SORATIEN KULUTUSKERROKSEN KUNNOSSAPITO-TOIMENPITEEN VALINTA

VÄLIRAPORTTI

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS 1979

08
TIE-

80 193

ALKUSANAT

Tie- ja vesirakennushallitus asetti 14.8.1978 kirjeellään TVH 0/Kp-88 työryhmän selvittämään sorateiden kulutuskerroksen kunnossapitotoimenpiteen valintaa.

Nyt julkaistava esiraportti perustuu olemassa olevaan tietoon niin ajo-, hoito- ja kunnossapitokustannusten kuin rakenteiden hintojen osalta. Nämä tiedot tarkistetaan kesän ja syksyn aikana tehtävien mittausten ja saatavien kokemusten perusteella. Työn loppuraportti julkaistaan joulukuussa 1979.

Työryhmään ovat kuuluneet tämän työn osalta tekn.tri A. Saarela (puheenjohtaja), dipl.ins. M. Kuitunen 31.3.1979 saakka sekä toimistoinsinöörit M. Jokinen, K. Pipinen, M. Reihe ja M. Ruuti (sihteeri).

YHTEENVETO

Kestääkseen liikenteen rasitukset tulee teiden saavuttaa seuraavat kunnossapitoluokittain ilmoitetut kevätkantavuusarvot (MN/m^2):

Kunnossapitoluokka	Päällyste ja kevätkantavuus
7	sora(70) tai öljysora(100)
6	sora(80) tai öljysora(110)
5	sora(80) tai öljysora(110)
4	sora(90) tai öljysora(120)
3	öljysora(130) tai asfalttibetoni(170)

Soratien päällystäminen öljysoralla tai asfalttibetonilla tulee kannattavaksi seuraavilla liikennemäärillä (kuva a.):

$KVL_{ÖS} = 60 + 6 \cdot X \qquad (X \geq 10 \text{ cm})$

$KVL_{AB} = 110 + 4 \cdot X \qquad (X \geq 10 \text{ cm})$

missä

$KVL_{ÖS}$ = Öljysoran kannattavuusraja (ajoneuvoa)

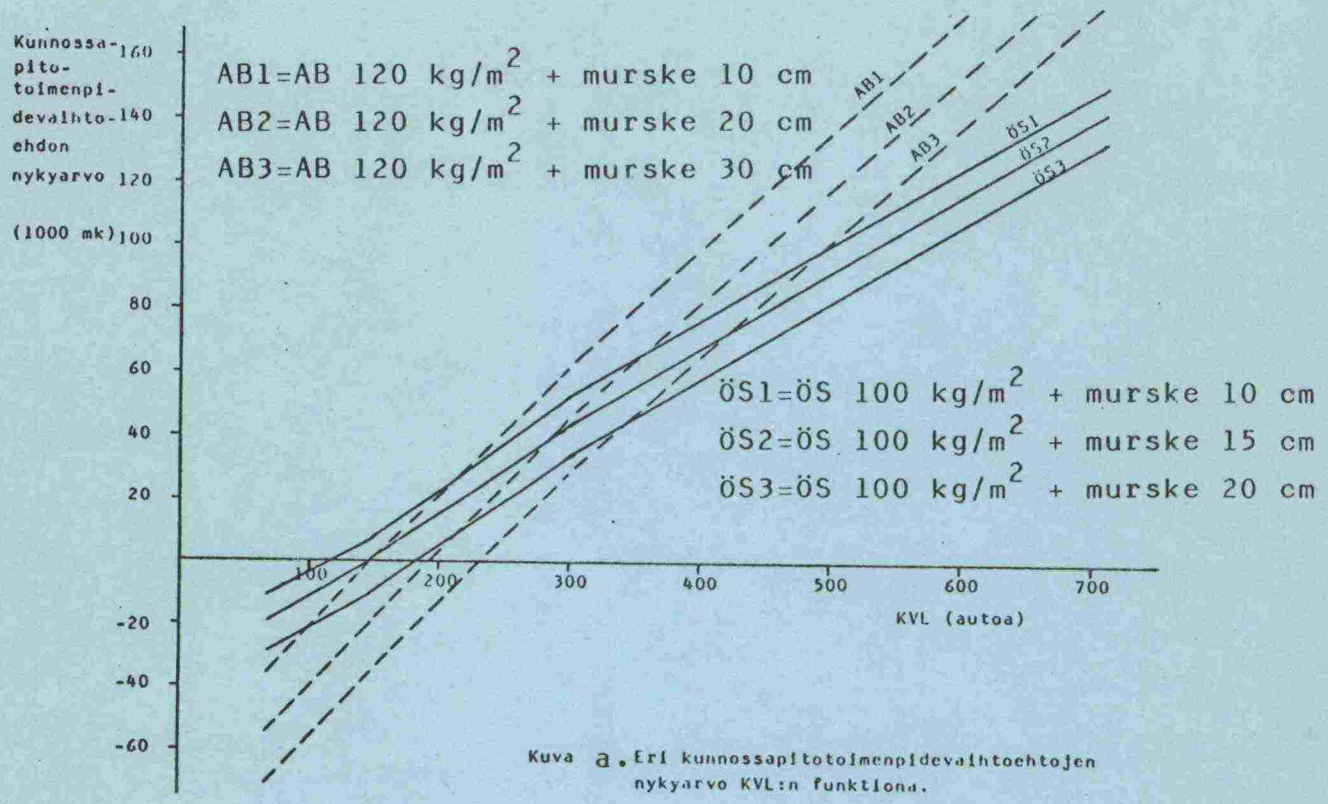
KVL_{AB} = Asfalttibetonin kannattavuusraja (ajoneuvoa)

X = Lisättävän kantavan kerroksen paksuus (cm)

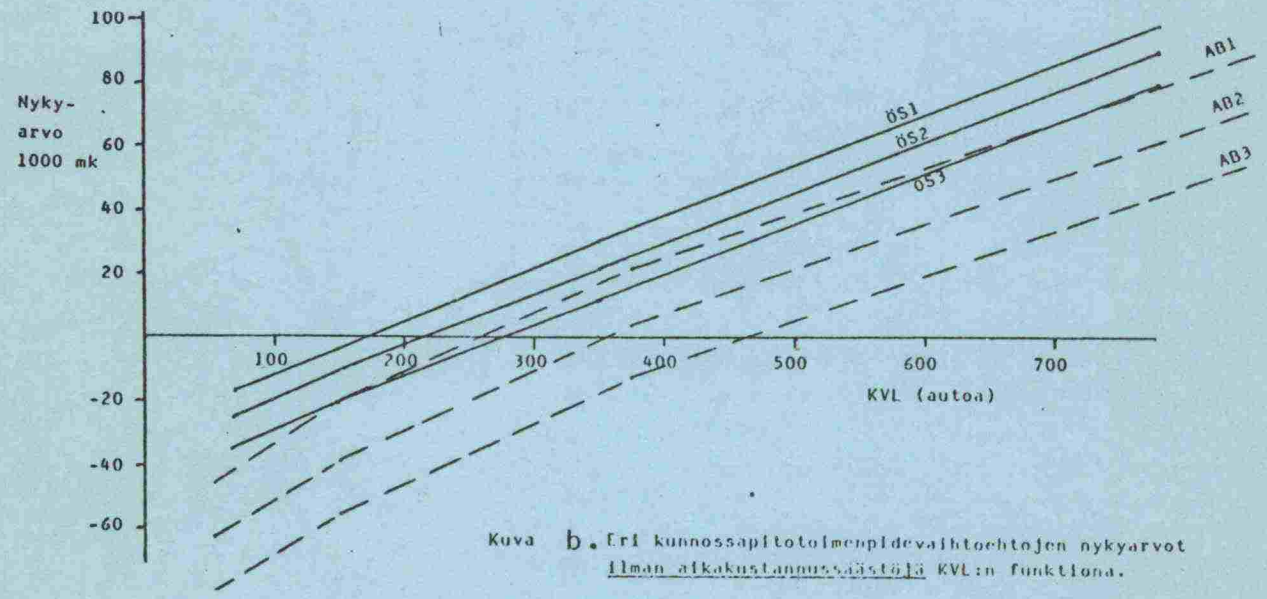
Kannattavuusrajaa voidaan tarkastella myös kunnossapitoluokittain. Tällöin soratien päällystäminen öljysoralla tai asfalttibetonilla on kannattavaa kunnossapitoluokissa 5, 4 ja 3. Tämän lisäksi öljysorapäällyste on kunnossapitoluokassa 6 myös kannattava toimenpide, jos se voidaan tehdä lisäämällä kantavaa kerrosta enintään 10 cm.

Esitetyt tulokset perustuvat tällä hetkellä olemassa olevaan kustannustietouteen, mikä ajokustannusten osalta on epävarminta. Lähtötiedot tullaan tarkistamaan vielä tämän vuoden aikana julkaistavaan loppuraporttiin.

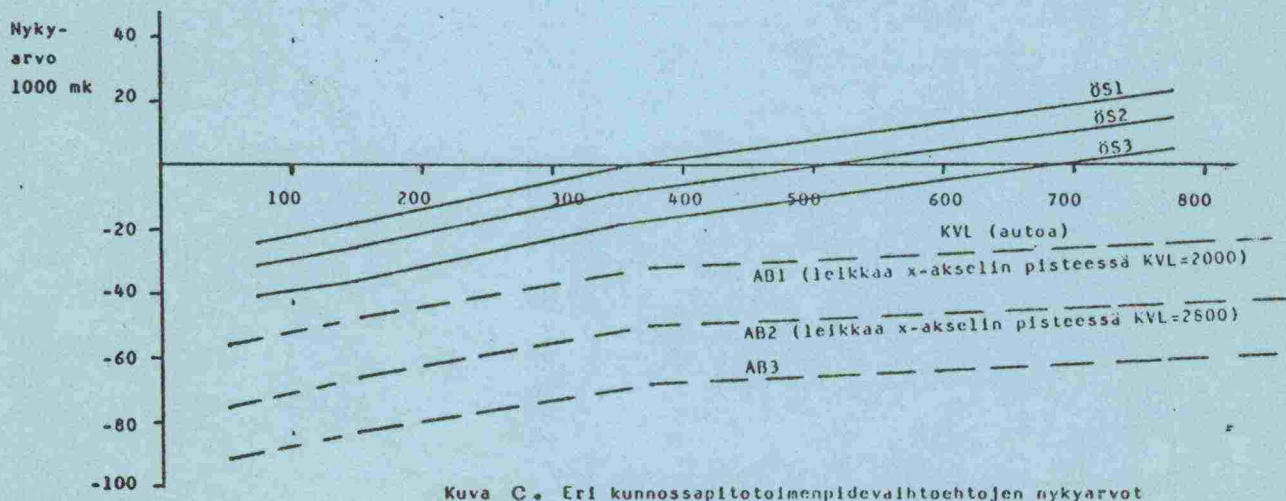
Oheisena esitetään päällystämisen edullisuutta KVL:n funktiona sen mukaan miten ajoneuvokustannukset on huomioitu:



Kuva a. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvo KVL:n funktiona.



Kuva b. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvot ilman ajokustannussäästöjä KVL:n funktiona.



Kuva C. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvot ilman ajokustannussäästöjä KVL:n funktiona.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

YHTEENVETO

1. TAVOITE 1

2. YLEISTEN TEIDEN PITUUS PÄÄLLYSTETYYPEITTÄIN 1

3. TIEN TAVOITEKANTAVUUS 3

4. PÄÄLLYSRAKENTEEN MITOITUS 4
4.1 Mitoitusperiaatteet 4
4.2 Mitoituksen mukaiset päällysrakenteet 9

5. PÄÄLLYSRAKENNEVAIHTOEHDOT 12

6. KUSTANNUSSELVITYKSET 14
6.1 Päällysrakenteiden rakentamiskustannukset 14
6.2 Kunnossapitokustannukset 15
6.3 Ajokustannukset 24

7. KUNNOSSAPITOTOIMENPITEEN VALINTA 35

1. TAVOITE

Soratien kunnossapitotoimenpiteeksi on valittu seuraavat kolme vaihtoehtoa:

1. Säilytetään soratie soratienä
2. Päällystetään soratie öljysoralla tai muilla keveillä päällysteillä
3. Päällystetään soratie kestopäällysteellä

Tavoitteena on selvittää millä liikennemäärillä edellä mainitut vaihtoehdot tulevat edullisiksi. Tuloksena esitetään liikennemäärärajat, jotka edellyttävät soratien päällystämistä kevyt- tai kestopäällysteellä.

