattitaitoisesti ja huolellisesti. Silmävaraisesti arvioiden ajourat oli kaikissa tutkimuskohteissa pyritty pitämään mahdollisimman kapeina korjuukalustoon nähden ja muutoinkin toteuttamaan ensiharvennus poikkeuksellisen huolellisella ja onnistuneella tavalla.

Koemetsiköihin oli rajattu ajouran suuntaisia, suorakaiteen muotoisia koealoja, joiden ajouran suuntainen pituus oli 25–80 m ja leveys yleensä 30 m (kuva 2). Koealojen yhteispinta-ala oli 17 735 m² ja tutkimuksen kohteena olleiden ajourien kokonaispituus 773 m.

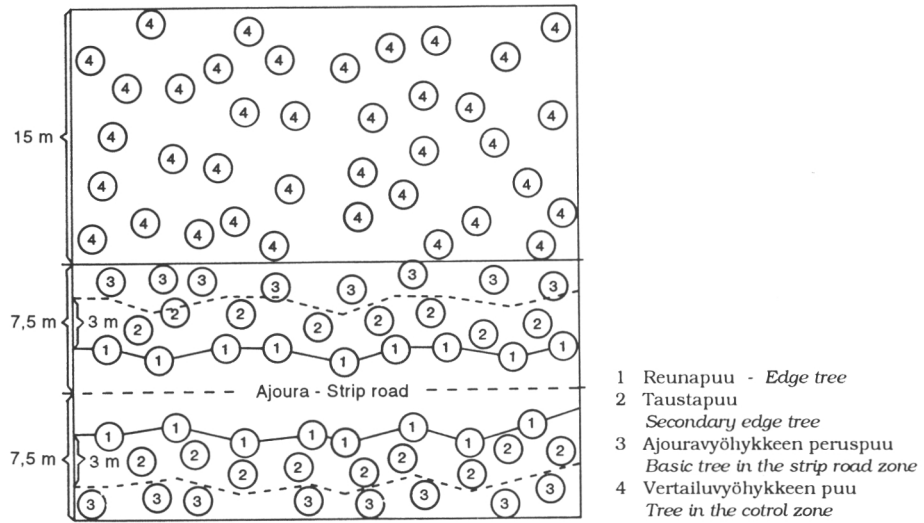
Nyt esiteltävässä tutkimuksessa käytettiin hyväksi ensisijaisesti vain puiden sijaintitietoja. Eräitä ajouran leveyskäsitteitä varten tarvittiin lisäksi puiden kokoa kuvaavia tunnuksia, jotka oli mitattu perusaineiston keruun yhteydessä.

Ajouratilan rajaamiseksi otettiin käyttöön seuraavat uudet käsitteet:

Ajouran reunapuu

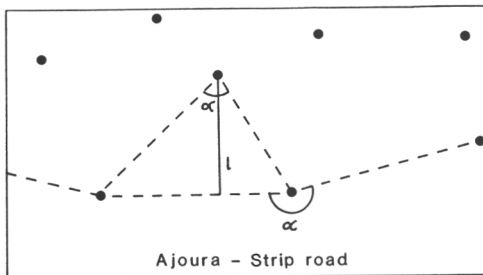
Silmavaraisesti yksilöity puu, joka välittömästi rajoittaa korjuukoneen liikumista ajouratilassa (kuva 2). Reunapuiden sijaintipisteitä yhdistävää murtoviivaa pidetään ajouran *reunaviivana* eli *reunana*.

Puiden sijainti ajouraan nähden on määritetty mm. etäisyytenä ajouran reunasta. Tällä käsitteellä tarkoitetaan kunkin puun sijaintipisteen lyhintä etäisyyttä reunaviivaan (kuva 3).



Kuva 2. Koealat jaettiin rinnakkaisiksi vertailu- ja ajouravyöhykkeiksi, joiden kummankin leveys oli 15 m. Ajouravyöhykkeestä tarkasteltiin erikseen ajouraa sekä ajouran reunavyöhykettä, jolla kasvavat reuna- ja taustapuut.

Figure 2. The sample plots were divided into parallel 15-m-wide control and strip road zones. For more detailed investigations the strip road zone was divided into sub zones, as presented in the layout figure.



Kuva 3. Puiden asema ajouran suhteen määriteltiin sekä ajouran reunaan mitatun etäisyyden (l) että ns. avautumiskulman (α) avulla.

Figure 3. The situation of the trees in respect to the strip road was determined by the distance (l) from the edge line and also by the sector angle (α) opening towards the strip road.

Avautumiskulma

Avautumiskulma ilmaisee kulma-asteina ($^{\circ}$), kuinka laaja naapuripuiden rajoittama sektori kunkin puun kasvutilasta liittyy välittömästi ajoura-aukkoon. Avautumiskulman määrittämisessä otetaan huomioon ainoastaan puiden sijaintipisteet (kuva 3).

Puun sijaintipiste

Puun sijaintipisteellä tarkoitetaan rungon keskiviivan ja maanpinnan tason leikkauspistettä, josta eräissä yhteyksissä on käytetty myös nimitystä *puun syntypiste*.

Reunavyöhyke

Ajouraan rajoittuva tila, jossa kasvavassa puustossa on havaittavissa ajouraukon läsnäolosta aiheutuvia kasvureaktioita. Reunavyöhyke sisältää ajouran reunapuiden lisäksi metsikkökohtaisesti vaihtelevan määrän reunapuiden varjossa ja takana sijaitsevia ns. *taustapuita* (kuva 2).

3 Ajouran leveyskäsitteiden perusrhytmittely

Koska ajouraa ei eroteta ympäristöstään maastoon merkityillä rajoilla, jää sen leveyden määrittelyyn useita mahdollisuuksia. Lähestymistavasta riippuen voidaan puhua esimerkiksi joko ajouran korjuuteknisestä tai puuntuotannollisesta leveydestä (Isomäki & Niemistö, 1990).

Ajouran korjuuteknisessä leveydessä on kysymys joko korjuukoneen tilantarpeesta eli *ajouran tavoiteleveydestä* tai korjuukoneen käytettävissä olevasta koko ajouratilasta, jonka yhteydessä käytetään nimitystä *ajouran ulkoleveys*.

Tavoiteleveyteen verrattuna ulkoleveydessä otetaan huomioon myös reuna-puustoon työntyvät lahdekkeet, jotka ulottuvat tavoitteeksi asetetun ajouratilan ulkopuolelle. Näiden ajouraan liittyvien levennysten koko riippuu ajouran linjauksesta sekä puuston tiheydestä ja tilajärjestyksestä. Ne eivät ole korjuukoneiden liikkumisen kannalta välttämättömiä, mutta ne saattavat monissa tapauksissa helpottaa varsinkin puutavaran valmistukseen ja kuormaukseen liittyviä työvaiheita.

Ajouran puuntuotannollisella leveydellä pyritään ilmentämään ensisijaisesti ajouran vaikutusta puuston kasvuun ja tuotokseen. Vaikutusta arvioitaessa ei oteta huomioon maan tiivistymistä eikä maahan syntyviä raiteita sen enempää kuin puustolle aiheutettuja mekaanisia vaurioita tai hakkuutähteiden lannoitusvaikutustakaan, vaikka kaikilla näillä seikoilla on liittymäkohtia ajouran olemassaoloon ja ne vaikuttavat puuston kasvuun ja tuotokseen.

Jos ajouran puuntuotannollinen leveys määritellään ajouralta poistetun puuston perusteella, voidaan puhua *ajouran puustoleveydestä* ja jos taas arvio perustuu kasvutilan menetykseen eli puuntuotannon ulkopuolelle jäävän kasvutilan määritykseen, ajouran leveydestä käytetään nimitystä *ajouran sisäleveys* (Isomäki & Niemistö, 1990).

Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa on kehitetty useita ajouran määritys- ja mittaustapoja, jotka voidaan luokitella em. pääryhmiin. Kappaleissa 4 ja 5 esitellään näistä menetelmistä tunnetuimmat edellä kuvatun pääryhmittelyn mukaisesti jäsennettyinä. Kukin menetelmävariaatio on nimetty ensisijaisesti kehittäjänsä tai kehittäjiensä mukaan ja ne esitellään jonkin verran menetelmien keskinäistä suhdetta kuvaavassa julkitulo-järjestyksessä.

4 Korjuutekniset leveyskäsitteet

4.1 Tavoiteleveys

Ajouran tavoiteleveys kuvaa työkoneen tarvitsemaa kulku- ja työskentelytilaa. Eräs tavoiteleveyden arvo löytyy yleensä leimikon suunnitteluohjeesta. Siihen pyritään riippumatta leimikon tiheydestä tai puuston tilajärjestyksestä. Koska tämä luku on vain leimikon suunnittelijan ennakoarvio, ei sitä voida kuitenkaan pitää minään keskeisenä ja tärkeänä tekijänä kasvatushakkuiden laadullisessa valvonnassa. Nyt esiteltävässä tutkimuksessa keskitytäänkin niihin tavoiteleveyden määrittystapoihin, jotka perustuvat puuston ja ajouratilan jälkikäteiseen tarkasteluun.

Tavoiteleveyttä määritettäessä lähdetään siitä, ettei puuston epätasaisesta jakautumisesta johtuvia levennyksiä ajouran reunassa lueta mukaan ajouran leveyttä arvioitaessa. Koska nämä levennykset kuitenkin ovat olemassa ja ne liittyvät saumattomasti ajouratilaan, ei tavoiteleveyttä voida konkreettisesti ja yksiselitteisesti maastossa osoittaa.

Korjuukoneen tilantarpeen kannalta on oleellista, ettei kasvamaan jäävä puusto estä tai kohtuuttomasti vaikeuta korjuukoneiden liikkumista ja työskentelyä maastossa. Toisaalta, korjuun edellytetään taas tapahtuvan siten, ettei kasvavaa puustoa vaurioiteta sen yhteydessä.

Ajourien yksityiskohtaisessa suunnittelussa tulisi ottaa huomioon korjuukoneen ulkomitat, raideleveys, kääntösäde, ketteryys, maavara, voimansiirto ja muut maasto-ominaisuuksien osatekijät. Koska ajouraa käytetään kuljetuksen lisäksi kuormaukseen ja yhä lisääntyvässä määrin myös hakkukoneiden työskentelytilana, on ajourien suunnittelussa arvioitava peruskoneen ohella myös kuormaimen ja hakkuuyksikön ulottuvuudet ja liikeradat. Konekohtaisten tekijöiden lisäksi on otettava huomioon maaston asettamat rajoitukset. Niiden merkitys riippuu sekä kuljetuskalustosta että sääolosuhteista.

Itse työkoneen tilantarpeeseen vaikuttavat työkoneen leveys, pituus, kääntösäde ja kulkuominaisuudet sekä maaston kaltevuus, maastoesteet ja keliolosuhteet. Myös kuljetettavan puutavaran pituus vaikuttaa ajouran vähimmäisleveyteen. Korjuukoneen tilantarvetta ei voida pitää kaikissa tilanteissa edes samassakaan leimikossa vakiona. Suoraan etenemiseen tasaisella alustalla korjuukone tarvitsee vähiten sivusuuntaista tilaa. Kaarteet ja pienesteiden väistelyyn tarvittavat mutkat, samoin kuin kallistusta aiheuttavat epätasaisuudet ja sivukaltevuus sekä maan huono kantavuus lisäävät korjuukoneen paikallista tilantarvetta. Maan kantavuus, juuriston pinnallisuus ja korjuukoneen ominai-

suudet vaikuttavat myös juuristovaurioiden määrään ja kokoon, joten nekin tulisi ottaa huomioon ajouran paikallista tavoitelevyettä määritettäessä. Kun lisäksi muistetaan, että korjuukoneet tarvitsevat oman kulkemisensa ohella myös työskentelytilaa, ei ajouran tavoitelevyettä voida pitää yksiselitteisenä ja vain korjuukoneesta riippuvana suureena.

On selvää, ettei ajouran suunnittelija voi kaikkia edellä lueteltuja seikkoja ottaa huomioon täydellisesti ja tasapainoisesti. Yleensä hänen on työskenneltävä nopeasti, ilman tarkkoja mittauksia ja puukohtaisia kartoituksia leimikko-oloissa, joissa näkyvyys saattaa ennen harvennusta olla hyvinkin keho. Suunnitteluvaiheessa puuttuu useissa tapauksissa myös lopullinen tieto käytettävästä korjuukalustosta. Näin ollen ajouran leveys riippuu oleellisesti suunnittelijan ja hakkuutyön toteuttajan tilannekohtaisesta harkinnasta.

4.1.1 Sondellin eli Skogarbetenin menetelmä

Ruotsalaisen metsätyön tutkimusorganisaation, Forskningsstiftelsen Skogarbetenin, nykyisin Skogsforsk, tutkija Jan Sondell kehitti 1970-luvun alkupuolella menetelmän *käytännöllisen ajouraleveyden* mittaamiseksi (Sondell 1974). Hänen mukaansa puuston epätasaisen tilajärjestyksen vuoksi ei ole olemassa todellista, maastossa osoitettavaa ajouran reunaa. Sondell päätyi pohdiskeluissaan siihen, että ajouran leveys voidaan määrittää ajouran kummallakin puolella sijaitsevien lähimpien puiden avulla. Tämän periaatteen mukaan hän kehitti käytännön mittausmenetelmäksi soveltuvan menetelmän, joka muodostuu seuraavista työvaiheista (kuva 4):

1. Määritetään metsikön harvennuksen jälkeinen keskimääräinen tiheys, (runkoluku kpl/ha) ja lasketaan tästä puiden välinen keskietäisyys neljään lähimpään naapuriinsa kaavalla:

$$(1) \quad L_q = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

L_q = puiden välinen keskietäisyys, m

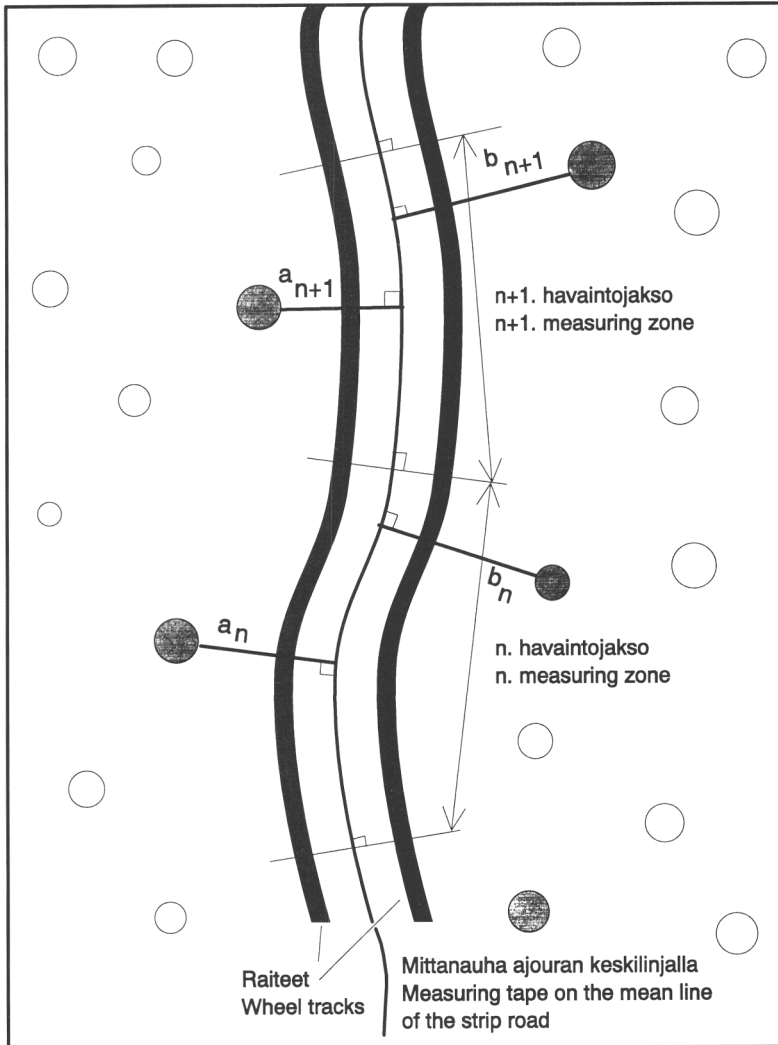
N = puuston tiheys, kpl/ha

2. Ajouran leveys määritetään mittausjaksoittain. Mittaus- eli havaintojakson pituus saadaan kertomalla puiden välinen keskietäisyys luvulla kolme (3). Tulo pyöristetään tasaavasti lähimpään puolen metrin arvoon. Esimerkiksi runkoluvulla 700 kpl/ha mittausjakson pituudeksi tulee 11 m, runkoluvulla 900 kpl/ha mittausjakso on 10 m jne.

3. Mittanauha asetetaan keskelle ajouraa. Mikäli maassa on raiteet, asetetaan mittanauha niiden väliselle keskiviivalle. Huolehditaan siitä, että mittanauha seuraa mahdollisimman tarkoin ajouran kaarteita.

4. Jokaisella havaintojaksolla mitataan kohtisuora etäisyys mittanauhasta lähimpään puuhun ajouran kummallakin puolella. Näiden etäisyyksien summaa pidetään ajouran tavoiteleveytenä kyseisellä jaksolla.

Ajouran keskimääräinen tavoiteleveys saadaan havaintojaksojen leveysarvojen keskiarvona.



Kuva 4. Tavoiteleveys Sondellin menetelmän mukaan. Skogsarbeten 1974.
Figure 4. Target width according to the Sondell method, Skogsarbeten 1974.

Sondellin kehittämän menetelmän etuna on helppo mittaustyö ja yksinkertainen laskenta. Menetelmän suurimpana heikkoutena voidaan pitää puolestaan sitä, ettei menetelmä riittävästi huomioi metsikön luontaista aukkoisuutta. Epätasaisessa puustossa menetelmän katsotaan antavan ajouran tavoitelevyydelle liian suuria arvoja, ts. näin määritelty ajouran leveys on suurempi kuin korjuukone välttämättä näissä olosuhteissa vaatisi ja mitä puita poistamalla itse asiassa on aiheutettu.

Menetelmän toinen puute liittyy ajouran keskilinjan määrittämiseen. Maastossa on usein vaikeaa määrittää ajouran oikea kulkusuunta. Koska ajouran keskilinja määritetään silmävaraisesti, ei menetelmän antamaa tulosta voida pitää täysin objektiivisena.

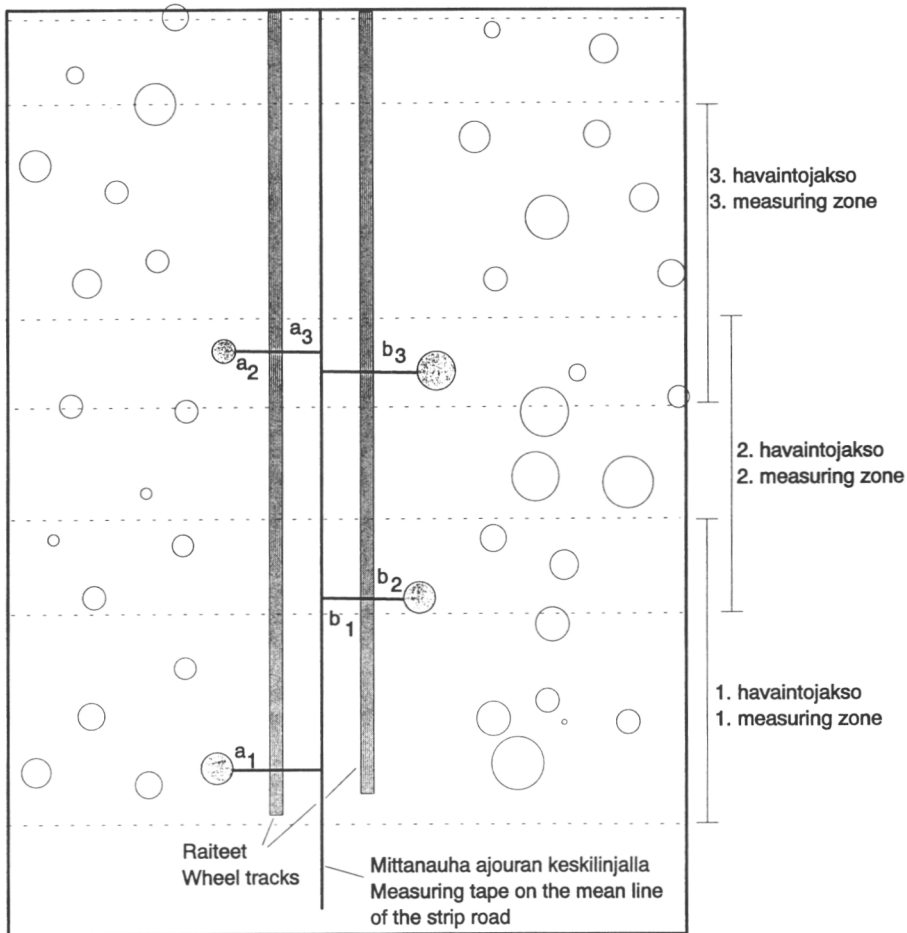
4.1.2 Arvidssonin ja Knutellin menetelmä

Ruotsin Maatalousyliopiston eli SLUn metsäteknologian laitoksen tutkijat Arvidsson ja Knutell käyttivät Sondellin kehittämää menetelmää omassa tutkimuksessaan (1977). He sovelsivat Sondellin menetelmää siten muutettuna, että mittauskohteena olevaa ajoura-aluetta ei jaettu toisistaan erillään oleviin, peräkkäisiin havaintojaksoihin, vaan jaksot limitettiin kuvan 5 mukaisesti. Peiton avulla saatiin mittausaineistosta poistettua osa poikkeuksellisen suurista leveyshavainnoista.

