

KAKSIAJOKAISTAISEN TIEN LIIKENTEENVALITYSKYKY TUTKIMUS V. 1970

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
TIESUUNNITTELUOSASTON TUTKIMUKSIA

TVH 2.389

HELSINKI 10. 11. 1971

KAKSIAJOKAISTAISEN TIEN LIIKENTEENVÄLITYSKYKY

TUTKIMUS V. 1970

Tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellinen toimisto

Tie- ja vesirakennushallitus

Helsinki 10.11.1971

ALKUSANAT

Tie- ja vesirakennuslaitoksen normaalimääräyksiin ja ohjeisiin sisältyvä tien liikenteenvälityskykyä käsittelevä luku perustuu ulkomailta 1950-luvulla suoritettuihin välityskykytutkimuksiin. Ajoneuvojen rakenteessa, tieolosuhteissa ja ajotavassa on edellä mainitun ajankohdan jälkeen tapahtunut muutoksia, joilla on ollut vaikutusta teiden kykyyn välittää liikennettä. Voimassa olevia ohjeita voidaankin tältä osalta pitää vanhentuneina ja ohjeiden tarkistamista kiireellisenä tehtävänä.

Ohjeiden tarkistamista silmälläpitäen tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellinen toimisto on käynnistänyt kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskykyä koskevan tutkimuksen, johon vuonna 1970 laaditun ohjelman mukaan kuuluu seuraavia selvityksiä ja tehtäviä:

1. Katsaus aikaisempiin välityskykytutkimuksiin
2. Tutkimussuunnitelma
3. Tutkimuksen suorittaminen v. 1970
4. Jatkotutkimukset

Tämä julkaisu sisältää kohdissa 1, 2 ja 3 mainitut selvitykset. Kohdassa 4 mainitut jatkotutkimukset ovat toistaiseksi vasta alkuvaiheessa, joten niistä laadittaneen aikanaan erillinen selvitys.

Jäljempänä olevan selvityksen laatimista on johtanut dipl.ins. Teppo Miikkulainen. Selvityksen laatimiseen on otanut osaa konsulttina toiminut dipl.ins. Veikko Syyrakki ja teknillistaloudellisen toimiston palveluksessa oleva dipl.ins. Esko Hevonoja, joka teki myös diplomityönsä tässä tutkimuksessa keräämänsä aineiston pohjalta.

Selvitykset antanevat eräitä ohjeiden tarkistamisessa huomioonotettavia tietoja kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyvystä Suomessa.

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
0. Johdanto	1
1. Katsaus aikaisempiin välityskykytutkimuksiin	2
1.0 Yleistä	2
1.1 Liikenteenvälityskykyyn vaikuttavien tekijöiden tarkastelu ulkomaisten tutkimusten valossa	3
1.11 Tieolosuhteista johtuvat tekijät	3
1.12 Liikenneolosuhteista johtuvat tekijät	7
1.13 Muut tekijät	10
1.2 Suomessa suoritettuja liikenteenvälityskykyä sivuavia tutkimuksia	11
1.21 Nopeustutkimus v. 1965	11
1.22 Liikenteenvälityskykyä koskeva selvitys	11
1.23 Yleistä nopeusrajoitusta 90 km/h koskeva tutkimus	12
1.24 Yleistä nopeusrajoitusta 110 km/h koskeva tutkimus	12
1.25 Taloudelliset tutkimukset	13
1.26 Tutkimus nopeuksista pienisäteisissä kaarteissa	14
2. Tutkimussuunnitelma	15
2.0 Yleistä	15
2.1 Aikaisemmin suoritettujen tutkimusten tulosten käyttö tutkimusta suunniteltaessa	15
2.2 Tutkimuksessa huomioon otettavien tekijöiden valinta	16
2.21 Tieolosuhteista riippuvat tekijät	16
2.22 Liikenneolosuhteista riippuvat tekijät	17
2.23 Muut tekijät	18
2.3 Tutkimusmenetelmät	18
2.31 Tieolosuhteiden inventointi	18
2.32 Liikenneolosuhteita selvittävät	19
2.4 Tutkimuspaikkojen valinta	23
2.41 Tutkimusaineistolle asetetut vaatimukset	23
2.42 Ehdotus tutkimuskohteiksi sopivista tieosista	24

3.	Tutkimus v. 1970	26
3.0	Yleistä	26
3.1	Tutkimusaineiston kerääminen	26
3.2	Aineiston käsittely	26
3.3	Tutkimustuloksia	28
3.31	Tutkimusvälien tieolosuhteet	28
3.32	Tutkimusväleiltä saatuja nopeus- tuloksia ja niitä vastaavia lii- kennemääriä	30
3.33	Nopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvuus eri tieolosuhteissa	33
3.34	Nopeus-liikennemääräriippuvuuksien vertailu ulkomaisiin tutkimuksiin	36
3.35	Nopeuden suuntajakautuman tarkastelu	36
3.36	Aikavälijakautuma	37
3.37	Kuorma-autojen nopeudet nousuissa	38
3.4	Yhteenveto	41
4.	Kirjallisuusluettelo	43
	Liitteet	

0. Johdanto

Liikenteenvälityskyvyllä sen yleisessä merkityksessä tarkoitetaan määrätyn tien, tien osan tai tien kohdan kykyä läpäistä liikennettä. Liikenteenvälityskyky ilmaistaan ajoneuvojen (jalankulkijoiden) tai henkilöautoyksikköjen lukumääränä aikayksikössä.

Liikennemäärän kasvaessa saavutetaan aluksi raja, jonka ylittäminen aiheuttaa ajoneuvojen keskinopeuden selvästi havaittavaa pienenemistä. Ajoneuvojen lukumäärän edelleen lisääntyessä alkaa syntyä liikenteen sujuvuutta haittaavaa jonomuodostusta, kunnes saavutetaan liikenteenvälityskyvyn yläraja ajoneuvojen keskinopeuden ollessa 40...60 km/h (ulkomaisten tutkimusten mukaan).

Ajoneuvojen nopeudet ja tien välityskyky vaihtelevat eri teillä ja tien osilla suuresti riippuen lähinnä tieolosuhteista. Ulkomailla tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että kaksiajokaistaisella tiellä hyvissä tieolosuhteissa nopeuksien pieneneminen on selvästi havaittavissa liikennemäärän ollessa noin 500...1000 autoa/h ja tien suurin välityskyky saavutetaan ihanteellisissa olosuhteissa liikennemäärän ollessa noin 2000 autoa/h.

Tarkastelemalla viime vuosina saatuja liikennelaskentojen tuloksia ja tien suunnittelun ohjeajankohdalle laadittuja liikenne-ennusteita voidaan muodostaa yleiskäsitys siitä, missä määrin välityskykyä voidaan teillä odottaa lähivuosina muodostuvan.

Vuoden 1965 yleisen liikennelaskennan mukaan maanteillämme oli KVL₆₅:n keskiarvo 510 autoa/vrk, noin 0.7 %:lla maanteistämme ylitettiin liikennemäärä 5000 autoa/vrk ja noin 15 %:lla alitettiin liikennemäärä 100 autoa/vrk. Paikallisteistämme alle 3 % oli sellaisia teitä, joiden KVL₆₅ ylitti 300 autoa/vrk ja yli 70 % sellaisia, joiden KVL₆₅ oli alle 100 ajon/vrk.

Vuonna 1970 suoritetusta yleisestä liikennelaskennasta on tässä vaiheessa käytettävissä tiedot ainoastaan päätieverkon liikennemääristä. Koko päätieverkon pituudesta 10513 km oli 650 km sellaisia teitä, joilla KVL₇₀ ylitti liikennemäärän 5000 autoa/vrk. Em. kilometrimäärässä on mukana 97 km moottoritietä.

Vuodeksi 1985 laadittujen päätieverkkoa koskevien liikenne-ennusteiden mukaan näyttää siltä, että vuonna 1985 Suomessa on n. 2000 km sellaisia pääteitä, joiden liikenne on yli 5000 ajon/vrk.

Sekä liikennelaskennassa todetut että ennustetut suurimmat liikennemäärät esiintyvät pääasiassa neljän eteläisimmän läänin alueella. Vähäliiken-

teisten teiden osuus kasvaa nopeasti pohjoiseen mentäessä.

Tutkimuksissa on todettu, että kesäliikennekerroin on 1.3...1.4, kesäsunnuntain vaihtelukerroin 1.4...1.6 ja huipputunnin liikenne on usein noin 10 % vuorokauden keskimääräisestä liikenteestä. Näiden tietojen perusteella voidaan KVL:n 5000 autoa/vrk olettaa vastaavan kesäsunnuntain huipputunnin liikennettä 1000 autoa/h.

Edellä mainituista liikennemäärätiedoista voidaan todeta, että suurimmalla osalla yleisistä teistämme liikenteen sujuvuus on toistaiseksi turvattu. Välityskyvyn riittämättömyyttä ilmenee toistaiseksi vain muutamilla taajamien lähellä olevilla tienosilla ja kaikkein selvimmin Helsingin läheisyydessä viikonloppuliikenteen aikana.

Mikäli liikennemäärää 1000 autoa/h pidetään liikenteen ruuhkautumisen esiintymisen likimääräisenä rajana, voimme todeta, että v. 1965 esiintyi suuresta liikennemäärästä johtuvia ruuhkautumia 270 km:llä ja vuonna 1970 550 km:llä yleisiä teitä. Jos moottoriteitä ei rakennettaisi lähivuosina, ylittyisi liikennemäärä 1000 autoa/h vuonna 1985 n. 2000 km:llä kaksiajokaistaisia teitä. Em. tarkastelussa on otettu huomioon vain kaupunkien katuverkon ulkopuolelle jäävät yleiset tiet.

Liikenteenvälityskyvyltään entistä parempien teiden rakentamisen tarve tulee siis lähivuosien aikana nopeasti kasvamaan. Tällä kehityksellä on erittäin suuri taloudellinen merkitys, koska korkealuokkaisten teiden rakentaminen edellyttää suuria taloudellisia investointeja.

Tästä syystä on pyrittävä mahdollisimman yksityiskohtaisesti selvittämään tien liikenteenvälityskyvyn riippuvuutta eri tekijöistä ja käyttämään näitä tietoja hyväksi siten, että liikenteen ruuhkautuminen voitaisiin välttää taloudellisessa mielessä mahdollisimman tarkoituksenmukaisia keinoja käyttäen.

Ulkomailla, varsinkin Yhdysvalloissa on liikenteenvälityskykytutkimuksia suoritettu varsin kauan jo perusteellisesti. Sen sijaan kotimaista tutkimusta on tien välityskykyyn kohdistuen suoritettu varsin niukalti, maaseutuolosuhteissa ei varsinaisesti lainkaan. Jäljempänä on esitetty katsaus ulkomaiseen tien välityskykyä koskevaan kirjallisuuteen ja tarkasteltu myös eräitä Suomessa suoritettuja liikenteenvälityskykyä sivuavia tutkimuksia. Edellä mainitun aineiston pohjalta on laadittu ehdotus kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyvyn tutkimussuunnitelmaksi. Lopuksi on selostettu vuoden 1970 kesällä em. suunnitelman pohjalta suoritettun välityskykytutkimuksen tuloksia.

Dipl.ins. V. Syyrakki

1. Katsaus aikaisempiin tutkimuksiin

1.0 Yleistä

Ensimmäisessä, välityskykyä laajasti ja perusteellisesti käsittelevässä teoksessa Highway Capacity Manual (HCM) 1950 /10/, määriteltiin kolme eri välityskykykäsitettä seuraavasti:

PERUSVÄLITYSKYKY on suurin henkilöautojen lukumäärä, joka jatkuvana jonona voi ohittaa tien tai ajokaistan kohdan aikayksikössä ihanteellisissa olosuhteissa (vrt. 1.1)

MAHDOLLINEN VÄLITYSKYKY on suurin ajoneuvojen lukumäärä, joka voi ohittaa tietyn tien tai ajokaistan kohdan aikayksikössä vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa

KÄYTÄNNÖLLINEN VÄLITYSKYKY On suurin ajoneuvojen lukumäärä, joka voi ohittaa tietyn tien tai ajokaistan kohdan aikayksikössä liikennetiheyden muodostumatta niin suureksi, että se aiheuttaa kohtuutonta viivytystä, vaaraa tai ajamisvapauden rajoitusta vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa.

Myöhemmät tutkimukset nojautuvat yleensä edellä esitettyihin määritelmiin, jotka pysyivät sekä sisällöllisesti että muodollisesti välityskykytutkimuksen lähtökohdana puolitoista vuosikymmentä.

HCM:n uudessa laitoksessa (HCM 1965) laajennettiin ja tarkennettiin välityskykykäsitteitä ottamalla käyttöön käsite palvelutaso.¹⁾ Aikaisempi perusvälityskyky määriteltiin välityskykyksi ihanteellisissa olosuhteissa ja pelkkä välityskyky varattiin aikaisempaa mahdollista välityskykyä vastaavaan käyttöön. Tämän lisäksi määriteltiin kuusi palvelutasoa (A-F), jotka riippuvat tie- ja liikenneolosuhteista. Näistä palvelutaso B vastaa likimain aikaisempaa käytännöllistä välityskykyä ja palvelutaso E mahdollista välityskykyä. Kullakin palvelutasolla saavutettavaa suurinta liikennemäärää kutsutaan palvelutason välityskyvyksi.

¹⁾ Palvelutasosta käytetään myös nimitystä liikenneitävyyssluokka.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lähinnä HCM 1950:ssa /10/ määritettyä mahdollista ja käytännöllistä välityskykyä kiinnittämättä huomiota HCM 1965:ssa määriteltäisiin palvelutasoihin.

Välityskyky riippuu ensisijaisesti kahdesta tekijästä, liikennevirran nopeudesta ja sen tiheydestä. Tämä ilmenee selvimmin jos tarkastelemme yhdellä ajokaistalla samalla nopeudella ja yhtä pitkän välimatkoin etenevää ajoneuvojonoa. Tällöin ko. ajokaistan liikennemäärä on liikennevirran nopeus kerrottuna sen tiheydellä eli

$$q = v \times d \quad (1)$$

q = liikennemäärä (ajon/h)

v = liikennevirran nopeus (km/h)

d = liikennevirran tiheys (ajon/km)

Liikennevirran tiheys riippuu ajoneuvojen välimatkoista. Kutakin nopeutta vastaava suurin tiheys ja myös suurin välityskyky saavutetaan silloin, kun ajoneuvot liikkuvat mahdollisimman pienin välein. Välimatkan pituuden valintaan ovat vaikuttamassa lähinnä turvallisuus- ja ajokukavuusnäkökohdat. Riippuen välimatkojen pituudesta voidaan välityskykyä nimittää turvalliseksi, käytännölliseksi tms.

Liikennevirta on harvoin niin pelkistetty kuin edellä on esitetty. Yleensä ajoneuvot liikkuvat eri nopeuksilla ja niiden väliset erot vaihtelevat. Tästä johtuen täytyy yhtälössä (1) korvata liikennevirran nopeus v liikennevirran "painopisteen" nopeudella \bar{v}_s ja tiheys d keskimääräisellä tiheydellä \bar{d} :

$$q = \bar{v}_s \cdot \bar{d} \quad (2)$$

\bar{v}_s = nopeuksien matkajakautuman aritmeettinen keskiarvo (km/h)

\bar{d} = ajoneuvojen keskimääräinen tiheys (ajon/km)

Liikenteenvälityskykyä tutkittaessa voidaan kaavan (2) mukaan rajoittaa tarkastelemaan niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat ajoneuvojen nopeuksiin ja niiden välisiin etäisyyksiin. Välityskykyä määrittäessä on eri tekijöiden vaikutuksia nopeuksiin ja matkaväleihin yleensä tarkasteltava kokonaisuutena, koska liikkuvien ajoneuvojen matkaväli on turvallisuussyistä riippuvainen käytetystä nopeudesta.

1.1 Liikenteenvälityskykyyn vaikuttavien tekijöitten tarkastelu ulkomaisten tutkimusten valossa

Tien liikenteenvälityskyky riippuu käytännössä monista paikallisista tekijöistä. Jotta eri tekijöiden vaikutusta välityskykyyn voitaisiin tarkastella, on HCM 1950:ssa välityskyvylle määritelty tiettyjä perusolosuhteita vastaava perusarvo, josta käytetään nimitystä *perusväli t y s k y k y*.

Edellä mainitut perusolosuhteet määritellään seuraavasti:

1. Liikennevirta on katkeamaton eikä siinä esiinny siihen kuulumattomista ajoneuvoista tai jalankulkijoista johtuvia häiriöitä.
2. Liikennevirrassa on ainoastaan henkilöautoja.
3. Ajokaistan leveys on 3.6 m (12 ft), pientareet ovat riittävän leveät, eikä sivueteitä ole 1.8 m (6 ft) lähempänä ajoradan reunaa.
4. Maaseutuolosuhteissa tien geometriset elementit vastaavat vähintään 112 km/h:n (70 mph) ohjenupeutta sekä 2- ja 3-kaistaisilla teillä on ohitusnäkemä koko tien pituudella.

Koska näin määritellyt olosuhteet ovat tien välityskyvyn kannalta erittäin edulliset, on niistä käytetty myös nimitystä *i h a n t e e l l i s e t o l o s u h t e e t*. Käytännössä tällaiset olosuhteet voidaan varsin harvoin saavuttaa.

Perusvälityskyky määritellään suurimmaksi ajoneuvon lukumääräksi, joka jatkuvana jonona voi ohittaa tien kohdan aikayksikössä ihanteellisissa olosuhteissa. Kaksiajokaistaisen tien perusvälityskyky on HCM 1950:n perusteella pidetty yleisesti liikennemäärää 2000 hay/h.

Tien välityskyvyn käytännön olosuhteissa on todettu yleensä olevan perusvälityskykyä pienempi. Välityskykyyn vaikuttavat tekijät ovat

- tieolosuhteista johtuvia
- liikenneolosuhteista johtuvia
- muista tekijöistä.

1.11 Tieolosuhteista johtuvat tekijät

Tieolosuhteista johtuviin tekijöihin kuuluvat lähinnä tien rakenteellisista ja geometrisista ominaisuuksista johtuvat tekijät. Nämä ovat yleensä pysyviä tai hitaasti muuttuvia. Tällaisia tekijöitä ovat mm. ajokaistan leveys, pientareen leveys, sivueteiden etäisyys, näkemäolosuhteet, kaarteet, pituuskaltevuus, vara- tai lisäkaistat sekä päällysteen laatu ja kunto.

A j o k a i s t a n l e v e y d e n voidaan katsoa riippuvan ajoneuvon leveydestä ja liikkumisvarasta. Esim. ihanteellisissa olosuhteissa kaksiajokaistaisella tiellä nopeudella 100 km/h liikkuvalla ajoneuvolle tarvittavan ajokaistan leveyden 3.6 m voidaan katsoa muodostuvan mitoitusajoneuvon leveydestä 2.0 m ja liikkumisvarasta 1,6 m.

Ajajan käyttämän liikkumisvaran leveys riippuu mm. ajoneuvon kuljettajan ajotaidosta, ajoneuvotyyppistä, ajoradan pinnan tasaisuudesta ja ajoneuvon nopeudesta.

Sivusteita ovat mm. kaiteet, puut, liikennemerkit, erilaiset pylvää, ylikulkusiltojen pilarit ja maatuet, tukimuurit, pysäköidyt ajoneuvot sekä jalankulkijat, polkupyöräilijät ja mopedit. Tien liikenteenvälityskykyä koskevissa tutkimustuloksissa sekä liikenteenvälityskyvyn määrittämistä varten laadituissa ohjeissa on yleensä tarkasteltu *s i v u e s t e i d e n e t ä i s y y d e n* ja ajokaistan leveyden yhteisvaikutusta.

HCM 1950 /10/ antaa taulukon 1 mukaiset korjauskertoimet ajokaistan leveyden ja sivueteen etäisyyden vaikutukselle.

Taulukosta nähdään, että korjauskertoimen arvot riippuvat ajokaistan leveyden ja sivueteen etäisyyden lisäksi myös tien kuormituksesta. Arvot on annettu erikseen mahdolliselle välityskyvylle ja käytännölliselle välityskyvylle.

Länsi-Saksan normaalimääräykset (RAL) /6/ esittävät HCM-50:n /10/ perusteella laaditun taulukon 2 ajoradan leveyden ja sivueteen etäisyyden yhteisvaikutuksesta. Arvot on laskettu vain mahdolliselle välityskyvylle.

Mainittujen normien mukaan lasketaan sivueteeksi myös ajoradalla tai pientareella liikkuvat jalankulkijat, polkupyöräilijät ja mopoilijat, jos niiden määrä ylittää 50 kpl/h.

HCM 1965:ssä /4/ on sama taulukko kuin käsikirjan aikaisemmassa laitoksessa vain siten muutettuna, että aikaisempi mahdollinen välityskyky vastaa palvelutasoa E ja käytännöllinen välityskyky palvelutasoa B.

AASHO:n /1/ käytännöllistä välityskykyä (design capacity) esitettävissä taulukoissa on ajokaistan leveys eräänä muuttuvana tekijänä, sen sijaan sivueteen etäisyyden vaikutus on otettu huomioon erillisellä korjauskertoimella (taulukot 3 ja 4).

Taulukkojen 1 ja 4 vertailu osoittaa, että AASHO /1/ on esittänyt samat arvot, mitkä HCM 1950:n /10/ taulukosta löytyvät ajokaistan leveyden 3.6 m kohdalta.

Taulukko 1. Ajokaistan leveyden ja sivusteen etäisyyden yhteisvaikutus tien välityskykyyn /10/.

Clearance from pavement edge to obstruction	Capacity expressed as a percentage of the capacity of two 12-foot lanes with no restrictive lateral clearances							
	Obstruction on one side				Obstruction on both sides			
	12-foot lanes	11-foot lanes	10-foot lanes	9-foot lanes	12-foot lanes	11-foot lanes	10-foot lanes	9-foot lanes
POSSIBLE CAPACITY OF TWO-LANE HIGHWAY*								
<i>Feet</i>								
6.....	100	85	81	76	100	88	81	76
4.....	97	85	79	74	94	83	76	71
2.....	93	81	75	70	85	75	69	65
0.....	88	77	71	67	76	67	62	58
PRACTICAL CAPACITY OF TWO-LANE HIGHWAY								
6.....	100	86	77	70	100	86	77	70
4.....	96	83	74	68	92	79	71	65
2.....	91	78	70	64	81	70	63	57
0.....	85	73	66	60	70	60	54	49

Taulukko 2. Ajoradan leveyden ja sivusteen etäisyyden yhteisvaikutus mahdolliseen välityskykyyn /6/.

Art des Querschnitts	Abstand der Hindernisse vom Fahrbahnrand in m	Beiwert b und b _r								
		Fahrbahnbreite in m								
		4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	
Zweispurige Fahrbahn mit Gegenverkehr	zweiseitig	1,80	0,59	0,63	0,67	0,71	0,77	0,84	0,95	1,10
		1,50	0,57	0,60	0,64	0,68	0,74	0,81	0,90	1,05
		1,00	0,52	0,55	0,59	0,63	0,68	0,75	0,83	0,97
		0,50	0,49	0,50	0,54	0,57	0,61	0,67	0,75	0,87
		0,00	—	0,45	0,48	0,51	0,55	0,60	0,67	0,78
	einseitig	1,80	0,59	0,63	0,66	0,71	0,77	0,85	0,95	1,10
		1,50	0,58	0,61	0,65	0,70	0,75	0,83	0,92	1,08
		1,00	0,55	0,58	0,63	0,67	0,72	0,80	0,88	1,03
		0,50	0,52	0,55	0,60	0,64	0,69	0,75	0,85	0,98
		0,00	—	0,52	0,56	0,60	0,65	0,72	0,80	0,93

Taulukko 3. Käytännöllinen välityskyky 2-kaistaisella tiellä keskimääräisellä ajonopeudella 45 - 50 mph /1/.

Terrain	Alinement: Percentage of total length of highway on which sight distance is restricted to less than 1500 feet*	Design capacity of 2-lane highway, total both directions L=width of lane and T=percentage of trucks, peak hour					
		L=12			L=11		
		0	T=10	20	0	T=10	20
1. Design Speed 65 or 70 mph							
Level	0	900	780	690	11-foot lanes not appropriate for high design speed with heavy volume		
	20	860	750	660			
	40	800	700	620			
Rolling	20	860	615	485			
	40	800	570	450			
	60	720	510	400			
2. Design Speed 60 mph							
Level	0	900	780	690	670	590	
	20	810	705	625	700	540	
	40	700	610	540	600	525	
	60	585	510	450	500	440	
Rolling	20	810	580	450	700	500	
	40	700	500	390	600	430	
	60	585	420	325	500	360	
	80	480	340	270	410	290	
3. Design Speed 50 mph							
Highways with design speed no higher than 50 mph are not capable of providing 45-50 mph running speed except when traffic volume is very low.							

* Sight distance measured from height of eye to road surface, both vertical and horizontal alignment considered.

NOTE: To obtain possible capacity, use values in table for zero sight distance restriction and multiply by 2.22 for 12-foot lanes and 2.27 for 11-foot lanes.

Tabular values are for conditions with no restrictive lateral clearances; with clearances of less than 6 feet, edge of lane to obstruction, or with shoulders narrower than 6 feet, multiply above values by factor from table II-11.

Taulukko 4. Sivuesteen etäisyyden vaikutus käytännölliseen välityskykyyn /1/.

Clearance from pavement edge to obstruction, feet	Capacity reduction factor due to restrictive lateral clearances			
	Obstruction on one side for:		Obstruction on both sides for:	
	2-lane highway	2 lanes in one direction of a 4-lane highway	2-lane highway	2 lanes in one direction of a 4-lane highway
6	1.00	1.00	1.00	1.00
5	.98	1.00	.96	.99
4	.96	.99	.92	.98
3	.93	.98	.86	.97
2	.91	.97	.81	.94
1	.88	.95	.75	.90
0	.85	.90	.70	.81

Pientareen voidaan katsoa palvelevan liikennettä seuraavilla eri tavoilla:

- tekemällä ajoneuvojen liikkumisen lähellä ajoradan reunaa turvalliseksi
- toimimalla tilapäispysäköintiä palvelevana alueena
- toimimalla jalankulku- ja polkupyöräliikenteen liikennekaistana

Pientareen ajoradan hyödyllistä leveyttä lisäävää vaikutusta kuvaa HCM 1965:ssä esitetty tutkimustulos, joka osoittaa, että 1,2 m:n levyisen keskipäällystetyn pientareen rakentamisella on tien liikenteenvälityskykyyn sama vaikutus kuin alle 3,6 m:n levyisten ajokaistojen leventämisellä 30 cm:llä.

Tilapäispysäköinnin tarve lisääntyy liikenteen kasvaessa. Pysäköimistarpeen saattaa aiheuttaa ajoneuvossa yllättäen ilmenevä vika, liikenneonnettomuus tai muu syy. Mikäli ajoneuvo voidaan tällaisissa tapauksissa siirtää ainakin osaksi pois ajoradalta, saattaa muu liikenne jatkua tällöin lähes häiriintymättä.

Polkupyörä- ja jalankulkuliikenteen tien liikenteenvälityskykyä rajoittavaan vaikutukseen on viitattu jo aikaisemmin. Mitä kauempana ajoradasta kevyt liikenne liikkuu, sitä vähäisempi on em. vaikutus.

Tien pituuskaltevuus vaikuttaa ajoneuvojen liikkumiseen kahdella eri tavalla

- Jyrkkä ja pitkä yhtäjaksoinen nousu pienentää ajoneuvojen nopeutta
- nousu pienentää ja lasku pidentää jarrutusmatkaa.

Kohdassa a mainitulla vaikutuksella saattaa eräissä tapauksissa olla ratkaiseva merkitys tien välityskykyä rajoittavana tekijänä.

