

**NOPEUSRAJOITUSTEN SEKÄ TIEN GEOMETRIAN
VAIKUTUS AJOKUSTANNUKSIIN**

**TIE-JA VESIRAKENNUSHALLITUS
TIESUUNNITTELUOSASTON TUTKIMUKSIA**

TVH 2.620

HELSINKI 1974

NOPEUSRAJOITUSTEN SEKÄ TIEN GEOMETRIAN VAIKUTUS
AJOKUSTANNUKSIIN

Tekn.yo. Jukka Ristikartano

Tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellinen toimisto
Tie- ja vesirakennushallitus

Helsinki 5.8.1974

ISBN-951-46-0798-8

NOPEUSRAJOITUSTEN SEKÄ TIEN GEOMETRIAN VAIKUTUS AJOKUS- TANNUKSIIN

Sisällysluettelo	Sivu
1. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA LAAJUUS	1
2. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	3
2.1 Tilastolliset menetelmät ja luotettavuus- tarkastelu	3
2.2 Tutkimuksessa käytetyt määritelmät	4
2.3 Tutkimusmateriaalin hankinta	5
2.31 Mittausvälineet	5
2.32 Mittausmenetelmä	7
2.33 Suoritetut mittaukset	8
2.4 Mittaustulosten käsittely	8
3. TUTKIMUSTULOKSET	14
3.1 Ajonopeus ja siihen vaikuttaneet tekijät	14
3.11 Yleistä	14
3.12 Tavoitenopeus	14
3.13 Tiekohtainen nopeusrajoitusjärjes- telmä	14
3.14 Tien geometria	15
3.15 Liikennetiheys	17
3.16 Jonossa-ajo	17
3.2 Polttoaineenkulutus ja siihen vaikuttaneet tekijät	18
3.21 Yleistä	18
3.22 Ihanteelliset tieolosuhteet	18
3.23 Normaalit tieolosuhteet	19
3.24 Tiekohtainen nopeusrajoitusjärjes- telmä	21
3.25 Tien geometria	24
3.26 Liikennetiheys	24
3.27 Jonossa-ajo	25

3.3	Kaupunkien väliset matka-ajat	25
3.4	Nopeusrajoitusten vaikutus ajokustannuksiin	26
3.41	Aikakustannukset	26
3.42	Ajoneuvokustannukset	28
3.43	Onnettomuuskustannukset	29
3.44	Ajokustannukset	30
4.	YHTEENVETO	31
	KIRJALLISUUTTA	32

1. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA LAAJUUS

Suomessa aloitettiin 1.8.1973 kolmivuotinen tiekohtainen nopeusrajoituskokeilu. Ensimmäisessä vaiheessa nopeusrajoitus tuli koskemaan Etelä-Suomen valta- ja kantateitä. Tiekohtaisten nopeusrajoitusten suuruudet olivat 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h ja 120 km/h.

Nopeusrajoitusarvot kullekin tieosalle määrättiin mm. tien geometrian, poikkileikkauksen ja liikennemäärän mukaan. Tien yleistä tasoa vaarallisempiin kohtiin määrättiin pistekoh-
taisia rajoituksia.

Nopeusrajoitukset vaikuttavat ajoneuvojen nopeuksia vähentävästi. Nopeuksien pienentyessä liikenteen aikakustannukset kasvavat, kun taas ajoneuvokustannukset vähenevät polttoaineenkulutuksen pienentyessä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nopeusrajoitusten, erityisesti tiekohtaisen nopeusrajoitusjärjestelmän, sekä tien geometrian vaikutus ajokustannuksiin. Ajokustannuksista pyrittiin erityisesti selvittämään ajoneuvo- ja aikakustannukset. Onnettomuuskustannuksia ei tutkimusajanjakson lyhyiden vuoksi voitu ottaa huomioon.

Toinen tutkimuksen lähtökohdista oli Liikenneministeriön liikennesuunnitteluosaston julkaisussa "Liikenteen nykytilan inventointi, raportti 3" esitetyt eri liikennemuotojen matkajat tärkeimpien keskusten välillä. Henkilöautoliikenteen osalta nämä on laskettu käyttäen matkanopeutena kaupunkien välillä 84 km/h. Koska nopeudet kuitenkin vaihtelevat varsin suuresti eri tieosilla, katsottiin tarpeelliseksi tutkia, kuinka hyvin raportissa esitetyt luvut vastaavat todellisuutta.

Tutkimus oli varsin laaja käsittäen n. 440 tieosaa, joiden keskimääräinen pituus oli n. 5 km. Tutkimuksessa käytetyt suunnitelmanopeudet olivat 80 km/h, 100 km/h ja 120 km/h. Ajokertoja oli kullakin tieosalla yhdellä nopeudella yleensä

kaksi, joista toinen oli ajettu ennen rajoitusten voimaantuloa ja toinen niiden aikana. Ajokertoja kertyi yhteensä 1 440 kpl.

Aineisto kerättiin v. 1973 kesäkuun lopun ja lokakuun alun välisenä aikana ns. "ennen-jälkeen" tutkimuksena, tosin Pohjois-Suomen kaupunkivälit ajettiin ainoastaan syys-lokakuun vaihteessa v. 1973.

2. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

2.1 Tilastolliset menetelmät ja luotettavuustarkastelu

Eri tekijöiden vaikutusta ajonopeuteen ja polttoaineenkulutukseen analysoitiin valikoivaa regressioanalyysia käyttäen.

Regressiomallina käytettiin lineaarista mallia

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p,$$

missä

- y = selitettävä muuttuja
- $x_1 \dots x_p$ = selittäviä muuttujia
- $b_1 \dots b_p$ = regressiokertoimia
- b_0 = vakiotermi
- p = selittävien muuttujien lukumäärä.

Korrelaatiokertoimen R avulla laskettiin selittävyys. Kaavalla

$$P_s = 100 \cdot R^2,$$

missä

- P_s = selitysprosentti
- R^2 = korrelaatiokertoimen neliö,

voitiin laskea, kuinka monta prosenttia regressiomalli selittää selitettävän muuttujan varianssista.

Regression merkitsevyyttä testattiin vapausasteilla p ja n-p-1 F-jakaantuneella testisuureella (p = selittäjien lukumäärä, n = havaintojen lukumäärä).

Regressiokertoimen nollostapoikkeamisen tilastollista merkitsevyyttä voitiin testata vapausasteilla n-p-1 t-jakaantuneella testisuureella.

Tilastollisessa testauksessa käytettiin merkitsevyystasoja 0.05, 0.01 ja 0.001, joista vastaavat erot havaintojen ja 0-hypoteesin välillä olivat

0.05	tilastollisesti melkein merkitsevä ero	(x)
0.01	tilastollisesti merkitsevä ero	(xx)
0.001	tilastollisesti erittäin merkitsevä ero	(xxx)

2.2 Tutkimuksessa käytetyt määritelmät

Tärkeimmät tutkimusselostuksessa käytetyt käsitteet määritellään seuraavasti:

Ajonopeus on ajoneuvon (tässä tutkimusauton) nopeus tietyllä matkalla määriteltynä matkan ja ajoajan suhteena.

Suunnitelmanopeus on kullekin tutkimuskerralle tiejaksoittain valittu ajonopeuden maksimi, jota ajoneuvon kuljettaja pyrki noudattamaan mikäli nopeusrajoitukset ja tie- sekä liikenneolosuhteet sen sallivat.

Tavoitenopeus on suunnitelmanopeudesta sekä sitä alemmista nopeusrajoituksista muodostuvan "kattonopeuden" tieosittain laskettu keskiarvo.

Polttoaineenkulutus on tutkimusauton tietyllä matkalla kulluttaman polttoaineen määrän ja ajomatkan suhde.

Liikennetiheys on tässä tutkimuksessa laskettu tieosittain, jolloin yksikkönä on käytetty ajoneuvojen määrää tiekilometriä kohti. Liikennetiheydet on huomioitu erikseen kohtaavien, ohitettujen ja ohittaneiden ajoneuvojen osalta.

Jonossa-ajo on liikennetilanne, jossa edelläajavan ajoneuvon vaikutuksesta tutkimusauton ajonopeus laskee selvästi tavoitenopeuden alapuolelle. Jonossa-ajotilanteet on huomioitu yhtenäisinä, jolloin jonossa-ajomatka voi olla suurempi kuin tieosan pituus.

Tieolosuhteet ovat tien muotoon liittyviä olosuhteita, jotka kuvataan näkemäolosuhteilla, mäkisyydellä (m/km), kaarteisuudella (grad/km) ja tien leveydellä.

Näkemäprosentti 460 on yli 460 metrin näkemien prosenttiosuus tieosan näkemistä.

Näkemäprosentti 300 on yli 300 metrin näkemien prosenttiosuus tieosan näkemistä.

Aikakustannukset ajoneuvokilometriä kohti saadaan ajan arvon ja ajoneuvon nopeuden suhteena. Kustannukset on tässä tutkimuksessa laskettu käyttäen yksikkönä p/ajon.km.

Ajoneuvokustannukset muodostuvat ajoneuvon polttoaine- ja voiteluainekustannuksista, rengaskustannuksista, korjaus- ja huoltokustannuksista sekä kuoletuskustannuksista. Ajoneuvokustannukset voidaan laskea joko verollisina tai verottomina.

Onnettomuuskustannukset ajoneuvokilometriä kohti saadaan onnettomuusasteen (onn./milj.ajon.km) ja onnettomuuden keskimääräisen hinnan tulona.