Lisäksi Arvidssonin ja Knutellin menetelmässä poistettiin sellaiset havainnot, joissa lähimmän puun etäisyys ajouran keskilinjasta oli yli kaksinkertainen puiden väliseen keskietäisyyteen verrattuna. Myös tällä menettelyllä pyrittiin alentamaan ajouran leveyden lukuarvoa tilajärjestykseltään epätasaisissa metsissä.

Muilta ominaisuuksiltaan Arvidssonin ja Knutellin menetelmä vastaa Sondellin kehittämää työtappaa. Esimerkiksi havaintojaksojen pituus määritetään molemmissa menetelmissä samalla tavalla eli kolminkertaiseksi puiden väliseen keskietäisyyteen verrattuna.

Arvidsson ja Knutell saivat vähennettyä Sondellin menetelmälle ominaista ajouran leveyden yliarviota, mutta muihin kyseisen menetelmän puutteisiin muutoksilla ei ollut vaikutusta. Ongelmana oli edelleen ajouran keskilinjan määrittäminen.



Kuva 5. Tavoiteleveys Arvidssonin ja Knutellin menetelmän mukaan. Skogshögskolan 1977.
Figure 5. Target width according to the Arvidsson and Knutell method. Skogshögskolan 1977.

4.1.3 Buchtin menetelmä

SLUn metsänhoitotieteen laitoksen tutkija Stefan Bucht (1978 ja 1981) on pyrkinyt määrittämään *kulkukelpoisuutta rajoittavan ajouraleveyden*. Tätä voidaan pitää yhteneväisenä nyt esillä olevan ajouran tavoiteleveys-käsitteen kanssa.

Bucht määritteli ajouran leveyden kahdella eri tavalla. Toinen edellyttää puuston kartoitusta ja soveltuu lähinnä vain tutkimuskäyttöön. Toinen on tarkoitettu käytännölliseen, vain maastotyötä edellyttävään arviointiin.

Buchtin menetelmään liittyy myös ajouran keskilinjan objektiivinen määrittäminen. Tätä varten valitaan ajouran vastakkaisilta puolilta puuparit, jotka eivät saa sijaita yhtä metriä etäämmällä silmävaraisesti arvioidusta ajouran reunaviivasta. Uran vastakkaisilla puolilla sijaitsevat reunapuut muodostavat puuparin, jos niiden etäisyys toisistaan on ajouran suunnassa vähemmän kuin kaksi metriä. Ajouran keskilinja muodostuu murtoviivasta, joka kulkee näin määritettyjen puuparien välisten yhdysjanojen keskipisteiden kautta.

Kun ajouran keskilinja on määritetty, mitataan tämän keskilinjan jokaista suoraa jaksoa kohti etäisyys kahteen sitä lähinnä sijaitsevaan puuhun. Puut voivat sijaita kummalla puolella tahansa ajouraa. Ajouran leveytenä ko. havaintojaksolla pidetään näiden etäisyyksien summaa. Tässä menetelmässä ajouran reunana pidetään keskilinjan suuntaisia viivoja sen kummallakin puolella, jotka sijaitsevat edellä kuvatulla tavalla lasketun ajouraleveyden puolikkaan etäisyydellä keskilinjasta.

Yksinkertaisemmassa maastomenetelmässä keskitytään ainoastaan ajouran leveyden määrittämiseen eikä lainkaan ajouran reunaviivan sijaintiin. Ajouran leveys määritetään tässä menetelmässä reunapuiden muodostamien kapeikkojen avulla (kuva 6). Bucht lähtee siitä, että kapein kohta, jossa vastakkain sijaitsevat reunapuut rajoittavat metsäkoneen liikkumista, ilmentää parhaiten korjuukoneen tarvitsemää ajouratilaa. Hänen mukaansa ajouran suurempi leveys muualla ei johdu ajourasta itsestään vaan metsikön luontaisesta aukkoisuudesta ja valikoivasta harvennuksesta. — Vastakkain sijaitsevat reunapuut muodostavat tavallaan portin, jonka läpi työkoneen on kuljettava.

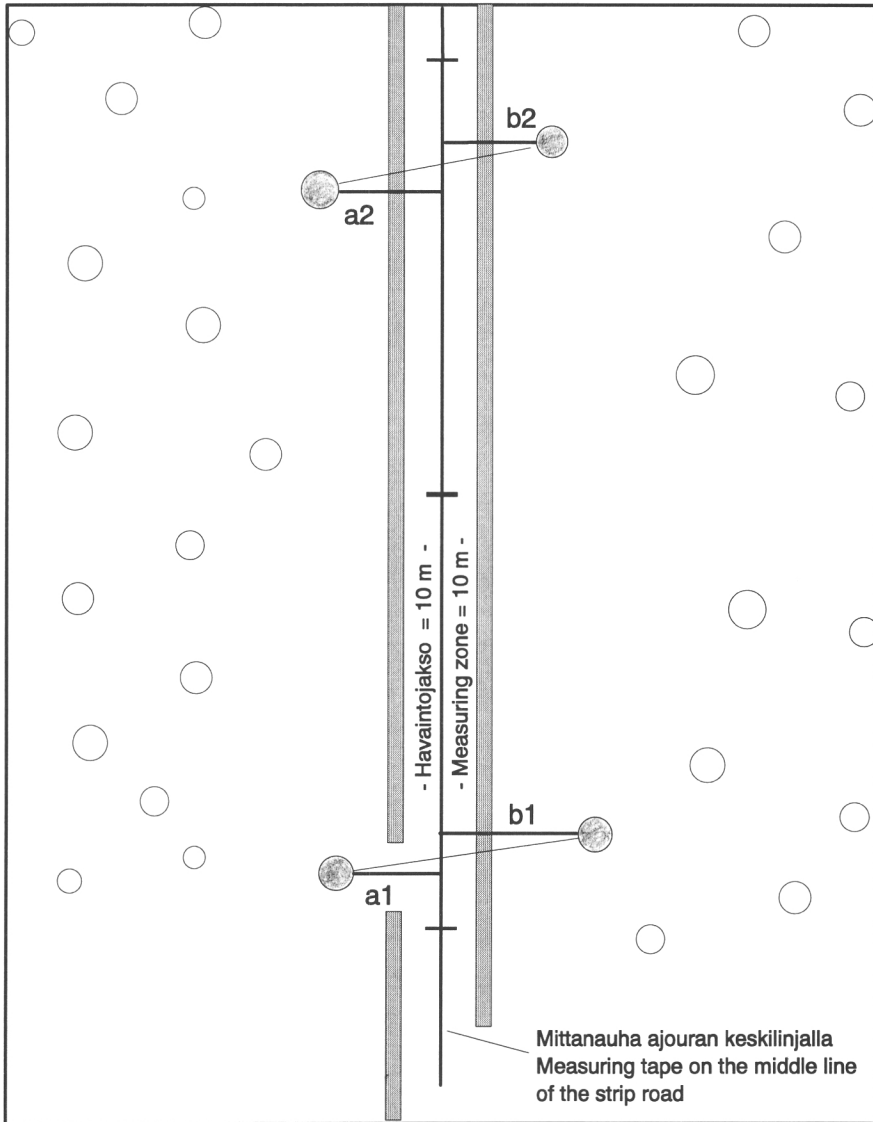
Keskeisin ero aiemmin kuvattuihin tavoitelevyyden määrittämissä verrattuna on siinä, että Bucht satoi ajouran vastakkaisilla puolilla sijaitsevat puut toisiinsa (kuva 6).

Tutkimuskäyttöön soveltuvan, työläämmän menetelmän etuna on se, että siinä määritetään ajouran keskilinja objektiivisesti. Maastomenetelmässä ajouran keskilinjan määrittäminen tapahtuu sitä vastoin silmävaraisesti ja on näin toteutettuna altis kontrolloimattomille virheille. Tämä on ongelmallista, koska keskilinjan sijainti vaikuttaa merkittävästi ajouran leveysarvoon.

Sovellattuna 18 koemetsikköön Buchtin menetelmällä saatiin keskimäärin 0,6 metriä pienempiä ajouraleveyden arvoja kuin Sondellin menetelmällä (Bucht 1981). Buchtin oman arvion mukaan normaaleissa talousmetsissä ero olisi ollut suurempi, sillä testiaineistossa koealapuustot olivat tasaisia eikä niissä esiintynyt lainkaan aukkoisuutta.

Koska Buchtin menetelmässä ajouran leveys määritetään kapeimpien kohtien mukaisesti, se ilmeisesti antaa ajouran tavoiteleveydelle liian pieniä arvoja.

— Onhan tunnettua, että ajettaessa suoraan eteenpäin helpposa maaston kohdassa työkoneen tarvitsema tila on merkittävästi pienempi kuin mutkassa tai epätasaisella alustalla. Menetelmässä ei oteta myöskään huomioon sitä ylimääräistä tilantarvetta, joka liittyy puutavaran kuormaukseen ja nykyisin yhä yleisempään puutavaran koneelliseen kaatoon ja valmistukseen.



Kuva 6. Tavoiteleveys Buchtin menetelmän mukaan. Skogshögskolan 1981.
Figure 6. Target width according to the Bucht method, Skogshögskolan 1981.

4.1.4 Digglen ja Knutellin ns. Kniggle-menetelmä

Olessaan 1970-luvun lopulla vierailevana tutkijana senaikaisen Ruotsin Kuninkaallisen Metsäkorkeakoulun, eli nykyisen SLUn metsäteknologian laitoksessa englantilainen tilastotieteilijä Peter Diggle kehitti yhdessä isäntälaitoksensa tutkijan Hans Knutellin kanssa tilastomatematiikkaan perustuvan ajouran leveyden määrittystavan, jota he alkoivat kutsua Kniggle-menetelmäksi (Diggle ja Knutell 1979).

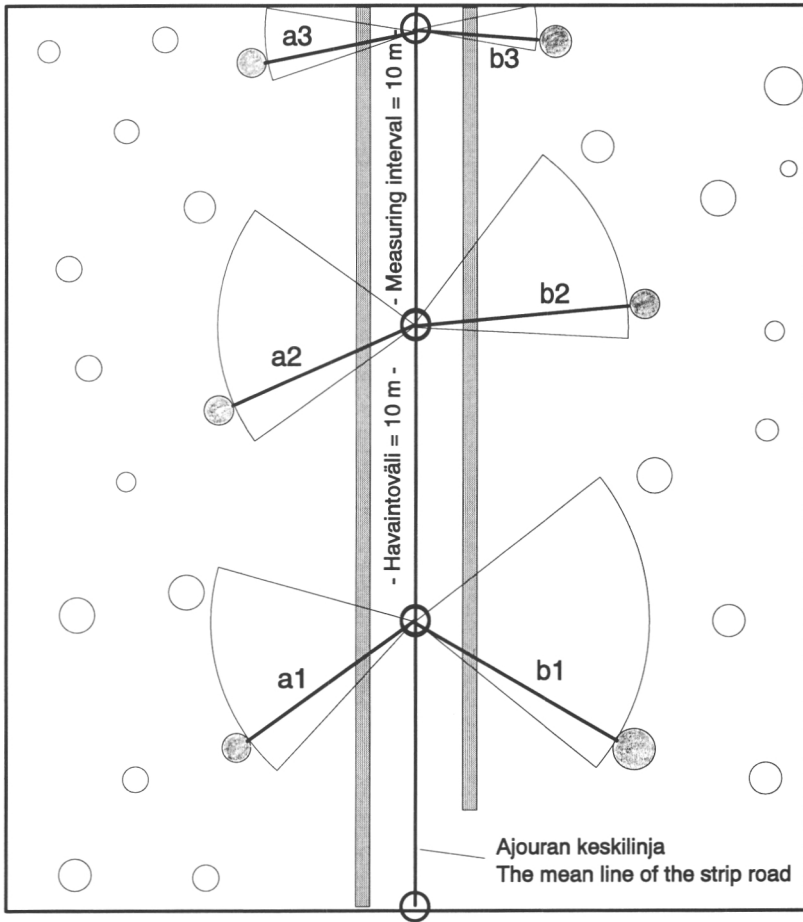
Aikaisemmissä tavoitelevyyden mittaamenetelmissä joko ajouran reuna tai ajouran keskilinja oli määritettävä harkinnanvaraisesti. Kniggle-menetelmässä ei ole mitään harkinnanvaraista työvaihetta, vaan se perustuu yksiselitteisiin, mitattuihin tunnuksiin. Tätä voidaan pitää menetelmän suurena periaatteellisena etuna. Samalla menetelmä antaa likiarvon ajouran reunavyöhykkeen puuston tiheydelle.

Kniggle-menetelmään liittyvä maastotyö toteutetaan seuraavasti (kuva 7):

- Mittaaja kulkee silmävaraisesti määriteltyä ajouran keskilinjaa.
- Havaintopisteet valitaan satunnaisesti esimerkiksi 10 m välein.
- Mitataan etäisyydet havaintopisteestä ajouran kummallakin puolella sijaitsevaan lähimpään puuhun.
- Mittauspisteiden on sijaittava siten, ettei samaa puuta mitata kahdesti.
- Leimikosta mitataan 15–20 parittaista havaintoa, joiden avulla ajouran tavoiteveys lasketaan joko tietokoneella tai taulukoiden ja taskulaskimen avulla.

Kniggle-menetelmä perustuu olettamukseen, että puut sijaitsevat Poisson-jakauman mukaisessa tilajärjestyksessä ja että ajouralta, joka sijaitsee havaintopisteeseen nähden tunnetussa suunnassa, on poistettu kaikki puut. Edellä kerrotulla tavalla aikaansaadusta puiden etäisyysjakaumasta määritetään ajouran leveys ja samalla myös likiarvo reunapuuston tiheydelle (kuva 7).

Leveys- ja tiheystunnusten johtamiseksi on kehitetty kaksi laskentarutiinia. Suurimman uskottavuuden menetelmä (*maximum likelihood*) antaa matemaattisesti tarkemman tuloksen kuin momenttimenetelmä, mutta sen käyttö vaatii tietokonetta. Momenttimenetelmä on käyttökelpoinen, jos tulokset halutaan laskea jo maastossa tai työhön ei voida käyttää tietokonetta. Myös momenttimenetelmää varten on edullista käyttää valmista mikrotietokoneohjelmaa, mutta tulokset voidaan johtaa myös käsinlaskennalla kahta aputaulukkoa hyväksi käyttäen (Diggle ja Knutell 1979, Lilleberg 1984).



Kuva 7. Tavoiteleveys Knutellin ja Digglen kehittämän ns. Kniggle-menetelmän mukaan. Skogshögskolan 1979.
 Figure 7. Target width according to the Kniggle-method created by Knutell and Diggle, Skogshögskolan 1979.

Kniggle-menetelmän etuna on kaikkien tunnusten helppo mittaaminen ja mittausten objektiivisuus. Menetelmän haittana voidaan puolestaan pitää hankalaa laskentaa ja ajouran leveyskäsitteen abstraktisuutta. Menetelmän missään vaiheessa ei määritetä sellaista ajouran reunaviivaa, joka olisi maastossa osoitettavissa. Myös laskennan *liian korkeatasoinen matematiikka* on haitannut menetelmän omaksumista.

Todettakoon, ettei Kniggle-menetelmä ole saanut Ruotsissa eikä edes sen kehittäneen Metsäkorkeakoulun tai sen nykyisen seuraajan, Ruotsin Maatalousyliopiston (SLU) piirissä sellaista varauksetonta hyväksyntää, että sitä käytettäisiin edes tutkimustarkoituksiin. Suomessa menetelmää on käytetty Metsäkeskus Tapion ja Skogscentralen Skogskulturin toteuttamissa harvennus-

hakkuun korjuujälkiselvityksissä vuosina 1990–1992. Näihin liittyvässä, työmentelmien tarkkuutta käsittelevässä raportissa (Poikela 1992) todetaan, ettei Kniggle-menetelmä antanut kaikissa tilanteissa, varsinkaan harvoissa metsissä, johdonmukaisesti muuttuvia leveysarvoja, kun mittaushavaintoja kontrolloidusti muutettiin.

4.1.5 Björhedenin ja Frödingin menetelmä

Ruotsin Maatalousyliopiston, SLUn, metsäteknologian laitoksen tutkijat Rolf Björheden ja Anders Fröding laativat vuoden 1985 aikana käytäntöön sovellettavan työohjeen harvennusten korjuujäljen arviointia varten (Björheden ja Fröding 1986). Alkusanoinaan tekijät toteavat, että ohjeissa on pyritty löytämään työkustannuksiltaan mahdollisimman tehokkaat arviointimenetelmät.

Työohjeen mukaan harvennuksen jälkeinen puuston tiheys, samoin kuin harvennusaste, harvennusvalinnan osuvuus ja puuston vaurioituminen arvioidaan koko metsikköä peittävän systemaattisen koealaverkon avulla. Ajourien tarkastelu tapahtuu koealakohtaisesti siten, että kunkin koealan keskipisteestä siirrytään lähimmän ajouran keskilinjalle kohtisuorassa tämän yleissuuntaa vasten. Ajouran keskilinjalta etsitään siis piste, joka on lähinnä varsinaisen metsikkökoealan keskipistettä. Ajouran leveys ja raiteiden syvyys määritetään 10 m:n matkalta tämän pisteen kummaltakin puolelta eli yhteensä 20 m:n matkalta (kuva 8).

Ajouran leveyden määrittämiseksi mitataan etäisyys ajouran keskiviivasta lähimpään puuhun ajouran kummallakin puolella. Etäisyyksien summaa pidetään ajouran leveytenä ko. 20 m:n havaintojaksolla.

