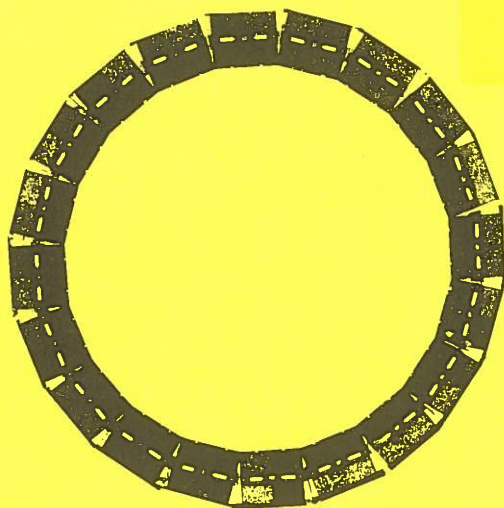




MÖRKERTRAFIK

RAPPORT NR 2 1978



VÄGBELÄGGNINGARS LJUSTEKNISKA EGENSKAPER

Samband samt avhängighet av slitagetillstånd
och sammansättning

LYSTEKNISK LABORATORIUM · DANMARK

VEJDIREKTORATET · DANMARK

ELEKTRISITETSFRORSYNINGENS FORSKNINGSINSTITUTT · NORGE

VEGDIREKTORATET · NORGE

STATENS VÄG- OCH TRAFIKINSTITUT · SVERIGE

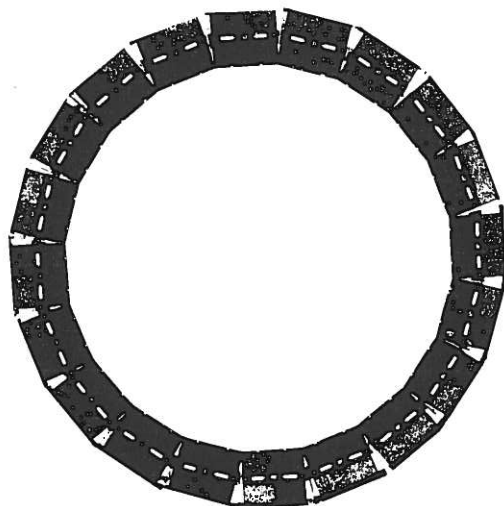
STATENS VÄGVERK · SVERIGE



MÖRKERTRAFIK

RAPPORT NR 2

1978



VÄGBELÄGGNINGARS LJUSTEKNISKA EGENSKAPER

Samband samt avhängighet av slitagetillstånd
och sammansättning

LYSTEKNISK LABORATORIUM · DANMARK

VEJDIREKTORATET · DANMARK

ELEKTRISITETSFORSYNINGENS FORSKNING SINSTITUTT · NORGE

VEGDIREKTORATET · NORGE

STATENS VÄG- OCH TRAFIKINSTITUT · SVERIGE

STATENS VÄGVERK · SVERIGE

FÖRORD

Denna utredning har gjorts för att få en grundval för kvantitativ uppfattning om en ännu inte utförd beläggnings ljustekniska egenskaper vid olika slitagetillstånd och ålder.

Projektet har utförts inom det nordiska forsknings- och utvecklings-samarbetet rörande synbetingelser vid mörkertrafik. I samarbetet deltar:

- Lysteknisk Laboratorium (LTL) - Danmark
- Vejdirektoratet (VD-DK) - Danmark
- Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitut (EFI) - Norge
- Vegdirektoratet (VD-N) - Norge
- Statens Väg- och Trafikinstitut (VTI) - Sverige
- Statens vägverk (VV) - Sverige

Arbetet samordnas av en koordineringsgrupp som för närvarande består av:

civilingenjör Erik Frederiksen (LTL)
akademiingenjör Carl Steen Berggren (VD-DK)
laboratorieingenjör Hans-Henrik Bjørset (EFI)
underdirektör Torkild Thurmann-Moe (VD-N)
forskningschef Kåre Rumar (VTI)
avdelningsdirektör Karl-Olov Hedman (VV)

Arbetsfördelningen inom projektet har varit sådan att tyngdpunkten vid den praktiska delen har legat vid VTI medan LTL stått för den största delen av utvärderingsarbetet och rapport-skrivningen.

Rapporten har utarbetats av Kai Sørensen (LTL) samt Arne Forsberg (VTI).

Koordineringsgruppen har granskat och godkänt rapportens innehåll och överlämnar den härmed till ansvariga myndigheter och till övriga intressenter.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
RESUME´	I
ABSTRACT	II
1. INLEDNING Av Kai Sørensen, LTL	1
2. ÖVERSIKT ÖVER PROJEKTET Av Kai Sørensen, LTL och Arne Forsberg, VTI	2
2.1 Översikt över vägproverna	2
2.2 Slitageproceduren	3
2.3 Översikt över mätta parametrar	6
3. PRAKTISKT GENOMFÖRANDE AV PROJEKTET Av Kai Sørensen, LTL och Arne Forsberg, VTI	14
3.1 Framställning av beläggningsplattorna	14
3.2 Slitage av vägbeläggningsplattorna	18
3.3 Genomförande av mätningarna	25
4. RESULTAT Av Kai Sørensen, LTL	34
4.1 Översikt över behandlingen av mätresultat	34
4.2 Generella samband mellan parametrarna	38
4.3 De karaktäristiska parametrarnas variation med slitagetillståndet	56
4.4 De karaktäristiska parametrarna i för- hållande till vägprovernas sammansättning	74
5. SAMMANFATTNING Av Kai Sørensen, LTL	126
5.1 Inbördes samband	126
5.2 Värdering av slitagetillstånden	127
5.3 Vägprovernas sammansättning	128
5.4 Friktion, texturdjup och slitage	129
6. SUMMARY	131
6.1 Parameter interrelationships	131
6.2 Evaluation of the different cases of wear	132
6.3 The composition of the road samples	133
6.4 Friction, texture depth and wearing depth	134
REFERENSER	136

RESUME

Syftet med denna studie är att söka analysera vägbeläggningsars ljusreflekterande egenskaper som funktion av sammansättning och förslitningsgrad.

De empiriska resultaten består av en serie om 20 parametrar, vilka mätts för 80 laboratoriemässigt framställda vägprover under 5 olika förslitningsgrader. Parametrarna omfattar bl a reflexionsegenskaper vid väg- och fordonsbelysning samt vissa andra funktionella egenskaper hos vägbeläggningar.

En utförligare sammanfattning av resultaten finns i kapitel 5.

Det ska anföras att den absoluta nivån på retroreflexionsvärdena, QR i denna rapport, är behäftade med viss osäkerhet, men relativa variationer kan anses vara återgivna korrekt. Dessa förhållanden förväntas bli avklarade genom jämförande retroreflexionsmätningar vid skandinaviska laboratorier.

ABSTRACT

In this study an effort is made to analyse the light reflection properties of a road surface as a function of composition and wear.

The empirical results consist of a set of 20 parameters as measured on 80 road samples produced in the laboratory. The set of parameters includes reflection properties of the road samples as illuminated by road lighting and by vehicle lighting, and furthermore a few other functional properties of road surfaces. The different conditions of wear are produced by accelerated wear of the samples, whose compositions have been chosen with the aim of varying a number of road surface parameters.

The report gives a survey of the investigation, a description of the work actually carried out and a description of the results in terms of mutual relationships among the measured parameters, the variation of the parameters with the condition of wear and the dependence of the parameters upon the composition of the road samples.

A more detailed summary of the results of this investigation is given in chapter 6.

It is stated, that the absolute scale of retroreflection, QR in this report is considered to be somewhat uncertain, while relative variations are considered to be correct. These matters are expected to be clarified in the course of intercomparison retro-reflection measurements of Scandinavian laboratories.

1. INDLEDNING

Af Kai Sørensen, LTL

Vejbelægningens lystekniske egenskaber er en vigtig faktor for synsforholdene på ubelyst vej og for vejbelægnings kvaliteten og økonomi på belyst vej.

Der er derfor blevet udført en lang række målinger af eksisterende vejbelægnings lystekniske egenskaber, og på baggrund af disse målinger har det været muligt at uddrage generelle udsagn om vejbelægnings lystekniske egenskaber og disses variation med belægningsens slidtilstand og sammensætning. Se f.eks. LTL-rapporter nr. 9 og 10.

Målinger på eksisterende vejbelægnings er således nyttige og besidder den fordel, at de knytter sig tæt til praktiske forhold. På den anden side har sådanne målinger den mangel, at de ikke er velegnede til belægnings af principielle sammenhænge mellem belægningsens sammensætning, slidtilstand, lystekniske egenskaber og andre funktionelle egenskaber. De omtalte målinger efterlader derfor en række vigtige spørgsmål ubesvarede.

Nærværende undersøgelse har til formål at komplettere den eksisterende viden om vejbelægnings lystekniske egenskaber ved hjælp af målinger på vejprøver med omhyggeligt udvalgte sammensætninger og i veldefinerede slidtilstande.

Kapitel 2 giver en oversigt over projektet, d.v.s. en beskrivelse af vejprøverne, slidproceduren og de målte parametre, mens der redegøres for den praktiske gennemførelse af projektet i kapitel 3.

Diskussionen af resultaterne findes i kapitel 4 og gennemføres i tre trin. Indbyrdes sammenhænge mellem de målte parametre behandles i afsnit 4.2, variationen af parametrene med slidtilstanden i afsnit 4.3 og afhængigheden af vejprøvernes sammensætning i afsnit 4.4. Da kapitel 4 er det sværest tilgængelige, findes der en ret udførlig indledning i afsnit 4.1.

I kapitel 5 gives en sammenfatning af de vigtigste konklusioner.

2. ÖVERSIKT ÖVER PROJEKTET

Av Arne Forsberg, VTI och Kai Sörensen, LTL

2.1 Översikt över vägproverna

2.1.1 Introduktion

När det bestämdes vilka olika massasammansättningar som skulle vara med i försöket fanns en begränsning i totala antalet provplattor till 80 stycken p g a tillgängligt utrymme i provvägsmaskinen. De för svenskt bruk mest intressanta beläggningstyperna bedömdes vara asfaltbetongbeläggningar med hårt bindemedel. I Danmark var man dessutom intresserad av Topekabeläggningar med bituminiserad chipsten (BCS). Därför kom dessa två beläggningstyper att ingå i försöket. Eftersom det utfördes dubbelprov av en del plattor blev det totala antalet recept på provplattor lika med 41 stycken varav 24 utgjorde recept på asfaltbetongplattor och resten (17 st) på Topekaplattor med BCS.

Olika egenskaper hos plattorna skulle uppnås genom att för asfaltbetongplattorna på ett systematiskt sätt kombinera flera typer av aggregat i varierande proportioner samt ha tre övre kornstorleksgränser. På Topekaplattorna kombinerades olika typer av aggregat i BCS:en dessutom användes tre faktioner.

2.1.2 Material till provplattorna

Vid tillverkningen av plattorna användes fem olika typer av aggregat: diabas från Forserum i Småland, granit från Stockholmsregionen, kvartsit från Hardeberga i Skåne samt de två syntetaggregaten synopal och luxovit. Dessutom tillsattes kalkstensfiller. Vissa data för aggregaten (fraktion 8-11,3 mm) framgår av tabell 2.1.

Tabell 2.1 Specifikation av de använda stenaggregaten.
Specification of the used aggregates.

Stenmat	Komp.dens. kg/dm ³	Flis	Sprödh	Styrkegr	Sliptal
diabas	2,99	1,44	46	1-2	76
granit	2,68	1,36	36	1	94
kvartsit	2,64	-	53 ¹⁾	-2)	107
synopal	2,38	1,18	33	1	108
luxovit	2,23	-	58 ¹⁾	-2)	151
kalkstens- filler	2,73				

1) Vid flisighet 1,2 för samtliga partiklar

2) Styrkegrad kan ej bestämmas p.g.a. 1)

Det använda bindemedlet utgjordes av en A 135 med en penetration på ungefär 80 och densiteten 1,03 kg/dm³.

2.1.3 Sammanställning av plattornas recept

Det slutliga resultatet av sammansättningen av de 80 plattorna framgår av tabell 2.2, där man även kan läsa vilken typ av trafik som varje belägningsplatta blivit utsatt för.

2.2 Slitageproceduren

2.2.1 Slag av trafik

Slitaget av plattorna har skett i VTI:s provvägsmaskin. Plattorna har där varit placerade i två spår, där det yttre spåret enbart trafikerats av hjul försedda med sommardäck medan inner-spåret omväxlande i de olika köromgångarna trafikerats av både sommardäck och dubbdäck.

Tabell 2.2

Sammansättningen av de olika plattorna.

The composition of the different types of slabs.

Platt- typ nr	Antal plattor		Receipt, vikt-% (volym-%)						Anmärkning
	Dubbdäck	Sonnardäck	Stenmaterial fraktion (mm)					Bindemedelshalt A 135	
			0-4	4-8	8-12	12-16	Filler		
1	9	1	049 (44)	011 (10)	09 (8)	019 (17)	6 (5)	6,2 (14,7)	HAB 16
2	2	1	050 (44)	012 (10)	010 (8)	Δ16 (17)	6 (5)	6,4 (14,7)	"
3	1		051 (44)	012 (10)	Δ10 (10)	Δ14 (15)	7 (6)	6,5 (14,7)	"
4	2	1	055 (50)	013 (12)	020 (18)		6 (5)	6,2 (14,7)	HAB 12
5	2	1	057 (50)	014 (12)	Δ17 (18)		6 (5)	6,4 (14,7)	"
6	1	1	058 (50)	Δ12 (12)	Δ17 (18)		6 (5)	6,6 (14,7)	"
7	1		Ω41 (37)	Ω16 (14)	Ω23 (21)	Ω11 (10)	3 (3)	5,6 (14,7)	HAB 16
8	1		Ω42 (37)	Ω17 (14)	Ω23 (21)	Δ9 (10)	3 (3)	5,8 (14,7)	"
9	1		Ω45 (37)	Ω18 (14)	Δ19 (21)	Δ9 (10)	4 (3)	6,1 (14,7)	"
10		2	Ω54 (49)	Ω22 (20)	Ω19 (17)			5,6 (14,7)	HAB 12
11		1	Ω57 (49)	Ω23 (20)	Δ15 (17)			5,9 (14,7)	"
12		1	Ω60 (49)	Δ18 (20)	Δ16 (17)			6,2 (14,7)	"
13	1		049 (44)	011 (10)	09 (9)	Π19 (17)	6 (5)	6,2 (14,6)	HAB 16
14	1		049 (44)	011 (10)	Π9 (9)	Π19 (17)	6 (5)	6,2 (14,6)	"
15	1		Π52 (47)	Π9 (9)	Π11 (10)	Π17 (15)	5 (4)	6,0 (14,1)	"
16		1	Ω53 (47)	Ω22 (20)	Π17 (17)		2 (2)	5,7 (14,7)	HAB 12
17	1		Ω55 (47)	Π20 (20)	Π18 (17)		2 (2)	5,9 (14,7)	"
18	1		Π56 (51)	Π14 (13)	Π19 (17)		5 (4)	6,2 (14,5)	"
19	1		Ω54 (47)	Ω23 (20)	Φ16 (17)		2 (2)	5,8 (14,7)	"
20	1		Ω57 (47)	Φ19 (20)	Φ16 (17)		2 (2)	6,1 (14,7)	"
21	1	1	064 (56)	Δ23 (24)			7 (6)	6,4 (14,5)	HAB 8
22	1	1	061 (56)	026 (24)			7 (6)	5,9 (14,1)	"
23	1		Ω54 (47)	Φ18 (20)	Ω20 (17)		2 (2)	5,9 (14,7)	HAB 12
24	1	1	Φ41 (42)	Ω25 (20)	Ω19 (15)		9 (8)	6,2 (14,7)	"
51-61, 64-67			048 (43)	014 (12)	019 (17)		10 (9)	8,5 (19,5)	TOP 12
62			050 (43)	014 (12)	Δ17 (17)		10 (9)	8,8 (19,5)	"
63			051 (43)	Δ12 (12)	Δ17 (17)		11 (9)	9,0 (19,5)	"
			Bitumeniserad chip-sten (BCS) till Topekaplattorna						
			Stenmaterial vikt-% (volym-%)			Fraktion (mm)	Mängd dm ³ /m ²		
51	2	2	Π100 (100)			12-16	5		
52	1	1	Δ 27 (30)			Π73 (70)	"	"	
53	1	1	Δ 53 (60)			Π47 (40)	"	"	
54	2	2	Δ100 (100)			"	"	"	
55		1	Φ 28 (30)			Π72 (70)	"	"	
56		1	Φ 57 (60)			Π43 (40)	"	"	
57		2	Φ100 (100)			"	"	"	
58	2	2	Ω100 (100)			"	"	"	
59	2	2	Ω 57 (50)			Δ43 (50)	"	"	
60		1	Ω 56 (50)			Δ44 (50)	"	"	
61	1	1	Ω 53 (50)			Π47 (50)	"	"	
62, 63		1							
64	1	1	Ω 57 (50)			Δ43 (50)	8-12	4	
65	1	1	Ω 57 (50)			Δ43 (50)	16-20	6	
66	1	1	Π100 (100)				8-12	4	
67	1	1	Π100 (100)				16-20	6	

Beteckningar: Ω = diabas
 Φ = granit
 Π = kvartsit
 Φ = luxovit
 Δ = synopal

2.2.2 Köromgångar

Plattorna har trafikerats i fyra köromgångar. Köromgångarna nr 1 och 3 har simulerat sommarförhållanden medan nr 2 och 4 har simulerat vinterförhållanden och därvid har hjulen som trafikerade innerspåret varit försedda med dubbdäck. En köromgång har normalt omfattar 50 000 varv med dubbla däckspassager i provvägsmaskinen. Köromgång nr 4 har dock varat i 100 000 varv för plattorna i sommarspåret och 60 000 varv för plattorna i dubbdäcksspåret.

2.2.3 Körklimat

Temperaturen i luft och i körbana under de fyra köromgångarna framgår av tabell 2.3.

Tabell 2.3

Temperatur i luft och körbana under köromgångarna i provvägsmaskinen.

The temperatur in the air and in the test track of the traffic simulator during the driving instalments.

Kör- omgång	Temperatur (°C)	
	Bana	Luft
1	21-23	20-23
2	1- 6	2- 5
3	18-20	20
4	0- 5	1- 2

2.3 Oversigt over målte parametre

2.3.1 Parametre med relation til vejbelysning

På LTL målttes vejprøvernes refleksionstabeller, også kaldet r-tabeller.

En r-tabel angiver værdier af den reducerede luminanskoefficient, r-værdien for et antal belynings- og observationsretninger, som tilsammen dækker de geometriske forhold, der har interesse i vejbelysning.

Refleksionstabellens indgangsparametre er to vinkler, γ og β , hvor γ er lysets indfaldsvinkel, og β er vinklen mellem to lodrette planer, det ene gennem belyningsretningen og det andet gennem observationsretningen. Observationsretningens vinkel med vejoverfladen, α er fastlagt til 1° . Angående de ovennævnte vinkler, se fig. 2.1.

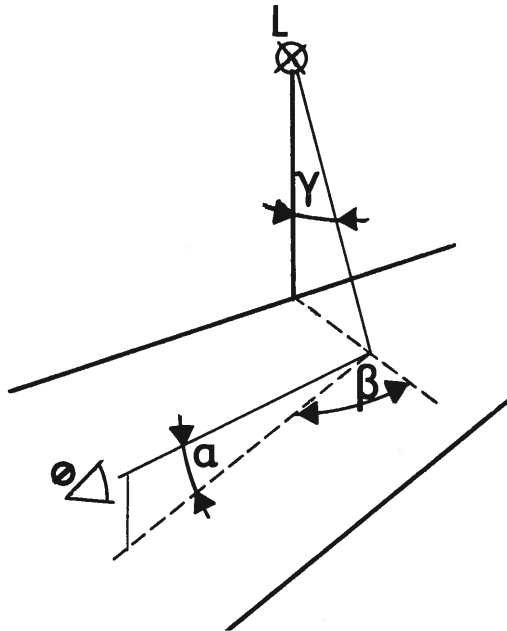


Fig. 2.1 Definition af de tre vinkler γ , β og α , som fastlægger belynings- og observationsgeometrien i vejbelysning. Vinklen α er 1° . \emptyset er øjet, og L er lyskilden.

Definition of three angles γ , β and α , which describes the geometry of illumination and observation in road lighting. The angle α is 1° . \emptyset is the eye and L is the light source.

Den reducerede luminanskoefficient er defineret ved

$$r(\gamma, \beta) = \frac{L}{E} \cdot \cos^3 \gamma$$

hvor L er den luminans af vejprøven, der frembringes ved belysning til den vandrette belyningsstyrke E.

Refleksionstabellerne målttes for den tørre og en serie våde tilstande af prøverne, men kun målingerne for tør og standardvåd tilstand er benyttet. Den standardvåde tilstand fremkommer 30 min. efter slukning af en vandingsmaskine, som giver 5 mm vand i timen.

Ud fra r-tabellerne beregnes Q0 og S1.

Q0 er en middelværdi af vejprøvens reducerede luminanskoefficienter og beteges middelluminanskoefficienten. Dens nøjagtige definition og en bekvem metode til beregning ud fra r-tabellen er angivet i CIE publikation 30 (1).

S1 er spejlingsfaktor nr. 1 i samme CIE publikation. S1 er forholdet mellem to r-værdier:

$$S1 = \frac{r(\beta=0, \text{tg}\gamma=2)}{r(\beta=0, \text{tg}\gamma=0)}$$

Værdierne af Q0 og S1 for den tørre tilstand benyttes direkte, mens værdierne for den våde tilstand benyttes til beregning af den korrigerede spejlingsfaktor, S1'.

hvis (S1-våd) \leq 1

$$S1' = S1\text{-våd}$$

hvis (S1-våd) > 1

$$\log(S1'/0,147) = \frac{\log((S1\text{-våd})/0,147)}{1 - (Q0\text{-våd})/0,687}$$

De tre parametre, Q0 og S1 for den tørre tilstand samt S1' for den våde, beskriver tilsammen vejprøvens refleksionsegenskaber i tør og våd tilstand, idet:

Q0 angiver vejprøvens lyshed
 S1 dens spejlingsgrad i tør tilstand
 S1' dens spejlingsgrad i våd tilstand

Ud fra S1 og S1' kan prøvens N- og W-klasse bestemmes. N-klassifikationen, som benyttes for tørre vejbelægninger, er vist i fig. 2.2, mens W-klassifikationen, som benyttes for våde vejbelægninger, er vist i fig. 2.3.

Q0, S1, S1' beskrivelsen samt N- og W-klassifikationen er nærmere begrundet af Frederiksen og Sørensen (2).

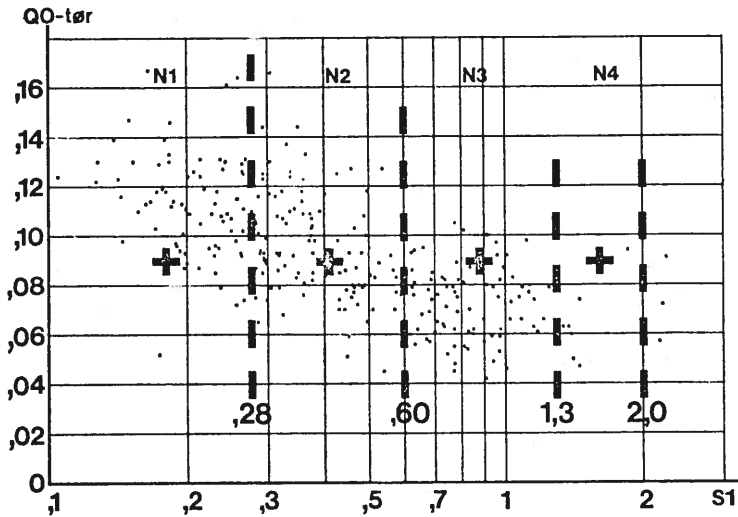


Fig. 2.2 Lysteknik klassifikation af tørre vejbelægningers spejlingsgrad. De indtegnede punkter angiver måleresultater fra danske og svenske vejbelægninger.

Classification of the degree of specularity of dry road surfaces. The points indicate measurements on Danish and Swedish road surfaces.

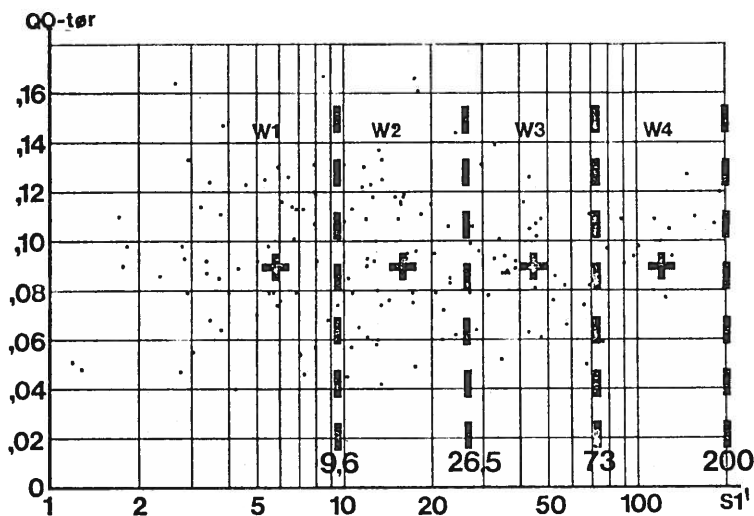


Fig. 2.3 Lysteknisk klassifikation af våde vejbelægningsers spejlingsgrad. De indtegnede punkter angiver måleresultater fra danske og svenske vejbelægnings.

Classification of the degree of specularity of wet road surfaces. The points indicate measurements on Danish and Swedish road surfaces.

2.3.2 Parametre med relation til belysning fra billygter

Da billygter skal belyse vejen i ret store afstande fra en lav højde, er belysningsretningernes vinkler med vejen meget små.

Refleksionstabellen, som omtaltes i foregående afsnit, omfatter ikke de ovennævnte belysningsretninger, således at der må udføres særlige målinger til bestemmelse af vejbelægningsens refleksionsegenskaber under belysning fra billygter.

Endvidere er det praktisk at angive vejbelægningsens luminans i forhold til belysningsstyrken på lodret plan, da lysfordelingerne for billygter måles og angives i forhold til et sådant.

Af ovennævnte grunde benyttes en luminanskoefficient, Q , som defineret herunder.

$$Q = \frac{L}{E_1}$$

hvor L er luminansen af et vandret fladeelement på vejen og E_1 er belysningsstyrken på en lodret flade, som tænkes placeret på fladeelementets sted og orienteret mod lysgiveren.

Luminanskoefficienten afhænger både af vejbelægningen og af belysnings- og observationsgeometrien. De geometriske forhold kan angives ved de tre vinkler α , ϵ og β , som er vist på fig. 2.4. Vinklerne α og ϵ er h.h.v. observations- og belysningsretningens vinkel med vejens plan og β er vinklen mellem de to lodrette planer gennem h.h.v. observations- og belysningsretningen. Vinklen ϵ er komplementarvinklen til lysets indfaldsvinkel, γ d.v.s. $\epsilon = 90^\circ - \gamma$.

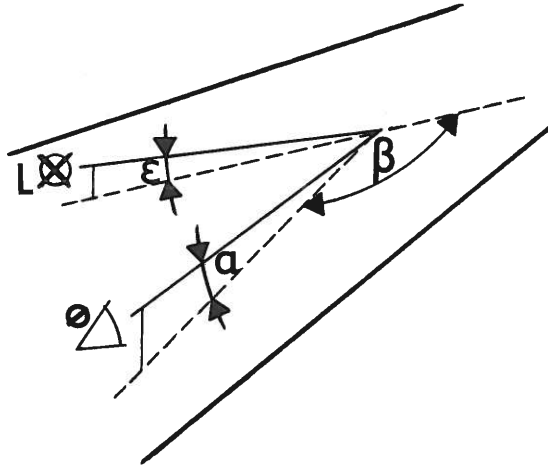


Fig. 2.4 Definition af de tre vinkler α , β og ϵ , som fastlægger belysnings- og observationsgeometri ved belysning fra billygter. \emptyset er øjet, og L er lyskilden.

Definition of three angles α , β , ϵ , which describes the geometry of illumination and observation in vehicle headlight lighting.
 \emptyset is the eye and L is the light source.

Særlig interesse har den situation, hvor vejen er belyst af bilførerens egne lygter, og hvor β er omtrent 180° . Luminanskoefficienten kaldes for retro-refleksionen og betegnes QR.

Også den situation, hvor vejen belyses af en modkørende bils lygter, har særlig interesse. Her er β omtrent 0° . Luminanskoefficienten kan kaldes den spejlende refleksion, den betegnes QS.

På LTL målttes en værdi af QR for den tørre og en række våde tilstande af vejprøverne. Kun værdierne for den tørre og den standardvåde tilstand er medtaget. Vinklerne er $\alpha = 1^\circ$, $\epsilon = 0,5^\circ$ og $\epsilon = 175,7^\circ$.

På VTI målttes tre forskellige værdier af QR og QS for både tør og en våd tilstand af vejprøverne. Sammenhængen mellem denne våde tilstand og den standardvåde tilstand kendes ikke. De tre værdier af QR karakteriseres ved observationsafstande på 25 m, 50 m og 80 m, mens de tre værdier af QS karakteriseres ved mødeafstande på 40 m, 80 m og 130 m.

De nøjagtige geometriske forhold fremgår af fig. 2.5, hvor de indgående parametre er resumeret.

Det er af figur 2.5 klart, at de vinkler, hvorved QR og QS er målt, kun udgør eksempler i det variationsområde, der kan komme på tale.

I det skandinaviske forskningsarbejde er der blevet enighed om fremtidig at benytte vinklerne $\alpha = 1,375^\circ$ og $\epsilon = 0,74^\circ$ ved måling af QR, som foreslået af Bjørset og Augdal (3). Forholdet, ϵ/α er 0,538. Den af de målte værdier af QR, der bedst svarer til ovennævnte geometri, er VTI's måling ved 50 m observationsafstand, hvor ϵ er $0,80^\circ$.

De forskellige målinger af QR benyttes til en afprøvning af evt. indbyrdes sammenhænge, mens den egentlige analyse af indflydelsen fra vejprøvens sammensætning udføres ved brug af VTI's målinger på 50 m observationsafstand.

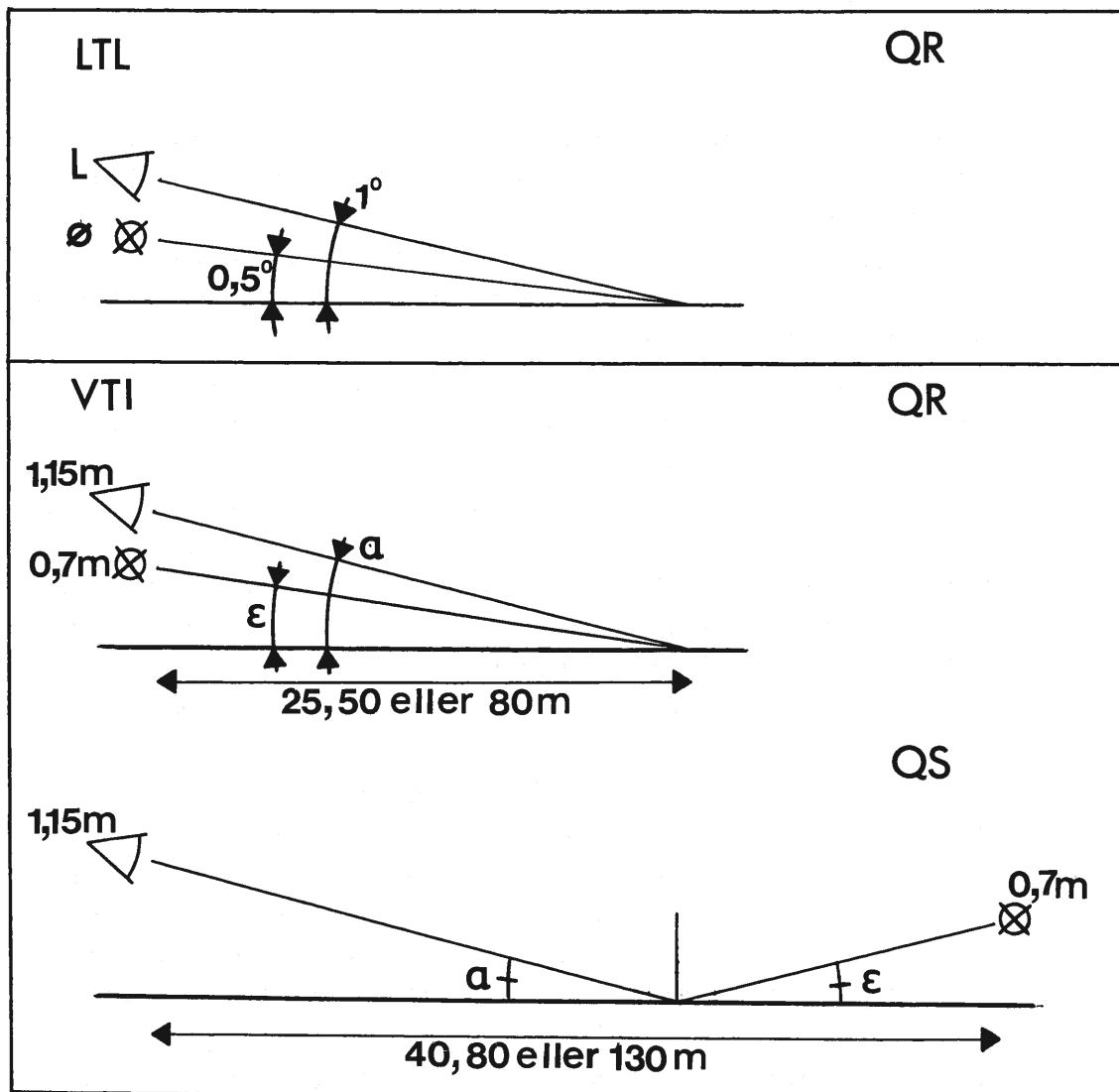


Fig. 2.5 Oversigt over målte parametre med relation til belysning fra billygter.
 \emptyset er øjet, og L er lyskilden.
 Hos LTL målt retrorefleksionen, QR i en geometri for tør og standardvåd tilstand.
 Hos VTI målt retrorefleksionen, QR i tre geometrier og den spejlende refleksion i tre geometrier, samtlige for tør og en våd tilstand.

Survey of parameters measured, which have relation to illumination from vehicle headlights.

\emptyset is the eye and L is the light source.

At LTL the retroreflexion, QR is measured in a fixed geometry for the dry and the standard wet condition.

At VTI the retroreflexion, QR and the specular reflection, QS is measured in three different geometries, in all situations for the dry and a wet condition.

2.3.3 Andra parametrar

2.3.3.1 Slitage

Slitaget anges i mm och utgör medelhöjdskillnaden i slitspåret mellan två bestämningar av en plattas höjdprofil.

Slitagebenägenheten är främst intressant för de plattor som varit utsatta för dubbdäckstrafik.

2.3.3.2 Friktion

Friktionsvärdena redovisas i SRT-enheter och är omräknade till att gälla för samma temperatur, +20°C på beläggningen. SRT-enheten, där SRT står för "Skid-Resistance-Tester", utgör ett apparatvärde men kan omräknas till klassiskt definierad friktionskoefficient μ enligt relationen

$$\text{SRT-enhet} = \frac{300 \cdot k \cdot \mu}{3 + \mu} \quad \text{där } k \text{ vanligen kan approximeras till } 1.10$$

2.3.3.3 Texturdjup

Texturdjupet har i detta projekt uppmätts enligt "sand-patch" metoden och blir då ett mått på provplattornas råhet i mm.

3. PRAKTISKT GENOMFÖRANDE AV PROJEKTET

Av Arne Forsberg, VTI och Kai Sörensen, LTL

3.1 Framställning av beläggningsplattorna

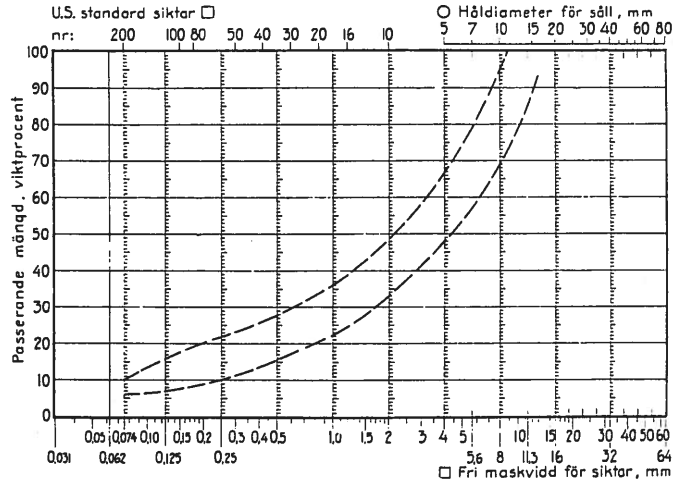
3.1.1 Proportionering av massorna

Vid proportionering av massorna utgicks från fyra olika beläggningstyper enligt Byggnadstekniska Anvisningar (BYA). Dessa är HAB 8, HAB 12, HAB 16 samt TOP 12. De använda aggregaten sikta- des ned i fyra fraktioner, 0-4 mm, 4-8 mm, 8-11,3 mm och 11,3-16 mm. De olika beläggningsmassornas kornfördelningar proportionerades därefter så att de i möjligaste mån kom att ligga mitt emellan gränskurvorna för respektive beläggningstyp enligt BYA. För luxovitaggregatet och diabasaggregatet måste en ytterligare nedsiktning av den minsta fraktionen 0-4 mm göras för att de önskade kornfördelningarna skulle kunna framtas. De fyra använda beläggningstypernas gränskurvor enligt BYA finns i figurerna 3.1-3.4. Eftersom stenaggregaten hade olika kompakt- densitet proportionerades beläggningsmassorna i volymprocent i stället för viktprocent. Lämplig bindemedelshalt för de olika beläggningstyperna fastställdes efter packning enligt Marshall och bestämning av provkropparnas hålrumshalt.

3.1.2 Bestämning av mängden BCS för Topekaplattorna

Topekaplattornas överyta försågs med BCS. Fraktionen BCS varie- rades i tre steg: 8-12 mm, 12-16 mm och 16-20 mm. Vid bestämning av mängden BCS för Topekaplattorna utgicks från fraktionen 12-16 mm. BYA föreskriver att avståndet mellan stenarna ej ska understiga 1 å 2 cm. Mängden BCS beräknades under de förutsätt- ningarna att varje sten var idealt kubisk med sidan 14 mm samt att avståndet mellan två stenar var en centimeter.

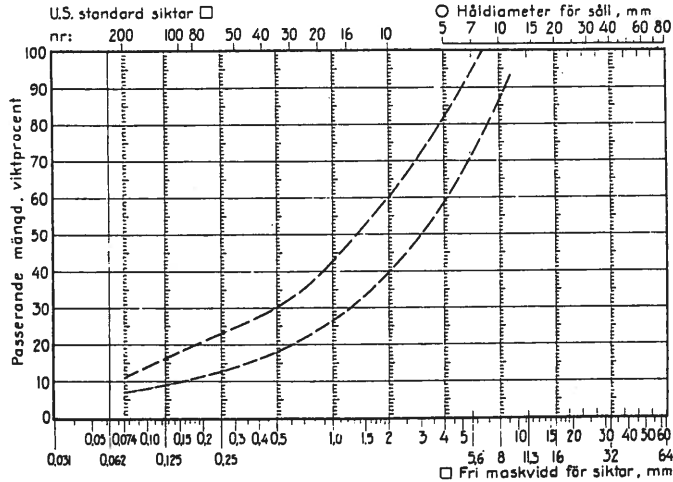
Mängden BCS för de två övriga fraktionerna beräknades på så sätt att förhållandet mellan fraktionens medianvärde (10 och 18 mm) och avståndet mellan två stenar skulle vara konstant lika med 14/1. De på så sätt erhållna avstånden blev 7 respektive 13 mm.



Figur 3.1

Gränskurvor för stenaggregatet i MAB8T beläggningar enligt BYA.

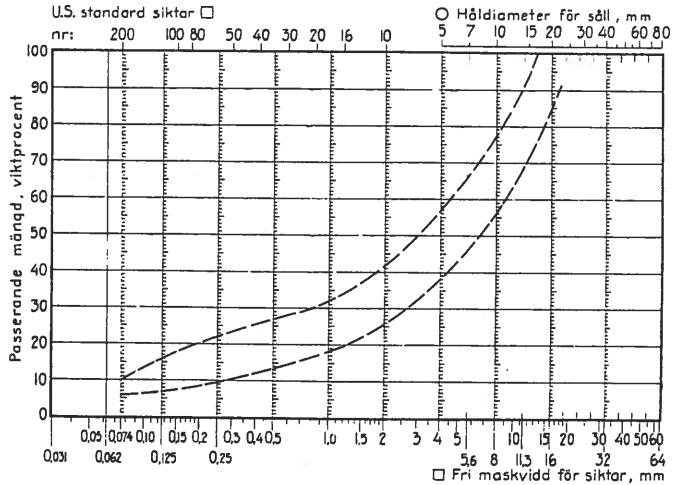
Limit grading curves for the aggregate in dense asphalt with a maximum particle size of 8 mm according to the directions from the national Swedish road administration.



Figur 3.2

Gränskurvor för stenaggregatet i MAB12T beläggningar enligt BYA.

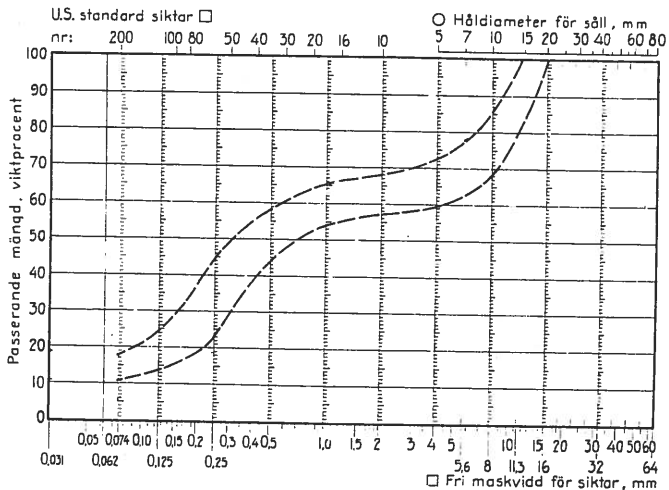
Limit grading curves for the aggregate in dense asphalt with a maximum particle size of 12 mm according to the directions from the national Swedish road administration.



Figur 3.3

Gränskurvor för stenaggregatet i MAB16T beläggningar enligt BYA.

Limit grading curves for the aggregate in dense asphalt with a maximum particle size of 16 mm according to the directions from the national Swedish road administration.



Figur 3.4

Gränskurvor för stenaggregatet i TOP 12 beläggningar enligt BYA.

Limit grading curves for the aggregate in stone-filled sand asphalt with a maximum particle size of 12 mm according to the directions from the national Swedish road administration.

3.1.3 Tillverkningsproceduren

För blandning av beläggningssmassorna användes tre stycken tvångsblandare av Sandbytyp. Två stycken hade vardera en kapacitet på ungefär 10 kg per sats medan den tredje kunde ta maximalt 150 kg och minimalt 50 kg. Den största blandaren användes när minst tre stycken plattor skulle tillverkas av samma massa. Blandningen av samtliga massor utfördes vid en temperatur mellan 140 och 145°C tills massan var homogent blandad dock minst 5 minuter.

När den blandade beläggningssmassan hade svalnat till en temperatur på mellan 100-120°C, vältades provplattan med måtten 35 x 35 x 5 cm i en vältmaskin. Packningsförfarandet tillgick så att massan som skulle vältas först hälldes i en stålform med innermåtten 35 x 35 cm. På den utjämnade massan anbringades en statisk belastning med storleken 12400 N som överfördes till hela ytan medelst en stålplatta. Massan fick på detta sätt komprimeras i 5 minuter. Därefter packades massan dynamiskt genom att en linjelast med storleken 35000 N/m fick vandra fram och åter över plattan 40 ggr. De 20 första gångerna överfördes lasten via stålplattan medan för de 20 sista gångerna lasten påfördes direkt på massan. För de plattor med beläggningstyp TOP 12 spreds BCS efter den statiska belastningen. Spridningen av BCS utfördes för hand på ett så noggrant sätt som möjligt. Efter packningsproceduren fick plattorna svalna i formen 30 minuter innan de togs ut och märktes med nummer och vältrikting. Innan plattorna var färdiga för montering i provvägsmaskinen där nötningen av dessa skulle äga rum, sågades sidorna parallella med vältriktingen av, så att plattornas slutliga mått blev 35 x 30 x 5 cm, varefter de limmades fast på stålplåtar för att inte kunna deformeras.