Ajokustannukset määritetään aika-, ajoneuvo- ja onnettomuuskustannusten summana. Tässä tutkimuksessa jätettiin ajokustannuksista pois onnettomuuskustannusten osuus.

2.3 Tutkimusmateriaalin hankinta

2.31 Mittausvälineet

Mittausvälineistön tärkeimmän osan muodosti ajoanalysointilaitteisto. Oy Nokia Ab:n Elektroniikkaosaston TVH:n tilauksesta kehitetyn ajoanalysointilaitteen perusidea on tuotu Yhdysvalloista, missä sen esikuvaa, Traffic Impedance Analyseria, on käytetty usean vuoden ajan. TVH:n ajoanalysointilaitteisto PP 6300 on esikuvaansa paljon kehittyneempi ja pienempi.

Ajoanalysointilaitte on autoon asennettava mittauslaite, joka on erikoisesti suunniteltu tie- ja liikennetaloudellisia tutkimuksia varten. Laite tulostaa automaattisesti säännöllisin aikaväleihin auton hetkellisen nopeuden, ajan, polttoaineenkulutuksen sekä ajatun matkan. Lisäksi voidaan laitteen näppäinlevyssä olevien 20 painikkeen avulla tulostaa muu haluttu informaatio, kuten tiedot risteyksistä, nopeusrajoituksista, ohituksista jne.

Tulostus voi tapahtua joko rivikirjoittimella tai reikänauhälävistimellä. Tässä tutkimuksessa suoritettiin tulostus rivikirjoittimella.

Tulostuksessa syntyvä rivikirjoittimen rivi voi olla esim. seuraavanlainen

72. 123.144.555
(A) (B) (C) (D)

Tällöin on

(A) nopeus	(km/h)	72 km/h
(B) aika	(s)	123 s
(C) polttoaineenkulutus	(2 ml)	288 ml
(D) matka	(10 m) tai (1 m)	5550 m tai 555m

Tässä tutkimuksessa käytettiin matkan tulostuksessa 10 metrin tarkkuutta.

Käsin ohjattu informaatio tulostetaan (A)-pystyriviin 3-numeroisena, ensin 9 ja sen perään painikkeen numero. Pystyriivit (B), (C) ja (D) jäävät tällöin tyhjiksi.

Tutkimusautona käytettiin ajoanalysointilaitteita Saab 95 henkilöautoa. Tutkimusauton valinnassa on kiinnitetty huomiota siihen, että auton ominaisuudet kiinteällä tutkimuskalustolla kuormattuna vastaisivat mahdollisimman hyvin ns. kevyen tyyppi-auton (auto, joka ominaisuuksiltaan vastaa henkilö- ja pakettiautojen ajosuoritteilla painotettua keskiarvoa) ominaisuuksia.

2.32 Mittausmenetelmä

Mittausmenetelmän valinnassa oli kaksi vaihtoehtoa, joko ajo tasaisella ennalta valikoidulla nopeudella tai sitten ajo liikenteen keskinopeudella. Jälkimmäinen menetelmä olisi antanut enemmän tilastolliseen käsittelyyn sopivaa tietoutta, mutta se oli hylättävä lähinnä siksi, että tutkimuskohteiden liikennemäärät olivat yleisesti niin pieniä, että liikkuvasta autosta ei voi päätellä liikenteen keskinopeutta. Lisäksi vaatii menetelmä useita ajokertoja samalla tieosalla, joten matka-aikojen tutkiminen olisi pitänyt jättää pois, ettei aineisto olisi paisunut liian suureksi.

Valittu mittausmenetelmä oli seuraava:

- Kullekin tiejaksolle (pituus n. 100-200 km), joka käsittää useita tieosia, valittiin tieolosuhteet huomioonottaen sopiva suunnitelmanopeus (80 km/h, 100 km/h tai 120 km/h). Eräillä hyväkuntoisilla tiejaksoilla mitattiin kaikilla kolmella nopeudella.
- Ajon aikana kuljettaja ei saanut ylittää suunnitelmanopeutta, vaikka olosuhteet sen muuten olisivat sallineet. Lisäksi hänen oli noudatettava kaikkia suunnitelmanopeutta pienempiä nopeusrajoituksia. Suunnitelmanopeudesta sekä nopeusrajoituksista muodostui tällöin jokaiselle tienkohdalle kattonopeus, jonka tieosittain laskettua keskiarvoa kutsutaan tässä tutkimuksessa tavoitenopeudeksi.
- Ajon aikana rekisteröitiin käsin kaikki kohtaavat, ohitetut ja ohittaneet ajoneuvot, tieosan vaihtumiset, nopeusrajoitusten vaihtumiset sekä niiden suuruus.
- Jonossa-ajo katsottiin alkaneeksi silloin, kun ajonopeutta jouduttiin vähentämään edelläajavan ajoneuvon vaikutuksesta. Jonossa-ajon loppuminen rekisteröitiin silloin, kun ajonopeus oli jälleen noussut tavoitenopeutta vastaavaksi. Näin ollen sisältyi jonossa-ajoon myös hidastus- ja kiihdytysvaihe, jolloin niitä voitiin tarkastella yhtenä kokonaisuutena.
- Päällysteen laatu ja kunto arvioitiin tieosittain ajon aikana, joten varsinkin päällysteen kuntoa kuvaava muuttuja oli vain suuntaa antava.
- Tien geometriaa kuvaavat tiedot kerättiin jälkeempään TVH:n tierekisterin tiedoista.

Mittausmenetelmä on periaatteessa luotettava, mutta sen haittapuolina ovat tulosten vaatima laaja jatkokäsittely, sekä se, että liikenteen keskinopeutta on lähes mahdoton arvioida. Puutteista johtuen ei menetelmä täysin sovellu tiekohtaisen nopeusrajoitusjärjestelmän vaikutusten tutkimiseen.

2.33 Suoritetut mittaukset

Suunnitelmanopeudella 80 km/h ajettiin kuvassa 1 esitetyt mittavälit, vastaavasti nopeudella 100 km/h kuvassa 2 ja nopeudella 120 km/h kuvassa 3 esitetyt mittavälit. Kukin tiejakso ajettiin samalla suunnitelmanopeudella sekä ennen rajoitusten voimaantuloa että niiden aikana. Tutkimusolosuhteet pyrittiin vakioimaan, jolloin kiinnitettiin huomiota säätilaan, viikonpäivään ja kellonaikaan. Mittaukset pyrittiin suorittamaan ihanteellisissa sääolosuhteissa (mm. kuiva tien pinta). Ajot suoritettiin arkisin, suurimmaksi osaksi tiistaisin, keskiviikkoisin ja torstaisin klo 8.00 ja 20.00 välillä. Ruuhka-aikoja pyrittiin välttämään.

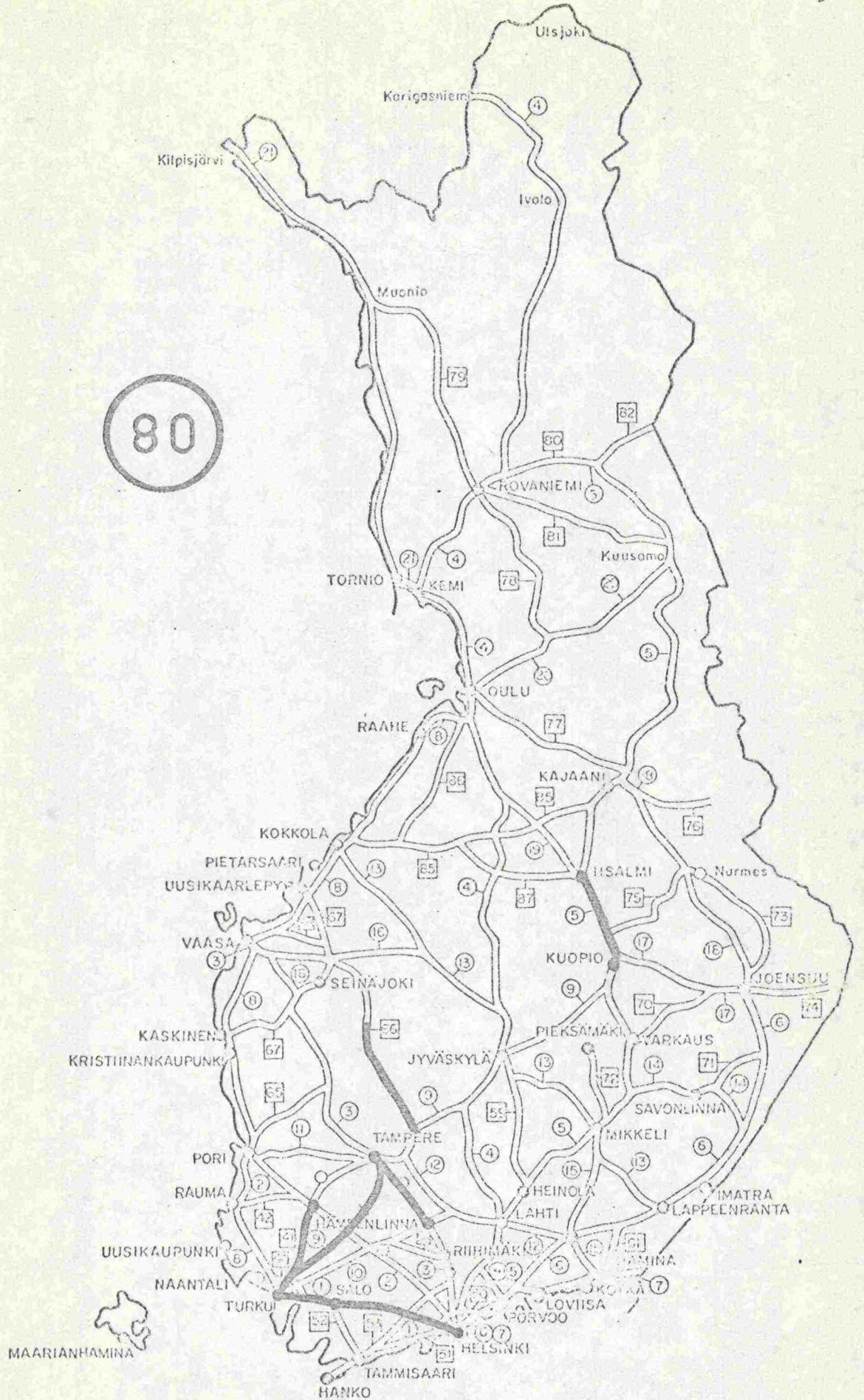
Matka-aikamittausten reitit on esitetty kuvassa 4, suunnitelmanopeutena oli tällöin 100 km/h.