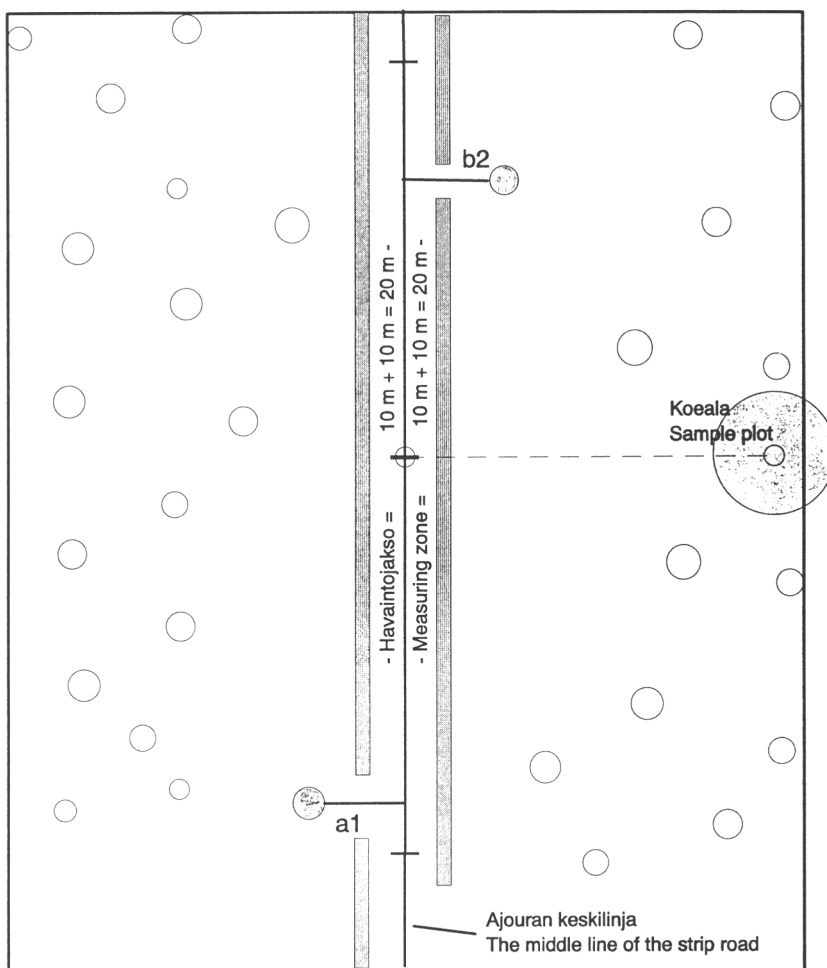
Ajouran keskilinjana pidetään raiteiden ulommaisten rajaviivojen välistä keskilinjaa. Etäisyydet mitataan ajouran keskilinjaan nähden kohtisuorassa valiten puusta lähin piste kaatoleikkauksen tasossa.

Björhedenin ja Frödingin menetelmä on perusajatukseltaan sama kuin Sondellin (1974) eli Skogsarbetenin menetelmä. Erona on vain se, että Sondellin menetelmässä havaintojakson pituus määräytyi puuston tiheyden perusteella kun se tässä uudemmassa menetelmässä on ennalta määritetty 20 metriksi. Tavanomaisissa ensiharvennuskohteissa tämä on jopa yli kaksinkertainen Sondellin työmenetelmän havaintojaksoihin verrattuna.

Havaintojakson eron vuoksi ajouralle saadaan Björhedenin ja Frödingin menetelmällä järjestelmällisesti alhaisempia arvoja kuin Sondellin menetelmällä. Sama koskee myös Arvidssonin ja Knutellin menetelmää, jossa *ylisuuria*

etäisyshavaintoja pyritään vähentämään sijoittamalla peräkkäiset havaintojaksot toistensa suhteen limittäin.

Myös Buchtin (1981) esittämään ajouran leveyden määritysmenetelmään verrattuna Björhedenin ja Frödingin työohjeilla päädytään järjestelmällisesti alhaisempiin ajouran levysarvoihin. Tämä johtuu toisaalta siitä, että Buchtin menetelmässä käytetään 10 m:n havaintojaksoa ja toisaalta myös siitä, että Buchtin menetelmässä ei valita yksittäisiä puuta ajouran kummaltakin puolelta vaan puupari, joka muodostaa korjuukoneen etenemistä ja ajouralla työskentelyä eniten rajoittavan kapeikon ko. havaintojaksolla. Toki Buchtin menetelmässä ajouran leveyden määrittämiseen valitut kaksi puuta saattavat olla myös *ajouran keskilinjaan nähden lähimpiä puuta*, mutta ne eivät ole sellaisia kaikissa tapauksissa.



Kuva 8. Tavoiteleveys Björhedenin ja Frödingin menetelmän mukaan. SLU 1986.
Figure 8. Target width according to the Björheden and Fröding method, SLU 1986.

4.2 Ulkoleveys

Ajouran ulkoleveydellä tarkoitetaan korjuukoneen käytettävissä olevan koko ajouratilan keskileveyttä. Käsitteenä ulkoleveys vastannee parhaiten sitä mielikuvaa ajouran leveydestä, joka asiaan perehtymättömälle syntyy, kun hän tarkastelee aitoa ajouraa maastossa. Ajouran ulkoleveyttä määritettäessä otetaan huomioon ainoastaan ajouraa reunustava puusto.

Jos ajatellaan korjuukoneen omaa liikkumista ja korjuukoneeseen liittyvän kuormaimen tai kaato- ja prosessoriyksikön liikeratoja sekä korjattavan puun ja taakan liikutteluun tarvittavaa tilaa, voitaisiin ulkoleveyden mukainen ajouratila määritellä loputtomasti vaihtelevilla säännöillä. Käytännössä on päädytty kuitenkin vain yhteen päätarkaisuun, jossa ajouran reunana pidetään reunapuiden sijaintipisteiden kautta kulkevaa murtoviivaa ja ajouran leveytenä näin määritetyn ajouratilan keskileveyttä.

Tästä päätarkaisusta on kirjattu kolme sovellusta: ruotsalainen Carlestålin ja Dehlénin menetelmä, norjalainen Tørån menetelmä ja suomalaisten Isomäen ja Niemistön kehittämä menetelmä. Näiden lisäksi seuraavassa esitellään aikaisemmin julkistamaton HaRu-menetelmä, jonka on kehittänyt metsänhoitaja Harri Rumpunen Metsätehon tutkijana toimiessaan.

4.2.1 Carlestålin ja Dehlénin menetelmä

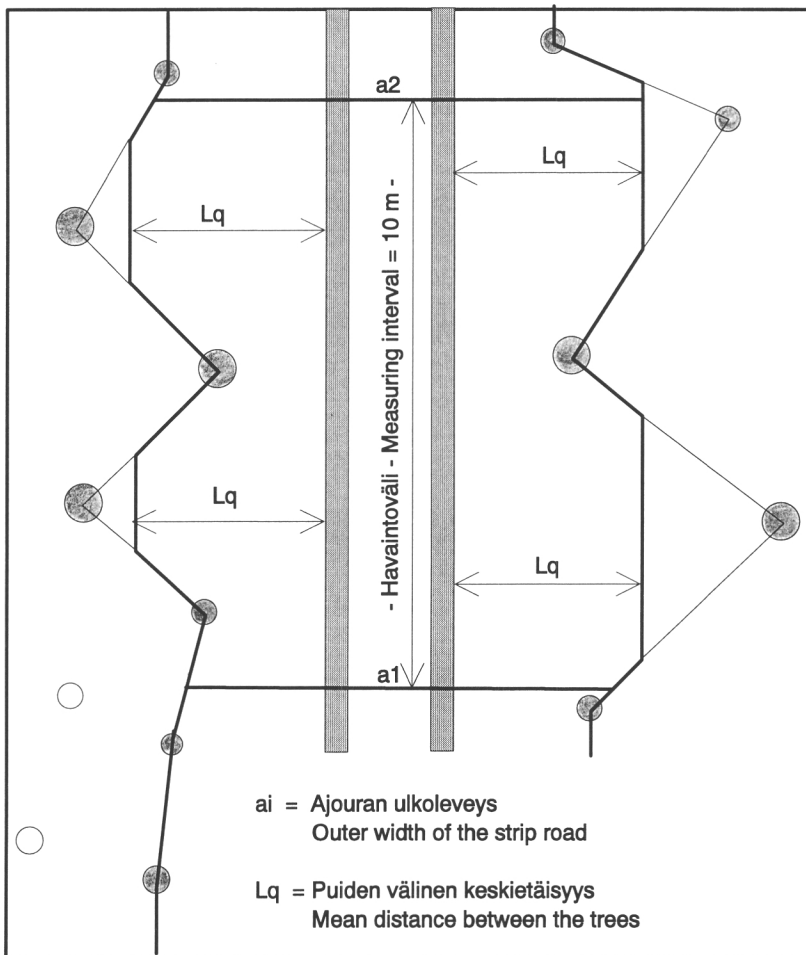
Carlestål ja Dehlén (1977) vertasivat tavanomaista kuormatraktorikuljetusta ja siihen liittyvää ajouraverkkoa vinssaukseen ja toisaalta norjalaisvalmisteisella Trabant-minitraktorilla tapahtuvaan puunkorjuuseen. Tässä tutkimuksessa he määrittivät ajouran leveyden reunapuiden kautta kulkevien murtoviivojen avulla (kuva 9). Ajouran leveys mitattiin 10 m välein.

Reunapuiden valinnassa Carlestål ja Dehlén noudattivat subjektiivista harkintaa, ts. se perustui silmävaraiseen arviointiin. Mikäli ajouratilaan liittyi korjuukoneen kannalta ylisuuria levennyksiä, ne rajattiin ajouratilan ulkopuolelle. Näissä kohdissa reunaviivan tulkittiin kulkevan ajouran suuntaisena ja puiden välisen keskietäisyyden mukaisella etäisyydellä korjuukoneen jättämän raiteen ulkoreunasta (kuva 9). Puiden välinen keskietäisyys johdettiin puuston tiheydestä samalla tavalla kuin aikaisemmin esitetyssä Sondellin menetelmässä (kaava 1, sivu 16).

Reunapuiksi luettiin siis puut, joiden etäisyys lähimmän raiteen ulkoreunasta oli pienempi kuin puiden keskimääräinen etäisyys metsikössä harvennuksen

jälkeen (L_q). Jos puun etäisyys lähimmästä raiteesta oli suurempi kuin L_q , tämän katsottiin johtuvan puuston epätasaisesta tilajärjestyksestä eikä ajouran olemassaolosta.

Carlestålin ja Dehlénin menetelmää käytettäessä reunapuun määrittely tapahtuu silmävaraisesti, mutta sen tueksi on kuitenkin kehitetty edellä esitetty etäisyyskriteeri. Menetelmän heikkoutena voidaan pitää sitä, että leimikon tiheys sekä käytetyn työkonene raideleveys ja jopa rengaskoko vaikuttavat reunapuiden valintaan. Ongelmia syntyy myös silloin, kun samaa ajouraa ajetaan useita kertoja.



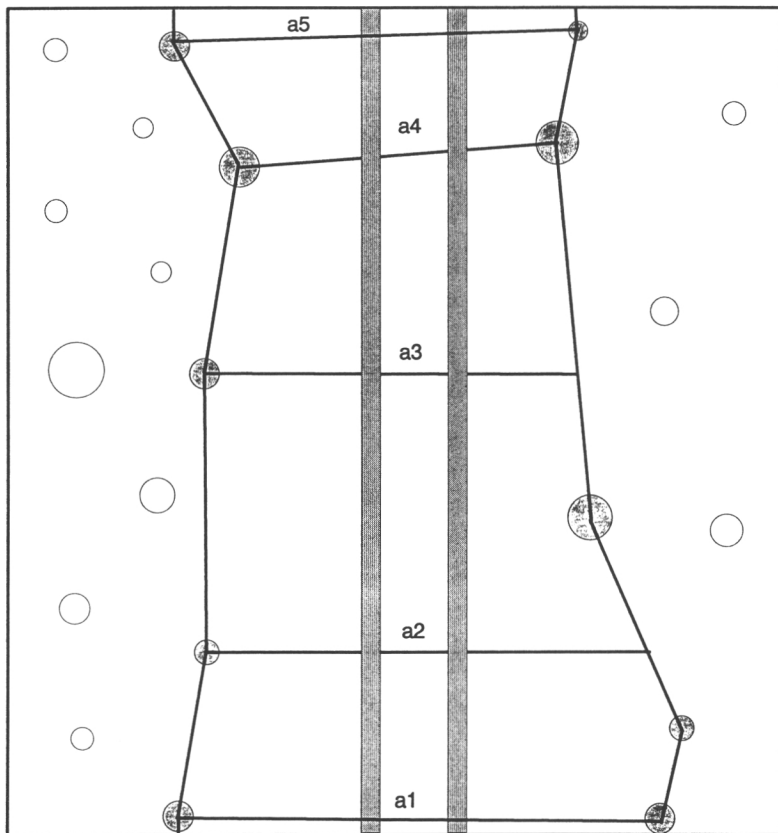
Kuva 9. Ulkoleveys Carlestålin ja Dehlénin menetelmän mukaan. Skogshögskolan 1977.
Figure 9. Outer width according to the Carlestål and Dehlén method, Skogshögskolan 1977.

4.2.2 Tørån eli NISKin menetelmä

Norjan Metsäntutkimuslaitoksen NISKin puuntuotostutkija Gunnar Dag Tørå (1978) määritteli ajouran leveyden ulkoleveyskäsitteen mukaisesti. Hän mittasi ajouran vastakkaisilla puolilla sijaitsevien puiden välisiä etäisyyksiä ja laski näiden etäisyyksien keskiarvon, jota hän piti ajouran leveytenä (kuva 10).

Mikäli jonkin puun kohdalla ei esiintynyt vastinpuuta ajouran toisella puolella, hän mittasi etäisyyden kahden peräkkäin sijaitsevan puun väliseen yhdysjanaan kuvan 10 mukaisesti. Oleellista tässä työmenetelmässä on, että leveyshavainnot tehdään ajouran pääsuuntaa vastaan kohtisuorassa. Mikäli tästä säännöstä poiketaan, ajouran leveydelle saadaan systemaattisesti liian suuria lukuarvoja.

Myös Tørån menetelmässä reunapuut määritettiin vain silmänvaraisesti, mikä on omiaan heikentämään mittauksen toistettavuutta.



Kuva 10. Ulkoleveys Tørån menetelmän mukaan. NISK 1978.
Figure 10. Outer width according to the Tørå method, NISK 1978.

4.2.3 Isomäen ja Niemistön menetelmä

Isomäki ja Niemistö ovat määritelleet ajouratutkimuksissaan puiden sijainnin ajouraan nähden ns. avautumiskulman avulla. Avautumiskulma ilmaisee kulma-asteina ($^{\circ}$), kuinka suuri sektori puun kasvutilasta liittyy välittömästi ajouraukkoon (kuva 3). Avautumiskulma määritetään vierekkäisten reunapuiden avulla ja määrittämisessä huomioidaan ainoastaan puiden sijaintipisteet. Sijaintipisteellä puolestaan tarkoitetaan rungon pysty akselin ja maanpinnan välistä leikkauspistettä. Isomäki ja Niemistö päätyivät ratkaisuun, jonka mukaan puu luokitellaan ajouran reunapuuksi, jos sen avautumiskulma on suurempi tai yhtä suuri kuin 120° .

Ajouran leveyteen vaikuttaa suoraan se, kuinka suuri raja-arvo avautumiskulmalle annetaan. Avautumiskulman raja-arvon alentaminen merkitsee ajouran ulkoleveysarvon kasvua ja vastaavasti avautumiskulman raja-arvon kohottaminen alentaa ajouran ulkoleveyttä (kuva 11).

Isomäki ja Niemistö (1990) ovat todenneet, että niiden puiden kasvussa, joiden avautumiskulma on vähintään 120° , ajouran reunavaikutus on selvästi voimakkaampi kuin tätä pienemmän avautumiskulman omaavilla puilla. Korjuuteknisessä mielessä avautumiskulman raja-arvo voisi olla pienempikin, sillä esim. kuormauksen yhteydessä voidaan käyttää hyväksi ahtaitakin ajouraan liittyviä levennyksiä. Reunapuun määrittäminen avautumiskulman avulla ja sen raja-arvon valinta 120° :ksi perustuu yksinomaan tutkijoiden henkilökohtaiseen harkintaan. Menettelyllä on pyritty pääsemään mahdollisimman objektiiviseen ja yksiselitteiseen työtapaan reunapuiden valinnassa ja tätä kautta myös ajouran leveyden määrittämisessä.

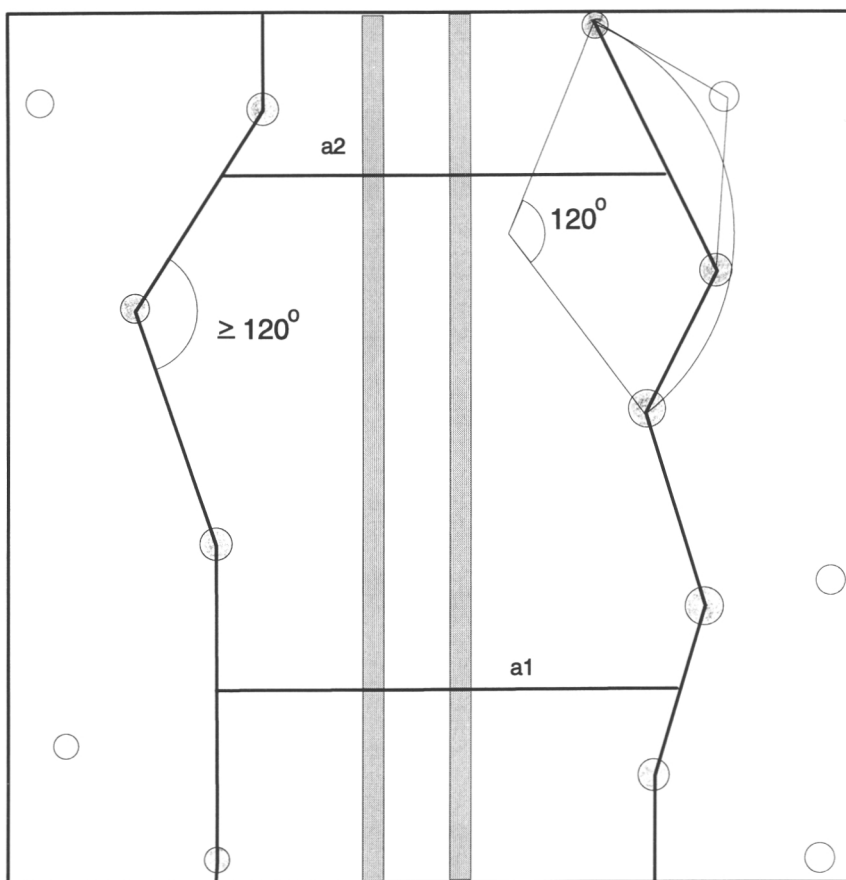
Tutkimuksessaan Isomäki ja Niemistö (1990) käyttivät ajouran ulkoleveyden määrittämisessä ns. pinta-alamenetelmää, jossa aluksi lasketaan ajouran reunaviivojen rajoittaman koko ajouratilan pinta-ala. Jakamalla tämä ajouran pituudella saadaan ajouran ulkoleveys. Menetelmä edellyttää puiden kartoitusta ja melko runsasta laskentatyötä, joten se soveltuu käytettäväksi ensisijaisesti vain tutkimustarkoituksiin.

Käytännön mittauksissa ajouran ulkoleveys voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella myös joko Carlestålin ja Dehlénin (1977) käyttämällä tavalla eli mittaamalla määräväleihin, esimerkiksi 10 m väleihin, ajouran vastakkaisilla puolilla olevien reunaviivojen etäisyys toisistaan tai Tørån (1978) valitsemalla tavalla mittaamalla ajouran leveys jokaisen eteen sattuvan reunapuun kohdalta. Näissä molemmissa määrittäytavoissa on tärkeää, että ajouran leveys mitataan sen kulkusuuntaa vasten kohtisuorassa, sillä muutoin mittaustuloksiin tulee

systemaattista yliarviota.

Isomäen ja Niemistön kehittämän mittaamenetelmän etuna voidaan pitää perustunnusten objektiivista mittaamista. Myös tulosten laskentaa ja tulkintaa voidaan pitää selkeänä ja yksinkertaisena. Ongelmallisinta menetelmän käytössä lienee reunapuiden valinta avautumiskulman avulla. Tähän mennessä saatujen kokemusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että rutinoitunut mittaaja joutuu vain harvoissa rajatapauksissa turvautumaan avautumiskulman tarkistukseen astelevyn, bussolin tai kompassin avulla.

Ulkoleveyden suurena etuna tavoitelevyteen verrattuna voidaan pitää käsitteen konkreettisuutta, sillä ulkoleveyden mukainen ajouran reuna on maastossa selvästi osoitettavissa. Asian merkitys korostuu, jos menetelmää joudutaan soveltamaan riitatapauksissa käytäntöön.



Kuva 11. Ulkoleveys Isomäen ja Niemistön menetelmän mukaan. Metsäntutkimuslaitos 1990.
Figure 11. Outer width according to the Isomäki and Niemistö method. Metsäntutkimuslaitos 1990.

Korjuuteknisessä mielessä ulkoleveys kuvaa hyvin sitä tilaa, joka työ-koneella on käytettävissään, sillä ovathan myös puiden epätasaisesta jakautumisesta johtuvat ajouran levennykset työkoneen käytettävissä. Levennyksillä on suuri merkitys mm. tarkasteltaessa hakkuukoneen nosturin todellista ulottuvuutta harvennushakkuun työoloissa.