Packningskvaliteten kontrollerades för en slumpmässigt utvald Topeka 12-platta. Plattans sågades sönder i 25 lika stora bitar och hålrumspocenten bestämdes för varje bit. Resultatet framgår av fig. 6.

Enligt BYA skall medelvärdet av hålrumshalten för en vägbeläggning av typ TOP 12 ligga inom intervallet 2,0-5,0 %, där enskilda värden tillåts variera mellan 1,0-6,0 %.

Denna beläggning med medelvärdet 1,53 kan därför anses något för tät vilket kan ha berott på den använda vältmetoden. Detta kan i vissa fall ha resulterat i ett visst bindemedelsöverskott på ytorna av de otrafikerade plattorna.

1,41	1,18	1,17	1,37	2,47
1,14	2,98	0,61	0,69	1,74
1,54	1,18	1,54	1,26	1,86
1,46	1,38	1,14	1,30	1,90
2,26	1,22	1,46	1,78	2,23

Vältriktning

medelvärde = 1,53 %

stand.dev. = 0,54

Figur 3.5

Topekaplatta delad i 25 bitar med hålrumsp procenten bestämd för varje bit.

One slab of stone-filled sand asphalt divided into 25 pieces. For each piece the void content is determined.

3.2 Slitage av vägbeläggningsplattorna

3.2.1 Allmänt

Denna körning i provvägsmaskinen utfördes med nästan samma förutsättningar som en tidigare. För att beskriva provvägsmaskinen har därför följande tre avsnitt nästan direkt hämtats ur referens (9).

3.2.2 Provvägsmaskinen - allmän beskrivning

Provvägsmaskinen (figur 3.6) består av en vertikalaxlad rotor försedd med sex armar för montering av gummidäcksförsedda hjul, som får löpa på en ringformig, horisontell provbana med diametern ca 5 m. Samtidigt med att rotorn snurrar rör sig rotoraxeln långsamt i en cirkelformig bana med diametern 60 mm, så att hjulen inte ska gå i var sitt spår. Hjulen fjäderbelastas till avsedd hjulbelastning och varje hjul drivs för sig av en elmotor. Maskinen befinner sig i ett rum, där temperaturen medelst ett kylaggregat kan hållas relativt konstant ned till köldgrader. Provbanan kan hållas fuktig genom en vattenspridare fastsatt vid en av armarna.

En utförlig beskrivning av maskinen i dess ursprungliga utförande finns i referens (4).

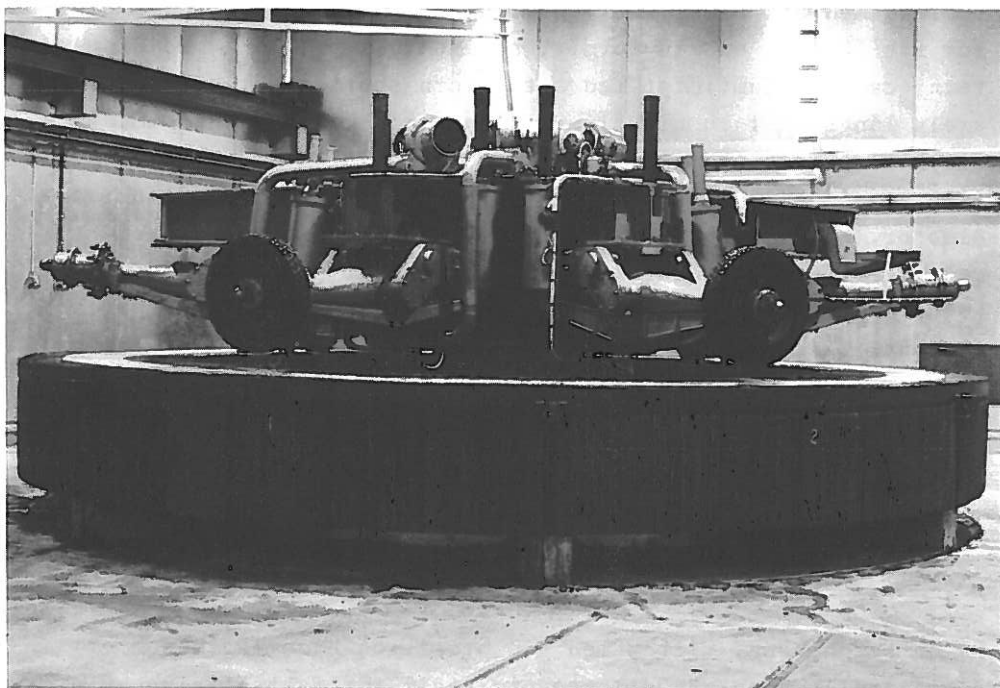
3.2.3 Körbanorna och provens placering

På en betongbana, vilken med god precision hade lagts som ett horisontellt plan, hade monterats ställ för fastsättning av proven.

Proven klämdes fast i ställen. Ställ med fastsatta prov visas i figur 3.7. Inalles var det 20 st ställ monterade intill varandra i form av en ring. Proven närmast maskincentrum bildade tillsammans med utfyllnader mellan proven den inre körbanan och de andra proven den yttre körbanan.

För att fylla utrymmet mellan de olika ställena användes vägmarkeringsmassa av termoplasttyp som visat sig ha ungefär samma slitagebenägenhet som konventionella asfaltbetongbeläggningar och dessutom var enkel att hantera.

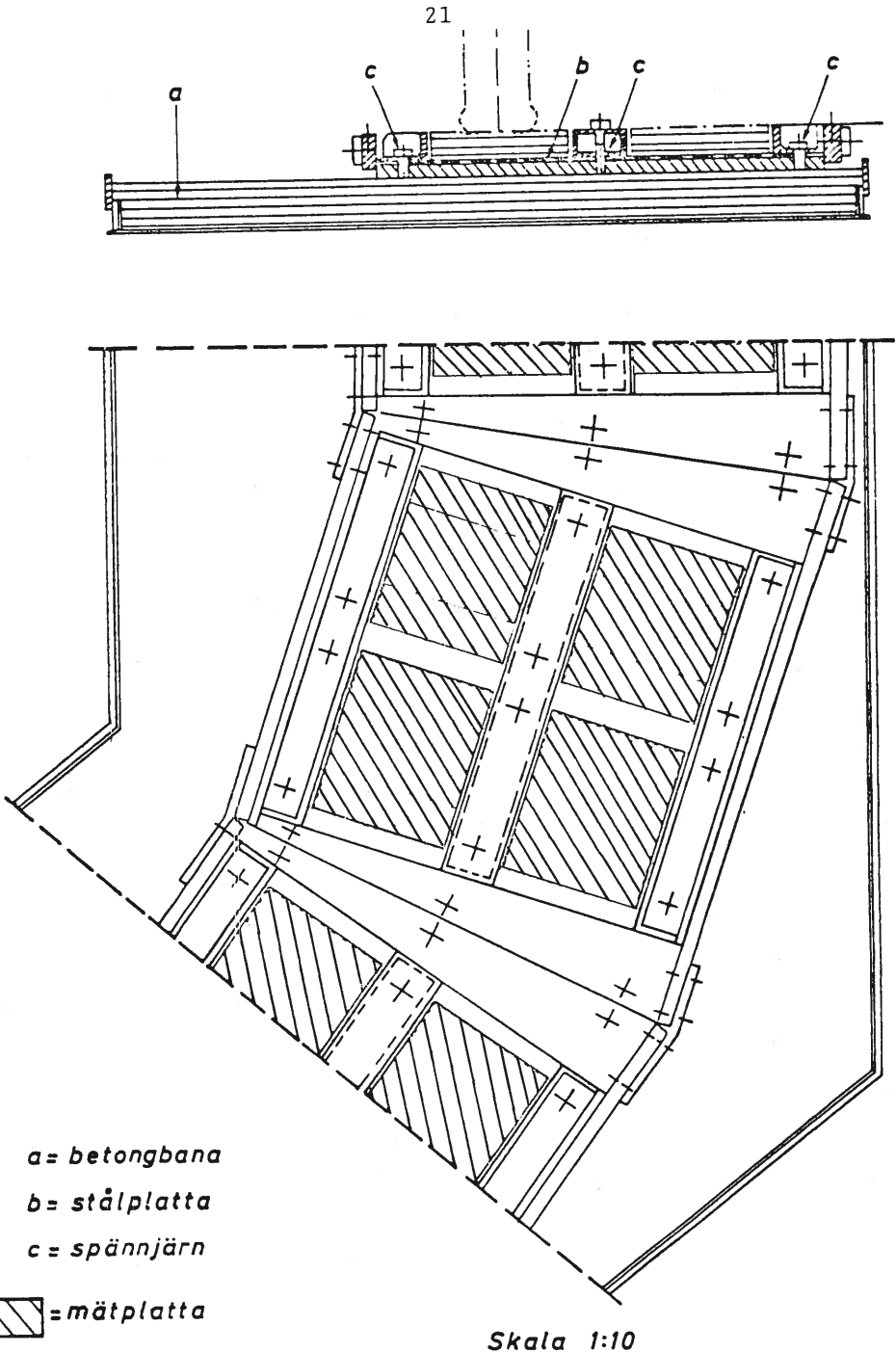
Då laboratoriemätningar skulle göras på provplattorna i flera omgångar under försökets gång, måste plattorna kunna tas bort och remonteras på samma ställe utan att på något sätt ha förändrats. Därför lades skumgummiplattor i sådana lägen där annars



Figur 3.6

VTI:s provvägsmaskin för accelererade slitageprovningar av olika vägbeläggningar.

The traffic simulator aimed for testing the wear resistance for different kinds of pavements.



Figur 3.7

Fastsättningen av provplattorna i provvägs-
maskinen.

The slabholders in the traffic simulator.

plattorna skulle ha legat mot varandra eller mot utfyllnads-
massan mellan ställen.

3.2.4 Dubbdäcken och hjulen

Endast fyra av roterns armar kunde användas, om två distinkta
körbanor skulle erhållas. Vardera körbanan blev alltså trafike-
rad av två hjul.

Den inre körbanan blev enbart trafikerad av hjul med odubbade
sommardäck medan den yttre körbanan omväxlande trafikerades av
hjul med odubbade somnardäck och dubbade vinterdäck.

Både somnardäcken och vinterdäcken var av radialtyp. Somnardäcken
var av typen Trelleborg Europe Radial 165 SR 15 och vinterdäcken
av typen Gislaved Brodd 116M+S 165 SR 15.

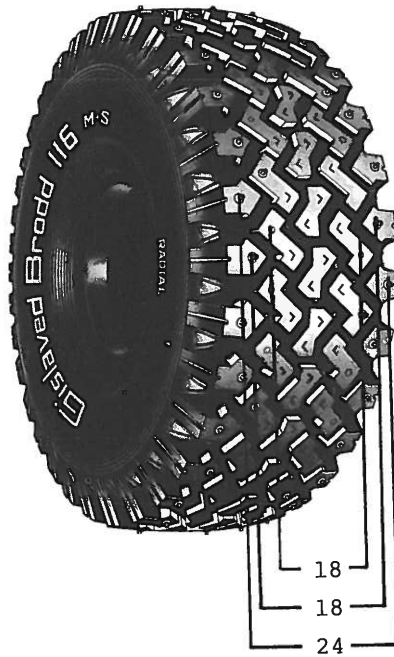
Vinterdäcken hade dubbats på fabriken med 120 á 122 st dubbar,
varvid dessa fördelats så att jämnt slitage skulle erhållas i
provvägsmaskinen. Fördelningen av dubbarna på ingreppslinjerna
och däckmönstret framgår av figur 3.8.

Eftersom dubbning av ett däck inte bör ske i mittområdet av
däckets slitbana monterades hjulen så att mot vardera däckets
mittparti skulle svara dubbar i det andra däck i samma körbana.
Slitaget skulle därmed bli så jämnt fördelat som möjligt vid
normal dubbning.

Dubbarna var av fabrikat Secomet. Utseende och dimensioner fram-
går av figur 3.9.

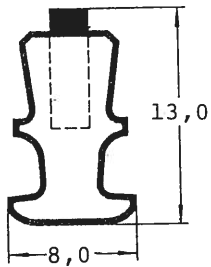
Trycket i däcken hölls vid 220 kPa övertryck ($= 2,2 \text{ kp/cm}^2$) och
hjullasten vid 500 kg.

Hjulen har vid denna körning fått löpa vertikalt utan konrull-
ning.



Figur 3.8

Fördelningen av dubbarna på däckmönstertytan.
The distribution of studs on the outer tyre.



Figur 3.9

Dimensionerna på en däcksdubb.
The dimensions of a stud.

3.2.5 Körningens utförande

Körningen i provvägsmaskinen försiggick i fyra omgångar. Hastigheten var hela tiden densamma, 25 km/h. Köromgångarna nummer ett och nummer tre simulerade sommarförhållanden medan nummer två och fyra simulerade vinterförhållanden. Temperaturen i luften och i körbanan mättes under hela försöket. För att mäta temperaturen i körbanan hade åtta stycken termistorer nedborrats i denna på lika avstånd runt hela omkretsen.

Under de tre första köromgångarna fick provvägsmaskinen göra 50 000 varv i både innerspåret och i ytterspåret per köromgång medan den i den fjärde fick göra 100 000 varv i innerspåret och 60 000 varv i ytterspåret. Eftersom hastigheten var 25 km/h och medelomkretsen i provvägsmaskinen är 16,5 m gjorde den omkring 1500 varv i timmen och ungefär 10 000 varv varje arbetsdag. En "normal" köromgång varade då i fem dagar. Vatten spreds på banan varannan kördag men den sista dagen i varje köromgång måste vara en "våt dag" så att inte provplattorna skulle vara missfärgade av däcken eller från det bituminösa bindemedlet.

Innan provvägsmaskinen startades på morgonen under köromgång två och fyra då vinterförhållanden simulerades spreds sand av fraktionen 0-4 mm på körbanan.

3.3 Gennemførelse af målingerne

3.3.1 Målinger af r-tabeller og retrorefleksion hos LTL

3.3.1.1 Måleapparatet

Princippet i LTL's måleapparat er vist på skitsen i fig. 3.10.

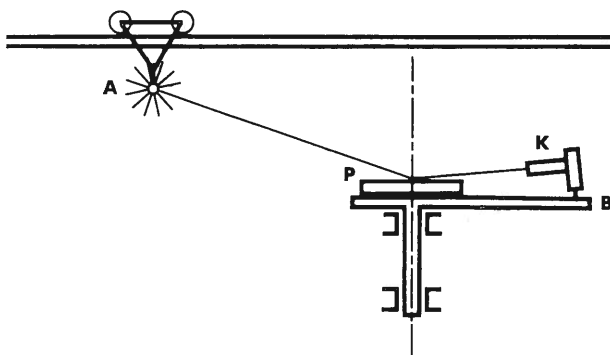


Fig. 3.10

Hoveddelene i LTL's måleapparat til udmåling af vejprøvers r-tabeller.

P er vejprøven, som placeres på det drejelige bord, B hvorpå luminansmetret, K er monteret.

Vejprøven belyses fra lyskilden, A som kan bevæges på en skinne over bordet.

Vinklerne β og γ ændres ved h.h.v. drejning af bordet og bevægelse af lyskilden.

Under målingen af vejprøvens retrorefleksion belyses prøvens overflade fra en lysgiver (ikke vist) i nærheden af luminansmetret.

The main components in the equipment at LTL for the measurement of reflection tables of road samples.

P is the road sample, which is placed on the revolving table, B on which the luminance meter, K is fixed.

The road sample is illuminated by the light source, A, which moves along rails.

The angles β and γ are set by respectively a turning of the table and a movement of the light source.

During measurement of the retroreflection of the road sample, the sample is illuminated by a light source (not shown) in a position close to the luminance meter.

Apparatet har et drejeligt bord, hvorpå vejprøven anbringes, og hvorpå luminansmetret er anbragt. En drejning af bordet svarer til en ændring af vinklen β .

Apparatets anden hoveddel er en vogn med lyskilde, som kører på en skinne over bordet. En flytning af vognen svarer til en ændring af vinklen γ .

Målingen af vejprøvens r-tabel er automatiseret, idet en elektronisk enhed styrer bordets drejning og vognens bevægelse. Måleresultaterne udhulles på papirbånd.

Under den periode, hvor målingerne gennemførtes, blev der anvendt et luminansmeter, som ikke er farvekorrigeret, og hvis åbningsvinkler er forholdsvis store. Apparatet var derfor ikke helt i overensstemmelse med anbefalingerne i CIE publikation 30 (1), men dette forhold har ikke givet anledning til en væsentlig forringelse af målenøjagtigheden.

Luminansmetret er senere blevet udskiftet med et andet, som nøje svarer til CIE anbefalingerne, og som i øvrigt tillader en nemmere opretning af prøverne.

Til måling af vejprøvens retrorefleksion var der på det drejelige bord, lidt under og ved siden af luminansmetret, anbragt en lysgiver, som kobles ind i stedet for lyskilden på vognen.

Også dette system er senere blevet ændret, så målegeometrien er i overensstemmelse med aftalen inden for det nordiske samarbejde (3).

De våde tilstande frembringes, før som nu, ved hjælp af et vandingsanlæg, som indstilles til at give en jævnt fordelt vanding af vejprøven på 5 mm i timen.

Målingerne gennemføres på den måde, at den tørre vejprøves r-tabel og retrorefleksion måles. Derefter gøres vejprøven våd og vandes yderligere i et tidsrum af vandingsanlægget. Under det påfølgende tørreforløb måles r-tabel og retrorefleksion efter fastsatte tidsrum.

3.3.1.2 Behandling af målingerne

De papirbånd, som udhulles af måleapparatet, indlæses til LTL's EDB-anlæg, hvor dataene udsættes for en første kontrol og omregnes til de egentlige r-tabeller, som lagres på magnetplader.

De målte r-tabeller blev udsat for endnu en analyse på EDB, hvorunder en del fejl blev fundet og rettet, mens et lille antal r-tabeller måtte kasseres.

Endeligt justeredes r-tabellerne til det format, som er anbefalet i CIE publikation 30 (1). Justeringen resulterer dels i, at tabellens værdier ved $tg\gamma = 0$ bliver ens, og i at værdierne ved $\beta = 20^{\circ}$, 30° og 40° indsættes ved interpolation. De metoder, som er anvendt, er beskrevet i LTL-rapport nr. 10.

De endelige, justerede r-tabeller er benyttet ved beregning af Q_0 , S_1 og S_1' , men er ikke i sig selv angivet i rapporten.

Retrorefleksionsværdierne udregnes manuelt ud fra måle- og kalibreringssignal.

3.1.1.3 Kommentarer til måleresultaterne

De anvendte vejprøver har dimensionerne 30 x 35 cm i stedet for de dimensioner på 20 x 40 cm, som normalt anvendes på LTL, og som er anbefalet i CIE publikation 30.

Endvidere er de vejprøver, som er slidt med pigdæk langt fra plane. Efter første slidning med pigdæk var de noget udhulede, og efter sidste slidning med pigdæk udhulede i adskillige mm's dybde.

Disse forholds betydning for prøvernes dræningsegenskaber og dermed for deres refleksionsegenskaber i våd tilstand blev underkastet en indledende undersøgelse. Denne undersøgelse viste, at en våd vejprøves refleksionsegenskaber ikke ændres betydeligt, når dræningen ud over prøvens lange kanter forhindres. Det blev derfor konkluderet, at prøver med større bredde og nogen udhulning burde kunne måles tilfredsstillende.

I praksis var det dog vanskeligt at placere de udhulede prøver nøjagtigt i måleapparatet, da overfladerne krummede både på langs og på tværs. Endvidere synes selve krumningen at have påvirket de målte refleksionsegenskaber direkte, da r-tabellerne for de våde tilstande afviger noget fra de sædvanligvis målte r-tabeller.

De opgivne måledata for prøver, der er slidt med pigdæk, kan derfor ikke tillægges nogen stor nøjagtighed. Dette gælder især for måledataene for den standardvåde tilstand og for den sidste slidtilstand.

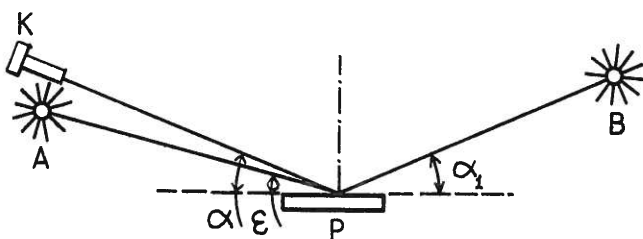
3.3.2 Mätningar av retroreflexion och speglande reflexion vid VTI

3.3.2.1 Allmänt

Vid VTI mättes ljusreflexionsegenskaper för vägbeläggningar med relation till mobil belysning, dels retroreflexionsförmågan och dels speglande reflexionsförmågan. Mätningar utfördes på de olika proven för varje slitagetillstånd. Principskisser över de två typerna av belysningsfall i figur 2.5.

3.3.2.2 Mätapparaten

Principen i VTI:s optiska bänk framgår av figur 3.11.



Figur 3.11

Huvuddelarna i VTI:s optiska bänk för mätningar av vägbeläggnings ljusreflexionsegenskaper av betydelse vid mobil belysning.

The main parts in the optical bench at VTI used for measurements of certain light reflection properties of importance to vehicle-illuminated pavements.

I figur 3.11 är P vägbeläggningsprovet. Luminansmätaren K och ljuskällorna A och B är alltid inriktade mot en punkt O mitt på provets yta. Vinklarna ϵ , α , α_1 och β kan ställas in oberoende av varandra för att alla i praktiken förekommande ljusinfallsriktningar och observationsriktningar vid mobil belysning ska kunna ställas in.

Vinklarna ϵ , α , α_1 och β finns definierade i figur 2.4 samt α_1 i figur 3.11.

β har varit 0° vid mätning av QS och 180° vid mätning QR.

Olika observationsavstånd (O) och mötesavstånd (M) simuleras i optiska bänken med hjälp av vinklarna α , ϵ och α_1 . Värdena på dessa vinklar för de simulerade avstånden framgår av tabell 3.1.

Tabell 3.1

Simulerade observations- och mötesavstånd i optiska bänken uttryckta i vinklar.

The simulated observation- and meetingdistances expressed in angles in the optical bench.

O (m)	M (m)	α ($^\circ$)	ϵ ($^\circ$)
25	40	2,61	1,60
50	80	1,30	0,80
80	130	0,82	0,50

3.3.2.3 Mätningarnas genomförande

Mätförloppet för varje platta har varit sådant att efter kalibrering av mätaren och placering av plattan har de tre retroreflexionsgeometrierna mätts, därefter de tre speglade reflexionsgeometrierna. Tiden för en mätserie var i genomsnitt fyra minuter.

Vid varje mätomgång mättes först samtliga plattor i torrt tillstånd och därefter i vått tillstånd.

Det våta tillståndet har åstadkommit på så sätt att plattorna först varit placerade i vatten minst en timme. På mätbordet har de efter inriktning vattenbegjutits med en sprayflaska till maximalt vått tillstånd. Mätningproceduren har börjat precis fem minuter efter den sista vattenspridningen.

Mätvärdena vid VTI har antecknats manuellt för att sedermera när hela projektets mätresultat förelegat ha stansats upp på hålremsa vilken skickats till LTL för bearbetning i dator.

3.3.3 Mätningar av slitage, friktion och textur vid VTI

3.3.3.1 Slitagemätningar

Bestämning av slitaget har skett genom mätning av provplattornas höjdprofil vinkelrätt mot körriktningen före och efter varje köromgång. För profileringen användes en på institutet konstruerad profilometer, lifrost. Instrumentets utseende framgår av figur 3.12. En beskrivning av instrumentet finns i referens 9. Höjdprofilvärdena har automatiskt registrerats på hålremsa för var 10:e mm utmed varje profileringsstråk, som omfattar både den inre och den yttre körbanan. Två profiler bestämdes hos varje mätplatta på avståndet 25 mm från varandra på ömse sidor om mätplattans mitt.

Sexton mätpunkter i följd, medelvärden av de två profilerna och symmetriskt belägna i slitagespårets mitt utnyttjades för att beräkna slitaget hos varje platta. Slitaget redovisas som medel slitage i de sexton punkterna.

3.3.3.2 Friktionsmätningar

Friktionen mättes med en portabel friktionsmätare av pendeltyp, utvecklad av RRL i Storbritannien (figur 3.13). För varje slitage-

tillstånd mättes våtfriktionen i en punkt i slitspåret mitt på varje platta.

3.3.3.3 Texturdjup

Texturdjupet har mätts medelst "sand-patch" metoden. Principen framgår av figur 3.14.

En mätning har gjorts på varje platta för varje slitagetillstånd.

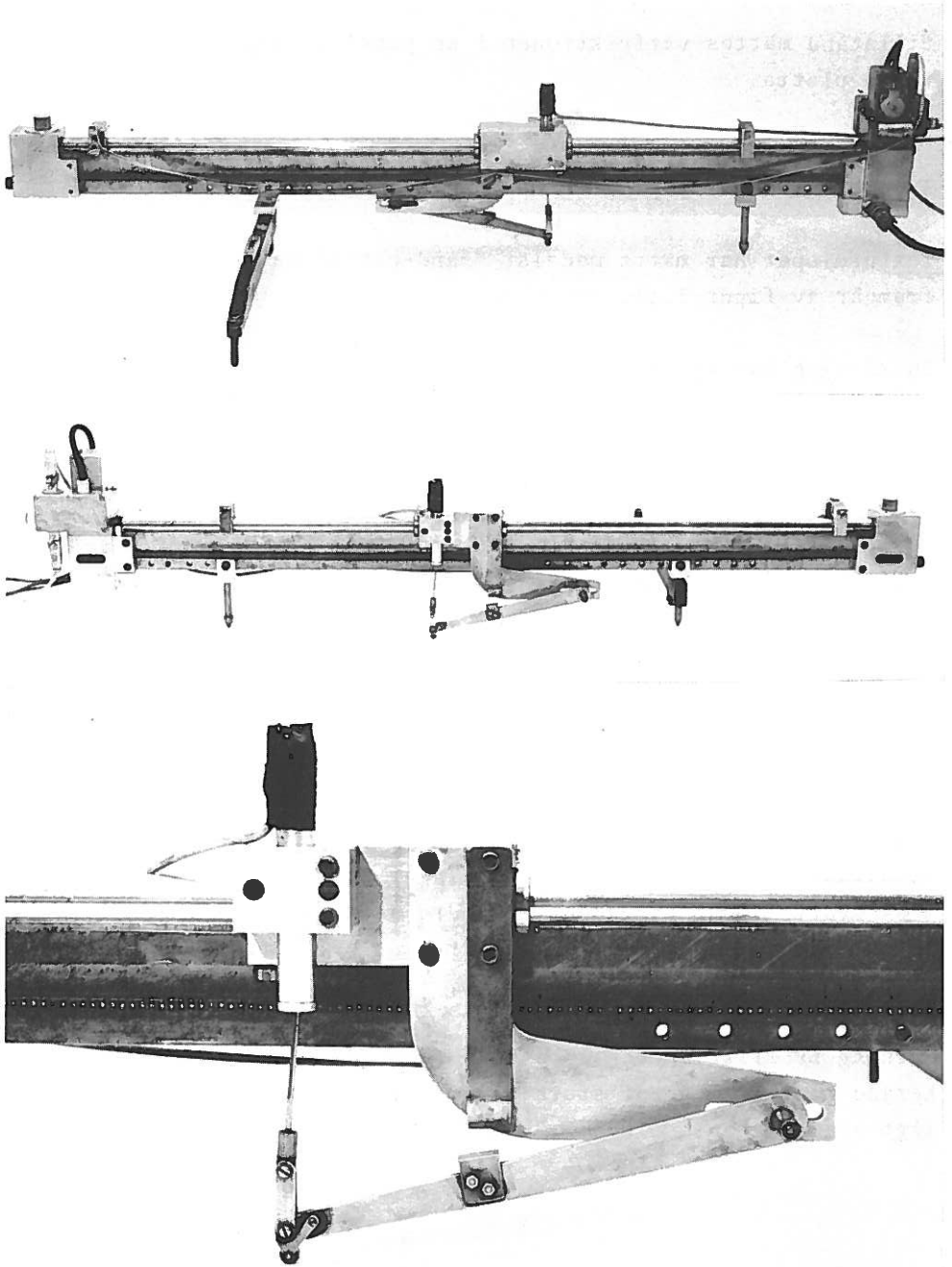
3.3.3.4 Kommentarer till mätresultaten

Resultatet av slitagemätningarna visar att man bara får ett verkligt slitage på de plattor som trafikerats av dubbdäck.

Det lilla slitage som även erhålls för plattor utsatta för enbart sommardäck utgör till största delen en plastisk deformation av plattan samt en bortnötning av bindemedelshinnan från stenarna i plattans överyta.

Slitagets storlek för dubbdäckstrafikerade plattor bekräftar resultatet från andra slitagemätningar att vissa stenmaterial t ex kvartsit och diabas nöts mindre än t ex synopal och luxovit. Det minsta slitaget uppvisar platttyp nr 67, som är en TOP 12 platta med BCS, kvartsit 16-20 mm.

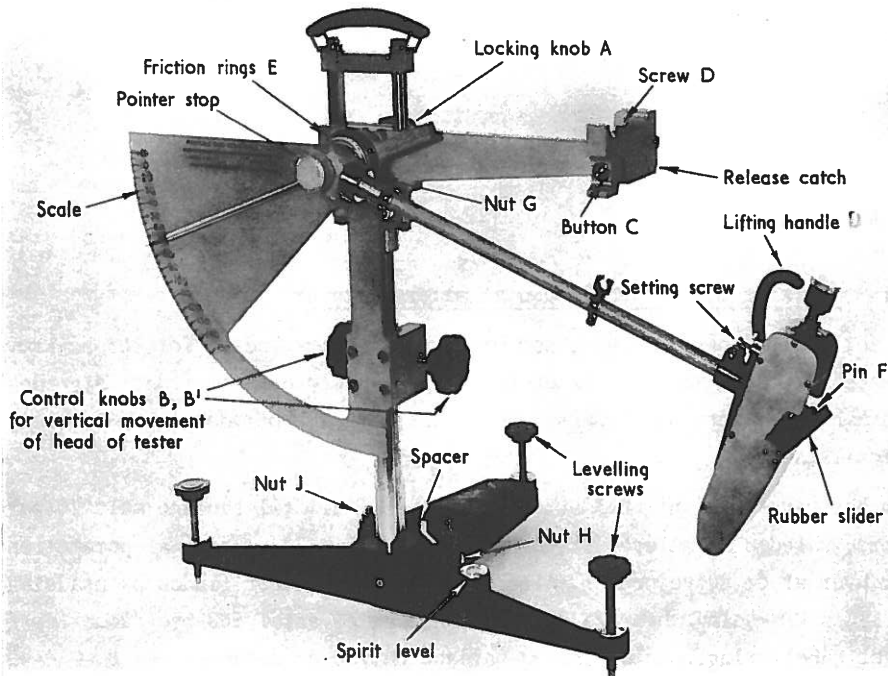
Mätning av friktion och speciellt texturdjup på dubbdäckstrafikerade plattor innebar stora svårigheter på grund av den onaturligt ojämna ytan, se 3.3.1.3.



Figur 3.12

Profilometer för mätning av provplattornas
höjdprofil (Lifrost).

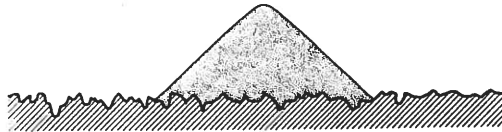
Instrument for profile measurements of the
slabs (Lifrost).



Figur 3.13

Portabel friktionsmätare av pendeltyp.
Portable pendulum skidresistance tester

- a) Känd volym av fin ensartad sand uthållid på vägen.



- b) Sanden utstruken till en cirkulär fläck där "dalarna" är fyllda till topparnas nivå.



- c) Texturdjup = $\frac{\text{sandvolym}}{\text{fläckens area}}$ (mm)

Figur 3.14

Sand-patch metoden för att mäta texturdjup.
Sand-patch method of measuring texture-depth.

4. RESULTATER

Af Kai Sørensen, LTL.

4.1 Oversigt over behandlingen af måleresultater

De forskellige påvirkninger, som prøverne har været udsat for, er beskrevet i tabel 4.1. Det ses, at der er to grupper af prøver, som i det følgende kaldes h.h.v. sommer- og pigdæksprøver. Enhver prøve optræder i fem forskellige slidtilstande.

Som beskrevet i afsnit 2.3 er der for hver af slidtilstandene målt 20 parametre, således at måleresultaterne består af 5 x 20 værdier af parametrene for hver af de 80 vejprøver. Alle disse måleresultater findes på pladelager på LTL's EDB-anlæg, hvorfra der ved hjælp af et antal EDB-programmer er foretaget tabellering, udplotning og variansanalyse af dataene.

I tabel 4.2 er der vist en EDB-udskrift af måleresultaterne for en af vejprøverne.

Den umiddelbare fremgangsmåde ved behandlingen af måleresultaterne ville være at undersøge de 20 parametres variation med slidtilstanden, samt at sætte værdierne af de 20 parametre for en udvalgt repræsentativ slidtilstand i relation til prøvernes sammensætning. Denne fremgangsmåde kan imidlertid ikke benyttes uden videre, da hver af undersøgelserne forudsætter fremstilling af et meget stort antal diagrammer, og da forholdene for 20 parametre er vanskelige at overskue.

Af ovennævnte grunde og for at lette forståelsen af resultaterne er der i afsnit 4.2 foretaget en undersøgelse af indbyrdes relationer mellem parametrene, som resulterer i, at 8 af parametrene udvælges som karakteristiske for en vejprøves egenskaber. Disse 8 parametre er summeret i tabel 4.3. Udgangspunktet for ovennævnte undersøgelse er LTLI-notat nr. 97 (7).

De 8 parametres variation med slidtilstanden behandles i afsnit 4.3.

I afsnit 4.4 behandles de 8 parametres relation til prøvernes sammensætning. Valget af de repræsentative slidtilstande, nr. 5 for sommerdæks- og nr. 3 for pigdæksprøverne, træffes og begrundes i afsnit 4.4.1.

Det vises i afsnit 4.4.2, at prøvernes sammensætning er valgt, så der for sommerdæksprøvernes vedkommende kan optegnes 5 typer af diagrammer og for pigdæksprøvernes vedkommende 4 typer, som beskriver en parameters relation

SLIDTILSTAND NR.		1	2	3	4	5
SOMMERDÆKS- PRØVER 40 STK.	FORUDGÅENDE PÅVIRKNING	INGEN	50.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, SOMMERKLIMA	50.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, VINTERKLIMA	50.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, SOMMERKLIMA	100.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, VINTERKLIMA
	AKKUMULERET ANTAL OVER- KØRSLER	0	50.000	100.000	150.000	250.000
PIGDÆKS- PRØVER 40 STK.	FORUDGÅENDE PÅVIRKNING	INGEN	50.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, SOMMERKLIMA	50.000 OVERKØRSLER MED PIGDÆK, VINTERKLIMA	50.000 OVERKØRSLER MED SOMMER- DÆK, SOMMERKLIMA	60.000 OVERKØRSLER MED PIGDÆK, VINTERKLIMA
	AKKUMULERET ANTAL OVER- KØRSLER	0	50.000	100.000	150.000	210.000

Tabel 4.1 For både sommer- og pigdæksprøver er der foretaget målinger for 5 forskellige slidtilstande.

Number of runs with and without studded tyres for the pavement samples of various area.

For both set of samples, those worn exclusively by summer tyres and those worn partly by studded tyres, measurements are repeated in 5 different conditions of wear.

SAMTLIGE MAALERESULTATER FOR PRØVE NR 21

RECEPT NR 2

MAB16, GRANIT 0/12 + 17% SYMPAL 12/16 (17 VOL.%)

PRØVEN LAA I KASSETTE NR 812

BELASTNING I SLIDMASKINEN, OVERKØRSLER

DAEKTYPE

SIMULERET KLIMA

	0	50000	100000	150000	210000
	SOMMER	VINTER	SOMMER	VINTER	SOMMER
	SOMMER	VINTER	SOMMER	VINTER	SOMMER

MAALERESULTATER FRA LTL

Q0 (CD/M2/LUX)	TØR TILSTAND	.087	.078	.144	.159	.167
S1	TØR TILSTAND	7.63	1.15	.24	.22	.31
	(>N		N3	N1	N1	N1
S1'	VAAD TILSTAND	21.9	20.9	10.7	36.5	28.8
	(W2		W2	W2	W3	W3
QR (CD/M2/LUX)	* TØR TILSTAND	.0019	.0044	.0400	.0335	.0360
	* VAAD TILSTAND	.0014	.0025	.0158	.0151	.0115

MAALERESULTATER FRA VT1

QR (CD/M2/LUX)	*TØR	* OBS.AFST.= 25 M	.0022	.0074	.0305	.0286	.0212
	*	* OBS.AFST.= 50 M	.0029	.0081	.0326	.0309	.0350
	*	* OBS.AFST.= 80 M	.0035	.0090	.0315	.0297	.0460
	*	*					
	*VAAD	* OBS.AFST.= 25 M	.0006	.0012	.0085	.0120	.0078
	*	* OBS.AFST.= 50 M	.0008	.0017	.0125	.0134	.0125
	*	* OBS.AFST.= 80 M	.0012	.0020	.0148	.0151	.0133
QS (CD/M2/LUX)	*TØR	* MØDEAFST.= 40 M	.969	.448	.071	.146	.291
	*	* MØDEAFST.= 80 M	3.053	1.563	.191	.453	.303
	*	* MØDEAFST.=130 M	6.106	3.429	.344	1.133	.379
	*	*					
	*VAAD	* MØDEAFST.= 40 M	4.152	17.400	4.885	7.755	266.93
	*	* MØDEAFST.= 80 M	5.170	5.149	1.110	1.747	61.590
	*	* MØDEAFST.=130 M	8.426	4.870	.932	1.863	15.070
FRIKTION (SRT-VAERDI VED 20 GR.C)			52.	54.	69.	62.	78.
STRUKTURDYBDE, SANDPLET (MM)			.50	.49	1.12	1.49	.95
MIDDELSLITAGE (MM)			.00	.30	3.50	.00	3.10
TOTAL SLITAGE (MM)			.00	.30	3.80	3.80	6.90
SPS (TON/MILL.BIL=KM)			.	5.	50.	.	43.

Tabel 4.2 EDB-udskrift af måleværdier for en vejprøve. Slidbyden er angivet på tre forskellige måder nederst i tabellen. I det følgende benyttes kun "total slitage" under betegnelsen "slidbyde".

Computer printed table of measuring values for one road sample. The wear of the sample is given in three different interpretations at the lower end of the table. In the following only the accumulated wear is used in designation "depth of wear".

	BETEGNELSE	NAVN	EGENSKAB
FOR VEJ- BELYS- NING	Q0-TØR	MIDDELLUMINANS- KOEFFICIENT	VEJPRØVENS LYSHED
	S1	SPEJLINGSFAKTOR	VEJPRØVENS SPEJ- LINGSGRAD I TØR TILSTAND, BESTEMMER N-KLASSE
	S1'	KORRIGERET SPEJ- LINGSFAKTOR	VEJPRØVENS SPEJ- LINGSGRAD I VÅD TILSTAND, BESTEMMER W-KLASSE
FOR BE- LYSNING FRA BIL- LYGTER	QR-TØR VED 50 M OBS. AFSTAND	RETROREFLEKTION	VEJPRØVENS LYSHED
	QS-TØR VED 130 M MØDE AFSTAND	SPEJLENDE REFLEK- SION	VEJPRØVENS SPEJLEN- DE REFLEKSION
ANDET		FRIKTION	VEJPRØVENS FRIK- TION, PENDULRUHEDS- MÅLER
		STRUKTURDYBDE	VEJPRØVENS STRUK- TUR, SANDPLETMETO- DEN
		SLIDDYBDE	VEJPRØVENS SLIDDYB- DE, PROFILERING

Tabel 4.3 De udvalgte otte karakteristiske parametre.

The eight parameters, which are chosen as the characteristic of the properties of the sample.

til prøvernes sammensætning. Et fuldstændigt sæt af diagrammer ville således bestå af 9 diagrammer, som kan kaldes receptdiagrammer, for hver af de 8 karakteristiske parametre.

Under udarbejdelsen af rapporten har der været et fuldstændigt sæt af diagrammer, dog i en lidt anden udgave end beskrevet i afsnit 4.4.2 til rådighed. De erfaringer, der er opnået ved hjælp af diagrammerne er i afsnit 4.4.3 suppleret med en variansanalyse af de 8 parametres afhængighed af prøvernes sammensætning. For flertallet af parametrene påvises enten, at variationen med prøvernes sammensætning er lille, at variationen skyldes afhængighed af andre parametre, eller at den skyldes forhold, som ikke fremgår klart af diagrammerne.

For parametrene Q0 og QR's vedkommende angives og diskuteres receptdiagrammerne i afsnit 4.4.4.

4.2 Indbyrdes sammenhænge mellem parametrene

4.2.1 Introduktion til diagrammerne

De indbyrdes sammenhænge beskrives ved hjælp af et antal diagrammer, hvor måleværdien for en parameter er afsat ud af den ene akse og måleværdien for en anden parameter er afsat ud af den anden akse.

I diagrammerne er måleværdierne for alle de fem slidtilstande angivet ved punkter. Måleværdierne for de repræsentative slidtilstande er karakteriseret ved, at punkterne omslutes af en cirkel eller en trekant. Cirklen benyttes for sommerdæksprøvernes slidtilstand nr. 5 og trekanten for pigdæksprøvernes slidtilstand nr. 3.

4.2.2 Parametre med relation til vejbelysning, Q0, S1 og S1'

Sammenhængene er undersøgt i tre diagrammer, Q0, S1 diagrammet i fig. 4.1, Q0, S1' diagrammet i fig. 4.2 og S1, S1' diagrammet i fig. 4.3.

Af fig. 4.1 ses, at et højt Q0 som regel medfører et lavt S1. Undtaget herfra er dog den oprindelige, bitumendækkede slidtilstand, hvor S1 er meget

høj, og den spejlende refleksion kan resultere i et forholdsvis højt Q_0 . For tilslidte belægninger skyldes Q_0 fortrinsvis diffus refleksion.

Fig. 4.2 og 4.3 viser forhold med nogen indbyrdes lighed. Når målingerne fra samtlige slidtilstande studeres under ét, er der ingen tydelig sammenhæng, mens der er nogen korrelation, når målinger fra de enkelte slidtilstande studeres for sig.

Det nye i undersøgelsen er de ovennævnte korrelationer, samt antydning af, hvorfor de ikke optræder, når vejprøver i forskellige slidtilstande inddrages.

Korrelationernes natur er, at et højt Q_0 alt andet lige bevirker en reduktion i Sl' , samt at et lavt Sl alt andet lige indikerer, at Sl' også er lavt.

Det som slører sammenhængene er, at prøvernes slidtilstand tilsyneladende påvirker variationsområdet af Q_0 og i stærk grad af Sl , men ikke af Sl' . Den egenskab ved prøvernes forskellige slidtilstande, som bevirker de ovennævnte forhold, er formentligt forskellige mængder af rest-bitumen på overfladerne.

Konklusionen af det ovenstående er derfor, at fjernelse af bitumen på overfladen bevirker en forøgelse af Q_0 , et drastisk fald i Sl , men ingen tydelig virkning på Sl' . Det vides ikke, om rest-bitumen på overfladen af vejbelægninger i realistiske forhold spiller en så lille rolle for Sl' .

4.2.3 Parametre med relation til belysning fra billygter, QR og QS

4.2.3.1 Målegeometriens betydning for retrorefleksionen, QR

VTI's målinger ved 25 og 50 m sammenlignes i fig. 4.4, mens målingerne ved 80 og 50 m sammenlignes i fig. 4.5. Diagrammerne har kun punkter for den tørre tilstand.