2.4 M i t t a u s t u l o s t e n k ä s i t t e l y

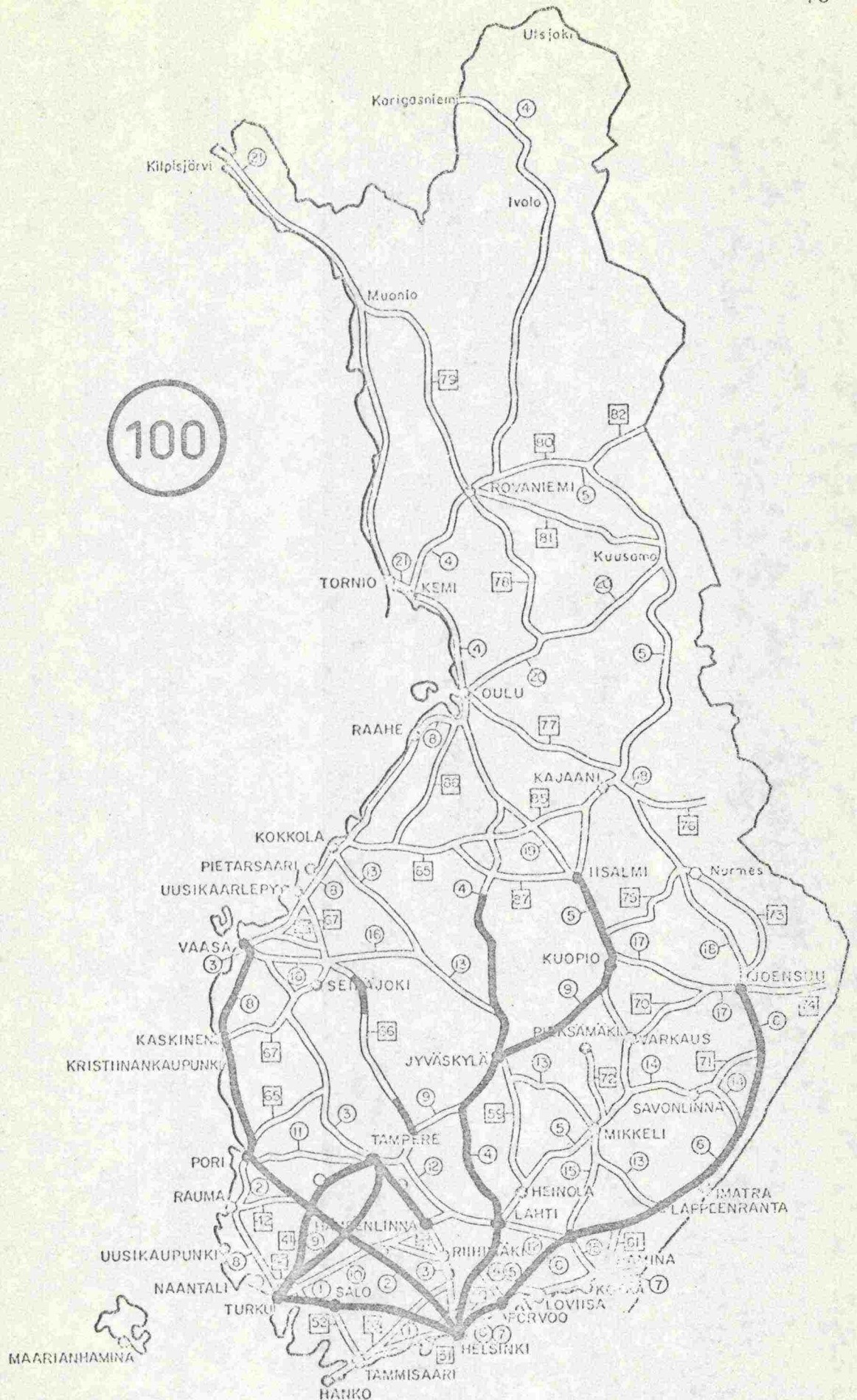
Mittaustulosten vaatima laaja esikäsittely suoritettiin käsin. Samalla karsittiin virheellisiksi todetut havainnot, joiden osuus oli 5.9 %.

Tietokoneajot suoritettiin Valtion tietokonekeskuksen UNIVAC 1108-tietokoneella. Tilastollinen käsittely suoritettiin HYLPS-ohjelmapakkausta käyttäen.

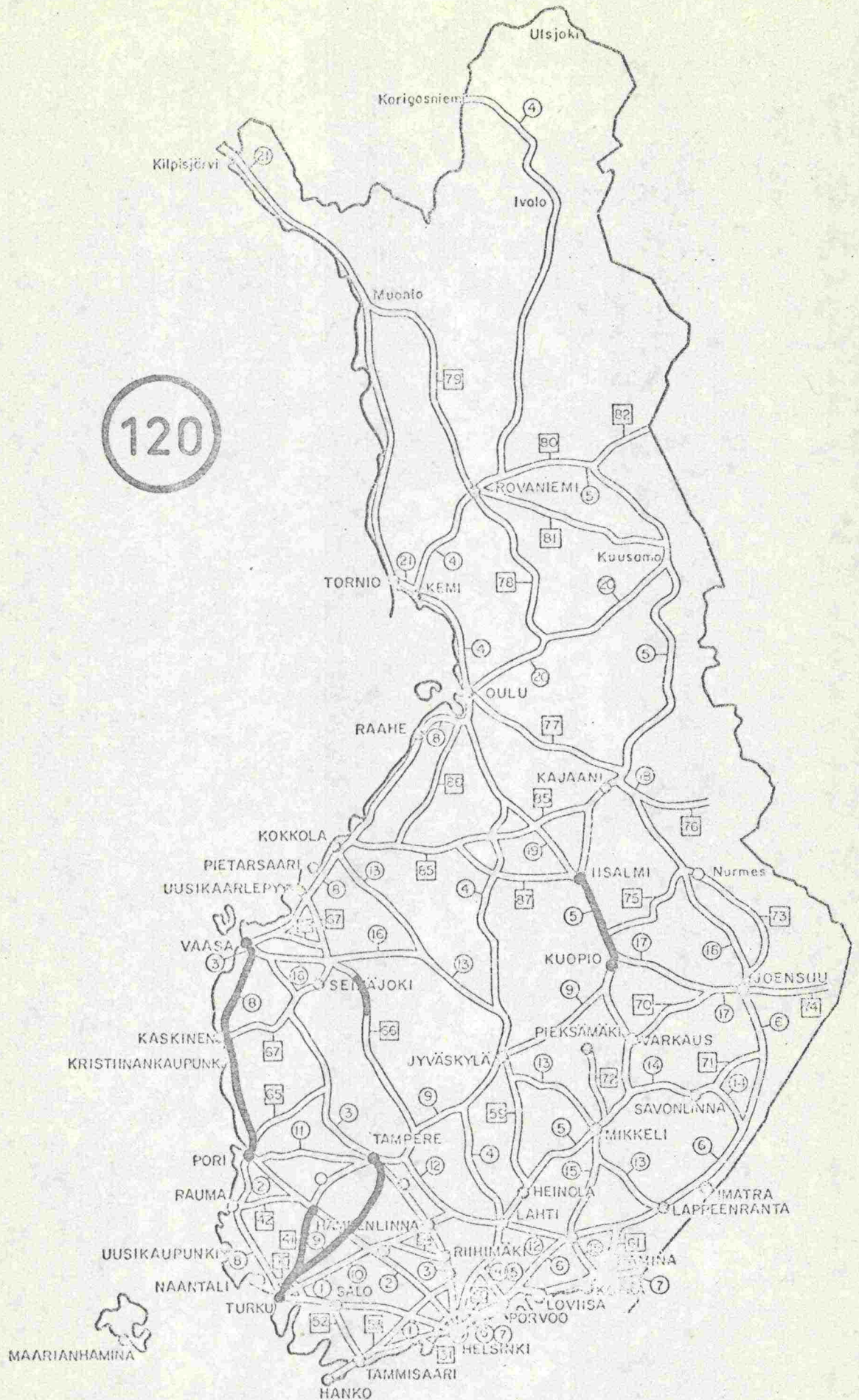
Nopeusrajoitusten sekä tien geometrian vaikutusta ajonopeuteen sekä polttoaineenkulutukseen tutkittiin HYLPS-ohjelmapakkauksen valikoivaa regressioanalyysiä käyttäen. Regressioanalyysissä yhtä ajokertaa yhdellä tieosalla käsiteltiin yhtenä havaintona.