Ulkoleveyskäsitteen puutteena voidaan pitää puolestaan sitä, ettei se huomioi metsikön tiheyttä eikä luontaista aukkoisuutta ajouran leveydessä. Edellisestä seuraa, että ajoura on sitä kapeampi mitä tiheimmästä metsiköstä on kysymys. Isomäki ja Niemistö (1990) ovat arvioineet, että tavoiteleveydeltään muuttumattoman ajouran ulkoleveysarvo kasvaa metrillä, jos puuston tiheys alenee 750 kpl/ha.

Aukkoisuudesta puolestaan seuraa, että ajouraan luetaan mukaan sellaisia alueita, jotka olisivat olleet puuntuotannon kannalta hukkatilaa, vaikka ajouraa ei olisi tehtykään. Ulkoleveyttä voidaan pitää siis aina tietynlaisena yliarviona kun sitä verrataan ajouran tavoiteleveyteen.

4.2.4 Rumpusen kehittämä ns. HaRu-menetelmä

Toimiessaan Metsätehon tutkijana metsänhoitaja Harri Rumpunen kehitti ajouran leveyden määrittämenetelmän, josta seuraavassa käytetään nimitystä *HaRu-menetelmä*. Siirryttyään Metsätehon harvennustutkijan tehtävästä toisen työnantajan palvelukseen Rumpunen keskeytti ajouran leveyskäsitettä koskevan pohdiskelunsa ja samalla myös ideansa kehittämisen. Tästä syystä HaRu-menetelmää ei ole sovellettu käytäntöön eikä sitä ole aikaisemmin myöskään esitelty missään julkaisussa. Harri Rumpusen kanssa käytyjen keskustelujen ja eräiden luonnoskuvien ja -tekstien pohjalta menetelmä voidaan kuvata seuraavasti:

1. Ajouran keskiviivaa edeten mitataan etäisyys jokaiseen puuhun, joka sijaitsee korkeintaan tietyllä, esim. 4 m, etäisyydellä keskiviivasta.
2. Lasketaan puiden keskietäisyys ajouran keskiviivasta. Tämä keskiarvo lasketaan ajouran kummallekin puolelle erikseen. Näin saadut keskiarvot ilmaisevat siis, millä keskimääräisellä etäisyydellä ajouran kummankin reunavyöhykkeen puut sijaitsevat ajouran keskiviivaan nähden.
3. Voidaan olettaa, että metsässä, jossa ei ole ajouraa ja jossa puut sijaitsevat sattumanvaraisesti kulkulinjaan nähden, puiden keskietäisyydeksi edellä kuvatulla tavalla mitaten muodostuu tasan puolet valitusta maksimietäisyydestä.
Esimerkiksi, jos puut mitataan 4,0 m:n levyiseltä kaistalta linjan molemmin puolin, puiden keskietäisyydeksi saadaan tasaisesti jakautuneissa puustoissa 2,0 m.

4. Jos puut inventoidaan (L) metrin etäisyydeltä ajouran keskiviivan kummaltakin puolelta, ajouran leveys eli puuttoman vyöhykkeen keskileveys saadaan yhtälöllä (kuva 12):

$$(2) \quad Y = 2 \cdot \left(\frac{\sum a_i}{n_a} + \frac{\sum b_i}{n_b} - L \right)$$

Y = ajouran leveys, m

a_i = ajouran vasemmalla puolella sijaitsevien puiden etäisyys ajouran keskiviivasta, m

n_a = ajouran vasemmalla puolella sijaitsevien puiden lukumäärä

b_i = ajouran oikealla puolella sijaitsevien puiden etäisyys ajouran keskiviivasta, m

n_b = ajouran oikealla puolella sijaitsevien puiden lukumäärä

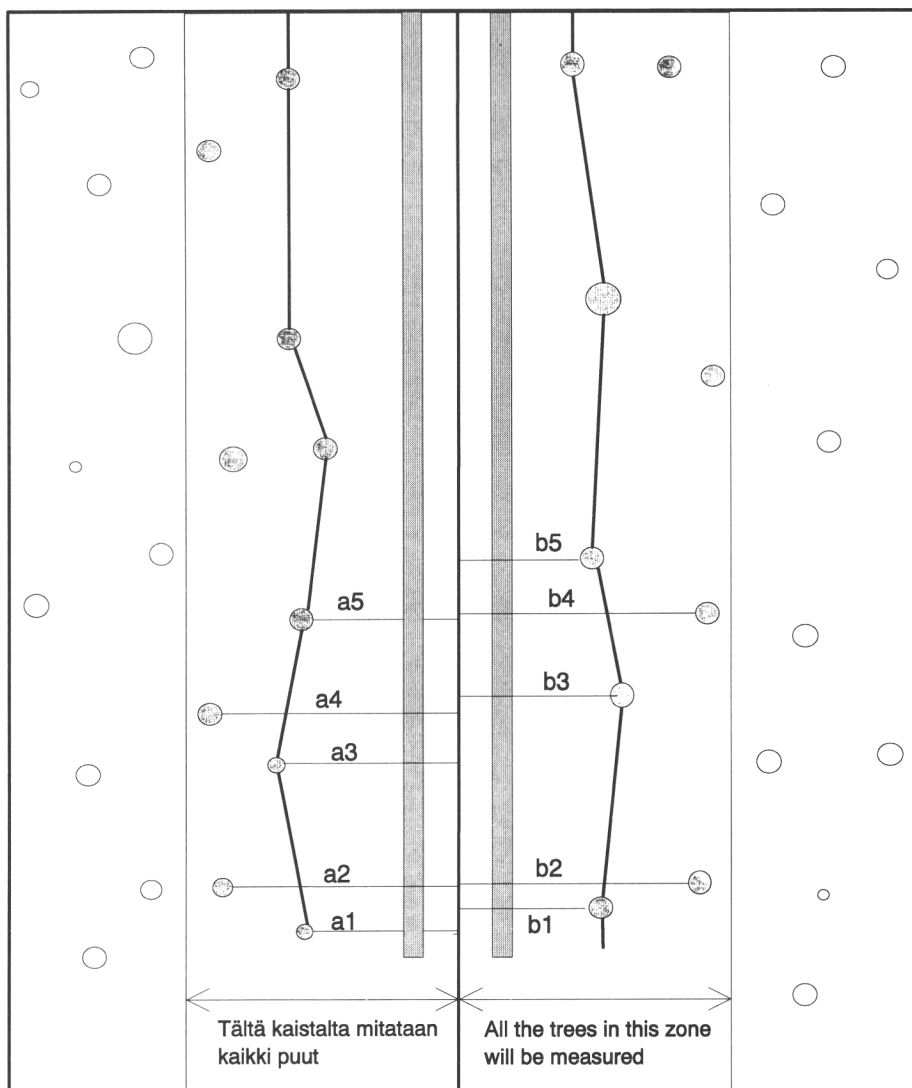
L = mukaantulevien puiden maksimietäisyys ajouran keskiviivasta, m

Vaikka menetelmää ei ole kokeiltu eri tyyppisissä metsissä, voidaan arvioida, että mittauskaistan leveyttä on syytä vaihdella ajouran leveyden ja puuston tiheyden mukaan. Tiheissä ensiharvennusmetsissä ja kapeiden ajourien tapauksissa voidaan käyttää lyhyempää maksimietäisyyttä, mittatankoa, kuin varttuneemmissa metsissä, joissa puusto on harvaa ja ajourat yleensä leveämpiä kuin ensiharvennusmetsissä.

HaRu-menetelmän antama ajouran leveys ilmentää puuttoman ajouratilan keskileveyttä. Tasaisesti harvennetuissa puustoissa se vastaa aikaisemmin kuvattua ajouran ulkoleveyttä, joka perustuu ainoastaan ajouran reunapuiden sijainnin määrittämiseen.

HaRu-menetelmässä otetaan reunapuiden lisäksi huomioon myös muut reunavyöhykkeen puut, jotka sijaitsevat valitulla enimmäisetäisyydellä ajouran keskiviivasta. Tätä voidaan pitää HaRu-menetelmän etuna muihin ulkoleveyskäsitteisiin verrattuna. Jos nimittäin ajouran reunaan on jätetty runsaasti puita, ajouran leveys HaRu-menetelmällä alenee. Ja päinvastoin, jos reuna-puusto on harvennettu korostetun harvaksi, ajouran leveys kasvaa, koska etäisyyksien keskiarvon laskennassa reunapuiden painoarvo riippuu niiden suhteellisesta määrästä taustapuustoon verrattuna. Muissa ulkoleveyden määrittämissä näin ei tapahdu, koska niissä ajouran leveys perustuu yksinomaan reunapuiden sijaintiin eikä lainkaan niiden suhteelliseen määrään muuhun puustoon verrattuna.

Rumpusen idea ajouran leveyden määrittämiseksi on yksinkertainen ja helpokäyttöinen myös siksi, ettei se edellytä reunapuiden erillistä määrittämistä niin kuin edellä esitetyt muut ajouran ulkoleveyden määrittämenetelmät.



Kuva 12. Ulkoleveys Rumpusen kehittämän HaRu-menetelmän mukaan. Metsäteho 1982 ja Metsäntutkimuslaitos 1992.

Figure 12. Outer width according to the HaRu-method, developed by Rumpunen. Metsäteho 1982 and Metsäntutkimuslaitos 1992.

HaRu-menetelmän varjopuolena voidaan pitää mitattavien puiden suurta lukumäärää. Mittaus voitaneen kuitenkin automatisoida melko pienillä kustannuksilla ja tästä syystä puiden lukumäärän vaikutus maastotyön kokonaisuikaan ei liene kovinkaan tuntuva. — Toisaalta on myös nähtävä, että HaRu-menetelmä antaa pelkän ajouran leveyden lisäksi hyödyllistä informaatiota

puuston tiheyden vaihtelusta siirryttäessä ajouran reunasta syvemmälle metsään. Tätä tietoa voidaan analysoida ja käyttää pohjana arvioitaessa harvennuksen jälkeistä puuston tilajärjestystä.

Jos HaRu-menetelmää halutaan käyttää ajouran keskileveyden määrittämisen ohella myös puuston tilajärjestyksen arviointiin, tulee maastotyössä kiinnittää erityistä huomiota siihen, että ajouran keskiviiva valitaan mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. — Sehän voidaan valita ottamalla huomioon joko maassa näkyvät ajoneuvon jättämät raiteet tai ajouran reunapuut ja hakeutumalla niiden rajoittaman ajouratilan keskilinjalle.

Rumpunen on omissa testeissään pitänyt ajouran keskiviivana traktorin raiteiden välistä keskilinjaa. Tällöin saadaan lähimpien puiden etäisyys jonkin verran alemmaksi kuin hakeutumalla jatkuvasti ajoura-aukon keskilinjalle. Seuraamalla traktorin raiteita ja tekemällä etäisyysmittaukset niiden väliseltä keskiviivalta voidaan samalla tehdä arvioita siitä, miten moni puu on ollut milläkin etäisyydellä kuljetuskoneesta. Tämä on tärkeää puuston vaurioitumisriskin määrittämisessä.

Yksinkertaisimmillaan eli mittaamalla vain puiden etäisyydet ajouran keskilinjasta saadaan jo hyvin käyttökelpoista tietoa ajouran keskileveydestä ja reunapuuston keskimääräisestä harvennusasteesta ajouraan nähden. Näin sovellettuna menetelmä ei kuitenkaan kuvaa millään tavalla puuston ajouran suuntaista epätasaisuutta. Esimerkiksi menetelmä ei paljasta reunapuustossa olevia laajojakaan aukkoja, joten erityisesti hakkuutyön valvontamenetelmänä sitä voidaan näin sovellettuna perustellusti kritikoida.

Teknisesti maastotyö olisi ehkä kehitettävissä verraten helposti sellaiseksi, että työaika ja vaivaakaan juuri lisäämättä voidaan jokaista puuhavaintoa kohti mitata myös kuljettu matka eli puun ajouran suuntainen koordinaatti sekä puun perusläpimitta ($d_{1,3}$). Lähes vaivatta voidaan lisätä myös puulajitunnus, joten tällä menetelmällä maastosta kerättävä aineisto tarjoaisi pohjan monipuoliselle ajouran ja sen reunapuuston kuvaukselle.

5 Puuntuotannolliset leveyskäsitteet

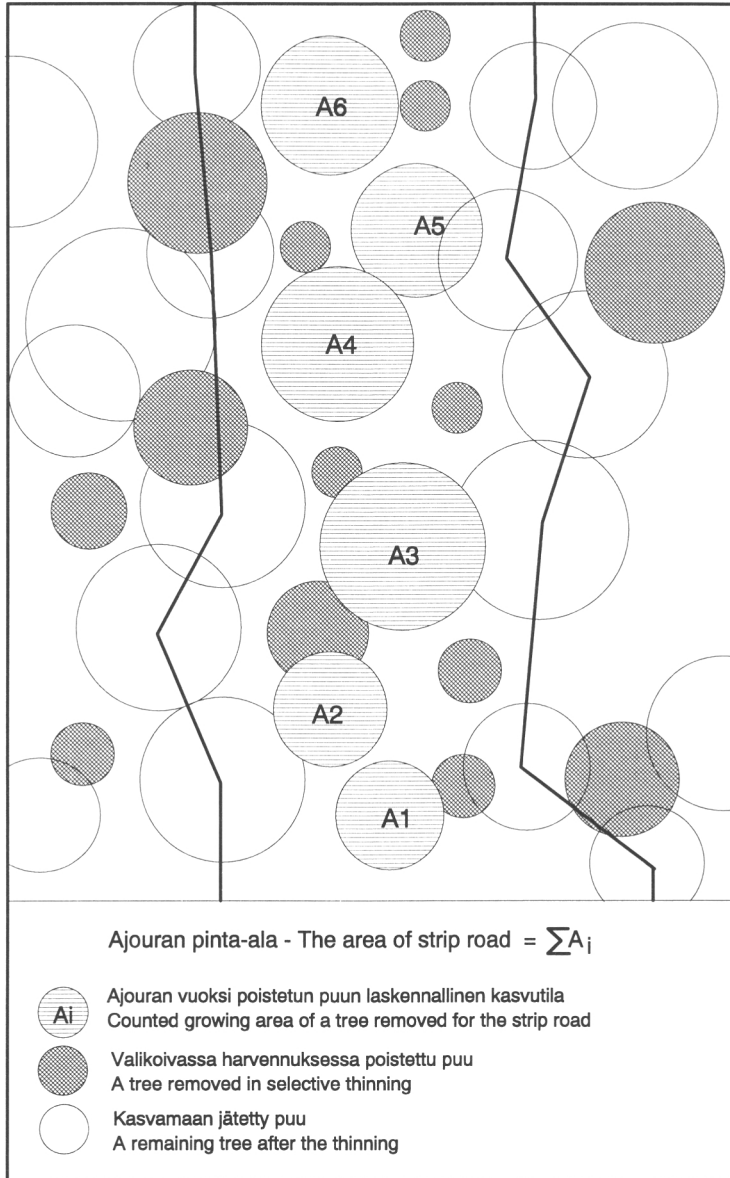
Ajoura-aukon puuntuotannollisen merkityksen arvioimiseksi on tiedettävä, kuinka paljon metsikön tuotospotentiaalista menetetään ajouran takia poistettujen puiden mukana. Toisaalta on muistettava, että ajoura-aukon vapauttama kasvutila ei ole kokonaan hukkatilaa, sillä ajouran reunapuut voivat käyttää hyväkseen osan tästä tilasta ja näin osittain korvata ajoura-aukon aiheuttamaa kasvutappiota. Isomäki ja Niemistö (1990) ovat tarkastelleet ajouran puuntuotannollista leveyttä kahdesta eri näkökulmasta ja kehittäneet niiden pohjalta vastaavat leveyskäsitteet, jotka he ovat nimenneet *puustoleveydeksi* ja *sisäleveydeksi*.

Puustoleveys kuvaa ajouran takia poistettujen puiden mukana menetettyä tuottavaa kasvutilaa. Sisäleveys kuvaa puolestaan sitä, kuinka paljon reunapuiden väliin rajoittuvaan tilaan jää tuottamatonta kasvutilaa sen jälkeen, kun on huomioitu reunapuiden omassa käytössä oleva kasvutila. Vaikka tässä tarkastelussa erotetaankin toisistaan ajouralta poistettujen puiden mukana menetetty tuottava kasvutila ja toisaalta ajouran reunapuiden itselleen valtaama ylimääräinen kasvutila, liittyvät nämä todellisuudessa kiinteästi toisiinsa. Vain niitä yhdessä tarkastellen voidaan selvittää se todellinen kasvutappio, jonka ajoura puuntuotannolle aiheuttaa.

5.1 Puustoleveys

Ajouran avaamisella vapautettua kasvutilaa voidaan likiarvoisesti kuvata sille osuneen puuston osuudella metsikön puustosta. Tällöin ajouran pinta-alan osuus koko metsikön pinta-alasta on verrannollinen ajouran takia poistettujen puiden osuuteen koko metsikön puustosta. Näin määritetyn laskennallisen ajouratilan leveydestä käytetään nimitystä ajouran puustoleveys.

Puustoleveys on puhtaasti puuntuotannollinen leveyskäsite joka kuvaa ajouralta poistettujen puiden mukana menetettyä kasvupotentiaalia. Puustoleveys voidaan määrittää joko ennen harvennusta tai harvennuksen jälkeen vallinneen puuston mukaan. Tuloksen kannalta näiden kahden laskentatavan välinen ero on pieni, sillä laskennassa huomioon otettavien puiden lukumäärän vähentyessä kunkin puun kasvutila vastaavasti lisääntyy.



Kuva 13. Puustoleveys Isomäen ja Niemistön menetelmän mukaan. Metsäntutkimuslaitos 1990.
 Figure 13. Stand width according to the method created by Isomäki and Niemistö, Metsäntutkimuslaitos 1990.

Puustoleveyden määrittämiseksi on tiedettävä sekä ajouralla että sen ulkopuolella kasvaneen puuston määrä. Ajouralta poistettu puusto on arvioitava kantomittausten perusteella. Jos puustoleveys määritetään ennen harvennusta vallinneen puuston perusteella, joudutaan kannot inventoimaan myös ajourien

ulkopuolisesta metsästä. Jos taas määrittäminen tehdään harvennuksen jälkeisen puuston mukaan, tulee ajouralta poistetuista puista yksilöidä ne, jotka olisi jätetty puukohtaisessa valintaharvennuksessa kasvamaan. Tässä valinnassa voidaan käyttää hyväksi Isomäen ja Niemistön (1983) kehittämää ns. leimausohjelmaa.

Leimausohjelmassa jokaiselle puulle lasketaan sen kokoa vastaava ympyrän muotoinen kasvutila, jonka keskipiste on puun sijaintipiste. Puukohtaisten kasvutilojen määrittäminen tapahtuu laskennallisesti jakamalla metsikön tai koealan pinta-ala sillä kasvavien puiden kesken esimerkiksi puiden poikkileikkauspinta-alojen suhteessa. Ajouran pinta-ala muodostuu näin laskien yhtä suureksi kuin ajouran takia poistettujen puiden laskennallisten kasvutilojen summa (kuva 13). Ajouran puustoleveys saadaan jakamalla edellä kuvatulla tavalla määritetty ajouran pinta-ala ajouran pituudella.