Det ses af fig. 4.4 og 4.5, at QR ikke ændrer sig meget med observationsafstanden. Der er i gennemsnit tale om en forøgelse på 15-20 % ved en forøgelse af afstanden fra 25 til 80 m.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

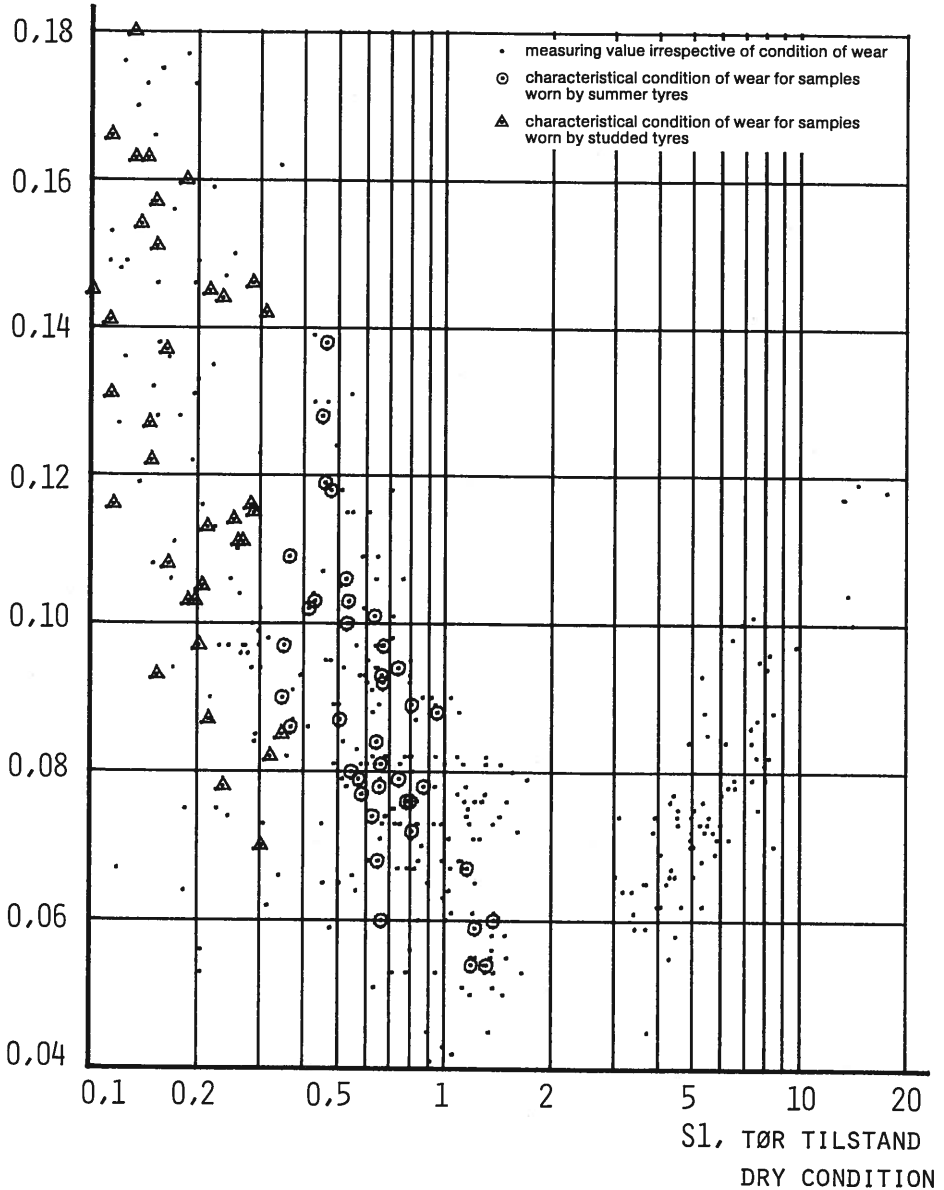


Fig. 4.1 Sammenhæng mellem Q0 og S1.
 For slidte prøver aftager S1, når Q0 vokser, mens Q0 vokser med voksende S1 for de meget spejlende, bitumendækkede prøver ($S1 > 2$).

Relation between Q0 and S1.
 For worn samples S1 decreases, when Q0 increases, while Q0 increases with increasing S1 for the very specular, bitumen covered samples ($S1 > 2$).

Q0, TØR TILSTAND

DRY CONDITION

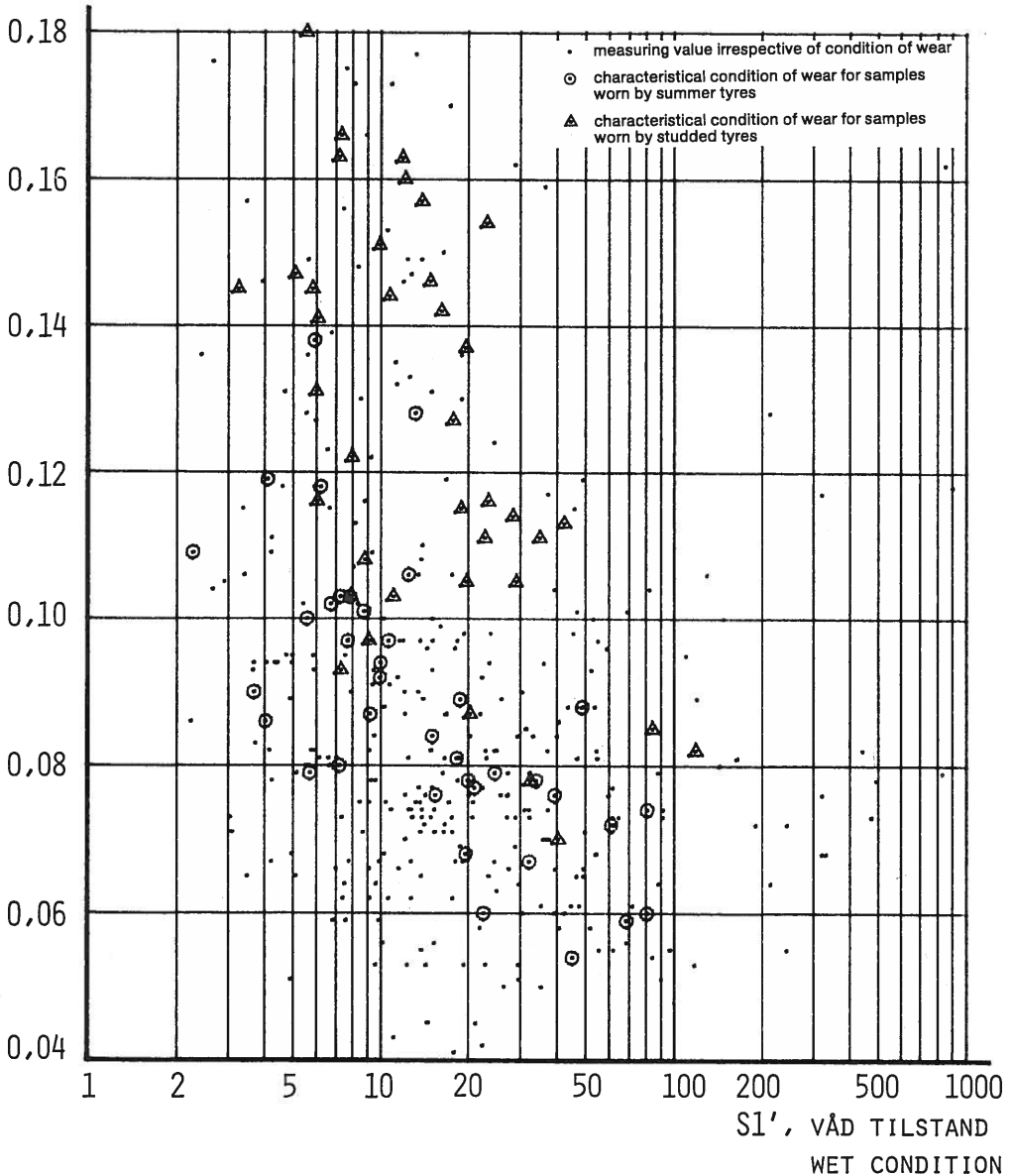
 $(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$ 

Fig. 4.2

Sammenhæng mellem Q0 og S1'.

For samtlige slidtilstande under ét er der ingen tydelig sammenhæng mellem Q0 og S1'. For de enkelte slidtilstande ses derimod, at S1' aftager med voksende Q0.

Relation between Q0 and S1'.

When all conditions of wear are considered, there is no clear relation between Q0 and S1'. When only one condition of wear is considered, S1' decreases with increasing Q0.

S1, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

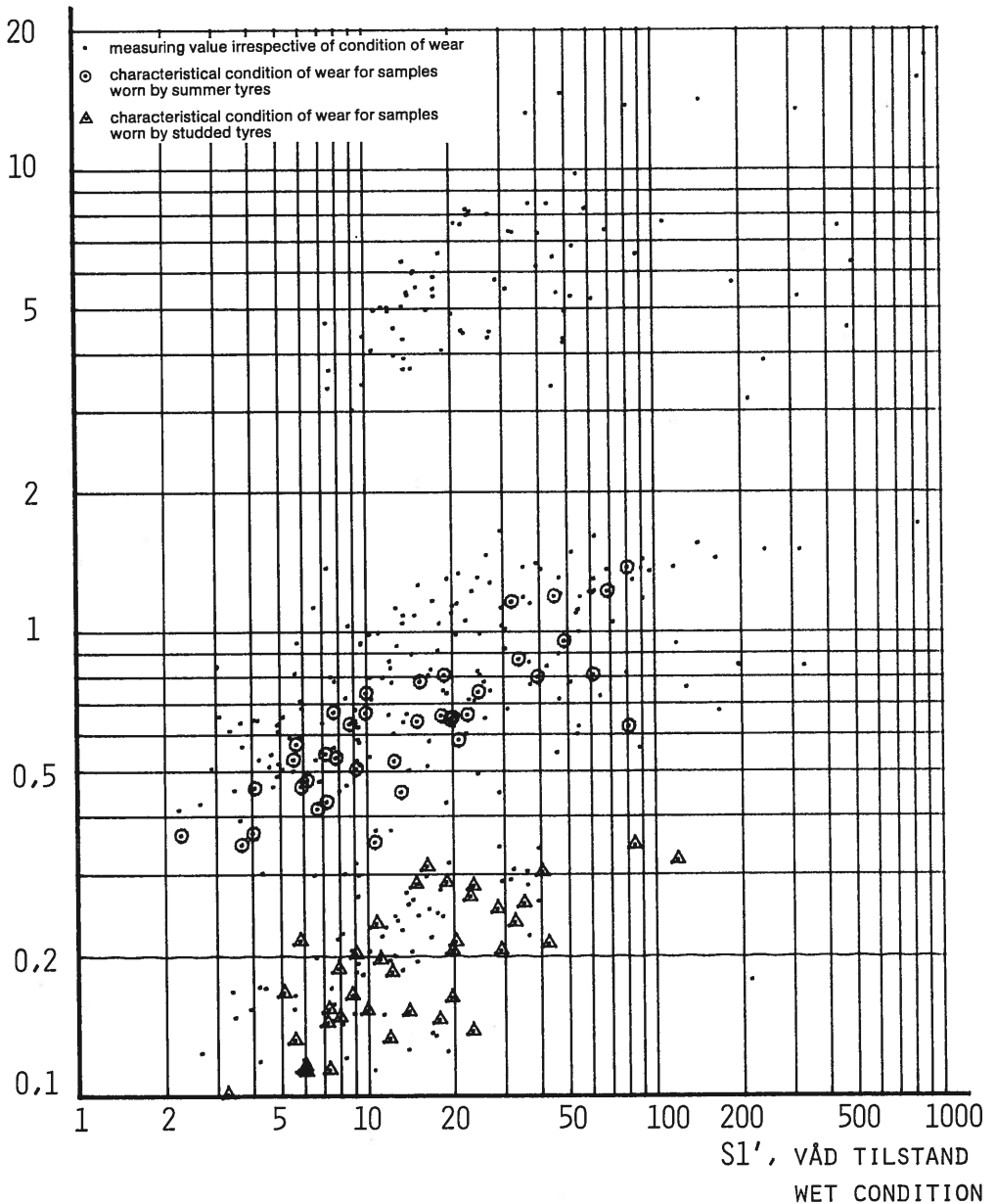


Fig. 4.3 Sammenhæng mellem S1 og S1'.
 Det ses, at prøverne falder i tre forskellige grupper, som er karakteriseret ved at være hhv. bitumendækkede, slidt med sommerdæk og slidt med pigdæk. Gruppernes S1, men ikke deres S1', har forskellige niveauer.

Relation between S1 and S1'.

It is seen that the samples fall into three groups, which are respectively bitumen covered, worn by summer tyres and worn by studded tyres. The S1, but not the S1', of the groups are at different levels.

QR VED 25 M, TØR TILSTAND
AT 25 M, DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

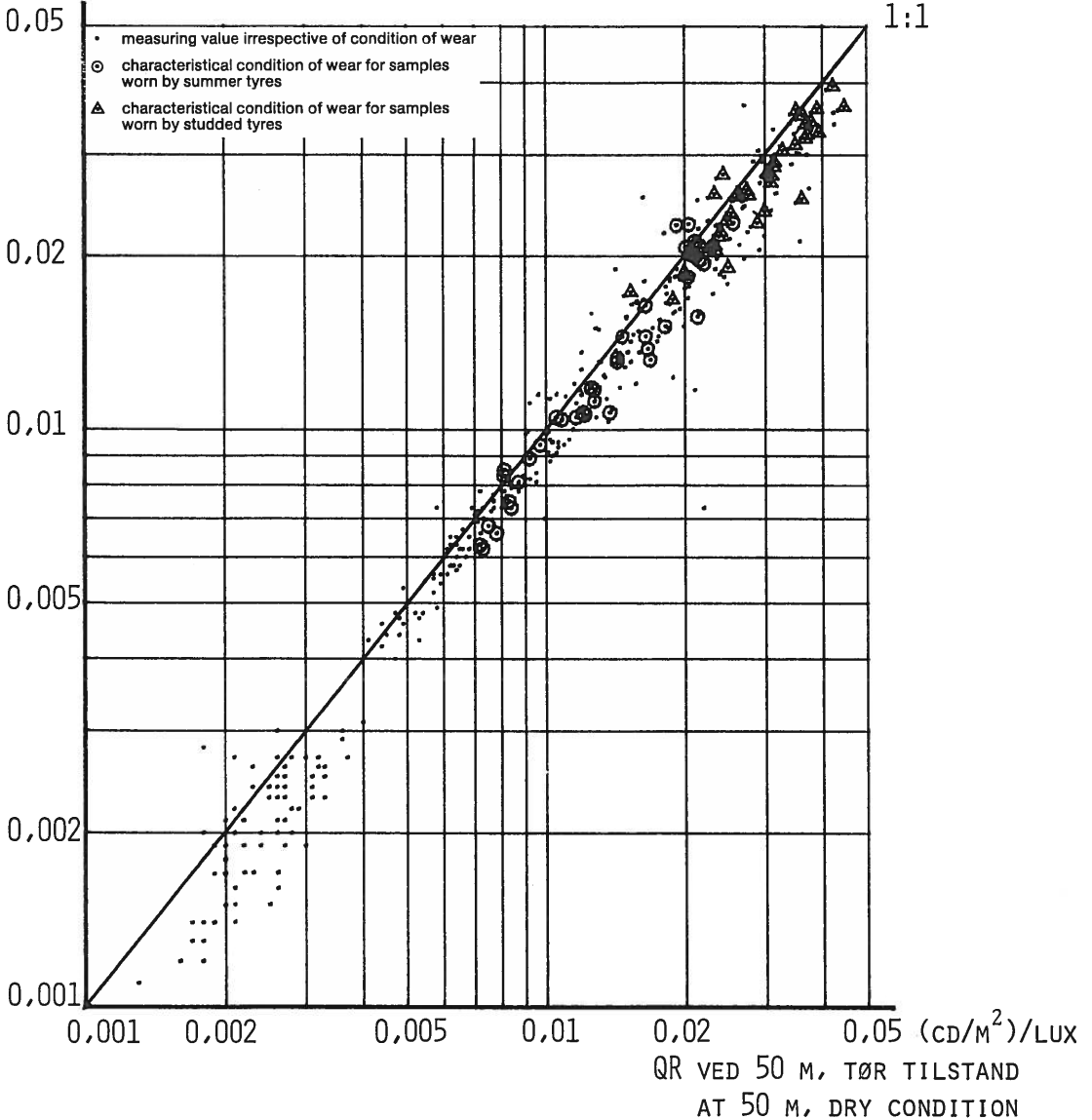


Fig. 4.4 Sammenligning af VTI's målinger af QR ved 25 og 50 m afstand for tørre vejprøver. Værdierne af QR ved 25 m er i gennemsnit ca. 10 % lavere end ved 50 m.

Comparison of the VTI measurements of QR at 25 and 50 m. At 25 m QR is on the average appr. 10 % lower than at 50 m.

QR VED 80 M, TØR TILSTAND
AT 80 M, DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

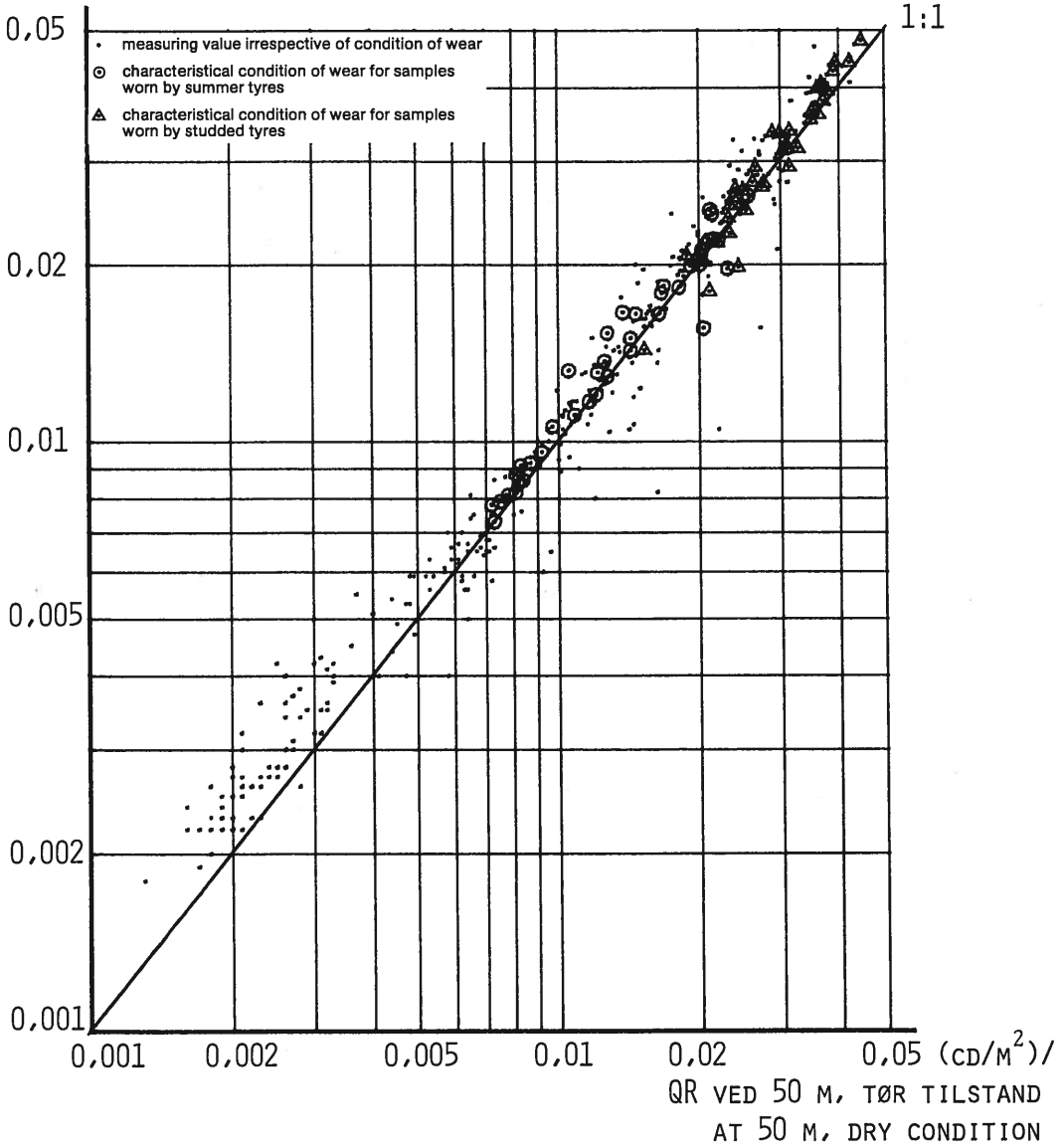


Fig. 4.5 Sammenligning af VTI's målinger af QR ved 80 og 50 m afstand for tørre vejprøver. Værdierne af QR ved 80 m afstand er i gennemsnit ca. 10 % højere end ved 50 m.

Comparison of the VTI measurements of QR at 80 m and 50 m. At 80 m QR is on the average appr. 10 % higher than at 50 m.

Ud over den systematiske ændring af QR ses i diagrammerne ændringer af tilsyneladende tilfældig karakter og af størrelsen ca. 10 %. Enkelte, meget store ændringer skyldes formentlig målefejl.

De tilsvarende diagrammer for den våde tilstand er ikke vist her, men det fremgår af LTLI-notat nr. 97, at de ovenstående observationer for den tørre tilstand også gælder for den våde. De tilfældige ændringer er dog lidt større end 10 %.

LTL's og VTI's målinger er sammenlignet i fig. 4.6 for den tørre tilstand og i fig. 4.7 for de våde tilstande.

Af fig. 4.6 ses, at LTL's værdier i gennemsnit er noget lavere end VTI's, og at spredningen er stor. Fig. 4.7 viser ikke nogen systematisk forskel på de to sæt målinger for de våde tilstande. Den forskel, som skyldes målegeometrikerne, er formentligt bortkomponeret ved, at der benyttes forskellige våde tilstande på VTI og LTL.

De store spredninger, som observeres i fig. 4.6 og 4.7, skyldes formentlig i første række usikkerhed på LTL's målinger, som er udført med et simplificeret udstyr i en kompakt geometri.

På baggrund af det ovenstående benyttes kun VTI's målinger af QR ved 50 m i det følgende.

4.2.3.2 Ændring i retrorefleksionen, QR fra tør til våd tilstand

I fig. 4.8 er vist QR ved 50 m og for den våde tilstand i forhold til QR ved 50 m for den tørre tilstand.

Det ses, at for hovedparten af målingerne er QR 2 til 8 gange lavere for den våde end for den tørre tilstand. Det ses endvidere, at målingerne for de repræsentative tilstande med nogen tilnærmelse ligger omkring to linier i diagrammet, en for sommerdæksprøver og en for pigdæksprøver.

Da hældningerne af de ovennævnte linier er større end svarende til et fast forhold mellem QR for våd og tør tilstand, konkluderes, at faldet i QR fra tør til våd tilstand er særligt kraftigt, når QR er lav.

Det ovenstående kan formuleres således, at overflader med lyse sten i nogen grad bevarer deres retrorefleksion i våd tilstand, mens overflader med mørke

sten næsten helt mister deres i forvejen lave retrorefleksion. Den fysiske årsag til dette fænomen kendes ikke.

For de repræsentative slidtilstande har QR for den våde tilstand således en rimelig god relation til QR for den tørre tilstand. Som karakteristisk parameter for retrorefleksionen benyttes derfor kun QR ved 50 m og for den tørre tilstand.

4.2.3.3 Målegeometriens betydning for den spejlende refleksion

Sammenligningen af VTI's målinger af QS på tørre vejprøver er vist i fig. 4.9 og 4.10, hvor QS ved hhv. 40 og 80 m er vist i forhold til QS ved 130 m. Det fremgår af figurerne, at QS i gennemsnit danner forholdene ca. 1 til 4 til 8 ved de tre afstande, og at spredningen er ret betydelig.

Fig. 4.11 viser QS ved 80 i forhold til QS ved 130 m for den våde tilstand. Der er i diagrammet en tendens til, at QS ved 80 m er ca. halvt så stor som ved 130 m, men for en del målingers vedkommende er QS ved 80 m stærkt forøget. Diagrammet for QS ved 40 m i forhold til QS ved 130 er ikke vist, men af LTLI-notat nr. 97 fremgår det, at der ved 40 m sker en endnu hyppigere og kraftigere forøgelse af QS.

De omtalte, kraftige forøgelser af QS skyldes formentligt, at der ved den del af målingerne har været et vandspejl i bunden af overfladestrukturen, som ved kortere afstande har kunnet bidrage med en meget kraftig spejling.

For våde vejprøver skyldes QS derfor et bidrag fra stentoppene, som må formodes at vokse med mødeafstanden, samt ved kortere afstande et stort bidrag fra eventuelle synlige og belyste vandoverflader i bunden af strukturen.

Det sidstnævnte bidrags størrelse synes at være forholdsvis tilfældigt, bl.a. fordi slidforløbet af QS for den våde tilstand virker meget usystematisk ved 40 m (vist i LTLI-notat nr. 97).

Det er endvidere tvivlsomt, om spejlinger fra vandoverflader kan gøre sig lige så kraftigt gældende for en ubrudt vejoverflade som for en kort vejprøve.

For den våde tilstand anses QS ved 130 m mødeafstande derfor for at være mere "typisk" for vejprøven end værdierne ved de andre afstande. Af denne grund foretrækkes også for den tørre tilstand værdierne af QS ved 130 m mødeafstand frem for værdierne ved de andre afstande.

QR MÅLT PÅ LTL, TØR TILSTAND

MEASURED AT LTL, DRY CONDITION

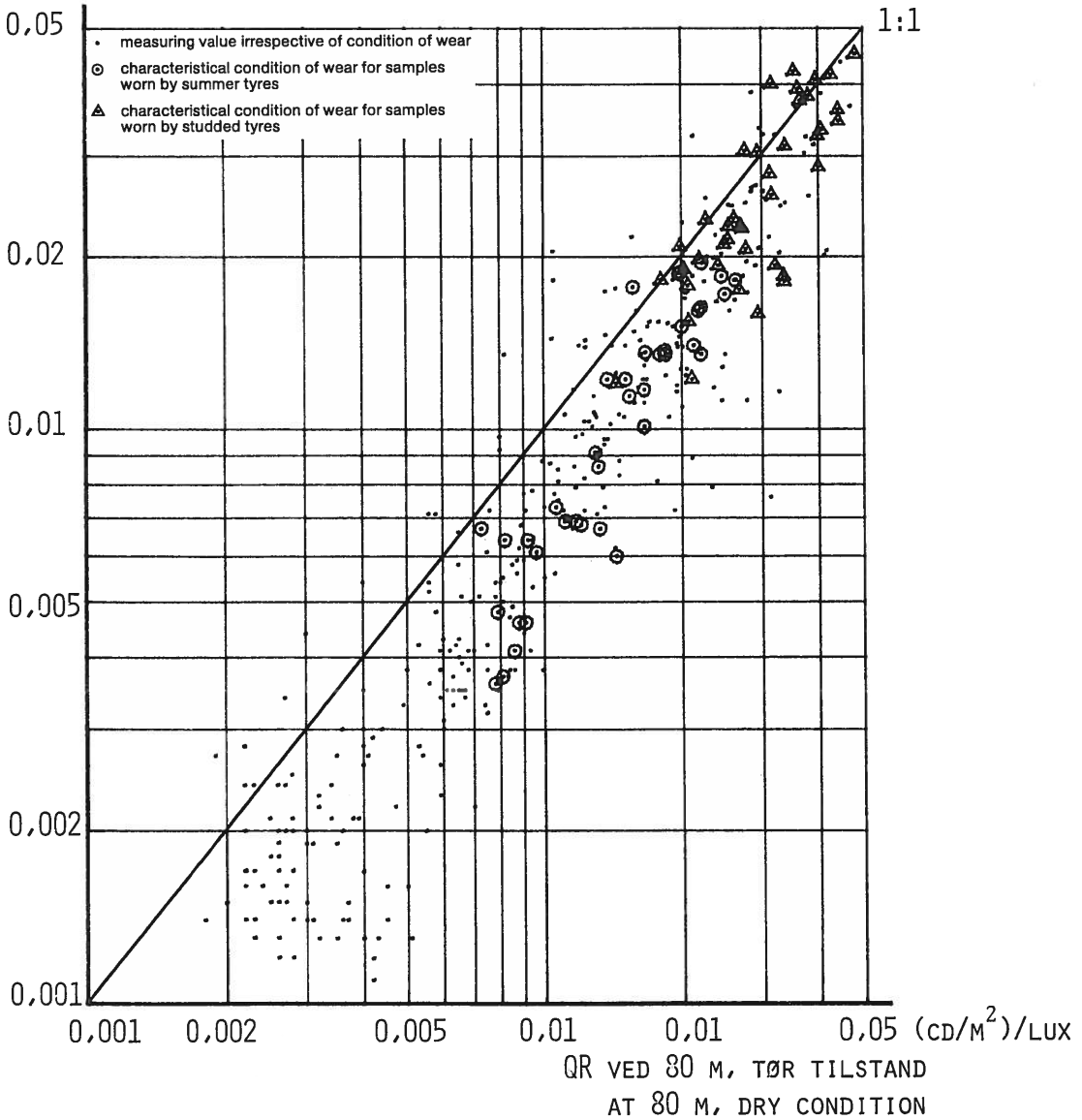
 $(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$ 

Fig. 4.6 Sammenligning af LTL's og VTI's målinger af QR for tørre vejprøver. VTI's måling er ved 80 m.

Comparison of the LTL and VTI measurements of QR for dry samples. The VTI measurements are at 80 m.

QR MÅLT PÅ LTL, VÅD TILSTAND
 MEASURED AT LTL, WET CONDITION
 (CD/M^2)/LUX

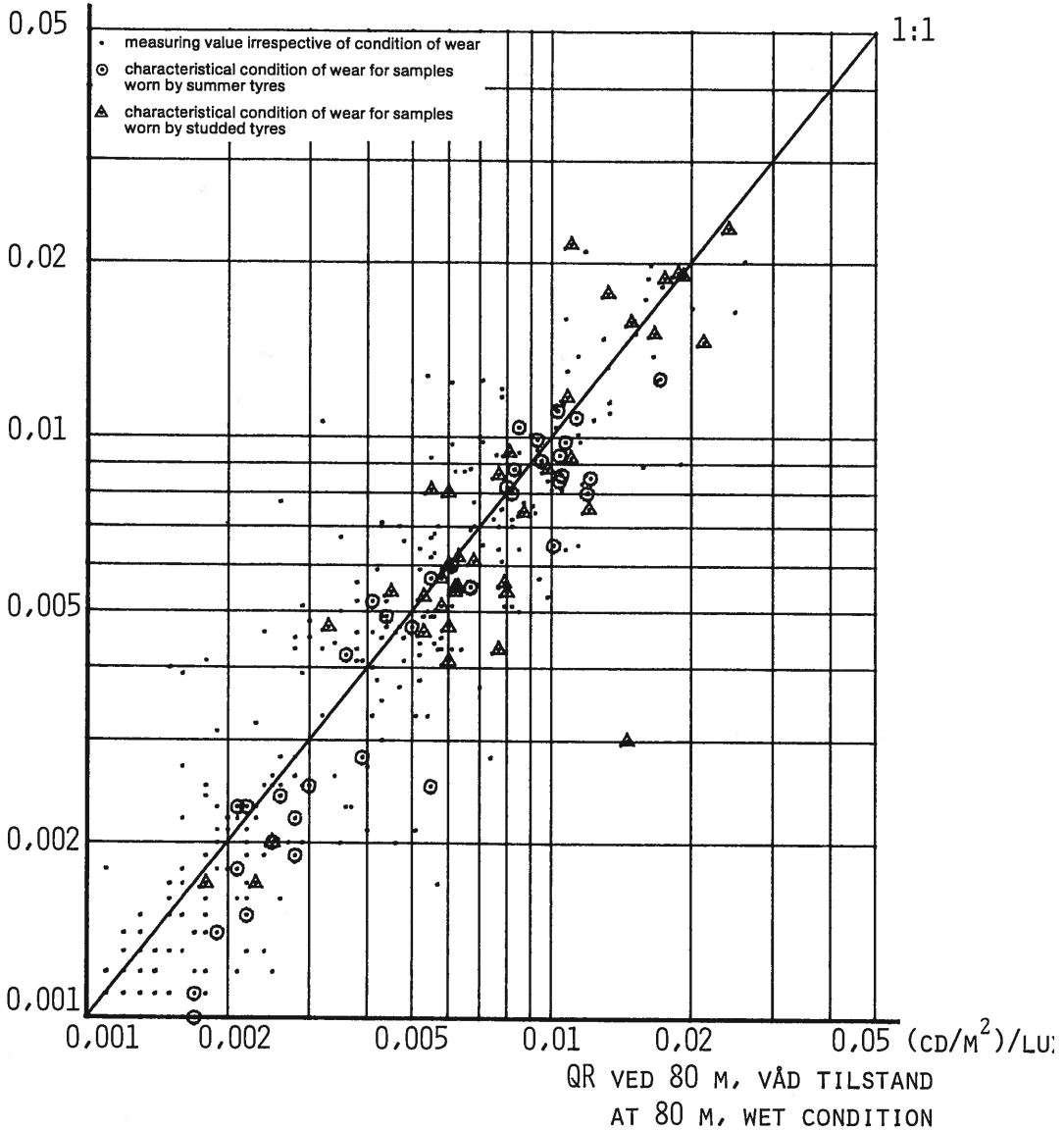


Fig. 4.7 Sammenligning af LTL's og VTI's målinger af QR for våde vejprøver. VTI's måling er ved 80 m.

Comparison of the LTL and VTI measurements of QR for wet samples. The VTI measurements are at 80 m.

QR VED 50 M, VÅD TILSTAND

AT 50 M, WET CONDITION

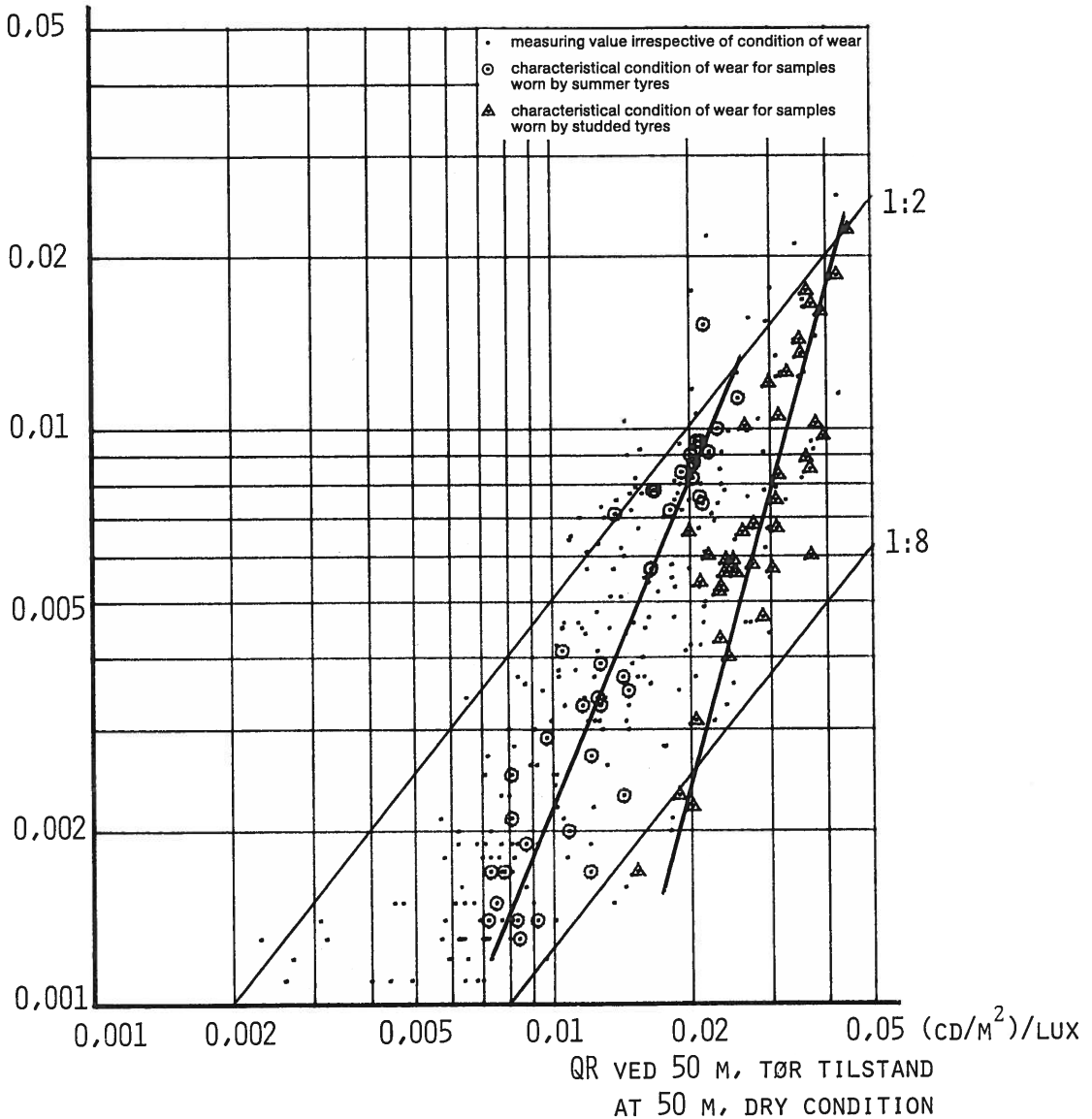
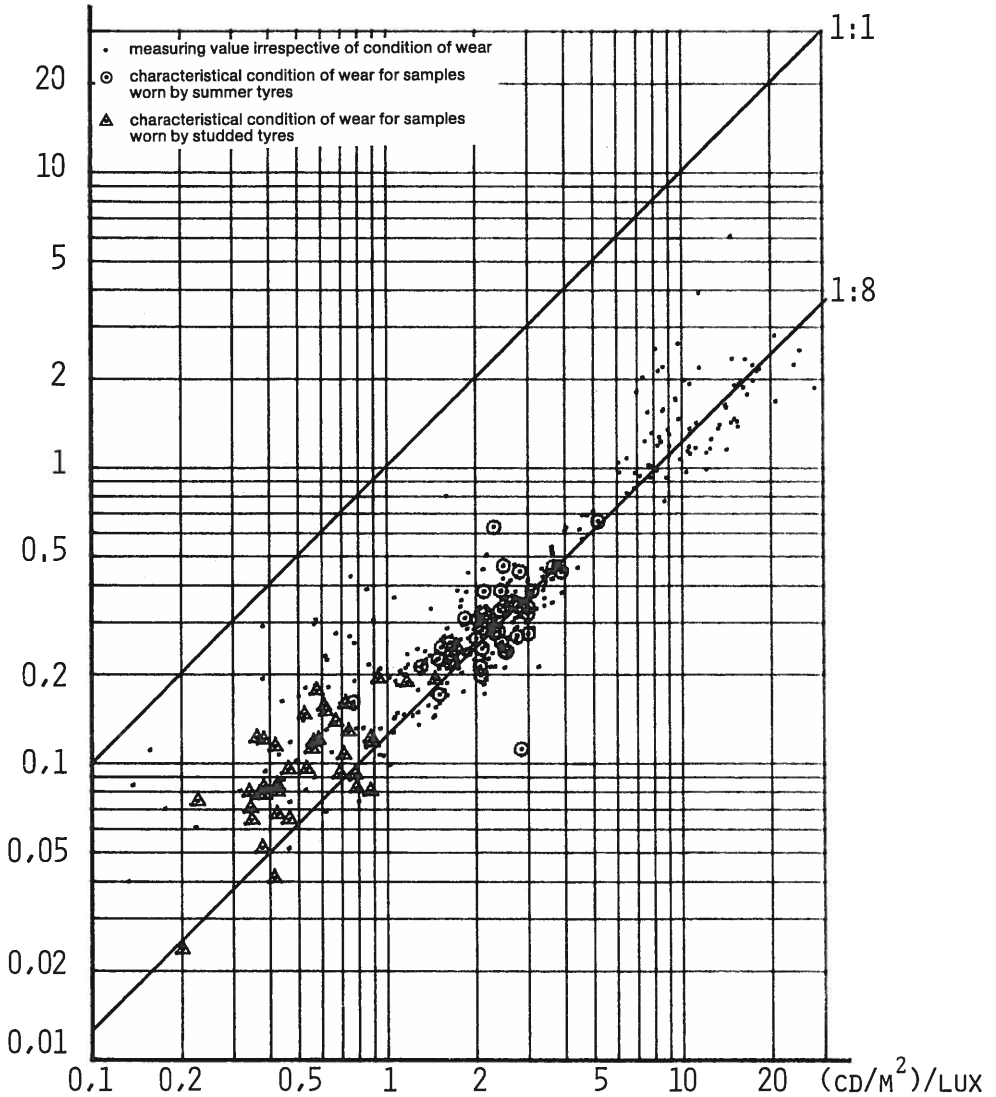
 $(CD/M^2)/LUX$ 

Fig. 4.8 Sammenligning af VTI's målinger af QR ved 50 m afstand for våde og tørre vejprøver. QR falder til mellem ca. $\frac{1}{2}$ og ca. $\frac{1}{8}$, når vejprøven gøres våd. For hver af de repræsentative slidtilstande er der en forholdsvis god relation mellem de to QR-værdier.

Comparison of the VTI measurements of QR at 50 m for dry and wet condition. QR falls to within appr. $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{8}$, when the sample is wettened.

For each of the representative conditions of wear, the relation between the two QR-values is comparatively good.

QS VED 40 M, TØR TILSTAND
 AT 40 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX



QS VED 130 M, TØR TILSTAND
 AT 130 M, DRY CONDITION

Fig. 4.9 Sammenligning af QS ved 40 og 130 m afstande for tørre vejprøver. Værdierne af QS ved 130 m afstand er i gennemsnit ca. 8 gange så store som ved 40 m.

Comparison of QS at 40 and at 130 m for dry samples.
 QS at 130 m is on the average appr. 8 times as big as QS at 80 m.

QS VED 80 M, TØR TILSTAND
AT 80 M, DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

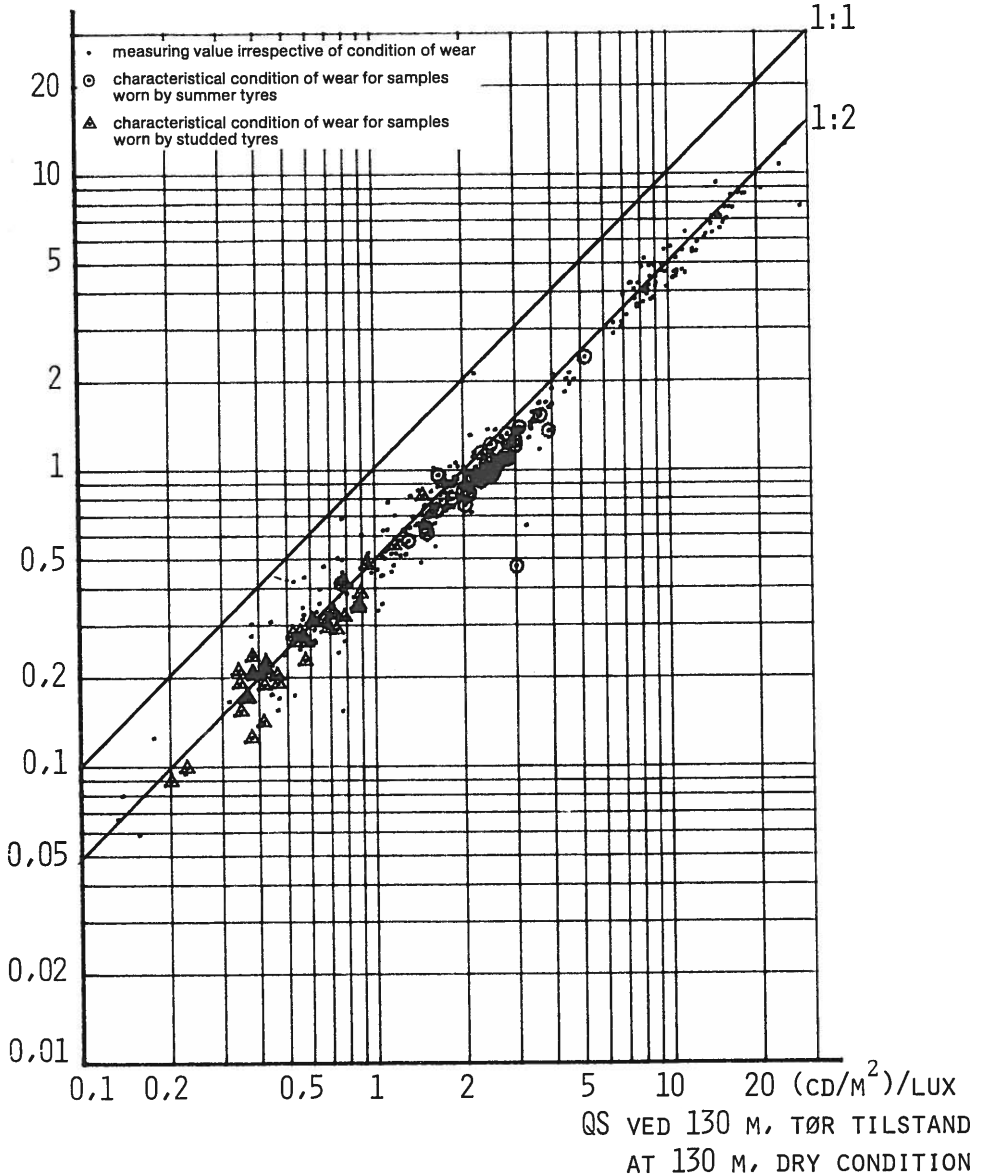


Fig. 4.10 Sammenligning af QS ved 80 og 130 m afstand for tørre vejprøver. Værdierne af QS ved 130 m afstand er i gennemsnit ca. 2 gange så store som ved 80 m.