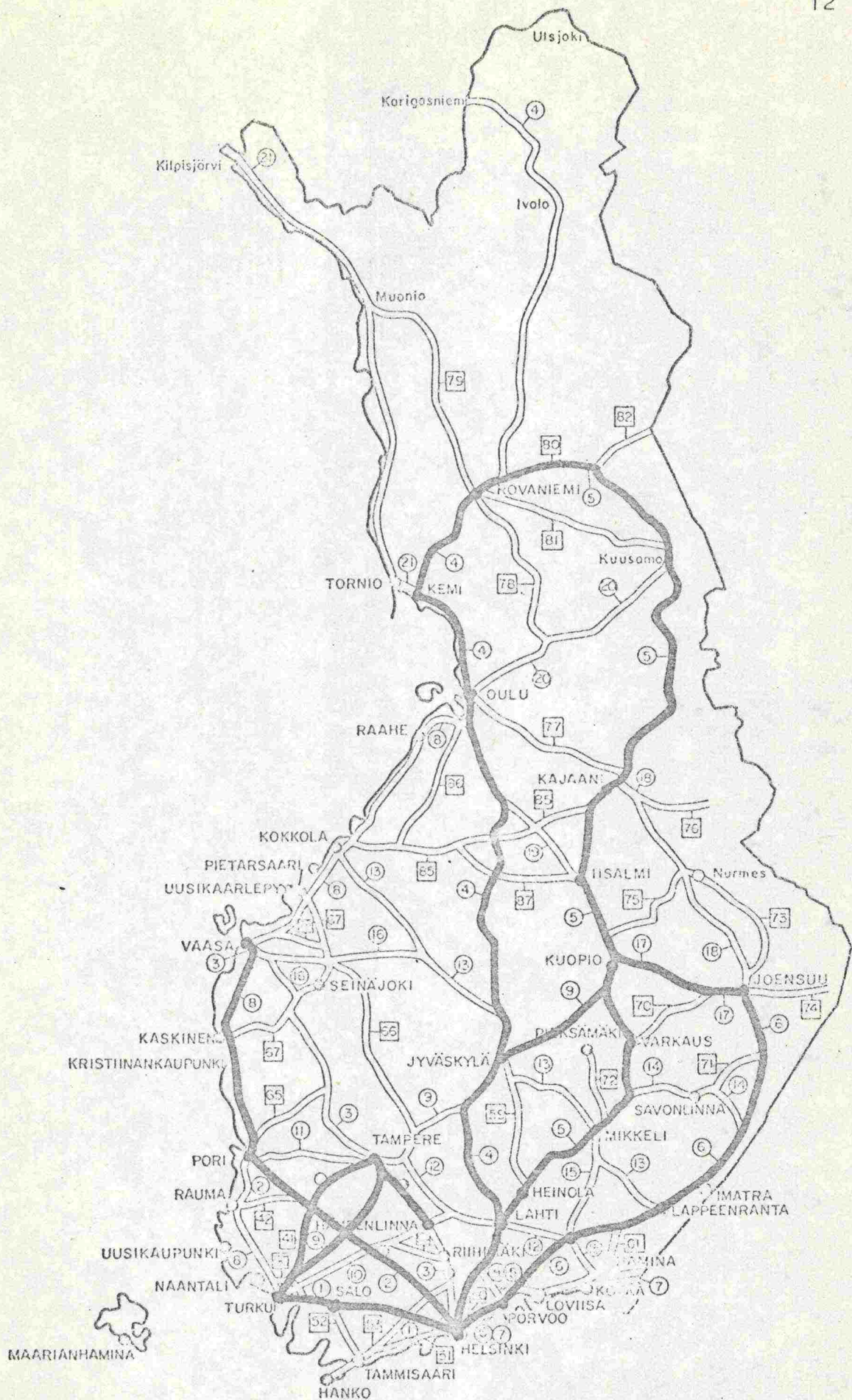
Kuva I. Suunnitelmanopeudella 80 km/h ajetusat tieosat.



Kuva 2. Suunnitelmanopeudella 100 km/h ajetus tieosat.



Kuva 3. Suunnitelmanopeudella 120 km/h ajettut tieosat.



Kuva 4. Matka - aikatutkimuksia varten ajetut tieosat. Suunnitelmanopeus 100 km/h.

Regressioanalyysi-ohjelma tulostaa askelkohtaisesti regressiomallin muodostamiseen tarvittavat parametrit: regressiokertoimet ja vakiotermin. Lisäksi ohjelma tulostaa mallin selittävyttä kuvaavan R^2 -termin, mallin hyvyttä arvosteltaessa tarvittavan F-arvon sekä regressiokertoimen nolasta poikkeavuutta testattaessa tarvittavan t-termin.

3. TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Ajonopeus ja siihen vaikuttaneet tekijät

3.11 Yleistä

Tässä luvussa tarkastellaan eri tekijöiden vaikutusta ajonopeuteen kahdelta eri kannalta; toisaalta suoraa vaikutusta ja toisaalta vaikutusta tavoitenopeuden saavuttamiseen, sillä pelkästään suorien vaikutusten tutkiminen antaisi eri tekijöille liian suuren vaikutuksen. Tämä johtuu siitä, että tavoitenopeuteen vaikuttaneet nopeusrajoitukset on määrätty osaksi samojen tekijöiden perusteella.

3.12 Tavoitenopeus

Tavoitenopeuden vaikutus ajonopeuteen oli erittäin selvä. Ajonopeus oli keskimäärin 5.5 km/h pienempi kuin tavoitenopeus. Eri oli selvempi suurilla nopeuksilla olleen 6.1 km/h kun ajonopeus oli 120 km/h ja 5.3 km/h ajonopeudella 80 km/h.

Tavoitenopeus selitti ajonopeuden vaihtelusta 86.3 %, jolloin kokonaiskorrelaatiokertoimeksi tuli yhden selittäjän mallissa 0.929, mikä on tilastollisesti erittäin merkitsevä.

3.13 Tiekohtainen nopeusrajoitusjärjestelmä

Tiekohtaisen nopeusrajoitusjärjestelmän vaikutusta henkilöautojen keskinopeuteen ei tästä tutkimuksesta tutkimusmenetelmästä johtuen saatu selville. Keskinopeuden arvioiminen olisi periaatteessa mahdollista kohtaavien, ohittaneiden ja ohitettujen ajoneuvojen sekä ajonopeuden perusteella, mutta vähäisten liikennemäärien takia tuloksen luotettavuus olisi varsin heikko.

Tästä syystä on tässä tutkimuksessa tarvittavat tiedot ajoneuvojen nopeuksista kerätty TVH:n tarkkailevan nopeus-tutkimuksen tuloksista.

Tutkimusauton ajonopeuteen vaikutti nopeusrajoitusjärjestelmän voimassaolo varsin vähän. Ajonopeus oli keskimäärin 1.0 km/h pienempi rajoitusten ollessa voimassa kuin ennen niiden voimaantuloa. Muutoksen pienuus johtui siitä, että suunnitelmanopeudet valittiin siten, etteivät tiekohtaiset nopeusrajoitukset olleet huomattavasti niitä pienempiä. Lisäksi oli liikennevirta ilmeisesti nopeusrajoitusten vaikutuksesta tasaantunut, jolloin pystyttiin paremmin noudattamaan tavoitenopeutta ajon aikana. Tämä ilmeni parhaiten seuraavasta nopeusrajoitusjärjestelmän vaikutusta ajonopeuteen kuvaavasta mallista:

$$x(12) = -5.9 + 0.996 x(35) + 1.5 x(302) \quad (1)$$

missä

$x(12)$ = ajonopeus

$x(35)$ = tavoitenopeus

$x(302)$ = C/1-muuttuja tiekohtaisen rajoituksen voimassaololle

Mallin perusteella voidaan päätellä

- Ajonopeus kasvaa tavoitenopeuden kasvaessa tilastollisesti erittäin merkitsevällä tasolla

- Ennen nopeusrajoitusten voimaantuloa tavoitenopeudella 80 km/h oli ajonopeus 73.8 km/h ja rajoitusaikana vastaavasti 75.3 km/h. Vastaavat luvut tavoitenopeudella 120 km/h olivat 113.6 km/h ja 115.1 km/h.

3.14 Tien geometria

Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena päällysteen laadun ja kunnan lisäksi selvittää tien geometriaa kuvaavista tiedoista tien leveyden, pientareen leveyden, mäkisyiden, kaarteisuuden sekä 460 ja 300 metrin näkemäprosenttien vaikutus ajonopeuteen.

Tutkittavista tekijöistä olivat TVH:n tierekisteristä kerätyt mäkisyyys- ja kaarteisuustiedot niin puutteellisia, että ne jouduttiin suurelta osin hylkäämään selittäjinä.

Tutkituista tieosista valtaosa oli kestopäällystettyjä, minkä takia päällysteen laadun ei voitu todeta vaikuttavan merkittävästi ajonopeuteen. Ajon aikana annettujen päällysteen kuntoa kuvaavien arvosanojen (huonoin 1, paras 5) vaikutus ajonopeuteen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Arvosanan parantuessa yhdellä kasvoi ajonopeus 6.6 km/h. Käytettäessä lisäselittäjänä tavoitenopeutta oli muutos 1.2 km/h.