Tämän selvityksen tuloksia voi käyttää hyväksi tiepiireissä soratien kunnossapitotoimenpidettä valittaessa. Tuloksia voidaan käyttää myös apuna tehtäessä sekä valtakunnallisia että eri piirien sorateiden hoito-, ylläpito- ja kehittämissuunnitelmia.

2. YLEISTEN TEIDEN PITUUS PÄÄLLYSTETYYPEITTÄIN

Maassamme oli 1.1.1978 yleisiä teitä 73 965 km, joista sorapäällysteisiä teitä oli 42 086 km eli noin 57 %.

Taulukkoon 1 on merkitty kunnossapitoluokittain sora-, kevyt- ja kestopäällysteteiden pituudet. Kevytpäällysteisistä teistä 92 % on päällystetty öljysoralla ja 8 % bitumiliuossoralla. Kestopäällysteisistä teistä 97 % on päällystetty asfalttibetonilla, 2 % bitumisoralla ja 1 % muilla päällysteillä (sementtibetoni, asfalttibetonin sirotepintaus, öljysoran sirotepintaus, bitumiliuossoran sirotepintaus). Taulukkoon 2 on merkitty eri päällystetyyppien prosenttijakautuma kussakin kunnossapitoluokassa.

Taulukko 1. Tiepituudet eri kunnossapitoluokissa 1.1.1978

Kunnossa-pito-luokka	Päällyste			Yleiset tiet yhteensä
	SR	Kevyt	Kesto	
1	-	-	271	271
2	1	-	652	653
3	92	503	6 243	6 838
4	1 224	7 175	4 343	12 742
5	10 264	8 142	528	18 934
6	15 414	2 793	58	18 265
7	14 419	898	28	15 345
puuttuu	674	147	100	921
1 - 7	42 086	19 658	12 221	73 965

Taulukko 2. Tiepituuksien prosenttijakautumat eri kunnossapitoluokissa 1.1.1978

Kunnossa-pito-luokka	Päällyste			Yleiset tiet yhteensä
	SR	Kevyt	Kesto	
1	-	-	100	100
2	0	-	100	100
3	1	7	92	100
4	10	56	34	100
5	54	43	3	100
6	84	16	0	100
7	94	6	0	100
1 - 7	57	27	16	100

Soratiet kuuluvat yhtä tiekilometriä lukuun ottamatta kunnossapitoluokkiin 3 - 7, joihin tämän selvityksen tarkastelut rajataan. Kunnossapitoluokat 3 - 7 määräytyvät liikennemäärien perusteella seuraavasti:

KVL (ajoneuvoa)	Kunnossapitoluokka
0 - 100	7
101 - 200	6
201 - 500	5
501 - 1 500	4
1 501 - 6 000	3

Vuonna 1977 kunnossapitoluokissa oli taulukon 3 mukaiset keskimääräiset liikennemäärät.

Taulukko 3. Keskimääräinen KVL eri kunnossapitoluokissa päällystetyypeittäin

Kunnossa-pitoluokka	Keskimääräinen KVL		
	Soratie	ÖS	AB
7	66	70	54
6	143	153	156
5	293	345	376
4	708	781	1 030
3	2 473	1 985	2 771

3. TIEN TAVOITEKANTAVUUS

Tien kantavuus muodostuu alusrakenteena olevan nykyisen tien ja rakennettavan päällysrakenteen kantavuuksien summasta. Tiensuunnittelutoimistossa on tekeillä rakenteiden mitoittamista koskevat suunnitteluohjeet, joissa esitetään

kuormituskertaluvun funktiona nykyisen tarpeen mukaiset teiden kantavuusarvot. Nämä kantavuusarvot (MN/m^2) on merkitty taulukkoon 4.

Taulukko 4. Tavoitekantavuudet eri kuormituskertaluvuilla (kevätkantavuuksia)

Kuormituskertaluku	E_2 arvot (MN/m^2)		
	SR	ÖS	AB
10^4	70		
$3 \cdot 10^4$	80	110	
10^5	90	120	
$3 \cdot 10^5$		130	165
10^6		140	200
$3 \cdot 10^6$			300

Työryhmän käsityksen mukaan taulukon 4 mukaisia kantavuuksia eri suuruisilla kuormituskertaluvun arvoilla voidaan pitää riittävän korkeina tyydyttämään liikenteen tarpeet. Kyseisiä kantavuusarvoja käytetään tällä perusteella tavoitekantavuuksina.

4. PÄÄLLYSRAKENTEEN MITOITUS

4.1 Mitoitusperiaatteet

Tien päällysrakenne mitoitetaan kestämään tietty määrä kuormituskertoja valitun laskenta-ajanjakson aikana. Normaalisti kuormituskertaluku lasketaan 20 vuodelle, mutta

nykyisen tietämyksen mukaan tämä johtaa huomattavaan ylimitoitukseen. Tässä selvityksessä kuormituskertaluku lasketaan 10 vuodelle, minkä tiedetään vielä sisältävän jonkin verran varmuusvaraa rakenteessa.

Rakenne saavuttaa kriittisen ikänsä juuri ennen uusintapäällystystä, joka tapahtuu noin 5 - 13 vuotta ensimmäisen päällysteen tekemisestä. Tien rakenteen tuleekin kestää rikkoutumatta se rasitus, mikä siihen kohdistuu ennen uusintapäällystystä. 10 vuodelle laskettu kuormituskertaluku täyttää yleensä tämän vaatimuksen. Tieosilla saattaa olla sellaisia heikkoja kohtia, jotka eivät kestä liikenteen kuormitusta uusintapäällystykseen asti. Tällaiset heikot kohdat pitää käsitellä erikseen, joko rakennusvaiheessa tai myöhemmin korjaamalla. Tietä ei kuitenkaan pidä mitoittaa sen heikoimman kohdan mukaan, mikä johtaisi raskaisiin rakenteisiin ja ylimitoitukseen.

Kuormituskertaluvun laskemisessa on liikenteen osalta tehty seuraavat kasvuoletukset:

Henkilöautoliikenne	+3 %/v
Linja-autoliikenne	+1 %/v
Perävaunuttomat kuorma-autot	+1 %/v
Perävaunuyhdistelmät	+0,5 %/v

$$K_{t_o-t_n} = 365\,(t_n-t_o)/2 \cdot m\,\big[E'(KVL'_{t_o} + KVL'_{t_n}) + E''(KVL''_{t_o} + KVL''_{t_n}) + E'''(KVL'''_{t_o} + KVL'''_{t_n})\big]$$

$K_{t_o-t_n}$ = Kuormituskertaluku vuosien t_o ja t_n välillä

t_o = alkuvuosi

t_n = mitoituskauden viimeinen vuosi

m = vakiokerroin = 1 (yksiajoratainen alle 10 m leveä tie)

E' = 0,0003

E'' = 0,4

E''' = 1

KVL_{t_o} = keskivuorokausiliikenne vuonna t_o

$KVL_{t_n} = k^t \cdot KVL_{t_o}$

$KVL'_{t_n} = 1{,}03^{10} \cdot KVL'_{t_o} = 1{,}34 \cdot KVL'_{t_o}$

$KVL''_{t_n} = 1{,}01^{10} \cdot KVL''_{t_o} = 1{,}10 \cdot KVL''_{t_o}$

$KVL'''_{t_n} = 1{,}005^{10} \cdot KVL'''_{t_o} = 1{,}05 \cdot KVL'''_{t_o}$

$K_{10} = 1825\,(0{,}0007 \cdot KVL'_{t_o} + 0{,}84 \cdot KVL''_{t_o} + 2{,}05 \cdot KVL'''_{t_o})$

Kuormituskertaluku voidaan ilmaista keskimääräisen vuorokausiliikenteen funktiona valitsemalla liikenteelle jokin koostumus. Oheiseen taulukkoon 5 on merkitty raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuudet KVL:stä ja KKVL:stä eri tieluokilla ja päällysteillä. Tiedot perustuvat tierekisterin vuoden 1977 liikenteeseen ja 1.1.1978 tieverkkoon. Raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuus on laskettu eri ajoneuvotyyppien vuorokautisista liikennesuoritteista.

Taulukko 5. Raskaiden ajoneuvojen %-osuus keskivuorokausiliikenteestä ja kesän keskivuorokausiliikenteestä

Tieluokka	% KVL:stä				% KKVL:stä			
	AB	ÖS	SR	YHT	AB	ÖS	SR	YHT
Valtatiet	13.7	11.9	..	13.6	10.0	7.4	..	9.8
Kantatiet	12.6	11.5	11.5	12.5	9.5	7.8	8.3	9.2
Muut mt	10.7	10.6	10.4	10.6	8.8	8.0	8.0	8.3
Paikallistiet	8.3	6.8	9.2	8.5	7.0	5.4	6.8	6.5
Yleiset tiet	12.6	10.2	9.7	11.7	9.5	7.5	7.3	8.8

Raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuus sorateillä on 9.7 % KVL:stä. Mikäli liikenteen kasvu ajoneuvoryhmittäin on tässä luvussa aiemmin esitettyjen prosenttilukujen mukainen tulee raskaiden ajoneuvojen osuus 10 vuodessa laskemaan noin 2 %-yksikköä. Keveiden ja raskaiden ajoneuvojen liikenneosuuksiksi kuormituskertaluvun laskemiseksi on valittu 91 % ja 9 %.

Raskaiden ajoneuvojen kesken on vielä tehtävä jako linja-autojen ja perävaunuttomien kuorma-autojen sekä toisaalla perävaunuyhdistelmien välillä. Tierekisteristä saadaan näiden ajoneuvoryhmien osuuksiksi taulukon 6 mukaiset prosenttiluvut.

Taulukko 6. Perävaunuttomien kuorma-autojen ja linja-autojen prosenttiosuudet raskaiden ajoneuvojen keskivuorokausiliikenteestä ja kesän keskivuorokausiliikenteestä

Tieluokka	KAIP+LA % KVL_r:stä				KAIP+LA % $KKVL_r$:stä			
	AB	ÖS	SR	YHT	AB	ÖS	SR	YHT
Valtatiet	54	58	..	54	56	61	..	56
Kantatiet	62	70	(100)	64	64	73	(89)	65
Muut mt	77	86	94	84	77	86	93	84
Paikallistiet	92	99	98	97	92	98	98	96
Yleiset tiet	61	82	96	69	62	83	96	70

Taulukosta 6 nähdään että perävaunuyhdistelmien osuus raskaiden ajoneuvojen keskivuorokausiliikenteestä sorateillä on keskimäärin 4 %.

Täten saadaan kuormituskertaluvun laskemista varten eri ajoneuvoryhmille seuraavat prosenttiosuudet keskivuorokausiliikenteestä.

Kevyet ajoneuvot	91,00 % KVL:stä
Raskaat ajoneuvot	
- LA+KAIP 96/100 · 9 %	8,64 % KVL:stä
- KAPP+KAVP 4/100 · 9 %	0,36 % KVL:stä

Sijoittamalla nämä kuormituskertaluvun kaavaan saadaan:

$$K_{10} = 147 \cdot KVL_{t_o}$$

Saadulla kaavalla voidaan laskea kuormituskertalukujen arvot eri kunnossapitoluokissa. Tulokset on merkitty taulukkoon 7.