Nousujen vaikutus välityskykyyn riippuu oleellisesti kuorma- ja linja-autojen osuudesta liikennevirrassa. Jo yli 2 %:n nousut vaikuttavat raskaitten autojen nopeuteen, mutta henkilöautot pysty-

vät säilyttämään nopeutensa välityskyvyn kannalta riittävänä aina 6 - 7 %:n nousuihin saakka.

Nousujen vaikutus tulee mahdollisen välityskyvyn kannalta merkittäväksi vasta silloin, kun nopeus niissä putoaa alle 50 km/h /4/. Taulukossa 5 on esitetty HCM 1965:n /4/ mukaan ns. Kriittilliset nousut eli sellaiset nousut, joissa kuorma-autojen nopeus vähenee alle 50 km/h.

Tien pituuskaltevuuden vaikutus tien välityskykyyn ilmenee varsin selvästi sveitsiläisistä ohjearvoista /5/, jotka koskevat sallittuja kaltevuuksia ja ajokaistojen tarpeellista lukumäärä erilaisilla korkeuseroilla (taulukko 6.)

Taulukko 5. Kriittilliset nousujen pituudet /4/

GRADE (%)	DISTANCE FROM BOTTOM OF GRADE (FT)	VERTICAL CLIMB FROM BOTTOM OF GRADE (FT)
2	1,950	39
3	1,150	35
4	825	33
5	625	31
6	500	30
7	400	28

* Trucks having a weight-power ratio of 325 lb per hp.
 † Assuming an approach speed of 40 mph. Bad alignment, weak or narrow bridges, or other hazardous conditions at the bottom of the hill would make this approach speed unsafe.

Taulukko 6. Sallittujen kaltevuuksien ja ajokaistojen lukumäärän ohjearvot eri korkeuseroille /5/.

Höhendifferenz	Notwendige Anzahl Fahrspuren	Zulässige Steigungen
0- 15 m	2	3 %
15- 25 m	3 (Kriechspur)	4 %
25-150 m	4	6 %
150-250 m	4	5 %
über 250 m	4	4 %

* Nur im Anschluss an Gefälle oder ebenes Teilstück, sonst 3 Fahrspuren und Steigung bis 4%.
 Annahme: LW-Anteil 5-10%, Richtungsanteil 70%

Näkemäolosuhteilla on voimakas vaikutus 2-kaistaisen tien käytännölliseen välityskykyyn. Suhteellisen vapaa nopeudenvälintamahdollisuus edellyttää ohitusten suorittamista. Ohittaminen 2-kaistaisella tiellä on turvallista ainoastaan silloin, kun vastaantulevassa liikennevirrassa on riittävän suuri matkaväli sekä samanaikaisesti tiellä riittävän pitkä näkemä, jotta em. matkaväli olisi havaittavissa. Koko tieosalla tulisi olla ohitusnäkemän suuruiset tai sitä pienemmät näkemät, jotta päästäisiin mahdollisimman suureen ohitusvapauteen (palvelutasoon ja käytännölliseen välityskykyyn). Mahdollisen välityskyvyn kannalta ei näkemän suuruudella yleensä ole merkitystä.

HCM 1950:n /10/ mukaan käytännöllinen välityskyky riippuu näkemäolosuhteista taulukon 7 osoittamalla tavalla. Näkemäolosuhteita on tässä taulukossa luonnehdittu prosenttiluvuilla, jotka osoittavat alle 460 metrin (1500 ft) näkemien osuuden koko tien pituudesta.

Saksalaiset ovat normaalimääräyksissään /6/ käyttäneet käyttönopeuden 45 - 50 mph sarakkeesta laskettuja kertoimia (taul. 7). HCM 1965 /4/ ja AASHO /1/ esittävät näkemien vaikutuksen suoraan eri "palvelutasot" sisältävissä välityskykytaulukoissaan. Mitoittavan näkemän pituus on myös niissä 1 500 ft.

On todettu /6/, että yli 460 m:n näkemien osuuden ollessa pieni myös lyhyemmällä, 250 - 300 m:n näkemillä on merkitystä liikenteen välityskyvyn kannalta maanteilla. Toisaalta pari vuotta sitten suoritettut saksalaiset tutkimukset /3/ osoittavat, että 480 m:n ohitusnäkemä on riittävä ainoastaan 50 km/h ajavan auton ohittamiseen. 100 km/h ajavan auton ohittamiseen tarvitaan saman tutkimuksen mukaan 650 m:n näkemä.

Taulukko 7. Kaksiajokaistaisen tien käytännöllisen välityskyvyn riippuvuus näkemäolosuhteista.

Percentage of total length of highway on which sight distance is restricted to less than 1,500 feet	Practical capacity, in passenger cars per hour—	
	For operating speed ² of 45-50 miles per hour	For operating speed ² of 50-55 miles per hour
0.....	900	600
20.....	860	560
40.....	800	500
60.....	720	420
80.....	620	300
100.....	500	160

¹ The data in this table apply to sections with 12-foot traffic lanes, shoulders adequate for parking disabled vehicles clear of the traffic lanes, and a continuous stopping sight distance corresponding to the design speed. Also, the sight distance on the restricted portions of the section must be uniformly distributed between the required stopping sight distance for the design speed and 1,500 feet.

² Average speed for drivers trying to travel at maximum safe speed.

Tielinjan kaarre voi vaikuttaa tie- ja liikenneolosuhteisiin kolmella eri tavalla:

- rajoittaen näkemäolosuhteita
- pidentämällä ajoneuvojen välisiä etäisyyksiä
- rajoittaen ajodynaamisista syistä ajoneuvojen nopeutta

Jokaisella edellä mainitulla tekijällä on periaatteessa tien liikenteenvälityskykyä rajoittava vaikutus, jonka suuruus riippuu kaarresäteestä ja kaarteeseen sisäpuolella olevista näkemäesteistä.

Ulkomailla suoritetuissa välityskykytutkimuksissa on otettu huomioon yleensä vain kaarteeseen näkemän rajoittava vaikutus.

HCM 1965 kuvaa tien linjan ja tasauksen liikenteellistä sujuvuutta käsitteellä "keskimääräinen tienopeus" (average highway speed). Tämän nopeuden laskemiseen tarvitaan seuraavat tiedot:

- Tielinjan kaarresäteiden ja tasausviivan taitteiden pyörityssäteiden arvot
- Kutakin tielinjan kaaren sädetä vastaava suurin turvallinen nopeus
- Niiden matkojen pituus, jolla ennen tielinjan kaarta tapahtuu nopeuden hidastumista ja kaarteeseen jälkeen nopeuden kiihtymistä sekä ajoneuvojen keskimääräinen nopeus em. hidastus- ja kiihdytysmatkoilla.

Keskimääräinen tienopeus vaikuttaa välityskykyyn taulukon 8 mukaan /4/.

Mainittakoon tässä yhteydessä, että prof. O. Wahlgrenin Etelä-Suomen valtateillä v.1965 suorittamien tutkimusten mukaan /11/ tien kaarteisuus vaikutti geometrisista ominaisuuksista eniten ajoneuvojen nopeuksiin.

Taulukko 8. Keskimääräisen tienopeuden vaikutus mahdolliseen välityskykyyn /4/.

AVERAGE HIGHWAY SPEED (MPH)	CAPACITY (% OF IDEAL ALINEMENT)	
	MULTILANE HIGHWAYS	2-LANE HIGHWAYS
70	100	100
60	100	98
50	96	96
40	—	95
30	—	94

Päällysteen epätasaisuus alentaa käytännöllistä välityskykyä. Kevyt kestopäällyste ja öljysora eivät useinkaan ole yhtä tasaisia kuin kestopäällyste ja öljysorassa saattaa esiintyä myös irtokiviä. Sora- ja savisorateilla tulevat erityisesti esille irtokivi- ja pölyhaitat nopeutta pienentävinä ja matkavälejä suurentavina tekijöinä. Erilaatuisten päällysteiden erilainen kitka vaikuttaa ehkä jossain määrin myös ajoneuvojen väliisiin etäisyyksiin. Rikkoutuneen päällysteen kuopat alentavat nopeutta ja päällysteen rikkoutunut reuna vähentää ajokaistanleveyttä.

Päällysteen laadun ja kunnan vaikutusta välityskykyyn ei tiettävästi ole tutkittu laajemmalla mitalla. Ihanteellisissa olosuhteissa tien oletetaan olevan kestopäällystetty ja tasainen /10/.

Suomessa suoritetuissa tutkimuksissa ei öljysorapäällysteellä ole havaittu käytettävien pienempiä nopeuksia kuin kestopäällysteillä.

1.12 Liikenneolosuhteista johtuvat tekijät

Liikenneolosuhteista johtuviin tekijöihin kuuluvat ajoneuvojen ja liikennevirran ominaisuuksista johtuvat tekijät kuten ajoneuvokoko ja -tyyppi, liikenteen nopeus sekä vastakkaisuuntaisen liikenteen määrä.

Tietä käyttävien ajoneuvojen koolla on ratkaiseva merkitys tien välityskykyä määrättäessä, mikäli mittayksikkönä käytetään ajon/h tai vastaavaa. Ajoneuvon leveys vaikuttaa tilan tarpeen eli ajokaistan leveyden lisäksi jossain määrin myös näkemäolosuhteisiin ja ohitusmahdollisuuksiin. Ajoneuvon pituus vaikuttaa varsinkin pienillä nopeuksilla jonossa ajettaessa suuresti välityskykyyn. Tällöin saattaa pitkä ajoneuvo muodostaa puolet välityskyvyn määräävästä ajoneuvojen matkavälistä.

Ihanteellisissa olosuhteissa oletetaan liikennevirran kaikkien ajoneuvojen olevan henkilöautoja. Muiden ajoneuvotyyppien henkilöautosta poikkeavat ominaisuudet vaikuttavat tien välityskykyyn. Tällaisia ominaisuuksia ovat aikaisemmin mainitun ajoneuvokoon lisäksi painotehosuhde ja (sallittu) nopeus.

Em. ominaisuuksista riippuen vastaavat eri ajoneuvotyytit erilaista määrää henkilöautoja eli niillä on erilainen henkilöautoekvivalentti.

HCM 1950 /10/ antaa kuorma-autojen henkilöautoekvivalentin, tien pituuskaltevuuden ja sen pituuden funktiona (taulukko 9).

KORTE /6/ on esittänyt ilmeisesti HCM 1950:n arvoista muunnetut arvot (taulukko 10).

Taulukko 9. Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti eri pituuskaltevuuksilla /10/.

Length of grade <i>Miles</i>	Equivalent of one dual-tired commercial vehicle, in terms of passenger cars on a grade averaging—				
	3 per cent	4 per cent	5 per cent	6 per cent	7 per cent
0.1	3.9	4.1	4.2	4.2	4.4
0.2	4.1	4.3	4.5	4.7	5.1
0.4	4.3	4.6	4.9	5.3	5.5
0.6	4.4	4.8	5.2	5.8	6.5
0.8	4.6	5.1	5.7	6.4	7.1
1.0	4.6	5.3	6.0	6.7	7.4
1.5	4.8	5.6	6.3	7.0	7.7
2.0	5.0	5.8	6.5	7.2	8.0
3.0	5.0	6.0	6.6	7.3	8.2
4.0	5.1	6.0	6.7	7.4	8.3
5.0	5.1	6.0	6.7	7.6	8.3
6.0	5.1	6.0	6.8	7.6	8.3

Taulukko 10. Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti eri pituuskaltevuuksilla käytännöllistä välityskykyä laskettaessa /6/.

Art der Straßen	Länge der Steigung m	Verhältniswert in PKW für ein Nutzkraftfahrzeug bei einem Grad der Steigung von				
		3	4	5	6	7 [%]
	150	3,9	4,1	4,2	4,2	4,3
	300	4,1	4,3	4,5	4,6	4,9
	600	4,3	4,6	4,8	5,5	5,5
	1000	4,4	4,8	5,3	6,1	6,6
zweispurige Fahrbahn mit Gegenverkehr	1500	4,6	5,3	5,9	6,6	7,3
	2000	4,7	5,5	6,2	6,9	7,6
	3000	5,0	5,8	6,4	7,2	7,9
	5000	5,0	6,0	6,6	7,3	8,2
	7000	5,1	6,0	6,7	7,4	8,3
	10000	5,1	6,0	6,8	7,6	8,3

Taulukko 11. Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti Sveitsin normaalimääräysten mukaan /5/.

Steigung	0-2 %	PWE pro Lastwagen	2
	3 %		4
	4 %		5
	5 %		6
	6 %		7

Sveitsin normaalimääräysten (VSS) /5/ mukaan kuorma-autojen henkilöautoekvivalentti riippuu nousun jyrkkyydestä taulukon 11 esittämällä tavalla.

HCM 1965:ssä /4/ on kuorma-autojen henkilöautoekvivalentit yksittäisessä nousussa taulukoitu samalla periaatteella kuin käsikirjan aikaisemmassakin laitoksessa, mutta lisäksi on otettu huomioon eri palvelutasot (taulukko 12). Käsikirjassa on myöskin esitetty keskimääräiset yleiset henkilöautoekvivalentit kuorma-autoille ja linja-autoille (taulukko 13).

Edellä on puhuttu pääasiassa vain kuorma-autoista. Muista ajoneuvotyypeistä voitaneen linja-

Taulukko 12. Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti 2-kaistaisella tiellä yksityisessä nousussa /4/.

GRADE (%)	LENGTH OF GRADE (MI)	PASSENGER CAR EQUIVALENT, E_T (FOR ALL PERCENTAGES OF TRUCKS)		
		LEVELS OF SERVICE A AND B	LEVEL OF SERVICE C	LEVELS OF SERVICE D AND E (CAPACITY)
0-2	All	2	2	2
3	$\frac{1}{4}$	5	3	2
	$\frac{1}{2}$	10	10	7
	$\frac{3}{4}$	14	16	14
	1	17	21	20
	$1\frac{1}{2}$	19	25	26
	2	21	27	29
	3	22	29	31
4	$\frac{1}{4}$	7	6	3
	$\frac{1}{2}$	16	20	20
	$\frac{3}{4}$	22	30	32
	1	26	35	39
	$1\frac{1}{2}$	28	39	44
	2	30	42	47
	3	31	44	50
5	$\frac{1}{4}$	10	10	7
	$\frac{1}{2}$	24	33	37
	$\frac{3}{4}$	29	42	47
	1	33	47	54
	$1\frac{1}{2}$	35	51	59
	2	37	54	63
	3	39	56	66
6	$\frac{1}{4}$	14	17	16
	$\frac{1}{2}$	33	47	54
	$\frac{3}{4}$	39	56	65
	1	41	59	70
	$1\frac{1}{2}$	44	62	75
	2	46	65	80
	3	48	68	84
7	$\frac{1}{4}$	24	32	35
	$\frac{1}{2}$	44	63	75
	$\frac{3}{4}$	50	71	84
	1	53	74	90
	$1\frac{1}{2}$	56	79	95
	2	58	82	100
	3	60	85	104
	4	62	87	108

Taulukko 13. Keskimääräiset yleiset henkilöautoekvivalentit kuorma- ja linja-autoille 2-kaistaisella tiellä /4/.

EQUIVALENT	LEVEL OF SERVICE	EQUIVALENT, FOR:		
		LEVEL TERRAIN	ROLLING TERRAIN	MOUNTAINOUS TERRAIN
E_T , for trucks	A	3	4	7
	B and C	2.5	5	10
	D and E	2	5	12
E_B , for buses ^a	All levels	2	4	6

autot rinnastaa maanteillä kuorma-autoihin, koska näiden ajoneuvotyyppien väliset erot ovat välityskyvyn kannalta varsin vähäiset ja niiden lukumäärä on pieni. Pakettiautot lienevät rinnastettavissa samoin perustein henkilöautoihin.

Moottoripyörien henkilöautoekvivalentti on kirjallisuuden mukaan 0.5...1.0, kevytmoottoripyörien (ja moottoripolkupyörien) 0.4...2.0 sekä polkupyörien 0.15...0.2. Hitaille työ- ja maatalouskoneille on esitetty ekvivalenttiarvoa 10.0.

Ajoneuvon nopeuden vaikutusta välityskykyyn voidaan tarkastella sillä perusteella, että turvallisen matkavälin L (mitattuna ajoneuvon nokasta toisen nokkaan) on yleensä oletettu riippuvan nopeudesta yleisen yhtälön $L = A + Bv + Cv^i$ mukaan.

Tietyn kohdan ohittavien yhteen suuntaan yhtä ajokaistaa ajavien ajoneuvojen lukumäärä (ajon/h) voidaan ilmaista nopeuden ja ajoneuvojen keskimääräisen matkavälin avulla seuraavasti:

$$q = \frac{1000 \cdot v}{L} \quad (3)$$

q = liikennemäärä (ajon/h)

v = nopeus (km/h)

L = keskimääräinen matkaväli (m)

Yhtälöön (3) sijoitetaan L :n yhtälö

$$q = \frac{1000}{Av^{-1} + B + Cv^{i-1}} \quad (4)$$

jolloin keskimääräinen aikaväli saa muodon

$$\Delta t = \frac{1}{q} = \frac{Av^{-1} + B + Cv^{i-1}}{1000} \quad (5)$$

Δt = keskimääräinen aikaväli

Kun keskimääräinen aikaväli saavuttaa minimiarvonsa saavuttaa liikennemäärä maksimiarvonsa.

$$\frac{d(\Delta t)}{d(v)} = \frac{-Av^{-2} + C(i-1)v^{i-2}}{1000} = 0 \quad (6)$$

$$v = \sqrt[i]{\frac{A}{C(i-1)}} \quad ; \quad i \geq 0$$

Nopeuden muuttuessa lasketusta arvosta ylös- tai alaspäin pienenee liikennemäärä q ts. tien mahdollinen välityskyky saavutetaan tietyllä nopeudella.

Kertoimilla A , B ja C on seuraavat merkitykset:

A = ajoneuvon pituus + varmuusetaisyys pysähtymisen jälkeen [m]

B = reaktioaika + jalansiirtoon kaasulta jarrulle kuluva aika [s]

Cv^{i-1} = jarrutusmatka [m]

Jos oletetaan, että kitkakerroin pysyy jarruttaessa vakiona, saa potenssi i arvon 2 ja kerroin C muodon

$$C = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{\mu_2} - \frac{1}{\mu_1} \right) \quad (7)$$

g = maan vetovoiman kiihtyvyys m/s^2

μ_2 = jälkimmäisen ajoneuvon kitkakerroin

μ_1 = etummaisen ajoneuvon kitkakerroin

C saa maksimiarvon, kun $\mu_1 = \infty$ ja arvon 0, kun $\mu_1 = \mu_2$.

Jos oletetaan edelleen, että $A = 5.0$ m ja $B = 0.5$ s, saadaan eri C :n arvoilla seuraavat optiminopeudet (v_{opt}) ja maksimivälityskyvyt (M_{max}) (taulukko 14).

C :n arvoista 0.4 vastaa epäedullisia talviolosuhteita ($\mu_1 = 0.6$ ja $\mu_2 = 0.1$) sekä arvo 0.05 likimäärin kesäolosuhteissa mahdollista tilannetta ($\mu_1 = 0.7$ ja $\mu_2 = 0.5$).

Taulukko 14. Tienpinnan kitkan teoreettinen vaikutus optiminopeuteen, matkaväliin ja yhden ajokaistan välityskykyyn

C	v_{opt} (km/h)	L (m)	M_{max} (ajon/h)
0.5	11.4	11.6	970
0.4	12.7	11.8	1 080
0.3	14.7	12.0	1 220
0.2	18.0	12.5	1 440
0.1	25.5	13.5	1 880
0.05	36.0	15.0	2 400

Eri tutkijat ovat esittäneet lukuisia yhtälöitä L :n määrittämiseksi. Kuvassa 1 on esitetty mainittuja yhtälöitä sekä niiden perusteella piirretyt nopeus-liikennemäärä kuvaajat /6/.

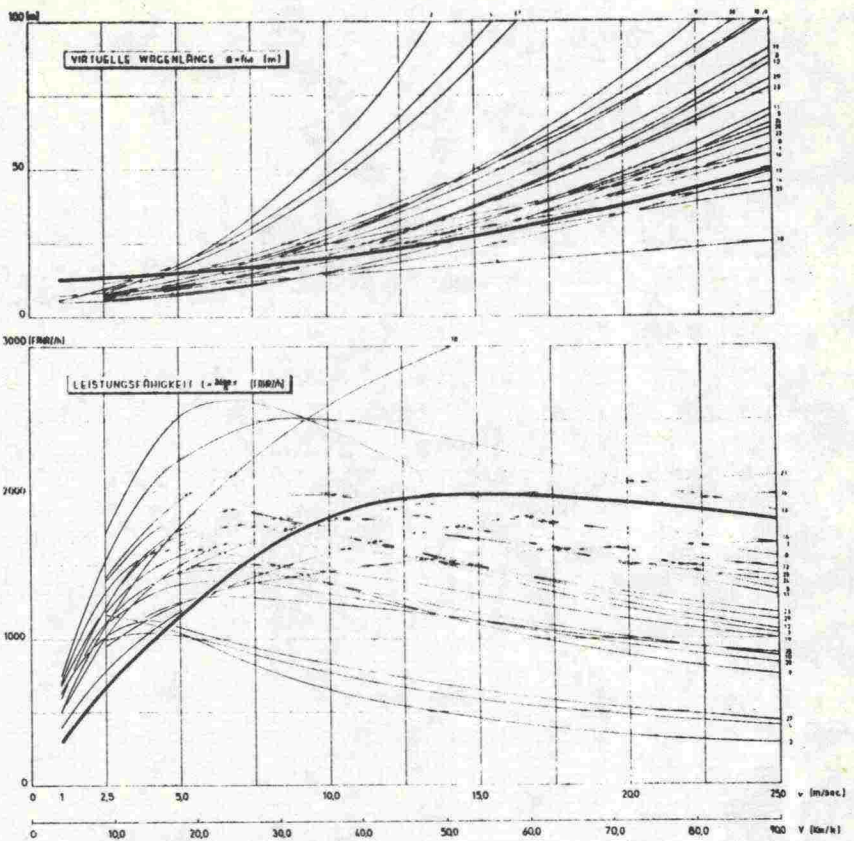
Kuvaan 2 on piirretty HCM 1950:n /10/, RAL:n /6/ ja HCM 1965:n /4/ mukaiset liikenteen nopeuden ja liikennemäärän väliset riippuvuudet 2-kaistaisella tiellä ihanteellisissa olosuhteissa.

Edellä on tarkasteltu liikennevirran keskinopeuden vaikutusta käytännölliseen välityskykyyn. Myöskin hitaasti ajava yksittäinen ajoneuvo pienentää välityskykyä. Büelin mukaan /7/ alle 50 km/h ajavat pienentävät mahdollista välityskykyä taulukon 15 osoittamalla tavalla.

HCM 1965:n /4/ mukaan ei 2-ajokaistaisen tien välityskyky ihanteellisissa olosuhteissa riipu liikenteen jakautumisesta. Tämä onkin luonnollista, koska mainituissa olosuhteissa on mahdollista käyttää kaikki vastaan tulevassa liikennevirrassa olevat riittävän pitkät aikavälit hyväksi. Toisin on tilanne, jos tarkastelemme vain kaksikaistaisen tien toisen kaistan välityskykyä. Ruuhka-aikojen epäsuhtainen suuntajakautuma antaa aiheen mainitunlaiseen tarkasteluun. On selvää, että runsaampi vastaan tuleva liikenne pienentää ajokaistan käytännöllistä välityskykyä, koska nopeuden valintavapaudesta syntyvä ohitusten tarve tulee tyydytetyksi huominn.

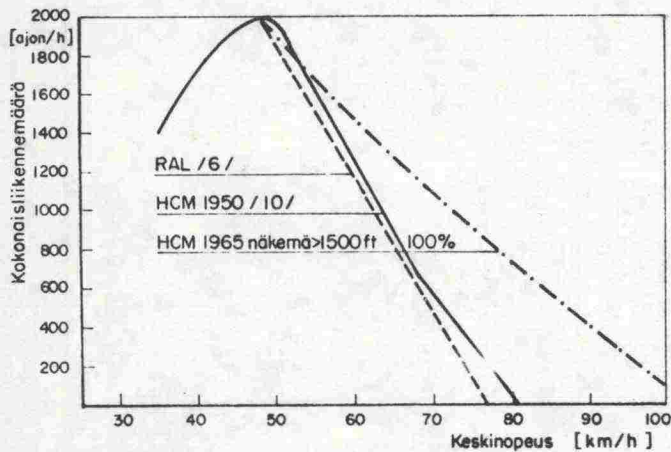
FORMELN FÜR DIE VIRTUELLE WAGENLÄNGE

	a =	b · v · c
1 SCHWARTER	a =	200 · v · 4,50
2 FRENCH PERIODICAL	a = 0,510 · v ³	· 4,50
3 LEWIS	a = 0,1124 · v ³	· 0,50 · 4,50
4 SCHARR	a = 0,330 · v ³	· 1,00 · 4,50
5 JOHNSON	a = 0,1018 · v ³	· 4,55
6 JOHNSON	a = 0,436 · v ³	· 4,55
7 KEIKER		OHNE FORMEL
8 HIGHWAY RESEARCH BOARD	a = 0,0561 · v ³	· 0,75 · 5,20
9 WENINGER	a = 0,166 · v ³	· 0,50 · 4,50
10 EHLGOTT	a = 0,1177 · v ³	· 1,00 · 4,50
11 DOUGHERTY	a = 0,085 · v ³	· 0,50 · 4,60
12 NEW YORK REGIONAL	a = 0,109 · v ³	· 0,50 · 4,60
13 ALLAN	a = 0,0508 · v ³	· 0,50 · 4,30
14 JOHANNESSEN	a =	1,50 · 7,65
15 MASSACHUSETTS I WPH	a = 0,0593 · v ³	· 1,00 · 4,50
16 MASSACHUSETTS II WPH	a = 0,0382 · v ³	· 1,00 · 4,10
17 MASSACHUSETTS III	a = 0,0198 · v ³	· 1,00 · 4,50
18 GREENSHIELDS	a =	0,75 · 4,60
19 BIRLA	a = 0,0961 · v ³	· 1,00 · 5,00
20 NEVINS	a = 0,1261 · v ³	· 1,00 · 4,90
21 NEVINS	a =	1,50 · 4,90
22 CLAYTON	a = 0,0504 · v ³	· 1,00 · 4,60
23 CLAYTON	a = 0,0757 · v ³	· 1,00 · 4,60
24 GULSTAD	a = 0,0565 · v ³	· 1,00 · 4,60
25 VERKEHRSMINISTERIUM LONDON I	a = 0,0534 · v ³	· 1,00 · 5,00
26 VERKEHRSMINISTERIUM LONDON II	a = 0,0427 · v ³	· 1,00 · 5,00
27 ARNONE	a = 0,288 · v ³	· 1,00 · 4,50
28 NOBLE	a = 0,0945 · v ³	· 1,50 · 4,50
29 BRACHMANN	a = 0,0907 · v ³	· 0,75 · 4,50



BEOBACHTET NACH "HIGHWAY CAPACITY MANUAL" FÜR EINE ZWEISPURIGE STRASSE

Kuva 1. Matkavälin ja välityskyvyn riippuvuus nopeudesta eri tutkijoiden mukaan /6/.



Kuva 2. Keskinopeuden riippuvuus liikennemäärästä

Taulukko 15. Pienen nopeuden vaikutus mahdolliseen välityskykyyn /7/.

Geschwindigkeit in km/h	50	40	30	20	10	5
Reduktionsfaktor	1.0	.97	.83	.63	.37	.20

1.13 Muut tekijät

Em. tekijöiden lisäksi vaikuttanee välityskykyyn jossain määrin suuri joukko muita esim.

ajankohdasta, ympäristöstä ja ajoneuvon kuljettajasta johtuvia tekijöitä. Näiden tunteminen olisi tien välityskyvyn määrittämisen kannalta tarpeellista, mutta niiden vaikutuksien suuri vaihtelu ja mittaamisen vaikeus vaatisi erittäin laajojen perustutkimusten suorittamista.