Comparison of QS at 80 m and at 130 m.
QS at 130 m is on the average appr. twice as big as QS at 80 m.

$(CD/M^2)/LUX$

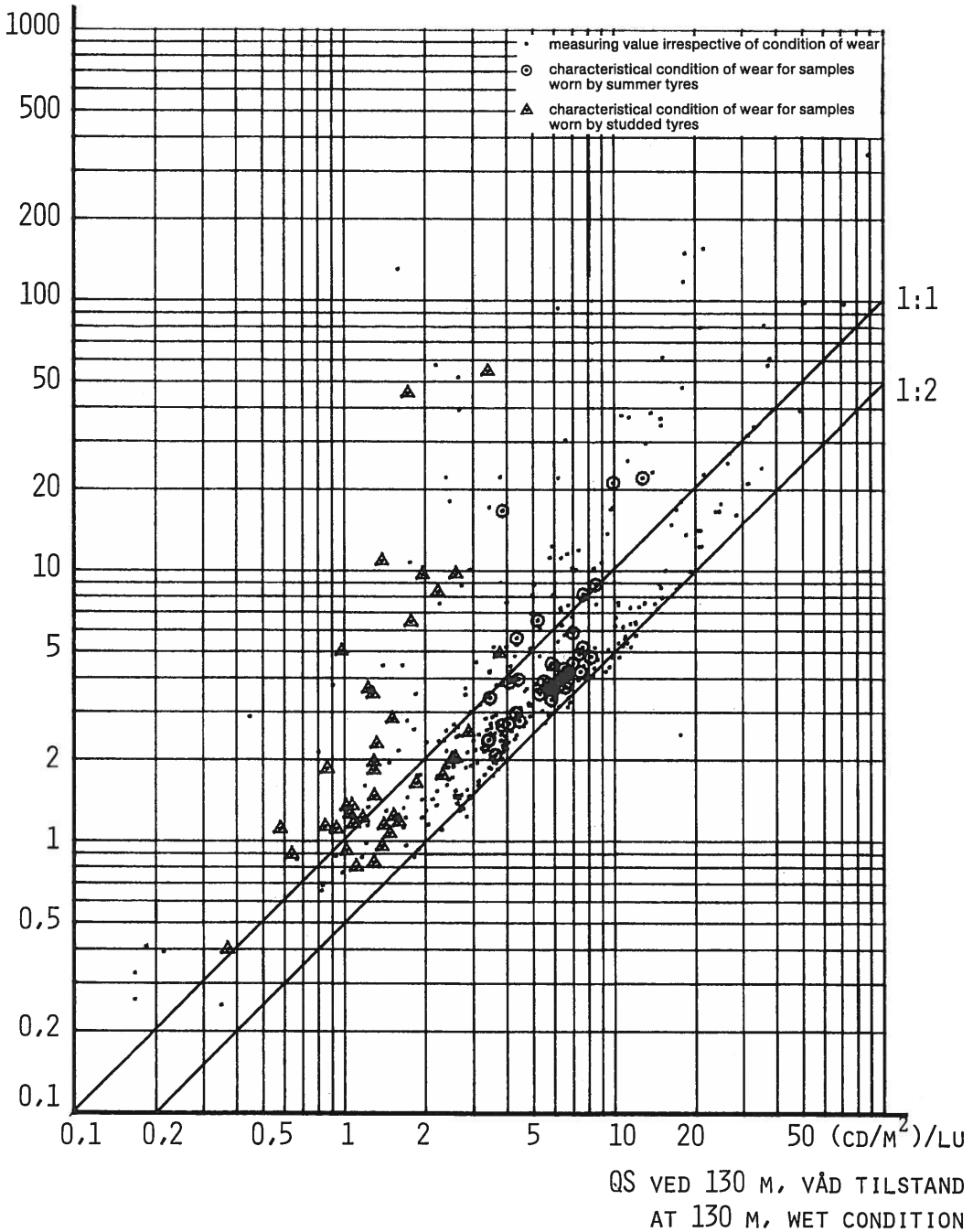


Fig. 4.11 Sammenligning af QS ved 80 og 130 m afstand for våde vejprøver. I nogle tilfælde er QS ved 130 dobbelt så stor som ved 80 m, i andre tilfælde er QS ved 80 m langt den største.

Comparison of QS at 80 m and at 130 for wet samples. In some cases QS at 130 m is twice as big as QS at 80 m, in other cases QS at 80 m is by far the larger.

4.2.3.4 Ændring i den spejlende refleksion, QS fra tør til våd tilstand

For 130 m mødeafstand er QS for våd og tør tilstand sammenlignet i fig. 4.12. For de fleste målinger, inklusive målingerne for de repræsentative slidtilstande, er QS 25 % til 300 % højere for den våde end for den tørre tilstand. For enkelte målinger ses en langt større forøgelse af QS, som formentligt skyldes vandoverflader. De målinger, som viser et fald i QS for den våde tilstand, er formentligt behæftede med fejl eller påvirket af specielle forhold.

Der findes således ikke nogen præcis sammenhæng mellem værdierne af QS for våd og tør tilstand. Det kan dog bruges som en rettesnor, at der ved 130 m i gennemsnit sker en fordobling af QS, når en tilslidt vejprøve bringes fra tør til våd tilstand.

Som karakteristisk parameter for vejprøvernes spejlende refleksion benyttes derfor kun QS ved 130 m og for den tørre tilstand.

4.2.4 Sammenhænge mellem parametre for vejbelysning og parametre for belysning fra billygter

Begge sæt af parametre indeholder parametre for prøvens lyshed, Q0 og QR og for dens spejling S1, S1' og QS. Det er naturligt at forvente sammenhænge mellem forskellige parametre, der måler samme type refleksionsegenskaber.

Som det ses af fig. 4.13, er der en forholdsvis god sammenhæng mellem Q0 og QR ved 50 m observationsafstand for de repræsentative slidtilstande. Virkningen af, at Q0 summerer både diffus og spejlende refleksion, mens QR kun skyldes diffus refleksion, fremgår også af diagrammet. Vejprøver med en mørk overflade kan have et meget lavt QR, mens Q0 faktisk er begrænset nedtil af den spejlende refleksions bidrag, som endog kan få Q0 til at vokse for aftagende QR.

Der findes ingen simple sammenhænge mellem S1 og S1' på den ene side og QS på den anden, som det er vist i LTLI-notat nr. 97. Dette skyldes dels, at S1 og S1' i modsætning til QS influeres af diffus refleksion, og dels at rest-bitumen på overfladerne influerer i forskellig grad på de enkelte parametre.

QS VED 130 M, VÅD TILSTAND
AT 130 M, WET CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

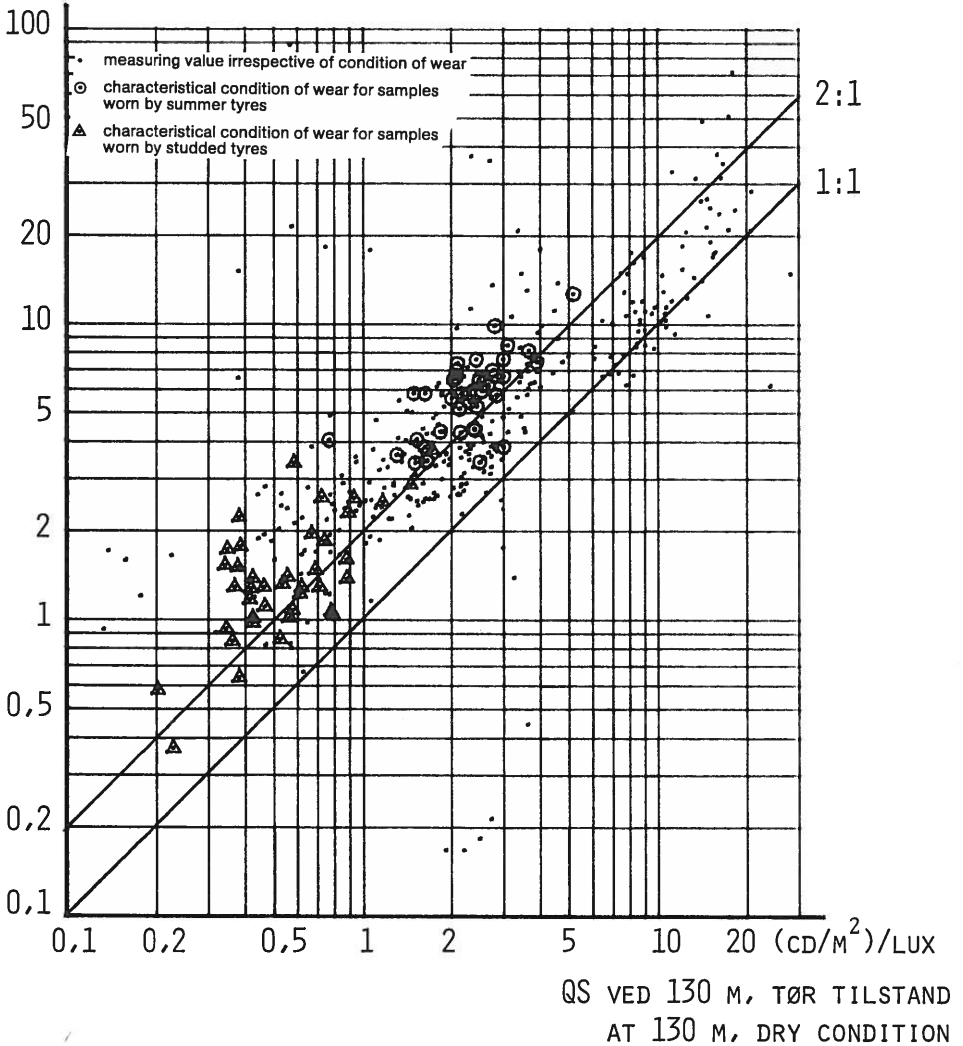


Fig. 4.12 Sammenligning af QS ved 130 m afstand for våde og tørre vejprøver. For slidte vejprøver stiger QS typisk til det dobbelte, når vejprøven gøres våd, men stigningen kan være væsentligt større eller mindre.

Comparison of QS at 130 m for wet and for dry condition. For worn samples, QS typically is doubled, when the sample is wettened, but the increase might be much stronger or much smaller.

Q0, TØR TILSTAND

DRY CONDITION

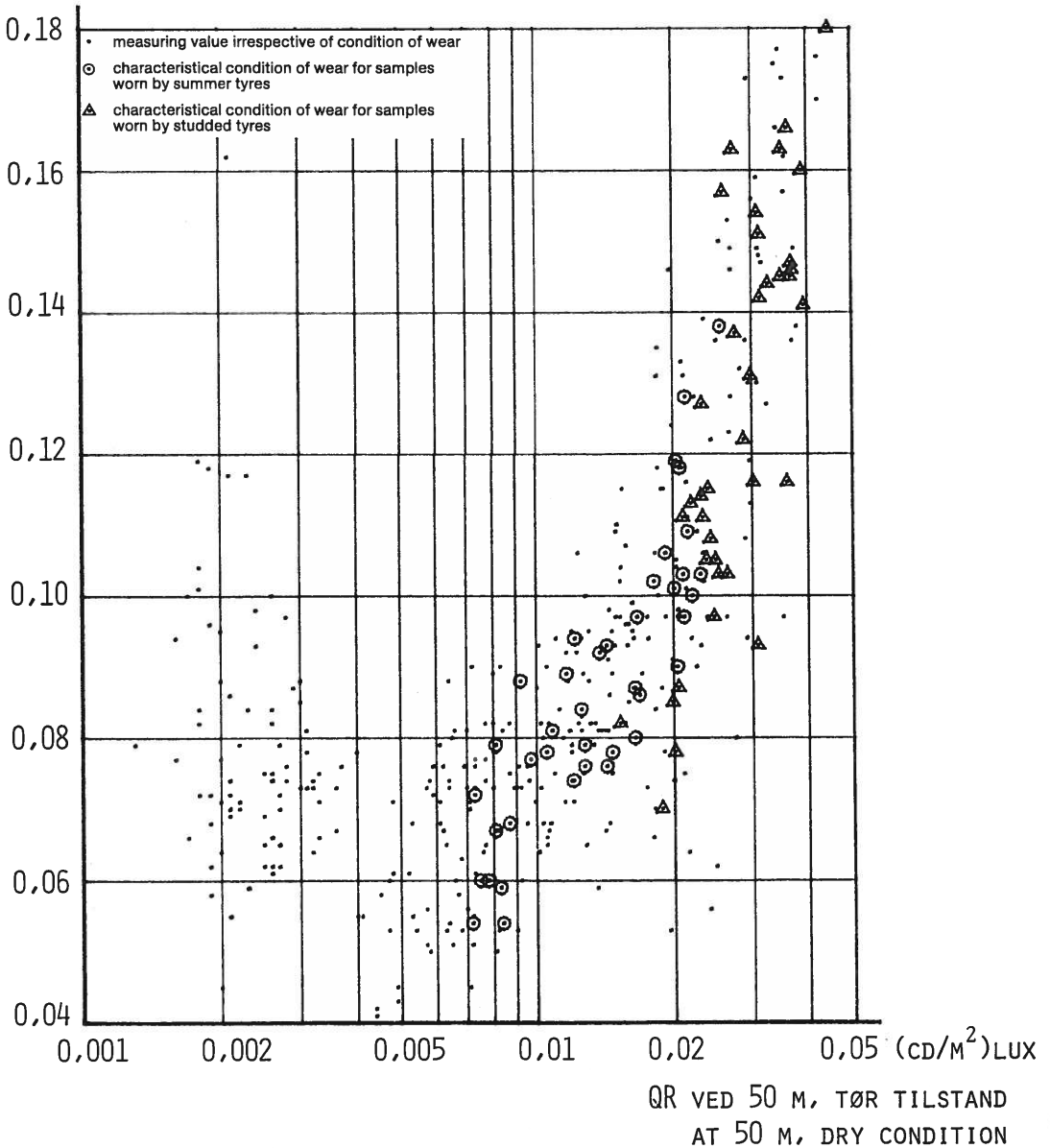
 $(CD/M^2)/LUX$ 

Fig. 4.13

Sammenhæng mellem Q0 og QR.

For slidte prøver vokser Q0 og QR samtidigt, mens bitumendækkede prøver, som har et lavt QR, udmærket kan have et forholdsvis højt Q0.

Relation between Q0 and QR.

For worn samples Q0 and QR increases simultaneously, while bitumen covered samples, which have a low QR, might well have a comparatively high Q0.

4.2.5 Sammenhænge mellem lystemniske og andre parametre

Som det fremgår af afsnit 4.3 og af variansanalysen i afsnit 4.4.3, består friktionens variation hovedsageligt i, at prøver, som i en tidligere slidpåvirkning har været slidt med pigdæk, har en højere friktion end prøver, der ikke har været slidt med pigdæk. I denne forstand indtræffer en god friktion og gode lystemniske egenskaber samtidigt, men nogen mere almen sammenhæng kan næppe påvises.

Overfladestrukturens indflydelse på de lystemniske egenskaber, som målt ved strukturdybdens, er interessant, fordi strukturdybden er let at måle, og fordi tidligere målinger tyder på, at en stor strukturdybde medfører forholdsvis lave værdier af S_1 og S_1' , og må forventes at indvirke på Q_S også.

Der findes i LTLI-notat nr. 97 en undersøgelse af korrelationen mellem Q_S og S_1' på den ene side og strukturdybden på den anden. Når der ikke her kunne påvises nogen stærk indflydelse af strukturdybden, må årsagen søges i de specielle slidpåvirkninger, som prøverne har været udsat for.

For prøver, der ikke har været slidt med pigdæk, indvirker rest-bitumen på overfladerne stærkt på S_1' og måske også på Q_S , således at en eventuel indflydelse fra andre parametre maskeres. Prøver, som har været slidt med pigdæk, har ingen rest-bitumen på overfladen, men derimod store og forholdsvis ens strukturdybder, således at dennes eventuelle indflydelse ikke fremgår klart.

Det er ikke forsøgt at sætte de lystemniske parametre i relation til sliddybden, fordi eventuelle sammenhænge formentligt kun ville afspejle forskelle mellem prøver, der har været slidt med pigdæk, og prøver der ikke har. Sådanne sammenhænge skønnes heller ikke at have praktisk interesse.

4.3 De karakteristiske parametres variation med slidtilstanden

For sommerdæksprøvernes vedkommende er de 8 parametres variation med slidtilstanden vist i fig. 4.14 til 4.21.

Den gradvise fjernelse af bitumen resulterer i et fald i S_1 og Q_S , en stigning i Q_R og et indsving af Q_0 og S_1' mod værdier, som er mere typiske for bitumenfri overflader.

Friktionen viser ligeledes et indsving og derefter en variation med det simulerede klima, således at værdierne er lavest efter de to simulerede vintre.

Desuden ses, at sliddybden vokser stærkest under de simulerede somre. Dette er et af tegnene på, at de registrerede sliddybder i højere grad er et udtryk for plastisk deformation af overfladerne end for egentlig bortslidning af materiale.

Strukturdybdens variation synes ikke at være rimelig og tyder på, at der er systematiske forskelle i målingerne fra slidtilstand til slidtilstand.

Bortset fra friktionens og sliddybdens variation konstateres ikke nogen tydelig effekt af de simulerede klimatiske forhold.

Den tilsvarende variation for pigdæksprøvernes vedkommende er vist i fig. 4.22 til 4.29.

Den første påvirkning, som foretages med sommerdæk, resulterer i samme type ændring, som netop er beskrevet for sommerdæksprøverne. Den følgende påvirkning med pigdæk, hvorunder overfladen renses for bitumen, giver yderligere store ændringer. Således falder S1 og QS, mens QR, Q0 og friktionen stiger.

Under den tredje påvirkning, som foretages med sommerdæk, ses en indvirkning af dæktypen, således at S1, QS, QR, Q0 og friktionen ændres i retning af de værdier, de havde før påvirkningen med pigdæk.

Efter den sidste slidpåvirkning, som foretages med pigdæk, ses der usystematiske ændringer i mange af parametrene. Dette skyldes, at en del af prøverne nu er så hulslidte, at målingerne bliver usikre. Tendensen er dog, at de forhold, som opnåedes efter den første påvirkning med pigdæk, genoprettes.

Den således konstaterede variation med dæktypen kan måske forklare nogle tilsyneladende årstidsvariationer af QR og QS, som tidligere er fundet ved målinger på svenske veje, se VTI intern rapport nr. 150 (8) eller LTL rapport nr. 9 (5).

Strukturdybderne stiger kraftigt under den første påvirkning med pigdæk, men herefter synes forløbet at være præget af systematiske forskelle i målingerne fra slidtilstand til slidtilstand.

Sliddybderne øges kraftigt under de to påvirkninger med pigdæk.

Forløbet af S1' er temmeligt usystematisk og synes præget af store måleusikkerheder, som igen skyldes, at prøverne efter påvirkning med pigdæk er hulslidte.

Q0, TØR TILSTAND
DRY CONDITION
(CD/M²)/LUX

58

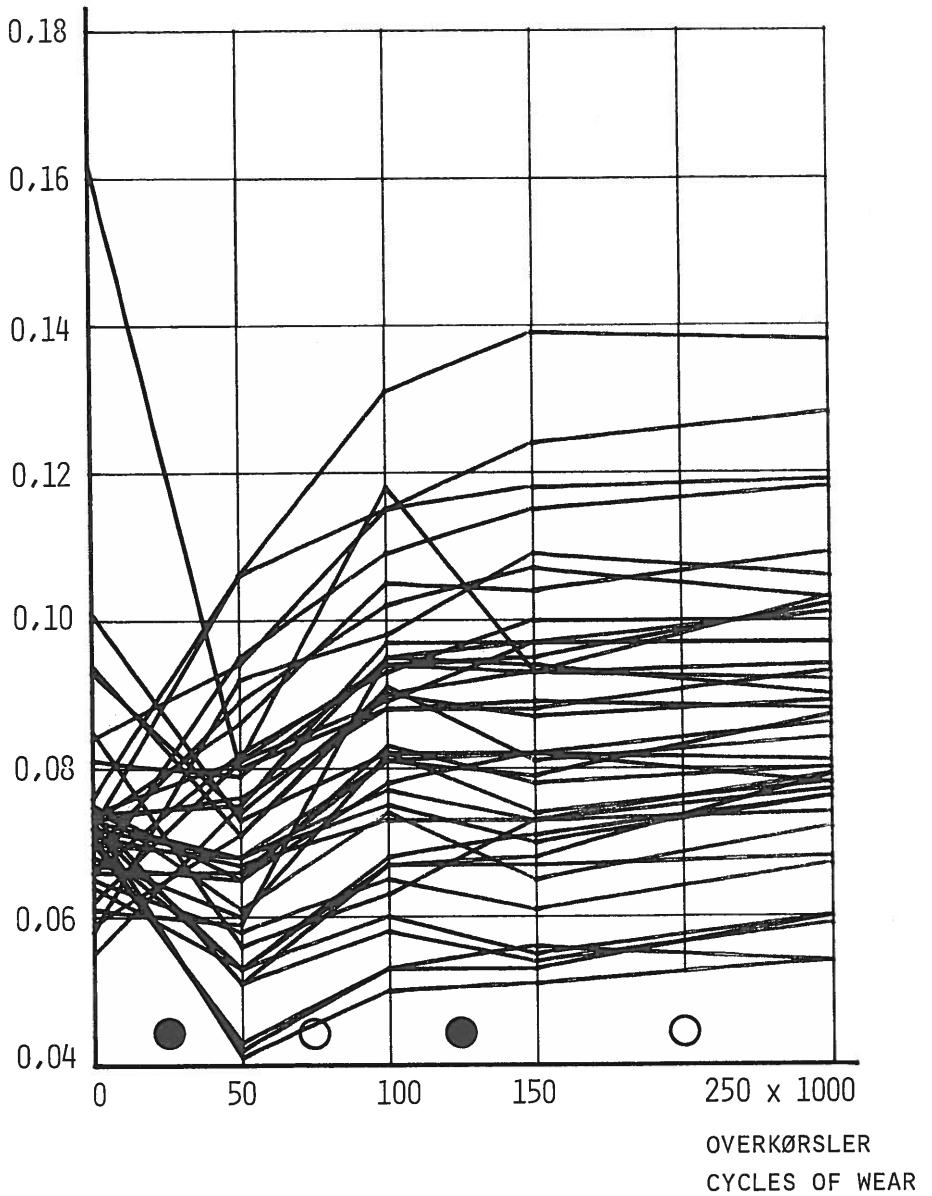


Fig. 4.14 Variation af Q0 for sommerdæksprøverne.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of Q0 for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

S1, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

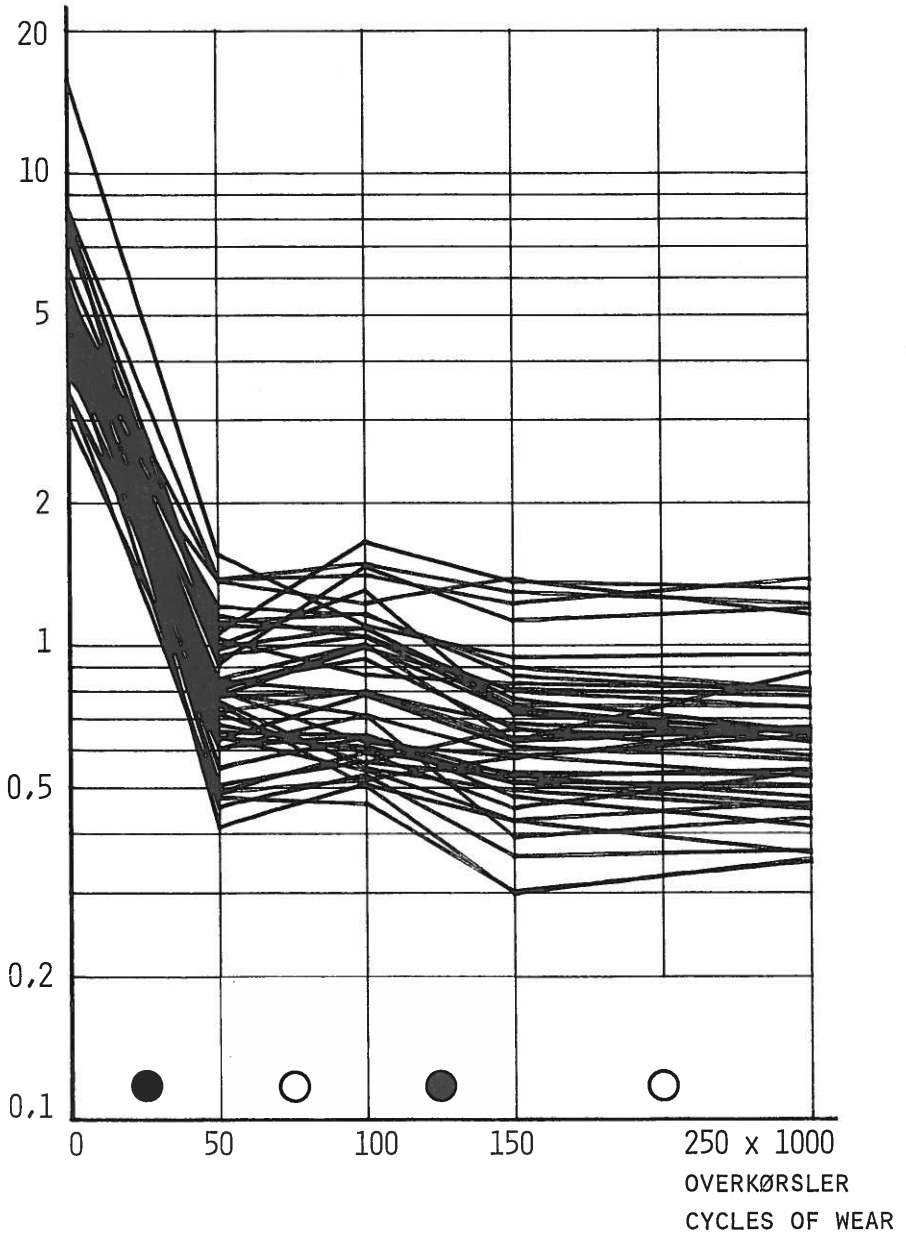


Fig. 4.15 Variation of S1 for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of S1 for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

Sl', VÅD TILSTAND
WET CONDITION

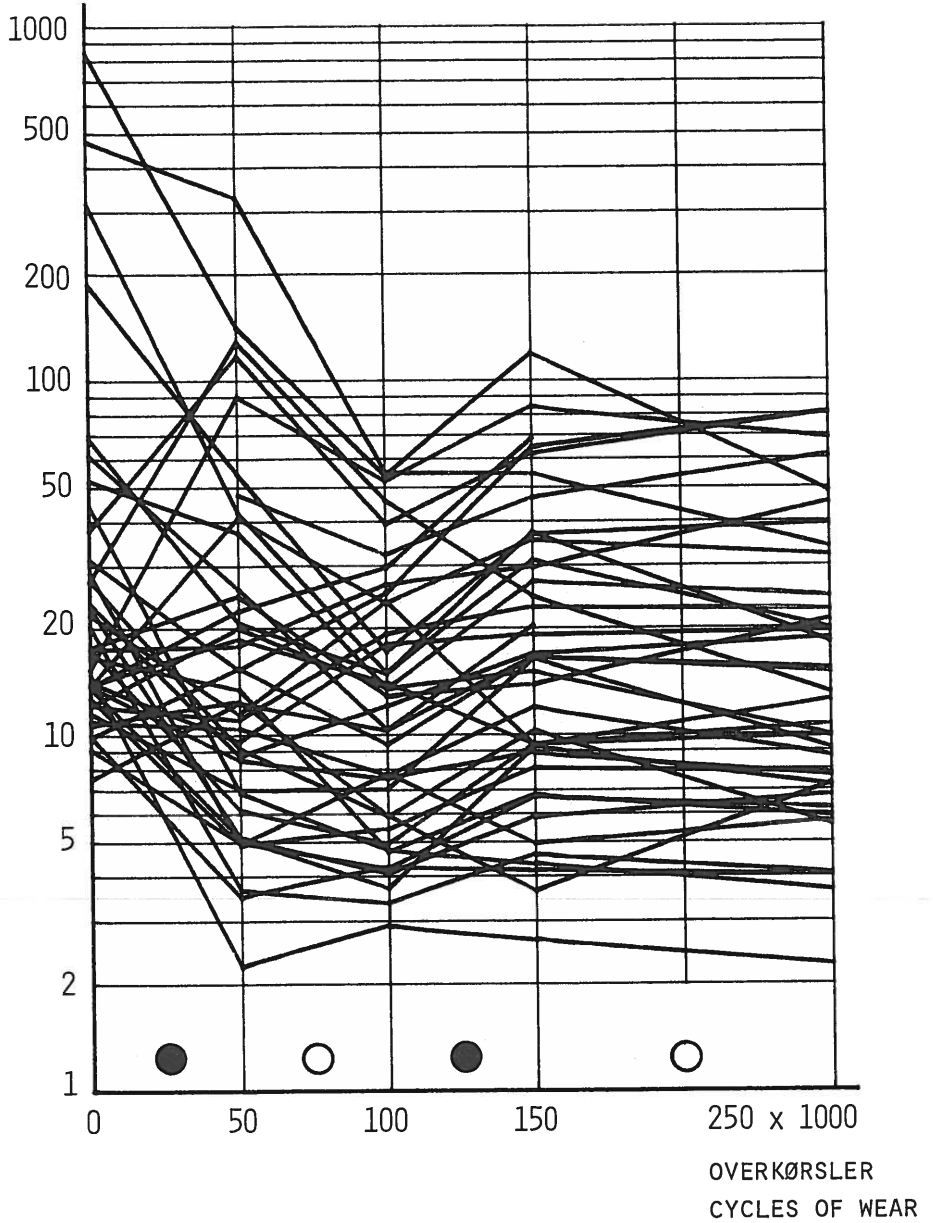


Fig. 4.16 Variation of Sl' for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of Sl' for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

QR VED 50 M, TØR TILSTAND

AT 50 M, DRY CONDITION

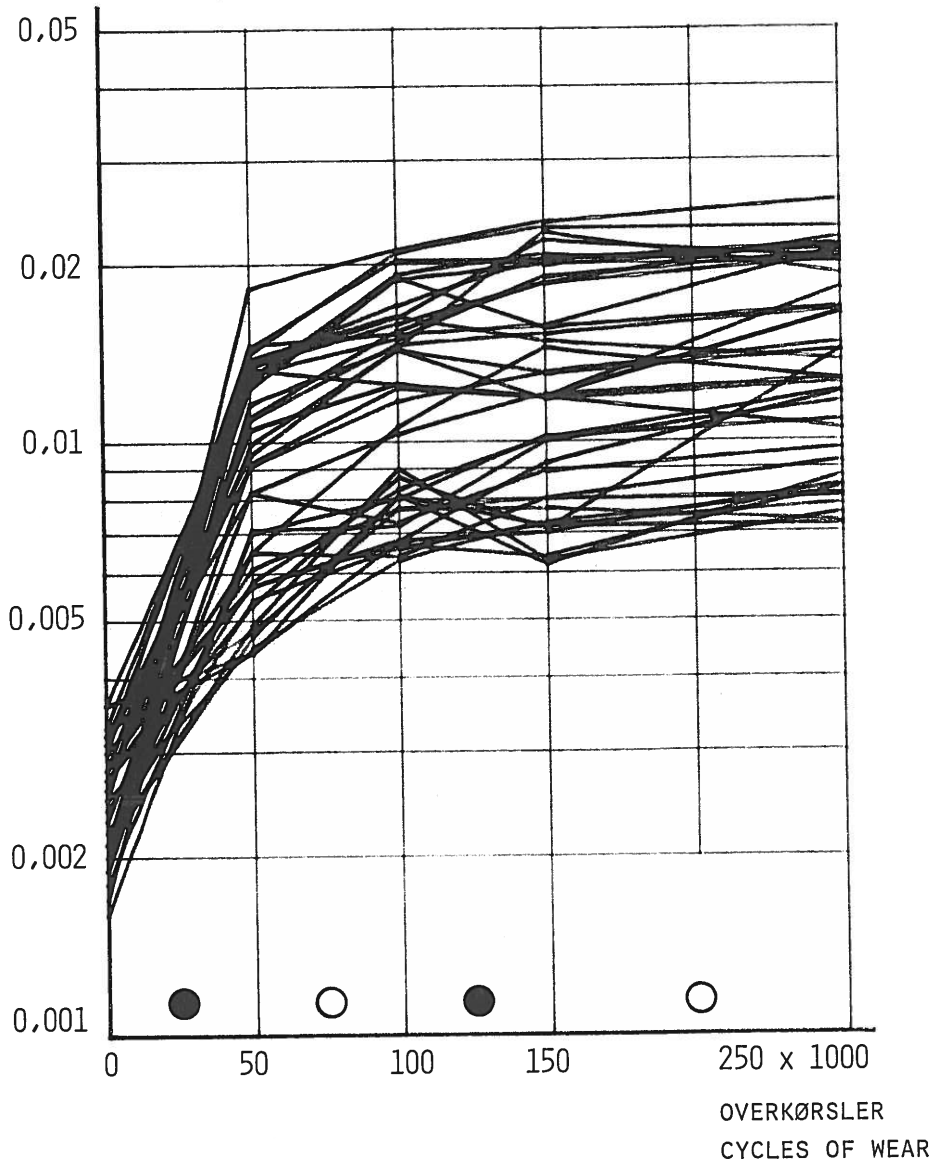
 $(CD/M^2)/LUX$ 

Fig. 4.17 Variation af QR for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation af QR for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

QS VED 130 M, TØR TILSTAND
 AT 130 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

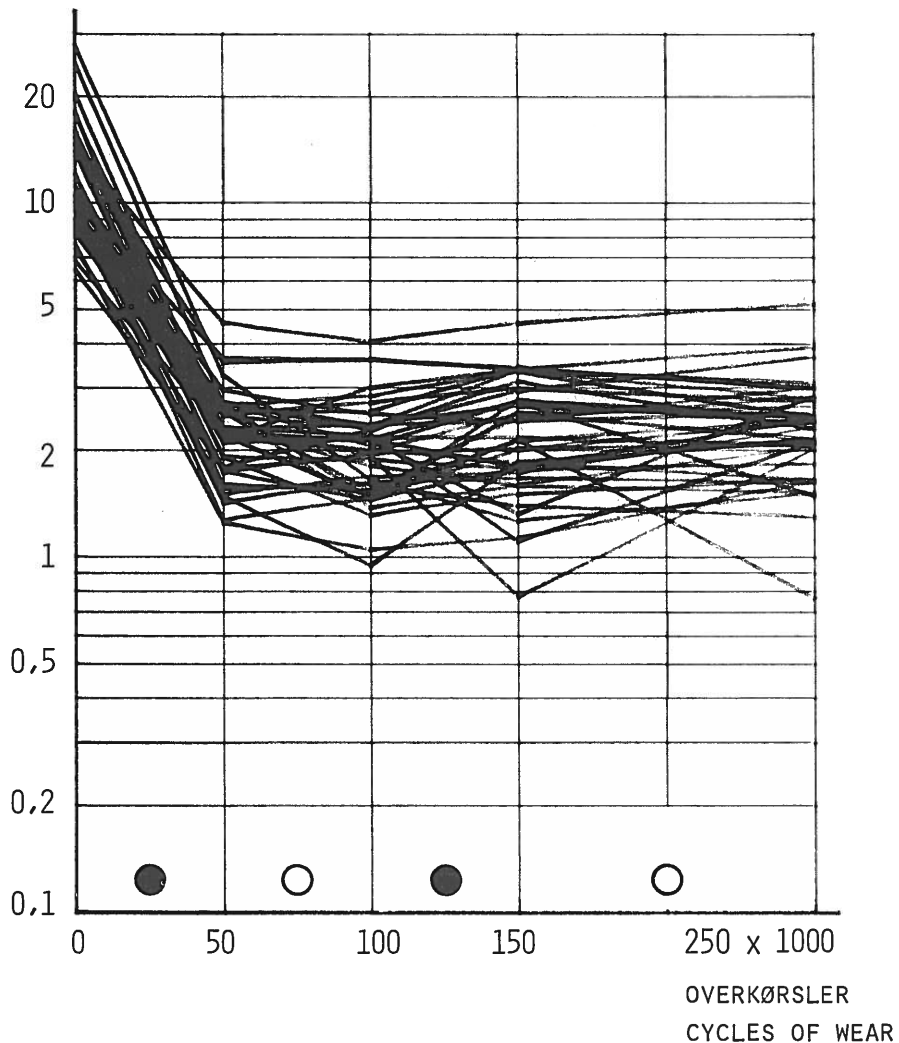


Fig. 4.18 Variation af QS for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of QS for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

FRIKTION
SKID-RESISTANCE

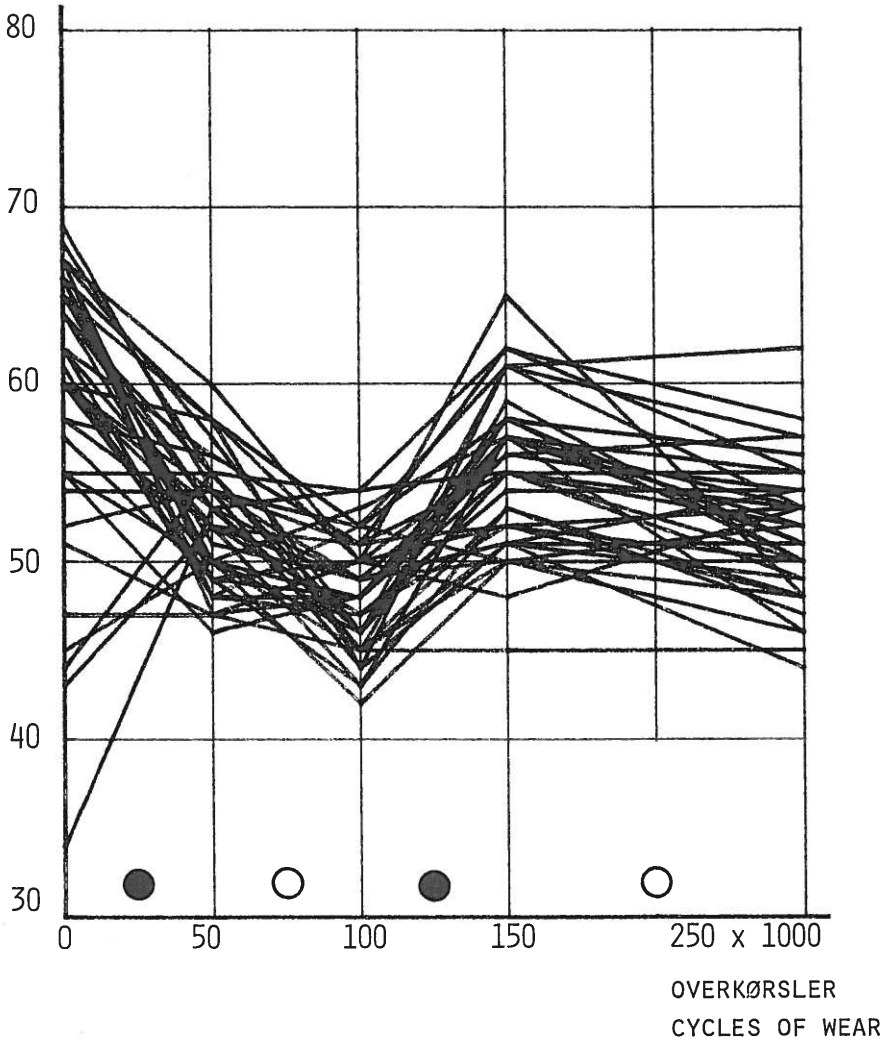


Fig. 4.19 Variation af friktionen for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of friction for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

STRUKTURDYBDE
TEXTURE DEPTH

MM

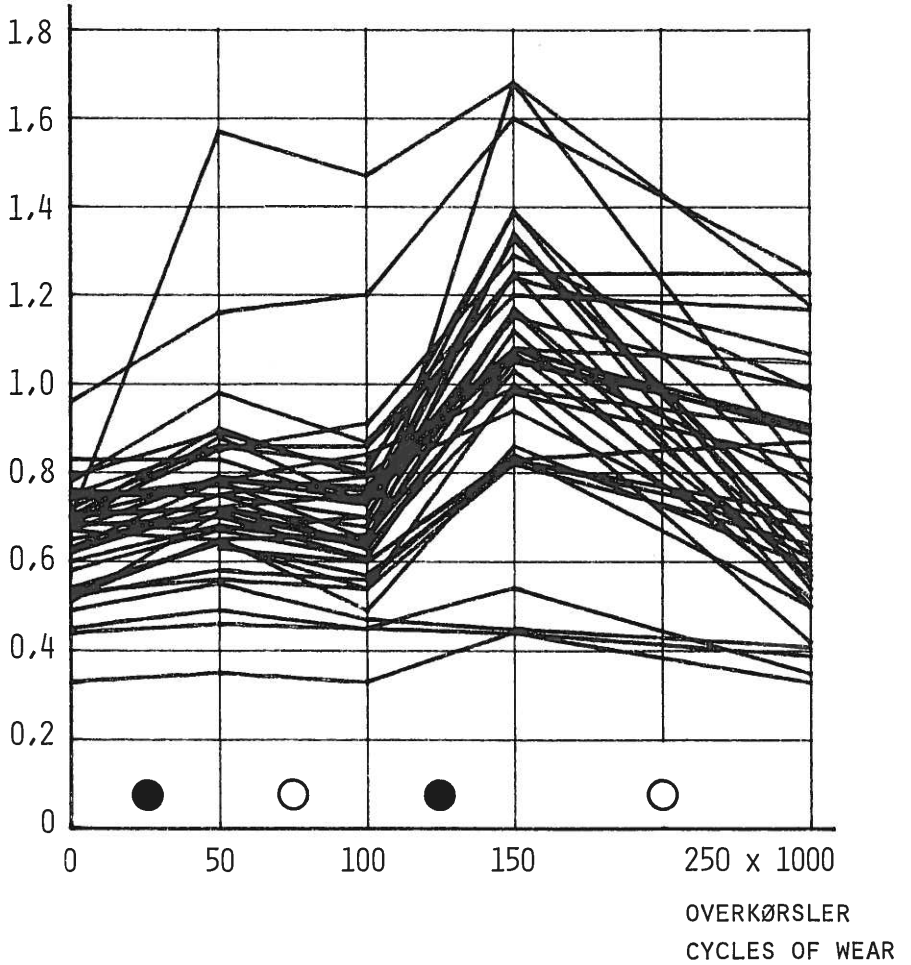


Fig. 4.20 Variation af strukturdybden for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of texture depth for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

SLIDDYBDE
DEPTH OF WEAR

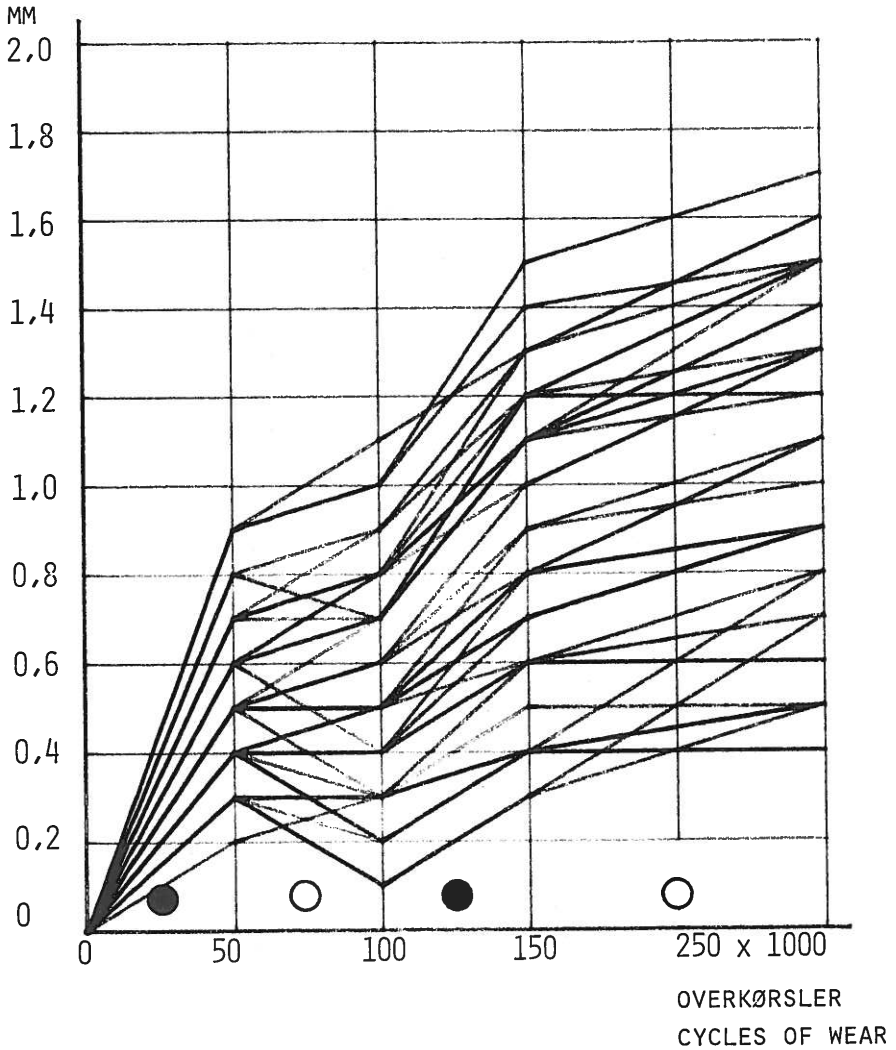


Fig. 4.21 Variation af sliddybden for sommerdæksprøver.