Taulukko 7. Sorateiden kuormituskertaluvut kunnossapitoluokittain

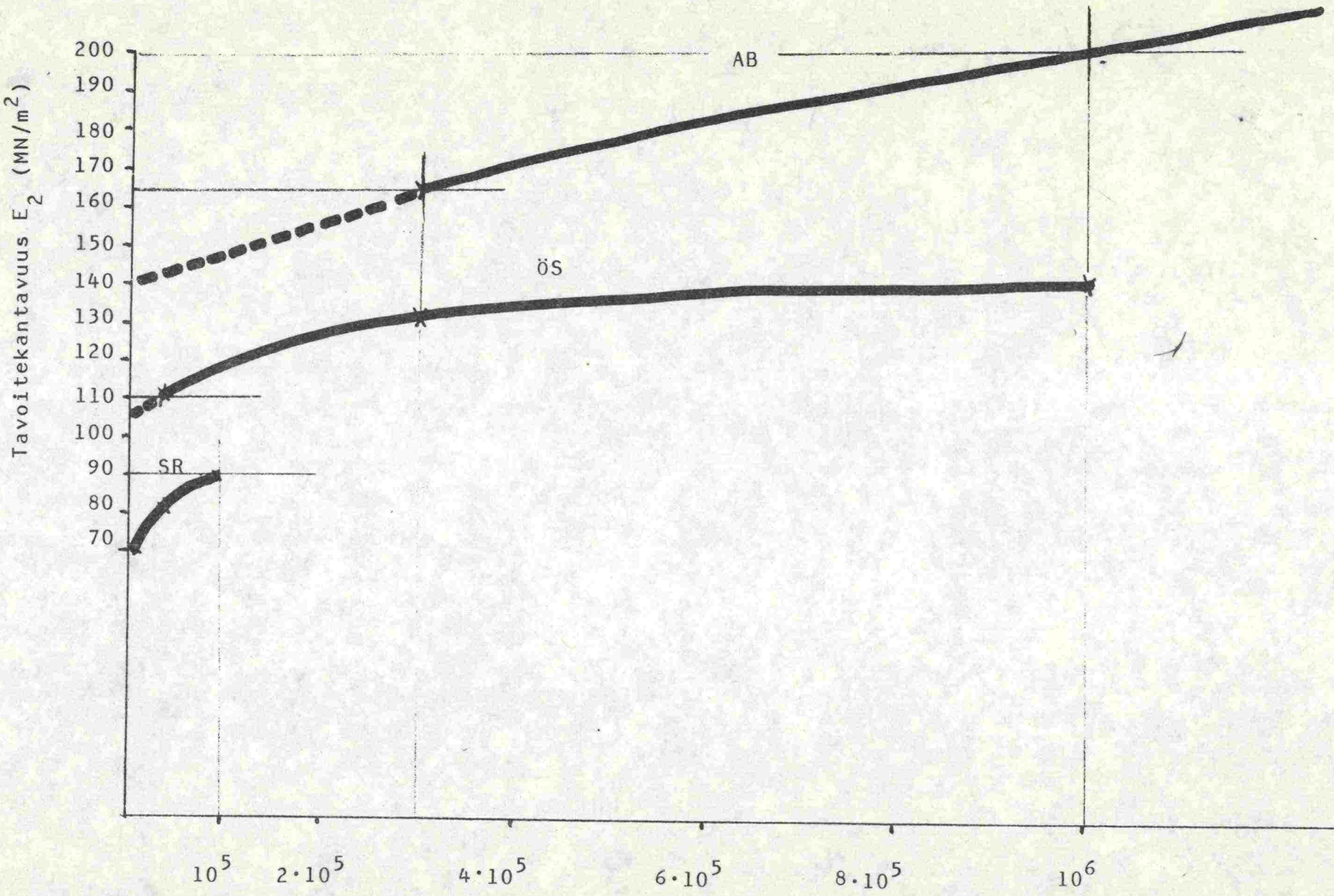
Kunnossapitoluokka	Soratien kuormituskertaluku kp-luokan keskimääräisellä KVL:llä
7	10^4
6	$2 \cdot 10^4$
5	$4 \cdot 10^4$
4	10^5
3	$4 \cdot 10^5$

TVH:ssa piakkoin valmistuvien suunnitteluohjeiden mukaan päädyttäisiin kuormituskertaluvun kaavaan $K_{10} = 114 \cdot KVL_t^{\circ}$. Tämä johtaisi noin 20 % pienempiin kuormituskertalukuihin nykyisellä liikenteen koostumuksella. Muunlaisella liikenteen koostumuksella (KAVP osuus ratkaisevin E = 1,8. Muut E-arvot: HA=0,0003, LA=0,2, KAIP=0,3 ja KAPP=1,0) tilanne olisi jo toisenlainen.

4.2 Mitoituksen mukaiset päällysrakenteet

Tien rakenne mitoitetaan kestämään tietty määrä kuormituskertoja, jotka on laskettu ja ilmoitettu taulukossa 7. Minkälaisia päällysteitä ja kuinka suurta kantavuutta em. kuormituskertalukujen arvot edellyttävät selviää taas taulukosta 4. Taulukon 4 mukaiset tavoitekantavuudet on myös piirretty kuvaan 1 kuormituskertaluvun funktiona päällystetyypeittäin.

Seuraavaan taulukkoon 8 on merkitty mitoituksen mukaiset päällysrakenteet kunnossapitoluokittain kun mitoitus on tehty kunkin kunnossapitoluokan keskimääräisen KVL:n mukaisesti.



Kuva 1 Tavoitekantavuudet (MN/m^2)

Taulukko 8. Päällysrakenne kunnossapitoluokan keskimääräisen KVL:n mukaan mitoitettuna

Kunnossa-pitoluokka	Päällysrakenne: Päällyste ja E_2 (MN/m^2)
7	SR (70) tai ÖS (100)
6	SR (80) tai ÖS (110)
5	SR (80) tai ÖS (110)
4	SR (90) tai ÖS (120)
3	ÖS (130) tai AB (170)

Taulukon 8 mukaiset päällysrakenneratkaisut edustavat liikenteen tien rakenteelle asettamia vähimmäisvaatimuksia.

5. PÄÄLLYSRAKENNEVAIHTOEHDOT

Sorateiden päällystämisen yhteydessä tulee huolehtia siitä, että tien kantavuus samalla nostetaan tasolle, joka on määritetty taulukossa 4 ja kuvassa 1. Mikäli päällystetyn tien kantavuus ei saavuta kuvan 1 mukaisia tavoitekantavuuksia, on päällyste vaarassa rikkoontua heikon pohjan vuoksi.

Arvioiden mukaan sorateiden keskimääräinen vahvistamistarve on noin 30 MN/m^2 käytettäessä öljysorapäällystettä ja noin 65 MN/m^2 käytettäessä kestopäällystettä. Vastaavasti tulee öljysoratien kantavuutta lisätä keskimäärin 40-60 MN/m^2, kun se kestopäällystetään. Edellä mainittuja keskimääräisiä arvoja ei kuitenkaan voi käyttää arvioitaessa yksittäisen tien kantavuuden nostamistarvetta vaan se pitää laskea tavoitekantavuuden ja mitatun kantavuuden erotuksena.

Tarkastelun kohteeksi on valittu seitsemän eri päällysrakennevaihtoehtoa:

1.	Soratie (=nollavaihtoehto)	= SR
2.	Soratie + murske 10 cm + ÖS 100 kg/m^2	= ÖS 1
3.	Soratie + murske 15 cm + ÖS 100 kg/m^2	= ÖS 2
4.	Soratie + murske 20 cm + ÖS 100 kg/m^2	= ÖS 3
5.	Soratie + murske 10 cm + AB 120 kg/m^2	= AB 1
6.	Soratie + murske 20 cm + AB 120 kg/m^2	= AB 2
7.	Soratie + murske 30 cm + AB 120 kg/m^2	= AB 3

Kaikissa päällysrakennevaihtoehdoissa käytetään seuraavia yhteisiä arvoja:

- tien leveys 6,5 m
- päällysteen leveys 6,0 m
- luiskien kaltevuus 1:3

Eri päällysrakennevaihtoehdot lisäävät tien kantavuutta taulukon 9 mukaisesti:

Taulukko 9. Päällysrakennevaihtoehtojen kantavuuden lisäykset

Poikki-leikkaus	Kantavuuden lisäys ΔE_2		
	Murske (MN/m^2)	Päällyste (MN/m^2)	Yhteensä (MN/m^2)
SR	-	-	-
ÖS 1	20	10	30
ÖS 2	30	10	40
ÖS 3	40	10	50
AB 1	20	25	45
AB 2	40	25	65
AB 3	60	25	85

Taulukkoon 10 on merkitty eri päällysrakennevaihtoehtoihin sisältyvät massamenekit.

Taulukko 10. Päällysrakennevaihtoehtojen rakentamiseen tarvittavat massamäärät

Poikki-leikkaus	Murske		Päällyste (kg/m^2)
	(m3rtr/jm)	(m3itd/jm)	
SR	-	-	-
ÖS 1	0.7	1.0	100
ÖS 2	1.0	1.5	100
ÖS 3	1.4	2.1	100
AB 1	0.7	1.0	120
AB 2	1.4	2.1	120
AB 3	2.1	3.1	120

6. KUSTANNUSSELVITYS

6.1 Päällysrakenteiden rakentamiskustannukset

Päällysteen ja murskeen hinnat on arvioitu vuoden 1979 hintatasoon.

Öljysora	100 kg/m^2	5 mk/m^2
Asfalttibetoni	120 kg/m^2	10 mk/m^2
Murske		25 mk/m3rtr

Päällysteiden ja murskeen hinnat on arvioitu vuoden 1979 hintatasoon. Murskeen hinta on saatu litteralta 1630, kantavan kerroksen sitomaton osa. Litteran 1630 yksikköhinta on kehittynyt tienrakennustilastojen mukaan vv. 1975 - 1978 seuraavasti:

1975	30	mk/m3rtr
1976	31	mk/m3rtr
1977	32	mk/m3rtr
1978	23	mk/m3rtr

Vuoden 1979 yksikköhinnaksi on arvioitu 25 mk/m3rtr.

Kunnossapitotöiden litteran 1420 (savisorakulutuskerroksen vahvistaminen) keskimääräinen yksikkökustannus vuonna 1976 oli 25,90 mk/m3itd vastaten hintaa rakenteessa noin 38 mk/m3rtr. Tämä littera kuvaa kuitenkin huonommin 10 - 30 cm paksun kantavan kerroksen rakentamista kuin littera 1630, koska kunnossapidossa ei käytetä vastaavanlaisia rakennepaksuuksia.

Tien päällysrakenteiden perustamiskustannukset kilometriä kohden on laskettu eri päällysrakennevaihtoehdoille edellä mainittujen yksikköhintojen ja arvioitujen massamenekkien perusteella. Tulokset on merkitty taulukkoon 11.

Taulukko 11. Päällysrakennevaihtoehtojen rakentamiskustannukset mk/km vuoden 1979 kustannustasossa

Poikkileikkaus	Kustannukset (mk/km)		
	Kantava kerros	Kulutuskerros	Yhteensä
SR	-	-	-
ÖS 1	17 000	30 000	47 000
ÖS 2	25 000	30 000	55 000
ÖS 3	35 000	30 000	65 000
AB 1	17 000	60 000	77 000
AB 2	35 000	60 000	95 000
AB 3	52 000	60 000	112 000

Taulukon 11 mukaiset rakenteen rakentamiskustannukset eivät sisällä seuraavia mahdollisesti kustannuksia aiheuttavia tekijöitä:

- Heikosti kantavien ja routivien kohtien vahventaminen
- Yleisten ja yksityisten teiden liittymien aiheuttamien lippojen rakentaminen, mikä lisää hieman päällystettäviä neliömetrejä.
- Kaarteisuuden vähentämiseksi suoritettavat mutkien oikaisut
- Mäkisyyden vähentäminen.