A j a n k o h d a n voidaan ajatella vaikuttavan välityskykyyn ainakin kahdella tavalla:

- a) matkojen tarkoitus ja näin ollen usein myös niillä käytetyt nopeudet riippuvat esim. vuodenajasta ja viikonpäivästä,
- b) valaistusolosuhteet riippuvat vuorokauden ajasta

S ä ä n vaikutus tulee selvimmin esille lumi- ja vesisateella sekä sumuisella ilmalla.

Vaikutus ilmenee:

- a) näkyvyyden huonontumisena
- b) tienpinnan liukkautena (jää, vesiliirto)

l i i k e n n e s ä ä d ö s t e n mukaan määräytyvät esim. ajoneuvojen suurimmat sallitut koot, painot ja nopeudet.

1.2 Suomessa suoritettuja liikenteenvälityskykyä sivuavia tutkimuksia

Suomessa ei ole suoritettu varsinaisesti tien liikenteenvälityskykyä koskevaa tutkimusta maaseutuolosuhteissa. Tvl:n voimassa olevat normaalimääräykset perustuvat tien välityskykyä käsitteleviltä osiltaan Saksan normaalimääräyksiin (RAL), jotka vuorostaan pohjautuvat HCM-50:een. Suomessa tehtyjen nopeustutkimusten, jono- ja ohitustutkimusten sekä taloudellisten tutkimusten yhteydessä on tien välityskykyyn kiinnitetty huomiota tarkastelemalla lähinnä liikenteen nopeuden riippuvuutta liikennemäärästä.

1.21 Nopeustutkimus v. 1965

Wahlgren /11/ tutki v. 1965 kesällä ajoneuvojen nopeuden riippuvuutta erilaisista tekijöistä 2-kaistaisella tiellä. Tutkimuksen kohteina olivat sekä ajonopeus 2...5 km pitkillä tieosilla että pistenopeus tien poikkileikkauksessa. Ajoradan leveys oli paria poikkeusta lukuun ottamatta n. 7 m ja päällyste kestopäällyste tai öljysora. Liikennemäärä mittaussuuntaan vaihteli ja oli n. 20...250 ajon/h.

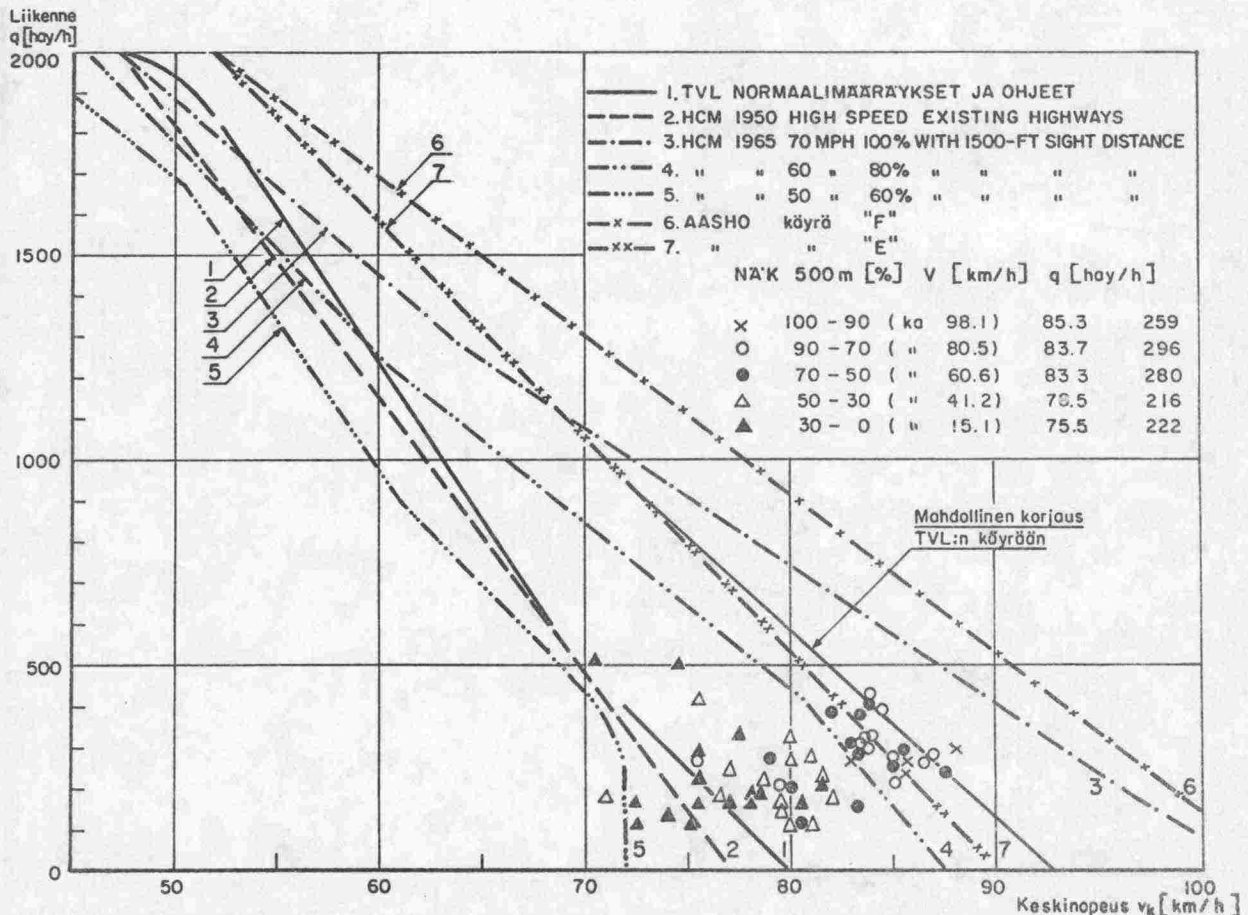
Tutkimuksessa ei havaittu nopeuksien riippuvan liikennemäärästä johtuen ilmeisesti tutkimusai-

koina olleista pienistä liikennemäärästä ja siitä, että tutkimuskohdat oli valittu geometrinen tekijöiden vaikutuksen tutkimista silmällä pitäen.

1.22 Liikenteenvälityskykyä koskeva selvitys

Wahlgren suoritti tvl:n toimeksiannosta liikenteenvälityskykyä koskevan tarkastelun, jonka tarkoituksena oli selvittää voimassa olevien normien välityskyvyn määrittämismenetelmän soveltuvuutta edelleen käytettäväksi. Tarkasteluun otettiin mukaan em. ajonopeustutkimuksen aineisto käsittäen 12 000 ajonopeushavaintoa.

Tutkittujen 34 tieosan ajoradan keskimääräinen leveys oli 7.0 m ja pientareen leveys 1.0 m. Tiet olivat kestopäällystettyjä, maasto oli tasainen (mäkisyys keskim. 20 m/km) eikä tieosilla ollut yleisten teiden risteyskiä. Yli 400 m:n näkemien osuus vaihteli 0...100 % keskiarvon ollessa 45 %. Havainnot ryhmiteltiin näkemäprosentin mukaan luokkiin 100...90 %, 90...70 %, 70...50 %, 50...30 % ja 30...0 %. Em. luokille laskettiin koko liikennevirran keskinopeus sekä keskimääräinen liikennemäärä henkilöautoyksikköinä tunnissa molempiin suuntiin. Havaintopisteet sijoittuivat varsin suppealle alalle nopeus-liikennemääräkoordinaatistossa (kuva 3) johtuen pienehköistä liikennemäärästä.



Kuva 3. Keskinopeuden riippuvuus liikennemäärästä eri lähteiden mukaan

Tarkastelussa vertaillaan saatua pistejoukkoa tvl:n normaalimääräysten ja ohjeiden, HCM 1950:n, HCM 1965:n ja AASHO:n välityskykykäyrien suurien nopeuksien puoleiseen päähän ja todetaan seuraavaa:

- Näyttää ilmeiseltä, että tvl:n normaalimääräysten ja ohjeiden välityskykyä olisi siirrettävä vaaka-akselilla oikealle ainakin 10 km/h, mutta mahdollisesti 12,5 km/h huomioon ottaen näkemäolosuhteiden ja ajoradan leveyden vaikutukset.
- HCM 1965:n 80 %:n näkemää edustava käyrä kulkee huomattavan vasemmalta. Suomalaiset kuljettajat ajanevat näin ollen huomommilla teillä suuremmin keskinopeuksin kuin HCM olettaa.
- AASHO:n käyrät (erittäin nopeat tiet) ja E (muut päätiet) ovat yhdenmukaisia tutkimustulosten kanssa.
- Liikenteen keskinopeuden voidaan olettaa riippuvan ohjenopeudesta esim. seuraavasti:

ohjenopeus v_o	keskinopeus v_k
<80 km/h	$1.25 v_o (\leq 80 \text{ km/h})$
80 km/h	v_o
>80 km/h	$0.85 v_o$

- Tvl:n normien mitoitusmenetelmä soveltuu toislaiseksi meidän oloissamme käytettäväksi, kunhan kapasiteetikäyrä vain korjataan edellä esitetyllä tavalla samalla kun keskinopeudesta tehdyt oletukset tarkistetaan.

1.23 Yleistä nopeusrajoitusta 90 km/h koskeva tutkimus

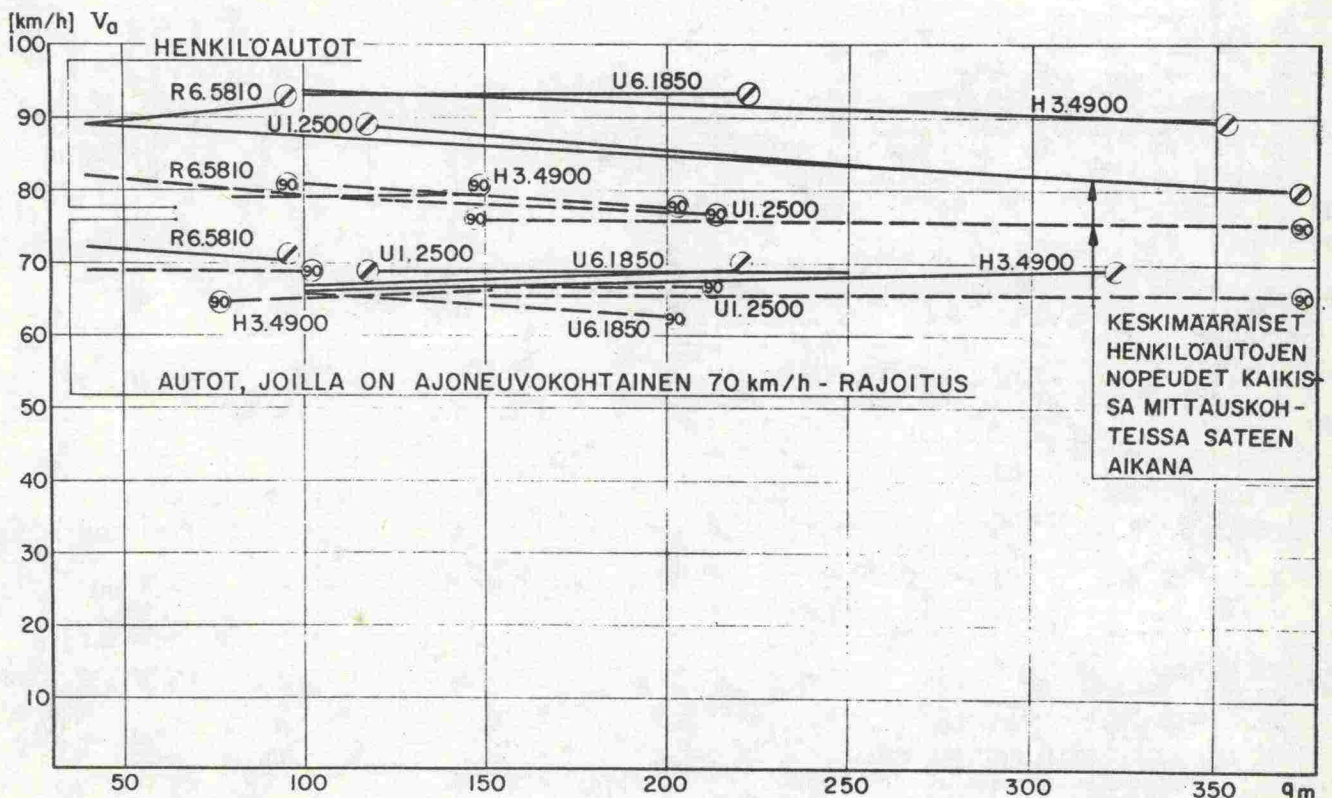
Tvl:n suorittamassa 90 km/h suuruisen nopeusrajoituksen vaikutuksia selvittävässä tutkimuksessa /8/ on hyvin suppeasti käsitelty liikennemäärän vaikutusta henkilöautojen keskinopeuteen pistenopeushavaintojen perusteella. Mittauskohtia oli neljä ja mittaussuunnan liikennemäärät olivat 0...400 ajon/h. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota ainoastaan samassa pisteessä tapahtuneisiin liikennemäärän muutoksiin. Mittaussyunnan liikennemäärän vaikutuksesta keskinopeuteen on todettu seuraavaa:

"Yleensä on liikennemäärän vaihtelu ollut niin pieni, että vaihtelun vaikutuksesta ei saada selvää kuvaa, mutta näyttää siltä, että henkilöautojen nopeudet ovat hieman pienentyneet mittaussyunnan liikennemäärän kasvaessa". Tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 4.

1.24 Yleistä nopeusrajoitusta 110 km/h koskeva tutkimus

Yleisen nopeusrajoituksen 110 km/h vaikutuksia selvittävässä tvl:n suorittamassa tutkimuksessa /9/ on käsitelty aikaisempia esityksiä tarkemmin liikennemäärän vaikutusta nopeuteen johtuen siitä, että tässä tutkimuksessa tehtiin havaintoja huomattavan suurienkin liikennemäärien aikana.

Tutkimuksen ajoneuvohavainnot tehtiin neljällä mittausvälillä, joilla tien poikkileikkaus oli



Kuva 4. Hetkellisten nopeuksien riippuvuus mittaussyunnan liikennemäärästä (q_m) eri mittauskohteissa

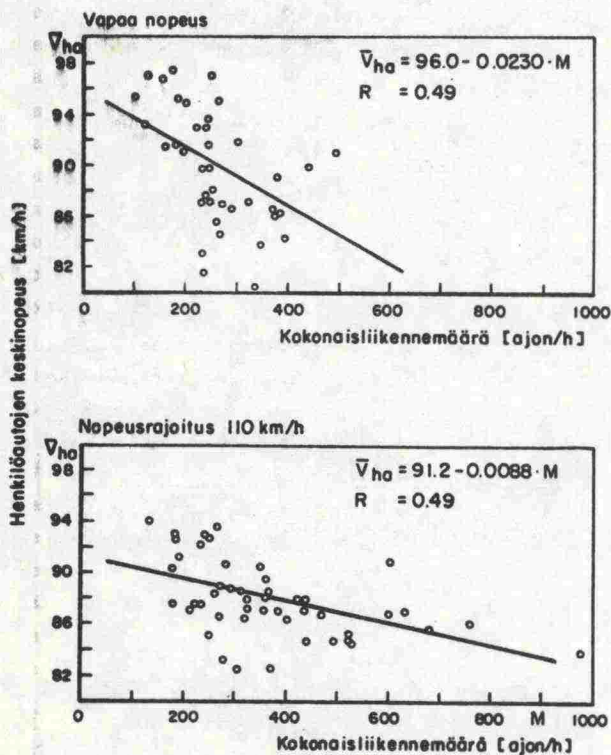
9...10/7, yli 500 m:n näkemien osuus 50...50 %, mäkisyys 17.5...25 m/km ja kaarteisuus 0.04...0.24 rad/km. Tien kokonaisliikennemäärä vaihteli vapaan nopeuden aikana 120...490 ajon/h ja nopeusrajoituksen aikana 150...980 ajon/h.

Tutkimuksessa laskettiin erikseen vapaan nopeuden ja nopeusrajoituksen aikana kokonaisliikennemäärän vaikutus henkilöautojen keskinopeuteen käyttäen lineaarista mallia (kuva 5). Molemmissa tapauksissa todettiin havaittu vaikutus tilastollisesti erittäin merkitseväksi. Saatujen tulosten mukaan voidaan kokonaisliikennemäärän kasvun 100 ajon/h arvioida aiheuttavan vapaan nopeuden aikana 1.7...2.9 km/h:n ja nopeusrajoituksen aikana 0.7...1.0 km/h:n laskun henkilöautojen keskinopeudessa.

1.25 Taloudelliset tutkimukset

Tvh:n teknillistaloudellisen toimiston suorittamien ajoneuvokustannuksia koskevien tutkimusten yhteydessä on saatu tietoja myöskin liikennemäärän vaikutuksesta liikennevirran nopeuteen. Näissä tutkimuksissa on tehty havaintoja lähes kaikkien 2-kaistaisella tiellä esiintyvien liikennemäärien aikana.

Mittaukset on suoritettu liikennevirran mukana liikkuvan auton menetelmällä ts. testiautolla on pyritty noudattamaan liikenteen nopeutta mahdollisimman tarkoin pitämällä kussakin yksityisessä mittauksessa testiauton aktiivisten ja



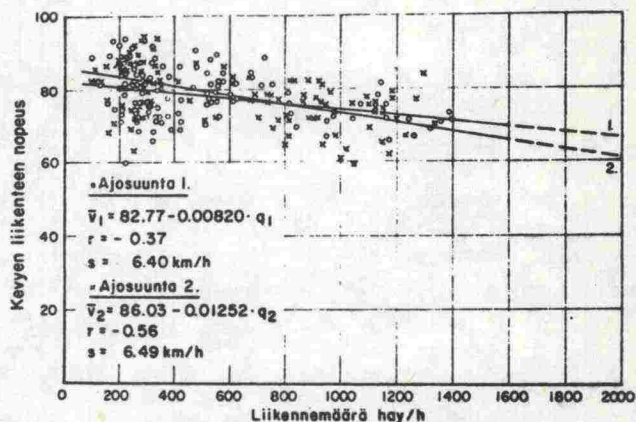
Kuva 5. Henkilöauton keskinopeuden riippuvuus kokonaisliikennemäärästä

passiivisten ohitusten määrä yhtä suurena. Testiauton nopeuden oletettiin olevan tällöin yhtä suuri kuin liikennevirran nopeus.

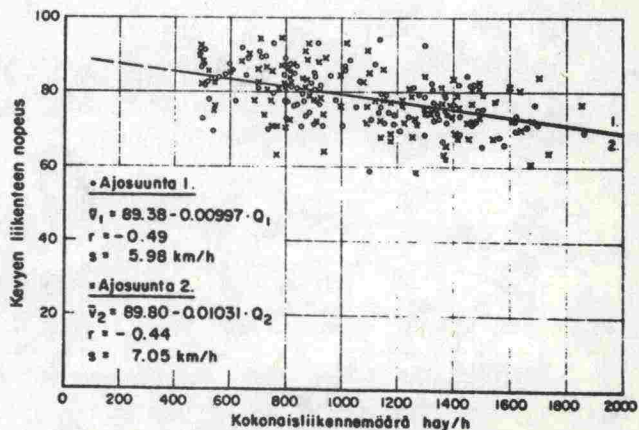
Tien liikenteenvälityskykytutkimuksen kannalta mainittavimmat tulokset on havaittu valtatiellä 4 väliltä Hakkila - Jokivarsi. Tällä runsaan 7 km:n pituisella mittausvälillä on suoritettu useita kymmeniä ajokertoja käsittävä tutkimus. Mittausvälillä on ajoradan poikkeileikkaus 10.8/7, mäkisyys 11 m/km ja kaarteisuus 6 grad/km. Tie on kestopäällysteinen ja pientareet osittain kestopäällysteiset ja osittain sorapeitteiset.

Tulokset on esitetty ajosuunnittain erikseen mittaussuunnan liikennemäärällä ja tien kokonaisliikennemäärällä (kuvat 6 ja 7).

Esitetyistä kuvaajista ja havaintopisteistä voidaan selvästi nähdä, että liikennemäärän kasvaessa liikennevirran nopeus pienenee. Muuttujien välinen pienehkö korrelaatiokerroin johtune osittain muuttuvista tekijöistä kuten säästä, liikenteen koostumuksesta yms. ja osittain itse mittaustavasta. Saadun lopputuloksen voitaneen kuitenkin katsoa esittävän varsin luotettavasti ajonopeuden ja liikennemäärien välistä riippuvuutta ko. tieosalla.



Kuva 6. Ajonopeuden riippuvuus saman suunnan liikennemäärästä 2-ajokaistaisella tiellä.

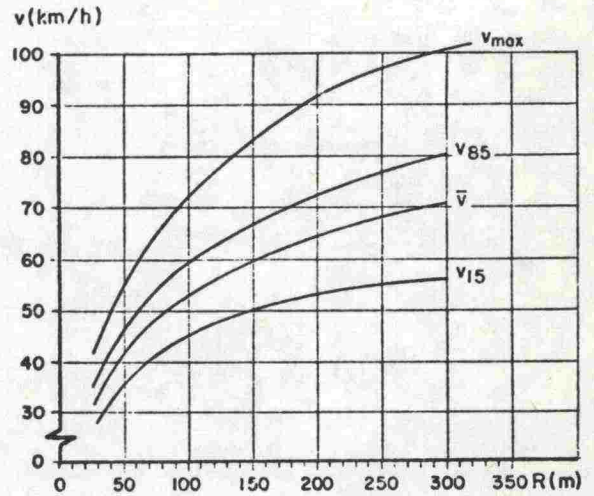


Kuva 7. Ajonopeuden riippuvuus liikennemäärästä 2-ajokaistaisella tiellä.

1.26 Tutkimus nopeuksista pienisäteisissä kaarteissa

Tvh:n teknillistaloudellisessa toimistossa on tutkittu pienisäteisten kaarteiden vaikutusta autojen nopeuteen. Tällainen tutkimus ei sinänsä sivua välityskykytutkimusta, koska liikennemäärä on yleensä ollut niin pieni, ettei sillä ole ollut vaikutusta käytettyihin nopeuksiin. Sen tuloksista saataneen kuitenkin arvokkaita viitteitä tutkittaessa kaarteisuuden vaikutusta tien välityskykyyn.

Tulokset on esitetty suhteellisen suuren aineiston perusteella käsivaraisesti piirretyillä käyräviivaisilla graafisilla kuvaajilla (kuva 8).



Kuva 8. Ajoneuvojen nopeuksien riippuvuus kaarresäteestä

Dipl.ins. V.Syyrakki

2. TUTKIMUSSUUNNITELMA

2.0 Yleistä

Tien liikenteenvälityskykyyn vaikuttavat hyvin monet eri tekijät, joiden merkityksen selvittäminen ja mittaaminen ei ole kovin helppoa. Tekijöiden suuren lukumäärän vuoksi tutkimusaineiston on oltava hyvin suuren, jotta sen avulla voitaisiin eri tekijöiden vaikutusta selvittää. Tämän vuoksi käytännössä täytyy tutkittavien tekijöiden lukumäärä pyrkiä rajaamaan ainakin tutkimuksen alkuvaiheessa mahdollisimman vähiin ja pyrkiä valitsemaan huolella ne tie- ja liikenneolosuhteet, joissa tiettyjen tekijöiden vaikutusta tien liikenteenvälityskykyyn tutkitaan.

Tässä esitetyn tutkimussuunnitelman tarkoituksena on selvittää, miten kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskykyä olisi tutkittava liikenteellisesti merkityksellistä liittymistä vapaalla tieosalla.

Kysymyksessä oleva tutkimus on luonteeltaan alustava selvitys, jossa suhteellisen pienen aineiston avulla pyritään kartoittamaan ja rajaamaan tutkimusalueita myöhempiä tarkempia ja laajempia tutkimuksia varten sekä selvittämään ulkomaisten tutkimustulosten soveltuvuutta oloihimme.

Tutkimuksessa pyritään selvittämään seuraavien tekijöiden vaikutusta kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskykyyn

- liikennemäärä
- ajoradan leveys
- sivuesteen etäisyys
- näkemäolosuhteet
- tien kaarteisuus
- kuorma-autojen nopeus nousuissa

Ensisijaisena tehtävänä on selvittää liikenteen nopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvuus todellisissa liikenneolosuhteissa.

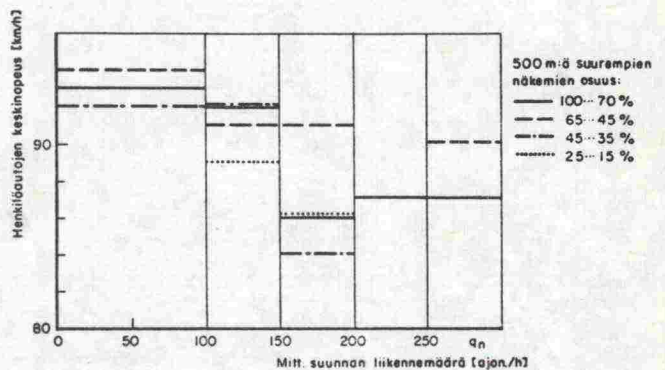
Tutkimuksen suoritustapa sekä käytettävät muuttujat on valittu ulkomaisen kirjallisuuden sekä Suomessa suoritettujen liikennetutkimusten aineiston perusteella. Kenttähavainnot kerätään jäljempänä esitettävillä perusteilla valituista tutkimuskohteista.

2.1 Aikaisemmin suoritettujen tutkimusten tulosten käyttö tutkimusta suunniteltaessa

Kuten edellä kohdassa 1.2 on todettu, ei Suomessa ole suoritettu varsinaisesti maanteiden välityskykyä koskevia tutkimuksia. Monia muita liikenteellisiä seikkoja tutkittaessa on kuitenkin kerätty havaintoaineistoa, jota edelleen käsittelemällä on ehkä mahdollisuus saada suuntaa-antavia tuloksia myös välityskykytutkimuksia ajatellen.

Liikennemäärän ja näkemäolosuhteiden vaikutuksesta henkilöautojen keskinopeuteen voidaan tarkastella käyttäen hyväksi rekisteritunnusmenetelmällä kootua aineistoa kohdassa 1.2 mainituista kolmesta tutkimuksesta /8,9 ja 11/, jotka ovat vuosilta 1965, 1966 ja 1968. Yleinen nopeuksissa tapahtunut kasvu voidaan ottaa huomioon siten, että vuoden 1965 tutkimustuloksiin lisätään 3 km/h ja vuoden 1966 tutkimustuloksiin 2 km/h. Havaintoaineisto, henkilöautojen keskinopeudet, voidaan ryhmitellä mittaussuunnan liikennemäärän mukaan luokkiin: 0...100 ajon/h, 100...150 ajon/h, 150...200 ajon/h ja yli 250 ajon/h. Liikennemääräluokkien sisällä voidaan suorittaa ryhmittely yli 500 m suurempien näkemien prosentin mukaan: 100...70 %, 45...65 %, 35...45 % ja 15...25 %.

Kuvassa 9 on esitetty edellä mainitulla tavalla suoritettujen tarkastelun tulokset. Kuvasta on havaittavissa selvä yleissuuntaus, että nopeudet pienenevät liikennemäärän kasvaessa. Sen sijaan näkemäprosentin mukainen ryhmittely ei näytä antavan johdonmukaista tulosta. Tämä johtunee osittain tarkastelussa käytetyn havaintoaineiston epähomogeenisuudesta. Havaintoja on useilta vuo-



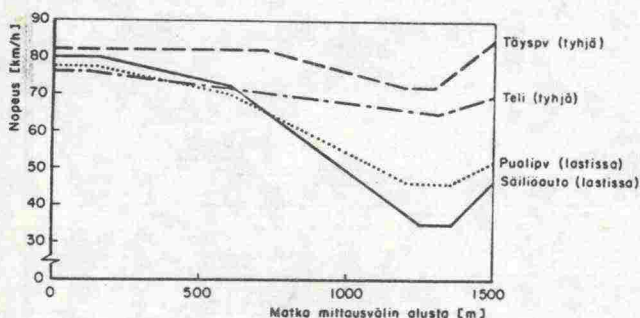
Kuva 9. Liikennemäärän ja näkemäolosuhteitten vaikutus henkilöautojen keskinopeuteen.

silta ja näin ollen esim. nopeustrendin vaikutus on jäänyt karkean arvion varaan. Osa havainnoista on lisäksi tutkimuksista, joissa on pyritty kiinnittämään huomiota tien geometrisiin ominaisuuksiin ja tästä johtuen muidenkin välityskykyyn vaikuttavien tekijöiden kuin näkemäolosuhteiden vaihtelu havaintoaineistossa on suuri.