- Sommerklima
- Vinterklima

Variation of depth of wear for samples worn exclusively by summer tyres.

- Summer climate
- Winter climate

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

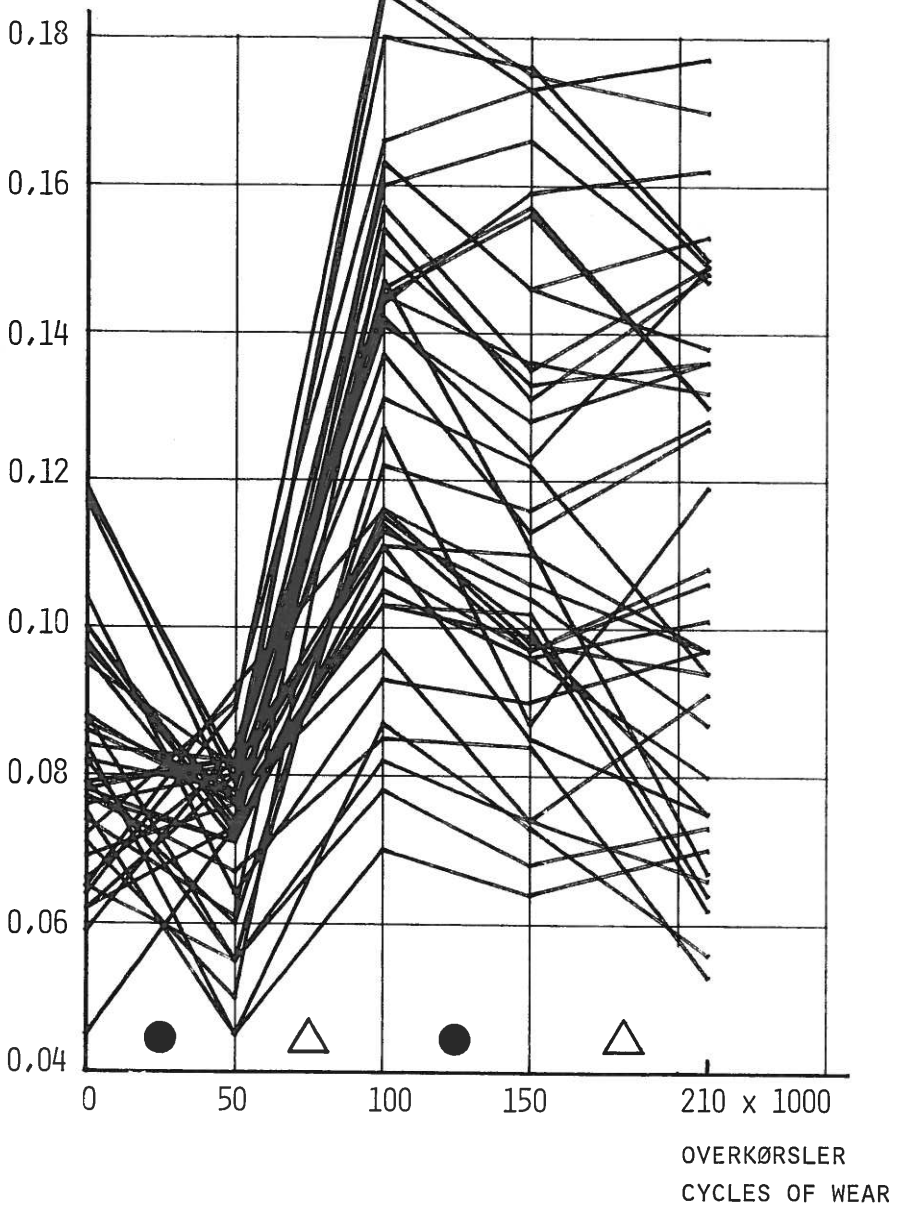


Fig. 4.22 Variation af Q0 for pigdæksprøver.

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of Q0 for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

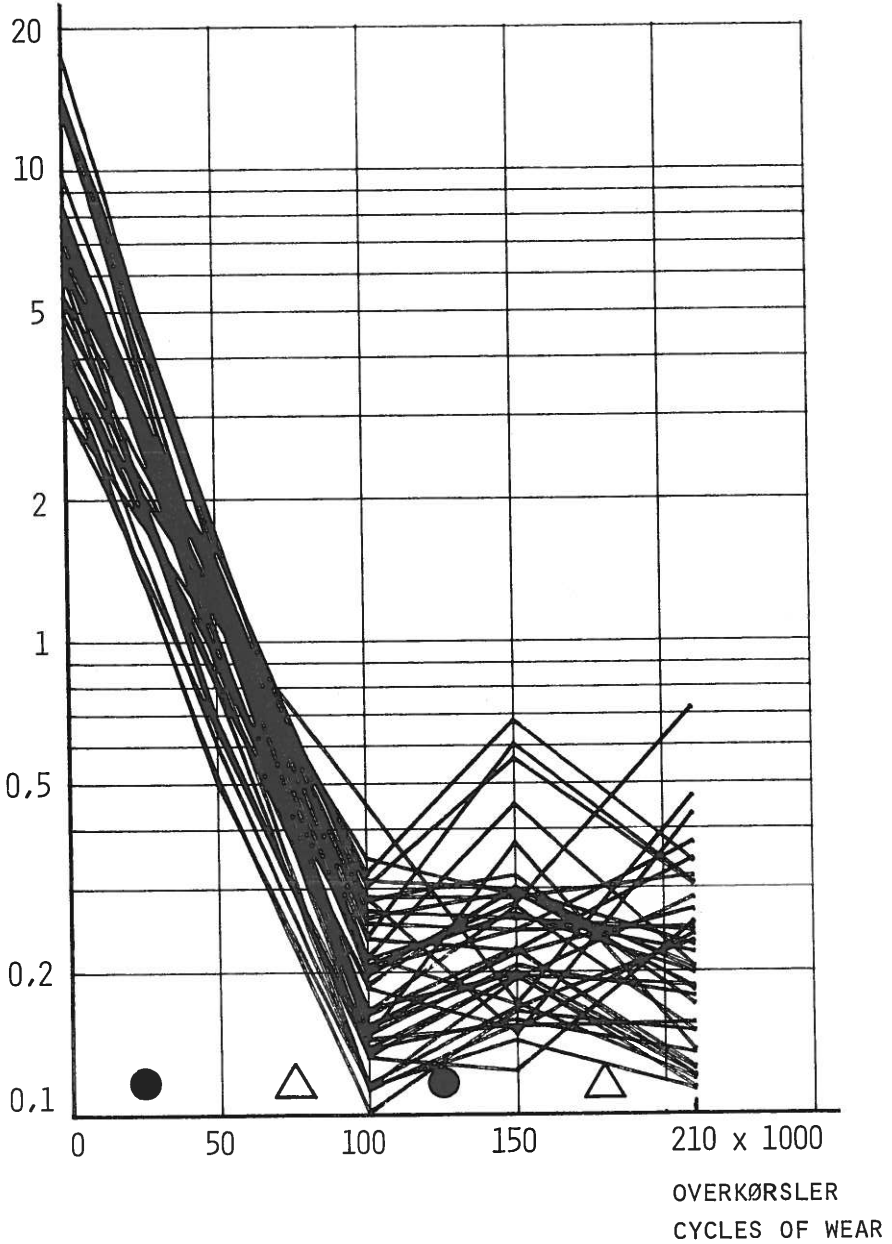


Fig. 4.23 Variation af S1 for pigdæksprøver.

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of S1 for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

QS VED 130 M, TØR TILSTAND
 AT 130 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

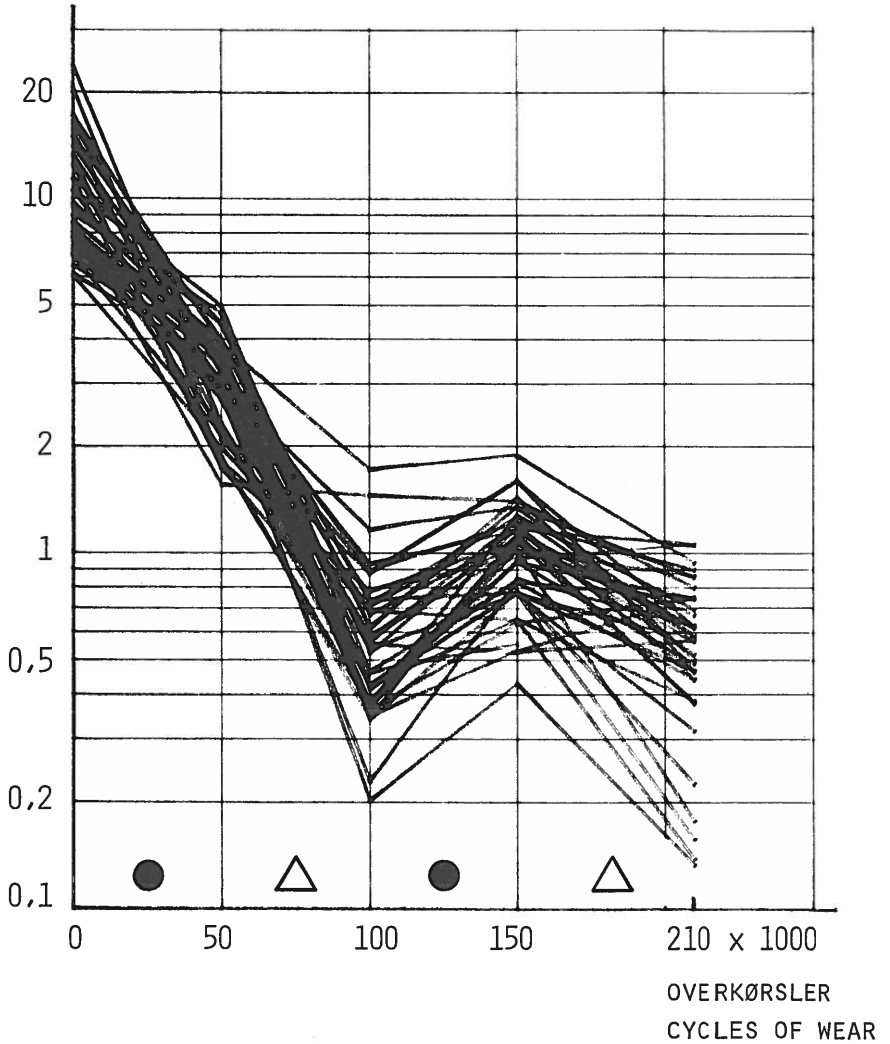


Fig. 4.26 Variation af QS for pigdæksprøver.

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of QS for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

FRIKTION
SKID-RESISTANCE

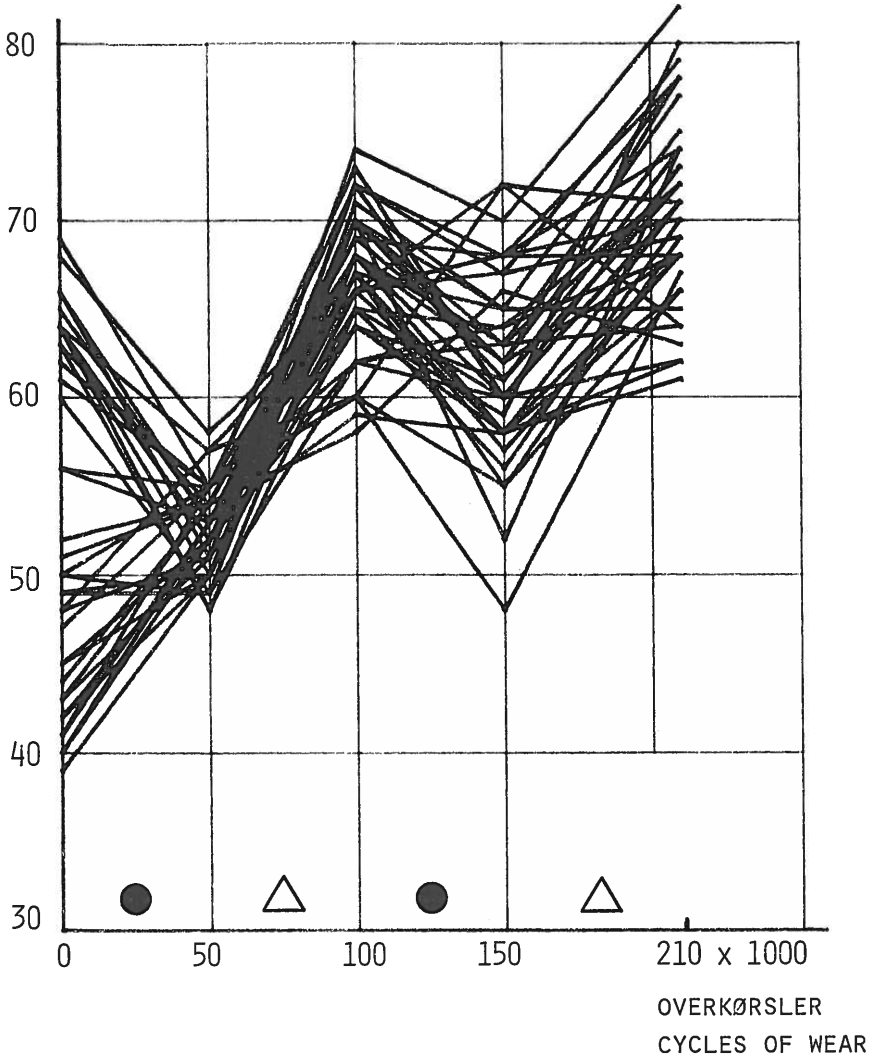


Fig. 4.27 Variation af friktionen for pigdæksprøver

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of friction for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

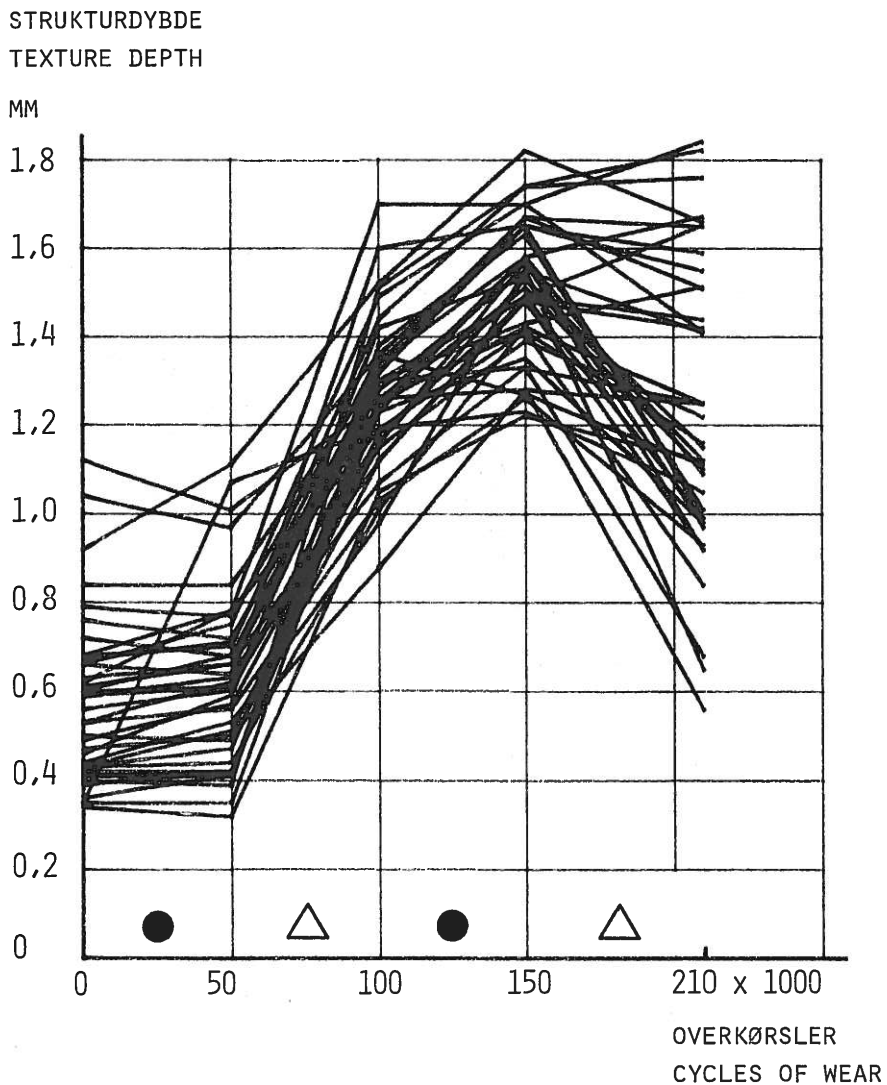


Fig. 4.28 Variation af strukturdybden for pigdæksprøver.

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of texture depth for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

SLIDDYBDE
DEPTH OF WEAR

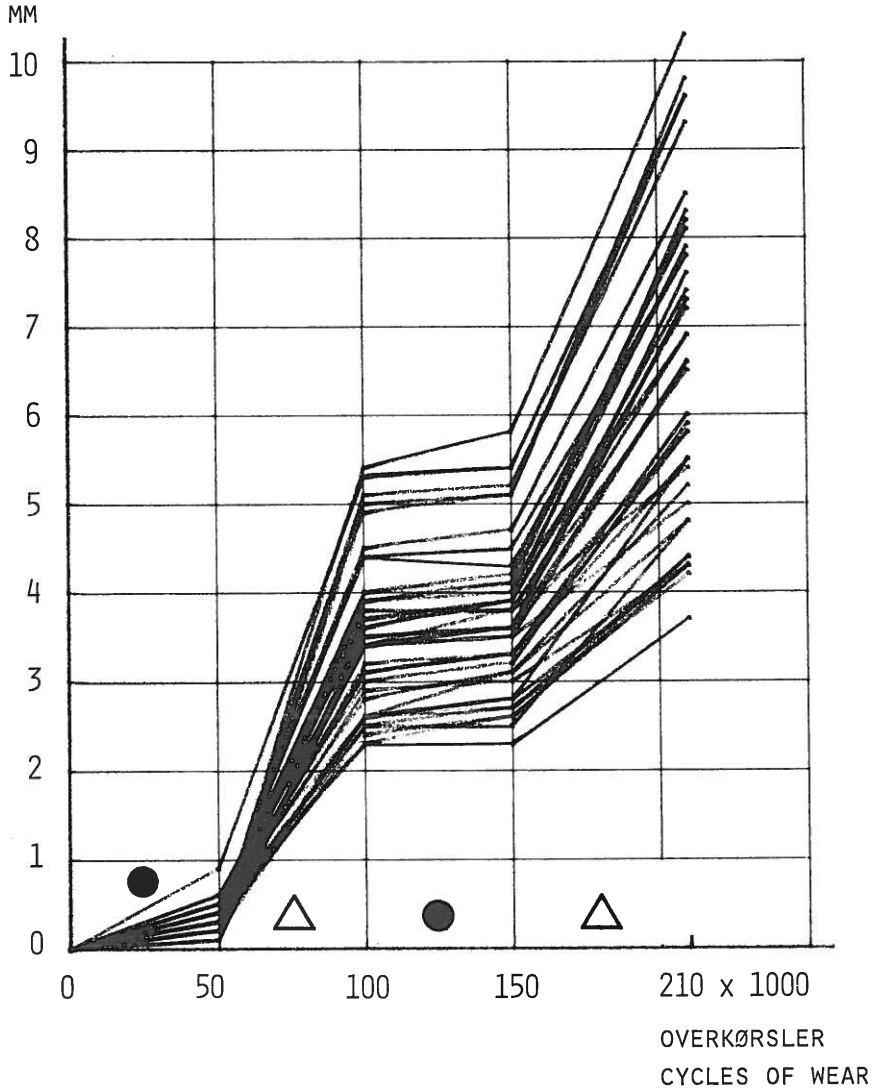


Fig. 4.29 Variation af sliddybden for pigdæksprøver.

- Sommerdæk og sommerklima
- △ Pigdæk og vinterklima

Variation of depth of wear for samples worn alternately by summer and by studded tyres.

- Summer tyres and summer climate
- △ Studded tyres and winter climate

4.4 De karakteristiske parametre i forhold til vejprøvernes sammensætning

4.4.1 Repræsentative slidtilstande

For sommerdæksprøvernes vedkommende viser både slidforløbene i afsnit 4.3 og en visuel vurdering af overfladerne, at disse næppe er blevet rensset for bitumen i så høj grad, som det sker for vejbelægninger i danske klimatiske og trafikale forhold. Dette uheldige forhold forsøgt imødegået i den sidste slidpåvirkning, hvor antallet af overkørsler blev hævet til 100.000 i stedet for som planlagt 50.000.

Det udførte, totale antal overkørsler er således blevet på 250.000, men er alligevel ikke blevet tilstrækkeligt stort. Hertil må føjes, at slidforløbene peger på, at det antal overkørsler, som er nødvendigt for at give overfladerne en markant bedre rensning for bitumen, må være meget højt.

Når antallet af overkørsler på 250.000, som burde svare til flere års slid af faktiske veje, ikke er tilstrækkeligt stort, må det skyldes, at den simulerede slid- og klimapåvirkning ikke har været helt realistisk. Enten har påvirkningen pr. overkørsel ikke været kraftigt nok, eller forhold som sne, is og sollys, der ikke er taget i betragtning, må spille en væsentlig rolle i praksis.

Valget af repræsentativ slidtilstand må tydeligvis falde på den sidste, hvor den bedste rensning af overfladen er opnået.

Målingerne for den repræsentative slidtilstand er stærkere påvirket af restbitumen på overfladerne end målinger på tilslidte, dansk veje. På den anden side er resultaterne ikke urealistiske i forhold til prøvernes sammensætning og de sammenhænge, som resultaterne indikerer, er formentligt stort set reelle.

Påvirkningen med pigdæk er tydeligvis så kraftig, at prøverne allerede efter den første påvirkning med pigdæk er fuldstændigt rensede for bitumen og har udviklet en kraftig overfladestruktur. Efter den anden påvirkning med pigdæk er mange af prøverne så slidte, at resultaterne påvirkes heraf.

Slidtilstand nr. 3, som fremkommer efter den første påvirkning med pigdæk, er valgt som repræsentativ for pigdæksprøverne.

I ovennævnte slidtilstand fremtræder overfladestenen meget klart, og selv sten, der normalt anses for at være mørke, besidder nogen diffus refleksion. En så gunstig tilstand af overfladen fremkaldes ikke i praksis på danske veje og næppe heller på svenske veje, selv om brugen af pigdæk er ret udbredt i Sverige.

4.4.2 Receptdiagrammernes opbygning og prøvernes overflader

Vejprøvernes sammensætninger er valgt, så enhver parameters afhængighed af sammensætningen kan vises i 9 typer af diagrammer, som i det følgende kaldes receptdiagrammer. I et receptdiagram afsættes parameterens værdi ud ad ordinat-aksen og en variabel i recepten ud langs abscisse-aksen.

De recepter og vejprøver, der indgår i de enkelte receptdiagrammer, samt fotografier af overfladerne er vist i blokdiagrammerne fig. 4.30 til 4.46. Der er yderligere givet en oversigt over receptdiagrammerne i tabel 4.4.

De angivne tilslag af lyst stenmateriale er for HAB prøvernes vedkommende i vægt % af den samlede vægt af stenmaterialet plus filler, mens det for Topeka prøvernes vedkommende er i vægt % af den samlede vægt af nedtromlings-skærverne.

Hver blok i et blokdiagram svarer til en bestemt belægningsrecept, og igen til det angivne symbol i receptdiagrammet. Blokke, der er forbundet med liniestykker i blokdiagrammet, svarer til symboler i receptdiagrammet, som ligeledes er forbundet med liniestykker. Langs en sådan knækket kurve i receptdiagrammet varieres kun en parameter.

Recepter, som i receptdiagrammerne svarer til fælles symboler på forskellige kurver, eller som optræder i flere receptdiagrammer har 2 eller i et enkelt tilfælde 9 vejprøver. For de øvrige recepter er der kun én vejprøve.

Den ordinatværdi, der afsættes for et symbol i receptdiagrammet, er den aktuelle parameters værdi, hvis symbolet svarer til kun en vejprøve, eller den geometriske middelværdi af værdierne for de forskellige vejprøver, hvis symbolet svarer til flere vejprøver.

Receptdiagrammerne er i øvrigt forsynet med forklaringer i nogen udstrækning.

	DIAGRAM TYPE NR.	BELÆGNINGSTYPER	KARAKTERISTIK
SOMMERDÆKS- PRØVER	1	HAB 12 MM MED DIABAS SOM GRUNDMATE- RIALE OG LYST TILSLAG AF KVARTSIT, SYNOPAL ELLER LUXOVIT	VARIATION AF STENMATERIALETS SAMMENSETNING
	2	HAB 8, 12 ELLER 16 MM MED GRANIT SOM GRUNDMATERIALE OG LYST TILSLAG AF SYNOPAL	VARIATION AF STENMATERIALETS STØRRELSE OG SAMMENSETNING
	3	TOPEKA MED 12/16 MM NEDTROMLINGS- VER AF DIABAS, KVARTSIT, SYNOPAL OG LUXOVIT	VARIATION AF NEDTROMLINGSSKÆR- VERNES SAMMENSETNING
	4	TOPEKA MED 8/12, 12/16 ELLER 16/ 20 MM NEDTROMLINGSSKÆRVER	VARIATION AF NEDTROMLINGSSKÆR- VERNES STØRRELSE
	5	TOPEKA MED NEDTROMLINGSSKÆRVER, GRUNDMASSE HAR GRANIT SOM GRUND- MATERIALE OG LYST TILSLAG AF SYNO- PAL	LYST TILSLAG TIL GRUNDMASSE
PIGDÆKS- PRØVER	6	HAB 16 MM MED GRANIT ELLER DIABAS SOM GRUNDMATERIALE OG LYST TILSLAG AF KVARTSIT ELLER SYNOPAL	SOM TYPE 1
	7	SOM TYPE 2	SOM TYPE 2
	8	TOPEKA MED 12/16 MM NEDTROMLINGS- SKÆRVER AF DIABAS, KVARTSIT ELLER SYNOPAL	SOM TYPE 3
	9	TOPEKA MED 8/12, 12/16 ELLER 16/ 20 MM NEDTROMLINGSSKÆRVER	SOM TYPE 4

Tabel 4.4 Beskrivelse af de 9 typer receptdiagrammer.

Description of the 9 types of recipe diagrams.

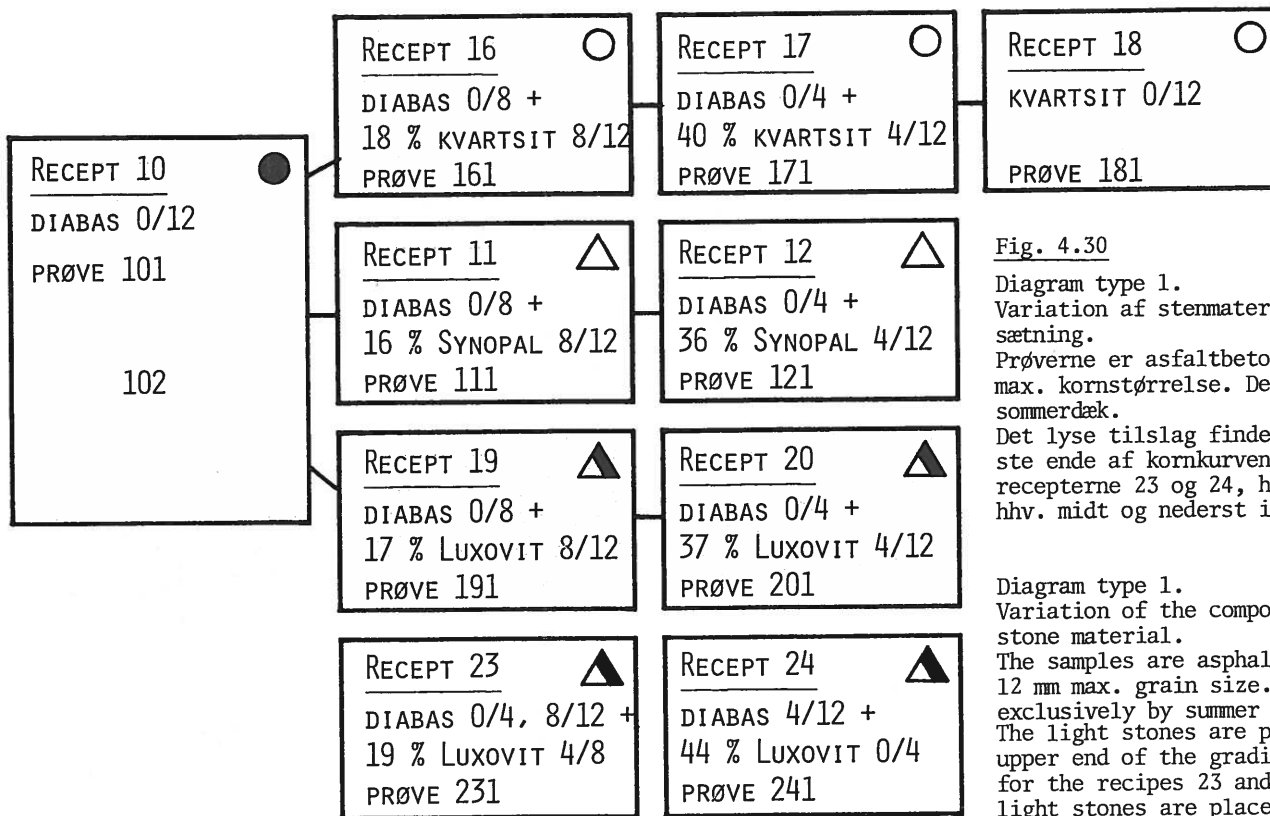


Fig. 4.30

Diagram type 1.

Variation af stenmaterialeets sammensætning.

Prøverne er asfaltbeton med 12 mm max. kornstørrelse. De slides med sommerdæk.

Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven, undtagen for recepterne 23 og 24, hvor det findes hhv. midt og nederst i kornkurven.

Diagram type 1.

Variation of the composition of the stone material.

The samples are asphalt concrete of 12 mm max. grain size. They are worn exclusively by summer tyres.

The light stones are placed in the upper end of the grading curve except for the recipes 23 and 24, where the light stones are placed respectively in the middle and the lower end of the grading curve.

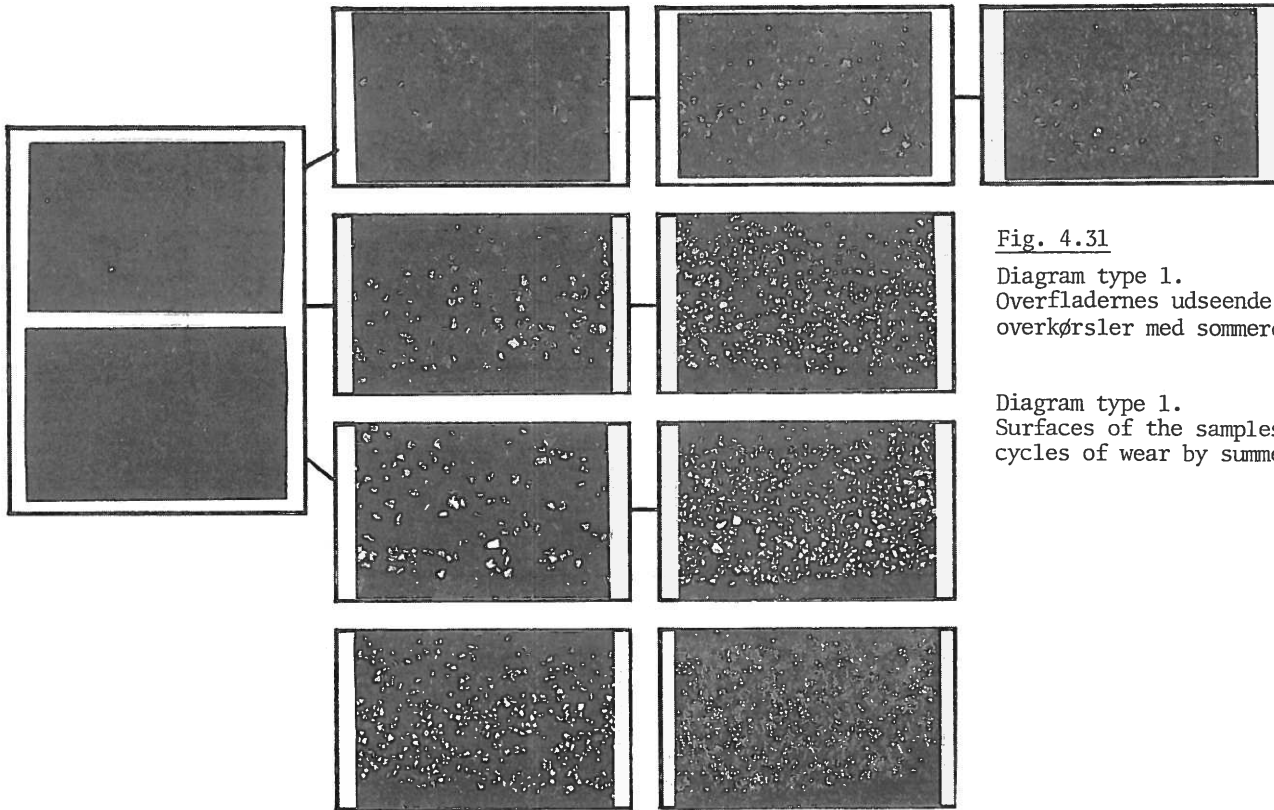


Fig. 4.31

Diagram type 1.
Overfladernes udseende efter 250.000
overkørsler med sommerdæk.

Diagram type 1.
Surfaces of the samples after 250.000
cycles of wear by summer tyres.

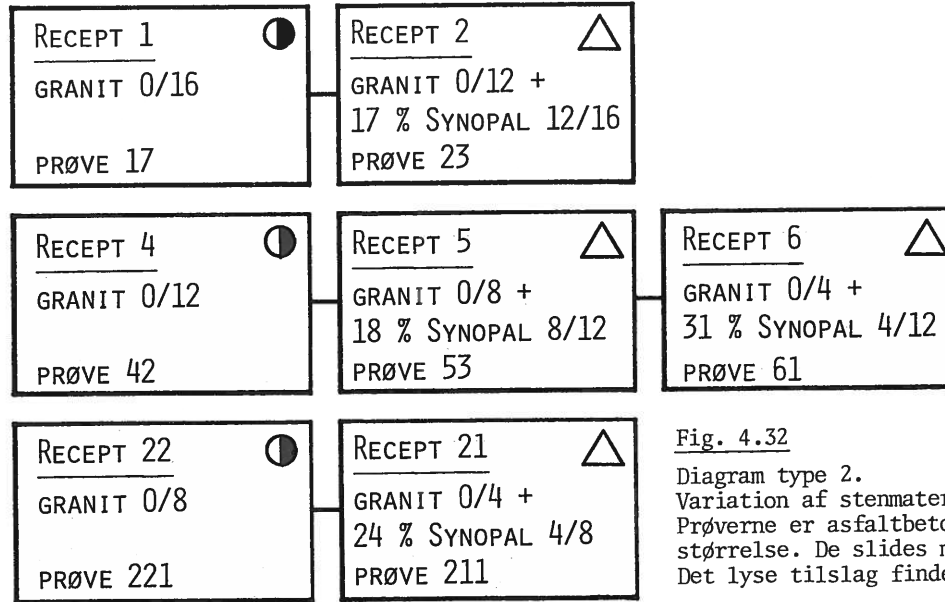


Fig. 4.32

Diagram type 2.
Variation af stenmaterialets størrelse og sammensætning.
Prøverne er asfaltbeton med 16, 12 eller 8 mm max. kornstørrelse. De slides med sommerdæk.
Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 2.
Variation of the size and the composition of the stone material.
The samples are asphalt concrete of 16, 12 or 8 mm max. grain size. They are worn by summer tyres.
The light stones are placed in the upper end of the grading curve.

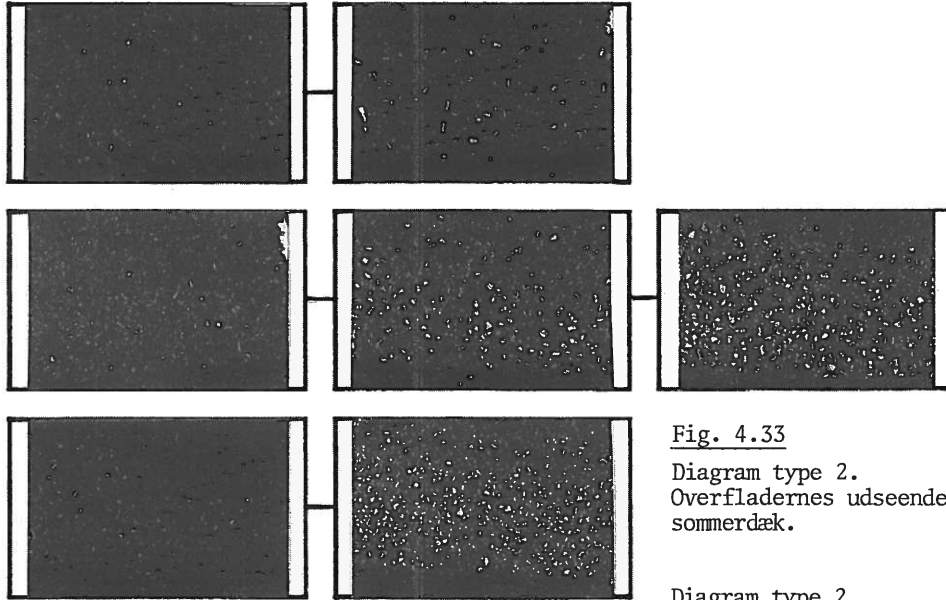


Fig. 4.33

Diagram type 2.
Overfladernes udseende efter 250.000 overkørsler med sommerdæk.

Diagram type 2.
The surfaces of the samples after 250.000 cycles of wear by summer tyres.

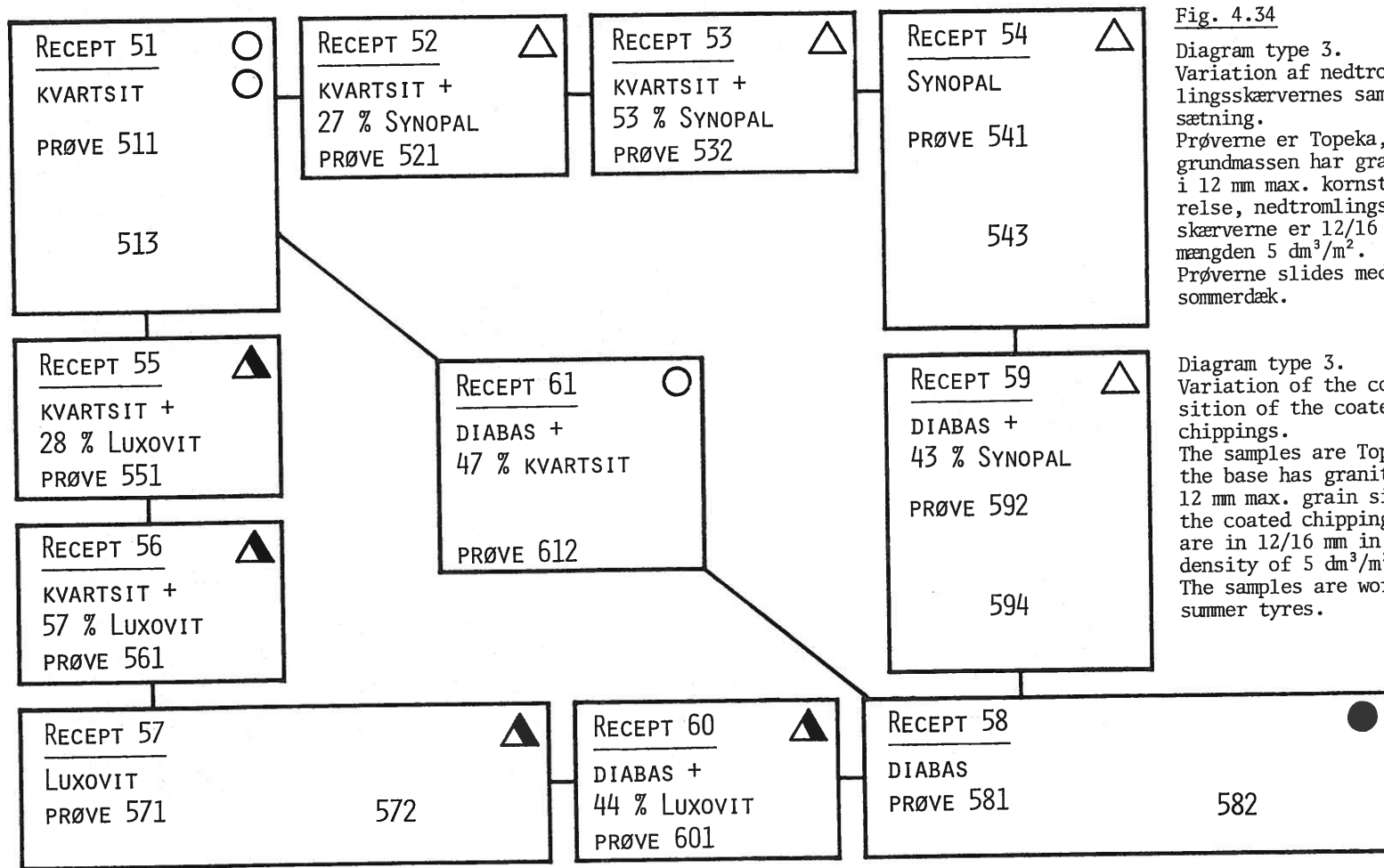


Fig. 4.34

Diagram type 3.
Variation af nedtromlingskærvernes sammensætning.
Prøverne er Topeka, grundmassen har granit i 12 mm max. kornstørrelse, nedtromlingskærverne er 12/16 mm i mængden 5 dm³/m². Prøverne slides med sommerdæk.

Diagram type 3.
Variation of the composition of the coated chippings.
The samples are Topeca, the base has granite of 12 mm max. grain size, the coated chippings are in 12/16 mm in the density of 5 dm³/m². The samples are worn by summer tyres.