6.2 Kunnossapitokustannukset

Kunnossapitokustannukset muodostuvat tien hoidosta ja kunnostuksesta, joita termejä on selvennetty oheisessa asetelmassa:

	Soratie	Öljysoratie	Kestopäällystetie
Hoito:	Lanaus, höyläys, pölynsidonta	Paikkaus	Paikkaus
Kunnostus:	Sorastus	Uusinta-päällystys	Uusinta-päällystys

6.21 Soratiet

Sorateiden kunnossapitokustannukset esitetään taulukossa 12. Hoitokustannukset ovat vuoden 1979 hintatason mukaiset koko TVL:n kattavat sorateiden hoitokustannukset. Kunnostuskustannukset edustavat sitä tasoa, jolla riittävä sorastus arvioidaan nykyisellään toteutuvan.

Taulukko 12. Soratien kunnossapitokustannukset (mk/km/v)

Kp-luokka	Kunnostusväli (v)	Kunnostuskustannus (mk/km/v)	Hoitokustannus (mk/km/v)	Kustannus yhteensä (mk/km/v)
7	4	1 450	1 800	3 250
6	4	1 550	2 500	4 050
5	3	2 300	3 650	5 950
4	3	2 500	6 000	8 500
3	2	3 850	11 600	15 450

6.22 Öljysoratiet

Öljysorateiden hoitokustannus muodostuu päällysteen paikkaamisesta. Paikkaamiseen kuluva massamäärä on määritelty kunnossapidon standardeissa kunnossapitoluokittain eri ikäisillä päällysteillä. Nykyisellä hoidon tasolla ja hoitotek-

niikalla ei kuitenkaan käytetä näin suuria massamääriä. Paikkaukseen käytetään määrästandardien seurantatutkimuksen mukaan noin 35 % standardien mukaisesta massamäärästä.

Öljysorapäällysteen paikkauksen yksikköhinta (littera 1310) on kehittynyt vv. 1975 - 1978 seuraavasti:

1975	72 mk/t
1976	81 mk/t
1977	84 mk/t
1978	91 mk/t

Vuoden 1979 paikkauksen yksikköhinnaksi on arvioitu 97 mk/t. Öljysorapinnan hoitokustannukset esitetään taulukossa 13.

Taulukko 13. Öljysorapäällysteen hoitokustannus

Kp-luokka	Paikkausmassan menekki		Hoito-kustannus
	Standardi (t/km/v)	Käytäntö 35 % std. (t/km/v)	(mk/km/v)
7	9.0	3.1	300
6	12.4	4.2	400
5	15.1	5.3	500
4	18.3	6.4	600
3	22.0	7.7	800

Kun öljysorapäällysteen paikkaaminen ei enää ole mielekästä kunnostetaan päällyste. Kunnostus on edullista suorittaa em. tutkimuksen mukaan 5 - 9 vuoden välein. Vanha päällyste revitään ja sitä vahvistetaan uudella kerroksella, joka on esimerkiksi 50 kg/m^2. Nämä toimenpiteet vastaavat uudelleenpäällystystä.

Vahvistuksen massamenekki tiekilometriä kohti on 300 t (6000 m^2 x 50 kg/m^2). Vahvistuksen yksikköhintana on käytetty litteran 1330 (uuden öljysorapäällysteen tekeminen) yksikkökustannusta, joka on kehittynyt vv. 1975 - 1978 seuraavasti:

1975	66 mk/t
1976	51 mk/t
1977	60 mk/t
1978	55 mk/t

Öljysorapäällysteen vuotuiset kunnostuskustannukset on esitetty taulukossa 14 sekä hoito- ja kunnostuskustannusten summasta muodostuva vuotuinen kunnossapitokustannus taulukossa 15.

Taulukko 14. Öljysorapäällysteen kunnostuskustannus

Kp-luokka	Kunnostusväli (v)	Massan lisäyskustannus (mk/km/v)	Repimiskustannus (mk/km/v)	Kunnostuskustannus (mk/km/v)
7	9	2 000	300	2 300
6	8	2 200	400	2 600
5	7	2 600	400	3 000
4	6	3 000	500	3 500
3	5	3 600	600	4 200

Taulukko 15. Öljysorapäällysteen kunnossapitokustannus

Kp-luokka	Kunnostus-kustannus (mk/km/v)	Hoito-kustannus (mk/km/v)	Kunnossapito-kustannus (mk/km/v)
7	2 300	300	2 600
6	2 600	400	3 000
5	3 000	500	3 500
4	3 500	600	4 100
3	4 200	800	5 000

6.23 Kestopäällystetiet

Kestopäällysteen paikkaamiseen kuluva massamäärä on kunnossapidon standardeissa määritelty kunnossapitoluokittain eri ikäisille päällysteille. Massamenekki on määritelty kunnossapitoluokissa 1 - 5. Kunnossapitoluokkien 6 ja 7 massamenekki on arvioitu olevan 40 % ja 20 % kunnossapitoluokan 5 massamenekistä.

Paikkausmassan kustannukseksi on arvioitu 200 mk/t. Vuonna 1977 litteran 1110 (kestopäällysteen paikkaus) yksikkökustannus oli 196 mk/t.

Oheisessa taulukossa 16 esitetään standardien mukainen paikkausmassan kulutus. Päällysteen kestoikä on arvioitu liikennemäärän mukaan.

Taulukko 16. Kestopäällysteen hoitokustannus

Kp-luokka	Päällysteen kestoikä (v)	Massa-menekki (t/km/v)	Hoito-kustannus (mk/km/v)
7	13	0.3	50
6	13	0.6	100
5	12	1.5	300
4	10	2.2	400
3	7	4.1	800

Kestopäällysteteiden uudelleenpäällystyskustannukset muodostuvat uudesta massapinnasta, tasausmassasta ja tasausmassan liimauksesta. Uudelleenpäällystäminen tehdään 7 - 13 vuoden välein. Tie- ja siltapäällysteurakoissa on tasausmassan tonnihinta kehittynyt vv. 1975 - 1978 seuraavasti (urakoitsijan kiviaines):

1975	73	mk/t
1976	85	mk/t
1977	95	mk/t
1978	68	mk/t

Vuoden 1979 yksikköhinnaksi on arvioitu 73 mk/t, mitä käytetään tasausmassan yksikkökustannuksena. Uuden pinnan yksikkökustannuksena käytetään samaa kuin luvussa 6.1 eli 10 mk/m^2. Liimauksen yksikkökustannuksena käytetään 40 p/m^2. Uuteen pintaan kuluu massaa 120 kg/m^2 ja tasaukseen 40 kg/m^2. Uudelleenpäällystämiskustannukset on merkitty taulukkoon 18.

Taulukko 17. Kestopäällysteen uudelleenpäällystämiskustannus

Kp-luokka	Päällysteen kestoikä	Kustannukset (mk/km/v)			
		Liimaus	Tasaus	Pinta	Yhteensä
7	13	200	1 300	4 600	6 100
6	13	200	1 300	4 600	6 100
5	12	200	1 500	5 000	6 700
4	10	200	1 800	6 000	8 000
3	7	300	2 500	8 600	11 400

Kestopäällysteen kunnossapitokustannus muodostuu hoito- ja uudelleenpäällystyskustannuksista, jotka on merkitty taulukkoon 18.

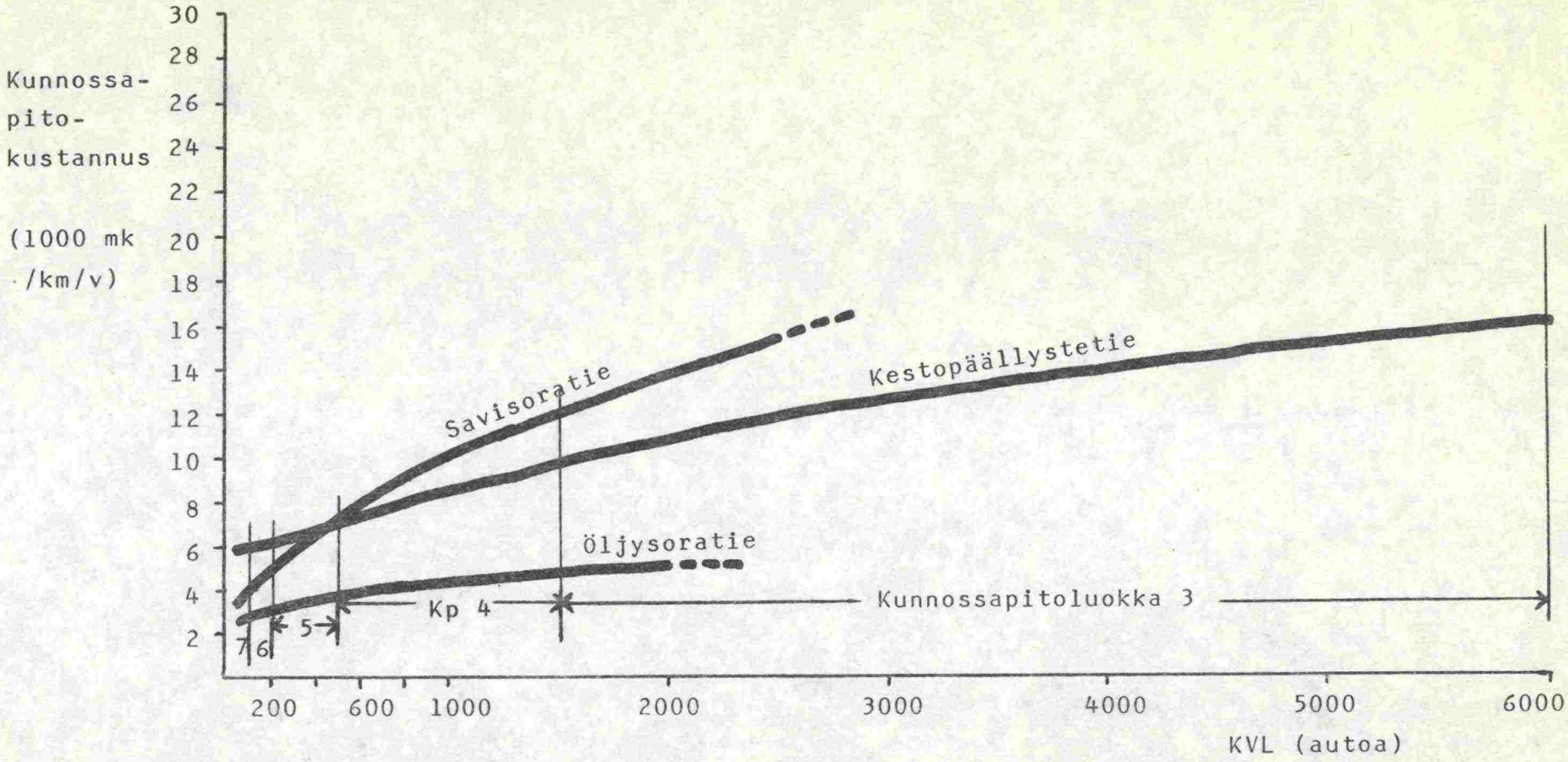
Taulukko 18. Kestopäällysteen kunnossapitokustannus

Kp-luokka	Hoitokustannus (mk/km/v)	Uudelleenpäällystyskustannus (mk/km/v)	Kunnossapitokustannus (mk/km/v)
7	50	6 100	6 150
6	100	6 100	6 200
5	300	6 700	7 000
4	400	8 000	8 400
3	800	11 400	12 200

6.24 Eri päällysteiden vuotuiset kunnossapitokustannukset

Kuvaan 2 on piirretty sora-, öljysora- ja kestopäällysteiden vuotuiset kunnossapitokustannukset keskivuorokausiliikenteen funktiona. Kunnossapitoluokkien keskimääräiset KVL-arvot on saatu taulukosta 3.

Taulukossa 12, 14 ja 17 esitetyt kunnostuskustannukset edustavat keskimääräisiä vuotuisia kunnostuskustannuksia. Verrattaessa eri päällysteiden kunnostuskustannuksia keskenään tulee huomioida, että juuri päällystetyn soratien kunnostuskustannukset alkavat juosta vasta ensimmäisestä uudelleenpäällystyksestä. Siihen asti vuotuiset kunnostuskustannukset ovat 0 mk/km/v.