Tämän aineiston perusteella ei voitu todeta tien eikä pientareen leveyden vaikuttavan ajonopeuteen merkitsevällä tasolla, mikä johtuu siitä että aineisto käsitti pääasiassa vain hyväkuntoisia teitä.

Mäkisyyden ja kaarteisuuden puutteellisten tietojen takia ei niille saatu mielekästä regressiomallia. Ajonopeus pieneni kuitenkin mäkisyyden ja kaarteisuuden kasvaessa.

Näkemäprosentit osoittautuivat varsin hyviksi selittäjiksi muodostettaessa ajonopeudelle regressiomallia. Tutkimuksen perusteella olisi syytä harkita niiden laajempaa käyttöä mäkisyyys- ja kaarteisuustietojen sijasta. 300 metrin näkemien prosenttiosuuden kasvaessa 10 yksiköllä kasvoi ajonopeus 3.2 km/h. Vastaava muutos 460 metrin näkemien parantuessa 10 prosenttiyksikköä oli 2.6 km/h. Mallissa, jossa olivat selittäjinä molemmat näkemäprosentit, olivat vastaavat muutokset 2.0 km/h ja 1.2 km/h.

Mikäli malleissa käytetään lisäselittäjänä tavoitenopeutta olivat muutokset 300 metrin näkemien osalta 0.3 km/h ja 460 metrin näkemien osalta 0.25 km/h.

3.15 Liikennetiheys

Liikennetiheys vaikutti varsin selvästi ajoneuvojen keskinopeuteen. Tässä tutkimuksessa ei selvitetty ajettujen tieosien liikennemääriä, joten normaalien tunti- tai vuorokausiliikennettä kuvaavien muuttujien käyttö oli mahdotonta.

Liikennemäärän sijasta pyrittiin selvittämään yksittäisten ajoneuvojen vaikutus ajonopeuteen. Tarkasteltavina muuttujina käytettiin kohtaavien, ohitettujen ja ohittaneiden ajoneuvojen lukumäärää tiekilometriä kohti. Näistä muuttujista etenkin tieosalla ohitettujen ajoneuvojen määrä vaikutti tieosan keskimääräiseen ajonopeuteen.

Liikenteen vaikutus oli yleensä ajonopeutta hidastava. Kohtaavien ajoneuvojen määrän kasvu 1 ajoneuvolla kilometriä kohti vähensi ajonopeutta 1.6 km/h, vastaavasti ohitettujen ajoneuvojen määrän kasvu 1 ajoneuvolla 5 kilometriä kohti vähensi ajonopeutta 1.7 km/h. Ohittaneiden ajoneuvojen vaikutus ei ollut yhtä selväpiiteinen, koska ohitukset johtuvat tutkimusauton muuta liikennettä hitaammasta ajonopeudesta eikä päinvastoin.

3.16 Jonossa-ajo

Jonossa-ajon vaikutus ajonopeuteen on ilmeinen, koska jonossa-ajon määritelmä edellyttää ajonopeuden laskua tavoitenopeuden alapuolelle. Jonossa-ajon vaikutuksesta saatiin seuraava malli

$$x(12) = -3.4 + 0.994 x(35) - 0.162 x(100) \quad (2)$$

missä $x(2)$ = ajonopeus km/h, $x(35)$ = tavoitenopeus km/h ja $x(100)$ = jonossa-ajon prosenttiosuus tieosan pituudesta.

Mallin perusteella voidaan päätellä:

- Jonossa-ajo vähensi ajonopeutta erittäin merkitsevällä tasolla. Mikäli koko tieosalla oli jonoa, oli ajonopeus keski-

määrin 16.2 km/h pienempi kuin tilanteessa, jossa jonoja ei esiintynyt.

3.2 Polttoaineenkulutus ja siihen vaikuttaneet tekijät

3.21 Yleistä

Polttoaineenkulutus riippuu erittäin monista tekijöistä, jotka voidaan ryhmitellä autosta, kuljettajasta, tiestä, liikenteestä sekä säästä johtuviin vaikutuksiin.

Näistä tekijöistä pyrittiin vakioimaan autosta, kuljettajasta sekä säästä johtuvat vaikutukset. Säätekijät olivat kuitenkin varsin erilaiset kesä-heinäkuussa ennen rajoitusten voimaantuloa suoritetuissa mittauksissa kuin elo-lokakuussa, jolloin rajoitukset olivat voimassa. Etenkin ilman lämpötila oli rajoitusten aikana huomattavasti alhaisempi kuin ennen niiden voimaantuloa. Kuvasta 5 ilmenee lisäksi että auton polttoaineenkulutus ihanteellisissa olosuhteissa muuttui tutkimuksen kestäessä.

3.22 Ihanteelliset tieolosuhteet

Ihanteellisilla tieolosuhteilla tarkoitetaan tässä asfalttipäällysteistä, suoraa ja tasaista tieosaa, jolla liikenne ei häiritse, sekä sää on ihanteellinen. Ihanteellisten tieolosuhteiden määritelmää ei ole kytketty tässä nopeuteen, joten se voi vaihdella.

Ihanteellisissa tieolosuhteissa voidaan suorittaa mittalaitteiden tarkistus sekä tutkia erilaisten tekijöiden vaikutusta polttoaineenkulutukseen vakio-olosuhteissa eri nopeuksilla. Tässä tutkimuksessa suoritettiin mittalaitteiden tarkistus sekä ennen mittausten aloittamista että niiden loppuvaiheessa. Kuvassa 5 on esitetty tarkistusmittauksissa saadut polttoaineenkulutuskäyrät. Mittausten kestoaikana suoritettun huollon vaikutus oli ilmeisesti n. 0.60-0.90 l/100 km. Polttoaineenkulutuksen muutos otettiin huomioon

tiekohtaisen nopeusrajoituksen vaikutuksia tutkittaessa.

3.23 Normaalit tieolosuhteet

Normaaleilla tieolosuhteilla tarkoitetaan tässä Etelä-Suomen valta- ja kantateilla keskimäärin vallitsevia olosuhteita. Taajamien kohdalla usein sattuneiden liikennehäiriöiden vuoksi jouduttiin suuri osa niistä karsimaan aineistosta.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään polttoaineenkulutuksen riippuvuus nopeudesta normaaleissa tie- ja liikenneolosuhteissa. Koska nopeuden vaikutus ei ole kuitenkaan lineaarinen muodostettiin seuraavat muuttujat $x(32)$ = nopeuden neliö, $x(33)$ = nopeuden kuutio, $x(34)$ = nopeuden käänteisarvo. Lisäksi potenssifunktion muodostamista varten muodostettiin nopeuden ja kulutuksen logaritmit muuttujiksi $x(31)$ ja $x(30)$.

Yksinkertainen, mutta samalla riittävän hyvä malli saatiin, kun mukaan otettiin ensimmäisen ja toisen asteen termit. Malli on esitetty myös kuvassa 6.

$$x(3) = 21.00 - 0.3357 x(12) + 0.002143 x(32) \quad (3)$$

$$R^2 = 0.298$$

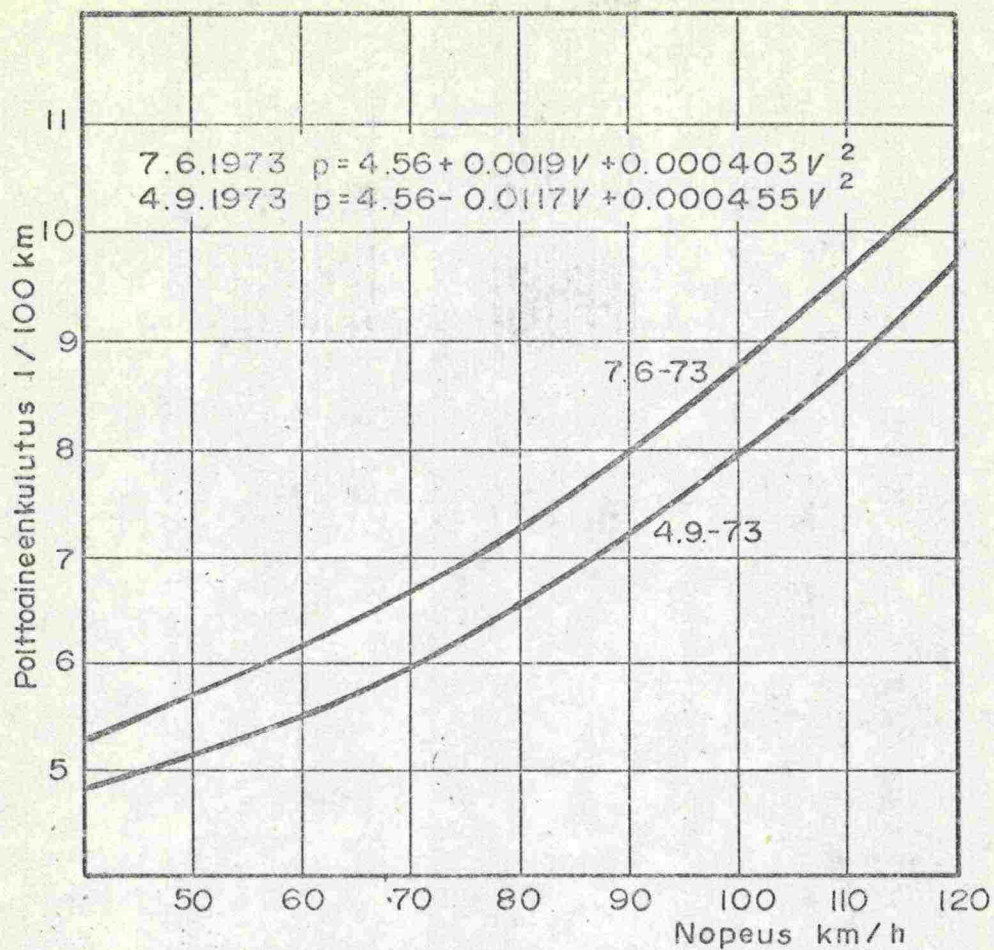
$$F(2, 1352) = 287.3 \quad (xxx)$$

selittäjä	regressiokerr.	T-arvo	merkitsevyys
12	-0.3357	-22.0	(xxx)
32	0.002143	23.2	(xxx)
vakiotermi	21.00		