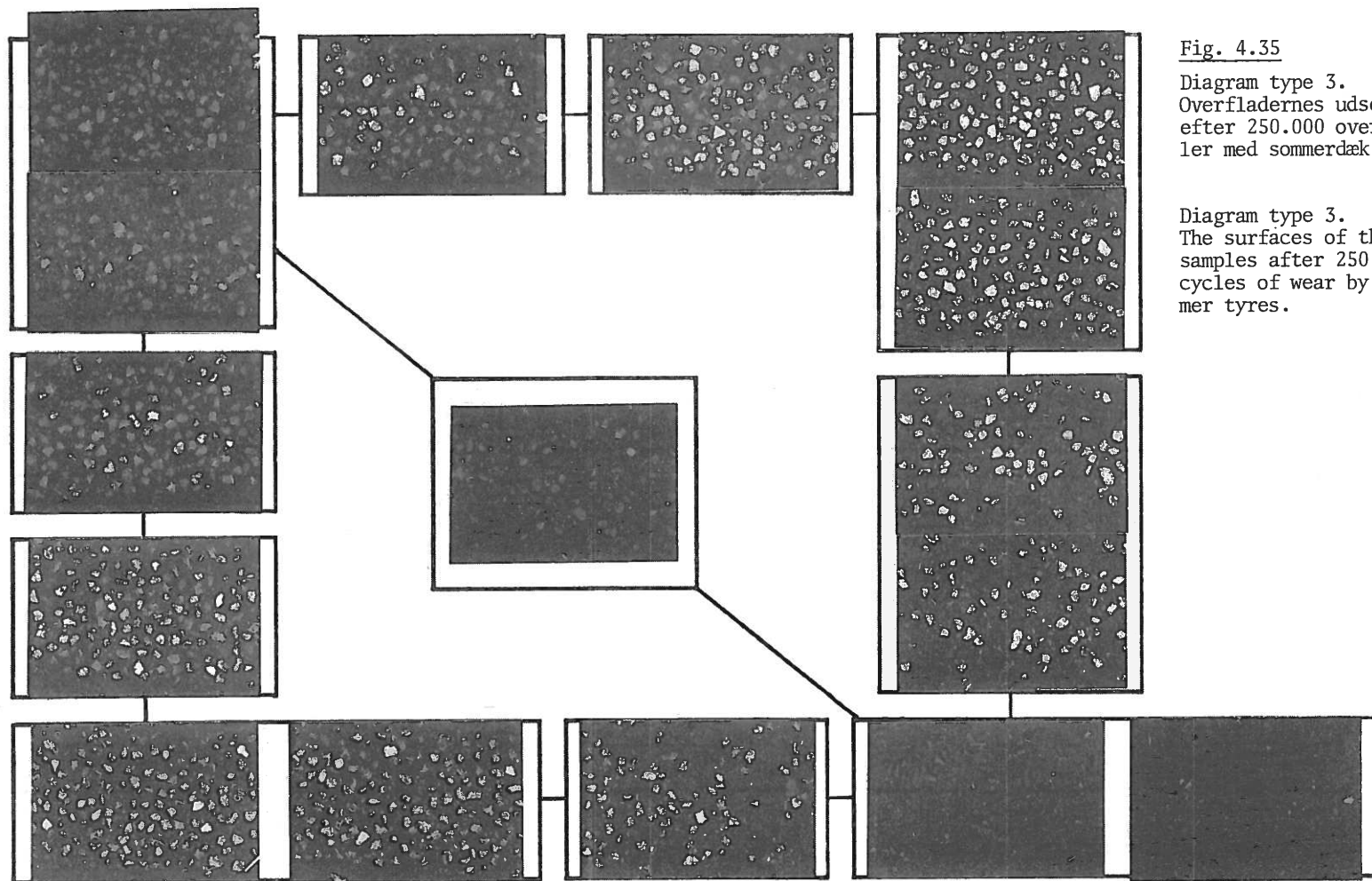




Fig. 4.35


Diagram type 3.
Overfladernes udseende
efter 250.000 overkørs-
ler med sommerdæk.


Diagram type 3.
The surfaces of the
samples after 250.000
cycles of wear by sum-
mer tyres.


RECEPT 64 
DIABAS +
43 % SYNOPAL 8/12
PRØVE 641

RECEPT 59 
DIABAS +
43 % SYNOPAL 12/16
PRØVE 592

594

RECEPT 65 
DIABAS +
43 % SYNOPAL 16/20
PRØVE 651

RECEPT 66 
KVARTSIT 8/12
PRØVE 661

RECEPT 51 
KVARTSIT 12/16
PRØVE 511

513


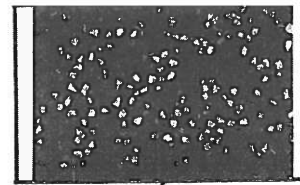
RECEPT 67 
KVARTSIT 16/20
PRØVE 671

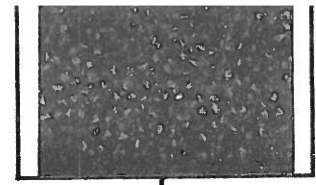
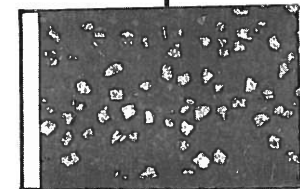
Fig. 4.36

Diagram type 4.
Variation af nedtromlings-skærvernes størrelse. Prøverne er Topeka, hvis grundmasse har granit i 12 mm max. kornstørrelse. Nedtromlings-skærverne er 8/12, 12/16 eller 16/20 mm i mængderne hhv. 4, 5 eller 6 dm^3/m^2 . Prøverne slides med sommerdæk.

Diagram type 4.
Variation of the size of the coated chippings. The samples are Topeca, the base has granite in 12 mm max. grain size. The coated chippings are 8/12, 12/16 or 16/20 mm in the densities of respectively 4, 5 or 6 dm^3/m^2 . The samples are worn by summer tyres.



ER VIST FOR DIA-
GRAM TYPE 3



ER VIST FOR DIA-
GRAM TYPE 3

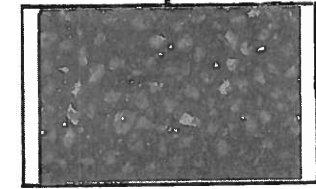



Fig. 4.37


Diagram type 4.
Overfladernes udseende efter 250.000 overkørsler med sommerdæk.

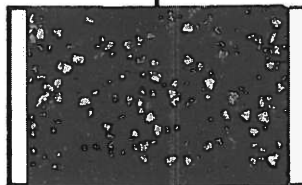
Diagram type 4.
The surfaces of the samples after 250.000 cycles of wear by summer tyres.


RECEPT 59 
 GRANIT 0/12 i
 GRUNDMASSE
 PRØVE 592

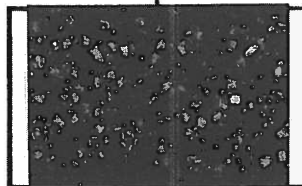
 594

ER VIST FOR DIA-
 GRAM TYPE 3

RECEPT 62 
 GRANIT 0/8 +
 19 % SYNOPAL 8/12
 PRØVE 621



RECEPT 63 
 GRANIT 0/4 +
 33 % SYNOPAL 4/12
 PRØVE 631



A

B

Fig. 4.38

Diagram type 5.

- A. Lyst tilslag til grundmassen for Topeka prøver. Nedtromlingskærverne er 12/16 mm i mængden $5 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, de består af Diabas og 43 % Synopal. Det lyse tilslag til grundmassen findes i den øverste ende af kornkurven. Prøverne slides med sommerdæk.
- B. Overfladernes udseende efter 250.000 overkørsler med sommerdæk.

Diagram type 5.

- A. Light stones in the base of Topeca samples. The coated chippings are 12/16 mm in the density of $5 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, they consist of diabase plus 43 % Synopal. The light stones are placed in the upper end of the grading curve. The samples are worn by summer tyres.
- B. The surfaces of the samples after 250.000 cycles of wear by summer tyres.

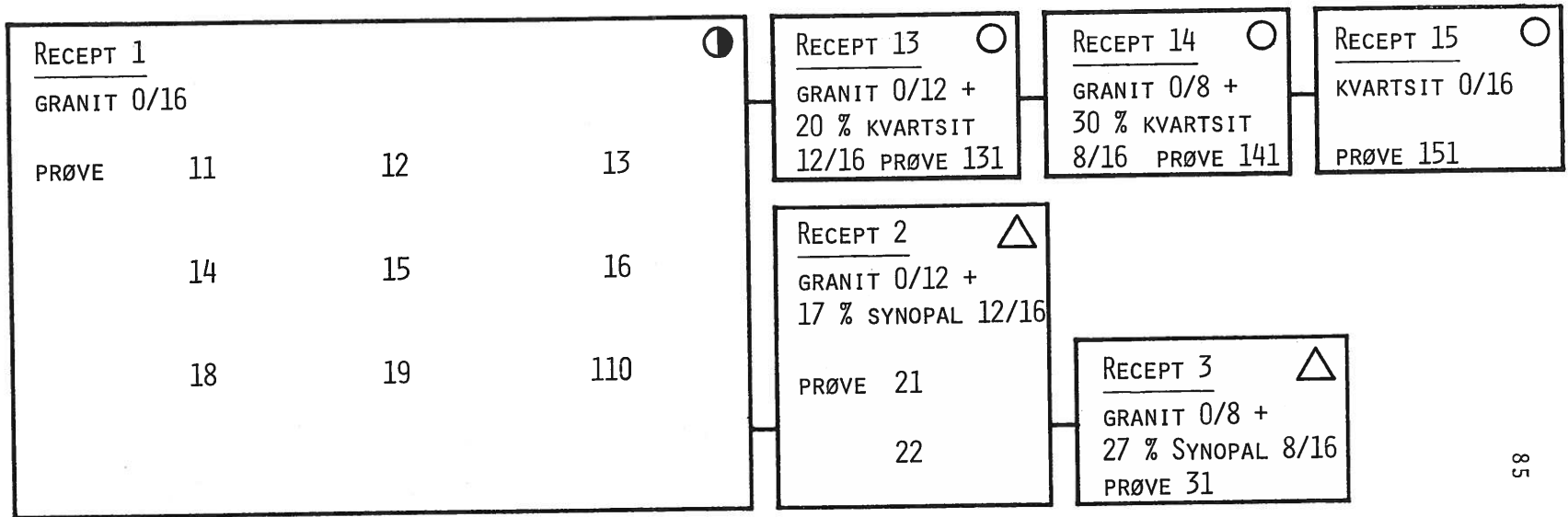


Fig. 4.39

Diagram type 6.

Variation af stenmaterialiets sammensætning.

Prøverne er asfaltbeton med 16 mm max. kornstørrelse. De slides skiftevis med sommer- og pigdæk. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

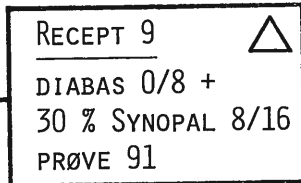
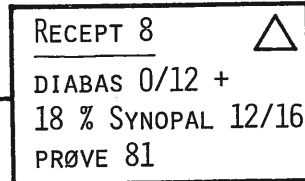
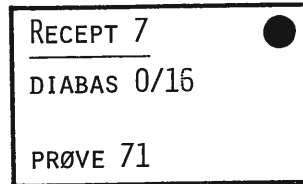


Diagram type 6.

Variation of the composition of the stone material.

The samples are asphalt concrete of 16 mm max. grain size. They are worn alternately by summer and by studded tyres. The light stones are places in the upper end of the grading curve.

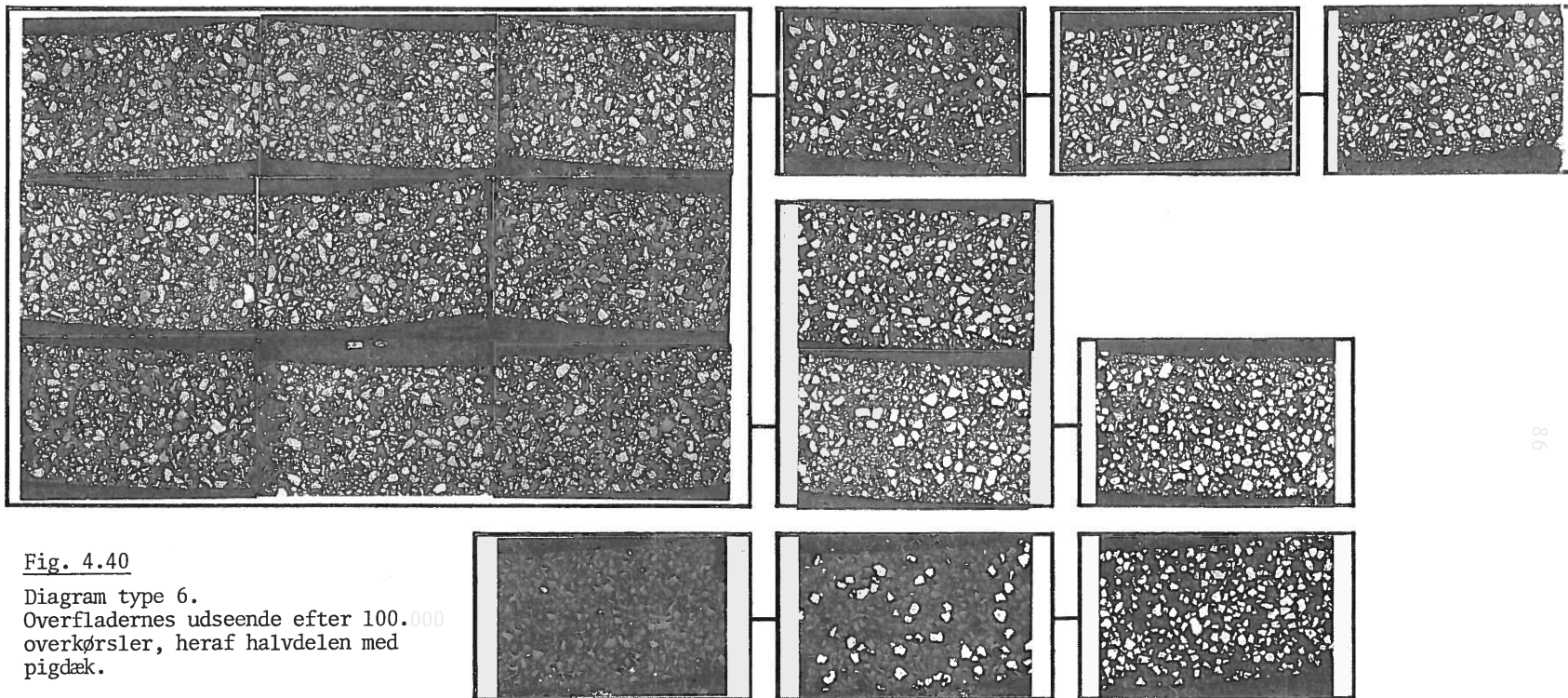


Fig. 4.40

Diagram type 6.
 Overfladernes udseende efter 100.000
 overkørsler, heraf halvdelen med
 pigdæk.

The surfaces of the samples after
 100.000 cycles of wear, half of
 these by studded tyres.

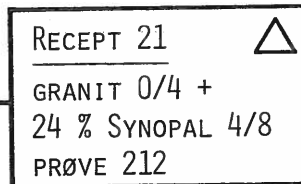
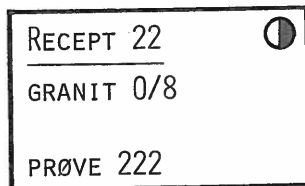
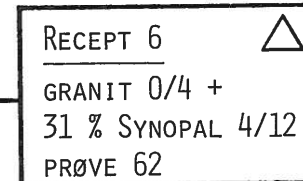
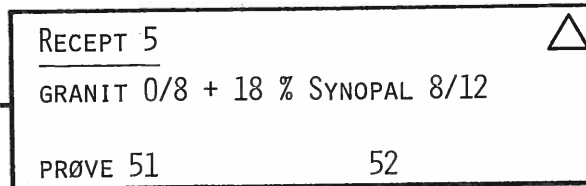
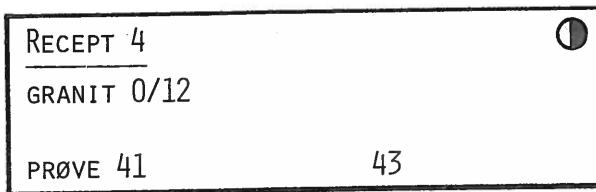
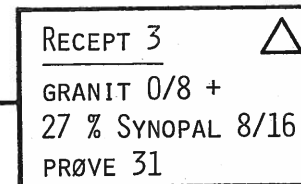
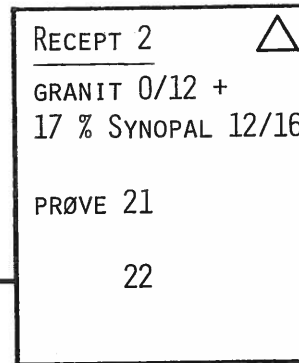
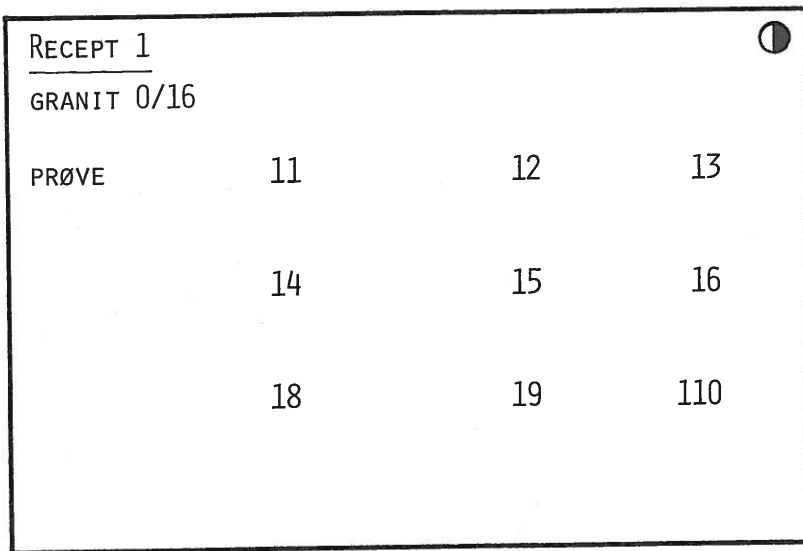


Fig. 4.41

Diagram type 7.

Variation af stenmaterialets størrelse og sammensætning.

Prøverne er asfaltbeton med 16, 12 eller 8 mm max. kornstørrelse. De slides skiftevis med sommer- og pigdæk.

Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 7.

Variation of the size and the composition of the stone material.

The samples are asphalt concrete of 16, 12 or 8 mm max. grain size. They are worn alternately by summer and by studded tyres. The light stones are placed in the upper end of the grading curve.

ER VIST FOR DIAGRAM TYPE 6

ER VIST FOR DIA-
GRAM TYPE 6

ER VIST FOR DIA-
GRAM TYPE 6

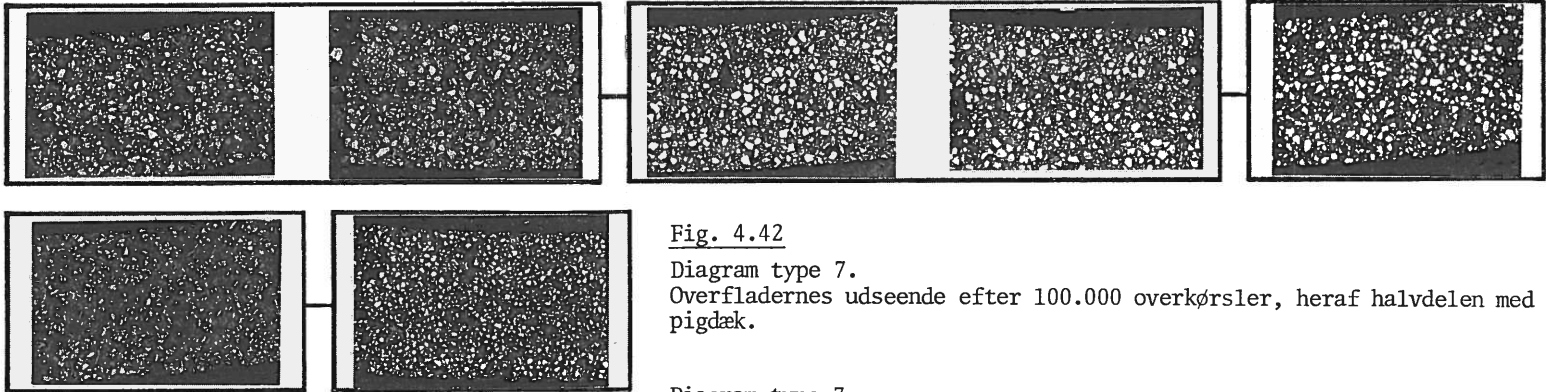


Fig. 4.42

Diagram type 7.

Overfladernes udseende efter 100.000 overkørsler, heraf halvdelen med pigdæk.

Diagram type 7.

The surfaces of the samples after 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres.

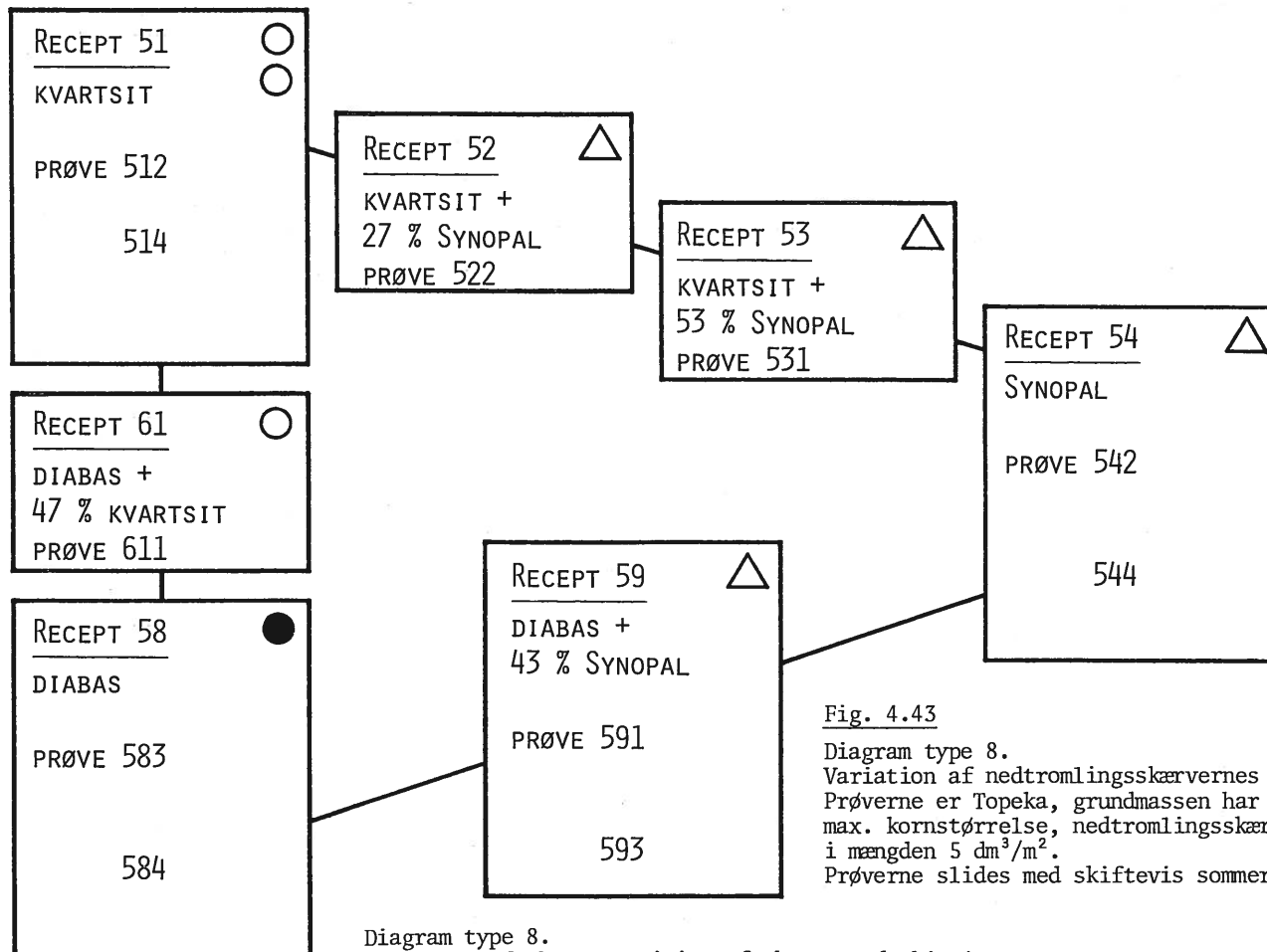


Fig. 4.43

Diagram type 8.
 Variation af nedtromlingskærvernes sammensætning.
 Prøverne er Topeka, grundmassen har granit i 12 mm max. kornstørrelse, nedtromlingskærverne er 12/16 mm i mængden 5 dm³/m².
 Prøverne slides med skiftevis sommer- og pigdæk.

Diagram type 8.
 Variation of the composition of the coated chippings.
 The samples are Topeca, the base has granite in 12 mm max. grain size. The coated chippings are 12/16 mm in density 5 dm³/m². The samples are worn alternately by summer and by studded tyres.

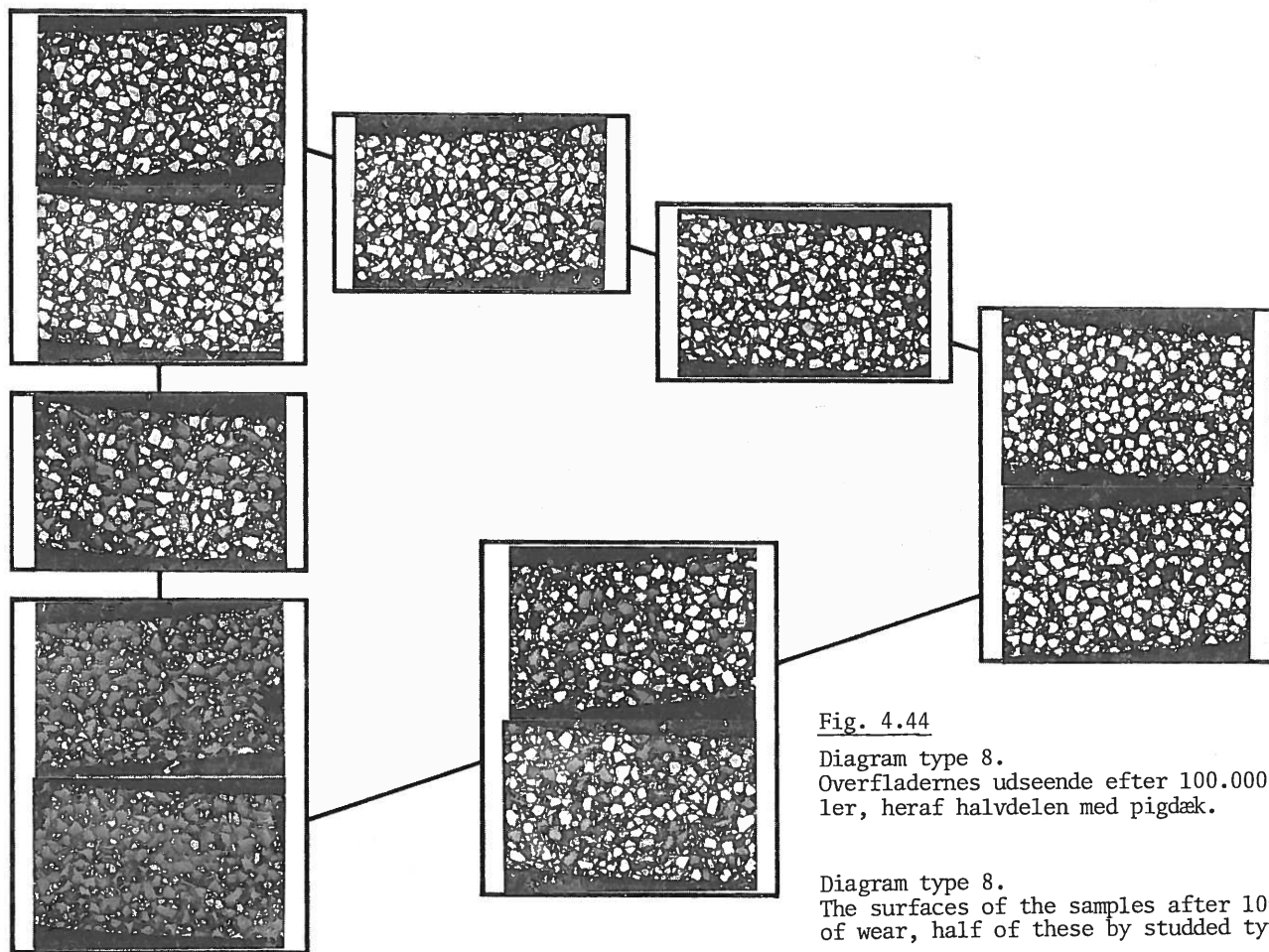





Fig. 4.44


Diagram type 8.
Overfladernes udseende efter 100.000 overkørs-
ler, heraf halvdelen med pigdæk.


Diagram type 8.
The surfaces of the samples after 100.000 cycles
of wear, half of these by studded tyres.

RECEPT 64 
 DIABAS +
 43 % SYNOPAL 8/12
 PRØVE 641

RECEPT 59 
 DIABAS +
 43 % SYNOPAL 12/16
 PRØVE 591
 593

RECEPT 65 
 DIABAS +
 43 % SYNOPAL 16/20
 PRØVE 652

RECEPT 66 
 KVARTSIT 8/12
 PRØVE 662

RECEPT 51 
 KVARTSIT 12/16
 PRØVE 512
 514


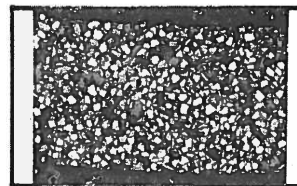
RECEPT 67 
 KVARTSIT 16/20
 PRØVE 672

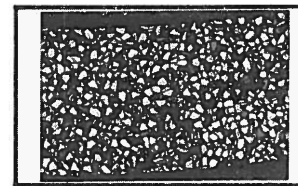
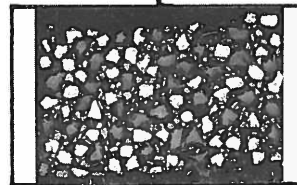
Fig. 4.45

Diagram type 9.
 Variation af nedtromlingskærvernes størrelse.
 Prøverne er Topeka, hvis grundmasse har granit i 12 mm max. kornstørrelse. Nedtromlingskærverne er 8/12, 12/16 eller 16/20 mm i mængderne hhv. 4, 5 eller 6 dm^3/m^2 . Prøverne slides skiftevis med sommer og pigdæk.

Diagram type 9.
 Variation of the size of the coated chippings.
 The samples are Topeka, the base has granite in 12 mm max. grain size. The coated chippings are 8/12, 12/16 or 16/20 mm in the densities of respectively 4, 5 or 6 dm^3/m^2 . The samples are worn alternately by summer and by studded tyres.



ER VIST FOR DIA-
 GRAM TYPE 8



ER VIST FOR DIA-
 GRAM TYPE 8

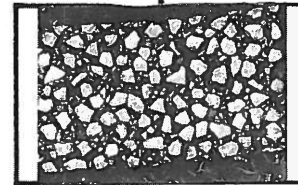


Fig. 4.46

Diagram type 9.
 Overfladernes udseende efter 100.000 overkørsler, heraf halvdelen med pigdæk.

Diagram type 9.
 The surfaces of the samples after 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres.

4.4.3 Vurdering af de karakteristiske parametres usikkerhed og variation

4.4.3.1 Indledning

Variansanalysen består i at estimere de usikkerheder, hvormed de typiske parametre er bestemt, og at sammenligne variationsbredderne for de typiske variable med usikkerhederne.

De anvendte metoder er beskrevet i afsnit 4.4.3.2, mens resultaterne vurderes i afsnit 4.4.3.3.

Vurderingen består først og fremmest i at afgøre, om variationsbredden for den enkelte parameter er større end dens usikkerhed, d.v.s. om målingerne overhovedet rummer information om den pågældende parameters afhængighed af prøvernes sammensætning. Hvis dette er tilfældet, karakteriseres og beskrives parameterens afhængighed.

For nogle af parametrene vedkommende konstateres en afhængighed af prøvernes sammensætning, som kan beskrives ved hjælp af receptdiagrammer. Denne beskrivelse foretages i afsnit 4.4.4.

4.4.3.2 Anvendte metoder

Parametrene usikkerheder bestemmes ved hjælp af de gentagne målinger, som er foretaget på prøver med samme recept og i samme slidtilstand.

Af sådanne prøver er der for sommerdæksprøvernes vedkommende 6 par og for pigdæksprøvernes vedkommende en gruppe med 9 medlemmer samt 7 par. For alle prøverne under ét findes der således 13 par og en gruppe med 9 medlemmer.

I det generelle tilfælde er der N -grupper, hvor gruppe nr. i har M_i medlemmer. Den parameter, der undersøges, har værdierne L_{ij} , hvor i går fra 1 til N og refererer til gruppens nr., og j går fra 1 til M_i og refererer til medlemmets eller værdiens nr. i gruppen.

Parameterens varians, V_u estimeres da på sædvanlig måde:

$$V_u = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} (L_{ij} - \bar{L}_i)^2$$

hvor \bar{L}_i er middelværdien i gruppe nr. i , og f er det antal frihedsgrader, hvormed V_u er bestemt.

$$\bar{L}_i = \frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{M_i} L_{ij}$$

$$f = \sum_{i=1}^N (M_i - 1) = \sum_{i=1}^N M_i - N$$

Det har kun mening at bestemme variansen af en parameter, hvis variansen er den samme, uanset om parameterens værdi er stor eller lille. Dette er næppe tilfældet for de parametre, som varierer stærkt, f.eks. QS, og af denne grund foretages en logaritmisk transformation af parametrene værdier, inden variansen udregnes. Ved det benyttede symbol, L_{ij} for parametrene værdier skal derfor forstås logaritmen til den virkelige værdi.

Den således udregnede varians har mening, når parametrene usikkerhed kan beskrives som en fast procentdel af den aktuelle værdi. Dette skønnes at være tilfældet for samtlige 8 karakteristiske parametre. Til gengæld giver variansen, som er i enheden dekader, ikke nogen umiddelbar fornemmelse af parameterens usikkerhed og er derfor ikke angivet. Derimod er angivet en procentisk usikkerhed, P_u som er bestemt ud fra V_u på følgende måde:

$$P_u = (10^{\sqrt{V_u}} - 1) \cdot 100 \%$$

Værdien af P_u skal fortolkes på den måde, at en målt værdi med ca. 70 % sikkerhed er højst en faktor $1 + P_u/100$ større eller mindre end den forventede værdi.

De således bestemte procentiske usikkerheder er angivet i tabel 4.5 for både sommer- og pigdæksprøver. Det er endvidere anført, om usikkerhederne med mindst 90, 95 eller 99 % sikkerhed er forskellige for sommer- og pigdæksprøver. Hvis dette ikke er tilfældet, anses den procentiske usikkerhed for at være ens, og der angives en fælles værdi, som ligeledes er beregnet i følge det ovenstående.

Testet for signifikant forskellige usikkerheder mellem sommer- og pigdæksprøver er udført som et F-test af forholdet mellem de to logaritmiske varianser.

Parametrene variationsbredder bestemmes på samme måde, som det er beskrevet for usikkerheden, men med den simplifikation, at prøverne falder i én gruppe.

Først bestemmes variansen af de logaritmiske værdier, V_V og dernæst den procentiske variation, P_V , som er angivet i tabel 4.6.

I tabel 4.6 er desuden angivet, om variationsbredderne for sommer- og pigdæksprøver med mindst 90, 95 eller 99 % sikkerhed er forskellige, og måske mere interessant, om variationsområderne med de samme sikkerheder ligger forskudt i forhold til hinanden.

Førstnævnte test er et F-test på forholdet mellem værdierne af V_V for de to grupper af prøver. Sidstnævnte er et F-test på forholdet mellem V_V udregnet for alle 80 prøver i én gruppe, og V_V udregnet for en opdeling af prøverne i sommer- og pigdæksprøver.

Sammenstillingen af parametrene variationsbredde og usikkerhed findes i tabel 4.7. Der er dels angivet forholdet P_V/P_U , som er den procentiske variationsbredde i forhold til den procentiske usikkerhed, samt om variationsbredden med mindst 90, 95 eller 99 % er større end usikkerheden. Testet for en signifikant variation er et F-test på forholdet V_V/V_U .

Da en del af parametrene, S_1 , S_1' og QR fra afsnit 4.2 vides at være korreleret med Q_0 , er der udført en analyse, som skal vise i hvilken grad disse parametre varierer uafhængigt af Q_0 . Denne analyse er baseret på en anden metode til udregning af variansen, W_V :

$$W_V = \frac{1}{M-1} \sum_{i=2}^M (L_i - \bar{L}_i)^2$$

hvor M er antallet af værdier, L_i , $i=1$ til M , er de logaritmiske værdier og $\bar{L}_i = \frac{1}{2}(L_i + L_{i-1})$.

Hvis værdierne, L_i er opstillet i en tilfældig rækkefølge, er W_V ikke væsentlig forskellig fra V_V . Hvis derimod L_i i nogen grad ordnes efter størrelse, reduceres W_V .

Den variation, som er uafhængig af Q_0 , udregnes da som W_V , idet L_i først opstilles i en sådan rækkefølge, at de tilsvarende værdier af Q_0 danner en række af stadigt stigende værdier. Variansen udregnet på denne måde er et udtryk for parameterens variation omkring en korrelationskurve af vilkårlig form mellem parameteren og Q_0 .

Ved hjælp af den logaritmiske varians, W_V udregnes en procentisk variationsbredde, og der udføres signifikans-test på samme måde, som når udgangspunktet er V_V . Resultaterne findes i tabel 4.8.

4.4.3.3 Vurdering af variansanalysens resultater

Ved en vurdering af parametrene usikkerheder, som fremgår af tabel 4.5, må det tages i betragtning, at usikkerhederne inkluderer både målefejl og tilfældige forskelle i vejprøvernes sammensætning og overflader.

For sommerdæksprøvernes vedkommende synes usikkerhederne på Q0, S1, QR, QS og friktionen derfor at være rimeligt små. Når usikkerheden er stor for S1' skyldes det både vanskeligheder med at reproducere den våde tilstand og især, at S1' influeres kraftigt og tilsyneladende tilfældigt af rest-bitumen på prøvernes overflader. De store procentiske usikkerheder på strukturdybden og sliddybden skyldes, at der er tale om små værdier, som er vanskelige at måle nøjagtigt.

For pigdæksprøvernes vedkommende er usikkerhederne rimeligt små for alle parametrene undtagen S1' og QS, som formentlig er influeret kraftigt af overfladernes krumning i den repræsentative slidtilstand.

Ved vurderingen af variationsbredderne i tabel 4.6 må det tages i betragtning, at pigdæksprøverne har overflader med større og mere ensartet lyshed og struktur end sommerdæksprøverne.

Således er pigdæksprøvernes variationsområder for Q0, QR, friktionen, strukturdybden og sliddybden forskudt mod højere værdier i forhold til sommerdæksprøvernes variationsområder, mens der for S1 og QS er en forskydning mod lavere værdier. Pigdæksprøvernes variationsområde for S1' ligger lavt på grund af den gode struktur, men sommerdæksprøvernes variationsområde ligger lige så lavt på grund af rest-bitumen på overfladerne.

Endvidere er pigdæksprøvernes variationsbredder mindre end sommerdæksprøvernes for en del parametres vedkommende. Dette gælder for QR, strukturdybden og sliddybden. Når det tilsvarende ikke gælder for QS og S1', skyldes det, at variationsbredderne for pigdæksprøverne er forøget på grund af stor usikkerhed, jfr. tabel 4.5. For Q0's vedkommende er der den specielle forklaring, at sommerdæksprøvernes variationsområde er begrænset nedadtil af spejlende refleksion, således at variationsbredden bliver lige så lille som for pigdæksprøverne.

Af sammenstillingen af variationsbredden og usikkerheden i tabel 4.7 ses, at målingernes information om Q0's afhængighed af prøvens sammensætning må skønnes at være god.

Der er ligeledes information om S_1 , S_1' og QR 's variation, men det fremgår af tabel 4.8, at S_1' og QR 's variation kan forklares ved korrelationen med Q_0 , mens variationen af S_1 delvis kan forklares ved indflydelsen af Q_0 .

For sommerdæksprøvernes vedkommende er der ikke nogen klar årsag til den variation af S_1 , som er uafhængig af Q_0 . For pigdæksprøvernes vedkommende skyldes den uafhængige variation, at Topeka prøverne, som har de største strukturdybder, i gennemsnit har lavere S_1 værdier end HAB prøverne.

Målingerne rummer ingen information om pigdæksprøvernes QS , mens variationen af QS for sommerdæksprøverne hidrører fra, at Topeka prøverne har gennemsnitligt lavere værdier end HAB prøverne. Også for sommerdæksprøverne er strukturdybderne større for Topeka end for HAB prøver.

Målingerne rummer ingen information om sommerdæksprøvernes friktion, men tilsyneladende en svag information om pigdæksprøvernes friktion. Et nærmere studium af resultaterne tyder dog på, at der heller ikke er nogen information om pigdæksprøvernes friktion, idet variationens forøgelse skyldes nogle få, men store målefejl.

Den ovenfor nævnte forskel mellem Topeka og HAB prøver forklarer hele variationen af sommerdæksprøvernes strukturdybder og størstedelen af pigdæksprøvernes variation. For pigdæksprøvernes vedkommende findes der dog også en svag stigning med overfladestenenes kornstørrelse.

Endelig skyldes variationen af sommerdæksprøvernes sliddybde, at Topeka prøverne gennemgående har større sliddybder end HAB prøverne. Dette er formentlig et tegn på, at Topeka prøvernes overfladeskærver eftertromles ved overkørslerne. For pigdæksprøvernes vedkommende har Topeka prøverne i gennemsnit de mindste sliddybder. Herudover kan udledes, at Synopal tilsyneladende slides lidt hurtigere end natursten.

Den således gennemførte diskussion af de karakteristiske parametres variation er summeret i tabel 4.9, hvor det også er forsøgt at beskrive en del sammenhænge kvantitativt.

Tilbage står, at Q_0 er den parameter, som er mest egnet til undersøgelse ved hjælp af receptdiagrammer. Denne undersøgelse, som foretages i næste afsnit, udvides til også at omfatte QR på grund af parameterens vigtighed.

SPREDNING MELLEME ENS PRØVER %	Q0	S1	S1'	QR	QS	FRIK- TION	STRUKT. DYBDE	SLID- DYBDE
SOMMERDÆKSPRØVER	7,7	12	60	20	15	7,9	26	31
PIGDÆKSPRØVER	7,0	23	72	14	49	4,4	7,5	16
SIKKERHED FOR FORSKEL		90 %			99 %	90 %	99 %	90 %
FÆLLES VÆRDI	7,2	20 *	69	16				

* DA DEN LAVE SPREDNING PÅ S1 FOR SOMMERDÆKSPRØVER IKKE SYNES RIMELIG, BENYTTES DEN FÆLLES VÆRDI,

Tabel 4.5 Estimerede usikkerheder på parametre for sommerdæks- og pigdæksprøver. Hvis usikkerhederne ikke med en sikkerhed på mindst 90 % er forskellige, er der desuden angivet en fælles værdi for de to typer prøver.

Estimated uncertainties of the parameters, both for samples worn exclusively by summer tyres and for samples worn alternately by summer and by studded tyres. When the uncertainties do not differ to a probability of min. 90 %, a value common to the two groups of samples is used.

VARIATION MELLEM PRØVER I SAMME SLIDTILSTAND %	Q0	S1	S1'	QR	QS	FRIK- TION	STRUKT. DYBDE	SLID- DYBDE
SOMMERDÆKSPRØVER	25	44	150	47	39	7,7	42	55
PIGDÆKSPRØVER	28	42	120	29	58	6,3	16	27
SIKKERHED FOR FORSKEL I VARIATIONSBRÆDDE				99 %	95 %	CA. 90 %	99 %	99 %
SIKKERHED FOR FORSKEL I NIVEAU	95 %	99 %		99 %	99 %	99 %	99 %	99 %

Tabel 4.6 Variationsbredder for parametrene for sommerdæks- og pigdæksprøver.
Der er desuden angivet, om variationsbredderne med 90, 95 eller 99 % sikkerhed er forskellige for de to typer prøver, og om variationsområderne med de samme sikkerheder er forskudt i forhold til hinanden.

Range of variation of the parameters, both for samples worn exclusively by summer tyres and for samples worn alternately by summer and by studded tyres.
Further it is stated, whether the ranges of variation to probabilities of min. 90, 95 or 99 % differ between the two groups of samples, and whether the ranges of variation to the same certainties differ in levels.