Kuva 2. Kunnossapitokustannus (mk/km/v)

6.3 Ajokustannukset

Ajokustannukset muodostuvat ajoneuvo-, aika- ja onnettomuuskustannuksista. Tässä selvityksessä onnettomuuskustannukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

6.31 Ajoneuvokustannukset

Ajoradan päällyste ja sen kunto vaikuttavat huomattavasti ajoneuvokustannuksiin. Tutkimustoimistossa on kesinä 1977 ja 1978 mitattu henkilöauton polttoaineenkulutusta päällystettävillä teillä hieman ennen päällystystä ja päällystyksen jälkeen. Polttoaineenkulutuksessa on tällöin havaittu huomattavia eroja. Päällystystoimenpiteillä saatiin aikaan seuraavanlaisia keskimääräisiä säästöjä polttoaineenkulutuksessa:

AB-päällysteen uusiminen	3 %
ÖS-päällysteen uusiminen	12 %
Öljysoratielle AB-päällyste	13 %
Soratielle öljysorapäällyste	25 %

Raskaille ajoneuvoille polttoaineenkulutussäästöt ovat hieman suurempia. Vähäisen havaintoaineiston vuoksi em. prosenttilukuja tulee pitää suuntaa antavina.

Polttoaineenkulutus riippuu käytetystä ajonopeudesta. Ajettaessa eri nopeuksilla poltto- ja voiteluainekustannusten sekä korjaus- ja huoltokustannusten oletetaan muuttuvan samassa suhteessa kuin polttoaineenkulutus. Muiden kustannustekijöiden oletetaan säilyvän ajonopeudesta riippumattomina vakioina.

Ajoneuvokustannuksiin ei ole otettu mukaan välillisiä veroja. Ajoneuvokustannusten yksikköarvot (p/km) on laskettu sora-, öljysora- ja kestopäällysteteillä eri ajonopeuksille. Tulokset on merkitty taulukoihin 19 - 21.

Taulukko 19. Ajoneuvokustannukset sorateillä (Verottomat arvot)

Autotyyppi	Ajoneuvokustannus (p/km) eri ajonopeuksilla (km/h)						
	40	50	60	70	80	90	100
HA ja PA	33	34	35	36	38	41	44
LA	136	140	143	147	151	154	158
KAIP	113	116	119	122	125	128	131
KAPP ja KAVP	150	152	155	157	160	162	165

Taulukko 20. Ajoneuvokustannukset öljysorateillä (Verottomat arvot)

Autotyyppi	Ajoneuvokustannus (p/km) eri ajonopeuksilla (km/h)						
	40	50	60	70	80	90	100
HA ja PA	30	31	32	33	35	37	39
LA	131	134	137	141	144	147	150
KAIP	109	111	114	117	119	122	125
KAPP ja KAVP	144	146	147	150	152	154	160

Taulukko 21. Ajoneuvokustannukset kestopäällysteteillä (Verottomat arvot)

Autotyyppi	Ajoneuvokustannus (p/km) eri ajonopeuksilla (km/h)						
	40	50	60	70	80	90	100
HA ja PA	29	29	30	31	33	35	37
LA	117	119	122	124	127	130	132
KAIP	97	99	101	104	106	108	110
KAPP ja KAVP	128	129	131	133	134	136	139

6.32 Aikakustannukset

Ajoradan päällyste vaikuttaa myös ajonopeuteen ja sitä kautta aikakustannukseen. Tutkimustoimistossa on määritetty ajan arvot eri ajoneuvoille vuoden 1978 lopun tilanteessa seuraavasti:

Henkilöauto	6,30	mk/h/henkilö	11,20	mk/h/auto
Pakettiauto	20,60	"	21,60	"
Linja-auto	7,60	"	103,00	"
Kuorma-auto	24,00	"	27,80	"

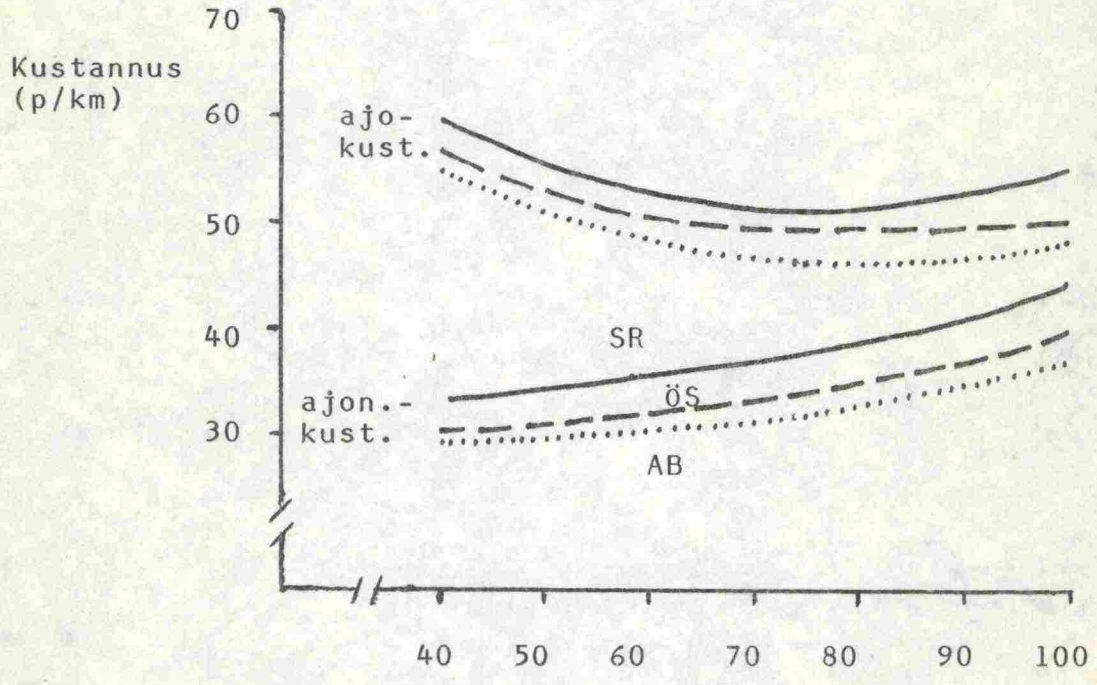
Taulukkoon 22 on merkitty aikakustannukset eri ajonopeuksilla.

Taulukko 22. Aikakustannukset autotyypeittäin eri ajonopeuksilla

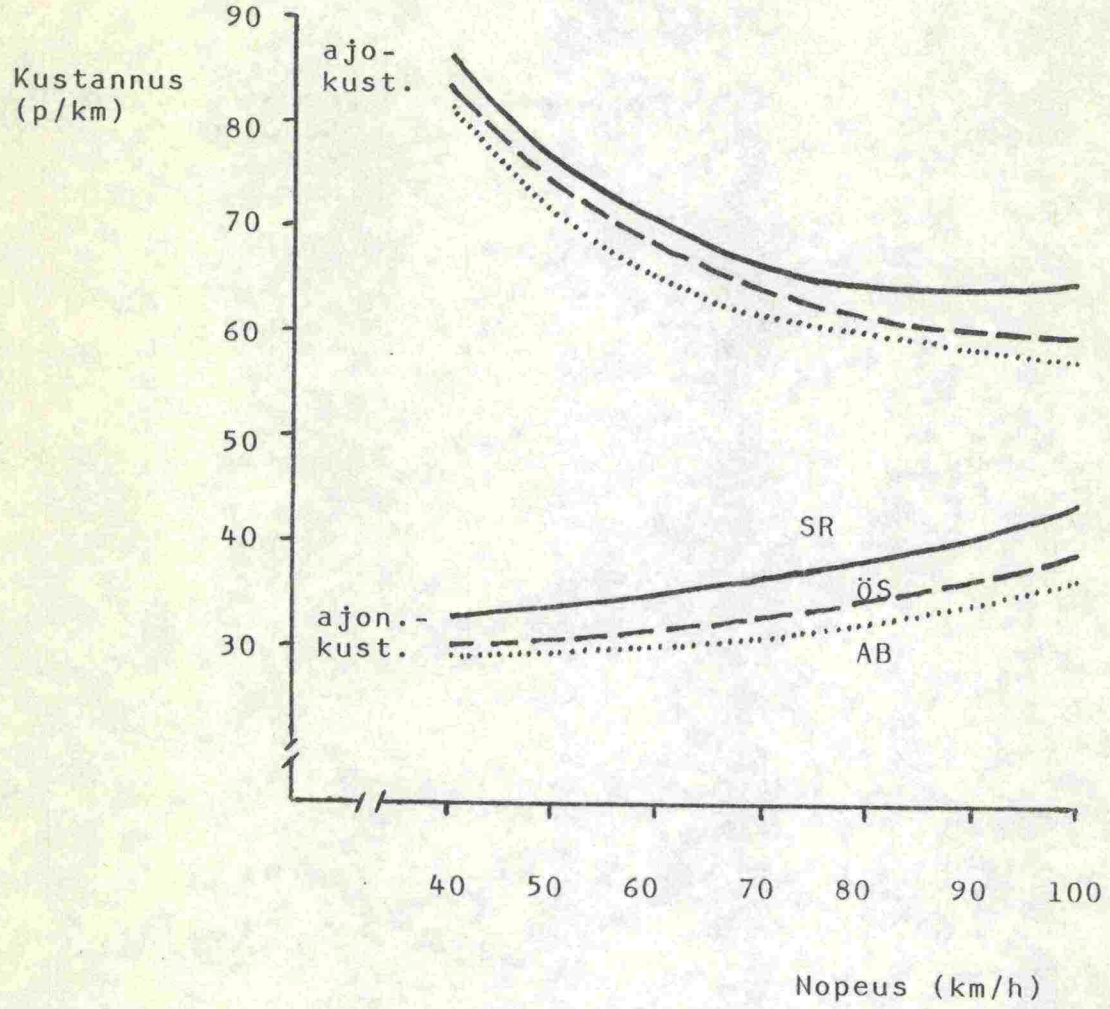
Autotyyppi	Aikakustannus (p/km) eri ajonopeuksilla (km/h)						
	40	50	60	70	80	90	100
HA	28	22	19	16	14	12	11
PA	54	43	36	31	27	24	22
LA	258	206	172	147	129	114	103
KA	70	56	46	40	35	31	28