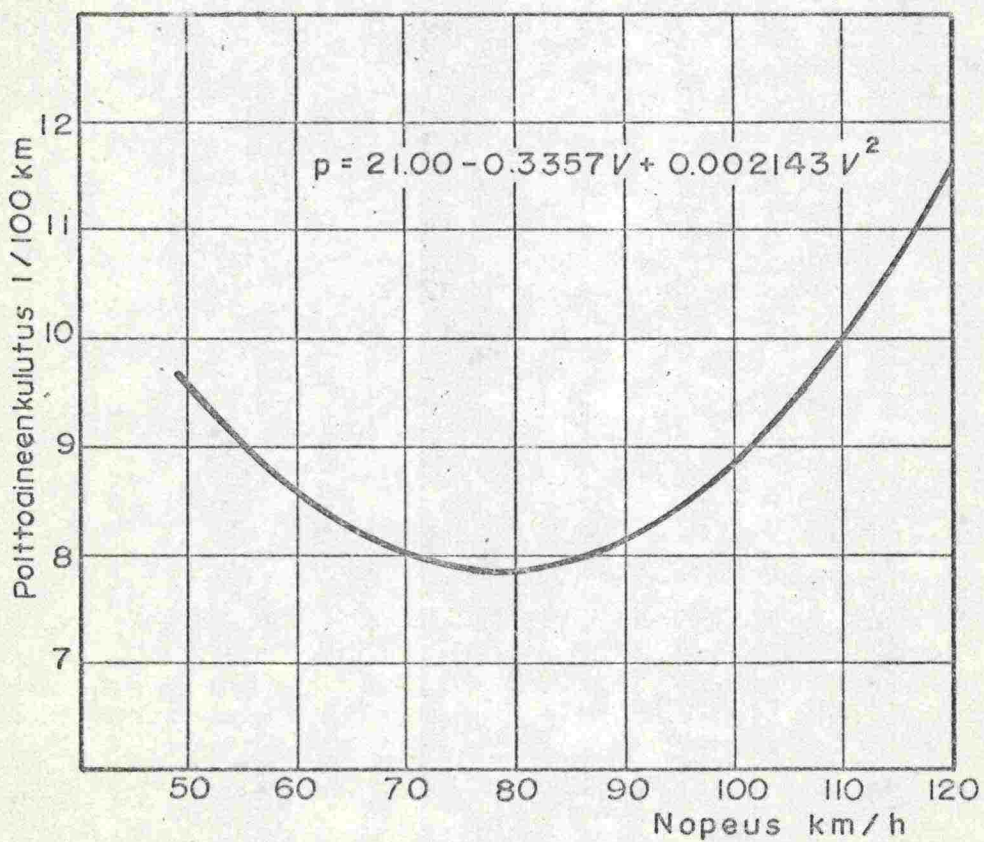
missä $x(13)$ = polttoaineenkulutus l/100 km, $x(12)$ ajonopeus km/h, $x(32)$ = ajonopeuden neliö.

Mallin perusteella voi päätellä.

- Polttoaineenkulutuksen kannalta edullisin ajonopeus on 70-85 km/h.



Kuva 5. Tutkimusauton polttoaineenkulutuksen riippuvuus nopeudesta ihanteellisissa tieolosuhteissa.



Kuva 6. Tutkimusauton polttoaineenkulutuksen riippuvuus nopeudesta normaaleissa tieolosuhteissa.

- Suuremmilla nopeuksilla kulutus kasvoi varsin voimakkaasti ollen nopeudella 120 km/h lähes $4 \frac{1}{100}$ km suurempi kuin nopeudella 80 km/h.
- Alle 70 km/h nopeuksilla tutkimuksen mukaan polttoaineenkulutus kasvoi, mikä johtui todennäköisesti toisaalta ajo-nopeuden suuremmista vaihteluista, toisaalta pienemmällä vaihteella ajamisesta.

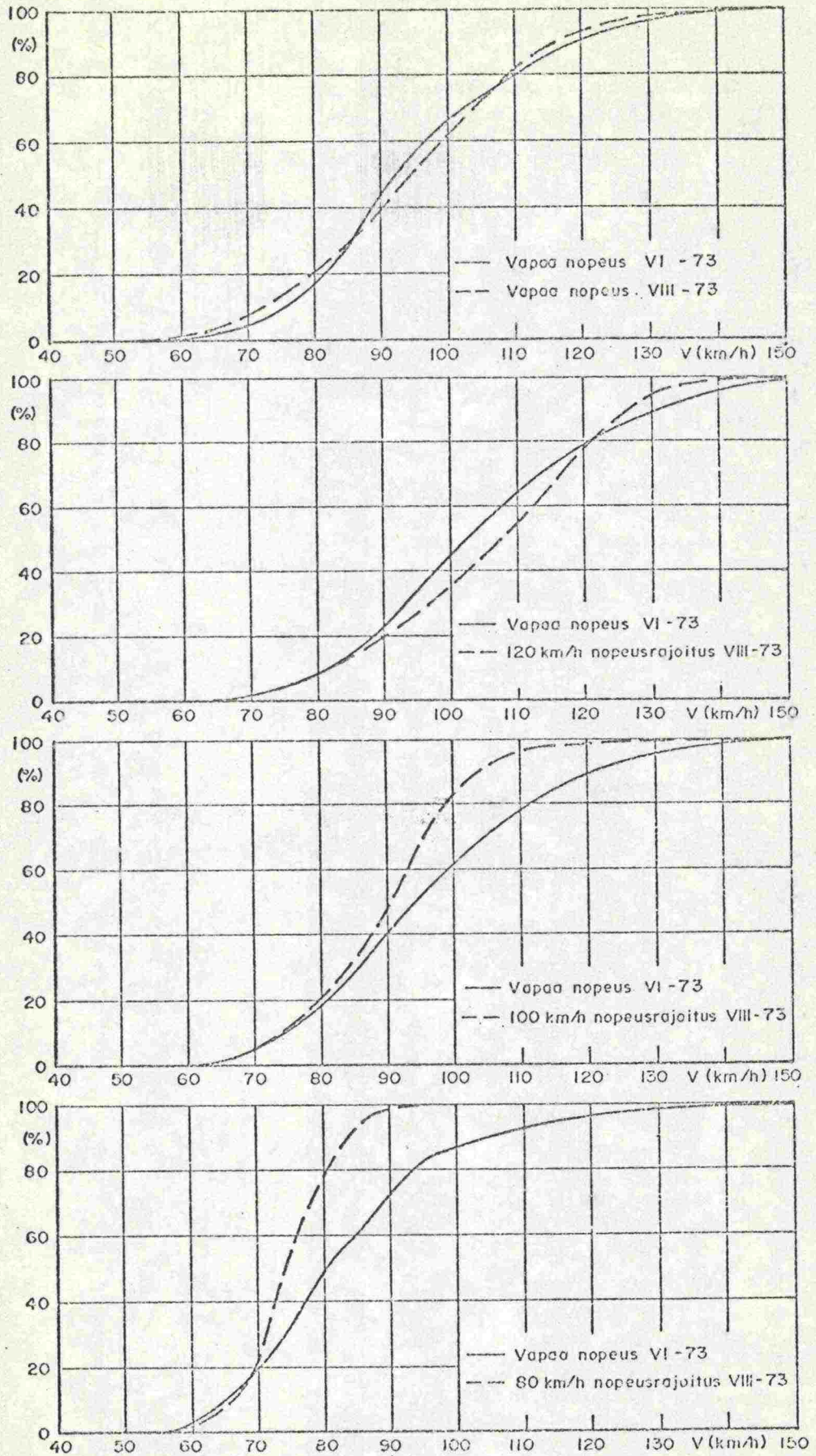
Hieman parempi, mutta epäkäytännöllisempi malli saatiin käyttämällä nopeuden kuutiota ja käänteisarvoa selittäjinä. Sen sijaan potenssifunktio ei soveltunut käytettäväksi tähän tarkoitukseen.

3.24 Tiekohtainen nopeusrajoitusjärjestelmä

Henkilöautojen keskinopeus alentui tiekohtaisten nopeusrajoitusten vaikutuksesta. Vähennystä on tapahtunut etenkin 80 km/h ja 100 km/h rajoitusalueilla. TVH:n tarkkailevan nopeustutkimuksen aineistosta (kuva 7) ilmeni, että nopeudet olivat myös tasoittuneet hajonnan pienetessä.