VARIATIONSBREDDER/ USIKKERHED	Q0	S1	S1'	QR	QS	FRIK- TION	STRUKT. DYBDE	SLID- DYBDE
SOMMERDÆKSPRØVER	3,5	2,2	2,2	2,9	2,6	1,0	1,6	1,8
PIGDÆKSPRØVER	3,9	2,1	1,7	1,8	1,2	1,4	2,1	1,7
SIGNIFIKANSNIVEAU								
SOMMERDÆKSPRØVER	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %		95 %	95 %
PIGDÆKSPRØVER	99 %	99 %	95 %	99 %		95 %	99 %	99 %

Tabel 4.7 Forhold mellem parametrene variationsbredder og den usikkerhed, hvormed de er bestemt.
Desuden er angivet, om forholdene med mindst 90, 95 eller 99 % sikkerhed er signifikant større end 1.

The ratios between the range of variation and the uncertainty, to which the parameters are determined.
Further, it is stated, whether the ratios to 90, 95 or 99 % significance levels are greater than unity.

VARIATIONSBREDE/ USIKKERHED	S1	S1'	QR
SOMMERDÆKSPRØVER	1,6	1,4	1,1
PIGDÆKSPRØVER	1,7	1,0	1,0
SIGNIFIKANSNIVEAU			
SOMMERDÆKSPRØVER	95 %		
PIGDÆKSPRØVER	99 %		

Tabel 4.8 Forhold mellem parametrene variationsbredde ud over den, som skyldes Q_0 , og den usikkerhed, hvormed parametrene er bestemt.
Desuden er angivet, om forholdene med mindst 90, 95 eller 99 % sikkerhed er signifikant større end 1.

The ratios between the range of variation, which is not caused by Q_0 , and the uncertainty, to which the parameters are determined.
Further it is stated, whether the ratios to 90, 95 or 99 % significance levels are greater than unity.

	Q0	S1 (N-KLASSE)	S1' (W-KLASSE)	QR
SOMMER- DÆKS- PRØVER	VARIERER MED STENMA- TERIALETS SAMMENSÆT- NING. RECEPTDIAGRAMMER FINDES I AFSNIT 4.4.4.	VARIERER MED Q0. RESTVARIATIONEN ER TILSYNELADENDE TIL- FÆLDIG. N-KLASSEN ER SOM RE- GEL N2 ELLER N3, NÅR Q0 ER H.H.V. STØRRE ELLER MINDRE END 0,09. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIERER MED Q0. W-KLASSEN ER SOM RE- GEL W3, HVIS Q0 ER MINDRE END 0,08, OG W1 HVIS Q0 ER STØRRE END 0,12. HVIS Q0 ER MELLE- M 0,08 OG 0,12, ER W- KLASSEN W1 ELLER W2. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIERER MED STENMA- TERIALETS SAMMENSÆT- NING PÅ OMTRENT SAM- ME MÅDE SOM Q0. RECEPTDIAGRAMMER FIN- DES I AFSNIT 4.4.4.
PIG- DÆKS- PRØVER	VARIERER MED STENMA- TERIALETS SAMMEN- SÆTNING. RECEPTDIAGRAMMER FINDES I AFSNIT 4.4.4.	VARIERER MED Q0. RESTVARIATIONEN SKYLDES ET SYSTEMA- TISK FORSKEL MELLE- M HAB- (KLASSE N1 EL- LER N2) OG TOPEKA- PRØVER (KLASSE N1). INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIERER MED Q0. W-KLASSEN ER W2 EL- LER W3, HVIS Q0 ER MINDRE END 0,12, OG W1 ELLER W2, HVIS Q0 ER STØRRE END 0,12. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIERER MED STENMA- TERIALETS SAMMENSÆT- NING PÅ OMTRENT SAM- ME MÅDE SOM Q0. RECEPTDIAGRAMMER FIN- DES I AFSNIT 4.4.4.

Tabel 4.9 Kommentarer til de enkelte parametres variation.

Comments to the range of variation of the parameters.

	QS	FRIKTION	STRUKTURDYBDE	SLIDDYBDE
SOMMER- DÆKS- PRØVER	VARIATIONEN SKYLDES EN SYSTEMATISK FOR- SKEL MELLEM HAB- (2 TIL 5 (CD/M ²)/LUX) OG TOPEKA-PRØVER (1 TIL 3 (CD/M ²)/LUX) INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	INGEN PÅVISELIG, SY- STEMATISK VARIATION. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIATIONEN SKYLDES EN SYSTEMATISK FOR- SKEL PÅ HAB- (0,3 TIL 0,7 MM) OG TOPE- KA-PRØVER (0,7 TIL 1,3 MM). INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIATIONEN SKYLDES EN SYSTEMATISK FOR- SKEL PÅ HAB-(0,4 TIL 0,9 MM) OG TOPEKA- PRØVER (0,9 TIL 1,7 MM). SLIDDYBDEN ER I ØV- RIGT ET UDTRYK FOR PLASTISK DEFORMATION. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.
PIG- DÆKS- PRØVER	INGEN PÅVISELIG, SY- STEMATISK VARIATION. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	INGEN PÅVISELIG, SY- STEMATISK SAMMEN- HÆNG. DEN VARIATION, SOM FINDES, SKYLDES FOR- MENTLIGT NOGLE FÅ, MEN STORE MÅLEFEJL. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIATIONEN SKYLDES EN SYSTEMATISK FOR- SKEL PÅ HAB- (0,9 TIL 1,5 MM) OG TOPE- KA-PRØVER (1,2 TIL 1,7 MM), SAMT EN SVAG STIGNING MED KORNSTØRRELSEN. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.	VARIATIONEN SKYLDES EN SYSTEMATISK FOR- SKEL PÅ HAB- (2,5 TIL 5,5 MM) OG TOPE- KA-PRØVER (2,5 TIL 3,5 MM), SAMT AT SY- NOPALSTEN TILSYNELA- DENDE SLIDES LIDT HURTIGERE END NATUR- STEN. INGEN RECEPTDIAGRAM- MER.

Tabel 4.9 (fortsat)

(continued)

4.4.4 Undersøgelse ved receptdiagrammer

4.4.4.1 Q0, sommerdæksprøver

Fig. 4.47, som gælder for HAB 12 mm belægninger med diabas som grundmateriale, viser, at Q0 øges med mængden af lyst tilslag, og at forøgelsen er kraftigere for Synopal og Luxovit end for kvartsit. Figuren tyder på, at ved større mængder lyst tilslag virker Synopal kraftigere end Luxovit, men dette udsagn afhænger af en sammenligning af kun to prøver, hvoraf prøven med Luxovit næppe er typisk.

For de prøver, hvis symboler er forbundet med liniestykker i fig. 4.47, findes det lyse tilslag i den øverste ende af kornkurven. Det må derfor forventes, at overfladen set under flade retninger mættes med lyse sten, før den maksimale mængde lyst tilslag nås, således at kurverne bør krumme nedad. En sådan effekt kan også anes i diagrammet.

De to ekstra punkter for lyst tilslag af Luxovit h.h.v. midt og nederst i kornkurven tyder på, at virkningen af det lyse tilslag først svækkes, når dets kornstørrelse er lille.

Vejledningen i de danske forslag til vejbelægningsregler angiver, at et Q0 på ca. 0,09 kan nås med et lyst tilslag på 20 %. Fig. 4.47 viser ved 20 % lyst tilslag et Q0 på kun ca. 0,08 i overensstemmelse med, at prøverne ikke er helt frigjorte for bitumen.

Fig. 4.48 viser Q0 af HAB 8, 12 eller 16 mm med svensk granit som grundmateriale og Synopal som lyst tilslag. Det ses, at der med det lysere grundmateriale nås et Q0 på 0,09 med under 20 % lyst tilslag. Der er tilsyneladende ikke nogen klar effekt af belægningens maksimale kornstørrelse på Q0, hvad der heller ikke er at forvente.

Fig. 4.49 viser Q0's afhængighed af lyst tilslag til nedtromlingskærverne til Topeka-prøver. Kurverne for diabas som udgangspunkt stemmer for tilslag af kvartsit overens med fig. 4.47, mens der for tilslag af Synopal ses et noget lavere Q0 og for tilslag af Luxovit et væsentligt lavere Q0 end i fig. 4.47.

Kurverne for kvartsit som udgangspunkt ligger ved højere Q0-værdier, men virkningen af lyst tilslag er igen forholdsvis lille.

Når der således er fundet en mere begrænset virkning af lyst tilslag til Topeka-prøvernes skærver, hænger det sammen med, at der er forholdsvis meget restbitumen på disse prøvers overflader, og at Luxovit-stenene er tydeligt misfarvede. Der må derfor vises forsigtighed ved fortolkning af fig. 4.49. I øvrigt er de lyse sten ikke som for HAB-prøvernes vedkommende større end det øvrige stenmateriale, således at der for samme virkning på Q0 må fordres en større mængde lyst tilslag.

Af fig. 4.50 ses, at nedtromlings-skærvernes størrelse ikke har nogen klar indvirkning på Q0.

Fig. 4.51 viser ikke nogen klar indvirkning på Q0 fra lyst tilslag til grundmassen af prøver med nedtromlings-skærver. Grunden hertil er, at grundmassen ved den observationsvinkel på 1° , hvor Q0 måles, er skjult af nedtromlings-skærverne.

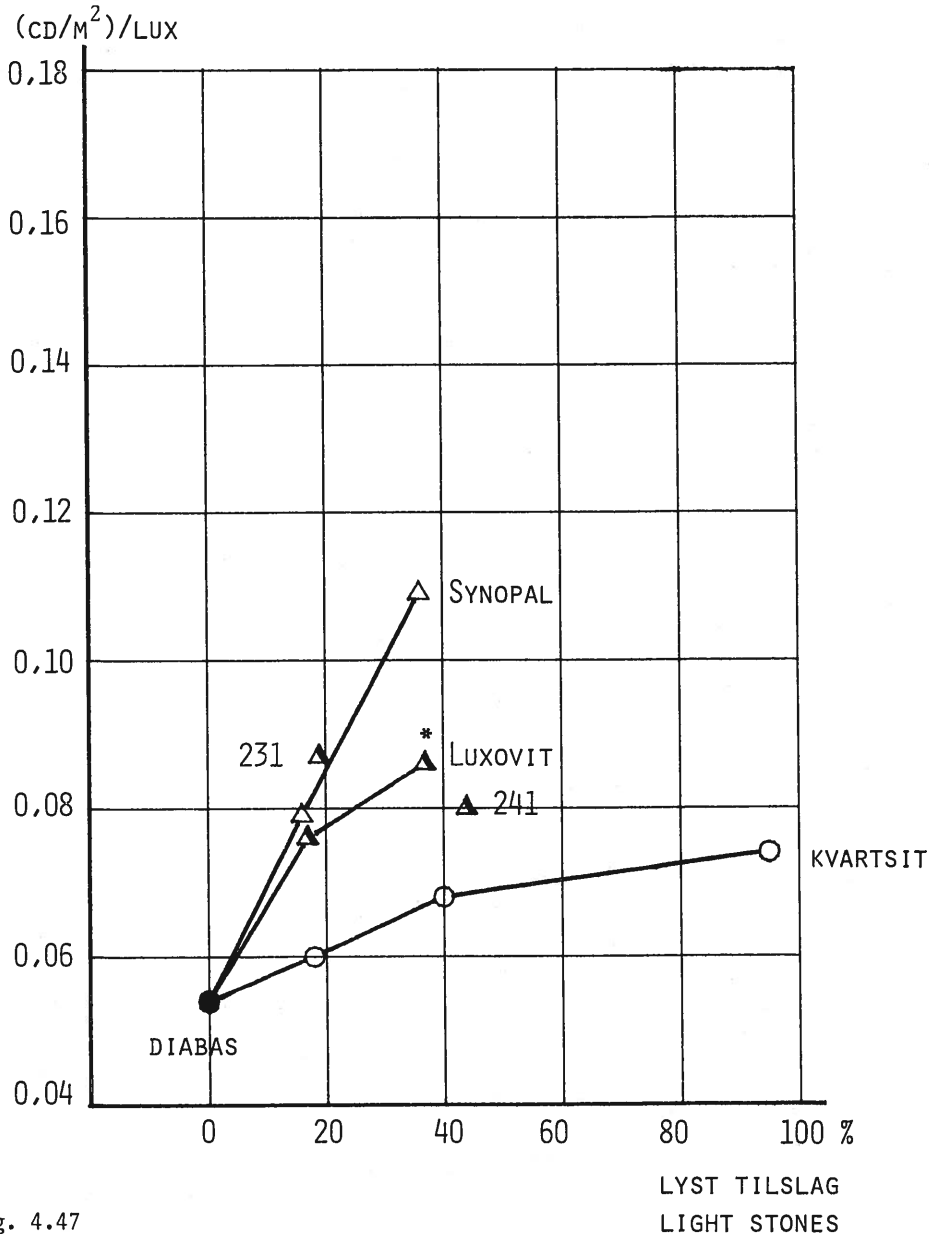


Fig. 4.47

Diagram type 1.

Q0 afhængigt af lyst tilslag til sommerdæksprøver af typen HAB 12 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven undtagen for prøverne 231 og 241, hvor det findes hhv. midt og nederst i kornkurven.
 *prøve 201, Luxovit-stenene er grålige og misfarvede.

Diagram type 1.

Q0 in relation to the percentage of light stones in samples of the HAB 12 mm. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve except for samples 231 and 241, where the light stones are placed respectively in the middle and the lower end of the grading curve.

*sample 201, the Luxovite-stones are grey and mis-coloured.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

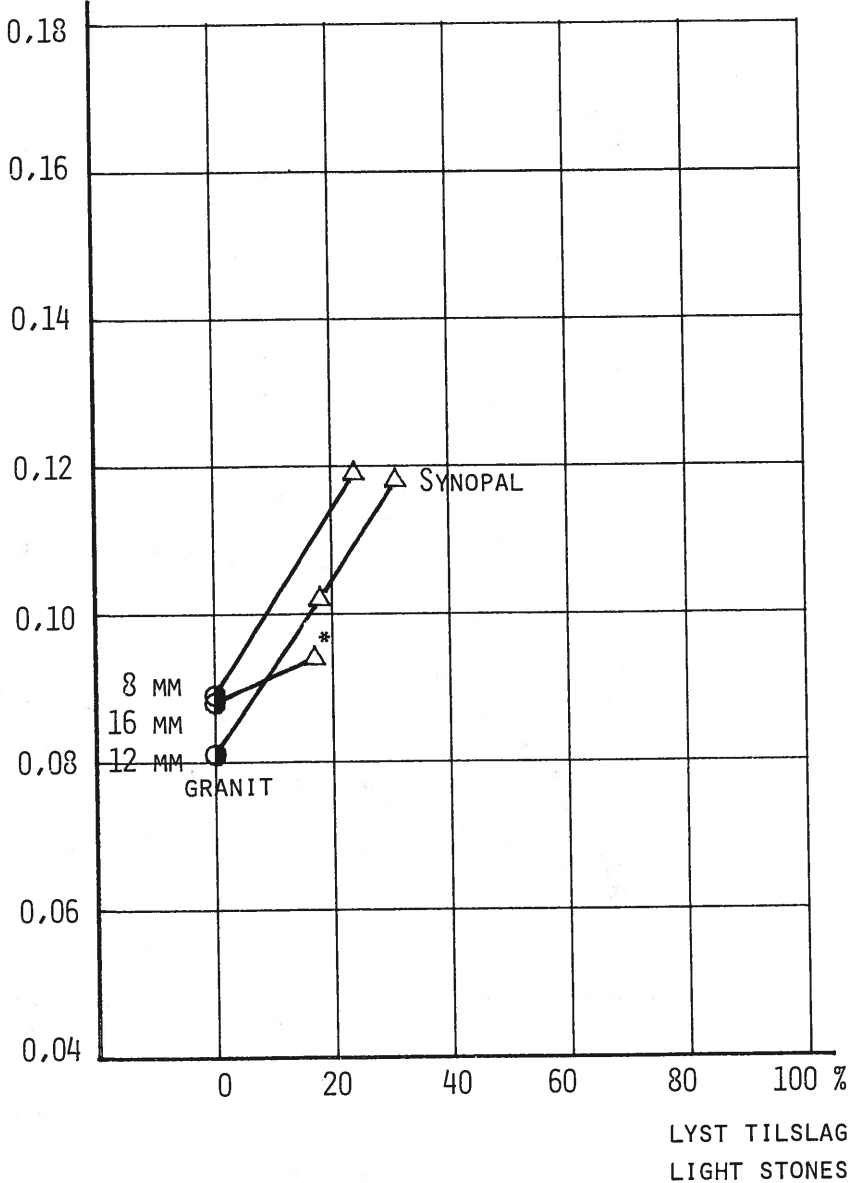


Fig. 4.48

Diagram type 2.

Q0 afhængigt af lyst tilslag til sommerdæksprøver af type HAB 8, 12 eller 16 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

*prøve 23, der er meget på Synopal-sten i overfladen.

Diagram type 2.

Q0 in relation to the percentage of light stones in samples of the type HAB 8, 12 or 16 mm. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.

*sample 23, there are few Synopal-stones in the surface only.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

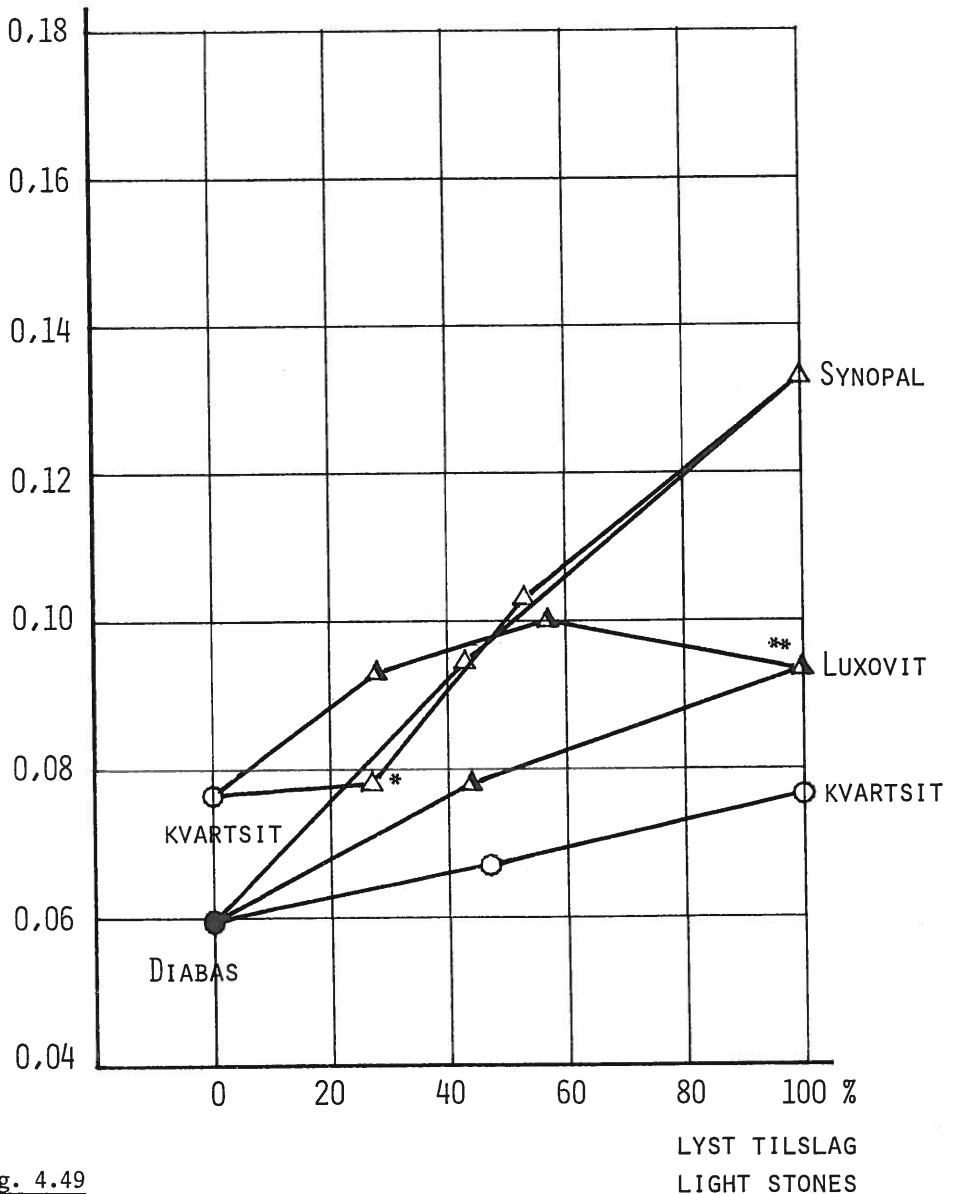


Fig. 4.49

Diagram type 3.

Q0 afhængigt af lyst tilslag til nedtromlingskærver til sommerdæksprøver af typen Topeka. Nedtromlingskærverne er i fraktionen 12/16 mm.

*prøve 521, der er meget få Synopal-sten i overfladen.

**prøve 571 og 572, Luxovit-stenene er grålige og misfarvede.

Diagram type 3.

Q0 in relation to the percentage of light stones in coated chippings. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The coated chippings are in the size of 12/16 mm.

*sample 521, there are few Synopal-stones in the surface only.

**sample 571 and 572, the Luxovite-stones are grey and mis-coloured.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

(CD/M^2)/LUX

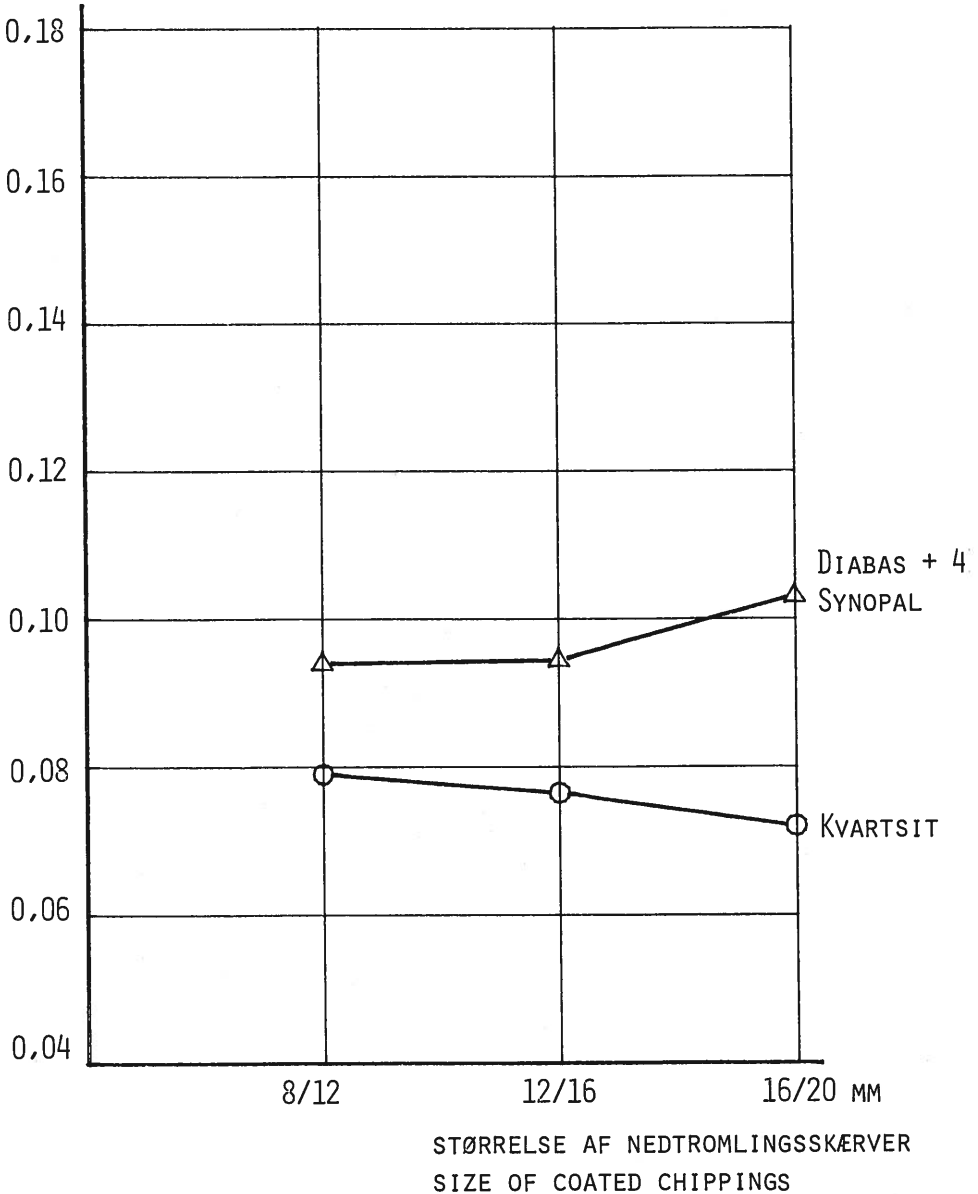


Fig. 4.50 Diagram type 4.
 Q0 afhængigt af størrelsen af nedtromlingskærver til sommerdæksprøver af typen Topeka.

Diagram type 4.
 Q0 in relation to the size of the coated chippings. The samples are Topeka, they have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

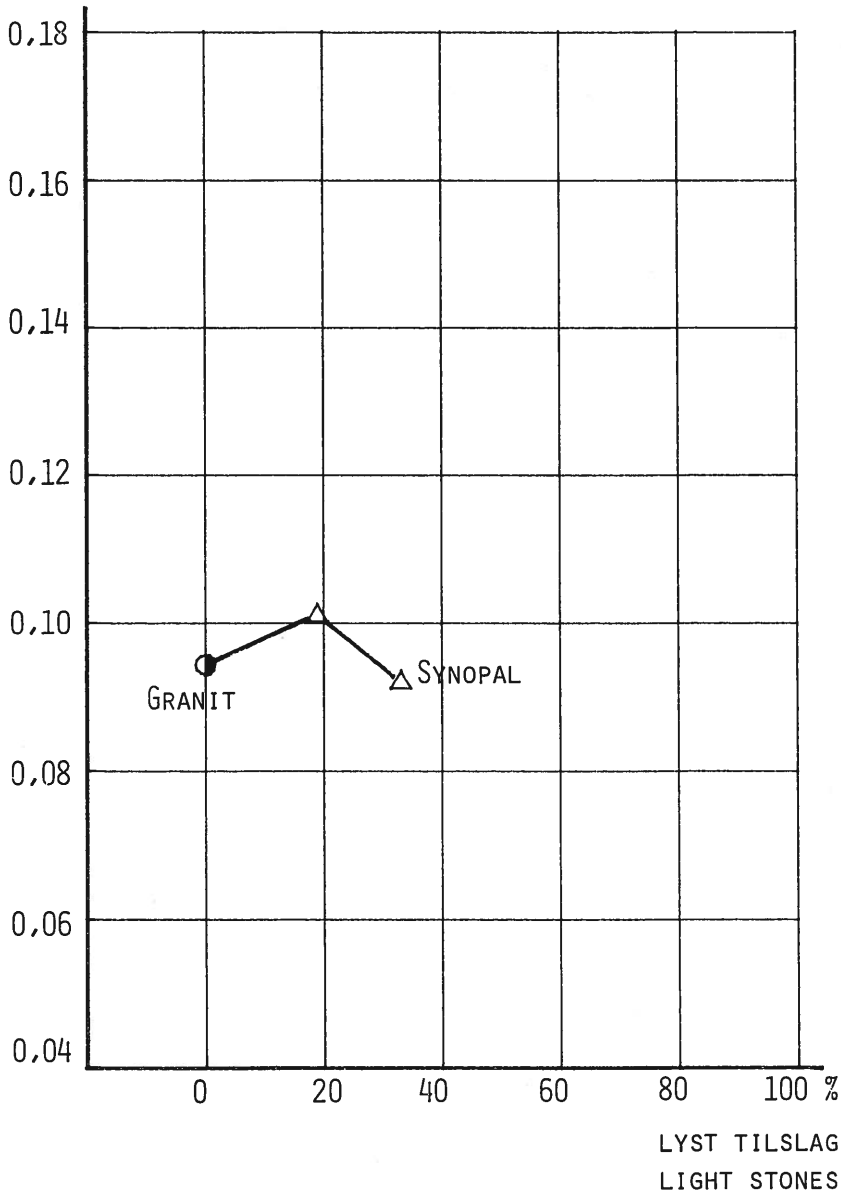


Fig. 4.51 Diagram type 5.
 Q0 afhængigt af lyst tilslag til grundmassen af sommerdæksprøver af typen Topeka. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 5.
 Q0 in relation to the percentage of light stones in the base of Topeca samples. The light stones are in the upper end of the grading curve.

4.4.4.2 QR, sommerdæksprøver

QR's afhængighed af vejprøvernes sammensætning, som er vist i fig. 4.52 til 4.56 svarer omtrent til Q0's afhængighed, hvad der også er godtgjort ved variansanalysen.

En ændring er dog, at virkningen af Luxovit, som målt ved QR, tilsyneladende er lige så stor, som virkningen af Synopal.

Det gøres opmærksom på, at for den våde tilstand nedbringes naturstenenes bidrag til QR kraftigere end bidraget fra kunstige, lyse sten, således at virkningen af lyst tilslag er større for den våde end for den tørre tilstand.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
 AT 50 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

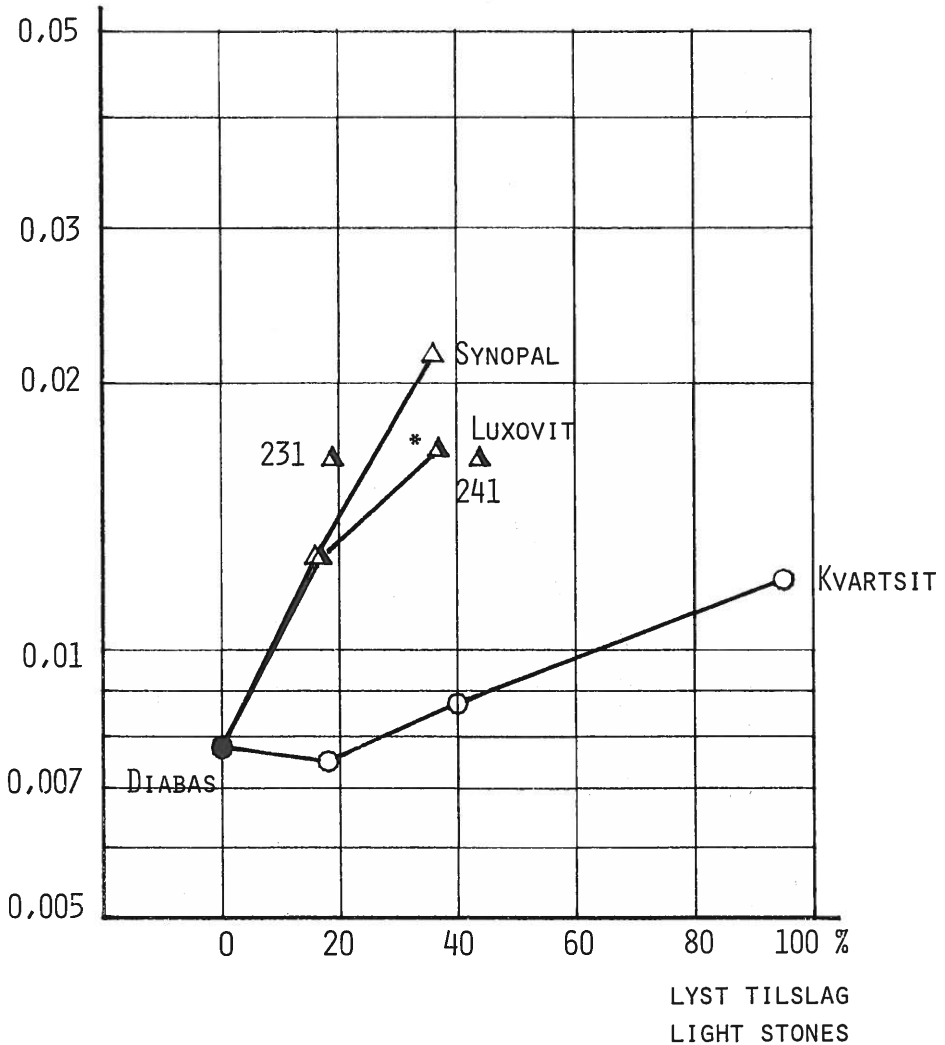


Fig. 4.52

Diagram type 1.

QR afhængigt af lyst tilslag til sommerdæksprøver af typen HAB 12 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven undtagen for prøverne 231 og 241, hvor det findes hhv. midt og nederst i kornkurven.

*prøve 201, Luxovit stenene er grålige og misfarvede.

Diagram type 1.

QR in relation to the percentage of light stones in samples of the type HAB 12 mm. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve except for samples 231 and 241, where the light stones are placed respectively in the middle and the lower end of the grading curve.

*sample 201, the Luxovite-stones are grey and mis-coloured.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND

AT 50 M, DRY CONDITION

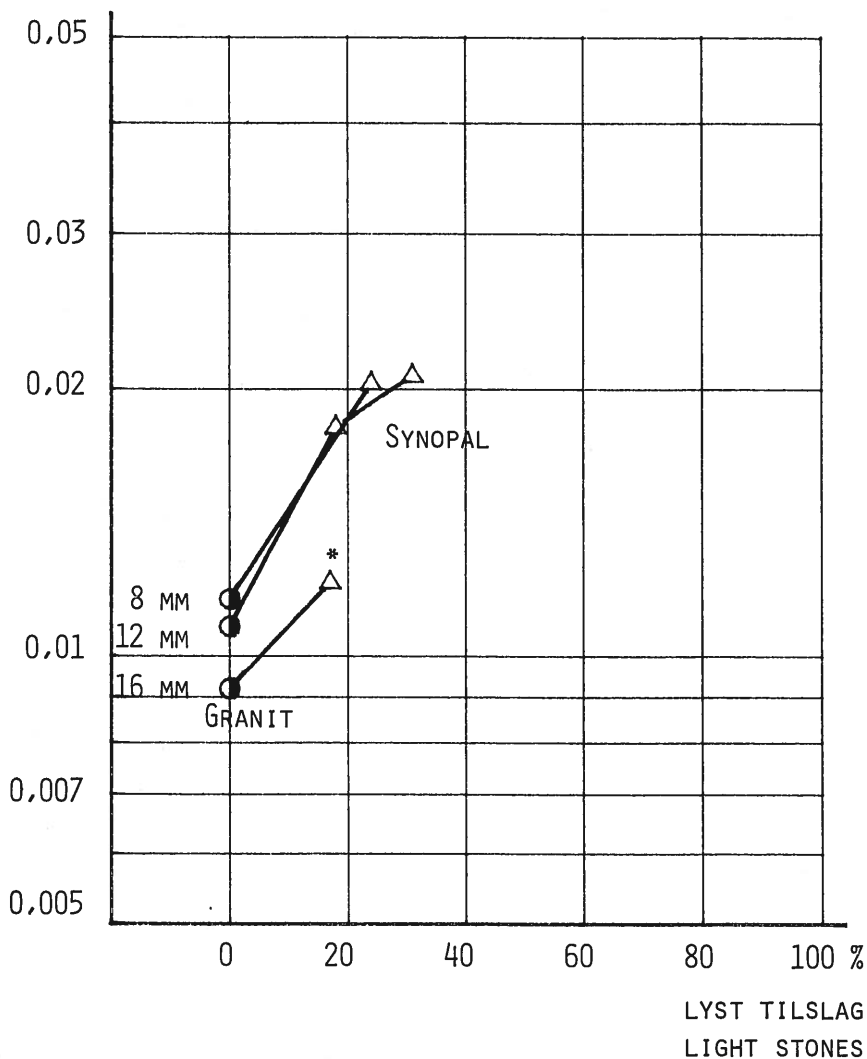
 $(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$ 

Fig. 4.53

Diagram type 2.

QR afhængigt af lyst tilslag til sommerdæksprøver af typen HAB 8, 12 eller 16 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

*prøve 23, der er meget få Synopal-sten i overfladen.

Diagram type 2.

QR in relation to the percentage of light stones in samples of the types HAB 8, 12 or 16 mm. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.

*sample 23, there are few Synopal-stones in the surface only.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
 AT 50 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

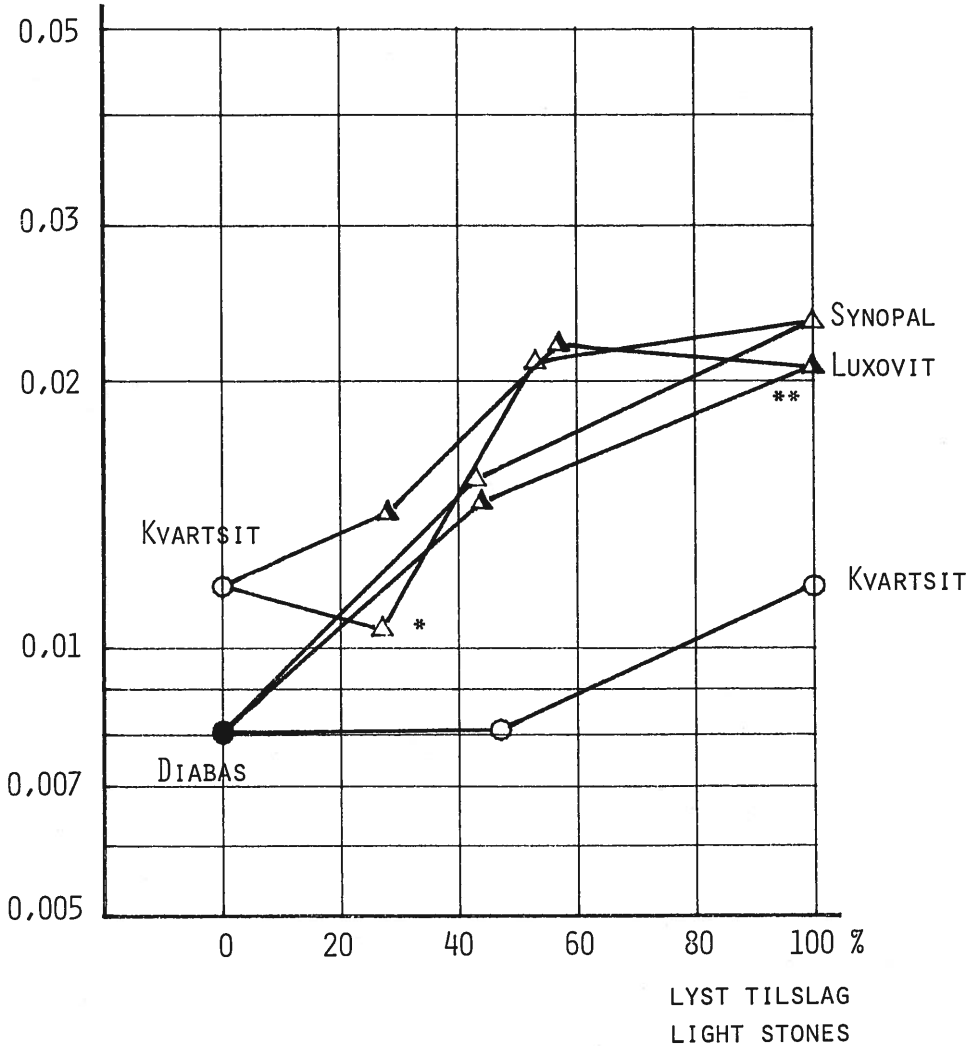


Fig. 4.54

Diagram type 3.

QR afhængigt af lyst tilslag til nedtromlingskærver til sommerdæksprøver af typen Topeka. Nedtromlingskærverne er i fraktionen 12/16 mm.

*prøve 521, der er meget få Synopal-sten i overfladen.

**prøver 571 og 572, Luxovit-stenene er grålige og misfarvede.

Diagram type 3.

QR in relation to the percentage of light stones in coated chippings. The samples have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres. The coated chippings are in the size of 12/16 mm.

*sample 521, there are few Synopal-stones in the surface only.

**sample 571 and 572, the Luxovite-stones are grey and mis-coloured.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
AT 50 M, DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

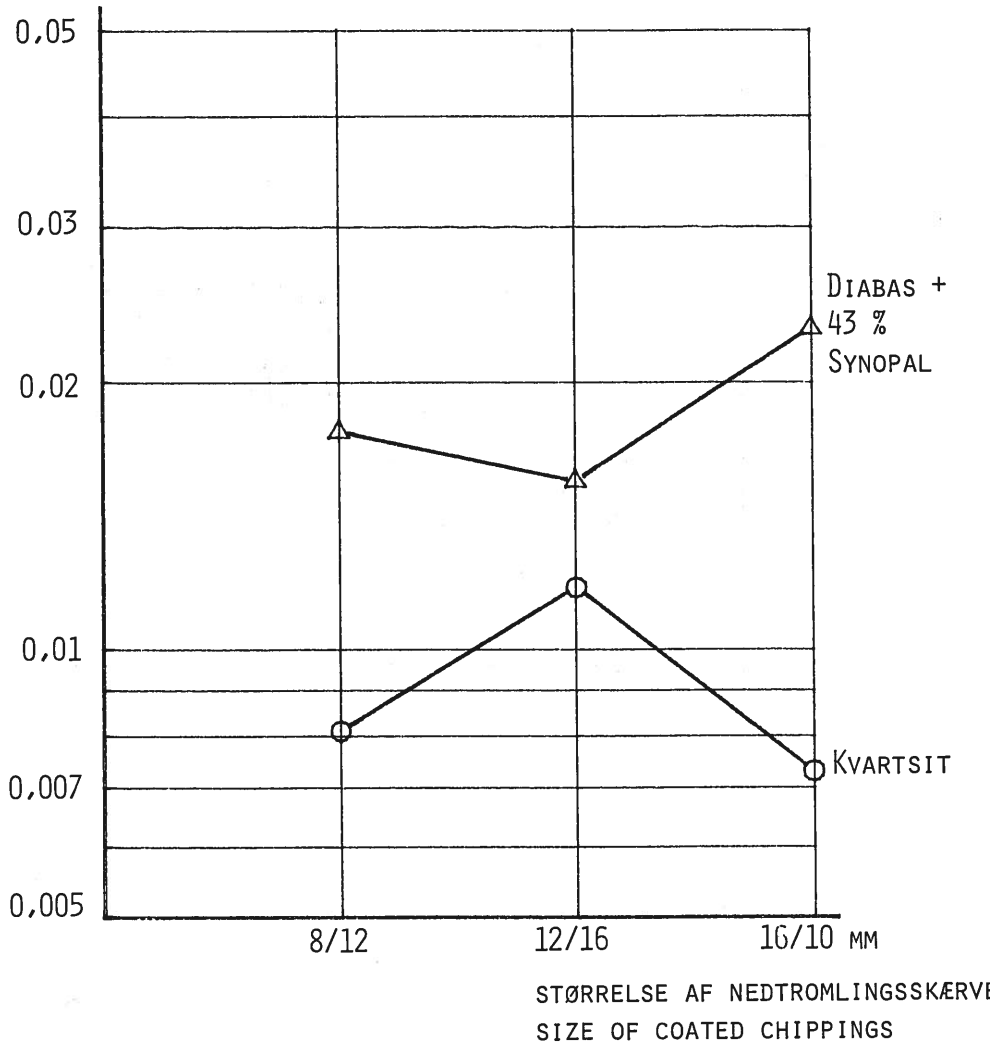


Fig. 4.55

Diagram type 4.

QR afhængigt af størrelsen af nedtromlingskærver til sommerdæksprøver af typen Topeka.

Diagram type 4.