6.33 Ajokustannussäästöt

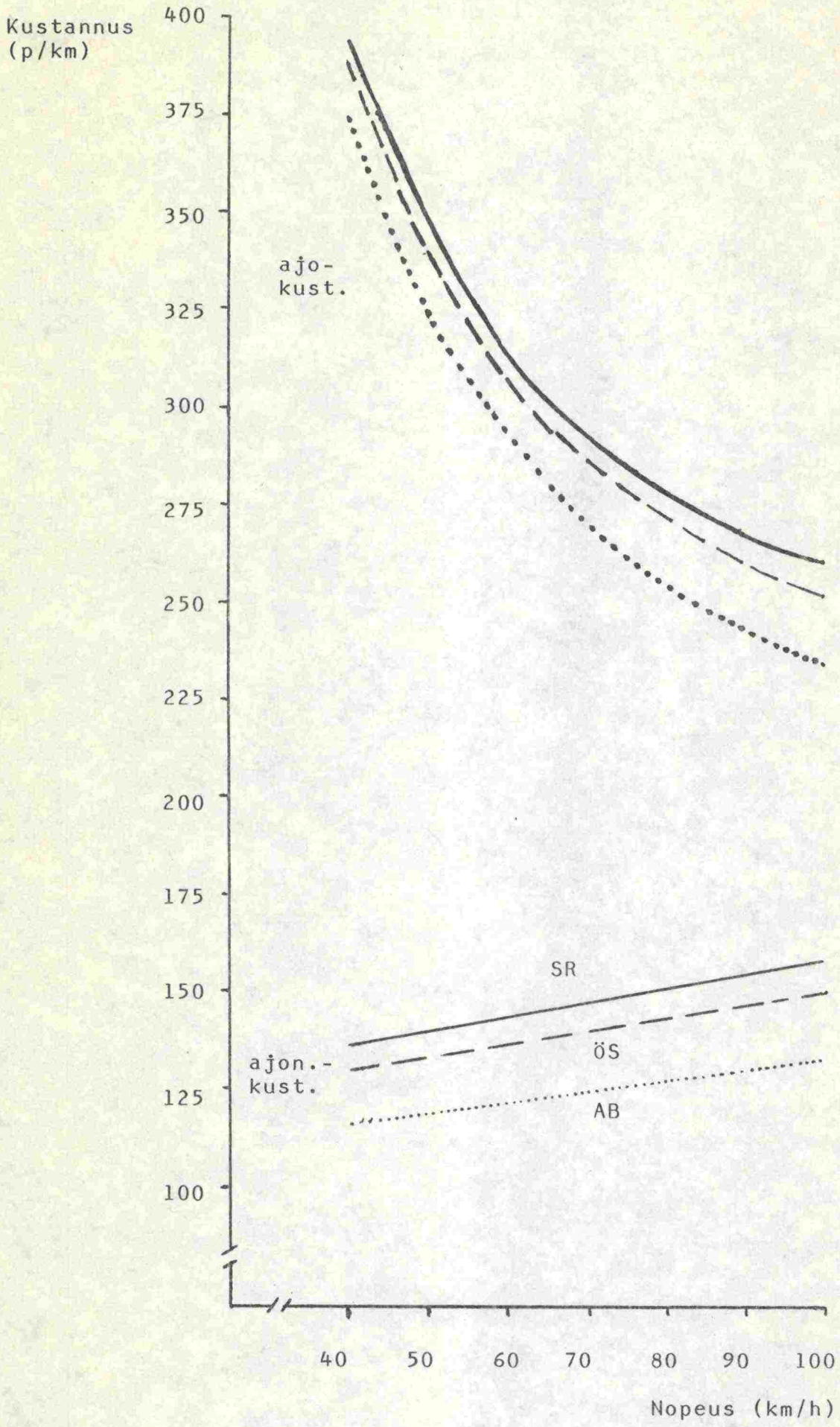
Kuvissa 3 - 7 on esitetty ajoneuvokustannus sekä ajoneuvo- ja aikakustannuksen summa graafisesti nopeuden funktiona.



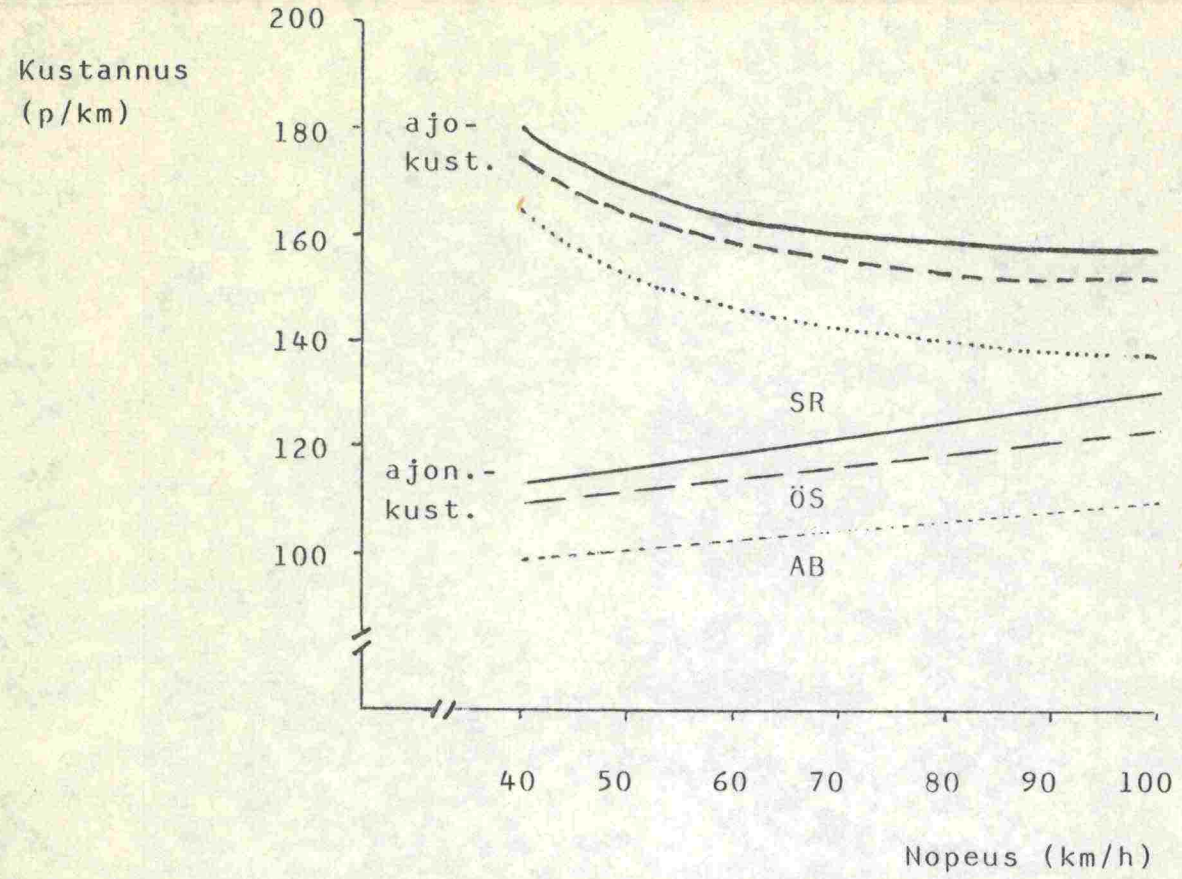
Kuva 3. Henkilöautojen ajoneuvokustannukset ja ajokustannukset (pl. onnettomuuskust.) sora-, öljysora- ja asfalttipäällysteillä.



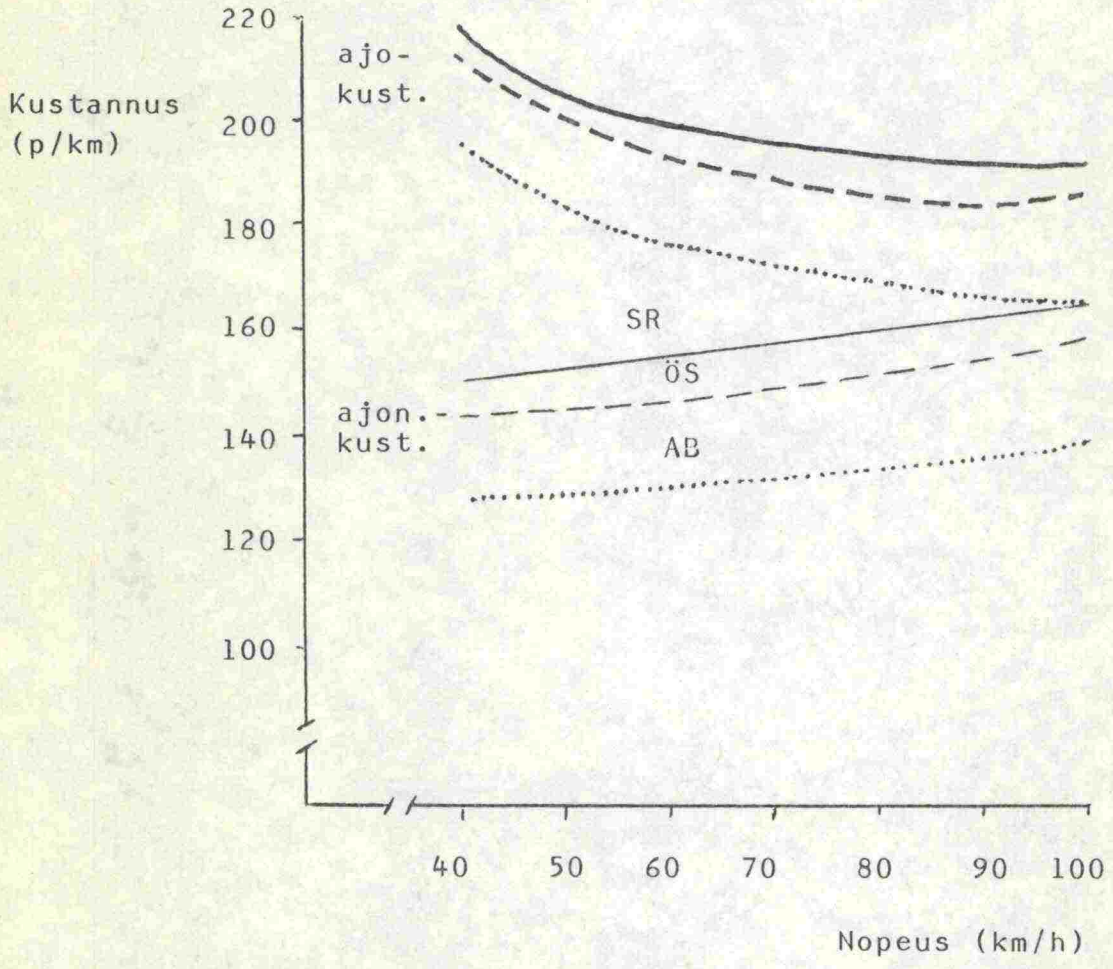
Kuva 4. Pakettiautojen ajoneuvokustannukset ja ajokustannukset (pl. onnettomuuskust.) sora-, öljysora ja asfalttipäällysteillä.



Kuva 5. Linja-autojen ajoneuvokustannukset ja ajokustannukset (pl. onnettomuuskust.)



Kuva 6. Perävaunuttomien kuorma-autojen ajoneuvokustannukset ja ajokustannukset (pl. onnettomuuskust.) sora-, öljysora- ja asfalttipäällysteillä.



Kuva 7. Perävaunullisten kuorma-autojen ajoneuvokustannukset ja ajokustannukset (pl. onnettomuuskust.) sora-, öljysora- ja asfalttipäällysteillä.

Tien päällystäminen vaikuttaa kustannuksiin kolmella tavalla:

1. Parempi tien pinta vähentää polttoaineenkulutusta sekä ajoneuvon korjaus- ja huoltotarvetta.
2. Korkealuokkaisempi päällyste nostaa käytettyjä ajonopeuksia vähentäen siten liikenteeseen kuluvaa aikaa ja aikakustannusta.
3. Kohoavat ajonopeudet lisäävät ajoneuvokustannuksia verrattuna soratiellä käytetyn ajonopeuden mukaisiin ajoneuvokustannuksiin.

Edellä mainittujen tekijöiden vaikutus ajokustannusten yksikköhintaan saadaan helposti selville autotyypeittäin kuvista 3 - 7 kun tiedetään käytetyt keskimääräiset ajonopeudet ja päällystämisen aiheuttamat nopeussiirtymät.

Eri ajoneuvojen on oletettu käyttävän seuraavanlaisia keskimääräisiä ajonopeuksia sorateillä:

- henkilöautot	65 km/h
- pakettiautot	65 km/h
- linja-autot	60 km/h
- perävaunuttomat kuorma-autot	60 km/h
- perävaunulliset kuorma-autot	55 km/h

Päällystämisen on arvioitu nostavan käytettäviä keskimääräisiä ajonopeuksia seuraavasti:

- Soratielle ÖS-päällyste	5 km/h
- Soratielle AB-päällyste	10 km/h

Ajokustannussäästöjä kertyy vuodessa siltä ajalta kun tien pinta on paljas lumesta ja jäästä. Täksi ajaksi on arvioitu 8 kuukautta, mikä kuitenkin vaihtelee jonkin verran riippuen missä osassa Suomea tie sijaitsee.