Edellä oleva osoittaa, että tutkimuksen suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota mittausvälin valinnassa tien geometrisiin ominaisuuksiin. On mahdollisuuksien mukaan pyrittävä siihen, että tietyn ominaisuuden vaikutusta liikenteenvälityskykyyn tutkittaessa tulisi muiden ominaisuuksien kaikilla ko. ominaisuuden vaikutuksen selvittämiseen käytetyillä mittausväleillä olla jokseenkin samat. Tämä vaatimus rajoittaa selvitettävien tekijöiden määrän varsin vähiin suhteellisen suppeassa tutkimuksessa.

Kuorma-autojen nopeuksia nousuissa koskevan tutkimustavan soveltuvuuden, tarvittavan havaintomäärän ja eräiden käytännöllisten kysymysten selvittämiseksi mitattiin kuorma-autojen nopeuksia pistekokeiden luontoisesti muutamissa valituissa nousuissa. Mittaukset suoritettiin liikennetaloudellisia tutkimuksia varten rakennetulla, ajoanalyysointorilla varustetulla autolla seuraamisen menetelmää käyttäen.

Seuraamisen menetelmä soveltui erinomaisesti kuorma-autojen nopeudenmuutosten tarkasteluun. Kokeilumittaukset osoittivat myös, että nousun vaikutus kuorma-auton nopeuteen riippuu suuresti määrin auton tyypistä ja kuormasta (kuva 10). Em. syystä on tutkimustulosten tulkinnan kannalta välttämätöntä selvittää kuorman laatu ja arvioida paino sekä



Kuva 10. Erilaisten kuorma-autojen nopeuksia erässä nousussa.

mahdollisuuksien mukaan tehdä havainnot auton ominaisuuksista merkkiä ja tyyppiä käyttäen.

2.2 Tutkimuksessa huomioon otettavien tekijöiden valinta

Välityskykyyn vaikuttavat tekijät voidaan tutkimusta suunniteltaessa jakaa kahteen osaan. Toiset tekijät ovat sellaisia, että niiden suuruus voidaan etukäteen valita mittaustavan tarkkuudella. Tällaisia ovat lähinnä tieolosuhteet. Toisista tekijöistä voidaan esittää ennuste, jonka toteutuminen on kuitenkin suurehkossa määrin satuman varassa. Tällaisia tekijöitä ovat liikenne- ja sääolosuhteet yms.

2.21 Tieolosuhteista riippuvat tekijät

Kaikilla tien suuntauksesta ja rakenteesta riippuvilla tien ominaisuuksilla lienee jossain määrin vaikutusta tien välityskykyyn. On kuitenkin mahdotonta ottaa tutkimuksen kohteeksi jokaista erillistä tekijää, vaan näistä tulisi valita välityskykyyn eniten vaikuttavat tekijät. Tehtävää helpottaa osittain se, että nykyisessä tiesuunnittelussa elementtien valinta ei ole täysin vapaata, vaan tietyn standardin mukaisen tien eri elementit ovat yhteen sopivia. Näin ollen esim. tien leveys antaa yleensä viitteen pienimmistä käytetyistä kaarresäteistä jne.

Koska tarkoituksena on tutkia ainoastaan yhtä muuttujaa kerrallaan, lisää jokainen uusi muuttuja tutkimusta tarpeellisten havaintokertojen lukumäärällä. Esim. muuttujien lisääminen kolmesta neljään kasvattaa mittauskertojen lukumäärää kolmasosalla.

Tutkimuksen muuttujiksi on tässä tutkimussuunnitelmassa valittu:

- 1) ajoradan leveys ja sivuesteen etäisyys
- 2) tien näkemäolosuhteet
- 3) tien kaarteisuus.

Lisäksi mitataan muusta tutkimuksesta erillisenä 4) tien pituuskaltevuuden vaikutusta kuorma-autojen nopeuteen.

A j o r a d a n l e v e y s j a s i v u e s t e e n e t ä i s y y s ajoradan reunasta ovat ulkomailla suoritettujen tutkimusten perusteella eräitä kaikkein tärkeimpiä välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä.

Ajoradan leveys on tässä tutkimuksessa maalattujen reunaviivojen välimatka keskeltä keskelle mitattuna.

Sivuesteen etäisyys on etäisyys edellä määritellyn ajoradan reunasta yli 15 cm korkeisiin sivuesteisiin.

Ajoradan leveyden ja sivuesteen erillistä vaikutusta ei pyritä selvittämään tässä tutkimuksessa. Tutkimuskohteet pyritään valitsemaan niin, että kumpikin muuttuja on yhtä monta prosenttia ihannearvostaan.

T i e n n ä k e m ä o l o s u h t e i t a kuvaavana suureena esiintyy kirjallisuudessa lähes yksinomaan ohitusnäkemän pituus 1 500 ft (450... 460 m, jossain tapauksessa 500 m) amerikkalaisen /10/ esikuvan mukaan. Liikenteen nopeuden pitäisi ilmeisestikin olla riippuvainen mainitusta arvosta, koska se ilmentää ohittamismahdollisuuksia. Toinen mahdollisuus käsitellä asiaa on HCM 1965:n tapa, jonka mukaan määrävän näkemän pituutta pidetään vakiona, mutta näin mitattujen näkemäolosuhteiden vaikutuksen oletetaan olevan pienemmillä nopeuksilla vähäisempi kuin suurilla nopeuksilla.

Tässä tutkimuksessa käytetään kahta näkemäolosuhteet määrittävää näkemän pituutta, 460 m ja 300 m. Ensimmäinen luku vastaa kirjallisuudessa esiintyvää arvoa 1 500 ft. Jälkimmäinen on valittu kuvaamaan henkilöautojen ohitusmahdollisuuksia pienehköillä nopeuksilla. Todettakoon tässä yhteydessä, että annettujen näkemäarvojen perusteella vain valitaan tutkimuspaikat. Tulosten analysoinnissa on mahdollisuus käyttää mitä tahansa näkemän pituutta.

T i e n k a a r t e i s u u d e n on havaittu suomalaisissakin tutkimuksissa vaikuttavan ajoneuvojen käyttämiin nopeuksiin /9/. Tässä mielessä voidaan sillä olettaa olevan vaikutusta myös välityskykyyn. Eräänä vaikeutena kaarteisuuden vaikutuksen esiin saamisessa on se, että välityskykyyn vaikuttavat näkemäolosuhteet riippuvat sekä kaarteista että pituusleikkauksesta.

Kaarteisuuden mittana käytetään tässä yhteydessä tutkimusvälillä (grad/km) ja poikkileikkauksessa kaarresädettä.

T i e n p i t u u s k a l t e v u u d e n (nousujen) vaikutus välityskykyyn kytkeytyy hyvin läheisesti kuorma-autojen ja muiden raskaiden ajoneuvojen esiintymiseen liikennevirrassa.

Koska tutkimus on tarkoitus toteuttaa tässä vaiheessa suhteellisen suppeana, ei tienpituuskaltevuuden vaikutusta koko liikennevirtaan ole mahdollista tutkia. Sen sijaan suoritetaan erillisiä mittauksia nousujen vaikutuksesta kuorma-autojen nopeuteen vapaisissa liikenneolosuhteissa. Näin saatavien tulosten perusteella lienee karkeasti arvioitavissa kuorma-autojen vaikutus välityskykyyn.

2.22 Liikenneolosuhteista riippuvat tekijät

Liikenneolosuhteiden suhteellisen tarkka tunteminen on edellytyksenä eri tekijöiden välityskykyyn kohdistuvien vaikutusten tulkinnalle. Liikenneolosuhteiden nopeat muutokset ja vain summittainen ennustusmahdollisuus vaativat tarkat havainnot ajoneuvoista, jotta liikenteen luonne tulee riittäväällä tarkkuudella rekisteröidyksi.

Liikennevirrasta on tarpeellista tehdä havainnot seuraavista eri välityskykyarvoja määritetäessä käytettävistä tekijöistä:

- 1) liikenteen nopeus
- 2) liikennemäärät
- 3) liikenteen koostumus
- 4) liikenteen tiheys

Aikaisemmin on nopeuden ja liikennemäärän suhdetta käsiteltäessä todettu, kuinka tärkeä merkitys l i i k e n t e e n n o p e u d e l l a on välityskykyä määrävänä tekijänä. Em. mainitusta syystä liikennemäärähavainnoista ei sellaisenaan ilman nopeushavainnoja ole mainittavaa hyötyä välityskykytutkimuksen kannalta.

Liikennevirran nopeutta voidaan ilmentää monella eri suureella. Yleisimmin käytetyt ovat nopeuksien aikajakautuman aritmeettinen keskiarvo ja vastaava keskiarvo matkajakautumasta. Mainittujen keskiarvojen ero on varsin pieni (0...4 km/h) ja pysyy kysymykseen tulevalla nopeuden arvoilla käytännöllisesti katsoen vakiona. Näin ollen aikajakautuman keskiarvon muuntaminen matkajakautuman keskiarvoksi ja päin vastoin voidaan suorittaa jopa arvioimalla tekemättä tutkimuksen kannalta merkittävää virhettä. Näin ollen kumman tahansa keskiarvot antavat tutkimusmenetelmät ovat käytettävissä.

Nopeushavainnot pyritään tekemään erikseen henkilöautoista ja muista ajoneuvoista, jotta jäisi mahdollisuus myös henkilöautojen yksinomaiseen tarkasteluun.

Tutkittavan ajokaistan eli mittaussuunnan liikennemäärän lisäksi on laskettava vastakkaisen suunan liikennemäärä. Näin menettelemällä voidaan tutkia sekä vastakkaisen liikenteen vaikutusta kaistan välityskykyyn että suurilla liikennemäärillä koko tien välityskykyä

Edellä on useimmissa yhteyksissä todettu, kuinka ajoneuvotyyppi vaikuttaa ajon/h:na mitattuihin välityskykyarvoihin. Tietoa liikenteen koostumuksesta tarvitaan myös arvosteltaessa liikenteen nopeuden ja tiheyden osuutta välityskykyyn vaikuttavana tekijänä.

Liikenteen tiheydestä pitkällä tieosalla tehtävät luotettavat havainnot eivät ole mahdollisia ilman suurisuuntaisia ja suhteellisen kalliita koejärjestelyjä. Menetelmä saattaa tulla kysymykseen hyvin suurilla liikennemäärillä nopeuksien ollessa suhteellisen pieniä. Tässä tutkimuksessa mitataan ajoneuvojen tiheys lyhyellä matkalla suhteellisen tiiviin jonon kohdalta. Näin saaduista havainnoista on mahdollisuus laskea tien välityskyvylle raja-arvo kullakin nopeudella.

2.23 Muut tekijät

Edellä on lueteltu ne tekijät, joiden vaikutusta välityskykyyn on tarkoitus tutkia sekä samoin ne tekijät, joiden tunteminen välityskyvyssä tapahtuneiden muutosten tutkimiseksi on välttämätöntä. Edellä mainittujen lisäksi on suuri joukko liikennevirtaan vaikuttavia muita tekijöitä, joissa tapahtuvilla suurehkoilla muutoksilla voi olla ratkaiseva vaikutus tutkimustuloksiin. Tutkimuksen yhteydessä mitataan tai arvioidaan myöskin seuraavien suureiden arvot:

- märkisyyden
- päällysteen laatu ja kunto
- tienpinnan kosteus
- tuulisuus
- lämpötila
- pilvisuus

Edellä luetellut tekijät pyritään koko tutkimuksen aikana pitämään siinä määrin vakiosuuruisina kuin se käytännössä on mahdollista ts. mittauksia suoritetaan esim. ainoastaan tietynlaisissa sääolosuhteissa.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa pyritään selvittämään tien välityskyvyn riippuvuus muutamista tien ja liikenteen ominaisuuksista tekemällä liikennevirtaa koskevia havaintoja tien ominaisuuksien ja odotettavissa olevan liikenteen suhteen sopiviksi katsotuissa tutkimuskohteissa.

Tutkimus jakautuu suorittamisen kannalta kahteen osaan. Toisen muodostaa tutkimuskohteiden tieolosuhteiden inventointi ja toinen osa käsittelee liikennevirrasta sekä säästä yms. hetkellisesti muuttuvista olosuhteista tehtävien havaintojen suorituksen.

2.31 Tieolosuhteiden inventointi

Seuraavassa olevat mittaustavat esitetään siten kuin niitä sovelletaan muutamia kilometrejä pitkällä tutkimusvälillä. Poikkileikkaustutkimuksissa menetellään samalla tavalla olettamalla tutkimusväli tällöin 200 metriä pitkäksi (100 m poikkileikkauksen molemmin puolin), ellei erikseen ole mainittu muuta mittaustapaa.

Ajoradan leveyttä ja sivuesteen etäisyyttä mitattaessa menetellään kohdan 2.21 määritelmien mukaan. Mainitut muuttujat luokitellaan seuraavasti:

Ajoradan leveys	Sivuesteen etäisyys
< 5.0 m	0.0 m
5.5...6.0 m	0.0...0.5 m
6.0...6.5 m	0.5...1.0 m
6.5...7.0 m	1.0...1.5 m
7.0...7.5 m	1.5...2.0 m
≥ 7.5 m	≥ 2.0 m

Rajatapauksissa leveys kuuluu ylempään luokkaan. Ajoradan leveys mitataan tutkimusvälin alku- ja loppupisteestä sekä leveyden muutoskohdissa. Pituudella painotettu keskiarvo ratkaisee mihin leveysluokkaan koko tutkimusväli kuuluu. Tutkimusvälillä ei saa esiintyä useampaa kuin kahta leveysluokkaa. Sivuesteen etäisyys mitataan ajoradan molemmilta puolilta erikseen. Mittaus suoritetaan ainoastaan silloin, kun sivuesteen etäisyys alittaa 2.0 metriä. Esteen alkupään paikka sidotaan etäisyydellä tutkimusvälin alkupisteestä ja lisäksi mitataan esteen pituus sekä merkitään muistiin laatu (tolppa, kaide, puu jne.).

Pientareen leveys mitataan ja keskiarvo määrätään samalla tavoin kuin ajoradan ollessa kysymyksessä. Leveyden luokittelu on sama kuin sivuesteen etäisyydellä. Lisäksi annetaan tieto siitä, kuinka leveä osa pientareesta on päällystetty.

Tutkimusvälin näkemäolosuhteiden määrittämistä varten suoritetaan näkemämittaus tvh:n tiestötoimiston menetelmän mukaan. Mittaus ulotetaan 400 m tutkimusvälin ulkopuolelle molemmissa päissä ja suoritetaan nopeuden mittaussuuntaan. Poikkileikkaustutkimuksessa mitataan näkemien pituus tutkimuspisteestä sekä 100 metriä ennen ja 100 metriä jälkeen sen. Saadusta näkemäkäyrästä lasketaan tarvittavat näkemäprosentit.

Tutkimusvälin kaarteiden arvot pyritään määrittämään tiesuunnitelmista tai maastosta mittaamalla. Kaarteista tarvitaan tieto kaarteiden paikasta, kaarresäteestä, keskuskulmasta ja kaaren pituudesta. Jos tiessä on käytetty tasoituskääriä, luetaan puolet niiden pituudesta kaarteiden pituuteen. Mittaustuloksista lasketaan koko tutkimusvälille kaarteisuus.

Kuorma-autojen nopeutta nousussa koskevassa tutkimuksessa mitataan pituus ja sen pituus mahdollisuuksien mukaan tiesuunnitelmasta tai suoritetaan mittaus tiestötoimiston menetelmällä.

Tutkimusvälin mäkisyysluku, joka on matkalla tapahtuneiden korkeusvaihteluiden summa, mitataan tiesuunnitelmista tai maastosta.

Päällysteen laadun ja kunnon arvostelu suoritetaan silmämääräisesti seuraaviin luokkiin:

laatu	kunto
kestopäällyste	hyvä
kevytkestopäällyste	kohtalainen
öljysora	huono

Päällysteen kunto on hyvä, kun siinä ei ole havaittavissa mainittavia epätasaisuuksia eikä pieniä halkeamia suurempia rikkoutumia. Kohtalaisessa kunnossa olevassa päällysteessä sallitaan esim. kulumisesta johtuvia epätasaisuuksia, halkeamia sekä pieniä kuoppia.

2.32 Liikenneolosuhteita selvittävät havainnot

Liikennevirran ominaisuuksien selvittämiseksi tehdään havainnot ajoneuvojen nopeudesta, tiheydestä, liikennemäärästä ja liikenteen koostumuksesta.

Valtaosa havaintojen keruutyöstä muodostaa nopeushavaintojen teko. Useimpien nopeustutkimusmenetelmien yhteydessä saadaan tiedot myös mittaussuunnan liikennemäärästä ja liikenteen koostumuksesta.

Em. syystä käsitellään seuraavassa lähinnä eri olosuhteisiin soveltuvia nopeusmittausmenetelmiä ja havaintojen täydentämiseksi tarvittavaa liikenteen laskentaa sekä liikenteen tiheyden mittausta.

Nopeushavaintojen teon ensi sijaisena päämääränä on todeta liikennevirran ajoneuvojen keskinopeus sekä mikäli mahdollista myös nopeuksien jakautuma ja keskihajonta. Mainittujen suureiden merkitys riippuu mittaustuloksista.

Tässä tutkimuksessa käytetään seuraavasti määriteltyjä suureita:

NOPEUSJAKAUTUMA	on nopeuksien aikajakautuma eli tietyn tien poikkileikkauksen aikayksikössä ohittavien ajoneuvojen nopeuksien jakautuma.
LIIKENNEVIRRAN KESKINOPEUS	on nopeuksien aikajakautuman aritmeettinen keskiarvo.
NOPEUKSIEN KESKIHAJONTA	on nopeuksien aikajakautuman keskiarvon suhteen laskettu hajonta.

Eräillä nopeusmittausmenetelmillä saadaan nopeuksien matkajakautumasta laskettuja nopeussuureita. (Matkajakautuma on tietyllä tieosalla määrättyllä hetkellä olevien ajoneuvojen nopeuksien jakautuma.) Matkajakautuman keskiarvo ja keskihajonta on kuitenkin muunnettavissa suurtakaan virhettä tekemättä aikajakautumaa vastaviksi arvoiksi kaavojen mukaan:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{\delta_s^2}{\bar{v}_s} \quad (5)$$

$$\delta_t^2 \approx \delta_s^2 \left(1 + \frac{\delta_s^2}{\bar{v}_s^2}\right) \quad (6)$$

\bar{v}_t = aikajakautuman aritm. keskiarvo

\bar{v}_s = matkajakautuman " " .

δ_t = aikajakautuman keskihajonta

δ_s = matkajakautuman " "

Nopeuden mittaamisen menetelmän valinta riippuu oleellisesti havaittavasta liikennemäärästä. Suunniteltavassa tutkimuksessa pyritään suorittamaan pääosa ajonopeuden mittauksista rekisteritunnusmenetelmällä sekä kaikki ajoneuvot havaitsemalla että mahdollisesti otosvalinnalla. Erittäin suurilla liikennemäärillä voidaan käyttää rekisteritunnusmenetelmän sijasta keskiaikamenetelmää.

Pistenopeuden mittaukset tullaan pääasiassa suorittamaan tutkamenetelmää käyttäen. Myöskin tässä tapauksessa täytyy suurilla liikennemäärillä suorittaa otosvalintaa. Pistenopeutta mitataan lisäksi valokuvausmenetelmällä.

Tutkittaessa kuorma-autojen nopeutta nousuissa käytetään ajoneuvollaseuraamisen menetelmää.

R e k i s t e r i t u n n u s m e t e l m ä l l ä tarkoitetaan tässä yhteydessä nopeuden mittaamisen menetelmää, jossa pituudeltaan tunnetun tieosan molemmissa päissä havaitaan ohiajajien ajoneuvojen sivuutushetket, ajoneuvotyyppi ja tarpeelliseksi katsottu määrä rekisterilaitteen numeroita ja kirjaimia.

Ao. menetelmällä havaitusta ajoneuvosta tunnetaan näin ollen esim. keskiaikamenetelmästä poiketen sen tieosalla käyttämä aika ja voidaan laskea aikajakautuman nopeuksien aritmeettinen keskiarvo ja keskihajonta. Lisäksi tulee havaituksi mitaussuunnan liikennemäärä ja liikenteen koostumus.

Tietojen muistiinmerkintä tutkimusvälin päissä voi tapahtua monella tavalla. Pienillä liikennemäärillä on havaintojen teko mahdollista kirjoittamalla, mutta liikennemäärien kasvaessa täytyy ottaa käyttöön teknillisiä apulaitteita tai tur-

vautua otosvalintaan. Tässä tutkimuksessa talletetaan tiedot tutkimusvälin kummassakin päässä joko suoraan lomakkeille tai ääninauhalle, jolta havainnot voidaan myöhemmin siirtää lomakkeille. Lomakkeena käytetään liitteen 1 mukaista lomaketta.

Rekisteritunnusmenetelmän tarkkuus riippuu tehtyjen havaintojen tarkkuudesta ja niiden lukumäärästä. Ajoneuvon nopeus lasketaan kaavasta

$$v_i = \frac{L}{t_i} \quad (7)$$

v_i = ajoneuvon ajonopeus tutkimusvälillä
 t_i = " käyttämä aika "
 L = tutkimusvälin pituus

Ajoneuvon nopeuteen matkan ja ajan mittausvirheetä johtuvalle virheelle saadaan arvio derivoimalla kaava (7)

$$dv_i = \frac{dL}{t_i} - \frac{dt_i}{t_i^2} \cdot L$$

Nopeuden suhteellinen maksimivirhe (δv_i) on matkan suhteellisen virheen (δL) ja ajan suhteellisen virheen (δt_i) itseisarvojen summa:

$$\delta v_i = \delta L / + \delta t_i / \quad (8)$$

Matkan suhteellinen virhe ei yleensä riipu mitattavan matkan pituudesta, vaan ainoastaan mittaus-tavasta. Autoon asennettavien tarkkuusmatkamittareiden virhe on alle 0.5 %. Ajan mittaamisessa tapahtunut suhteellinen virhe on sen sijaan kääntäen verrannollinen matkan pituuteen nopeuden pysyessä muuttumattomana. Kellon lukemisessa tapahtuva virhe on yleensä 1 jako-osa (1 sek tai 0.01 min kellosta riippuen) kummassakin päässä eli yhteensä 1-2 sek. Kahden kilometrin matkalla ja 120 km/h:n nopeudella on virhe ~1.7 km/h

Yli 2 km pituisella tutkimusvälillä on yksityisen ajoneuvon nopeuden mittausmenetelmästä johtuva virhe yleensä alle 2 %. Jos virhelähde on systemaattinen muodostuu keskinopeuden virhe yhtä suureksi.

Havaintojen lukumäärä vaikuttaa keskinopeuden luotettavuuteen seuraavan kaavan mukaan

$$\epsilon = \frac{\delta t}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

ϵ = keskiarvon keskivirhe
 n = havaintojen lukumäärä

Jos keskiarvon keskivirheen halutaan pysyvän rajoissa ± 1 km/h, on tarvittavan havaintomäärän suuruus (olettamalla $\delta_t = 10 - 20$ km/h) 100 - 400 kpl. Käytännössä on yleensä 150 - 200 havaintoa osoittautunut riittäväksi.

Keskiaikamenetelmällä tarkoitetaan tässä yhteydessä nopeuden mittaamismenetelmää, jossa pituudeltaan tunnetun tieosan molemmissa päissä havaitaan ohiajaviiden ajoneuvojen sivuutushetket (tarkasti tai esim. 15 sek. jaksoina) sekä mahdollisesti ajoneuvoista muita havainnotia kuten esim. ajoneuvotyyppi.

Koska ajoneuvoista ei tehdä täysin yksilöiviä havaintoja ei yksityisten ajoneuvojen nopeuksia eikä näin ollen myöskään nopeusjakautumaa voida laskea. Tutkimustuloksena saadaan ainoastaan ajoaikojen keskiarvojen käänteisarvona laskettu keskimääräinen nopeus, mikä on likimain sama kuin nopeuksien matkajakautuman keskiarvo. Lisäksi saadaan havaintoaineistosta mittaussuunnan liikennemäärä ja mikäli ajoneuvotyyppihavainnot on tehty, myös liikenteen koostumus.

Ajoneuvohavainnot voidaan keskiaikamenetelmää käyttäen tehdä joko siten, että jokaiselle ajoneuvolle havaitaan tarkka sivuutushetki tai että oletetaan tietyn jakson (15 sek, 30 sek tai 1 min) aikana menneiden ajoneuvojen sivuuttaneen mittauspoikkileikkauksen ko. jakson puolivälissä. Ensin mainittu menettelytapa antaa keskimääräisen ajoajan täysin tarkasti, mutta jälkimmäinen on ainakin ilman apuvälineitä luotettavampi ja helpompi suorittaa.

Tietojen muistiinmerkintä voidaan suorittaa käsin, timerecorder-tyyppisellä kojeella, nauhurilla tai kuvanauhurilla. Käsin tai välillä pysäytettävällä nauhurilla toimittaessa tulee kysymykseen yleensä jaksottain laskenta, muulla tavalla menettelemällä voitaneen havaita tarkat ohitushetket.

Tässä tutkimuksessa havainnot kerätään jatkuvasti käyväällä nauhurilla, time-recorderilla tai kuvanauhurilla käyttäen riittävää määrää aikakiintopisteitä.

Keskiaikamenetelmällä määrätyn keskimääräisen ajoajan virhe riippuu ratkaisevassa määrin siitä, tulevatko samat ajoneuvot havaituiksi tutkimusvälin molemmissa päissä.

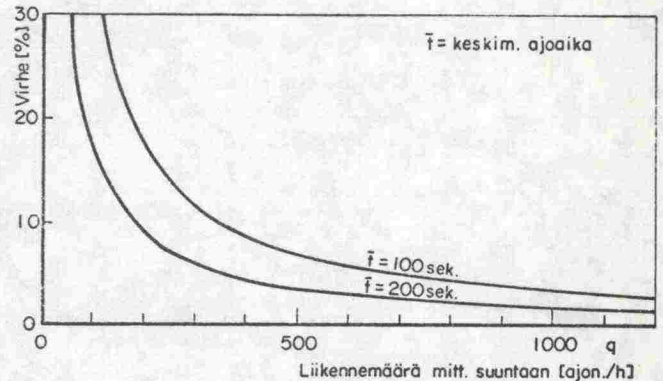
Keskimääräinen ajoaika lasketaan kaavasta:

$$\bar{t} = \frac{t_{i2} - \sum t_{i1}}{N} = \frac{\sum t_i}{N} \quad (10)$$

\bar{t} = keskimääräinen ajoaika
 t_{i1} = alkupään sivuutushetki (yks. ajoneuvon)
 t_{i2} = loppupään " "
 t_i = yksityisen ajoneuvon ajoaika
 N = havaintojen lukumäärä

Jos yksi ajoneuvo jää toisessa päässä havaitsematta, on keskimääräisen ajoajan maksimivirheen keskiarvo = keskimääräinen aikaväli = $\frac{1}{q}$, q = liikennemäärä mittaussuuntaan ajon/h.

Keskimääräisen ajoajan suhteellisen maksimivirheen keskiarvo (= keskimääräisen nopeuden suhteellisen maksimivirheen keskiarvo) on eri liikennemäärillä ja keskim. ajo-ajoilla seuraavan diagrammin mukainen yhden ajoneuvon jäädessä toisessa päässä havaitsematta (kuva 11).