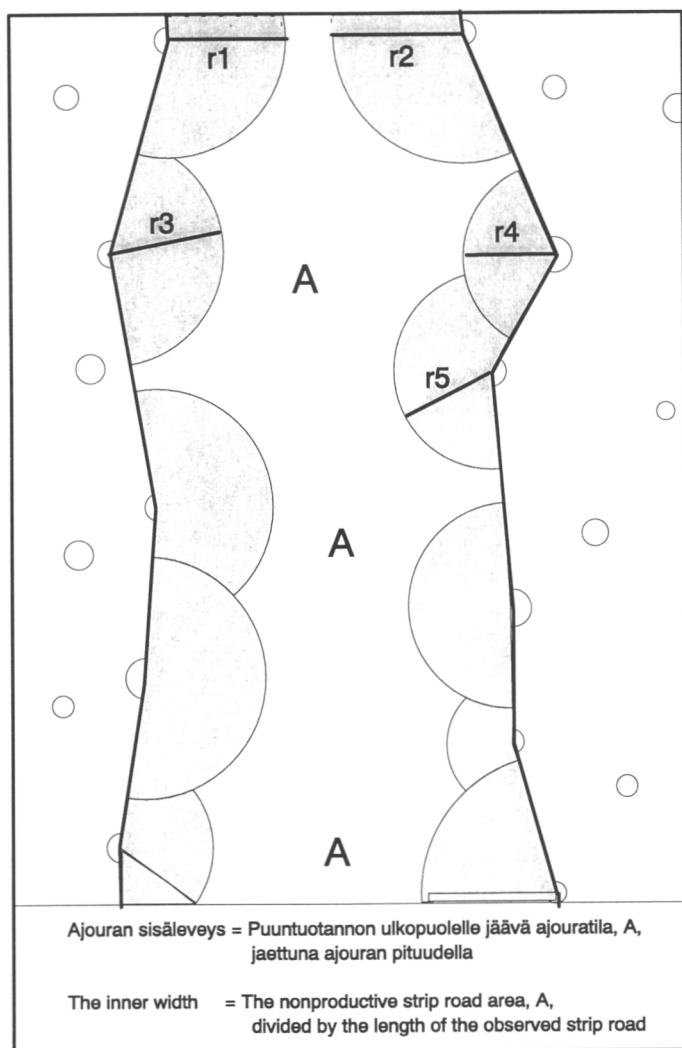
Puustoleveyden määrittäminen edellyttää työläisiä mittauksia maastossa. Kun lisäksi laskenta ja tulosten tulkintakin saattavat vaatia aikaa vieviä tarkistuksia, puustoleveys ei sovellu käytännölliseksi ajouran leveydestunnuksiksi, vaan sen käyttö rajoittuu vain tutkimustarkoituksiin.

5.2 Sisäleveys

Olettamalla, että puiden latvustot ja juuristot ovat kehittyneet ajourien avaushetkeen asti symmetrisesti, ja että kukin puu on valloittanut kokoaan vastaavan ympyrän muotoisen kasvutilan, jonka keskipiste on puun sijaintipiste, voidaan määrittää se ajoura-alue, joka jää reunapuiden käyttämän hyötyalueen ulkopuolelle. Tämän alueen keskileveyttä kutsutaan ajouran sisäleveydeksi (kuva 14).

Sisäleveyden mittaamista varten on tiedettävä ajouran vaikutuspiiriin kuuluvien puiden sijainti ja kasvutila. Kunkin puun valtaama kasvutila määritetään samoin kuin puustoleveyden yhteydessä. Lähtökohtana sisäleveyden määrittämisessä käytetään ajouran ulkoleveyttä vastaavaa pinta-alaa, josta vähennetään reunapuiden kasvutila siltä osin kuin se osuu ajouralle (kuva 14).

Ajouran sisäleveys saadaan jakamalla näin saatu pinta-ala ajouran pituudella. Koska menetelmä vaatii työläisiä mittauksia maastossa ja melko monivaiheista laskentaa, ei tämäkään menetelmä sovellu korjuujäljen valvonnan arkirutiiniksi. Isomäki ja Niemistö (1990) ovat määrittelleet ajouran sisäleveyden aikaisemmin kehittämänsä leimausohjelman (Isomäki & Niemistö 1983) avulla.



Kuva 14. Sisäleveys Isomäen ja Niemistön menetelmän mukaan. Metsäntutkimuslaitos 1990.
 Figure 14. Inner width according to the method created by Isomäki and Niemistö, Metsäntutkimuslaitos 1990.

Reunapuiden kasvutilat voidaan olettaa ympyrän muotoisiksi ja puiden voidaan olettaa sijaitsevan näiden kasvutilojen keskipisteissä välittömästi harvennuksen jälkeen, mutta myöhemmin puut laajentavat kasvutilaansa epäsymmetrisesti ajouran suuntaan. Näin ajatellen ajouran sisäleveys ilmentää ajouran puuntuotannollista vaikutusta heti harvennuksen jälkeen, mutta myöhemmin on otettava huomioon myös reunapuiden latvuston levittäytyminen ja siitä syntyvä lisäkasvu.

Kaikki se ajoura-alue, joka ei ole reunapuiden kasvutilaa, tulkitaan sisäleveyskäsitteessä ajouran aiheuttamaksi hukkatilaksi kun taas puustoleveyskäsitteessä ajouratilassa jo ennen harvennusta olleet luontaiset aukot jätetään ajourakäsitteen ulkopuolelle. Tämän vuoksi voidaan arvioida, että sisäleveys on lukuarvoltaan yleensä suurempi kuin puustoleveys. Käytännössä näiden lukuarvojen suhde riippuu kuitenkin enemmän siitä ohjataanako ajoura tiheiden vaiko luontaisten aukkopaikkojen kautta, sillä tämä ratkaisu näkyy suoraviivaisesti puustoleveyden mutta ei juuri lainkaan sisäleveyden arvossa.

Puukohtaiset kasvutilat voidaan laskea joko ennen harvennusta tai harvennuksen jälkeen vallinneen tilanteen mukaan. Edellinen kuvaa puukohtaista kasvutilaa sellaisena kuin se on ollut juuri ennen harvennusta ja jälkimmäinen puolestaan sitä kasvutilaa, jonka kukin puu harvennuksen jälkeen keskimäärin voi valloittaa. Tästä syystä ajouran sisäleveyden lukuarvo on aina suurempi, jos se lasketaan ennen harvennusta vallinneen puustotilanteen mukaan kuin harvennuksen jälkeen.

5.3 Likimääräinen sisäleveys

Koska ajouran sisäleveyden määrittäminen reunapuuston kasvutilojen perusteella on sekä maastotyön että laskennan osalta liian työläs käytännön mittausmenetelmäksi, Isomäki ja Niemistö (1990) kehittivät tämän rinnalle myös puuston keskimääräisestä tiheydestä johdetun sisäleveyden käsitteen, jonka he nimittivät *ajouran likimääräiseksi sisäleveydeksi*.

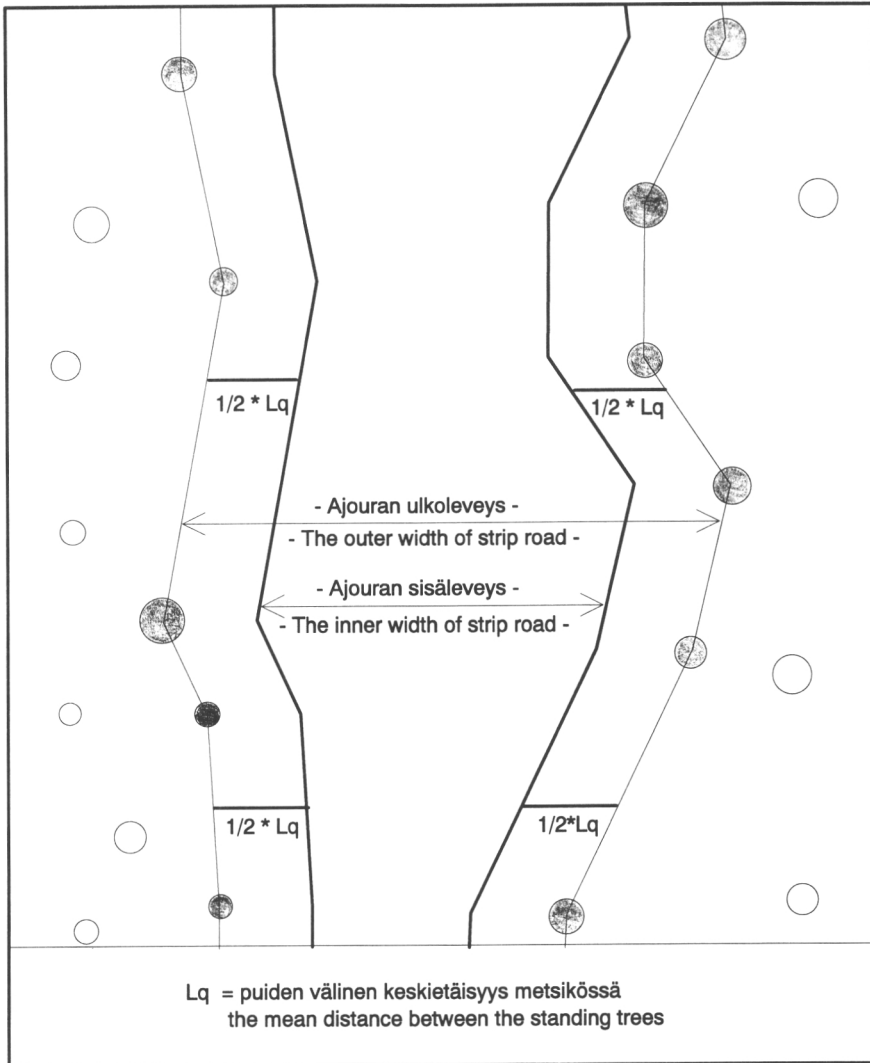
Myös likimääräisen sisäleveyden määrittämisessä pidetään lähtökohtana ajouran ulkoleveyttä ja sen mukaista ajouratilaa. Tästä ei kuitenkaan vähennetä reunapuiden kasvutiloja puukohtaisesti, vaan vähennys tehdään metsikön keskitiheydestä johdetun keskiarvon mukaisesti (kuva 15).

Ulkoleveydestä vähennetään puiden välinen keskietäisyys, joka voidaan laskea kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä ja yleisesti käytetyssä ns. *neliömenetelmässä* oletetaan, että tietyssä tilassa sijaitsevat puut järjestetään tasavälisesti riveihin ja jonoihin kuvan 16a mukaisesti. Tällöin puut saavat neliön muotoisen kasvutilan, jonka keskellä niiden oletetaan sijaitsevan. Reunapuita lukuunottamatta kaikilla puilla on tällöin neljä naapuria, kukin yhtä etäällä siitä. Näin määräytyvä puiden välinen keskietäisyys johdetaan puuston tiheydestä jo aikaisemmin useiden eri leveyskäsitteiden yhteydessä käytetyllä kaavalla (1):

(1) $L_q = 100 / \sqrt{N}$

L_q = puiden välinen keskietäisyys olettaen puiden kasvutilat neliöiksi, m

N = puuston tiheys, kpl/ha



Kuva 15. Ulkoleveyden ja puiden välisen keskietäisyyden erotukseen perustuva sisäleveys Isomäen ja Niemistön kehittämän menetelmän mukaan. Metsäntutkimuslaitos 1990.

Figure 15. Inner width based on the difference of the outer width and the mean distance between the standing trees. The method was created by Isomäki and Niemistö 1990.

Puut voidaan olettaa järjestettäväksi myös tasasivuisten kolmioiden kärkeen, jolloin jokaiselle puulle tulee kuusi keskenään yhtä etäällä sijaitsevaa naapurua. Tällöin puiden kasvutilat eivät ole neliöitä vaan kuusikulmioita (kuva 16b) ja puiden välinen keskietäisyys saadaan tällöin kaavalla:

$$(3) \quad L_h = 200 / \sqrt{2 * \sqrt{3} * N}$$

L_h = puiden välinen keskietäisyys olettaen kasvutilat tasasivuiseksi kuusikulmioiksi, m

N = puuston tiheys, kpl/ha

Näiden kahden määrittystavan välinen ero käy ilmi seuraavasta asetelmasta ja kuvasta 16c:

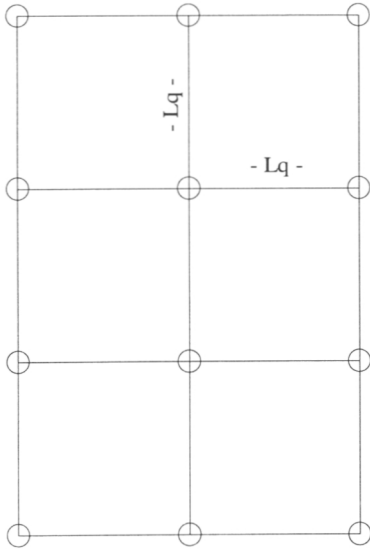
N, kpl/ha	L_q , m	L_h , m
2 500	2,00	2,15
1 600	2,50	2,69
1 200	2,89	3,10
1 111	3,00	3,22
1 000	3,16	3,40
900	3,33	3,58
800	3,54	3,80
625	4,00	4,30
400	5,00	5,37
278	6,00	6,44
200	7,07	7,60
100	10,00	10,75

Molemmat määrittystavat olisivat mahdollisia ja keskenään yhtä *oikeita* käytettäväksi ajouran likimääräisen sisäleveyden määrittämiseen. Koska edellistä on käytetty jo useissa ajouran määrittystavoissa ja koska se on myös helpompi omaksua ja laskea, on tämän työn yhteydessä puiden välinen keskietäisyys määritetty neliömenetelmän mukaisesti.

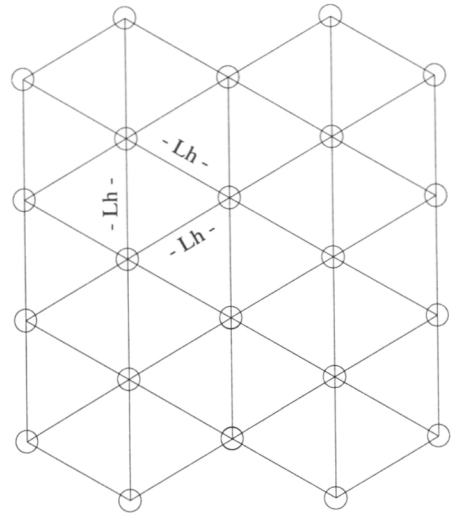
Likimääräisen sisäleveyskäsitteen etuina voidaan pitää sen yksinkertaisuutta ja tästä johtuvaa maastotyön ja laskennan helpoutta. Etuna voidaan pitää myös sitä, että menetelmä huomioi puuston tiheyden, mikä tarjoaa mahdollisuuden verrata ajouria tiheydeltään erilaisissa metsiköissä.

Vaikka sisäleveys on lähtökohdaltaan selvästi puuntuotannollinen käsite, saadaan sen määrittämisen välituloksena myös ajouran ulkoleveysarvo, joka puolestaan on selvästi korjuutekninen leveyskäsite. Siten likimääräisen sisäleveyden määrittäminen tuottaa tietoa työkonetta käytössä olevasta koko ajouratilasta, mikä samalla vastaa maallikon tavanomaista käsitystä ajourasta, sekä tämän lisäksi ajoura-aukon puuntuotannollista merkitystä kuvaavasta varsinaisesta sisäleveydestä.

16a. Menetelmä 1 - Method 1

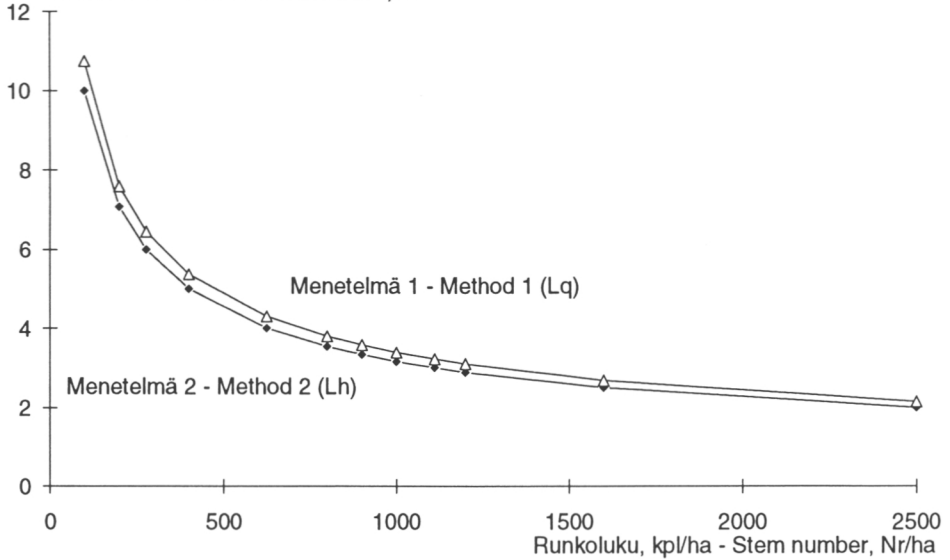


16b. Menetelmä 2 - Method 2



16c.

Puiden välinen keskietäisyys, m
The mean distance between the trees, m



Kuva 16. Puiden välisen keskietäisyyden riippuvuus puuston tiheydestä. Menetelmässä 1 puiden kasvutila oletetaan neliöksi ja menetelmässä 2 tasasivuisiksi kuusikulmioksi.

Figure 16. The mean distance between trees as a function of stand density. In method 1 the growing areas of the trees are assumed to be equilateral quadrangles and in method 2 hexagons.

Voidaan arvioida, että likimääräinen sisäleveys on tähän mennessä esitetystä puuntuotannollisista leveyskäsitteistä ainoa, joka soveltuu kasvatushakkuiden valvonnan arkirutiiniksi. Kuten jo aikaisemmin on todettu, puustoleveys ja reunapuusta johdettu sisäleveys ovat liian työläitä ja ehkä myös liian vaikeaselkoisia käsitteitä edunvalvontakäyttöön. — Toisaalta on kuitenkin todettava, että myös likimääräinen sisäleveys saattaisi osoittautua arkikäytössä liian yksinkertaiseksi. Käsite kuvaa osuvasti itse ajouratilaa, mutta se ei ota millään tavalla huomioon reunapuustoa. Mikäli likimääräinen sisäleveys-käsite otettaisiin yleiseen käyttöön korjuujäljen arvioinnissa ja valvonnassa, sen rinnalla olisi syytä varautua kontrolloimaan myös kasvamaan jätettävää reunapuustoa, sillä juuri reunapuuston käsittelyllä on oleellinen vaikutus metsikön tulevaan puuntuotoskykyyn.

6 Ajourakäsitteiden vertailu

6.1 Ajouran leveys eri menetelmillä

Isomäki ja Niemistö (1990) ovat soveltaneet kahdeksaa ajouran leveysmääritelmää aineistoon, joka koostuu 19 erillisestä koealasta. Tässä aineistossa ajourien yhteenlaskettu pituus oli 773 m.

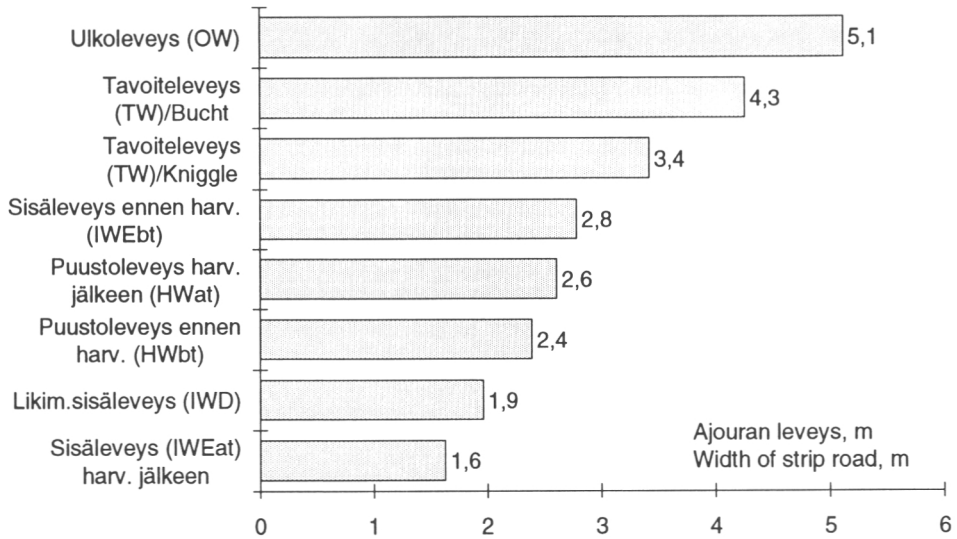
Aineiston tutkimusmetsiköt olivat nuoria kuusikoita, joissa harvennus ja siihen liittynyt ajourien avaus ja varsinainen puunkorjuu oli toteutettu ammattitaitoisesti ja huolellisesti. Silmävaraisesti arvioiden kaikissa tutkimuskohteissa ajourat oli pyritty pitämään korjuukalustoon nähden mahdollisimman kapeina ja samalla tekemään kaikki voitava korjuuvaurioiden välttämiseksi.