Vuotuinen ajokustannussäästö tiekilometriä kohti lasketaan eri ajoneuvoryhmien ajokustannussäästöjen summana seuraavalla kaavalla:

$$\text{Säästö} = P \cdot \sum_{i=1}^{5} k_i \cdot KVL_i \, (AK_{SR}^{i} - AK_{ÖS/AB}^{i})$$

missä

Säästö = Ajokustannussäästö (mk/km/v)

P = Aika, jonka tien pinta on paljas (vrk/v)

k_i = Korjauskerroin, jolla ajoneuvoryhmän i KVL muutetaan vastaamaan sulan ajan liikennettä

ha	1.12
pa	1.09
kaip	1.04
la, kapp, kavp	1.00

KVL_i = Ajoneuvoryhmän i keskivuorokausiliikenne soratteillä v. 1977

AK_{SR}^{i} = Ajoneuvoryhmän i ajokustannus soratiellä (mk/km)

$AK_{ÖS/AB}^{i}$ = Ajoneuvoryhmän i ajokustannus päällystetyllä tiellä (mk/km)

Sorateiden keskimääräinen KVL (taulukko 3) eri kunnossapitoluokissa on jaettu tierekisteritietojen perusteella eri ajoneuvotyypeille. Jakomenettelyssä on jonkin verran jouduttu turvautumaan arviointiin, koska ajoneuvotyyppijakautumaa ei tierekisteristä saa kunnossapitoluokittain. Tulokset on merkitty taulukkoon 23.

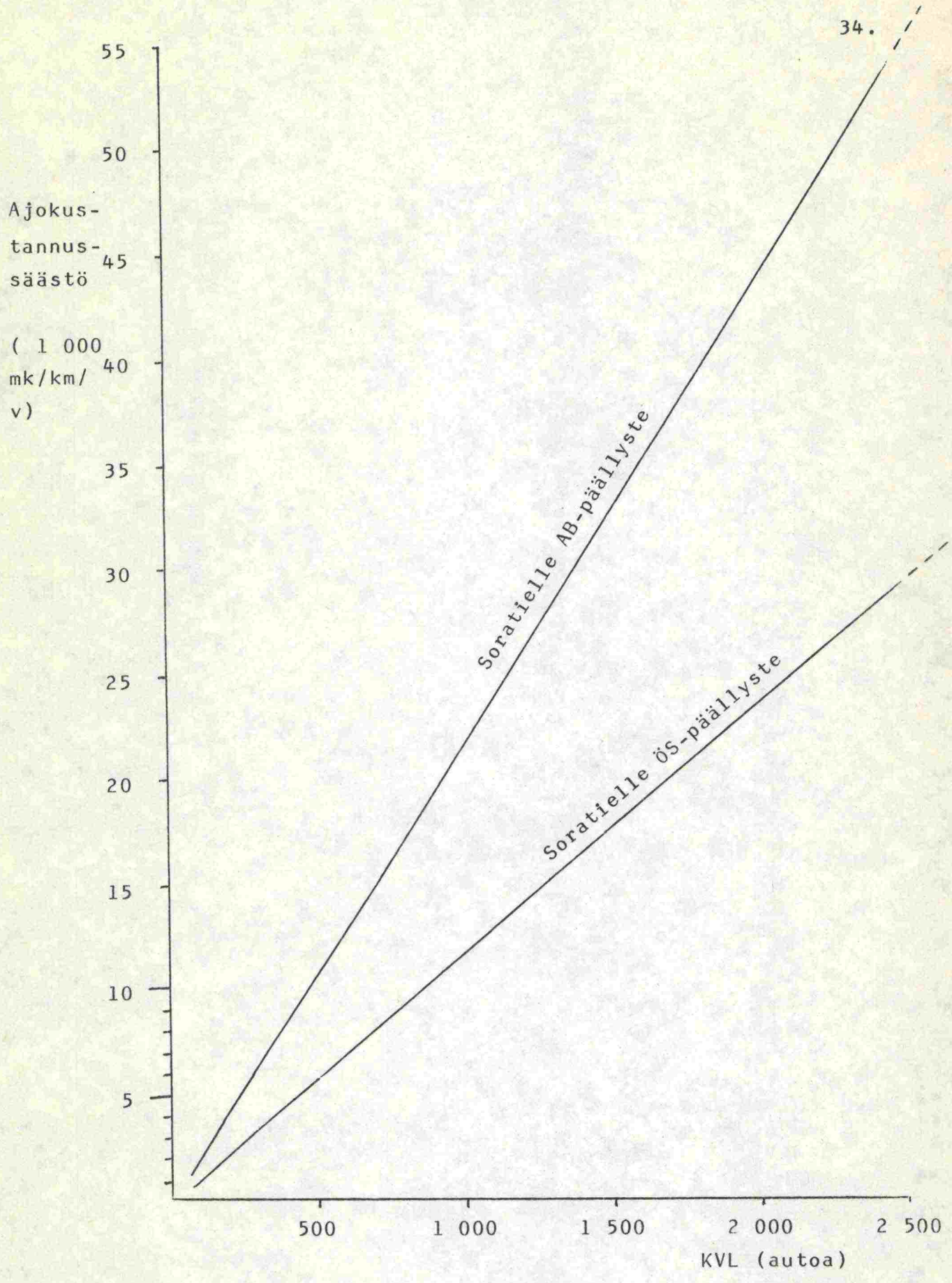
Taulukko 23. Sorateiden keskimääräinen KVL ja sen jakautuma autotyypeittäin vuonna 1977

Kunnossapitoluokka	KVL sorateillä v. 1977 (autoa)					
	Ha	Pa	La	Kaip	Kap	Yht.
7	55	5	2	4	0	66
6	120	10	4	8	1	143
5	246	18	9	19	1	293
4	588	42	24	51	3	708
3	2 028	148	92	195	10	2 473

Vuotuiset ajokustannussäästöt on laskettu em. perusteilla autotyypeittäin eri kunnossapitoluokissa. Yhteenlasketut säästöt on merkitty taulukkoon 24 ja kuvaan 8.

Taulukko 24. Vuotuinen ajokustannussäästö päällystetyillä sorateillä

Kunnossapitoluokka	Ajokustannussäästö (mk/km/v)	
	Soratielle ÖS-päällyste	Soratielle AB-päällyste
7	800	1 400
6	1 700	3 000
5	3 400	6 200
4	8 400	15 500
3	29 700	55 500



Kuva 8. Ajokustannussäästöt (mk/km/v) KVL:N funktiona.

7. KUNNOSSAPITOTOIMENPITEEN VALINTA

Kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen vertailemiseksi on niiden kustannusvaikutukset laskettu 20 vuoden ajalta. Eri aikoina syntyvät kustannukset ja kustannussäästöt on diskontattu nykyhetkeen 6 prosentin vuotuisella diskonttokorolla.

Taulukkoon 25 on merkitty kunnossapitoluokittain nollavaihtoehdon eli sorapäällysteisenä säilytettävän soratien kustannukset 20 vuoden ajalta nykyhetkeen diskontattuina.

Taulukko 25. Soratien keskimääräisten ajo-, hoito- ja kunnostuskustannusten nykyarvot kunnossapitoluokittain 20 vuoden ajalta

Kunnossapitoluokka	Ajokustannus (mk/km)	Hoitokustannus (mk/km)	Kunnostuskustannus (mk/km)	Yhteensä (mk/km)
7	180 000	22 000	19 000	221 000
6	389 000	30 000	21 000	440 000
5	808 000	44 000	30 000	882 000
4	1 997 000	73 000	32 000	2 102 000
3	7 118 000	141 000	48 000	7 307 000

Taulukoihin 26 ja 27 on merkitty ne säästöt, jotka saadaan päällystämällä soratie joko öljysoralla tai asfaltilla. Säästöt on 20 vuodelta diskontattu nykyhetkeen.

Ajokustannussäästöjen laskennassa on liikenteen oletettu kasvavan vuosittain sivulla 5 esitettyjen prosenttilukujen mukaisesti. Mikäli liikenteen kasvua ei huomioida jäävät ajokustannussäästöt 20 % pienemmiksi kuin mitä on esitetty taulukoissa 26 ja 27. Kunnostuskustannussäästö-

jen laskennassa uudelleenpäällystämisen kustannukset on huomioitu niiltä osin kuin näin kunnostetun pinnan käyttöikä sisältyy tarkasteluajanjaksolle (20 vuotta).

Taulukko 26. Kustannussäästöjen nykyarvo 20 vuodelta öljysoravaihtoehdossa.

Kunnossapitoluokka	20 vuoden kustannussäästöjen nykyarvo			
	Ajokustannus (mk/km)	Hoitokustannus (mk/km)	Kunnostuskustannus (mk/km)	Yhteensä (mk/km)
7	12 000	18 000	5 000	35 000
6	25 000	26 000	3 000	54 000
5	52 000	38 000	8 000	98 000
4	128 000	66 000	4 000	198 000
3	451 000	131 000	12 000	594 000

Taulukko 27. Kustannussäästöjen nykyarvo 20 vuodelta asfalttibetonivaihtoehdossa.

Kunnossapitoluokka	20 vuoden kustannussäästöjen nykyarvo			
	Ajokustannus (mk/km)	Hoitokustannus (mk/km)	Kunnostuskustannus (mk/km)	Yhteensä (mk/km)
7	21 000	21 000	-1 000	41 000
6	46 000	29 000	0	75 000
5	95 000	41 000	3 000	139 000
4	235 000	68 000	-13 000	290 000
3	843 000	131 000	-36 000	938 000

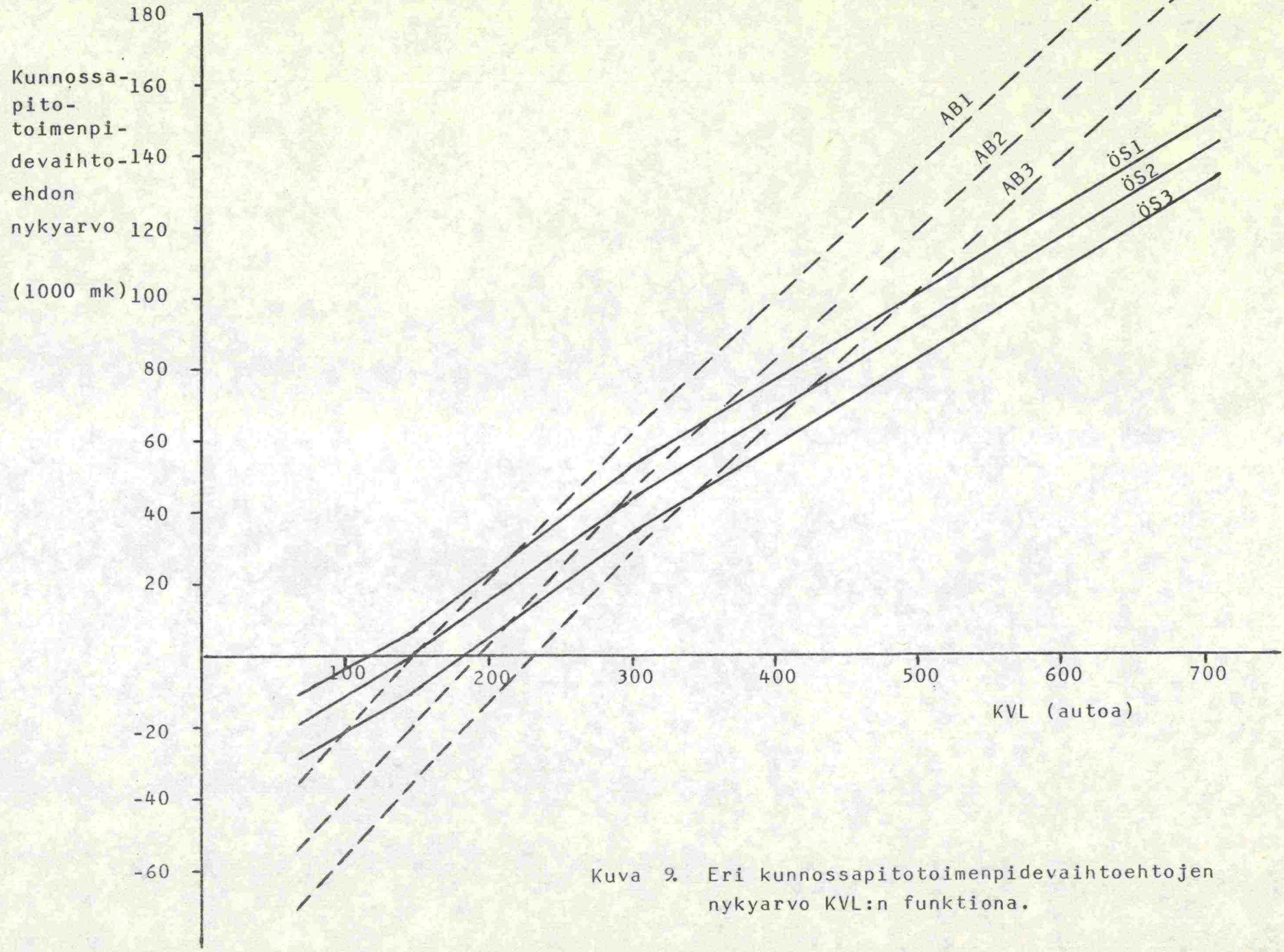
Öljysoravaihtoehtojen (3 kpl) ja asfalttibetonivaihtoehtojen (3 kpl) nykyarvot on laskettu eri kunnossapitoluokissa investointikustannusten ja 20 vuoden kustannussäästöjen nykyarvon erotuksena. Tulokset on merkitty taulukkoon 28. Investointikustannukset on aiemmin esitetty taulukossa 11.