Kuva 11. Keskiaikamenetelmällä mitatun keskinopeuden suhteellisen maksimivirheen keskiarvo yhden ajoneuvon jäädessä havaitsematta mittaussuunnan toisessa päässä

Koska yhden ajoneuvon havaitsematta jääminen aiheuttaa pahimmassa tapauksessa hyvin huomattavan virheen tutkittavaan nopeussuureeseen, tulee keskiaikamenetelmä kysymykseen ainoastaan suurilla liikennemäärillä ja "suljetulla" mittaussuunnalla. Mittausvälin tulee olla sellainen, että liikennevirrasta poistuminen, siihen liittyminen ja mahdolliset pysähtymiset voidaan havaita ja sen tulee olla yli 3 500 m pitkä. Liikennemäärän tulee olla yli 500 ajon/h.

Oikein suoritettujen mittauksien havaintojen lukumäärän vaikutus saadun tuloksen luotettavuuteen on sama kuin rekisterilaitteen menetelmässä. On siis pyrittävä vähintään 150 - 200 havaintoon.

Ajoneuvolla seuraamismenetelmä, jota käytetään tutkittaessa kuorma-autojen nopeutta nousuissa, voidaan myöskin lukea ajonopeuden mittaamenetelmiin.

Seuraaminen suoritetaan varsinaisesti ajoneuvojen polttoaineen kulutuksen tutkimista varten rakennetulla ajoanalysointilaitteella varustetulla autolla. Laitte rekisteröi mm. kuljetun matkan ja senhetkisen nopeuden yhden sekunnin välein.

Menetelmän tarkkuus riippuu paitsi laitteiston tarkkuudesta myös siitä, kuinka tarkasti pystytään ajamaan seurattavan nopeutta. Hetkelliset nopeuserot saattavat olla muutamia km/h luokkia, koska henkilöauton nopeus muuttuu huomattavasti nopeammin kuin kuorma-auton. Mittaustavasta johdettujen tasoittavien nopeuserot kuitenkin jo alle 100 metrin matkalla ja tätä pitemmältä matkalta saatua nopeutta voidaankin pitää laitteiston mittaustarkkuutta vastaavana.

Tarvittavien havaintojen lukumäärä on vaikea enustaa aikaisempien kokemusten puuttumisen vuoksi. Tässä tutkimuksessa pyritään keräämään n. 20 havaintoa jokaisesta havaintopaikasta. Pieni määrä johtuu tutkimuksen alustavasta luonteesta ja tutkimuskaluston vähydestä.

Pistenopeuksia mitataan lähinnä t u t k a m e n e t e l m ä l l ä. Tällä menetelmällä saadaan jokaisen ajoneuvon nopeus tietyssä pisteessä. Näin ollen havainnoista on laskettavissa aikajakautuma sekä sen keskiarvo ja -hajonta. Lisäksi tehdään havainnot ajoneuvotyypistä. (Liite 2).

Tutkan virhe on yleensä alle ± 3 km/h. Tottunut mittaaja voi hyvin kalibroidulla laitteella päästä tarkkuuteen ± 1 km/h. On huomattava, että luke-matarkkuudesta johtuva virhe tuloksissa on usein systemaattinen.

Luotettavan tuloksen aikaansaamiseksi tarpeellinen havaintojen lukumäärä määräytyy samoin perustein kuin rekisteritunnusmenetelmällä.

K u v a u s m e n e t e l m ä l l ä tarkoitetaan tässä yhteydessä nopeuden mittaamenetelmää, jossa ajoneuvojen paikka kuvataan vähintään kaksi kertaa esim. 5 sek. väliajoin. Nopeus lasketaan kuvausten välillä kuluneen ajan ja kuljetun matkan perusteella. Kuljettu matka mitataan kuvista tien varteen asetettuja mittamerkkejä hyväksikäyttäen. Havaintoaineistosta voidaan laskea mm. nopeuksien aikajakautuma sekä sen keskiarvo ja keskihajonta.

Em. menetelmän muunnoksena voidaan pitää menetelmää, jossa kuvaaminen suoritetaan jatkuvana kaitafilmi-kameralla tai filminauhurilla. Tällöinkin käytetään vain tietty kuvapari nopeuden määrittämiseen. Jos jokainen ajoneuvo halutaan saada havaituksi, on jatkuva kuvaaminen ainoa mahdollisuus suurilla liikennemäärillä.

Tässä tutkimuksessa pyritään kuvausmenetelmällä mittaamaan ajoneuvojonojen nopeuksia liikenteen tiheyden ja nopeuden riippuvuuden selvittämiseksi. Kuvaus suoritetaan jatkuvana kaitafilmi-kameralla tai (ja) kuvanauhurilla.

Ajoneuvon nopeus lasketaan kaavasta:

$$v_i = \frac{l}{t_i}$$

v_i = ajoneuvon nopeus

l = matka miltä nopeus mitataan

t_i = matkaan kulunut aika

Suhteellinen maksimivirhe on siis matkan ja ajan mittauksessa tapahtuneiden suhteellisten virheitien summa (kaava 8). Ajoneuvon kulkema matka (= merkkipaalujuen välimatka maastossa) on yleensä niin lyhyt (100 - 200), että se voidaan mitata mitanauhalla mittaustarkkuuden jätessä käytännöllisesti katsoen pois. Koska ajoneuvoa tarkastellaan mo-

lemmissä kohdin samasta pisteestä, saattaa ajoneuvon sivusuuntaisasema ajoradalla aiheuttaa yhteensä noin metrin suuruisen absoluuttisen virheen ajoneuvon kulkeman matkan määrittämisessä. Kuvan epätarkkuudesta johtuva mittaustarkkuuden virhe lienee käytettävillä laitteilla samaa luokkaa. Matkan suhteelliseksi virheeksi tulee kokonaisuudessaan noin 1-2 %.

Ajoneuvon käyttämä aika voidaan kaitafilmistä laskea otettujen kuvien lukumäärän perusteella teoriassa $1/36$ sek. tarkkuudella. Käytännössäkin päästään tarkkuuteen 0.1 sek. ottaen huomioon kameran mahdolliset käyntiepätasaisuudet.

Käytettäessä kuvanauhurikalustoa voidaan ko. liikenne tapahtuma "esittää uudelleen", jolloin on mahdollista kellolla mitata ajoneuvon käyttämä aika jälkepäin. Myös tällä tavalla päästään tarkkuuteen 0.1 sek. Ajan suhteellinen virhe on näin ollen käytetystä ajoajasta riippuen noin 1-3 %.

Kuvausmenetelmän suhteellinen kokonaisvirhe saattaa edellä esitetyn perusteella olla epäedullisessa tapauksessa jopa 5 %. Tämän tutkimuksen kannalta ei se kuitenkaan rajoita menetelmän käyttöä, koska kussakin jonossa voidaan mitata useamman ajoneuvon nopeus ja käyttää tutkimustuloksena keskiarvoa, jolloin ei-systemaattiset virheet yleensä tasaantuvat.

L i i k e n t e e n l a s k e n n a l l a ymmärretään tässä tien poikkileikkauksen tai tieosan ohittaneiden ajoneuvojen lukumääräistä havaitsemista.

Liikenteen laskenta voidaan suorittaa eri periaatteilla toimivilla laskentakoneilla tai käsin. Kone-laskenta on nykyisillä välineillä aina jossain määrin likimääräistä, koska koneellisesti on hyvin vaikea erottaa eri tyyppisiä ajoneuvoja toisistaan.

Koska tässä tutkimuksessa ovat tarkat liikennemäärätiedot koko tutkimuksen pohjana, suoritetaan liikenteen laskenta käsin. Kone-laskentaa käytetään ainoastaan tarkistusmielessä suurten liikennemäärien aikana sekä erikoiskysymysten selvityksessä.

Laskenta suoritetaan tvl:n liikennelaskentalomakkeelle (Liite 3) 10 minuutin jaksoina. Eri liikennesuunnat ja ajoneuvotyypit erotetaan toisistaan. Ajoneuvotyypit ovat ha, pa, la, ka, kp, tr, mp, mopo, pp ja jk.

Liikenteenlaskija sijoittuu pistemittauksessa tutkimuspisteen välittömään läheisyyteen ja tutkimusvälimittauksessa päätepisteiden välille siten, että saattaa havaita tutkimusvälille pysähtyneet ajoneuvot mahdollisuuksien mukaan.

M i t t a a m a l l a l i i k e n t e e n t i h e y s ja nopeus suurehkon liikennemäärän aikana voidaan aikaisemmin mainittua liikennemäärän, tiheyden ja nopeuden riippuvuutta hyväksikäyttäen laskea liikennemäärä. Eri tienkohdissa olevien ajoneuvojen samanaikainen pistenopeuden mittauk-

sen vaikeus asettaa kuitenkin rajoituksensa menetelmän toteuttamiselle luotettavan tuloksen kannalta riittävän pitkällä tieosalla. Seuraavassa esitetään periaate tällaisenkin tutkimuksen suorittamisesta sekä siitä sovellutuksena rajoitetun käyttöalan omaava tutkimusmenetelmä.

Tarkkojen ja mittasuhteiltaan oikeiden havaintojen tekeminen esim. 1 km pituiselta tieosalta voi tulla kysymykseen ainoastaan ilmasta käsin. Ilmakuva-kartoitusta varten on kehitetty erittäin tarkat myöskin liikennetutkimusta tarkoituksenmukaisesti palvelevat laitteet. Mittausperiaate on yksinkertainen:

Tieosa kuvataan riittävän korkealta, jotta se näkyy esim. 10 sek. välein otetussa kahdessa kuvassa. Kuvilta mitataan ajoneuvojen välimatkat sekä niiden 10 sekunnin aikana kulkemat matkat ja saadaan laskemalla tiheys ja nopeus. Tulosten tulkintaa helpottaa, jos on käytettävissä stereokuvapareja.

Maasta voidaan em. menetelmää soveltaa rajoitetusti mittaamalla kuvausmenetelmällä tiiviissä jonoissa ajavien ajoneuvojen nopeudet ja lukemalla kuvista ajoneuvojen välimatkat. Käyttämällä hyväksi liikennemäärän, tiheyden ja nopeuden välistä yhteyttä saataneen em. menetelmällä välityskyvyn suurin arvo vallitsevissa olosuhteissa.

2.4 Tutkimuspaikkojen valinta

Tutkimuksen tarkoitus määrää havaintojen paikallisen ja ajallisen suorituksen. Tässä tapauksessa tutkimuskohteet ja havaintojen tekoaika täytyy valita tien ominaisuuksien ja odotettavissa olevan liikenteen perusteella.

Liikennemääriin kohdistuvat vaatimukset määrittävät lähinnä tiet, joilla tutkimuksen suorittaminen tulee kysymykseen. Tien ominaisuuksien perusteella valitaan tarkempi paikka.

Tutkimuskohteiden alustava valinta on suoritettu tvh:n valta- ja kantateiden laatuluokittelutulosten ja valtateiden liikenteestä käytettävissä olevien tietojen perusteella. Tarkka sijainti on määritetty paikalla suoritettujen tarkistusten jälkeen.

2.41 Tutkimusaineistolle asetetut vaatimukset

Tien liikenteenvälityskykyyn vaikuttavista tekijöistä on tutkittaviksi valittu kolme tien ominaisuutta (ajoradan leveys ja sivuesteen etäisyys, näkemäolosuhteet sekä kaarteisuus) ja liikenteen nopeus. Viime mainitun ja liikennemäärän välinen riippuvuus antaa mahdollisuuden valita tutkimusolosuhteet luotettavimmin ennustettavissa olevan liikennemäärän perusteella.

Jokaista tutkimuksen alaista muuttujaa kohti tarvitaan alustavassakin tutkimuksessa vähintään viisi tutkimuspistettä, jotta johtopäätösten teko olisi mielekäästä. Näistä yhden tulee täyttää suunnilleen ulkomaisen kirjallisuuden mukainen ihannearvo ja neljän muun tulee olla tätä arvoa huonompia. Muiden muuttujien arvo tulisi olla kaikissa pisteissä lähellä ihannearvoa.

Taulukossa 16 on esitetty eri tutkimusväleille asetetut vaatimukset tiettyinä raja-arvoina. Suluissa on esitetty poikkileikkaustutkimuksessa käytettävät arvot näkemäpituuksille.

Noususuhteiltaan tulee tutkimuspaikkojen olla sellaisia, ettei pituuskaltevuuden arvo ylitä yleensä 2 %. Lyhyillä, alle 200 metrin matkoilla voidaan sallia arvo 3 %.

Taulukko 16. Tutkimusväleille asetetut vaatimukset

Kohde	Ajorata (m)	Sivueste (m)	Näkemäprosentti (%)		Kaarteisuus	
			>460 m	>300 m	(grad/km)	Rmin (m)
1	7.50	2.0	95-100 (>500 m)	100	0-15	500
2	7.00-7.49	1.5-2.0	"	"	"	"
3	6.50-6.99	0.5-1.5	"	"	"	"
4	6.50-6.99	0.5-1.5	"	"	"	"
5	6.00-6.49	0.0-1.0	"	"	"	"
6	7.50	2.0	100 (>500 m)	"	"	"
7	"	"	70-80 (350-450 m)	80-100	"	"
8	"	"	60-70 (300-400 m)	80-90	"	"
9	"	"	0-20 (200-250 m)	50-70	"	"
10	"	"	0 "	50-70	"	"
11	"	"	95-100 (>500 m)	100	"	"
12	"	"	"	"	20-25	400 (500-600)
13	"	"	"	"	"	300 (400-500)
14	"	"	"	"	35-40	200 (200-300)
15	"	"	"	"	40-45	200 (200-300)

Taulukko 17. Ehdotus kapasiteettitutkimuksen tutkimusväleiksi (välien pituudet 2...5 km)

Välin. n:o	Pääll.	Poikkileikkaus (m)	Näkämä %		Mäkisyys (m/km)	Kaarteisuus (grad/km)
			> 460 m	> 300 m		
1	Kp	1,3 + 7,2 + 1,3	60	95	11	16
2	Kp	1,1 + 7,1 + 1,1	60	100	11	27
3	Kp	1,1 + 7,1 + 1,1	80	90	11	5
4	Kp	1,1 + 7,1 + 1,1	20	55	13	19
5	Kp	1,1 + 7,1 + 1,1	10	50	15	21
6	Kp	1,6 + 7,0 + 1,6	100	100		8
7	Kp	1,2 + 7,0 + 1,2	100	100		2
8	Kp	0,8 + 7,0 + 0,8	80	90		4
9	Kp	0,8 + 7,0 + 0,8	40	80		20
10	Kp	0,6 + 6,0 + 0,6	30	45		5
11	ös	0,5 + 6,5 + 0,5	100	100		0
12	Kp	1,3 + 7,2 + 1,3	50	95	11	4
13	Kp	1,3 + 7,2 + 1,3	90	95	11	7
14	Kp	1,3 + 7,2 + 1,3	60	90	10	23
15	Kp	1,4 + 7,0 + 1,4	80	100		
16	Kp	1,6 + 7,0 + 1,6	60	90		
17	Kp	1,6 + 7,0 + 1,6	90	100		
18	Kp	1,2 + 7,0 + 1,2	70	100		
19	Kp	1,5 + 7,0 + 1,5	80	100		
20	Kp	1,0 + 6,8 + 1,0	35	60	20	18
21	Kp	1,2 + 7,0 + 1,2	50	90	15	39
22	Kp	1,2 + 7,0 + 1,2	60	90	14	33
23	Kp	0,7 + 6,2 + 0,7	0	5		suuri
24	ös	1,0 + 7,0 + 1,0	60	75		pieni

Tutkimusajat on pyrittävä valitsemaan niin, että mittaussuunnan liikennemäärä vaihtelee eri mittauksilla 200 - 1000 ajon./h. Jokaisessa tutkimuskohteessa suoritetaan viisi havaintokertaa, joiden suunnitellaan jakautuvan mittaussuunnan liikennemäärän mukaan seuraavasti:

200 - 300 ajon/h	1 kerta
300 - 500 "	2 kertaa
yli 500 "	2 "

Mittausajanjaksojen pituus määräytyy tutkimuksen tarkoituksiin riittävän ajoneuvohavaintomäärän mukaan. Tämä lukumäärä taas puolestaan on riippuvainen käytetystä nopeuden mittausmenetelmästä. Asiaa on tarkemmin käsitelty tutkimusmenetelmiä koskevassa kohdassa.

Kuorma-autojen nopeutta nousuissa käsittelevän tutkimusosan mittauspaikkojen valinta suoritettiin tien silmämääräisen tarkastelun perusteella. Koska tutkimus on tältä osin hyvin suopea, ei liene aihetta paikkojen systemaattisempaan valintaan.

2.42 Ehdotus tutkimuskohteiksi sopivista tieosista

Edellisessä kohdassa asetettiin havaintoaineistolle tietyt vaatimukset ajatellen puhtaasti tutkimuksen tavoitteita ottamatta huomioon käytännön toteuttamismahdollisuuksia. Tästä johtuen osa asete-

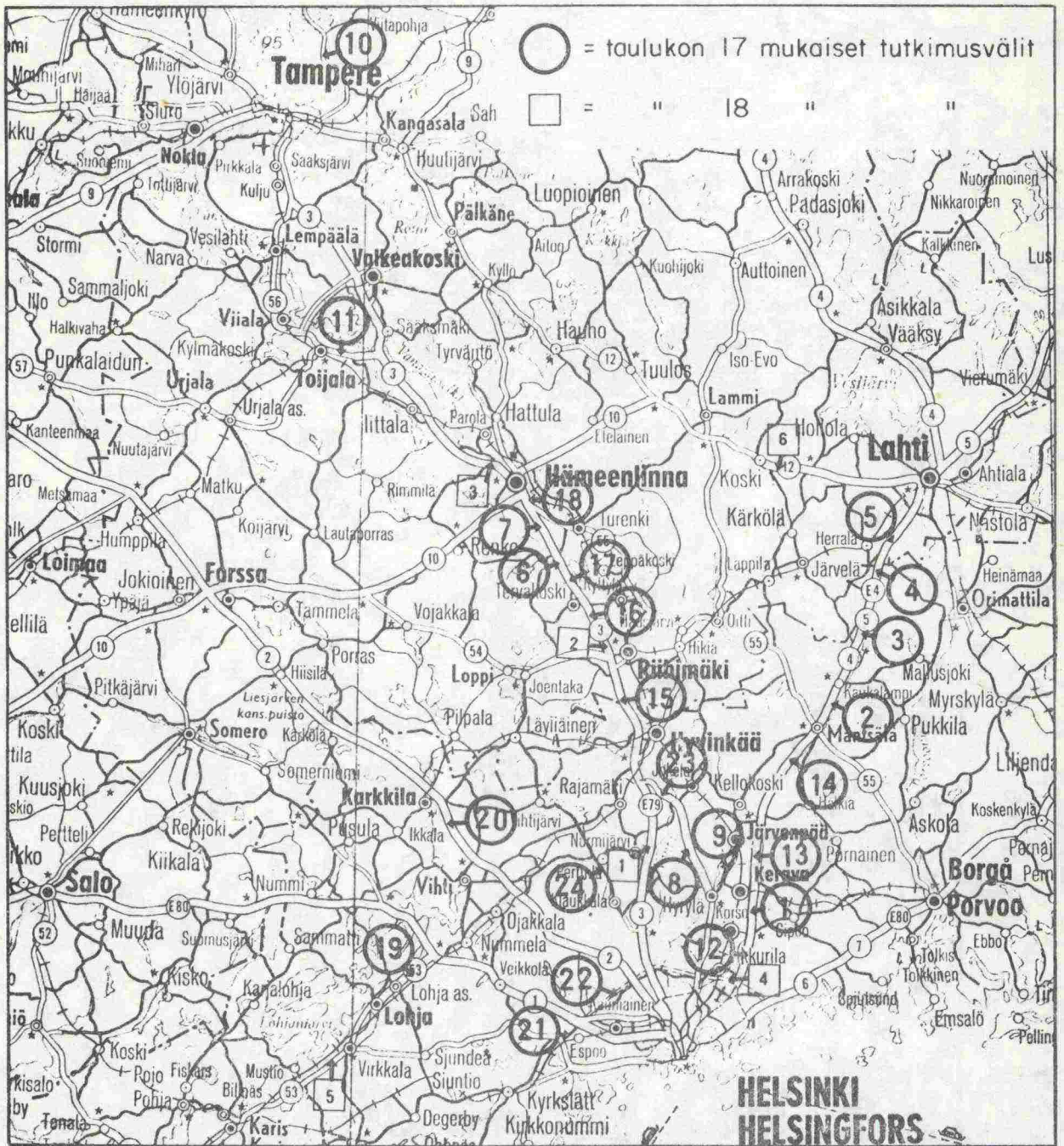
tuista vaatimuksista täyttäviä tieosia on vaikea löytää.

Tutkimuspaikkojen valinta osoittautuikin hyvin vaativaksi ja aikaa kysyväksi tehtäväksi. Osasta tutkimuksen alkuperäisistä tavoitteista jouduttiinkin luopumaan, koska yht'aikaa sekä tietekijöiden että liikenteellisten tekijöiden puolesta soveliaita tieosia oli mahdotonta löytää.

Taulukoissa 17 ja 18 on ehdotettu lopullisesti tutkimusta varten valitut tutkimuspaikat valintaan vaikuttaneine ominaisuuksineen. Tutkimuspaikkojen sijainti ilmenee kuvasta 12.

Taulukko 18. Ehdotus nousuista kuorma-autojen nopeuden mittaamiseksi

N:o	Kok.pituus	suurin nousu ja sen pituus			
		70 %	60 %	50 %	40 %
1	620 m			150 m	
2	950 m			370 m	
3	1300 m			470 m	
4	850 m		220 m		
5	800 m	250 m			
6				200 m	



Kuva 12. Tutkimusvälien sijainti

Dipl.ins. E. Hevonoja

3. Tutkimus v. 1970

3.0 Yleistä

Luvussa 2 esitetyn tutkimussuunnitelman mukaan suoritettiin kesällä 1970 tvh:n tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellisen toimiston toimesta tutkimus 2-ajokaistaisen tien välityskyvystä katkeamattoman liikennevirran olosuhteissa. Tutkimus kohdistui seuraaviin välityskykyyn vaikuttaviin tekijöihin:

- nopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvuus erilaisissa tieolosuhteissa
- liikennevirran nopeuksien suuntajakautuma
- liikennevirran aikavälajakautuma
- kuorma-autojen nopeuden hidastuminen nousuissa

Tutkimus perustuu valituilla tieväleillä ja nousuissa tehtyihin nopeusmittauksiin. Eri tieväleillä suoritettiin yhteensä n. 12 000 ajonopeushavaintoa rekisteritunnusmenetelmällä ja n. 2 500 pistenopeushavaintoa tutkalla. Nousuissa mitattiin seuraamismenetelmällä 86 kuormatun kuorma-auton nopeus.

3.1 Tutkimusaineiston kerääminen

Tutkimusvälien valinta suoritettiin käytettävissä olevien tvh:n tieinvestointitietojen perusteella. Tutkimusvälien geometria, leveystiedot ja pituus mitattiin myöhemmin tarkemmin tätä tutkimusta varten. Niinkuin edellä luvussa 2 tutkimussuunnitelmassa on esitetty, valittiin tutkimusvälit siten, että ne täyttivät seuraavia ominaisuuksia

- tutkimusvälillä ei esiintynyt vilkasliikenteisiä liittymiä
- tutkimusvälit olivat mahdollisimman homogeenisia koko pituudellaan
- ne noudattivat kyseessä olevan tien yleisstandardia

Nopeusmittauksia suoritettiin kaikkiaan yhdellätoista valitulla tutkimusvälillä. Niille annettiin tunnusnumerot 1...11. Tutkimusvälien sijainti tietössä on esitetty edellä luvussa 2.41 kuvassa 12. Vain tutkimusväleillä 1..7 esiintyi niin suuria liikennemääriä, että nopeuden ja liikennemäärän välisen riippuvuuden tarkastelu voitiin suorittaa. Tutkimusvälit 1...7 sisälsivät kaksi tieväliä, joilla yli 460 metrin näkemien osuus oli 100 %:n luokkaa, yhden tievälin, jolla se oli 80 %:n luokkaa, kaksi tieväliä, joilla se oli 60 %:n luokkaa sekä kaksi geometrialtaan huonohkoa tieväliä, joilla yli 460 metrin näkemiä tievälin pituudesta oli noin 15 %. Kaikilla näillä tutkimusväleillä

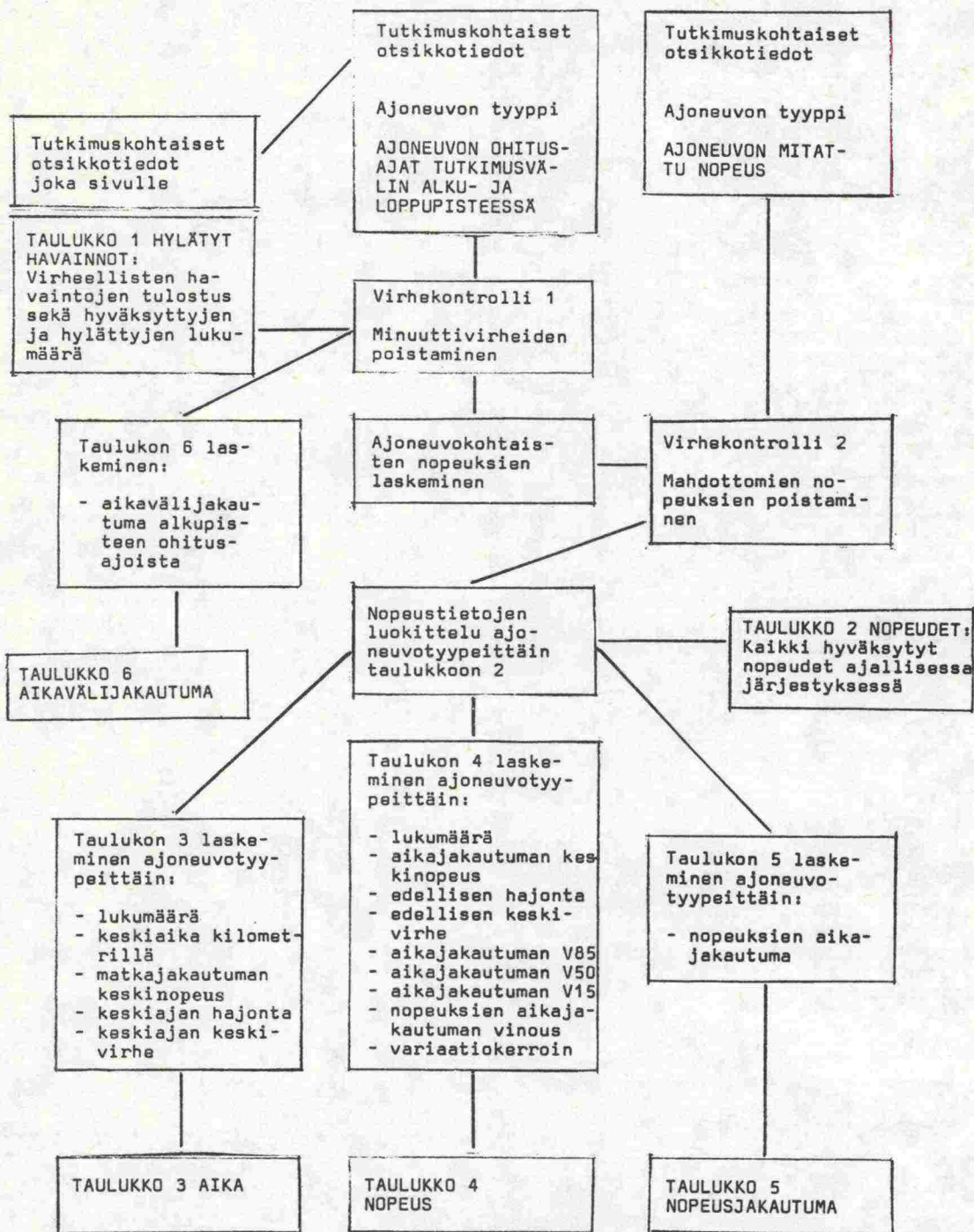
ajoradan leveys oli yli 7 metriä ja päällyste oli asfalttipäällyste, jonka kunto oli niin hyvä, ettei sen voida katsoa vaikuttavan nopeuksiin alentavasti.