Aineisto ei siis edusta tasapainoisesti kaikkia ensiharvennuksen jälkeisiä kuusikoita, vaan siihen on valittu kasvupaikan ja puuston rakenteen osalta mahdollisimman tasaisia metsiköitä, joissa ensiharvennuksen liittyvä korjuu on toteutettu poikkeuksellisen huolellisella ja onnistuneella tavalla. Kun vielä otetaan huomioon aineiston vähäisyys, ei tämänkään vuoksi taulukon lukuja voida pitää laajasti yleistettävänä. Kuitenkin niistä voidaan tehdä päätelmiä eri leveyskäsitteiden keskinäisistä suuruusluokkasuhteista.

Tarkastelemalla eri leveyskäsitteiden mukaisia keskiarvoja (kuva 17) todetaan, että Buchtin menetelmällä saatu tavoiteleveys oli viidenneksen ja Kniggle-menetelmän mukainen tavoiteleveys kolmanneksen alempi kuin vastaava ulkoleveyden arvo.

Vertaamalla muita tavoiteleveys-käsitteitä niille läheiseen Buchtin leveyskäsitteeseen, voidaan pelkästään mittaussääntöjen perusteella arvioida, että Björhedenin ja Frödingin menetelmä antaa kaikissa tilanteissa joko pienempiä tai korkeintaan yhtä suuria leveysarvoja kuin Buchtin menetelmä. Ruotsissa käytössä oleva Björhedenin ja Frödingin alkuperäinen menetelmä antaa puolestaan useimmissa tapauksissa hieman alemman leveysarvon kuin saman menetelmän muunnos, jota Suomessa testattiin vuoden 1992 tarkistusmittausten yhteydessä (Poikela 1992).

Tavoiteleveyskäsitteistä voidaan todeta yleisesti, että niiden mukaiset ajouran leveysarvot sijoittuvat poikkeuksetta ulkoleveyden ja kaikkien puuntuotannollisten leveyskäsitteiden välimaastoon. Karkeasti arvioiden puuntuotannolliset leveyskäsitteet antavat ulkoleveyteen verrattuina noin puolta pienempiä leveysarvoja.



Kuva 17. Ajourien leveys kahdeksalla eri tavalla määriteltynä.

Figure 17. The width of the strip road openings based on eight different methods. OW = outer width, TW = target width, HW = harvesting width, IWE = inner width based on the edge trees, IWD = inner width based on stand density. bt = before thinning, at = after thinning.

Puustoleveyden arvo näyttää olevan riippumaton siitä, määritetäänkö se ennen harvennusta vai harvennuksen jälkeen vallinneen puustotilanteen mukaan. Koska se perustuu ajouratilasta poistettujen puiden vertaamiseen metsikön koko puustoon, tulos riippuu ensisijaisesti ajourien suuntauksesta metsässä esiintyvien aukkojen ja tiheikköjen suhteen. Tästä syystä ilmiänsuhtaan samanlaiset ajourat saattavatkin saada toisistaan huomattavasti poikkeavia puustoleveyden arvoja.

Sisäleveys ennen harvennusta on nyt tarkastellussa aineistossa keskimäärin 2,8 m ja harvennuksen jälkeen vain 1,6 m. Ero johtuu ensisijaisesti ajouran reunapuulle lasketusta ympyränmuotoisesta kasvutilasta, joka määritetään jakamalla metsikön tai koalan koko pinta-ala sillä kasvavien puiden kesken esimerkiksi rinnankorkeudelta määritettyjen poikkileikkauspinta-alojen suhteessa. Tämän työtavan vuoksi reunapuiden laskennalliset kasvutilat laajenevat välittömästi harvennuksen seurauksena, mikä puolestaan supistaa puuntuotannon ulkopuolelle jäävää, laskennallista ajouratilaa. Likimääräinen sisäleveys on suoraan riippuvainen ajouran ulkoleveydestä ja puiden välisestä keskietäisyydestä koko metsikössä. Näin määriteltynä se on ollut tarkastellussa aineistossa keskimäärin vain 40 % ajouran ulkoleveyden arvosta.

6.2 Käsitteiden soveltuvuusarviointi

Ajouran leveyskäsite on nähtävä vain eräänä aputunnuksena, jolla pyritään ilmaisemaan puunkorjuun aiheuttamaa kokonaishaittaa metsikön runkopuun tuotokselle.

Kaikille tähän mennessä kehitetyille leveyskäsitteille on ominaista, että niillä on pyritty kuvaamaan ajouran puuntuotannollista haittaa mahdollisimman yksinkertaisella mutta samalla tehokkaalla tavalla. Edellä kuvatut ajouran leveyskäsitteet osoittavat, että ajouraa voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta. Tämä samalla selittää, miksi kaikissa esitetyissä leveyskäsitteissä voidaan havaita myös puutteita. Käsitteitä kehitettäessä on kiinnitetty huomiota johonkin oleelliseen mutta kokonaisuuden kannalta kuitenkin vaillinaiseen seikkaan, ja näin niissä kaikissa voidaan havaita ominaisuuksia, jotka eivät täytä ideaaliselle leveyskäsitteelle asetettavia vaatimuksia.

Kaikissa ajouran *tavoitelevyden* määritystavoissa, Kniggle-menetelmää lukuunottamatta, ajouraa kuvataan järjestelmällisesti vain sen kapeimpien kohtien avulla. Voidaan olettaa, että kapeikkojen kohdalla korjuukone ei pysähdy hakkuutyötä tai kuormausta varten, vaan käyttää ajouraa yksinomaan kulkualustana. Tavoitelevyys-tunnukseen vaikutetaan myös havaintojakson pituudella. Mitä pidemmäksi se valitaan, sitä varmemmin ajouralle sattuu myös korjuukoneen etenemisen kannalta poikkeuksellisen edullisia olosuhteita.

Tavoitelevyys-käsitettä käytettäessä suljetaan, ehkä tarkoitushakuisestikin, tarkastelun ulkopuolelle ne ajouran kohdat, joissa korjuukonetta käytetään kuormaukseen tai hakkuutyöhön. Mahdollinen selitys, että tilaa enemmän vaativat työvaiheet voidaan toteuttaa metsän tarjoamissa luontaisissa aukko-paikoissa ja ettei ylimääräisiä puita tarvitse tästä syystä poistaa, ei enää hakkuukoneiden aikakaudella täysin vakuuta.

Ainoa tavoitelevyyskäsite, jota varten mittaukset tehdään määrävälein ja jonka yhteydessä ei siis pyritä systemaattiseen mittauskohteiden esivalintaan, sisältyy Kniggle-menetelmään. Kuten tämän käsitteen esittelyn yhteydessä jo todettiin, menetelmään liittyy kuitenkin muita kielteisiä piirteitä, jotka alentavat sen käytettävyyttä. Ongelmalliseksi on koettu erityisesti Kniggle-menetelmällä tuotetun ajouralevyden abstraktisuus ja liian vaikeaselkoinen laskentaohjelma, jolla mittaushavainnoista ajouran leveysarvot johdetaan. Poikelan (1992) tekemässä kokeessa kävi myös ilmi, ettei menetelmä anna kaikissa tilanteissa johdonmukaisesti muuttuvia leveysarvoja, kun mittauservoja kontrolloidusti muutetaan.

Mikään tähän mennessä kehitetystä tavoitelevyyskäsitteestä ei siis täytä

kaikkia ideaaliselle ajouran leveyskäsitteelle asetettavia vaatimuksia.

Ajouran *ulkoleveys* kuvaa ajouraa sellaisena kuin se maastossa reunapuiden rajoittamana nähdään, joten se täyttää hyvin ajouran leveyskäsitteelle asetettavan ns. konkreettisuusvaatimuksen. Ulkoleveyskäsitettä voidaan pitää myös riittävän yksiselitteisenä ja näin ollen riitatapauksia ajatellen hyvänä tunnukseksi. Tämä koskee erityisesti Isomäen ja Niemistön (1990) kehittämää menetelmää, jossa myös ajouran reunapuun on tarkasti määritetty.

Vielä toistaiseksi testaamattomassa HaRu-menetelmässä on puolestaan se etu, ettei siinä tarvitse reunapuita määrittellä ja tunnistaa lainkaan. HaRu-menetelmässä mitataan etäisyydet ajouran keskilinjalta kaikkiin puihin, jotka sijaitsevat valitun enimmäisetäisyyden päässä siitä.

HaRu-menetelmän mukainen ajouran leveys vastaa reunapuiden avulla määritettyä ulkoleveyttä vain, jos koko reunavyöhykkeen puusto on jakautunut esiintymisalueelleen tasaisesti. Menetelmän keskeisenä ideana on yhdistää perinteiseen ajouran leveyskäsitteeseen informaatiota myös ajouran reunapuuston käsittelystä. Periaatteeltaan menetelmä on myös tässä suhteessa ihanteellinen.

HaRu-menetelmän parhaassa ominaisuudessa piilee kuitenkin myös sen heikkous, sillä harvennuksen jälkeinen puusto ei ole enää tilajärjestykseltään sattumanvarainen, vaan siihen liittyy ajouraan nähden järjestelmällistä vaihtelua. Normaalisissa talousmetsäissä taimikot käsitellään yleensä niin, että kasvamaan jäävät puuyksilöt sijaitsevat tietyn vähimmäisetäisyyden päässä toisistaan. Ensiharvennuksessa tätä puiden välistä tilajärjestystä pyritään edelleen kehittämään niin, että kullekin kasvamaan jätettävälle puuyksilölle osuisi mahdollisimman itsenäinen kasvutila.

Harvennuksessa puiden välistä vapaata tilaa pyritään kasvattamaan tasaisesti koko metsikössä niin, että naapuripuiden välinen etäisyys lähestyy puuston tiheydestä laskennallisesti johdettua puiden välistä keskietäisyyttä. Tästä seuraa johdonmukaisesti, että reunapuiden taakse pyrkii syntymään avoin, puuston vyöhyke ennen seuraavaa selväpiirteistä puurintamaa.

Kun puiden välinen keskietäisyys ensiharvennuksen jälkeen on kolmen metrin luokkaa ja kun etäisyyttä ajouran keskilinjalta reunapuihin on 2–3 metriä, HaRu-menetelmässä käytettävä mittauskaistan leveys voi vaikuttaa huomattavasti menetelmällä aikaansaatuun ajouran leveysarvoon. Tämä vaikeasti kontrolloitava piirre on omiaan heikentämään HaRu-menetelmän luotettavuutta.

Toinen HaRu-menetelmään ja muihinkin ulkoleveyskäsitteisiin liittyvä puute ilmenee siinä, ettei näissä menetelmissä — ainakaan niiden alkuperäisissä,

yksinkertaisissa muodoissa — lainkaan kontrolloida reunapuuston tasaisuutta ajouran suunnassa. Tämän puutteen vuoksi kaikissa vanhemmissa ulkoleveyden määritysmenetelmissä (Carlestål & Dehlén 1977, Tørå 1978, Isomäki & Niemistö 1990) on mahdollista alentaa ajouran leveysarvoa poistamalla reunapuita, joiden avautumiskulma on $< 180^\circ$. Ajouran leveysarvoa voidaan siis alentaa keinolla, joka tosiasiallisesti kasvattaa korjuukoneiden käytettävissä olevaa ajouratilaa. Myös HaRu-menetelmässä ajouraan liittyvät laaja-alaiset aukot jäävät kokonaan vaille huomiota.

Puustoleveys-käsite vastanee parhaiten sitä mielikuvaa, mikä liittyy *puunkorjuun aiheuttamaan puuntuotannolliseen haittaan*. Puustoleveys-käsitteessä otetaan huomioon vain niiden puiden kasvutilat, jotka on jouduttu poistamaan ajouran aikaansaamiseksi. Näin ollen ajouraan ei katsota kuuluvan niitä luontaisia aukkopaikkoja, joiden kautta ajoura on suunnattu kulkemaan.

Vaikka puustoleveyttä voidaan pitää lähtöajatukseltaan moitteettomana, myös siihen liittyy eräitä kielteisiä piirteitä. Periaatteeltaan se poikkeaa kaikesta muusta metsien tilan valvontakäytännöstä siinä, että se perustuu poistetun puuston arviointiin. — Nykyisinhan on yleensä rajoitettu tarkastelemaan metsää sellaisena kuin se on käsittelyn jälkeen, eikä poistuman määrälle tai sen rakenteelle ole asetettu ominaisuusvaatimuksia. Kun vielä otetaan huomioon puustoleveyden määrittämisen työläys sekä hakkuutähteiden, lumen ja itse työmenetelmänkin aiheuttamat epävarmuudet, ei tätäkään menetelmää voida pitää ihanteellisena ajouran leveyden määrittämiskeinona.

Ajouran *sisäleveys*-käsitteellä pyritään ilmentämään sitä ajouratilaa, joka jää välittömästi ajouran avaamisen jälkeen joko täysin tuottamattomaan tai ainakin vajaatuottoiseen tilaan. Isomäki ja Niemistö (1990) ovat esitelleet kaksi menetelmää ajouran sisäleveyden määrittämiseksi. Molemmissa menetelmissä käytetään lähtötietona ajouran ulkoleveyttä.

Teoreettisesti oikeaoppisemmassa, mutta samalla työläämmässä vaihtoehdossa kartoitetaan ja mitataan jokainen ajouran reunapuu. Mittaustietojen perusteella reunapuiden kasvutilat voidaan määrittää ja paikallistaa puukohtaisesti.

Edellistä huomattavasti helpotöisemmässä menetelmässä reunapuiden edustamaa kasvutilaa ei määritellä puukohtaisesti, vaan se lasketaan keskiarvona koko metsikön puustotietojen pohjalta. Tämä, puuston tiheyteen perustuva ajouran sisäleveyden määrittäminen antaa edellisen kanssa yhteneväisiä leveysarvoja, mikäli ajouran reunapuusto ei poikkea käsittelyltään metsikön muusta puustosta. Tämä on kuitenkin enemmän poikkeava kuin vallitseva tilanne käytännössä. Kun otetaan huomioon, miten paljon ajouran olemassaolon

rinnalla sen reunapuuston käsittely vaikuttaa metsikön puuntuotantoon, ei tällaista metsikkökohtaista keskiarvolukua voida pitää riittävänä tilanteessa, jossa tarkastelun kohteena on juuri ajouran ja sitä rajoittavan lähipuuston käsittely.

6.3 Ideaalisen leveyskäsitteen ominaisuudet

Kun otetaan huomioon ne seikat, joita tähän mennessä kehitettyjen leveyskäsitteiden yhteydessä on korostettu, voidaan ideaaliselle leveyskäsitteelle luetella suuri joukko vaatimuksia. Koska ajouran leveyttä käytetään metsänomistajan ja puunkorjaajan välisen sopimuksen jälkikäteisessä valvonnassa sekä toisaalta myös yksityismetsälain mukaisessa viranomaisvalvonnassa, käsitteeltä edellytetään korostettua yksiselitteisyyttä. Tämän mukaan käsite tulisi määrittellä toisaalta niin yksinkertaisesti ja toisaalta taas niin yksityiskohtaisesti, ettei sen tulkinnassa missään tilanteessa pääse syntymään riitaa aiheuttavia ongelmia.

Edelliseen liittyy läheisesti myös vaatimus, että kaikki määritykseen tarvittavat muuttujat voidaan mitata objektiivisesti. Tämä vaatimus täyttyy, jos mittauksen henkilökohtainen näkemys ei pääse vaikuttamaan tulokseen, eli tulos pysyy samana tekipä mittauksen kuka tahansa asian osaava henkilö. Myös leveystunnuksen laskennallinen johtaminen mitatuista lähtöarvoista tulee olla selkeä ja kaikilta osiltaan yksiselitteisesti määriteltä. Tämän mukaan myös laskentavaiheessa tulee päätyä samoista lähtötiedoista vain yhteen lopputulokseen.

Menetelmän tulee olla mahdollisimman tehokas sekä sen aiheuttamien kustannusten että myös tavoitteena olevan leveystunnuksen käyttöarvon suhteen. Käytännöllisessä hakkuutyön valvonnassa voidaan esimerkiksi pitää puiden kartoitusta liian työläänä. Toisaalta tulee ottaa huomioon myös leveyskäsitteeseen liittyvän informaation määrä ja laatu. Leveyskäsitteen käyttöarvoa lisää, jos se antaa ajourasta tietoa sekä puunkorjaajalle että myös metsänkasvattajalle.

Esimerkiksi Isomäen ja Niemistön (1990) tutkimuksen mukaan mikään tähän mennessä esitelty ajouran leveyskäsite ei pysty yksinään kuvaamaan tehokkaasti ajouran puuntuotannollista haittaa. Puuston kasvuun harvennuksen jälkeen vaikuttaa ensisijaisesti kasvamaan jätetyn puuston määrä eikä niinkään sen tilajärjestys. Näin ollen ajouran leveyskäsitteen tulisi sisältää informaatiota myös ajouran reunapuuston käsittelystä.

Ajouran leveyskäsitteen tulisi kuvata ajouraa ja sen reunapuuston puuntuotannollisia ominaisuuksia mahdollisimman totuudenmukaisesti. Tästä syystä leveystunnukseen tulisi, jos mahdollista, sisällyttää informaatiota paitsi itse ajourasta myös metsikön puuston yleisestä tiheydestä sekä erikseen ajouran reunapuuston tiheydestä, ja jos vielä mahdollista, myös reunapuuston suhteellisesta järeydestä metsikön muuhun puustoon verrattuna.

Edelliseen liittyy läheisesti myös vaatimus, että valitulla menetelmällä aikaansaattava ajouran leveysarvo seuraa johdonmukaisesti niitä muutoksia, joita tarkastelun kohteena olevassa todellisuudessa tapahtuu. Tässä suhteessa esimerkiksi Kniggle-menetelmä ja kaikki ulkoleveyskäsitteen mukaiset menetelmät ovat osoittautuneet vaillinaisiksi.

7 Ehdotus ajouran valvontaleveyden yleiseksi määrittämiseksi

7.1 Valvontaleveyskäsitteen rakenne

Ajouratutkimusten ja käytännön kokemusten perusteella voidaan todeta, ettei mikään tunnettu ajouran leveyskäsite vielä sellaisenaan täytä kaikkia *hyvälle ajourakäsitteelle* asetettuja vaatimuksia. Tästä syystä on katsottu tarkoituksenmukaiseksi kehittää ja esitellä vielä yksi uusi leveyskäsite, jota tässä yhteydessä kutsutaan *ajouran valvontaleveydeksi* (CW). Sen kehittämisessä on pidetty ensisijaisena päämääränä selkeyttä ja yksinkertaisuutta mutta toisaalta myös riittävää monipuolisuutta, jotta tällä uudella käsitteellä voitaisiin mahdollisimman osuvalla ja tehokkaalla tavalla arvioida ja kontrolloida ajouran puuntuotannollisia ominaisuuksia.

Valvontaleveyttä voidaan pitää eräänä sisäleveys-käsitteen muunnoksena. Se vastaa täydellisesti likimääräistä sisäleveyttä (IWL), mikäli ajouran reunapuustoa ei ole käsitelty muusta puustosta poikkeavalla tavalla. Likimääräinen sisäleveys-käsite jo sellaisenaan kuvaa hyvin itse ajouratilaa, mutta puuntuotannon kannalta vähintään yhtä tärkeästä reunapuuston käsittelystä se ei anna informaatiota. Juuri tästä syystä *ajouran valvontaleveys*-käsitteen osatekijöiksi on lisätty reunapuuston suhteellinen järeys ja tiheys verrattuina koko metsikön vastaaviin keskitunnuksiin.

Lähtökohtana valvontaleveyden määrittämisessä on *ajouran ulkoleveys* (OW) ja koko metsikön puustolle laskettu *puiden välinen keskietäisyys* (L_{tot}). Vähentämällä ulkoleveyden arvosta puiden välinen keskietäisyys saadaan jo aikaisemmin kuvattu *likimääräinen sisäleveys* (IWD).

Reunapuuston suhteellinen järeys metsikön koko puustoon verrattuna otetaan huomioon muodostamalla metsikön *koko puuston keskiläpimitan* (D_{tot}) ja *reunapuiden keskiläpimitan* (D_e) välinen suhdeluku (D_{tot}/D_e), jota käytetään sellaisenaan ajouran valvontaleveyteen vaikuttavana *reunapuuston järeyskerrotimeksi* (C_D).