Taulukko 28. Kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvot eri kunnossapitoluokissa.

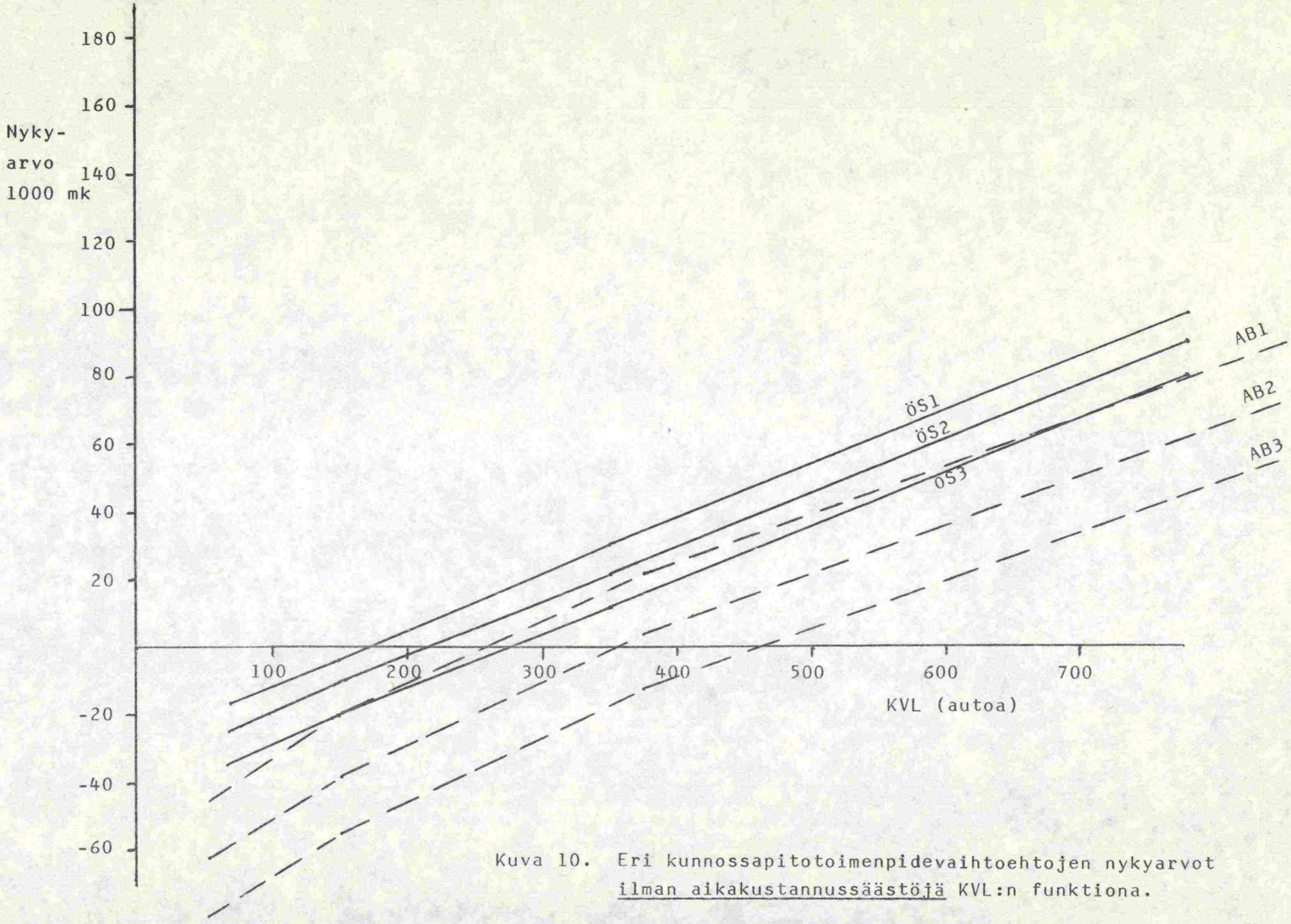
Kunnossapitoluokka	Nykyarvot eri vaihtoehdoilla (1000 mk)					
	ÖS1	ÖS2	ÖS3	AB1	AB2	AB3
7	-12	-20	-30	-36	-54	-71
6	7	-1	-11	-2	-20	-37
5	51	43	33	62	44	27
4	151	143	133	213	195	178
3	547	539	529	861	843	826

Taulukon 28 tiedot on piirretty myös kuvaan 9, jotta voitaisiin arvioida millä KVL-arvolla soratien päällystäminen tulee edulliseksi. Kuvassa 9 esitetty KVL:n funktiona piirretty jatkuva käyrä on ajokustannusten osalta laskettu tietyillä yksittäisillä KVL:n arvoilla sekä hoito- ja kunnostuskustannusten osalta eri KVL:n luokissa. Piirretty käyrä ei siis ota huomioon niitä epäjatkuvuuskohtia, joita hoito- ja kunnostuskustannusten kohdalla saattaa esiintyä.

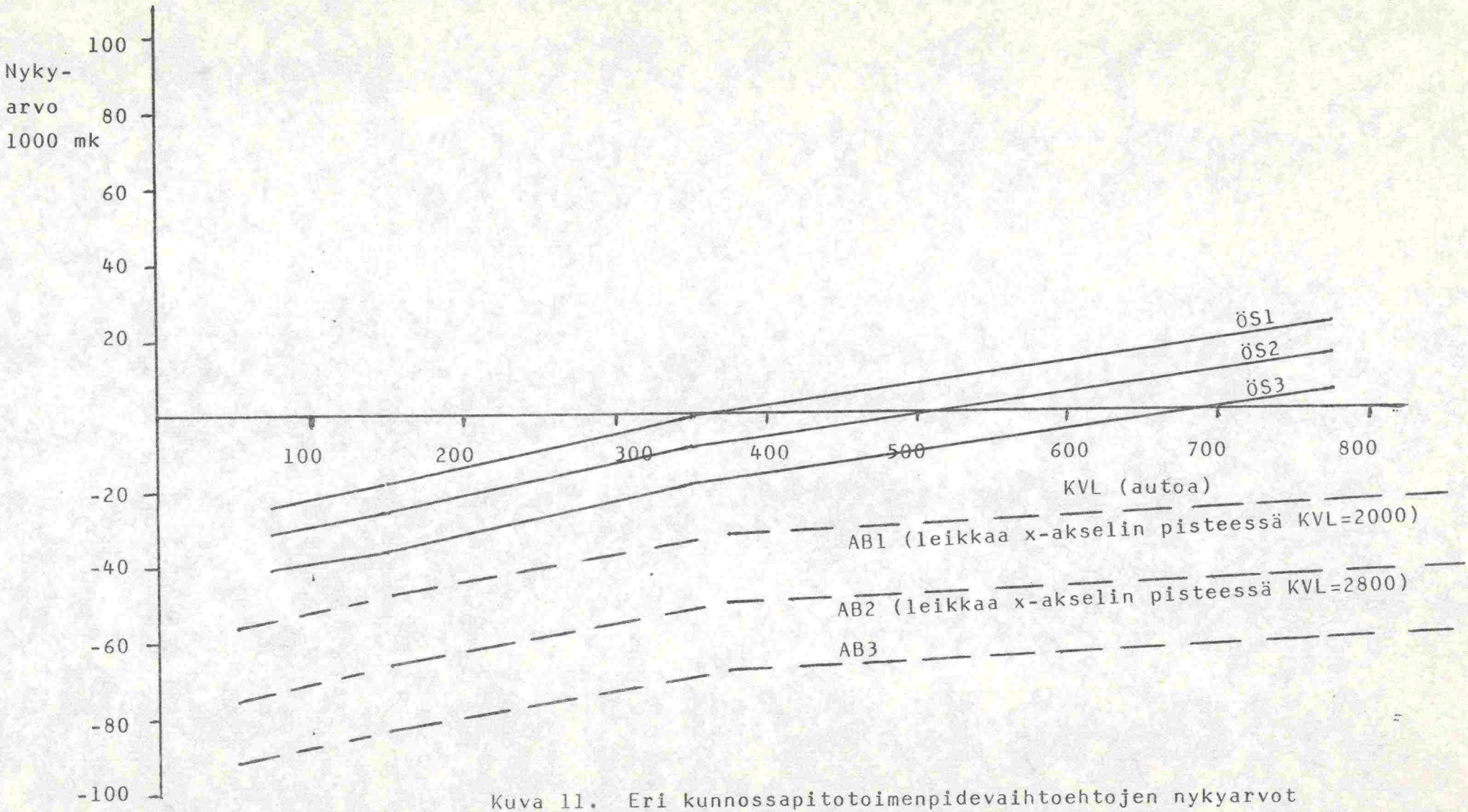
Kuviin 10 ja 11 on vielä piirretty eri toimenpiteiden nykyarvot 20 vuodelta olettaen että aikakustannussäästöjä ei huomioida (kuva 10) sekä, että aikakustannussäästöjen lisäksi ajoneuvokustannussäästöt jätetään huomioimatta (kuva 11).



Kuva 9. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvo KVL:n funktiona.



Kuva 10. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvot ilman aikakustannussäästöjä KVL:n funktiona.



Kuva 11. Eri kunnossapitotoimenpidevaihtoehtojen nykyarvot ilman ajokustannussäästöjä KVL:n funktiona.

Kuvasta 9 voidaan päätellä, että soratien päällystäminen öljysoralla ja asfalttibetonilla tulee kannattavaksi seuraavilla liikennemäärillä:

Öljysora + kantavaa kerrosta	10 cm	KVL =	120
" " "	15 cm	KVL =	150
" " "	20 cm	KVL =	180

Asfalttibetoni + kantavaa kerrosta	10 cm	KVL =	150
" " "	20 cm	KVL =	190
" " "	30 cm	KVL =	230

Kannattavuusrajoille voidaan esittää myös seuraavat KVL:stä ja lisättävän kantavan kerroksen paksuudesta riippuvat yhtälöt:

$$KVL_{ÖS} = 60 + 6 \cdot X \qquad (X \geq 10 \text{ cm})$$

$$KVL_{AB} = 110 + 4 \cdot X \qquad (X \geq 10 \text{ cm})$$

missä

$KVL_{ÖS}$ = Öljysoran kannattavuusraja (ajoneuvoa)
KVL_{AB} = Asfalttibetonin kannattavuusraja (ajoneuvoa)
X = Lisättävän kantavan kerroksen paksuus (cm)

Kunnossapitoluokittain tarkasteltuna kaikkien vaihtoehtojen nykyarvot ovat positiivisia viidennestä kunnossapitoluokasta lähtien. Tämän lisäksi ÖS1-vaihtoehdon nykyarvo on positiivinen myös kuudennessa kunnossapitoluokassa.

Mikäli aikakustannussäästöjä ja ajoneuvokustannussäästöjä ei huomioida ovat kannattavuusrajat huomattavasti suuremmat.