Nopeusmittauksissa käytettiin luvussa 2 esitettyjä rekisteritunnusmenetelmää ja tutkamenetelmää. Pääliikennesuunnan ajonopeus, jonka riippuvuutta liikennemäärästä myöhemmin tarkastellaan, mitattiin tutkimusväleiltä rekisteritunnusmenetelmällä. Suurimmalla osalla mittauskerroista tarkistettiin nopeuden suuntajakautuman selvittämiseksi vastakkaisen suunnan liikenteen pistenopeus tutkimusvälien sisältä tutkamenetelmällä. Kunkin ajonopeusmittauksen aikana havaittiin keskimäärin 270:n auton nopeus. Vastaava havaintomäärä pistenopeusmittausten osalta oli keskimäärin 120. Mittausten kesto-aika vaihteli 20...60 minuuttiin liikennemäärästä riippuen. Kullakin tutkimusvälillä 1...7 suoritettiin vähintään viisi ajonopeusmittausta eri liikennemäärillä. Nopeusmittauksia suoritettiin yleensä viikonloppuliikenteen aikana, koska muulloin ei ollut mahdollista tehdä havaintoja suurista liikennemääristä. Nopeusmittausten aikana esiintynyt liikennemäärä laskettiin pääasiassa nopeusmittauskaavakkeista. Liikennettä laskettiin myös pneumaattisella letkulla toimivalla liikenteenlaskijalla.

Kuorma-autojen nopeuden mittaamiseksi nousussa valittiin viisi kaltevuusjaksoa, joista kolmen kaltevuus oli 50 %:n, yhden 60 %:n ja yhden 70 %:n luokkaa. Valitut nousut edustavat Etelä-Suomen valtateiden jyrkimpiä ja pisimpiä nousuja. Etelä- ja Keski-Euroopassa esiintyy yleisesti huomattavasti pitempiä nousuja. Kussakin nousussa mitattiin 15...20 kuormatun kuorma-auton nopeus ajoanalyysointorilla seuraamismenetelmää käyttäen. Kaltevuusjaksojen sijainti on esitetty luvussa 2.41 kuvassa 12.

3.2 Aineiston käsittely

Mittauksissa havaittujen nopeuksien käsittelemiseksi tehtiin tvh:n atk-ryhmän kanssa yhteistyössä tietokoneohjelma. Ohjelmalla laskettiin kussakin nopeusmittauksessa havaituista ajoneuvojen nopeuksista ajoneuvoryhmittäin mm. keskinopeudet, 85 %:n nopeudet, keskihajonnat, nopeusjakautumat sekä rekisteritunnusmenetelmällä suoritetuista mittauksista aikavälajakautumat. Tutkimuskäsittely ja johtopäätökset on tehty näiden mittaustulosten perusteella.



Kuva 13. Tietokoneohjelman NOP-70 periaatekaavio

Tehdyn tietokoneohjelman nimeltään NOP-70, ohjelmointikielenä käytettiin PL-kieltä. Tietoaineiston käsittely suoritettiin IBM 360-tietokoneella.

Nop-70 ohjelmalla voidaan käsitellä esimerkiksi rekisteritunnusmenetelmällä ja tutkalla tehtyjä nopeushavaintoja. Menetelmän alkutiedot merkitään nimenomaan tätä ohjelmaa varten tehdyille kaavakkeille, jotka on esitetty liitteissä 1 ja 2. Kaavakkeilta nopeushavainnot ja mittauskohtaiset otsikkotiedot voidaan lävistää suoraan reikäkorteilte. Kuvassa 13 on esitetty kaavio ohjelman toiminnasta ja niistä liikennetiedoista, mitä sillä voidaan laskea.

Niinkuin kaaviosta voidaan havaita, on ohjelmalla myös mahdollisuus yhdistää eri menetelmällä eri suuntiin mitattuja nopeushavaintoja, ja laskea niistä keskimääräisiä nopeustietoja yhteensä molemmille suunnille. Myös useampia samaan suuntaan tehtyjä mittauksia voidaan yhdistää samalla tavalla asettamalla tietojen lävistysvaiheessa eri mittauksen nopeushavainnoille sama otsikkokortti. Ohjelmalla ei kuitenkaan voida toistaiseksi käsitellä yhdellä kerralla kuin 600 nopeushavaintoa.

NOP-70 ohjelmassa on käytetty kahta virhekontrollia. Virhekontrollien tarkoitus on poistaa käsiteltävistä liikennehavainnoista mahdollisesti virheellisesti merkittyjä tai tutkimuksen kannalta epäoleellisia havaintoja. Virhekontrolli 1, joka koskee rekisteritunnusmenetelmää, poistaa havaintoaineistosta sellaisia havaintoja, joiden alkuaika on merkitty pienemmäksi kuin edellisen tai vertailuhavainnon alkuaika. Kontrolli siis pyrkii poistamaan sellaiset havainnot, joihin on merkitty virheellinen minuuttiluku alkuaikaan, minkä laatuksia virheitä kokemusten mukaan on useimmiten tehty kaavakkeita täytettäessä. Virhekontrolli 2 taas poistaa jatkokäsittelystä kaikki liikennehavainnot, joista laskettu nopeus ylittää tai alittaa lähtötiedoissa annetun minimi- tai maksiminopeuden. Tällöin päästään eroon virheellisestä merkinnästä johtuneista hyvin suurista nopeuksista tai aivan pienistä nopeuksista, joka voi rekisteritunnusmenetelmän kyseessä ollen johtua siitä, että ajoneuvo välillä pysähtyi mittaustieosalla.

Kuvassa 13 esitetty NOP-70 - tietokoneohjelman kaavio on yksinkertaistettu ja vain periaatteellinen. Kaaviosta voidaan kuitenkin nähdä, mitä kyseisellä ohjelmalla voidaan laskea ja mihin se soveltuu. Ohjelma on tehty monipuolisemmaksi, kuin tätä tutkimusta varten olisi ollut tarpeellista.

Tämä siksi, että ohjelmaa voidaan käyttää apuna tulevissa laajemmissa ja yksityiskohtaisemmissa välityskykytutkimuksissa sekä myös muissa nopeus-tutkimuksissa.

Tutkimuksessa esitetyt regressiosuorat on laskettu pienimmän neliösumman menetelmällä käyttäen havainnotopisteinä kunkin mittauksen tuloksia. Suorien korrelaatiokertoimia testattaessa on oletettu, että nämä mittauskohtaiset tulokset ovat normaalisti ja-kautuneita. Testauksessa on käytetty t-testiä /12/. Sen nollahypoteesiksi on valittu $r = 0$. Jos hypoteesi hylätään, on se osoituksena siitä, että perusjoukonkin korrelaatiokerroin poikkeaa nolasta. Havaintojen lukumäärästä ja r :stä muodostetaan t -jakautunut satunnaisuusure.

$$t_{(n-2)} = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

Jos t on varmuustasolla 95...99% perusjoukon korrelaatiokerroin eroaa nolasta melkein merkitsevästi (x), jos se on tasolla 99...99,9%ero on merkitsevä (xx) ja tasolla yli 99,9%ero on erittäin merkitsevä (xxx).

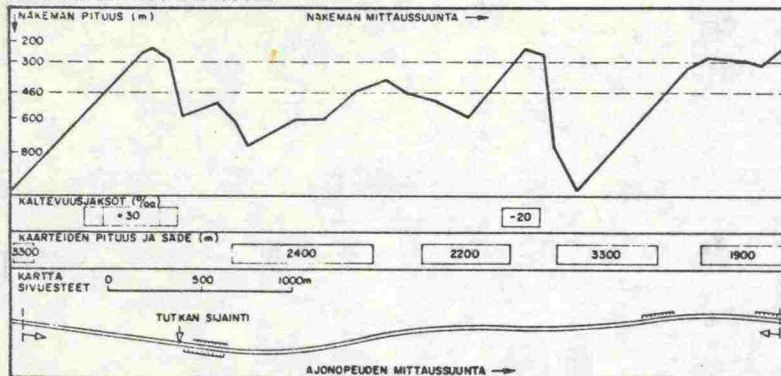
3.3 Tutkimustuloksia

3.31 Tutkimusvälien tieolosuhteet

Tutkimusvälien geometrisia tietoja, leveystietoja ja pituuksia on esitetty kuvassa 14. Kuvassa näkemäkäyrä on esitetty ajonopeuden mittaamis-suuntaan. Näkemäkäyrien mittakaava vaaka- ja pystysuorassa suunnassa on sama. Tien kaltevuuksista, jotka on esitetty aina vasemmalta oikealle, on huomioitu kaikki yli 20 %:n kaltevuudet. Kaltevuuksien pituudet kuvaavat nousun tai laskun yli 20 %:n sekä jyrkimmän kaltevuusjakson pituuksia. Vaakakaarteiden pituus on myös merkitty sekä ilmoitettu kaarteeseen säde. Kartassa on esitetty tutkimusvälien alku- ja loppupäät, jotka ovat samalla rekisteritunnusmenetelmän alku- ja loppupisteiden paikat, sekä tutkan sijaintipaikka. Tutkimusvälillä esiintyvät sivuesteet (kaiteet) on myös merkitty karttaan.

Tutkimusvälien numeroiden yhteydessä on ilmaistu välin sijainti tieverkossa. Sijaintinumerosarjan ensimmäinen luku tarkoittaa tien numeroa, toinen luku on sen tierekisterinmukaisen tieosan numero, jolla ko. tutkimusväli sijaitsee tai jolta se alkaa, ja kolmas luku ilmoittaa tutkimusvälin alkupään etäisyyden metreissä tieosan alusta.

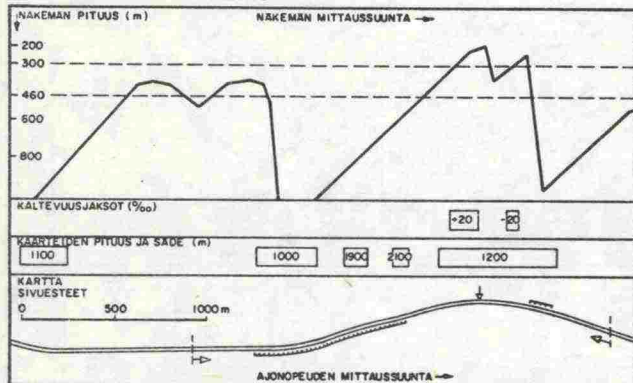
Tutkimusväli 1/004.106.0968



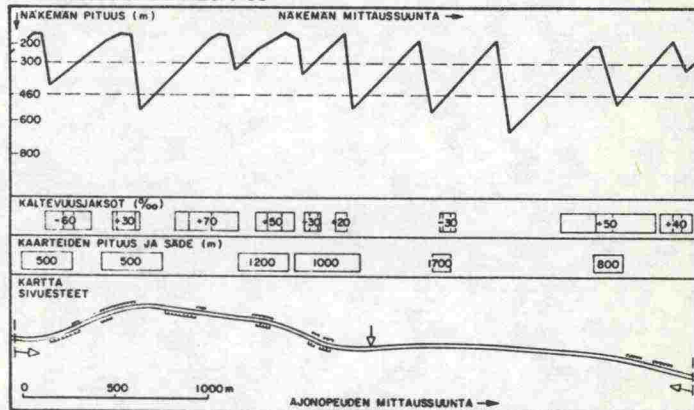
Tutkimusvälien tieolosuhteet ja pituudet

TUTKIMUSVÄLIN N:o	YLI 460m:n NAKEMIEN OSUUS (%)	KAARTEIDEN SUUUS (grad/km)	MAKSI-SYYS (m/km)	TIEVÄLIN KESKI-MÄÄRÄINEN POIKKILEIKKAUS (m)	TUTKIMUSVÄLIN PITUUS (m)
1	60	16	11	1.3+7.2+1.3	4.107
2	60	27	7	1.3+7.2+1.3	2.172
3	78	5	9	1.0+7.2+1.0	3.243
4	17	19	19	1.3+7.0+1.3	2.531
5	13	21	23	1.3+7.1+1.3	3.566
6	98	8	8	1.4+7.1+1.4	2.248
7	100	2	7	1.4+7.1+1.4	2.323

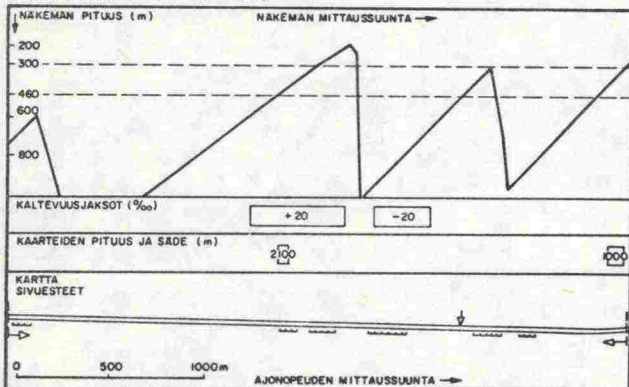
Tutkimusväli 2/004.113.2960



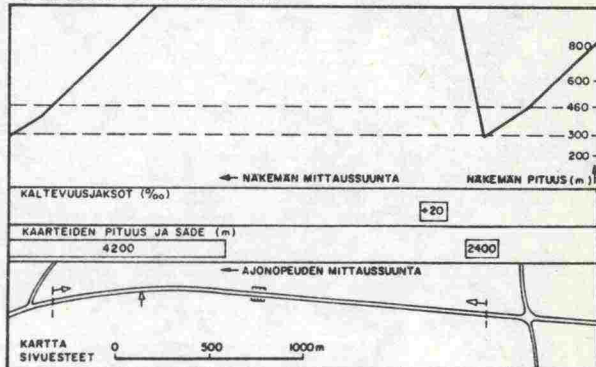
Tutkimusväli 5/004.i20.0158



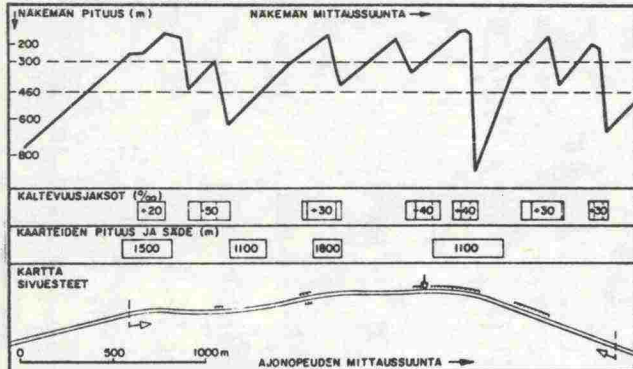
Tutkimusväli 3/004.116.1843



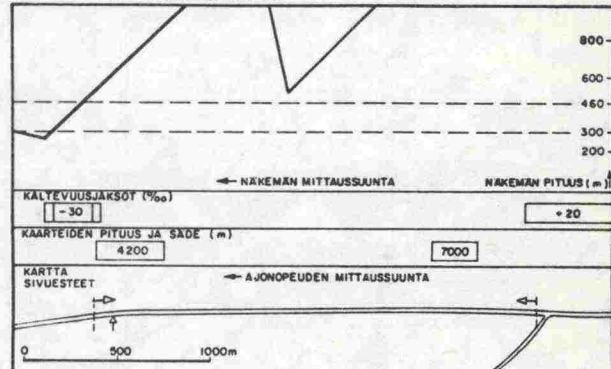
Tutkimusväli 6/003.119.3647



Tutkimusväli 4/004.119.0615



Tutkimusväli 7/003.120.5060



Kuva 14. Eri tutkimusvälien geometriset tiedot

3.32 Tutkimusväleiltä saatuja nopeustuloksia ja niitä vastaavia liikennemääriä

Nopeusmittausten suoritus aika, kesto, mitaussuunta sekä mittausmenetelmä ilmenevät taulukosta 19. Mittaukset on suoritettu pääasiassa viikonlopun aikana. Kullekin mittaukselle tietokoneella laskettuja nopeussuureita on esitetty taulukossa 20 ja niitä vastaavat tuntiliikennemääräksi muutetut liikennemäärät on esitetty taulukossa 21.

Kuten edellä on mainittu, tutkimuksessa mitattiin pääliikennesuuntaan ajonopeuksia, joita on käytetty tutkittaessa nopeuden ja liikennemäärän välisiä riippuvuuksia ja osan ajonopeusmittauksien aikana suoritettiin vastakkaiseen suuntaan piste-nopeusmittauksia nopeuksien suuntajakautuman tarkastelemiseksi.

Suurin mittauksien aikana esiintynyt tuntiliikennemäärä yhteensä molempiin suuntiin oli 1602 ajon/h, mikä suurinpiirtein vastanee tutkimusvuonna valta-teillä esiintyneitä suurimpia liikennemääriä.

Taulukko 19. Mittausluettelo

Mittaus n:o	pvm.	Viikon päivä	Alku-aika	Kesto (min.)	Mittaus-suunta	Mittausmenetelmä
11	7.8.	pe	14.50	36	Lahti	Rek.tunnusm.
12	"	pe	17.30	23	"	"
13	18.8.	ti	15.00	60	"	"
14	"	ti	16.00	60	"	"
15	21.8.	pe	11.15	61	"	"
16	"	pe	11.15	45	Helsinki	Tutka
21	13.8.	to	10.20	60	Lahti	Rek.tunnusm.
22	15.8.	la	15.00	42	"	"
23	21.8.	pe	14.20	40	"	"
24	22.8.	la	9.20	40	"	"
25	28.8.	pe	18.30	20	"	"
26	21.8.	pe	14.20	40	Helsinki	Tutka
27	22.8.	la	9.20	40	"	"
28	28.8.	pe	18.30	20	"	"
31	13.8.	to	12.00	62	Lahti	Rek.tunnusm.
32	15.8.	la	9.45	44	"	"
33	21.8.	pe	15.30	30	"	"
34	22.8.	la	10.35	39	"	"
35	28.8.	pe	17.40	20	"	"
36	21.8.	pe	15.30	30	Helsinki	Tutka
37	22.8.	la	10.35	40	"	"
38	28.8.	pe	17.40	30	"	"
41	13.8.	to	14.30	60	Lahti	Rek.tunnusm.
42	"	to	16.00	45	"	"
43	15.8.	la	11.30	60	"	"
44	21.8.	pe	16.50	30	"	"
45	22.8.	la	12.15	40	"	"
46	28.8.	pe	15.30	31	"	"
47	21.8.	pe	16.50	30	Helsinki	Tutka
48	22.8.	la	12.15	40	"	"
49	28.8.	pe	15.30	30	"	"
51	15.8.	la	13.00	60	Lahti	Rek.tunnusm.
52	18.8.	ti	12.20	60	"	"
53	21.8.	pe	17.45	20	"	"
54	22.8.	la	13.15	40	"	"
55	28.8.	pe	16.20	30	"	"
56	21.8.	pe	17.45	20	Helsinki	Tutka
57	22.8.	la	13.15	40	"	"
58	28.8.	pe	16.20	30	"	"
61	17.8.	ma	13.30	60	Helsinki	Rek.tunnusm.
62	23.8.	su	16.10	30	"	"
63	"	su	18.10	21	"	"
64	30.8.	su	14.15	30	"	"
65	"	su	17.00	20	"	"
66	23.8.	su	16.10	30	Hilina	Tutka
67	"	su	18.10	20	"	"
68	30.8.	su	14.15	40	"	"
69	"	su	17.00	20	"	"
71	17.8.	ma	12.00	60	Helsinki	Rek.tunnusm.
72	"	ma	15.30	60	"	"
73	23.8.	su	15.00	40	"	"
74	"	su	17.30	20	"	"
75	30.8.	su	13.10	40	"	"
76	"	su	15.30	35	"	"
77	"	su	17.45	20	"	"
78	"	su	18.35	21	"	"
79	23.8.	su	15.00	40	Hilina	Tutka
710	"	su	17.30	20	"	"
711	30.8.	su	15.30	30	"	"
712	"	su	17.45	20	"	"
713	"	su	18.35	20	"	"

Taulukko 20. Nopeusmittaukset

Ajonopeusmittaukset

Mittauksen n:o	Henkilöautojen nopeus			Kaikkien ajoneuvojen nopeus			Kuorma-autojen nopeus VT
	Keskinopeus VT	85 %:n nopeus V85	Hajonta	Keskinopeus VT	85 %:n nopeus V85	Hajonta	
11	86.5	97.8	11.6	85.0	96.9	11.6	73.2
12	80.5	86.5	6.9	80.1	86.2	7.0	69.9
13	88.6	100.6	11.1	84.9	97.4	11.9	74.4
14	88.6	101.0	11.8	86.7	99.8	12.0	74.4
15	92.5	109.0	12.5	87.9	102.7	13.5	72.7
21	87.5	100.6	12.8	83.3	97.3	12.9	72.2
22	89.9	100.2	11.6	88.6	99.5	12.3	72.5
23	90.8	102.6	13.0	87.7	101.5	13.9	72.2
24	88.3	101.0	12.6	87.6	101.0	12.6	74.0
25	88.4	99.0	11.2	87.4	97.3	11.1	77.0
31	92.8	108.9	16.1	88.3	104.9	16.6	71.7
32	90.2	99.8	10.7	89.5	99.3	10.8	78.6
33	92.8	104.2	12.2	90.6	104.9	12.0	72.3
34	92.8	104.6	11.9	91.8	103.5	12.1	78.6
35	84.4	93.5	10.8	83.8	93.1	11.0	77.1
41	85.8	98.6	14.3	82.1	94.9	13.7	72.6
42	86.7	100.6	13.3	84.0	96.7	12.9	74.1
43	88.1	98.0	9.7	87.3	97.3	10.0	76.1
44	84.3	96.7	11.5	83.8	96.0	11.5	75.5
45	88.8	101.9	11.9	87.5	101.1	12.0	74.5
46	87.7	103.3	13.5	86.3	101.9	13.5	74.0
51	81.7	93.2	10.8	81.3	92.7	10.9	67.4
52	96.1	101.2	14.8	82.2	97.7	15.0	69.7
53	73.6	79.5	8.3	73.3	78.9	8.2	69.5
54	87.1	96.8	9.9	86.5	96.1	10.1	75.0
55	78.8	88.8	9.7	78.3	87.3	9.3	73.9
61	91.3	106.9	15.9	87.2	103.9	15.5	74.5
62	90.0	100.0	10.1	89.5	99.9	10.3	75.7
63	87.6	97.7	11.0	87.2	97.0	10.9	73.6
64	89.9	104.3	12.9	89.5	103.8	12.9	70.8
65	83.2	93.1	9.1	82.7	93.0	9.0	75.1
71	95.7	110.4	12.9	90.8	106.4	13.6	78.0
72	90.3	103.2	12.7	87.5	100.3	13.1	74.5
73	93.5	107.2	12.8	93.0	107.2	12.9	74.7
74	89.8	100.3	10.6	98.4	98.8	10.4	79.5
75	92.4	105.6	12.2	91.5	104.8	12.5	80.5
76	91.7	101.7	10.0	91.4	100.9	9.9	79.5
77	92.4	102.8	10.6	92.1	102.5	10.6	79.4
78	94.4	104.8	10.5	94.1	104.8	10.6	73.6

Pistenopeusmittaukset

Mittauksen n:o	Henkilöautojen nopeus			Kaikkien ajoneuvojen nopeus			Kuorma-autojen nopeus VT
	Keskinopeus VT	85 %:n nopeus V85	Hajonta	Keskinopeus VT	85 %:n nopeus V85	Hajonta	
16	85.9	103.1	19.6	81.1	99.5	17.7	70.2
26	83.7	100.0	17.6	81.7	100.0	17.1	69.2
27	82.2	98.8	15.7	81.1	96.0	15.4	67.2
28	77.1	86.0	8.9	76.2	84.0	8.7	68.0
36	90.4	108.0	17.7	89.1	106.0	17.0	78.0
37	93.5	108.8	17.7	92.7	106.0	17.6	78.0
38	87.1	96.5	14.3	85.8	96.0	13.7	76.7
47	81.6	96.0	14.9	80.4	94.0	14.6	67.8
48	86.1	100.0	13.5	85.3	100.0	13.0	76.5
49	80.8	94.1	12.6	79.4	94.0	11.9	73.3
56	84.5	100.5	16.7	83.0	97.1	16.7	74.0
57	87.2	100.0	14.6	85.6	98.0	14.8	71.5
58	85.4	103.1	16.0	83.7	102.0	15.4	72.6
66	80.3	92.0	10.7	80.4	92.5	11.0	74.0
67	80.6	90.0	11.4	81.1	90.5	11.4	72.0
68	86.5	100.0	14.3	86.3	100.0	14.2	-
69	80.9	92.8	14.0	80.4	90.0	13.8	72.5
79	86.7	96.0	12.9	86.4	96.0	12.6	83.0
710	83.4	94.0	12.6	83.4	94.0	12.5	76.0
711	81.4	94.0	12.5	81.4	94.0	12.1	80.6
712	86.3	103.0	14.4	86.2	102.0	14.2	78.0
713	84.5	94.0	10.0	84.3	94.0	9.9	72.0

Taulukko 21. Nopeusmittauksia vastaavat tuntiliikennemäärät

Ajonopeusmittaukset

Mittauk- sen n:o	Mittaussuuntaan		Molempiin suuntiin
	Sekaliikenne- määrä q [ajon/h]	Raskaiden ajon. osuus %	Sekaliikenne- määrä Q [ajon/h]
11	583	12.2	1 005
12	1 229	7.1	1 519
13	328	22.0	632
14	491	11.4	808
15	248	20.5	470
21	169	24.8	354
22	440	7.4	941
23	381	16.0	731
24	497	5.1	698
25	1 026	7.0	1 224
31	161	19.2	409
32	371	5.1	590
33	510	9.4	704
34	475	4.4	616
35	1 011	7.1	1 223
41	190	26.3	421
42	179	19.0	463
43	422	4.3	656
44	932	6.4	1 184
45	340	5.1	513
46	496	8.6	736
51	360	4.6	578
52	154	20.8	372
53	1 122	4.6	1 368
54	336	4.2	528
55	634	10.1	952
61	188	22.3	396
62	704	3.1	940
63	962	2.7	1 217
64	342	2.9	544
65	1 317	3.9	1 602
71	167	25.1	397
72	214	16.3	441
73	534	2.6	729
74	894	5.0	1 122
75	261	2.3	515
76	635	1.9	853
77	783	1.9	1 035
78	890	1.9	1 185

Pistenopeusmittaukset

Mittauk- sen n:o	Mittaussuuntaan		Molempiin suuntiin
	Sekaliikenne- määrä q [ajon/h]	Raskaiden ajon. osuus %	Sekaliikenne- määrä Q [ajon/h]
16	222	30.1	470
26	350	15.4	731
27	201	9.0	698
28	198	12.1	1 224
36	194	10.3	704
37	141	3.5	616
38	212	15.0	1 223
47	252	10.3	1 184
48	173	10.4	513
49	240	19.2	736
56	246	14.6	1 368
57	192	8.9	528
58	318	11.9	952
66	236	0.9	940
67	255	0.8	1 217
68	202	0	544
69	285	4.2	1 602
79	195	4.1	729
710	228	2.6	1 122
711	218	3.7	853
712	252	3.6	1 035
713	295	1.0	1 185

3.55 Nopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvuus eri tieolosuhteissa

Ulkomaaisissa tutkimuksissa (esim. HCM) tarkastellaan 2-ajokaistaisten teiden olosuhteissa nopeuden ja liikennemäärän välisiä riippuvuuksia yhdistämällä eri liikennesuunnat. Näin menetellään, koska ko. tutkimuksissa on havaittu, että liikenteen nopeus on sama kumpaankin suuntaan ja riippuu vain molempien suuntien yhteisestä liikennemäärästä eli kokonaisliikennemäärästä. Nopeuteen ei ulkomaisten tutkimusten mukaan vaikuta se, että toisen suunnan liikennemäärä on suurempi kuin toisen. Tässäkin tutkimuksessa on käytetty samaa menettelyä. Nopeuden ja liikennemäärän riippuvuusia muodostettaessa liikennemääräksi on valittu molempien suuntien yhteinen sekaliikennemäärä Q , jolla tarkoitetaan kaikkien autojen määrää, jotka ohittivat tutkimusvälin kohdan yhtä tuntia kohti. Nopeutena on käytetty henkilöautojen ajonopeuksien aikajakautuman keskinopeutta (v_t) ja 85 %:n nopeutta (v_{85}). Ajonopeutta on käytetty siksi, että se kuvaa liikennemäärän vaikutuksen lisäksi myös tutkimusvälin tieolosuhteita. Tutkimuksessa ei ajonopeutta voitu mitata tutkimusväleillä mittaushenkilökunnan puutteen vuoksi muuta kuin toiseen tosin suuremman liikennemäärän omaavaan suuntaan. Tarkastelemalla ainoastaan henkilöautojen nopeuksia on pyritty eliminoimaan raskaiden autojen osuuden vaihtelun vaikutusta.