Kuvien 6 ja 7 avulla voidaan laskea henkilöautojen nopeusjakaumalla painotettu keskimääräinen polttoaineenkulutus ennen rajoitusten voimaantuloa sekä niiden aikana. Vertailukuukausiksi valittiin kesäkuu ja elokuu, koska nopeuksien kuukausivaihteluiden perusteella nopeudet vastasivat normaaliolosuhteissa tällöin hyvin toisiaan.

Taulukossa 1 on esitetty em. polttoaineenkulutuksen keskiarvot. Luvut on laskettu kesällä 1973 vallinneiden nopeusrajoitusten perusteella, eikä niitä voida käyttää muiden nopeusrajoitusten vaikutuksien arvioimiseen.



Kuva 7. Henkiläautojen nopeuden summakäyrät kesä- ja elokuussa -73

Taulukon 1 perustana olevien nopeushavaintojen keskiarvot olivat rajoitusten tullessa voimaan muuttuneet rajoitusalueella 80 km/h arvosta 83.9 km/h arvoon 75.8 km/h, rajoitusalueella 100 km/h vastaavasti arvosta 97.1 km/h arvoon 90.8 km/h. Rajoitusalueella 120 km/h keskiarvo oli noussut arvosta 105.0 km/h arvoon 106.5 km/h.

Taulukko 1. Kevyen ajoneuvon polttoaineenkulutus (l/100 km) ennen tiekohtaisten nopeusrajoitusten voimaantuloa ja niiden jälkeen sekä rajoitusten aiheuttama muutos prosentteina.

Tutkimuksen ajanjakso	Polttoaineenkulutus (l/100 km) eri nopeusrajoitusarvoja vastaavilla tieosilla		
	80	100	120
Kesäkuu 1973 (Vapaa nopeus)	8.47	9.23	10.11
Elokuu 1973 (Rajoitus voimassa)	7.99	8.46	10.15
Rajoitusten aiheuttama muutos prosenteissa	-5.7 %	-8.3 %	+0.4 %

Taulukon 1 perusteella voidaan päätellä:

- Tiekohtainen nopeusrajoitus 80 km/h on vaikuttanut selvästi polttoaineenkulutukseen, vähennys noin 5.7 %. Muutos johtuu etenkin suurimpien nopeuksien laskusta.
- Tiekohtaisen nopeusrajoituksen 100 km/h aiheuttama vähennys on n. 8.3 %. Vähennyksen suuruus johtuu siitä, että nopeusjakautuman valtaosa on kulutuskäyrän nousevalla osalla, jolloin pienikin nopeuden lasku tuntuu selvästi.
- Tiekohtainen nopeusrajoitus 120 km/h ei sen sijaan ole vähentänyt polttoaineenkulutusta, mikä johtuu siitä, että keskinopeus on jopa hiukan noussut. Polttoaineenkulutus olisi tämän tutkimuksen mukaan noussut hieman eli 0.4 %, mutta muutos ei ole tilastollisesti merkitsevä.

Taulukko 1 kertoo vain sen, minkä ajoneuvon nopeuden lasku vaikutti polttoaineenkulutukseen. Nopeusrajoitusten vaikutus oli ilmeisesti kuitenkin suurempi, koska tämän tutkimuksen perusteella liikenteessä esiintyvät häiriöt olivat vähentyneet. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää myös nämä välilliset vaikutukset, mutta lämpötilan muutoksista ja auton huollosta johtuen niitä oli mahdotonta selvittää.

3.25 Tien geometria

Tarkasteltavina tekijöinä on käytetty samoja kuin ajonopeutta koskevassa osassa.

Päällysteen laadulla ei todettu olevan vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Päällysteen kunnan arvosanan noustessa yhdellä laski polttoaineenkulutus tämän tutkimuksen mukaan 0.33 l/100 km, mikä muutos oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Tien leveyden kasvaessa metrillä laski polttoaineenkulutus 0.04 l/100 km, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Pientareen leveydellä ei todettu olevan vaikutusta polttoaineenkulutukseen.

Mäkisyyden ja kaarteisuuden vaikutusta ei pystytty selvittämään tietojen puutteellisuuden vuoksi.

Näkemien parantuaessa väheni polttoaineenkulutus 300 metrin näkemäprosentin parantuaessa 10 yksikköä oli vähennys 0.06 l/100 km muutoksen ollessa tilastollisesti merkitsevä. 460 metrin näkemille ei saatu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta.

3.26 Liikennetiheys

Liikennetiheyden kasvaessa lisääntyi polttoaineenkulutus. Kohtaavien ajoneuvojen määrän lisääntyessä yhdellä ajoneuvolla kilometriä kohti kasvoi polttoaineenkulutus 0.03 l/100 km.

Muutos oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Ohitettujen ajoneuvojen määrän kasvaessa yhdellä ajoneuvolla 5 kilometriä kohti, oli kulutuksen kasvu 0.14 l/100 km. Muutos oli tällöinkin erittäin merkitsevä.

Vastaava muutos ohittaneiden ajoneuvojen määrässä aiheutti 0.09 l/100 km kasvun polttoaineenkulutuksessa, muutoksen ollessa tilastollisesti melkein merkitsevä.

3.27 Jonossa-ajo

Jonossa-ajon vaikutus polttoaineenkulutukseen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Tieosalla, joka oli ajettu kokonaan jonossa oli kulutus keskimäärin 0.66 l/100 km suurempi kuin vapaissa olosuhteissa.

3.3 Kaupunkien väliset matka-ajat

Tavoitenopeutena käytettiin matka-aika mittauksissa 100 km/h, joka oli varsin lähellä henkilöautojen keskinopeutta vapaissa olosuhteissa.

Taajamat ja liikenteen aiheuttamat häiriöt huomioon ottaen saatiin keskimääräiseksi matkanopeudeksi 83.0 km/h.

Liikenneministeriön tutkimuksessa "Liikenteen nykytilan inventointi, raportti 3" on henkilöautoliikenteen matka-ajat kaupunkikeskusten välillä laskettu oletetulla matkanopeudella 84 km/h.

Taulukossa 2 on esitetty liikenneministeriön raportin mukaiset sekä tästä tutkimuksesta ennen rajoitusten voimaantuloa sekä niiden aikana mitatut matka-ajat tunteina henkilöautolla eri kaupunkiväleillä.

Taulukosta käy ilmi, että liikenneministeriön laskelmat ovat varsin tarkat, suurin ero on Jyväskylä-Oulu välillä 0.4 tuntia.

Tiekohtainen nopeusrajoitus ei vaikuttanut matka-aikoihin, koska tavoitenopeutena oli 100 km/h, mikä oli myös yleisin rajoitusarvo tutkituilla tiejaksoilla.

Koska tavoitenopeus 100 km/h vastaa varsin hyvin liikenteen keskinopeutta vapaissa olosuhteissa, tapahtui matka-aikojen kasvua ainoastaan nopeimpien ajoneuvojen osalta.

Taajamien vaikutus ajonopeuteen oli erittäin suuri. Kesä- ja heinäkuun suurempien liikennemäärien takia oli ajonopeus taajamissa selvästi alhaisempi kuin elo- ja syyskuussa, minkä takia matka-aika jopa laski eräillä tutkimusväleillä nopeusrajoitusten voimassaoloaikana.

3.4 N o p e u s r a j o i t u s t e n v a i k u t u s a j o k u s t a n n u k s i i n

Tässä luvussa kiinnitetään huomio vain kevyen ajoneuvon ajokustannuksiin, mikä johtuu siitä että raskailla ajoneuvoilla ei ole suoritettu mittauksia, ja koska nopeusrajoitusten vaikutus raskaiden ajoneuvojen nopeuksiin on huomattavasti pienempi.

3.41 Aikakustannukset

Aikakustannusten lähtökohtana on ajan arvo, joka tässä tapauksessa on oletettu kevyelle tyyppiajoneuville 6.42 mk/h. Arvo on saatu vuoden 1970 arvosta 6.05 mk/h käyttäen vuotuisena kasvuna 2 %.

Tiekohtaisen rajoituksen vaikutus voidaan vapaissa olosuhteissa laskea suoraan keskinopeuden muutoksen avulla. Taulukossa 3 on esitetty kevyen tyyppiajoneuvon aikakustannukset sekä niiden muutos kilometriä kohti penneinä.

Taulukko 2. Kaupunkien väliset matka-ajat (h) eri tutkimusten mukaan

Kaupunkiväli	Liikenneminis- teriön raport- ti	Ennen tiekohtais- ten rajoitusten voimaantuloa suo- ritetut mittauk- set	Tiekohtaisten rajoitusten voimassaoloai- kana suorite- tut mittaukset
Helsinki-Turku	1.9	2.0	2.1
Helsinki-Pori	2.7	2.7	2.8
Hämeenlinna-Tampere	0.8	0.9	0.9
Helsinki-Lahti	1.2	1.5	1.4
Lahti-Jyväskylä	2.1	2.1	2.0
Jyväskylä-Oulu	4.0	-	3.6
Oulu-Rovaniemi	2.6	-	2.5
Lahti-Mikkeli	1.5	-	1.6
Mikkeli-Kuopio	1.9	-	1.8
Kuopio-Kajaani	2.0	-	2.0
Helsinki-Kouvola	1.6	1.8	1.9
Kouvola-Lappeenranta	1.0	1.0	0.9
Lappeenranta-Joensuu	2.7	2.6	2.6
Pori-Vaasa	2.2	2.2	2.1
Turku-Tampere Vt 9	1.9	1.8	1.8
Turku-Tampere Kt 41	-	1.9	1.9
Jyväskylä-Kuopio	1.8	1.9	1.8
Kuopio-Joensuu	1.6	-	1.5

Taulukko 3. Kevyen tyyppiajoneuvon aikakustannukset (p/ajon.km) sekä rajoitusten aiheuttama muutos.