Reunapuuston suhteellinen tiheys otetaan huomioon *reunapuuston tiheyskerrotimeksi* (C_L) avulla. Tätä ei kuitenkaan muodosteta varsinaisesti tiheyskäsitteen vaan sille vastakkaisen, puiden välisen keskietäisyyden avulla, joten se ilmaisee reunapuiden välisen keskietäisyyden (L_e) ja koko metsiköstä lasketun puiden välisen keskietäisyyden (L_{tot}) välisen suhteen (L_e/L_{tot}). Kokonaisuudessaan valvontaleveys voidaan ilmaista seuraavan kaavan avulla:

$$(4) \quad CW = C_D \cdot C_L \cdot (OW - L_{tot})$$

Kaava voidaan kirjoittaa myös muotoon:

$$(5) \quad CW = \frac{D_{tot}}{D_e} \cdot \frac{L_e}{L_{tot}} \cdot (OW - L_{tot})$$

CW = ajouran valvontaleveys, dm

OW = ajouran ulkoleveys, dm

C_D = reunapuuston järeyskerroin

C_L = reunapuuston tiheyskerroin

D_{tot} = puiden keskiläpimitta metsikössä, cm

D_e = reunapuiden keskiläpimitta, cm

L_e = reunapuiden välinen keskietäisyys, dm

L_{tot} = puiden välinen keskietäisyys metsikössä, dm

Koska reunapuut ovat yleensä hieman järeämpiä kuin metsikön puut keskimäärin (Isomäki & Niemistö 1990), reunapuuston järeyskerroimen käyttö alentaa useimmissa tapauksissa ajouran valvontaleveyden arvoa ja näin se ottaa oikean suuntaisesti huomioon ajouran reunapuuston osalta toteutetun puukohtaisen harvennusvalinnan. Valitsemalla suhdeluvun osatekijöiksi ko. puustoryhmien keskiläpimitat eikä esimerkiksi niiden tilavuuksia tai poikkileikkauspinta-aloja, otetaan työmäärien säästymisen ohella huomioon, että puun koon kasvaessa sen suhteellinen harvennusreaktio alenee (Isomäki 1993).

Reunapuuston tiheyskerroimen määrittämiseksi mitataan peräkkäisten, samalla puolella ajouraa sijaitsevien reunapuiden välisiä etäisyyksiä eli *reunapuuvälejä* (l_j). Vertaamalla näiden keskiarvoa koko metsikön puuston osalta määritettyyn puiden väliseen keskietäisyyteen saadaan tiheyskerroin (L_e/L_{tot}). Tiheyskerroin lasketaan koko tarkastettavalle alueelle yhteisenä keskiarvona. Sen vaikutus valvontaleveyteen on selkeä ja yksinkertainen. Jos reunapuiden välinen keskietäisyys on suurempi kuin puiden välinen keskietäisyys koko metsikössä, tämä kasvattaa valvontaleveyden arvoa ja päinvastoin.

7.2 Valvontaleveyden käyttöön liittyviä näkökohtia

Ehdotettua valvontaleveys-käsitettä ei ole tähän mennessä sovellettu käytäntöön, joten sen edellyttämistä maastotöistä ei voida esittää kokemukseräisiä kustannus- eikä työaikaselvityksiä.

Valvontaleveyden määrittämiseksi tarvitaan erillisiä mittaushavaintoja reunapuiden perusläpimitoista ($d_{1,3}$), reunapuiden välisistä etäisyyksistä (l_1) ja ajouran ulkoleveydestä (OW). Koko metsikön puuston tiheydestä ja keski-järeydestä saadaan sitä vastoin riittävän tarkat likiarvot jo muiden valvontamittausten tai yleisten leimikkotietojen perusteella. Tiheyden eli puiden välisen keskietäisyyden (L_{tot}) osalta on syytä käyttää harvennussuunnitelman mukaista runkolukua eikä mitattavissa olevaa, kasvamaan todella jätettyä runkolukua, sillä reunapuuston käsittelyssä ja niin muodoin myös sen arvostelussakin ohjenuorana tulee olla laadittu työsuunnitelma eikä suinkaan meneillään olevan työn lopputulos.

Valvontaleveys-käsitettä sovellettiin Isomäen ja Niemistön (1990) ajoura-aineistoon, joka on esitelty jo aikaisemmin tässä selvityksessä. Aineiston kaikki koealat edustivat tasarakenteisia harvennuskuusikoita, joissa ajourien avaus ja reunapuustojen käsittely oli toteutettu poikkeuksellisen huolellisella ja lopputulokseltaan onnistuneella tavalla. Tämä ilmenee myös verrattaessa eri leveys-käsitteiden mukaisia leveysarvoja keskenään (taulukko 1 ja kuva 18). Todetaan, että jokaisella koealalla ajouran likimääräinen sisäleveys ja ehdotetulla tavalla määritelty valvontaleveys ovat olleet keskenään lähes samansuuruiset. Tulos viittaa siihen, ettei tässä aineistossa reunapuuston järeyden ja tiheyden yhteisvaikutus ole sanottavasti vaikuttanut valvontaleveyden arvoihin. Tuloksesta ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöstä, että nämä tekijät olisivat merkityksettömiä myös korjuujäljen yleisvalvonnassa.

Käytännössä voitaisiin ehkä menetellä siten, ettei maanomistajan ja puunkorjuusta vastaavan osapuolen välisessä korjuujäljen laatuvalvonnassa ajouran reunapuuston järeyttä ja tiheyttä mitattaisi lainkaan, mikäli kumpikaan osapuoli ei esitä sitä koskevaa vaatimusta. Sitä vastoin korjuujäljen yleisessä seurannassa samoin kuin yksityismetsälain mukaisessa valvonnassa ja riitatapauksissa on syytä aina kerätä riittäväksi katsottava mittauserä myös reunapuustojen järeydestä ja tiheydestä. Näin saadaan käyttöön kaikki keskeiset ajouriin liittyvät puuntuotantoon vaikuttavat osatekijät.

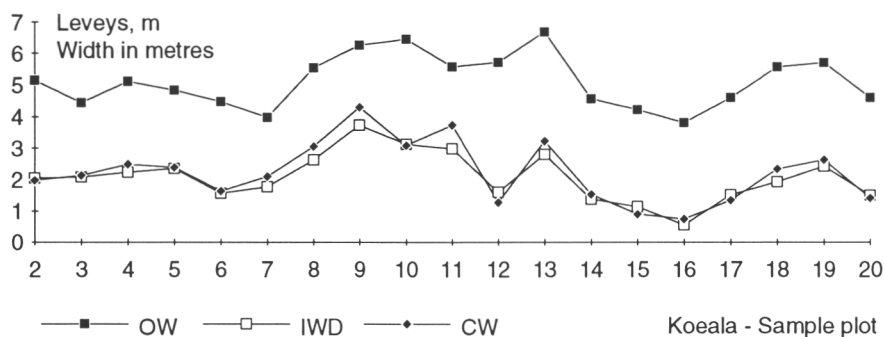
Nykyisissä korjuutaksoissa ja yksityismetsälain valvonnassa lähdetään ajourien enimmäisleveydestä (4 m) ja -tiheydestä (500 m/ha). Näiden lukujen mukaan ajourat saavat enimmillään peittää 20 % metsikön pinta-alasta. Valvontaohjeeseen ei olla kuitenkaan kirjoitettu pinta-alasuhdetta vaan ainoastaan enimmäisarvo ajouran leveydelle ja minimiarvo ajourien väliselle etäisyydelle. Kun nämä raja-arvot muodostavat ainoan ajouriin liittyvän ohjeiston suomalaisessa puunkorjuukäytännössä, rationaalisessa kilpailutilanteessa valitaan korjuukoneiksi ja -menetelmiksi sellaiset vaihtoehdot, jotka

minimikustannuksilla sopeutuvat näihin annettuihin reunaehtoihin.

Taulukko 1. Ajouran valvontaleveys ja sen osatekijät. Testiaineisto koostuu 19 tasaisesta kuusikoealasta, joissa harvennus toteutettu moitteettomasti.

Table 1. The control width of the strip road and it's basic characteristics. The example material consists of 19 sample plots in even spruce stands.

Koeala n:o	Järeys- kerroin <i>Diameter Coefficient</i>	Tiheys- kerroin <i>Density Coefficient</i>	Puiden välinen keskietäisyys <i>Mean distance of the trees</i>	Ulko- leveys <i>Outer width</i>	Likimääräinen sisäleveys <i>Inner width</i>	Valvonta- leveys <i>Control width</i>
Sample plot nr	CD = D_{tot}/D_e	CL = L_e/L_{tot}	L_{tot} m	OW m	IWD = $OW-L_{tot}$, m	$CD*CL*IWD$ m
2	0,987	0,983	3,11	5,15	2,04	1,98
3	0,948	1,081	2,37	4,45	2,08	2,13
4	1,063	1,049	2,88	5,11	2,23	2,49
5	0,919	1,102	2,49	4,84	2,35	2,38
6	1,016	1,024	2,91	4,48	1,57	1,63
7	0,970	1,224	2,22	3,98	1,76	2,09
8	1,006	1,162	2,92	5,54	2,62	3,06
9	1,017	1,131	2,51	6,26	3,75	4,31
10	0,927	1,065	3,32	6,45	3,13	3,09
11	0,948	1,320	2,59	5,58	2,99	3,74
12	0,985	0,813	4,12	5,71	1,59	1,27
13	0,959	1,206	3,89	6,68	2,79	3,23
14	0,983	1,134	3,19	4,56	1,37	1,53
15	0,958	0,825	3,09	4,22	1,13	0,89
16	1,006	1,351	3,27	3,82	0,55	0,75
17	0,973	0,909	3,08	4,60	1,52	1,34
18	1,024	1,186	3,64	5,56	1,92	2,33
19	0,977	1,114	3,28	5,70	2,42	2,63
20	1,041	0,912	3,11	4,60	1,49	1,41



Kuva 18. Ajouran ulkoleveys, sisäleveys ja valvontaleveys. Ks. taulukko 1.

Figure 18. The outer width, the inner width and the control width of the strip road. See table 1.

Jos valvontakäytäntöä muutettaisiin siten, että ajourien leveys ja ajourien tiheys voisivat vaihdella vapaasti, mutta ajourien pinta-alaosuudelle säädettäisiin yläraja, saattaisi jo tämä muutos merkitä asenteellista siirtymistä kohti nykyistä pienikokoisempia korjuukoneita.

Mikäli ajouran leveys määritettäisiin esitetyn valvontaleveys-käsitteen mukaisesti, ajourien pinta-alaosuudelle voitaisiin asettaa ylärajaksi esimerkiksi 10 %. Tämän mukaan valvontaleveydeltään kaksimetrisiä ajouria voitaisiin avata 20 metrin välein eli yhteensä 500 m/ha. Testiaineistossa esiintyvä korkein valvontaleveysarvo on 4,31 m (koeala 9, taulukko 1) ja alin 0,75 m (koeala 16). Edellisen kaltaisia ajouria voitaisiin avata enintään 230 m/ha eli 43 metrin välein ja jälkimmäisiä peräti 1333 m eli 7,5 metrin välein.

Mikäli ajourien pinta-alaosuus sisällytettäisiin myös puunkorjuun taksa-perusteisiin, menettely suosisi nykykäytäntöön verrattuna pieniä koneita ja huolellista puunkorjuun toteutusta. Metsänomistaja ja korjuusta vastaava osapuoli voisivat sopia yksityismetsälain mukaisen valvontalimitin puitteissa minkä tahansa tason, jonka mukaisesti ajourat avataan. Sovittu taso määräisi osaltaan korjuutaksan, ja toisaalta se korjuuvaikeustekijänä vaikuttaisi myös kantohintaan. Mitä pienemmällä ajouraosuudella korjuu voitaisiin toteuttaa sitä korkeampi korjuutaksa voitaisiin hyväksyä. Yksiselitteinen ajouran leveyden määrittäminen helpottaisi sopimuksen tekoa ja valvontaa.

Ehdotettu valvontaleveys-käsitteen käyttöönotto merkitsisi tuntuvaa etua korjuujäljen laatuvalvonnalle. Perusteiltaan selkeänä ja riittävän monipuolisena se olisi omiaan tukemaan myös korjuutyön koulutusta, suunnittelua ja toteutusta. Pitkällä aikavälillä sillä saattaisi olla vaikutusta myös harvennushakkuissa käytettävien korjuukoneiden valintaan ja alalla toteutettaviin työmenetelmä- ja tuotekehityshankkeisiin.

7.3 Ajouran leveyden määrittämiseen liittyviä käsitteitä

Ajouralla tarkoitetaan varsinaisen tiestön ulkopuolelle puunkorjuuta varten raivattua tai pelkästään käyttöönotettua kulku- ja työskentelytilaa. Ajouran raivaus kohdistuu vain puustoon. Mikäli raivaus sisältää myös kantojen ja kivien poistoa tai maapohjan tasausta, kysymyksessä ei ole enää ajoura, vaan jokin tie-päätteinen kulkuväylä. Ajouran leveyden yhteydessä käytetään tarkenteina seuraavia etuliitteitä:

Ulkoleveys

Ilmaisee korjuukoneiden käytettävissä olevan koko ajouratilan keskileveyden.

Tavoiteleveys

Ilmaisee korjuukoneiden tarvitseman ajouratilan keskileveyden.

Puustoleveys

Ilmaisee sen laskennallisen ajouratilan keskileveyden, jonka pinta-alaosuus koko metsikön pinta-alasta vastaa ajouran vuoksi poistettujen puiden suhteellista osuutta tarkasteltavan metsikön koko puustosta, ja jonka pituudeksi oletetaan ajourien kokonaispituus metsikössä.

Sisäleveys

Ilmaisee laskennallisen, välittömästi harvennuksen jälkeen puuntuotannon ulkopuolelle jäävän ajouratilan keskileveyden. Lähtötietoina käytetään ajouran ulkoleveyttä sekä reunapuiden sijainti- ja kokotietoja tai vaihtoehtoisesti metsikön puuston tiheyttä.

Valvontaleveys

On tarkasti määritelty sisäleveys-käsitteen muunnos, jonka lähtötietoina käytetään ajouran ulkoleveyttä, korjuusuunnitelman mukaista puuston tiheyttä sekä reunapuuston suhteellista järeyttä ja tiheyttä koko metsikön vastaaviin keskitunnuksiin verrattuina.

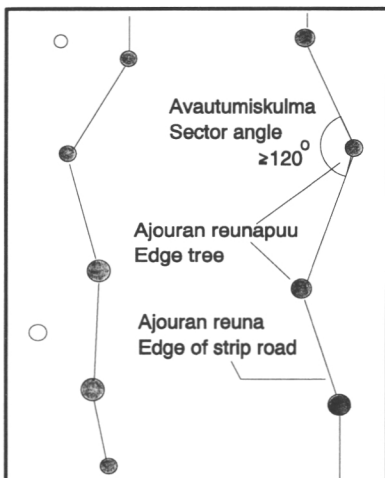
Mikäli on syytä edelleen tarkentaa leveyskäsitettä, viitataan sen kehittäjään tai kehittäjiin.

Ajouran leveyskäsitteiden yhteydessä käytetään seuraavia apukäsitteitä:

Puun sijaintipiste

Rungon pystysuuntaisen keskiviivan ja maanpinnan tason leikkauspiste.

Avautumiskulma



Ilmaisee kulma-asteina ($^\circ$), kuinka laaja naapuripuiden rajoittama sektori kunkin puun kasvutilasta liittyy välittömästi ajoura-aukkoon (kuva). Avautumiskulman määrittämisessä otetaan huomioon ainoastaan puiden sijaintipisteet.

Ajouran reunapuu

Jokainen vallitsevaan tai ylispuujaksoon kuuluva puu, jonka avautumiskulma ajouraan nähden on $\geq 120^\circ$ (kuva).

Puiden välinen keskietäisyys metsikössä (L_{tot})

Laskennallinen lukuarvo, joka ilmaisee puun keskimääräisen etäisyyden neljään lähimpään naapuripuuhun.

$$(1) \quad L_{tot} = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

N = puuston tiheys, kpl/ha

Reunapuuväli (l_i)

Kahden peräkkäisen, samalla puolella ajouraa sijaitsevan reunapuun välinen etäisyys.

Kirjallisuus - References

- Arvidsson, A. & Knutell, H. 1977. Mekaniserad fällning i gallring under vinterförhållanden. Skogshögskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och uppsatser 120. 62 s.
- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 48. 25 s. ISBN 91-576-2586-7.
- Bucht, S. 1978. Effekten av schematiska gallringar på beståndsutvecklingen i tallskog. Skogshögskolan, institutionen för skogsskötsel. Moniste.
- 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsskötsel. Rapporter 4. 276 s. ISBN 91-576-0338-3.
- & Elfving, B. 1977. Gallringsreaktion och tillväxt i ett korridorallrat bestånd. Summary: Thinning response and increment in a strip-thinned stand. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4:323-345. ODC 242:562.22--175.7.
- Carlestål, B. & Dehlén, R. 1977. Gallringsmetoder för självverksamma skogsägare. Skogshögskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och uppsatser 105. 137 s.
- Dahlin, B. 1980. Slingrande stickvägar i förstagallringar. Summary: Winding strip-roads in first thinnings. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Rapport 136. 32 s. ISBN 91-576-0730-3.
- Diggle, P. J. & Knutell, H. 1979 "Kniggle" - en ny metod för skattning av stickvägsbredd. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Rapport 125. 72 s. ISBN 91-576-0206-9.
- Eriksson, H. 1982. Stickvägsbreddens inverkan på tillväxten i unga granbestånd — några nya resultat från ett sameuropeiskt forskningsprojekt. Summary: The effect of the extraction rack on the increment of young Norway spruce stand — some new results from a common European research project. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 6:47–56. ODC 56:383.2.
- 1987. New results from plot no. 5 at Sperlingsholm estate in Southwestern Sweden in the european stemnumber experiment in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 2:85–98. ISSN 0282-7581.
- Granvik, B.-A. 1993. Puu- ja metsäteknologian peruskäsitteitä ja termejä. Osa 2: Metsäteknologia. Trä- och skogsteknologiska grundbegrepp och termer. Del 2: Skogsteknologi. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 1. 455 s. ISBN 951-45-6320-4.
- Isomäki, A. 1993. Harvennus puuntuotannon ohjauksena. Myllynen, A.-L. & Sinkevich S.M. (toim.) Venäläis-suomalainen harvennushakkuuseminaari 9.–11.11.1992. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 7. s. 83–92. ISSN 1235-7421.
- & Niemistö, P. 1983. Koalapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The selection of trees in thinning experiments: A computer method. Folia Forestalia 557. 32 s. ISBN 951-40-0617-8.
- & Niemistö, P. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. Abstract: Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland. Folia Forestalia 756. 36 s. ISBN 951-40-1114-7.
- Kahala, M. & Salminen, J. 1968. Paperipuiden runkoina korjuu harvennusleimikoissa. Summary: Tree-length logging of pulpwood in thinnings. Metsätehon tiedotus 272. 22 s.
- & Savolainen, R. 1968. Tutkimus ajouravälin vaikutuksesta paperipuun hakkuussa. Summary: Study on the effect of strip road spacing in pulpwood cutting. Metsätehon tiedotus 280. 15 s.
- Lilleberg, R. 1984. Kasvatushakkuiden korjuujälki. Summary: The state of harvested thinning stands. Metsätehon tiedotus 388. 16 s. ISBN 951-673-096-5.
- 1986. Harvennushakkuuleimikoiden korjuujälki kehittyneempiä menetelmiä käytettäessä. Metsätehon katsaus 12. 4 s.
- Metsänhoitosuosituksset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 55 s.
- Nykysuomen Sanakirja. 1983. 8. painos. WSOY, Porvoo. ISBN 951-0-09206-1.
- Poikela, A. 1992. Selvitys harvennushakkuun korjuujälki-inventoinnin tarkkuudesta. Metsäkeskus Tapio. Moniste. 11 s.