Nopeusmittauksissa esiintynyt suurin liikennemäärä yhteensä molempiin suuntiin oli 534 ajoneuvoa 20 minuutissa, mikä vastasi 1602 ajon/h. Tämä liikennemäärä ei vastannut ko. tiejakson suurinta liikenteenvälityskykyä. Tällöin nopeus-liikennemääräriippuvuutta ei voitu tutkimuksen nopeusmittausaineiston perusteella piirtää liikenteenvälityskyvyn rajalle saakka. Riippuvuudet on esitetty kokonaisliikennemäärän vaihdellessa noin 400...1400 ajoneuvoon tunnissa. Henkilöautojen nopeuden ja kokonaisliikennemäärän riippuvuudet eri tutkimusväleillä on esitetty kuvassa 15.

Kun riippuvuuksia tarkastellaan, havaitaan, että niillä tutkimusväleillä, joilla liikennemäärä eniten on vaikuttanut nopeutta pienentävästi, ovat mittauspisteet parhaiten sopineet regressiosuoralle. Näin on käynyt tutkimusväleillä 1, 3, 5 ja 6. Myös korrelaatiokertoimet ovat poikenneet näillä väleillä vähintään merkittävästi nollassa. Muilla tutkimusväleillä 2, 4 ja 7 nopeudessa ei ole tapahtunut huomattavaa laskua liikennemäärän kasvaessa. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että tien geometria tai liikenteen koostumus ovat pienillä liikennemäärillä vaikuttaneet nopeutta alentavasti. Tutkimusväleillä 4 ja 7 on mittaus tulosten hajo-

ta regressiosuorien ympärillä suurehko, mikä saattaa johtua osittain sattumasta. Mittaus tulosten perusteella tutkimusväleiltä 1, 3, 5 ja 6 voidaan sanoa, että keskinopeuden ja 85 %:n nopeuden riippuvuus liikennemäärästä voidaan hyvin kuvata suoralla kokonaisliikennemäärän ollessa 400...1400 ajon/h.

Tutkimusväleillä 1, 2, 3, 6 ja 7 tien näkemäolosuhteiden voidaan katsoa olevan sellaisia, että ne eivät juuri vaikuta ohituksia rajoittavasti. Näillä väleillä yli 460 metrin näkemäosuus vaihteli 60...100 %. Yhdistämällä em. tutkimusväleiltä saadut nopeusmittaus tulokset (kuva 16), saadaan tutkimusaineiston pohjalta luotettavin kuva liikennemäärän kasvun vaikutuksesta nopeuteen. Kuvasta 16 nähdään, että henkilöautojen aikajakautuman 85 %:n nopeus laski 11,5 km/h ja keskinopeus 6 km/h kokonaisliikennemäärän kasvaessa 1000 ajon/h. Lisäksi havaitaan, että 85 %:n nopeuden kuvaaja on kaltevampi ja sen korrelaatiokerroin on suurempi kuin vastaavat keskinopeuden osalta. 85 %:n nopeus kuvaa siten paremmin liikennemäärän vaikutusta liikennevirtaan kuin keskinopeus. Tutkimuksen perusteella voidaan hyvässä tieolosuhteissa yli 460 m:n näkemäosuuden ollessa noin 80 % henkilöautojen nopeuden riippuvuutta kokonaisliikennemäärästä kuvata malleilla (1) ja (2).

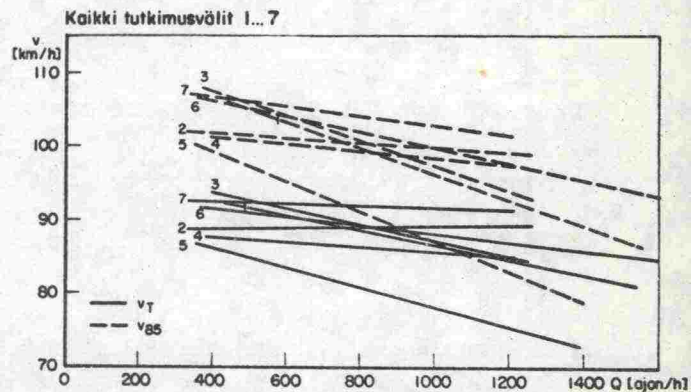
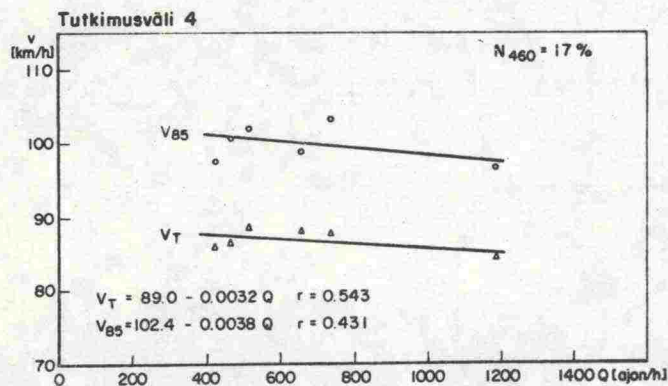
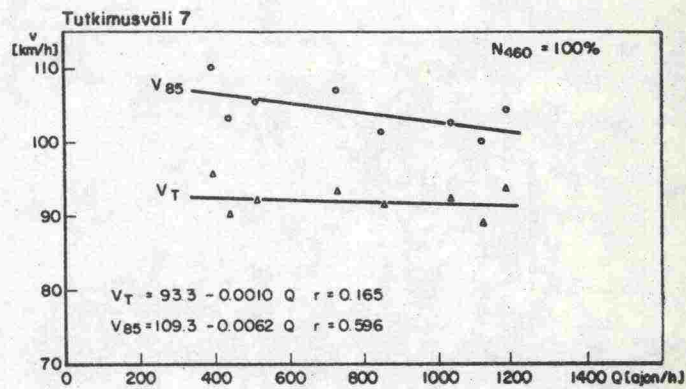
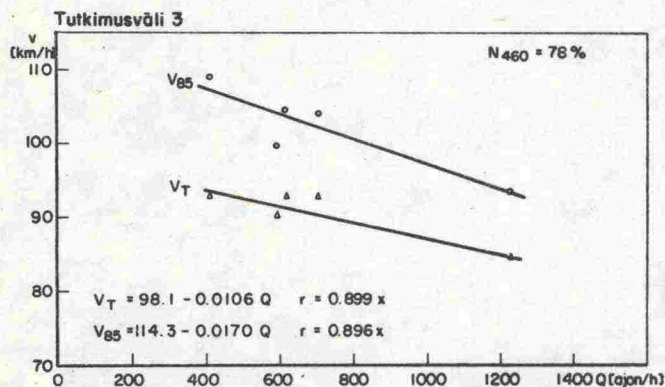
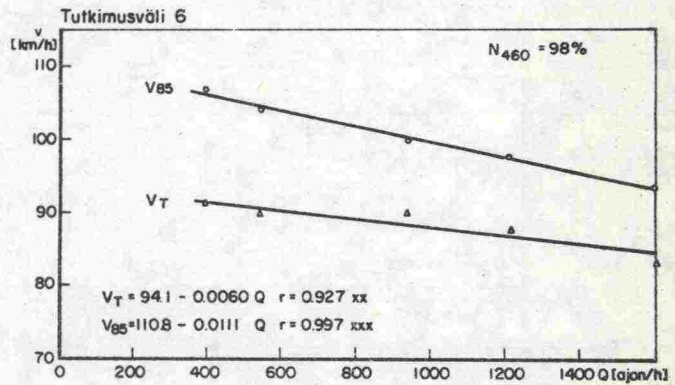
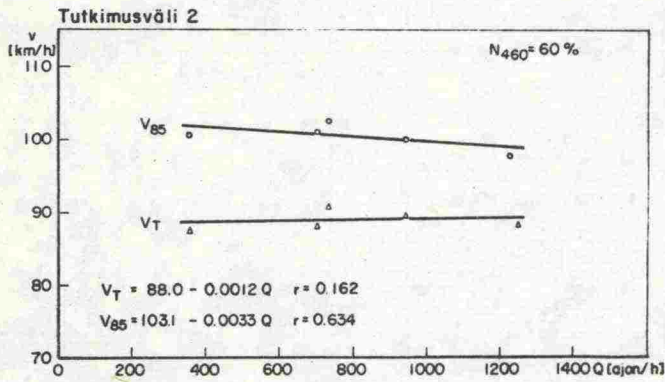
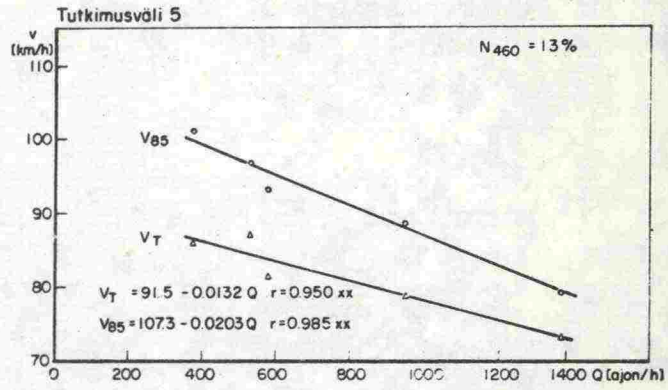
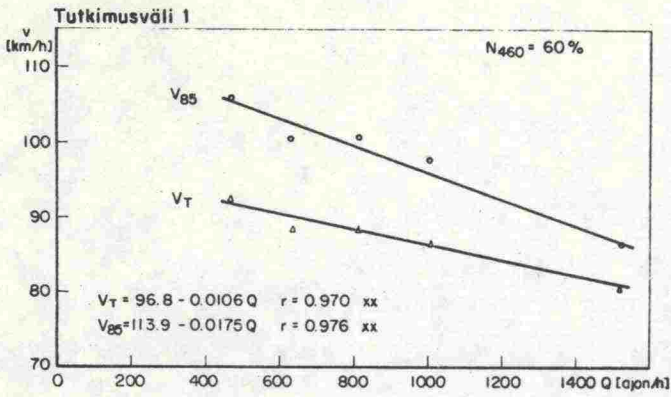
$$V_T = 94.8 - 0.0060 Q \quad (1)$$

$$V_{85} = 110.8 - 0.0113 Q \quad (2)$$

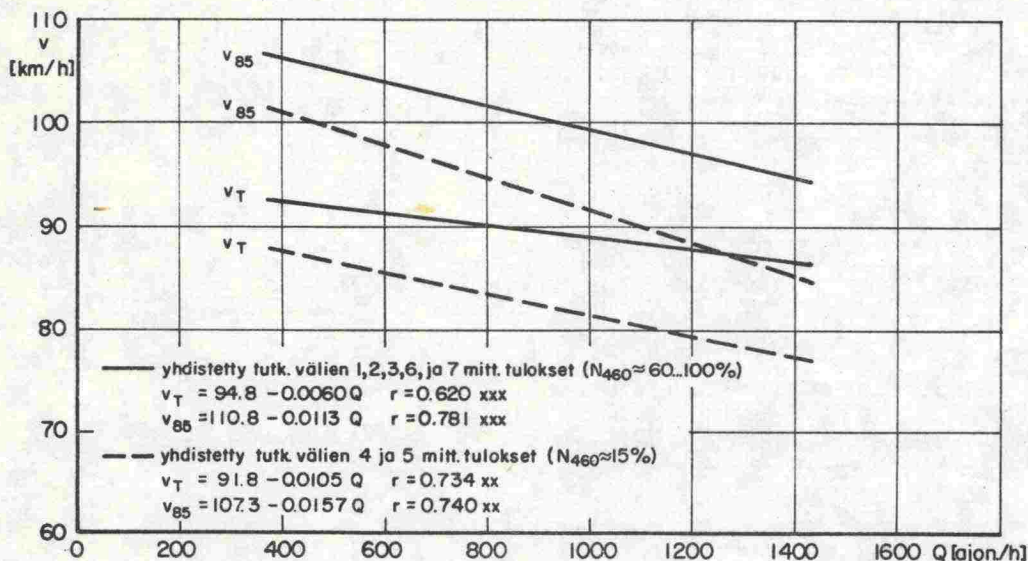
Yhtälöt ovat voimassa kokonaisliikennemäärillä 400...1400 ajon/h.

Kuvassa 16 on esitetty myös kahta geometrialtaan huonointa tutkimusväliä vastaavat nopeustulokset yhdistämällä saadut nopeus-liikennemääräriippuvuudet. Nämä riippuvuudet vastaavat näkemäolosuhteita, joissa yli 460 m:n näkemien osuus on noin 15 %. Kuvasta 16 nähdään, että huonommissa tieolosuhteissa on käytetty jo vapaissa liikenneolosuhteissa (kokonaisliikennemäärä pieni) pienempiä nopeuksia kuin hyvässä tieolosuhteissa. Samoin nähdään, että nopeus-liikennemääräriippuvuuksia kuvaavat suorat laskevat jyrkemmin tutkimusvälien 4 ja 5 tieolosuhteissa kuin välien 1, 2, 3, 6 ja 7 tieolosuhteissa. Tämä johtunee pääasiassa seuraavista seikoista:

- kun yli 460 metrin näkemien osuus on pienentynyt 80 %:sta 15 %:iin, ovat ohitusmahdollisuudet vähentyneet
- geometrialtaan huonoimmilla väleillä esiintyi eräitä nousuja, jotka ovat vaikuttaneet alentavasti kuorma-autojen ja joidenkin heikkotehoisten henkilöautojen nopeuksiin.



Kuva 15. Nopeus- ja liikennemääräriippuvuudet eri tutkimusväleillä. (N_{460} on yli 460 metrin näkemien prosenttiosuus tutkimusvälin pituudesta.)



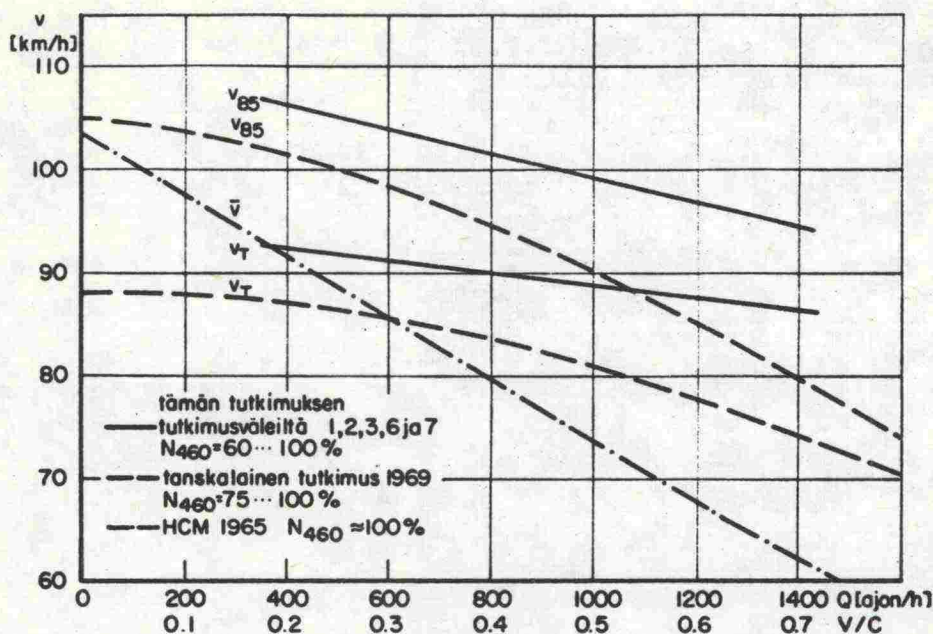
Kuva 16. Nopeus - liikennemääräriippuvuudet tieolosuhteiltaan hyvillä tutkimusväleillä 1,2,3,6 ja 7 sekä tieolosuhteiltaan huonoilla tutkimusväleillä 4 ja 5

Riippuvuuksia kuvaavat regressiosuorat (kuva 16) ovat luotettavimpia keskikohdaltaan eli kokonaisliikennemäärän ollessa noin 900 ajon/h. Tällä kokonaisliikennemäärällä tutkimusväleillä 4 ja 5 on sekä henkilöautojen keskinopeus että 85 %:n nopeus noin 7 km/h alempi kuin tutkimusväleillä 1, 2, 3, 6 ja 7.

Koska tutkimuksessa nopeusmittauksien aikana esiintynyt suurin kokonaisliikennemäärä oli n. 1600 ajon/h, ei tutkimuksessa voitu kenttämittauksiin perustuen selvittää 2-ajokaistaisen tien suurinta liikenteenvälityskykyä eikä nopeuden riippuvuutta liikennemäärästä, kun tienkohdan kokonaisliikennemäärä on yli 1600 ajon/h. Niistä voidaan kuitenkin saatujen tulosten perusteella tehdä seuraavia suuntauksia antavia arvioita.

Tien suurimman välityskyvyn rajalla kaikki autot etenevät suunnilleen samalla nopeudella, eikä ohituksia yleensä voi suorittaa. Tällöin liikennevirran 85 %:n nopeus ja keskinopeus ovat käytännöllisesti katsoen samoja. Kun nopeus liikennemääräriippuvuuksia kuvaavat yhtälöt (1) ja (2) merkitään nopeuden suhteen yhtä suuriksi, saadaan tilannetta vastaavaksi liikennemääräksi 3000 ajon/h ja liikennevirran nopeudeksi 77 km/h. Edellä mainitun suuruista liikennemäärää ei kuitenkaan saa-

vutettane käytännössä, koska liikennevirrassa tapahtuu aina välityskykyä alentavia häiriöitä. Tutkimustulosten perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että 2-ajokaistaisen tien suurin välityskyky olisi yli 2000 hay/h. Samoin suurinta välityskykyä ei käytännön olosuhteissa voi vastata edellä esitetty liikennevirran nopeus, koska liikennevirrassa esiintyy näissä olosuhteissa autojen nopeuksia alentavia häiriöitä ja osa autoilijoista ajaa tätä nopeutta hitaammin jo pienilläkin liikennemäärillä. Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että tien suurin välityskyky saavutetaan suuremmalla nopeudella kuin 48 km/h, jonka HCM esittää. Välityskyvyn rajalla kaikki autot ajavat jonoissa tai eri jonoissa, joiden nopeus määräytyy hitaimmin ajavien mukaa. Kun tarkasteltiin eri mittauksissa havaittuja pienimpiä nopeuksia, havaittiin, että liikennemäärän kasvaessa henkilöautoilijat yleensä valitsivat vähintään nopeuden 70 km/h. Nopeusmittauksessa, jonka aikana esiintyi suurin havaittu liikennemäärä, havaittiin 60... 70 km/h ajavia henkilöautoja vain 1 % ja 70...80 km/h ajavia 49 %. Tämän alustavan tutkimuksen perusteella näyttäisi siis siltä, että 2-ajokaistaisen tien suurin liikenteenvälityskyky on 2000...2500 hay/h ja että sitä vastaisi hyvässä tieolosuhteissa liikennevirran nopeus 60...70 km/h.



Kuva 17. Nopeus-liikennemääräriippuvuuksien vertailu ulkomaisiin tuloksiin

3.34 Nopeus-liikennemääräriippuvuuksien vertailu ulkomaisiin tutkimuksiin

Verrattaessa tutkimuksessa havaittuja nopeus-liikennemääräriippuvuuksia eräisiin ulkomailla saatuihin tuloksiin (kuva 17) havaitaan yleispiirteinä, että meillä on suurilla liikennemäärillä käytetty suurempia nopeuksia mitä HCM 1965/4/ ja tanskalainen tutkimus /13/ edellyttäisivät.

Edellämainittu tanskalainen tutkimus on suoritettu elokuussa 1969. Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko HCM 1965:n suosituksia soveltaa tanskalaisiin olosuhteisiin. Tutkimus suoritettiin mitaamalla neljällä tutkimustieosalla pistenopeuksien ja liikennemäärän välisiä riippuvuuksia. Tanskalaisessa tutkimuksessa ei nopeusmittausten yhteydessä esiintynyt niin suuria liikennemääriä, että olisi voitu kontrolloida, onko 2-ajokaistaisen tien suurin liikenteenvälityskyky 2000 hay/h niinkuin HCM esittää. Sensijaan tutkimuksessa esitetään käyttönopeuden ja käyttösuhteen riippuvuuksia kuvaavia käyriä eri tutkimustieosilta. Käyttönopeutena tanskalaisessa tutkimuksessa pidettiin 85 %:n nopeuden estimaattia, jonka riippuvuus käytösuhteesta on esitetty kuvassa 17. Samassa kuvassa on tutkimuksen mukainen keskinopeus \bar{v}_T saatu vähentämällä 85 %:n nopeudesta tutkimusraportissa esitetty 85 %:n ja keskinopeuden ero.

Kuvassa 17 esitetyt nopeus-liikennemääräriippuvuudet vastaavat geometrialtaan hyviä tiejaksoja. Yli 460 m näkemien osuus on em. tieolosuhteissa kaikkien käyrien osalta vähintään 60 %, tien ajoradan leveys yli 7 metriä ja sillä on riittävät pientareet. Ulkomaisten tutkimusten osalta on kuvassa esitetty koko liikenteen nopeuden ja käyttö-

suhteen riippuvuus, joka voidaan likimäärin rinnastaa tämän tutkimuksen henkilöautojen nopeuden ja sekaliikennemäärän väliseen riippuvuuteen.

Riippuvuuksia verrattaessa on otettava huomioon mahdollinen nopeuksien vuosikasvu ja myöskin se, että tässä tutkimuksessa suurien kokonaisliikennemäärien vallitessa oli toisen suunnan liikennemäärä huomattavasti suurempi kuin toisen (vrt. taulukko 21).

3.35 Nopeuden suuntajakautuman tarkastelu

Eri liikennesuuntien nopeuksien tarkastelemiseksi tutkimuksessa mitattiin 22 ajonopeusmittauksen yhteydessä vastakkaisen pienemmän liikennesuunnan pistenopeuksia tutkalla (vrt. taulukko 20). Näissä mittauksissa pääliikennesuunnan liikennemäärä oli 248...1317 ajon/h ja vastakkaisen suunnan 141...295 ajon/h. (vrt. taulukko 21) Allaolevassa taulukossa 22 on verrattu kaikkia pääliikennesuunnasta havaittuja henkilöautojen nopeuksia samaan aikaan vastakkaiseen suuntaan tehtyihin nopeushavaintoihin. Nähdään, että pienemmästä liikennesuunnasta mitattu pistenopeus oli

	havaintoja	keskiarvo	hajonta
pääliikennesuunta	5954 kpl	87,9 km/h	12,2 km/h
vastakkainen suunta	2134 kpl	84,4 km/h	15,0 km/h

Taulukko 22. Eri liikennesuuntien henkilöautojen nopeuden keskimääräinen ero koko mittausaineiston perusteella

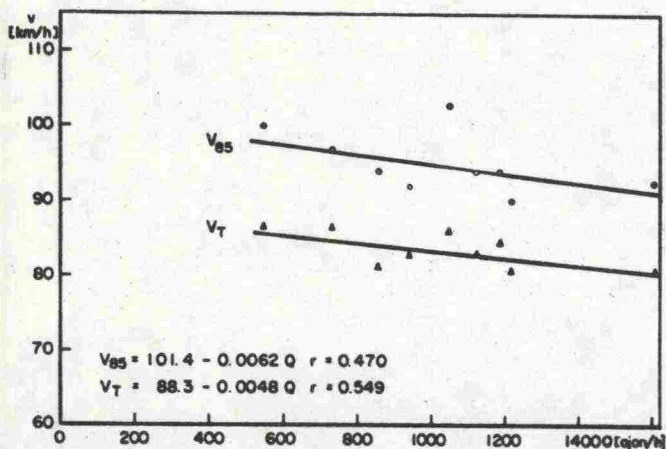
keskimäärin pienempi kuin pääliikennesuunnasta mitattu ajonopeus. Ainoastaan geometrialtaan huonoimmalla tutkimusvälillä pääliikennesuunnasta mitattu henkilöautojen nopeus oli jonkin verran pienempi kuin vastakkaisen suunnan.

HCM:n mukaan kummankin liikennesuunnan nopeus on sama riippuen koko tietä kuormittavasta liikennemäärästä. Nopeus ei riipu siitä, kuinka suuri osa tästä kokonaisliikenteestä kulkee kumpaankin suuntaan. Tutkimuksessa todettu eri suuntien nopeuksien ero johtunee seuraavista seikoista:

- eri suuntiin ajavien matkan tarkoitus on ollut yleensä erilainen, koska mittaukset on suoritettu viikonloppuliikenteen aikana
- nopeudet on mitattu toiseen suuntaan ajonepeuksina ja toiseen suuntaan pistenopeuksina.
- pääliikennesuunnan suuri liikennetiheys estää vastakkaiseen suuntaan tapahtuvia ohituksia, joiden tarvetta esiintyi, koska pienemmän liikennesuunnan suhteellinen raskaiden ajoneuvojen osuus oli suurehko (vrt. taulukko 21)

Tutkimusväleiltä 6 ja 7 voidaan parhaiten tarkastella kokonaisliikennemäärän vaikutusta pienemmän liikennesuunnan nopeuteen, koska näillä väleillä oli hyvä geometria ja raskaiden autojen osuus pienemmällä liikennesuunnalla oli vain 0...4,1 %. Em. olosuhteista voidaan sanoa, että niissä ei tien geometrialla eri suuntiin eikä pienemmän liikennesuunnan raskaiden autojen osuudella ole pienentävää vaikutusta pienemmän liikennesuunnan nopeuksiin. Kuvassa 18 on esitetty koko tietä kuormittavan liikennemäärän vaikutus pienemmän liikennesuunnan henkilöautojen nopeuteen em. tutkimusväleillä 6 ja 7.

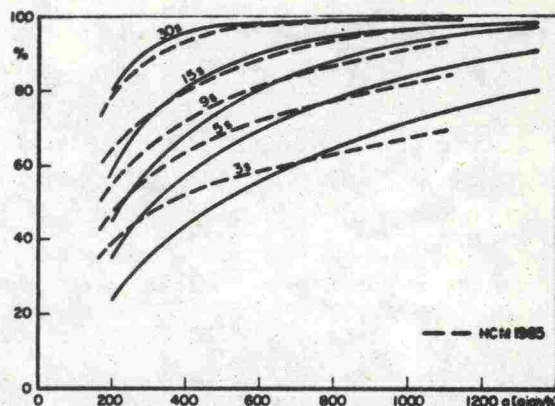
Kuvassa 18 esitetty riippuvuus koskee olosuhteita, jossa kokonaisliikennemäärä oli 544...1602 ajon/h ja pienemmän liikennesuunnan liikennemäärä 175...295 ajon/h.