Tutkimuksen ajanjakso	Aikakustannus p/ajon.km) eri nopeusrajoitusarvoja vastaavilla tieosilla		
	80	100	120
Kesäkuu 1973 (Vapaa nopeus)	7.65	6.61	6.11
Elokuu 1973 (Rajoitus voimassa)	8.47	7.07	6.03
Rajoituksen aiheuttama muutos	+0.82	+0.46	-0.08

Taulukossa 3 esitetyt aikakustannukset pitävät paikkansa vain geometrialtaan hyvissä tieolosuhteissa. Pitemmällä tieosuksella on taajamien vaikutus aikakustannuksiin ratkaiseva.

3.42 Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannukset verollisina voidaan laskea polttoaineenkulutuksen perusteella kevyen ajoneuvon osalta kaavasta

$$Ank = [1.277 + (V-1970) \cdot 0.0101] p + [6.84 + (V-1970) \cdot 0.350],$$

missä

Ank = kevyen ajoneuvon ajoneuvokustannukset

V = vuosi

p = polttoaineenkulutus l/100 km

Vastaava kaava mikäli verot jätetään pois on

$$Ank = [0.789 + (V-1970) \cdot 0.0047] p + [4.13 + (V-1970) \cdot 0.160]$$

Taulukossa 4 on esitetty ajoneuvokustannukset (p/ajon.km) verollisina ja taulukossa 5 vastaavat arvot verottomina.

Taulukoissa on lisäksi laskettu nopeusrajoitusten aiheuttama muutos ajoneuvokustannuksiin.

Taulukko 4. Kevyen ajoneuvon ajoneuvokustannukset verollisina (p/ajon.km) sekä rajoitusten aiheuttama muutos.

Tutkimuksen ajanjakso	Ajoneuvokustannus (p/ajon.km) eri nopeus- rajoitusarvoja vastaavilla tieosilla		
	80	100	120
Kesäkuu 1973 (Vapaa nopeus)	18.96	19.96	21.11
Elokuu 1973 (Rajoitus voimassa)	18.34	18.95	21.16
Rajoituksen aiheut- tama muutos	-0.62	-1.01	+0.05

Taulukko 5. Kevyen ajoneuvon ajoneuvokustannukset verottomina (p/ajon.km) sekä rajoitusten aiheuttama muutos.

Tutkimuksen ajanjakso	Ajoneuvokustannus (p/ajon.km) eri nopeus- rajoitusarvoja vastaavilla tieosilla		
	80	100	120
Kesäkuu 1973 (Vapaa nopeus)	11.41	12.02	12.73
Elokuu 1973 (Rajoitus voimassa)	11.03	11.40	12.76
Rajoitusten aiheut- tama muutos	-0.38	-0.62	+0.03

3.43 Onnettomuuskustannukset

Nopeusrajoitusten on useissa tapauksissa todettu vaikuttavan onnettomuuksia vähentävästi, mutta tällöin on lähinnä olleet kysymyksessä paikalliset nopeusrajoitukset. Tiekohtaisen nopeusrajoituksen vaikutuksesta onnettomuuksiin ei ole kuitenkaan

toistaiseksi riittävästi tietoa, joten ne on jätetty pois laskelmista. Suuruusluokan selvittämiseksi voidaan keskimääräiseksi onnettomuuskustannukseksi v. 1973 arvioida n.45270 mk, ja kun onnettomuustiheys tutkimuksessa mukana olleilla valta- ja kantateilla on n. 1.20 Onn/milj.ajon.km, saadaan keskimääräiseksi onnettomuuskustannukseksi 5.43 p/ajon.km.

3.44 Ajokustannukset

Yhdistämällä kevyen ajoneuvon aika- ja ajoneuvokustannukset saadaan määriteltäviä ajokustannuksissa tapahtuneet muutokset. Nämä voidaan laskea joko verollisina tai verottomina, riippuen siitä tarkastellaanko asiaa ajoneuvon omistajan vai yhteiskunnan kannalta. Taulukossa 6 on esitetty nopeusrajoitusten aiheuttama muutos ajokustannuksiin (p/ajon.km).

Taulukko 6. Kevyen ajoneuvon ajokustannukset verollisina ja verottomina (p/ajon.km) sekä rajoitusten aiheuttama muutos.

Tutkimuksen ajajakso	Ajokustannus (p/ajon.km) eri nopeusrajoitusarvoja vastaavilla tieosilla					
	Verolliset kustannukset			Verottomat kustannukset		
	80	100	120	80	100	120
Kesäkuu 1973 (Vapaa nopeus)	26.61	26.57	27.22	19.06	18.63	18.84
Elokuu 1973 (Rajoitus voimassa)	26.81	26.02	27.19	19.50	18.47	18.79
Rajoitusten aiheuttama muutos	+0.20	-0.55	-0.03	+0.44	-0.16	-0.05

Taulukon 6 perusteella voidaan päätellä, että tiekohtaisista nopeusrajoituksista etenkin 100 km/h on alentanut ajokustannuksia, kun taas rajoitus 80 km/h on nostanut niitä. Rajoituksella 120 km/h ei ole ollut merkittävää vaikutusta ajokustannuksiin.

4. YHTEENVETO

Tutkimuksessa on käynyt ilmi, että tiekohtainen nopeusrajoitus on vaikuttanut selvästi ajoneuvojen nopeuteen sekä polttoaineenkulutukseen. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu tielannetta, jossa tieosalle, jolla aikaisemmin ei ole ollut nopeusrajoitusta, määrätään tien geometriasta ja liikennemäärästä riippuva nopeusrajoitus. Tutkimustulokset soveltuvat vain em. perusteiden määrättyille tiekohtaisille nopeusrajoituksille.

Tiekohtaisten nopeusrajoitusten vaikutus ajokustannuksiin riippui ennen kaikkea tiellä aikaisemmin vallinneesta keskinopeudesta.

Tämän tutkimuksen aineiston perusteella vaikuttaa siltä, että tiekohtainen nopeusrajoitus 80 km/h olisi lisännyt ajokustannuksia kevyen tyyppiajoneuvon osalta 0.20 p/ajon.km. Luvussa ovat mukana verot. Tiekohtainen nopeusrajoitus 100 km/h olisi sen sijaan alentanut kevyen tyyppiajoneuvon ajokustannuksia 0.55 p/ajon.km. Tiekohtaisen nopeusrajoituksen 120 km/h ei todettu vaikuttaneen merkittävästi ajokustannuksiin.

Tutkittaessa ajonopeuden ja polttoaineenkulutuksen riippuvuutta eri tekijöistä, huomattiin, että tie- ja liikenneolosuhteita kuvaavista selittäjistä olivat parhaimmat päällysteen kuntoa, näkemäprosentteja, liikennetiheyttä, ohituksia sekä jonossa-ajoa kuvaavat muuttujat.

Kaupunkien välisten matka-aikojen todettiin riippuvan suurelta osin taajamien määrästä ja niiden liikennejärjestelyistä, eikä tiekohtaisen nopeusrajoituksen todettu vaikuttaneen merkittävästi matka-aikoihin ajettaessa liikenteen keskinopeudella.

KIRJALLISUUTTA

Ajokustannuslaskelmien uusista perusteista. Moniste. TVH/
teknillistaloudellinen toimisto 1.4.1972

Sainio S.: Ajokustannukset katuverkossa. TVH n:o 2.826
Helsinki 1970

Nopeusrajoitusten vaikutuksesta liikenteen ajokustannuksiin.
Moniste. TVH/teknillistaloudellinen toimisto.Helsinki 26.6.1972

Liikenteen nykytilan inventointi,raportti 3. Liikenneministeriö
Liikennesuunnitteluosaston julkaisuja N:o 3/1972.Helsinki
18.12.1972

Smeds G.: Henkilöauton polttoaineenkulutus- ja ajoaikatutki-
muksia ajoanalysointorilla. Diplomityö TKK 1968

Tarkkaileva nopeustutkimus. Nopeuksien kehitys ja nopeusrajoit-
tusten vaikutus nopeuksiin. TVH n:o 2.368. Helsinki 31.5.1974

Tiekohtaisen nopeusrajoituksen vaikutus ajonopeuksiin, jono-
hin ja ohituksiin. TVH n:o 2.369. Helsinki 31.5.1974

Oy Nokia Ab: Ajoanalysointori PP 6300, toimintaseloste

Kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyky. Tutkim.v.1972.
TVH n:o 2.396. Helsinki 17.4.1973

Karvonen P.: Kelirikkoiteiden liikennekustannukset. TVH
n:o 2.393. Helsinki 5.1.1973

Wahlgren O.: Ajoneuvojen nopeuksien riippuvuus eri tekijöistä
- erityisesti tien geometriasta - Suomen 2-kaistaisilla maan-
teillä. TVH Tieolosuhteet ja liikenneturvallisuus. Tiedotus-
lehti n:o 4. Helsinki 15.9.1967

STS: Tilastomatematiikan perusteet II. Täydennyskoulutus-
kurssi N.o 46. Helsinki 1964.

Vasama P-M, Vartia Y.: Johdatus tilastotieteeseen osa II.
2 painos. Helsinki 1973