- Putkisto, K. 1952. Polannetie. Summary: The packed-snow road. Metsätehon tiedotuksia 69. 8 s.
- 1953. Hevospolannetie. Summary: The packed-snow road for horse-haulage. Metsätehon tiedotuksia 89. 8 s.
- 1957. Tutkimuksia pyörätraktoreiden käytöstä puutavaran metsäkuljetuksessa. Teknillistaloudellinen selvittely. Summary: Investigations of the use of wheel tractors for the forest transport of timber. Techno-economic analysis. Acta Forestalia Fennica 66(1). 310 s.
- 1971. Puutavaran korjuu. Puun metsäkuljetus. Tapion taskukirja. 16. painos. Keskusmetsälautakunta Tapion julk. s. 390–398.
- Ruotsin metsänhoitolaki. SVL. 1979:429.
- Ruotsin metsähallituksen ohjeet. SKS FS. 1983.
- Salminen, J. 1968. Tutkimuksia sahatukkien koneellisesta esikasauksesta. Summary: Studies on mechanised bunching of sawlogs. Metsätehon tiedotus 277. 28 s.
- Simola, P. 1950. Pinotavaran teko palstatiin varteen. Summary: Making of corwood into piles along logging roads. Metsätehon Tiedotuksia 51. 4 s.
- Sondell, J. 1974. Mätning av stickvägsareal. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Moniste.
- Tørå, G. D. 1978. Skadefrekvensen etter tynning i granskog. Föredrag vid konferensen: Gallringens biologi och teknik. Garpenberg maj 1978. Moniste.
- Yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeet. 1991. Metsäkeskus Tapio.

Total of 32 references

Haastattelulausunnot

- Hakkarainen, A. E. 1990.
- Putkisto, K. 1990.
- Rumpunen, H. 1992.

Summary

Determining strip road width

1. Introduction

The concept of strip roads is linked to the Nordic practice of thinning stands in their intermediate stages of development. Strip road in this connection refers to an access space cleared outside of the regular road system so that the required clearing work focuses solely on removing trees. Obstacles to hauling timber are either avoided or they are levelled using slash. In winter conditions, snow and the formation of ice in wet depressions also level the surface. Finnish stipulations applied in privately owned forests state that the distance between adjacent strip roads must be more than 20 metres and strip road width must be less than four metres. In other words, strip roads may be established to a maximum density of 500 m/ha and their share of stand area (i.e. ratio of strip road space to total stand area) may rise to one fifth.

Since strip roads are not demarcated from their surroundings by ditches or other boundaries marked out in the terrain, there is some variation in the interpretation given to strip road width. The present study is an examination of the concept of strip road and it also presents some alternatives for determining the space taken up by strip roads. This study does not aim to put forward a single, appropriate strip road concept or a way of measuring it; it aims simply to propose ideas and empirically tested alternatives to people engaged in the formulation of quality control systems for intermediate felling situations. In addition to presenting an objective assessment of the subject of study, the author takes this opportunity to bring up some personal views; these are presented at the end of the report in the form of a new approach to determining the control width of strip roads.

2. Method and material

The present report is a separate report focusing on strip road width and in this sense an expanded version of the study by Isomäki and Niemistö (1990) called "Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland". The said study addressed the concept of strip road width, but the authors were not then in a position to deal with it at such length and as great a detail as literature reviews and the collected data would have permitted.

The study is mainly based on reviewing associated literature with Nordic strip road studies forming the background. Empirical data plays only a minor role in this study. The material used is the same as that used in the aforementioned strip road study by Isomäki and Niemistö (1990). It consists of data collected from twenty temporary experimental plots established in the early 1980s in young stands of spruce in southern Finland. The plots were placed in well-managed (usually planted) stands in which thinning and the associated clearing of strip roads and harvesting work had been carried out with great care and professionalism. Visual appraisal indicated that strip road width on all the study sites had been kept to a minimum with respect to the logging machinery used. In other ways, too, it appeared that first thinning had been carried out exceptionally well.

Plots rectangular in shape were marked out in the experimental stands. Parallel to the adjacent strip roads, these plots were 25–80 m in length and usually 30 m in width (Fig. 2). The combined area of the plots was 17 735 m² while the total length of the strip roads that the study focused on was 773 m.

3. Basic grouping of strip road width concepts

Depending on the approach one takes, one can speak of strip road width either in the harvesting sense or wood production sense. In the harvesting approach, width is the amount of lateral space the harvesting machine requires, i.e. *target width* of strip road, or the entire space taken up by the strip road and available to the harvesting machine, in which case the term applied is *outer width* of strip road.

Strip road width in the wood production sense aims primarily at depicting the impact that strip roads have on the yield and quality of timber. If strip road width in the wood production sense is defined with trees removed from the strip road as the basis, one can speak of *harvesting width* of strip road. On the other hand, if the estimate is based on the loss of growing space (i.e. on determining how much growing space is relegated outside wood production), the term used to describe strip road width is *inner width* of strip road (Isomäki & Niemistö 1990).

4. Width concepts related to harvesting

4.1 Target width

Target width depicts the lateral space required by a machine to work in and move. The principle applied when defining target width is to omit any extensions in width resulting from unevenness in stand stocking. However, since such extensions in width do exist, and they are seamlessly connected with strip road space, target width cannot be tangibly and unambiguously indicated in the field.

All currently recognised target width concepts are of Swedish origin:

- 4.1.1 Sondell's (or Skogsarbeten's) method (Fig. 4)
- 4.1.2 Arvidsson's and Knutell's method (Fig. 5)
- 4.1.3 Bucht's method (Fig. 6)
- 4.1.4 Kniggle-method (Fig. 7)
- 4.1.5 Björheden's and Fröding's method (Fig. 8)

4.2 Outer width

The outer width of strip roads is the mean width of the entire strip road width available to harvesting machines. As a concept, outer width is closest to the picture that comes to a layman's mind on seeing a real strip road in the woods. When defining the outer width of a strip road, only the trees bordering the strip road are taken into account.

If one were to consider the travel to and from of the harvesting machine, loader motions, or felling and processing unit motions, and the space required for moving felled timber, there would be no end to the rules to be applied in determining the outer width of strip roads. In practice, however, there is just one main solution. According to it, strip road edge is defined as the line passing through a set of points depicting the location of edge trees. Similarly, strip road width is the mean width of the strip road space thus delimited.

Three applications of this main solution have been recorded:

- 4.2.1 Carlestål's and Dehlen's method (Fig. 9)
- 4.2.2 Tørå's method (Fig. 10)
- 4.2.3 Isomäki's and Niemistö's method (Fig. 11)

In addition to these, there is presented a previously unpublished:

- 4.2.4 HaRu-method, developed by Harri Rumpunen, M.Sc., while employed by Metsäteho (Fig. 12).

5 Width concepts related to wood production

Before one can go on to evaluating the impact on wood production of the clearing of strip roads, one must know how much of the stand's yield potential is lost as trees are removed on strip roads. One must also bear in mind that not all of the space taken up by strip roads is lost as growing space, because trees on the edges of strip roads can make use of the said space and thereby compensate for some of the increment loss resulting from strip roads. Isomäki and Niemistö (1990) examined wood production related strip road width from two different points of view and then developed the width concepts of *harvesting width* and *inner width*.

5.1 Harvesting width

Harvesting width depicts the productive growing space lost as a consequence of trees being removed in clearing strip roads (Fig. 13).

5.2 Inner width

Inner width depicts how much nonproductive growing space is left between edge trees once the growing space used by edge trees has been taken into account (Fig. 14).

5.3 Approximate inner width

When determining *approximate inner width*, the basic parameters are the strip road's outer width and the area thus defined (Isomäki & Niemistö 1990). However, the tree-specific growing area taken up by edge trees is not subtracted from the value thus obtained. Instead, the mean spacing of the trees in the stand, L_q , is subtracted from the value for outer width (Fig. 15).

6 Comparison of strip road concepts

6.1 The width of strip road

Generally speaking, target width concepts are such that strip road width values fall between those of outer width and all wood production related width concepts. As a rough estimate, it can be said that wood production related width concepts give width values approximately half of those given by outer width (Fig. 17).

The value of harvesting width appears to be independent of whether it is determined before or after thinning. As it is based on comparing trees removed from the strip road space with the entire growing stock of the stand, the result is primarily dependent on the orientation of the strip roads in relation to gaps and more closely spaced clusters of trees within the stand. This is why seemingly identical strip roads may, in fact, get considerably different harvest width values.

6.2 Suitability of concepts

The outer width of a strip road depicts the strip road the way it is seen in the woods, delimited by edge trees. Consequently, it readily satisfies what may be called the tangibility requirement applied to strip road width concepts. Outer width may also be seen as being sufficiently unambiguous and therefore a good parameter in view of possible disputes. This applies especially to the method developed by Isomäki and Niemistö (1990) in which the concept of edge tree is also well defined.

Concepts of outer width do not include means for controlling edge tree evenness in the direction of the strip road. Due to this shortcoming, all previous methods for determining the

outer width of strip roads (Carlestål & Dehlén, Tørå 1978, Isomäki & Niemistö 1990) make it possible to decrease the value for strip road width by removing edge trees with sector angles $< 180^\circ$. In other words, the value for strip road width can be decreased by a means that actually increases the strip road space available to machines.

The concept of harvesting width is probably closest to the impression related to the wood production disadvantage resulting from harvesting. Harvesting width takes into consideration the growing space of only those trees that have had to be removed when clearing strip roads. Consequently, naturally formed gaps, via which a strip road is made to pass, are considered not to belong to the strip road space.

Harvesting width has its negative aspects, too. In principle, it differs from all other means of supervision of the state of woodlands in that it is based on estimating of removed trees. Nowadays, the general practice is to confine one's assessment of a stand to the state it is in after treatment. Neither are there any specific properties required of the volume or structure of the timber removed. Furthermore, when one takes into consideration the laboriousness of determining harvesting width and the uncertain ties resulting from slash, snow and the method itself, this method also falls short of the ideal method of assessing the strip road width.

The concept of strip road inner width is aimed at depicting strip road space that is left in an unproductive or at least underproductive state immediately following the clearing of the strip road. Isomäki and Niemistö (1990) have presented two methods for determining the inner width of strip roads. Both methods use outer width as initial data.

In the case of the more orthodox, but at the same time more arduous, method, the user is required to chart and measure every edge tree along the strip road. The data thus collected is then used to calculate and pinpoint per tree the growing spaces of the edge trees.

When satisfied with a method resulting in approximate inner width, and one that is considerably easier to carry out, the user is no longer required to determine the growing space of the edge trees tree-by-tree; instead, this parameter is obtained as a mean based on the growing stock data for the stand as a whole. As long as the trees bordering on the strip road have not been treated differently to the rest of the stand, this method of determining the inner width of strip roads, based as it is on the density of the growing stock, gives width values that are in agreement with those obtained using the preceding method. Such a state of uniform treatment is, however, more an exception than a rule in practice. Considering how much the treatment of trees bordering on strip roads as well as the presence of the strip road itself influence wood production in a stand, a stand-specific mean value of this kind cannot be considered adequate in a situation where evaluation focuses on the strip road and the treatment of trees bordering on it.

6.3 Properties of ideal width concept

On considering the matters emphasised in connection with the width concepts developed to date, the ideal width concept can be allocated a host of desired properties.

Since strip road width is used as a concept in the post-harvesting supervision of the contract entered into by woodland owners and harvesting organisations as well as in supervising that the Private Forestry Act is adhered to, it is only reasonable that pronounced unambiguity is required of the concept. Accordingly, the concept should be defined both simply and in sufficient detail so as to entirely prevent interpretation problems leading to disputes.

Another requirement connected to the above is for all the required variables to lend themselves to be objectively measured. This requirement is fulfilled if the personal views of the person doing the measuring cannot influence the result (i.e. the result remains unchanged regardless of the person trained to carry out the measurement). The calculatory derivation of the width parameter from the initial measurement data should also be clear and thoroughly defined. Accordingly, there should be only one end result obtainable for a given set of initial data.

The method should be efficient in regard to both the costs incurred and the usability of the width parameter sought. In practice, tree tallying, for instance, may be considered too time consuming. On the other hand, one should also take into account the quantity and quality of

becomes enhanced if it provides both harvester and woodland owner with strip road information.

According to the results of the study by Isomäki and Niemistö (1990), none of the strip road width concepts presented to date can alone efficiently depict the disadvantage to wood production that is connected to strip roads. Post-harvesting stand increment is primarily influenced by the volume of the remaining growing stock, not so much by its spatial arrangement. Consequently, the concept of strip road width should also include information on the treatment of the part of the growing stock that borders on strip roads.

The concept of strip road width should depict, as factually as possible, the strip road and the wood production properties of the growing stock bordering on it. This being the case, the width parameter should, in addition to containing information on the strip road itself, be also made to include information on the overall spacing of the stand and on the density of the growing stock bordering on the strip road. If possible, information should also be made available on the size of the trees bordering on the strip road in relation to tree size on part of rest of the growing stock.

In continuation of the above, and closely linked to it, there is the requirement that the width value to be obtained using the selected method will consistently adjust itself to the changes that take place in reality. In this connection, the Kniggle method and all methods embodying the concept of outer width have proved to be incomplete.

7 Proposal for general determination of strip road control width

7.1 Construction of the control width concept

Until now, the results of strip road studies and practical experiences give reason to claim that no known concept of strip road width as such fulfills all the properties required of a good strip road concept. This being the case, I feel it to be necessary to present yet another new width concept; I shall refer to it here by the name strip road *control width* (CW). The primary objectives in its development have been clarity and simplicity plus sufficient versatility so that this new concept might provide an efficient means of controlling the wood production related properties of strip roads.

Control width may be seen as being a variation of the inner width concept. It is exactly the equivalent of *approximate inner width* (IWD), as long as the trees bordering on the strip roads are treated in the same way as the rest of the stand. The concept of approximate inner width as such is good at depicting the strip road space, but it fails to give any information on the treatment of the part of the growing stock that borders on it. And yet these trees are of at least as great an importance for wood production as the strip road space. This is the very reason why the factors contributing to the concept of strip road control width have been made to include the relative size and density of the trees forming the bordering growing stock as compared to the corresponding mean parameters for the entire stand.

The initial parameters when determining control width are the strip road's outer width (OW) and mean inter-tree distance (L_{tot}). The aforementioned approximate inner width (IWD) is obtained by subtracting the inter-tree mean distance from the value obtained for outer width.

The relative size (compared to tree size in the stand as a whole) of the trees forming the part of the growing stock bordering on the strip road is taken into consideration by forming the ratio D_{tot}/D_e , where D_{tot} stands for mean diameter of dominant growing stock and D_e stands for mean diameter of edge trees. This ratio is used as such as a tree-size coefficient of edge trees (C_D) influencing strip road control width.

The relative density of the edge trees is taken into account using a coefficient for the density of trees bordering on strip roads (C_L). However, this coefficient is not formed using the actual density coefficient; instead, it is formed using mean inter-tree spacing, a coefficient opposite to it. Consequently, it indicates the ratio (L_e/L_{tot}) between the mean inter-tree distance of trees bordering on the strip road (L_e) and the mean inter-tree distance for all trees in the stand. In its entirety, control width may be expressed using equation 4 or 5:

$$(4) \quad CW = C_D \cdot C_L \cdot (OW - L_{tot})$$

$$(5) \quad CW = \frac{D_{tot}}{D_e} \cdot \frac{L_e}{L_{tot}} \cdot (OW - L_{tot})$$

CW = control width, dm

OW = outer width, dm

C_D = diameter size coefficient of edge trees

C_L = density coefficient of edge trees

D_{tot} = mean diameter of the whole stand, cm

D_e = mean diameter of the edge trees, cm

L_e = mean inter-tree distance of the edge trees, dm

L_{tot} = mean inter-tree distance of all trees in the stand, dm

Since edge trees generally exceed the average tree in size, the use of size coefficients in connection with the trees bordering on strip roads usually reduces the value of strip road control width. This means that tree-specific thinning selection focusing on the trees bordering on strip roads is appropriately taken into account.

The distances between edge trees on the same side of strip roads (or edge tree distance) (l_e) need to be measured in order that the coefficient for density of trees bordering on strip roads might be computed. When the mean of these values is compared with the mean inter-tree distance of the stand, the result is the density coefficient (L_e/L_{tot}). This coefficient is computed as a common mean for the entire area being studied. Its impact of control width is clear and simple: if the mean distance between edge trees is greater than the mean inter-tree distance in the stand as a whole, the value for the control width value increases and vice versa.

7.2. Aspects of use of control width

The proposed concept of control width has not as yet been applied in practice. Consequently, costs and time consumption data on the associated field work are lacking.

Control width was applied in connection with the strip road data of Isomäki and Niemistö (1990). This data has been described earlier in this report. It is interesting to note here that the approximate inner width and control width determined in the manner described in this proposal were almost equivalent on each of the sample plots. This indicates that the combined impact of size and density of the edge trees on the values obtained for control width using this study material has been negligible. However, the result does not provide grounds for drawing the conclusion that these factors are insignificant when dealing with the subject of inspection of harvesting trace.

Current harvesting rates and the supervision of the Private Forestry Act are based on maximum strip road width (4 m) and maximum density (500 m/ha). These figures mean that the space taken up by strip roads may not exceed 20 % of the total stand area. However, this ratio is not put down in writing; maximum strip road width and minimum interval between adjacent strip roads are stated, and that is all. Since these limit values constitute the only stipulations connected to the laying out of strip roads in Finnish forestry, rational competition situations mean that harvesting machine and method selections favour options that fulfil these supplementary requirements at minimum cost.

Were supervision practices altered so that strip road widths and densities (intervals) could be freely modified, but with the aforementioned ratio of strip road space to total stand area being given a ceiling value, such a change on its own could result in attitudes becoming favourable to hitherto more compact harvesting machinery.

Were strip road width determined in accordance with the proposed concept of control width, the ratio between strip road space and total stand area could be set a ceiling value of 10 %, for instance. This would mean that strip roads with control widths of 2 m could be placed at intervals of 20 m, giving a strip road density of 500 m/ha. The highest control width value in the test material is 4.31 m (sample plot 9, Table 1) and the lowest is 0.75 m (sample

plot 16). Strip roads of the former kind could be placed at a maximum density of 230 m/ha (at intervals of 43 m) while those of the latter kind could be established at a density of 1333 m/ha (7.5 m apart).

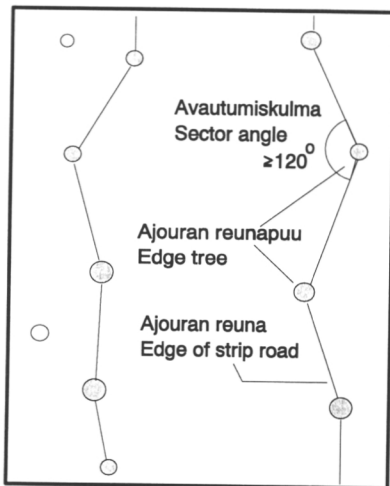
Were the strip-road-space-to-stand-area ratio embodied as a factor influencing timber harvesting rates, the method would favour the use of compact machines and application of meticulous harvesting. Woodland owners and harvesting organisations could agree on any level of strip road clearing within limits stipulated by authorities. The level agreed upon would then partly determine the harvesting rate — the smaller the strip road ratio applied, the higher the harvesting rate. A straightforward method of determining strip road width would ease the formulation of harvesting contracts and supervision.

Adopting of the proposed control width concept would be of significant benefit to quality appraisal of harvesting trace. Clear in its basics and sufficiently versatile in application, it would also be found supportive in planning, training and application of harvesting operations. In the long-term, it could also influence selection of harvesting machines and of work methods and product development projects to be implemented in forestry.

7.3 Concepts related to determining of strip road width

Location of tree

This point is defined as the point of intersection between the vertically orientated mid-line of the stem and the plane representing ground level.



Sector angle

This angle indicates in degrees ($^\circ$) how wide a sector (delimited by neighbouring trees) of each tree's growing space is in immediate contact with the strip road opening. When determining the sector angle, consideration is given solely to the locations of trees.

Edge tree

Each tree (dominant or codominant) whose sector angle $\geq 120^\circ$ with respect to the strip road.

Mean inter-tree distance (L_{tot})

A calculatory value indicating the mean distance from a tree to four of its nearest neighbours.

$$(1) \quad L_{tot} = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

N = stand density, stems/ha

Edge tree distance (l_e)

Distance between two adjacent edge trees on the same side of strip road.

Kansi: Ilkka Taponen
Paino: Paintek Pihlajamäki Oy, Helsinki 1994

ISBN 951-40-1366-2
ISSN 0358-4283