Kuva 18. Kokonaisliikennemäärän vaikutus pienemmän liikennesuunnan henkilöautojen pistenopeuteen hyvässä tieolosuhteissa

3.36 Aikavälijakautuma

Mitattaessa ajonopeuksia rekisteritunnusmenetelmällä saatiin tutkimusvälien alkupisteessä esiintyneet ajoneuvojen aikavälit. Mittauksista, jotka tehtiin tieolosuhteiltaan hyvien tutkimusvälien 3, 6 ja 7 alkupisteissä, lasketuista aikaväli-



Kuva 19. Samaan suuntaan ajavien peräkkäisten ajoneuvojen aikavälien summajakautuman muuttuminen suunnan liikennemäärän kasvaessa hyvässä tieolosuhteissa

jakautumista on piirretty kuvaan 19 tiettyjä aikavälejä pienempien aikaväliden suhteellinen esiintyminen pääliikennesuunnassa liikennemäärän kasvaessa. Menetelmän tarkkuus ei ollut riittävä alle 3 sekunnin aikaväliden mittaukseen, joten niitä ei ole esitetty kuvassa 19.

Pienilläkin liikennemäärillä esiintyy havaintojen mukaan ajoneuvojen jonomuodostusta. Jos liikennevirta olisi tasavälistä olisi esim. liikennemäärällä 200 ajoneuvoa tunnissa kaikkien ajoneuvojen aikaväli 18 sekuntia. Todellisuudessa kuitenkin 50 % aikaväleistä on puolta pienempiä.

Kun liikennemäärä kentällä tehtyjen havaintojen mukaan mittaussuuntaan oli yli 1000 ajon/h, lähes kaikki ajoneuvot ajoivat jonossa. Pitkähköjä aikavälejä esiintyi ainoastaan eri jonoryhmien välissä. Samaa osoittaa myös aikavälikäyrästä, kun tarkastellaan sen suurta liikennemäärää vastaavaa pöytä. Kuvaan 19 on vertailun vuoksi piirretty vastaava HCM 1965:n käyrästä.

Pienillä liikennemäärillä esiintyi suhteellisesti vähemmän pieniä aikavälejä kuin HCM esittää. Tämä merkitsee sitä, ettei jonomuodostus liikennemäärällä alle 400 ajon/h ole niin tavallinen kuin HCM:n tietojen mukaan. Yhden suunnan liikennemäärällä 600...800 ajon/h tutkimuksessa saadut aikavälihavainnot vastaavat hyvin HCM:n käyriä.

Kun liikennekuormituksella 600...800 ajon/h on havaittu tutkimuksen mukaan suurempia nopeuksia kuin HCM edellyttää, merkitsee se sitä, että näillä liikennemäärillä käytetään suurempia keskimääräisiä matkavälejä ja että liikennetiheys on pienempi kuin HCM:n kuvaamassa 2-kaistaisen tien liikennevirrassa. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että liikenneturvallisuus kasvaisi, vaan päinvastoin meillä käytetään suurempien nopeuksien johdosta liikenneturvallisuuden kannalta vaarallisempia keskimääräisiä matkavälejä kuin HCM edellyttäisi. Nopeusjakautuman eri nopeuksia vastaavien matkaväliden selvittäminen, minkä perusteella paremmin voitaisiin tehdä johtopäätöksiä liikenneturvallisuudesta, vaatisi samanaikaisia nopeus- ja matkavälimittauksia.

3.37 Kuorma-autojen nopeudet nousussa

Kuormattujen kuorma-autojen nopeuksia mitattiin seuraamismenetelmällä viidessä eri nousussa. Kusakin seurattiin 15...20 kuorma-autoa. Seuraamisauton ajoanalysaattori rekisteröi nopeuden sekunnin välein ja mittasi samalla matkaa nousun alusta. Näiden nopeushavaintojen perusteella piirrettiin kullekin seuratulle kuorma-autolle nopeuden hidastuvuusikäyrä. Nämä käyrät yhdistettiin laskemalla kullekin nousulle keskimääräinen hidastuvuusikäyrä ja yksittäisten hidastuvuuksien hajonta. Käyrien vasen pää kuvaa kuormattujen kuorma-autojen nopeuksia nousun alla. Käyrät on esitetty kuvissa 20 ja 21. Nousun pituudeksi L on otettu noudattaen HCM:n periaatetta itse kaltevuusjakson lisäksi puolet mäen alussa olevasta pyörityksestä sekä 1/4 mäen päällä olevasta pyörityksestä. Nopeuskäyrien alla on esitetty nousun kaltevuusolosuhteita kuvaava piirros. Kuorma-autojen tyypit on esitetty kaikkien mittausten osalta taulukossa 23.

HCM ei esitä mitään yksityiskohtaisia ohjeita kuorma-auton henkilöautovastaavuusarvon laskemiselle nousuissa. Tässä tutkimuksessa ei myöskään ole katsottu tarpeelliseksi kehittää mitään menetelmää nopeushavaintojen vähyyden vuoksi, vaan on tyydytty ainoastaan laskemaan kuorma-autojen keskimääräisiä nopeuksia eri nousuissa sekä kriittisiä nousun pituuksia ja vertaamaan niitä HCM:n esittämiin tietoihin. Keskimääräinen nopeus on tässä yhteydessä keskimääräistä nopeuden hidastuvuutta kuvaavalta käyrältä nousun pituudelta L laskettu keskinopeus.

Kuorma-auton tyyppi	%
Tavallinen kuorma-auto	19
Tavallinen kuorma-auto telillä	14
Puoliperävaunullinen kuorma-auto	38
Täysperävaunullinen kuorma-auto	29

Taulukko 23. Kuorma-autojen jakautuma tyypeittäin yhteensä kaikissa nousuissa.

Taulukosta 24 nähdään, että tässä tutkimuksessa saadut keskimääräiset kuormattujen kuorma-autojen nopeudet nousuissa ovat noin 30 km/h suurempia kuin vastaavat nopeudet HCM:n mukaan. Myös nousujen kriittiset pituudet, joilla kuorma-autojen nopeudet eivät alita nopeutta 48 km/h, ovat huomattavasti pitempiä kuin vastaavat pituudet HCM:n mukaan. Erot johtunevat pääasiassa seuraavista syistä:

- tutkittujen kuorma-autojen alkunopeus oli nousun alla 80 km/h, kun se HCM:n mukaan on vain 64 km/h (kuvat 20, 21)
- tutkimuksessa havaittu kuorma-autojen hidastuvuus oli 50 %:n nousuissa keskimäärin 7,5 km/h 100 metriä kohti, mikä on pienempi kuin HCM esittää, ja edellisestä johtuen kuormattujen kuorma-autojen paino-tehosuhde lienee ollut keskimäärin pienempi kuin HCM:n ilmoittama 148 kg/hv.
- tässä tutkimuksessa havaintojen määrä oli pienhkö, 86 kappaletta, mikä ei antane täysin luotettavaa tulosta.

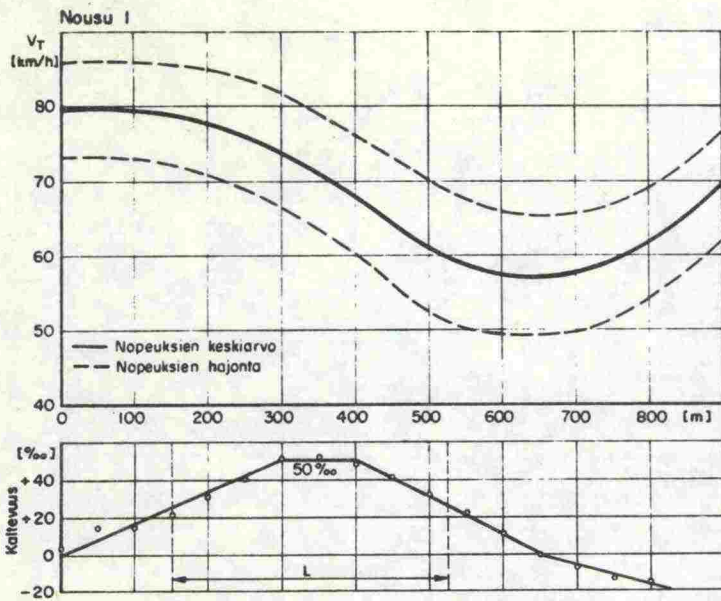
Arvioitaessa kuorma-autojen vaikutusta välityskykyyn nousun kohdalla voidaan tarkastella henkilöautojen ja kuorma-autojen nopeuseroja ko. nousussa. Kuvasta 17 luvussa 3.34 nähdään, että tässä tutkimuksessa tutkimusväleillä 1, 2, 3, 6 ja 7 havaitun keskinopeuden ja HCM 1965:n esittämän keskinopeuden ero kokonaisliikennemäärällä 900 ajon/h on noin 13 km/h. Voitaneen olettaa, että tutkimuksen nousuissa em. ero ei muutu. Kuten edellä todettiin kuorma-autojen keskimääräiset nopeudet eri nousuissa ovat noin 30 km/h suurempia kuin HCM edellyttäisi. Näin ollen henkilöautojen ja kuorma-autojen nopeusero olisi meillä kokonaisliikennemäärällä 900 ajon/h keskimäärin 17 km/h pienempi 50...70 %:n nousuissa kuin HCM:n mukaan. Tältä kannalta tarkasteltuna näyttäisi tämän tutkimusaineiston perusteella siltä, että kuormattujen kuorma-autojen vaikutus välityskykyyn tutkituissa nousuissa olisi vähäisempi kuin HCM:n ilmoittama.

Taulukko 24. Kuormattujen kuorma-autojen keskimääräiset nopeudet eri nousuissa ja nousujen kriittiset pituudet sekä niiden vertailu HCM:n arvoihin.

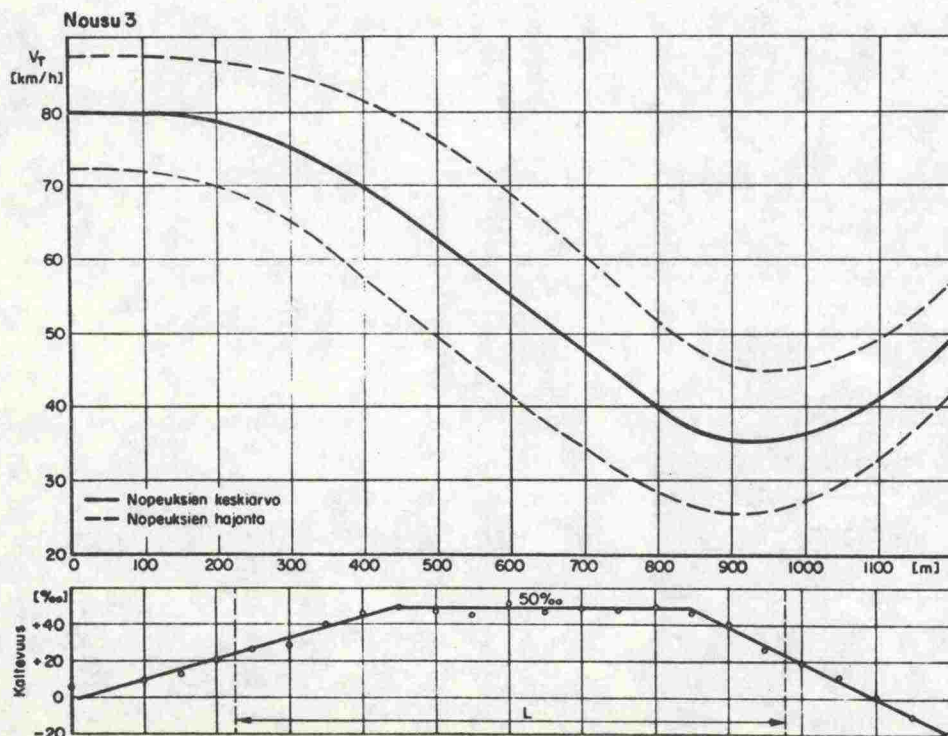
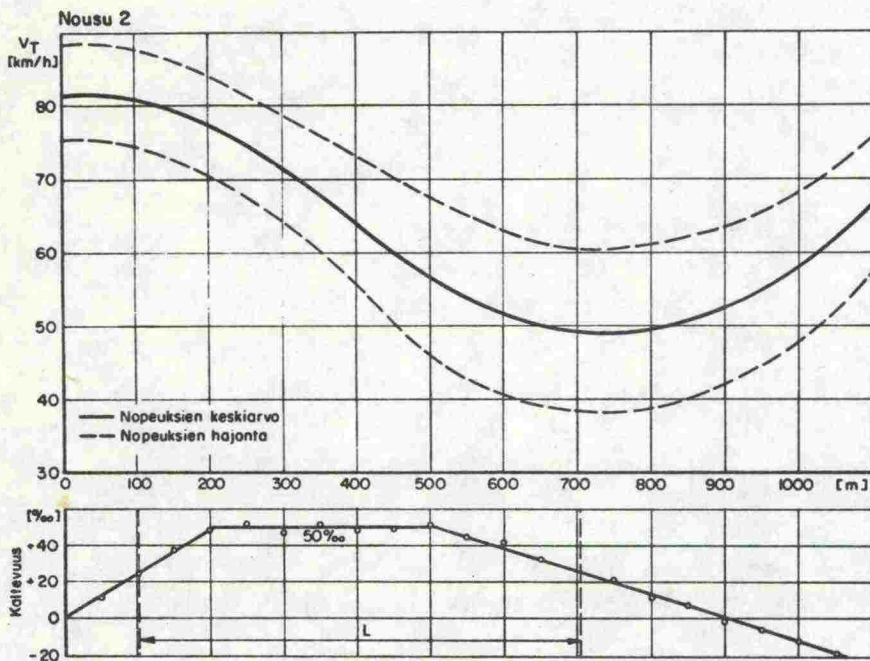
Nousun n:o	Kaltevuus (%)	Pituus L(m)	Keskim. nopeus (km/h)	Vastaava HCM:n nopeus (km/h)	Kriittinen pituus (m) ($V_T < 48$ km/h)	Vastaava HCM:n pituus (m)
1	50	370	69	43 ¹⁾	-	190 ²⁾
2	"	600	65	31	-	"
3	"	750	57	27	480	"
4	57	510	59	28	450	160
5	70	350	57	30	280	120

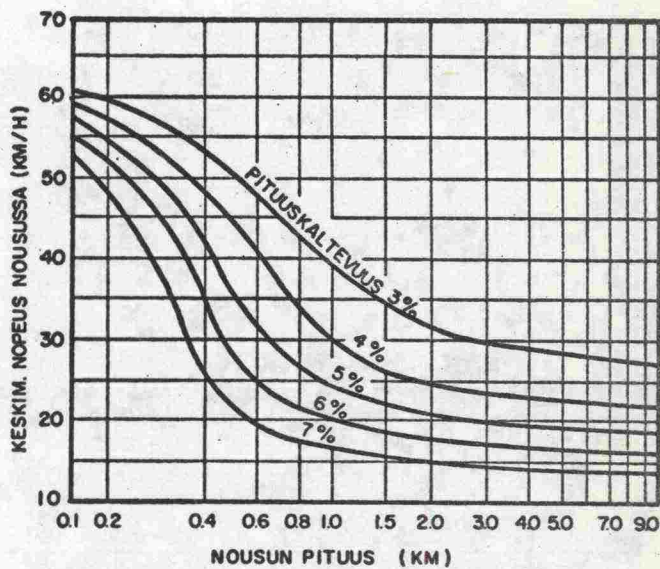
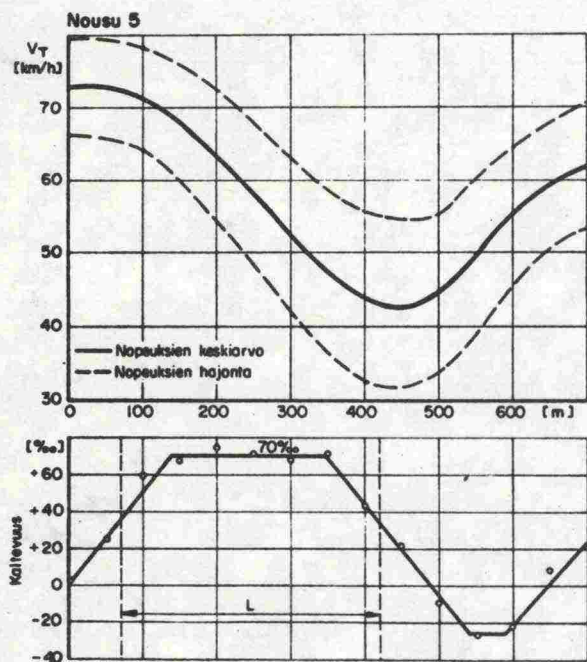
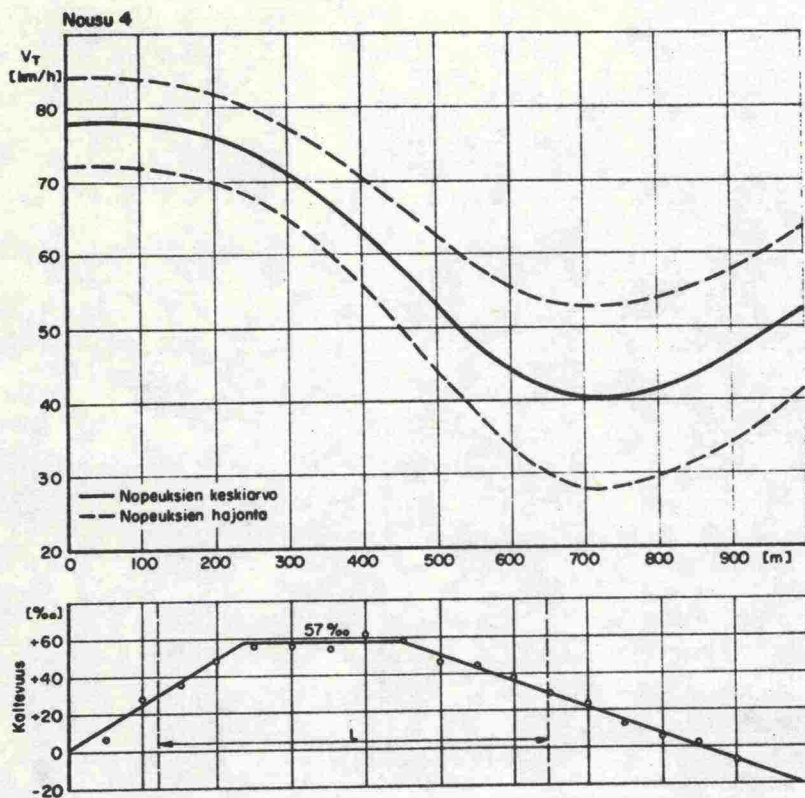
1) Saadaan kuvasta 22

2) Saadaan taulukosta 6 luvusta 1.11



Kuva 20. Kuormattujen kuorma-autojen nopeuden hidastuminen nousuissa 1, 2 ja 3





Kuva 21. Kuormattujen kuorma-autojen nopeuden hidastuminen nousuissa 4 ja 5

Kuva 22. Tavallisten kuorma-autojen keskimääräinen nopeus kaksikaistaisten teiden nousujen koko pituudella (HCM)

3.4 Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin 2-ajokaistaisen tien välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä katkeamattoman liikennevirran olosuhteissa. Tarkastelun kohteena olivat liikennevirran nopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvuus erilaisissa tieolosuhteissa, liikennevirran eri suuntien nopeusero ja autojen aikavälijakautuma sekä kuormattujen kuorma-autojen nopeuden hidastuminen nousuissa. Tutkimustyö suoritettiin mittaamalla tieolosuhteiltaan erilaisilla tutkimusväleillä autojen nopeuksia eri liikennemäärillä sekä seuraamalla kuorma-autojen nopeuksia nousuissa.

Liikennevirran nopeuden mittaamisessa tutkimusväleillä käytettiin rekisteritunnusmenetelmää ja tutkaa. Seitsemällä tutkimusvälillä suoritettiin vilkkaampaan liikennesuuntaan rekisteritunnusmenetelmällä vähintään viisi ajonopeusmittausta eri liikennemäärillä. Osittain mitattiin ajonopeusmittausten aikana toisen pienemmän liikennesuunnan pistenopeuksia tutkalla eri liikennesuuntien nopeuseron tarkastelemiseksi. Kunkin mittauksen nopeushavainnoista laskettiin tutkimusta varten tehdyllä tietokoneohjelmalla tutkimuksessa tarvittu nopeustiedot ajoneuvoryhmittäin. Kuorma-autojen ajonopeuksia nousuissa mitattiin seurausmenetelmällä.

Nopeusmittauksien aikana ei esiintynyt kokonaisliikennemäärää, joka olisi vastannut kyseessä olevan tutkimusvälin suurinta liikenteenvälityskykyä. Suurin nopeusmittauksien aikana havaittu kokonaisliikennemäärä tuntiliikennemääräksi muutettuna oli 1 602 ajon/h, missä raskaiden autojen osuus oli 3.9 %. Tämän tutkimuksen perusteella voitaneen kuitenkin esittää arvio, että suurin välityskyky olisi 2 000... 2 500 hay/h ja se saavutettaisiin liikennevirran keskinopeudella 60...70 km/h.

Tutkimuksessa on tarkasteltaessa liikennevirran nopeuden ja liikennemäärän välisiä riippuvuuksia valittu nopeudeksi henkilöautojen ajonopeuksien aikajakautuman keskinopeus sekä 85 %:n nopeus ja liikennemääräksi 2-ajokaistaisen tien molempien suuntien kokonaisliikennemäärä. Mallit (1) ja (2), joita voidaan pitää tutkimuksen päätuloksina, kuvaavat henkilöautojen nopeuden ja kokonaisliikennemäärän välistä riippuvuutta kokonaisliikennemäärän ollessa 400...1 400 ajon/h. Mallit on laskettu nopeustuloksista, jotka on saatu tieolosuhteiltaan

hyvillä tutkimusväleillä, joilla yli 460 m:n näkemien osuus oli 60...100 % ja tien ajoradan leveys oli yli 7 m.

$$V_T = 94.8 - 0.0060 Q \quad (1)$$

$$V_{85} = 110.8 - 0.0113 Q \quad (2)$$

Tieolosuhteiltaan huonommilla tutkimusväleillä, joilla yli 460 m:n näkemien osuus oli n. 15 %, henkilöautojen nopeudet olivat jo pienillä kokonaisliikennemäärillä alhaisempia ja ne laskivat jonkin verran enemmän kokonaisliikennemäärän kasvaessa kuin hyvien tieolosuhteitten tutkimusvälejä vastaavat mallit (1) ja (2) edellyttäisivät. Nopeusero oli sekä henkilöautojen keskinopeuden että 85 %:n nopeuden osalta n. 7 km/h kokonaisliikennemäärän ollessa 900 ajon/h.

Tutkimuksessa havaittiin, että meillä käytetään suurilla liikennemäärillä korkeampia nopeuksia kuin HCM 1965 /4/ ja Tanskassa suoritettujen tutkimuksen /13/ tulokset edellyttäisivät. Nopeustulosten eroa selittänee osittain se, että tässä tutkimuksessa nopeuksia mitattaessa suuren kokonaisliikennemäärän vallitessa oli toisen summan liikennemäärä huomattavasti suurempi kuin toisen.

HCM esittää, että 2-ajokaistaisella teillä on liikennevirran nopeus kumpaankin suuntaan sama, vaikka toisen suunnan liikennekuormitus olisi suurempi kuin toisen. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin, että koko tietä kuormittava liikennemäärä vaikuttaa alentavasti sekä pääliikennesuunnan että sitä vastaan tulevan liikennevirran nopeuteen.

Kuormattujen kuorma-autojen nopeus ei laskenut nousuissa niin paljon kuin HCM edellyttäisi. Tämä johtunee pääasiassa siitä, että meillä ajettiin tutkimuksen mukaan mäen alle keskimäärin nopeudella 80 km/h, kun HCM esittää vastaavan nopeuden olevan 64 km/h. Henkilöautojen ja kuorma-autojen nopeuseroja voidaan käyttää arvioitaessa kuorma-autojen vaikutusta välityskykyyn nousujen kohdalla. Tutkimuksessa havaitun kokonaisliikennemäärää 900 ajon/h vastaavan henkilöautojen keskinopeuden sekä kuorma-autojen 50...70 %:n nousuissa mitattun keskimääräisen nopeuden ero oli n. 17 km/h pienempi kuin se olisi HCM:n mukaan laskettuna. Näin tarkasteltuna kuorma-autojen vaikutus välityskykyyn olisi em. nousuissa pienempi kuin HCM edellyttäisi.

Vaikka tutkimus on ollut luonteeltaan alustava, on sen tulosten perusteella kuitenkin mahdollista tehdä varsin luotettavia johtopäätöksiä liikennemäärän vaikutuksesta nopeuteen hyvissä tie- ja ympäristöolosuhteissa. Tutkimuksen puutteena on kuitenkin pidettävä sitä, että suuria liikennemääriä vastaava nopeus on mitattu vain silloin, kun pääliikennesuunta on ollut voimakkaasti korostunut. Tällöin ei voitu todeta, onko liikennemäärän vaikutus nopeuteen samansuuruinen myös silloin, kun suuri liikennemäärä on jakautunut ta- san molemmille suunnille. Myös sitä voitaneen pitää puutteena, että nopeusmittauksissa liikennemäärien ollessa pieniä liikenne oli luonteeltaan arkipäiväliikennettä ja taas suurten lii-

kennemäärien ollessa kyseessä liikenne oli luonteeltaan viikonloppuliikennettä.

Jatkotutkimuksissa tulisi suorittaa nopeusmittauksia erityisesti sellaisissa tieolosuhteissa, joissa myös puutteelliset näkemät ja huono tien geometria rajoittavat nopeutta. Mahdollisuuksien mukaan mittauksia tulisi suorittaa suurilla kokonaisliikennemäärillä, kun molempien suuntien liikennemäärät ovat samansuuruisia. Rekisteritunnusmenetelmä nopeuden mittaamisessa osoittautui hyväksi, joskin se vaatii suurta henkilökuntaa ja työmäärää. Jatkotutkimuksia suunniteltaessa olisikin tutkittava entistä tehokkaampia, automaattisia nopeudenmittauskeinoja, jotta voitaisiin saada nopeasti ja helpommin suuria havaintomääriä.

4. KIRJALLISUUSLUETTELO

1. AASHO : A Policy on Geometric Design of Rural Highways. Washington 1966
2. Fiedler, Joachim : Die Leistungsfähigkeiten der freien Strecke graphisch ermittelt. Strasse und Autobahn Nr. 6/1962.
3. Grabe, Walter, Stolz, Martin : Ein Beitrag zur Frage der erforderlichen Überholstreckenweiten auf zweispurigen Strassen. Strasse und Autobahn Nr 4/1968.
4. Highway Research Board : Highway Capacity Manual 1965 HBR Special Report 87, Washington D.C. 1965.
5. Itschner, Fred C. : Zur zulässigen Belastung zweispuriger Autostrassen. Strasse und Verkehr Nr. 6/1969.
6. Korte, : Grundlager der Strassenverkehrsplanung in Stadt und Land. 1960.
7. Rottach, M.C. : Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit von Veherlandstrassen. Sonderdruck aus "Strasse und Verkehr" Nrn 10/1956 und 9/1957.
8. Tie- ja vesirakennushallitus : Tieolosuhteet ja liikenneturvallisuus. Tiedotuslehti 2/68. Helsinki 1968.
9. Tie- ja vesirakennushallitus : Tieolosuhteet ja liikenneturvallisuus. Tiedotuslehti 3/69. Helsinki 1969.
10. U.S. Department of Commerce BPR : Highway Capacity Manual. Washington D.C. 1950
11. Wahlgren, O. : The Dependence of Vehicle Speeds on Different Factors - Particularly Road Geometry - on Two-lane Highways in Finland. Helsinki 1967.
12. Lokki, O. : Tilastomatemiikan perusteet II STS:n julkaisu 1963.
13. Rørbech, J : Danske 2-sporede Landevejes kapacitets- og serviceniveauforhold 1970.
14. Hevonoja, E. : Välitähtäkytutkimus 2-kaistaisilla maanteillä. Diplomityö TTKK. Tampere 1971.