QR in relation to the size of the coated chippings. The samples are Topeka, they have been exposed to 250.000 cycles of wear by summer tyres.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
AT 50 M, DRY CONDITION

$(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$

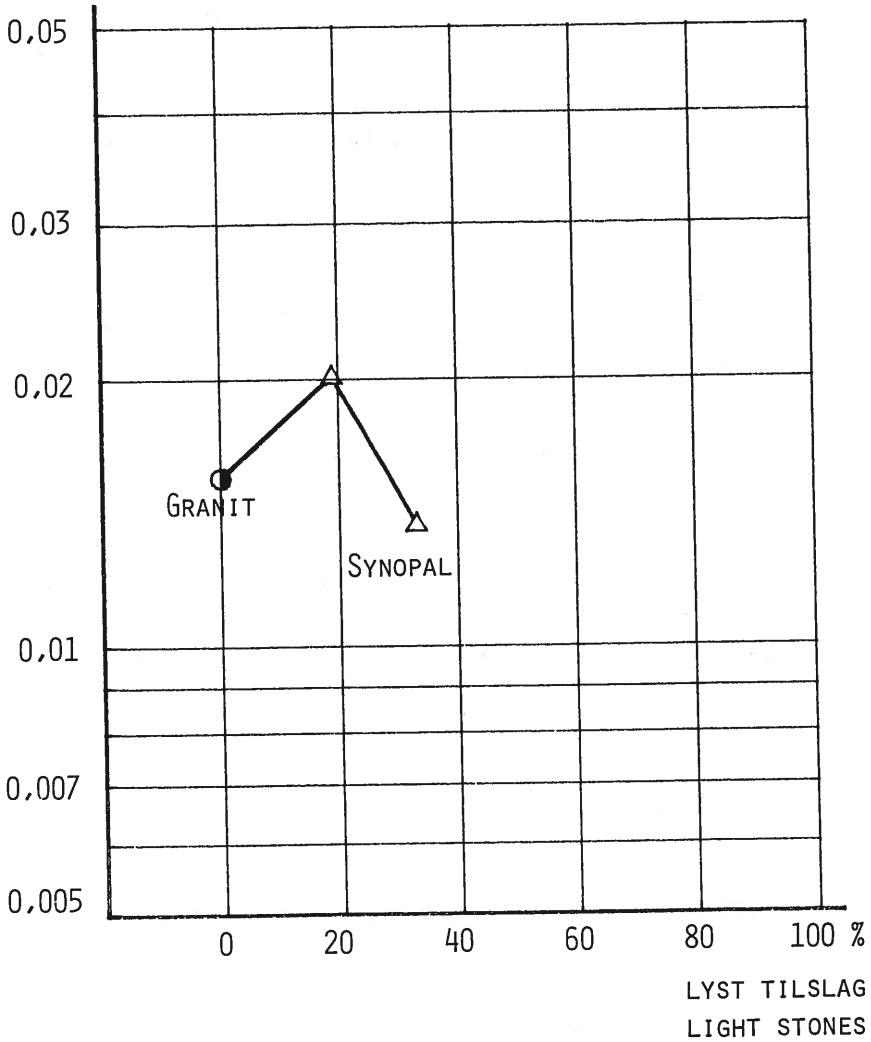


Fig. 4.56

Diagram type 5.

QR afhængigt af lyst tilslag til grundmassen af sommerdæksprøver af typen Topeka. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 5.

QR in relation to the percentage of light stones in the base of Topeca samples. The light stones are in the upper end of the grading curve.

4.4.4.3 Q0, pigdæksprøver

Fig. 4.57 gælder for HAB 16 prøver med granit som grundmateriale og lyst tilslag af kvartsit eller Synopal og for prøver med diabas som grundmateriale og tilslag af Synopal.

Forskellen i grundmateriale giver en betragtelig forskel i Q0 på mere end 0,02, idet granitten bliver ganske lys. Kurverne for tilslag af Synopal har en kraftig hældning og krummer tilsyneladende opad. Sidstnævnte forhold kan skyldes, at Synopal-stenene slides hurtigere end grundmaterialet, således at deres virkning nedsættes ved små mængder lyst tilslag. Tilslaget af kvartsit har ligeledes nogen virkning, idet kvartsitten ved slidning med pigdæk bliver temmelig lys.

Fig. 4.58 viser HAB 8, 12 eller 16 mm med granit som grundmateriale og lyst tilslag af Synopal. Kurverne har igen en stærk hældning og krummer tilsyneladende opad. Der er ingen klar effekt af kornstørrelsen.

I fig. 4.59 ses virkningen af lyst tilslag til Topeka-prøvernes nedtromlings-skærver. Når udgangspunktet er diabas fås en kraftig forøgelse af Q0 ved tilslag af kvartsit eller Synopal. Når udgangspunktet er kvartsit, er Q0 meget højt fra starten og vokser først, når Synopal bliver den dominerende sten i overfladen. Kurvernes krumninger er i overensstemmelse med antagelsen om, at Synopal slides hurtigere end kvartsit og diabas.

Af fig. 4.60 kan der næppe drages konklusioner angående Q0's eventuelle afhængighed af nedtromlings-skærvernes størrelse.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

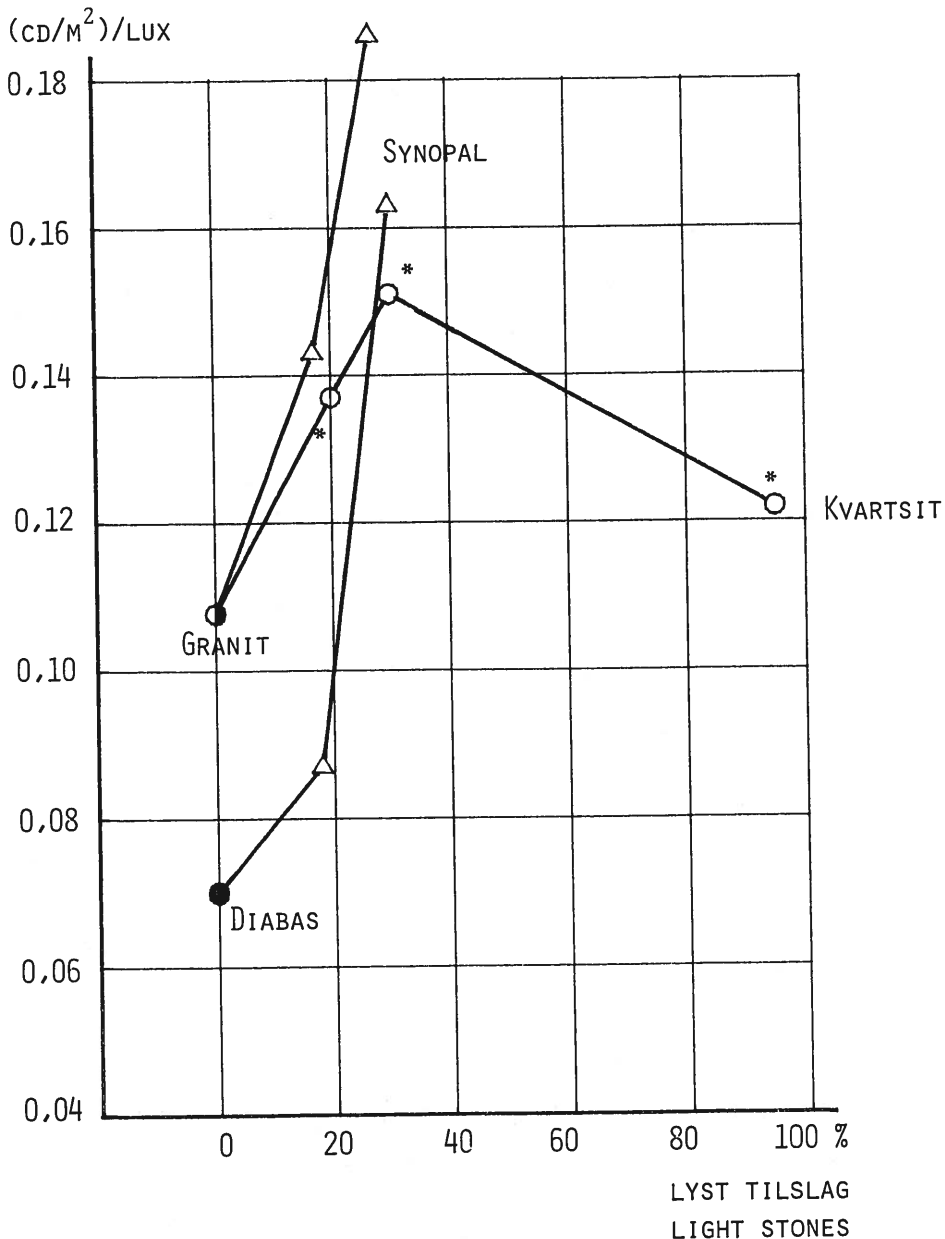


Fig. 4.57 Diagram type 6.
 Q0 afhængigt af lyst tilslag til pigdæksprøver af typen HAB 16 mm.
 Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.
 *prøver 131, 141 og 151, set under flade vinkler er alle tre overflader mættet med kvartsit.

Diagram type 6.
 Q0 in relation to the percentage of light stones in samples of the type HAB 16 mm. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.
 *samples 131, 141 and 151, at low angles of observations all three surfaces are dominated by quartzite.

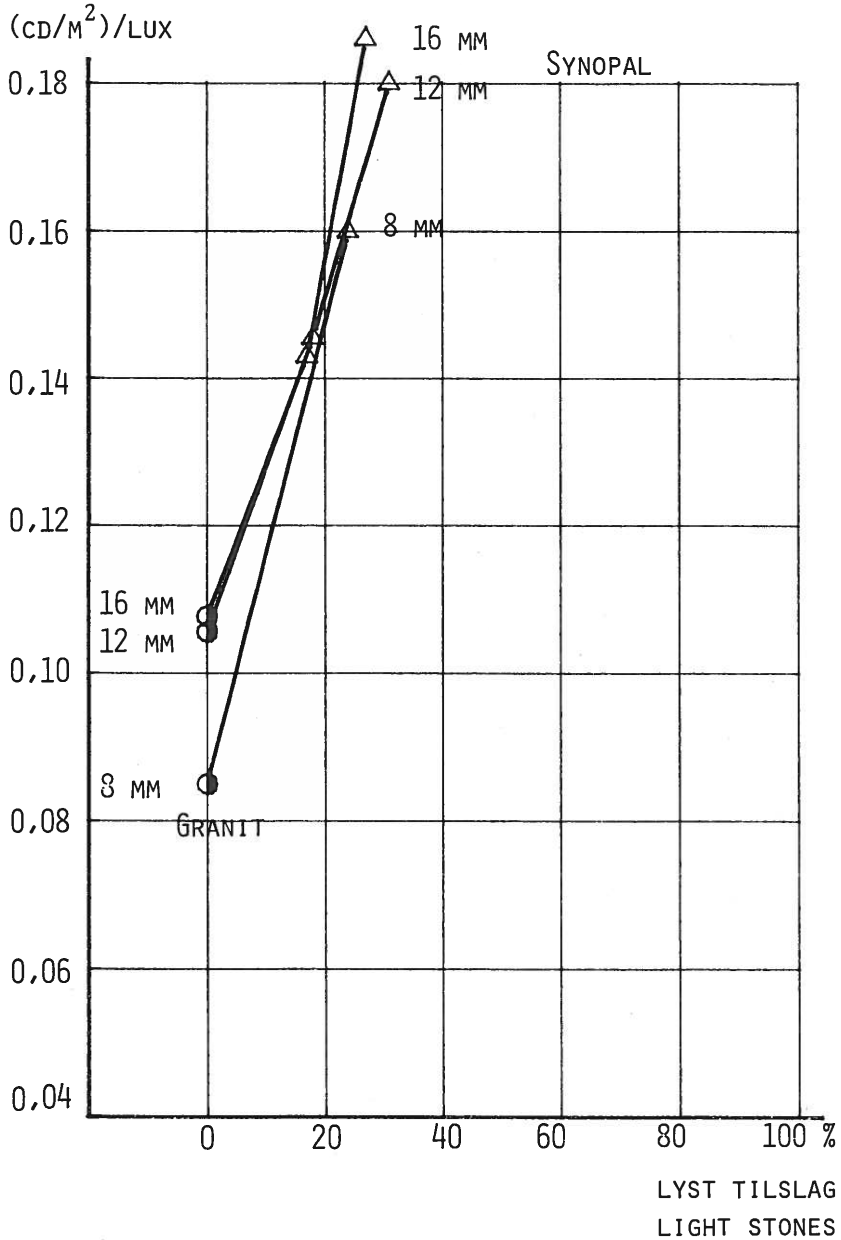


Fig. 4.58 Diagram type 7.
Q0 afhængigt af lyst tilslag til pigdæksprøver af typen HAB 8, 12 eller 16 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 7.
Q0 in relation to the percentage of light stones in samples of the types HAB 8, 12 or 16 mm. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION

(CD/M²)/LUX

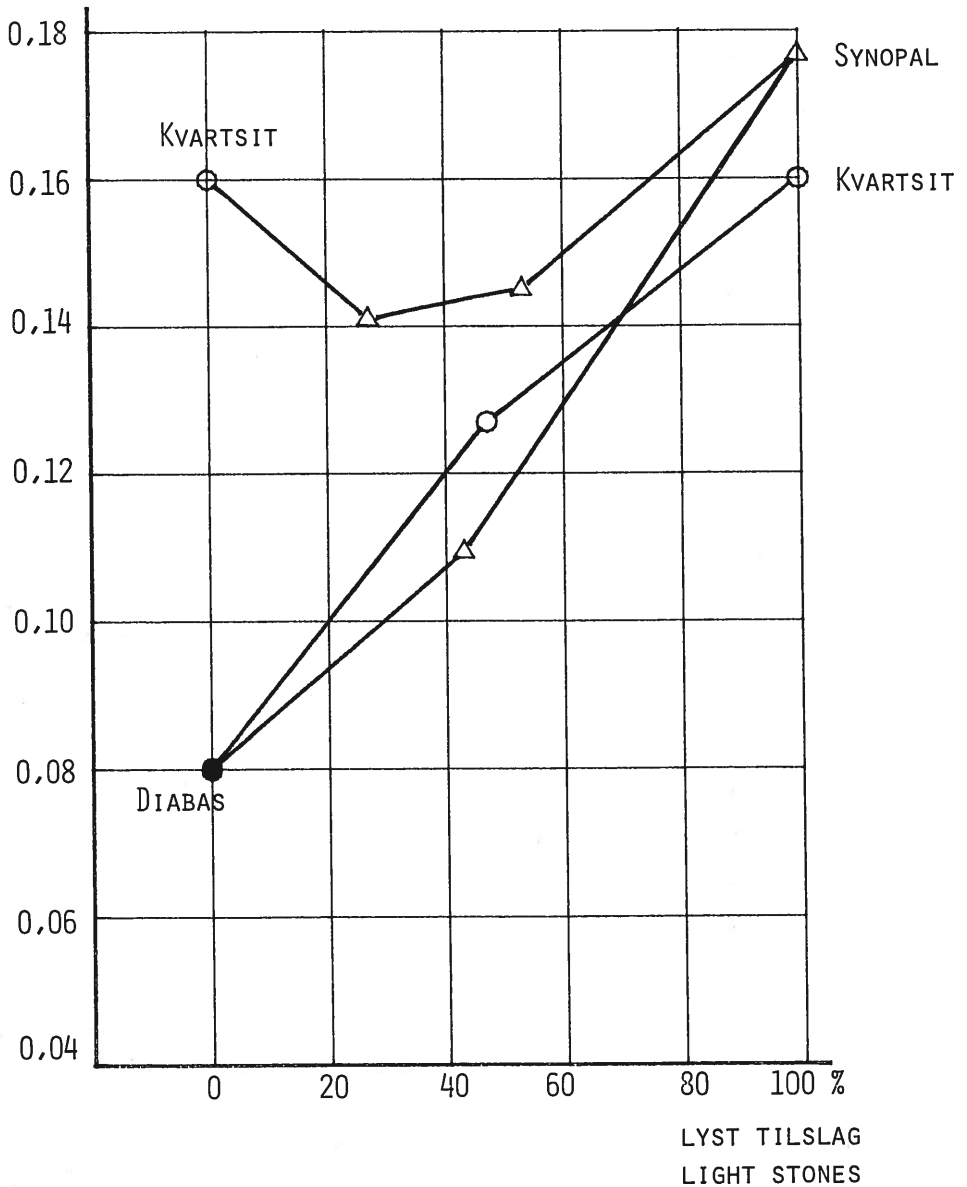


Fig. 4.59 Diagram type 8.
 Q0 afhængigt af lyst tilslag til nedtromlingskærver til pigdæks-
 prøver af typen Topeka. Nedtromlingskærverne er i fraktionen
 12/16 mm.

Diagram type 8.
 Q0 in relation to the percentage of light stones in coated chip-
 pings. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear,
 half of these by studded tyres. The coated chippings are in the
 size of 12/16 mm.

Q0, TØR TILSTAND
 DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

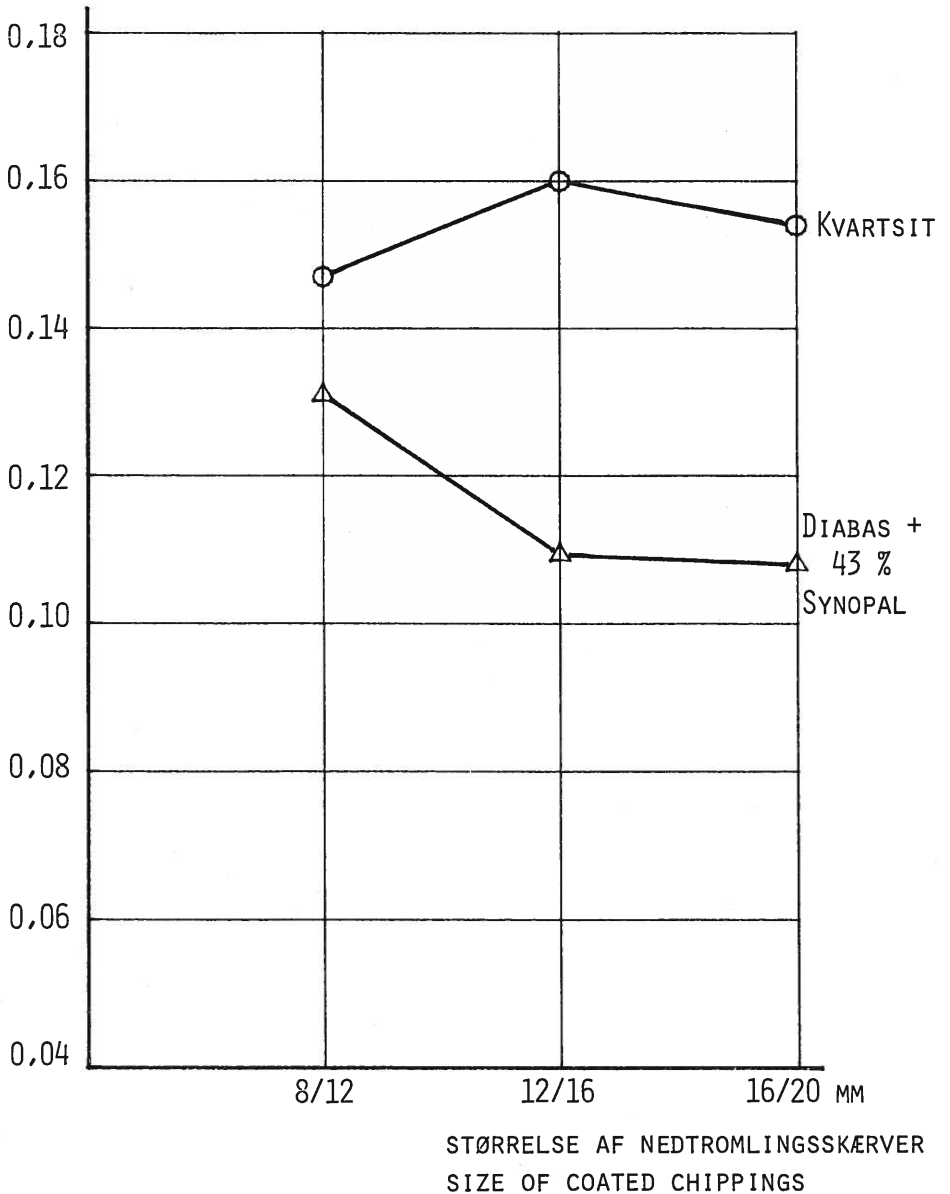


Fig. 4.60 Diagram type 9.
 Q0 afhængigt af størrelsen af nedtromlingsskærver til pigdæks-
 prøver af typen Topeka.

Diagram type 9.
 Q0 in relation to the size of the coated chippings. The samples
 are Topeka, they have been exposed to 100.000 cycles of wear, half
 of these by studded tyres.

4.4.4.4 QR, pigdæksprøver

QR diagrammerne, som ses i fig. 4.61 til 4.64, har omtrent samme udseende som Q0 diagrammerne. Der er dog den ændring, at kurverne for tilslag af Synopal ikke i så udpræget grad krummer opad. Dette kan skyldes, at den større observationsvinkel ved måling af QR på 50 m afstand tillader, at Synopal-stenene gør sig gældende, selv om de er slidt mere end de andre sten.

Ved sammenligning med QR diagrammerne for sommerdæksprøverne, fig. 4.52 til 4.56, ses i øvrigt, at pigdæksprøvernes QR især er forbedret for prøverne med natursten, således at virkningen af lyst tilslag tilsyneladende er svagere. For den våde tilstand ændres dette forhold, idet naturstenenes bidrag til QR nedbringes særligt kraftigt for pigdæksprøverne.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND

AT 50 M, DRY CONDITION

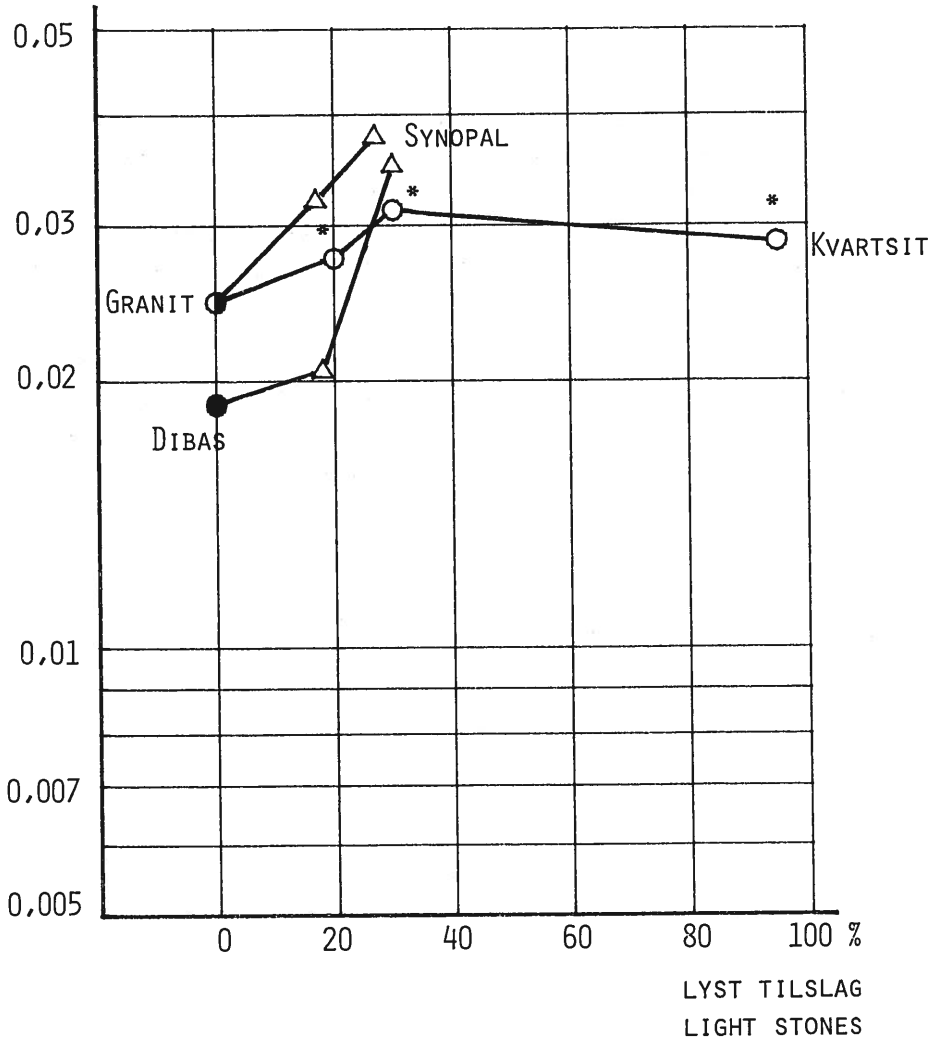
 $(\text{CD}/\text{M}^2)/\text{LUX}$ 

Fig. 4.61

Diagram type 6.

QR afhængigt af lyst tilslag til pigdæksprøver af typen HAB 16 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

*prøver 131, 141 og 151, set under flade vinkler er alle tre overflader mættet med kvartsit.

Diagram type 6.

QR in relation to the percentage of light stones in samples of the type HAB 16 mm. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.

*samples 131, 141 and 151, at low angles of observation all three surfaces are dominated by quartzite.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
 AT 50 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

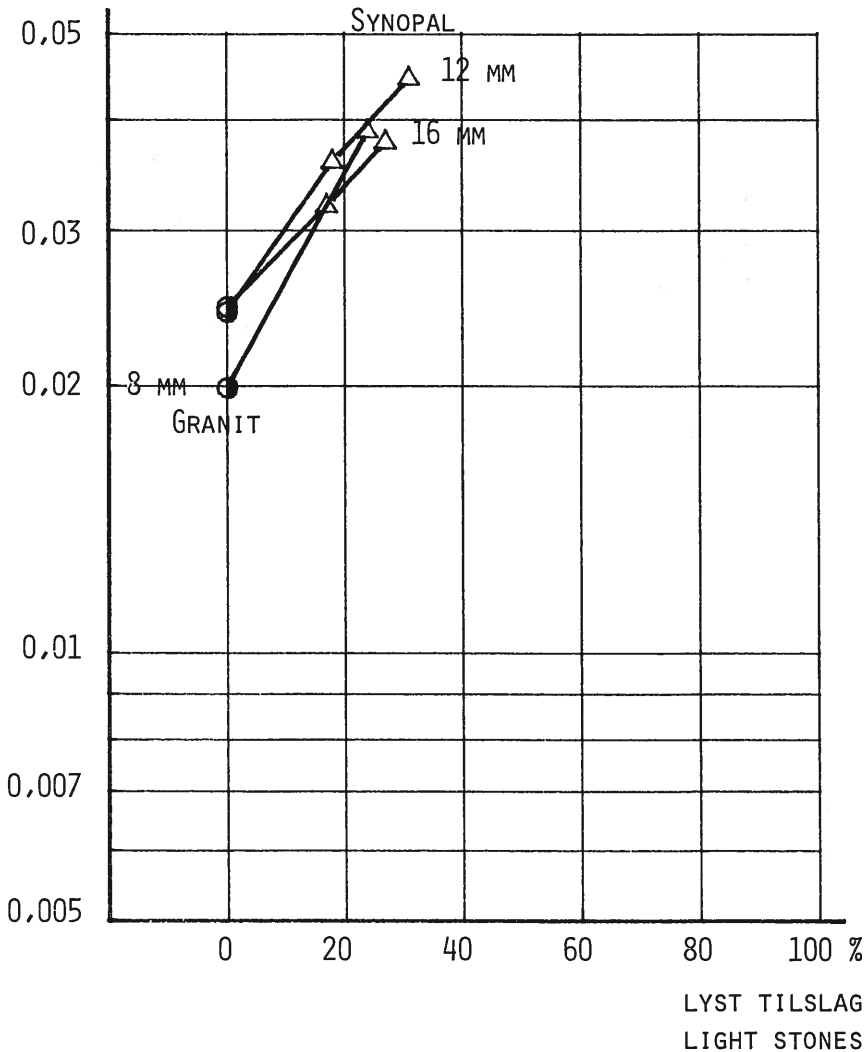


Fig. 4.62 Diagram type 7.
 QR afhængigt af lyst tilslag til pigdæksprøver af typen HAB 8, 12 eller 16 mm. Det lyse tilslag findes i den øverste ende af kornkurven.

Diagram type 7.
 QR in relation to the percentage of light stones in samples of the types HAB 8, 12 or 16 mm. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear, half of these by studded tyres. The light stones are in the upper end of the grading curve.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
 AT 50 M, DRY CONDITION
 (CD/M²)/LUX

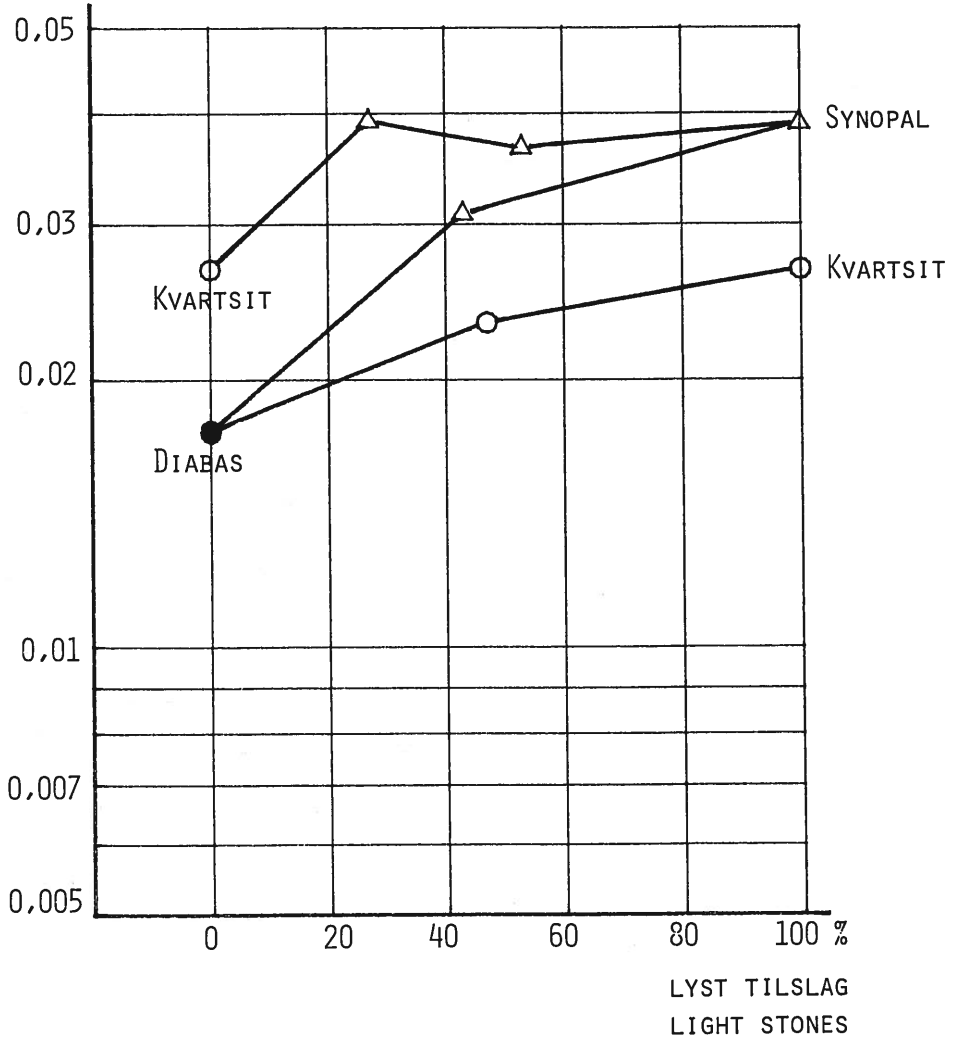


Fig. 4.63 Diagram type 8.
 QR afhængigt af lyst tilslag til nedtromlingsskærver til pigdæks-
 prøver af typen Topeka. Nedtromlingsskærverne er i fraktionen
 12/16 mm.

Diagram type 8.
 QR in relation to the percentage of light stones in coated chip-
 pings. The samples have been exposed to 100.000 cycles of wear,
 half of these by studded tyres. The coated chippings are in the
 size of 12/16 mm.

QR VED 50 M, TØR TILSTAND
AT 50 M, DRY CONDITION

(CD/M²)/LUX

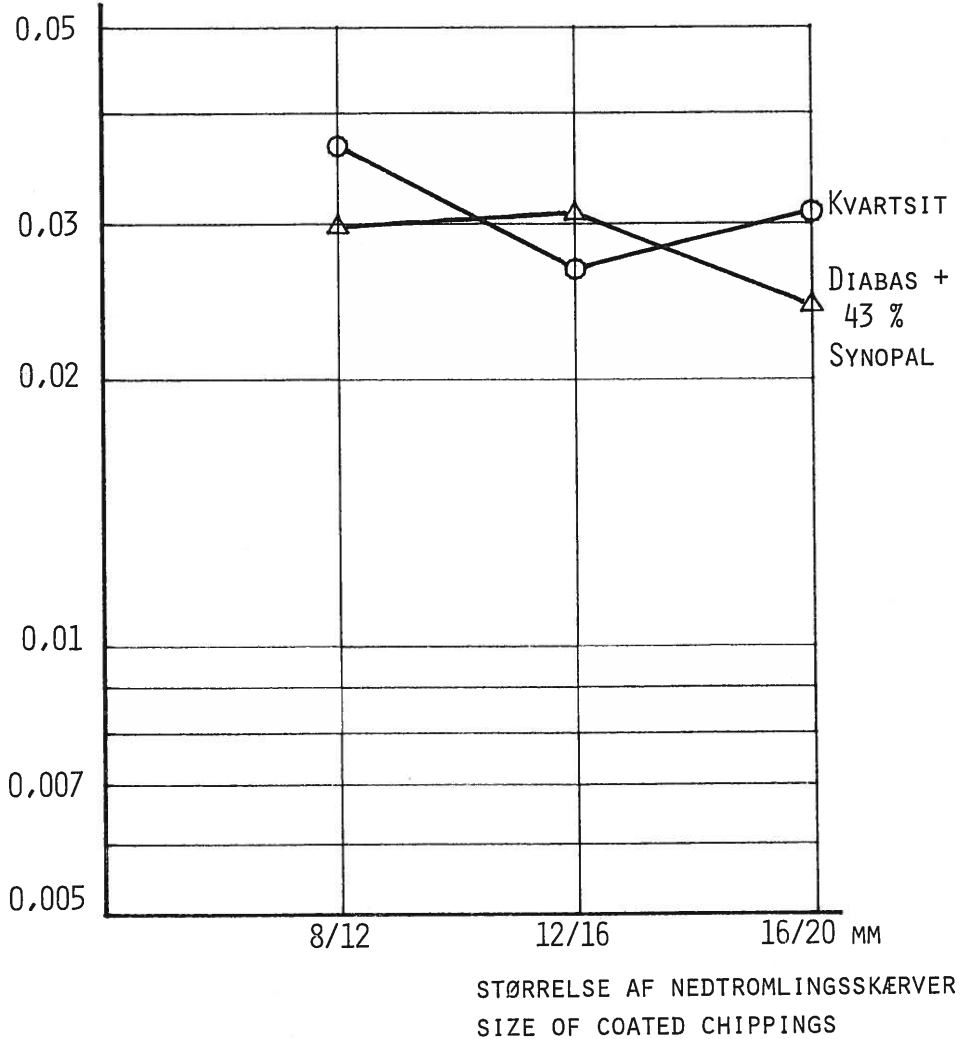


Fig. 4.64 Diagram type 9.
QR afhængigt af størrelsen af nedtromlingsskæver til pigdæks-
prøver af typen Topeka.

Diagram type 9.
QR in relation to the size of the coated chippings. The samples
are Topeka, they have been exposed to 100.000 cycles of wear,
half of these by studded tyres.

5. SAMMENFATNING

Af Kai Sørensen, LTL.

5.1 Indbyrdes sammenhænge

Det omfattende måleprogram har muliggjort en undersøgelse af en række indbyrdes sammenhænge mellem parametrene, hvoraf kun en del tidligere har været fremhævet og ofte på et svagere grundlag. Det kunstige, velkontrollede slid muliggør endvidere en præcisering af slidtilstandens betydning for de indbyrdes sammenhænge. De indbyrdes sammenhænge, som behandles i afsnit 4.2, resumeres kort herunder.

Slidtilstanden, d.v.s. frigørelse for bitumen og udvikling af overfladens struktur, indvirker naturligvis på vejprøvens lyshed, Q0. Desuden ses en kraftig indvirkning på spejlingsgraden i tør tilstand, S1, men forbavsende nok en usystematisk indflydelse på spejlingsgraden i våd tilstand, S1'.

De forskellige grader af slidtilstandens betydning medfører, at når samtlige slidtilstande betragtes under ét, genfindes det tidligere kendte mønster, Q0 og S1 er indbyrdes korrelerede, mens korrelationen mellem Q0 og S1' er svag eller helt fraværende. Når de enkelte slidtilstande betragtes for sig, findes derimod en indflydelse fra Q0 på S1'. Lyst tilslag kan således påregnes at have en positiv indvirkning på både den tørre og, omend i mindre grad, på den våde belægnings spejlingsgrad.

Der er en stærk indikation af, at retrorefleksionen, QR ikke ændrer sig væsentligt med afstanden på vejen, mens den spejlende refleksion, QS på tør vej vokser stærkt og på ensartet måde med mødeafstanden til den modkørende bil.

Det kan formodes, at ovennævnte, simple forhold har forholdsvis enkle geometriske og fysiske begrundelser. Det har ligget udenfor rammerne af nærværende undersøgelse at klarlægge sådanne forhold, som imidlertid ikke er uden værdi for praktiske målinger og beregninger for ubelyst vej, og derfor bør underkastes en separat undersøgelse ved given lejlighed.

Ændringen i QR fra tør til våd tilstand kan beskrives som et fald med en faktor ca. 2 til ca. 8. For de enkelte slidtilstande findes korrelationer mellem QR-værdierne, som er ret gode, og som indikerer, at et lavt hhv. højt QR for den tørre tilstand betyder, at QR for den våde tilstand er

meget lavt hhv. rimeligt højt. Lyst tilslag har derfor størst betydning for den våde belægnings retrorefleksion.

Den spejlende refleksion, QS stiger naturligvis fra tør til våd tilstand. For den største mødeafstand, 130 m er stigningen som oftest ret moderat, en stigning med en faktor 2 er typisk. For de kortere mødeafstande, 40 m og 80 m er mønsteret igen forholdsvis moderate stigninger i QS, men det brydes hyppigt af langt kraftigere stigninger, som formentlig skyldes, at vandspejle i bunden af strukturen kan bidrage til QS.

På baggrund af de fundne indbyrdes sammenhænge mellem parametrene udvælges blandt de 20 målte parametre et antal på 8 karakteristiske parametre til brug under de videre undersøgelser.

5.2 Vurdering af slidtilstandene

De gentagne påvirkninger af slid og simulerede klimatiske forhold muliggør endvidere det separate studium af sliddets og klimaets betydning, som findes i afsnit 4.3.

Den ene gruppe af vejprøver, som udelukkende slides med sommerdæk, frigøres kun langsomt for bitumen, som vedvarende påvirker overfladernes refleksionsegenskaber. Således udvikles lysheden, som målt ved Q0 og QR kun langsomt, og når ikke sådanne værdier, som svarer til stenmaterialets sammensætning.

Rest-bitumen på sommerdæksprøverne bevirker i øvrigt en forøgelse af S1, men tilsyneladende ikke nogen systematisk forøgelse af S1'. Sidstnævnte forhold skyldes måske bitumenfilmens vandafvisende egenskaber.

Under slidforløbet er der ikke fundet nogen påviselig effekt af de simulerede skift mellem sommer- og vinterklima.

Vejoverflader under praktiske forhold i Danmark frigøres i højere grad for bitumen, end det er konstateret for sommerdæksprøverne, men skønnes alligevel at have en lignende karakter, således at refleksionsegenskaberne vedvarende er præget af restbitumen. Det har således betydning, at forskellige stenmaterialer viser forskellig grad af vedhæftning til bitumen.

For sommerdæksprøverne benyttes den sidste slidtilstand som repræsentativ i de følgende undersøgelser.

I modsætning til sommerdæksprøverne har den anden gruppe prøver, som slides skiftevis med sommer- og pigdæk, overflader, som allerede efter første påvirkning med pigdæk er helt rengjorte og viser en kraftig overfladestruktur. Q0 og QR er relativt høje og S1 relativt lav.

De to følgende påvirkninger af den anden gruppe prøver, pigdæksprøverne foretages med hhv. sommer- og pigdæk. Under påvirkningen med sommerdæk indtræder nogen forringelse af egenskaberne, som igen når mere gunstige værdier efter påvirkningen med pigdæk. Dæktypens indflydelse kan således udmærket forklare sådanne variationer i refleksionsegenskaberne med årstiden, som tidligere er fundet i Sverige (8).

Den lysteknisk set gunstige tilstand af pigdæksprøverne afspejler bedst forholdene i Sverige, hvor brugen af pigdæk er mere udbredt end i Danmark. Vejoverflader under praktiske forhold i Sverige får dog næppe så gunstige egenskaber, som er fundet for pigdæksprøverne.

Måleteknisk set frembyder den voldsomme påvirkning med pigdæk et problem, idet overfladerne, især efter anden påvirkning med pigdæk, er så udhulede, at målingernes nøjagtighed reduceres. Den tilstand, som fremkommer efter første påvirkning med pigdæk, er derfor valgt som repræsentativ for pigdæksprøverne.

5.3 Vejprøvernes sammensætning

Et væsentligt formål med undersøgelsen har været at afklare en række spørgsmål angående betydningen af belægningens type og stenmaterialets sammensætning for refleksionsegenskaberne. Af denne grund er belægningsprøverne valgt med henblik på afbildning af de karakteristiske parametre i en række receptdiagrammer. Se afsnit 4.4.2, hvor desuden overfladerne af vejprøverne i de repræsentative slidtilstande er vist.

Af grunde, som er anført i afsnit 4.1, er en væsentlig del af undersøgelsen af betydningen af prøvernes sammensætning imidlertid foretaget som en variansanalyse, der er beskrevet i afsnit 4.4.3.

Variationen af S1 og S1' skyldes først og fremmest den før omtalte indflydelse fra Q0. Den forventede indflydelse af overfladestrukturen lader sig kun påvise for S1, og endda kun for pigdæksprøverne under den form, at S1

i gennemsnit ligger lavest for prøver med nedtromlede skærver. For QS viser kun sommerdæksprøverne en systematisk variation, som ligeledes synes betinget af nedtromlings-skærver, der fører til lavere værdier.

Det påvises endvidere, at Q0 og QR varierer med stenmaterialets sammensætning, og at de to parametres variation har stærk indbyrdes lighed. Receptdiagrammerne for Q0 og QR findes i afsnit 4.4.4, hvortil der også henvises for den detaljerede diskussion.

Her kan anføres, at størrelsen af det anvendte stenmateriale tilsyneladende ikke spiller ind på Q0 og QR, som tilsyneladende heller ikke påvirkes af lyst tilslag til grundmassen til belægninger med nedtromlede skærver.

Anvendelsen af kvartsit har en langt stærkere virkning på Q0 og QR for pigdæksprøverne end for sommerdæksprøverne, da kvartsitten for de sidstnævnte prøvers vedkommende langt fra er frigjort for bitumen.

For sommerdæksprøverne er det forsøgt at afklare betydningen af gradueringen af lyst tilslag af Luxovit til asfaltbetonbelægninger. Tilsyneladende har lyst tilslag placeret midt i kornkurven lige så stor virkning, som lyst tilslag, der er placeret i den øverste ende af kornkurven. Finkornet lyst tilslag synes at have en mindre, men dog mærkbar effekt.

For sommerdæksprøvernes vedkommende er der endvidere forsøgt en direkte sammenligning af lyst tilslag af Synopal og Luxovit. Der skal dog ikke fremdrages nogen konklusion, da en sådan ville bygge på nogle få prøver, hvoraf endda ikke alle kan påregnes at være typiske.

5.4 Friktion, strukturdybde og sliddybde

Vejprøvernes friktion (pendulruhedsmåler), strukturdybde (sandplet-metode) og sliddybde (profilering) blev inddraget i undersøgelsen. Formålet var dels at vurdere disse egenskaber og dels at sætte dem i relation til hinanden og til refleksionsegenskaberne.

Denne del af forsøget fik imidlertid et skuffende resultat af grunde, som direkte eller indirekte fremgår af det nedenstående.

For friktionen kan der kun anføres, at pigdæksprøverne i gennemsnit har bedre værdier end sommerdæksprøverne. Formentligt er målemetoden for usikker til, at der kan fremdrages mere detaljerede oplysninger.

Strukturdybderne synes at være behæftede med ret betydelige måleusikkerheder, især for sommerdæksprøvernes vedkommende. Pigdæksprøverne har i gennemsnit større strukturdybder end sommerdæksprøverne. Inden for hver gruppe af prøverne findes desuden, at prøver med nedtromlede skærver gennemsnitligt har større strukturdybder end prøver, der ikke har nedtromlede skærver. Kun for pigdæksprøvernes vedkommende anes desuden en stigning i strukturdybden med stenmaterialiets maximale kornstørrelse.

Strukturdybdemålingernes værdi er således begrænset og nedbringes desuden, fordi netop den parameter, S_1 hvortil den bedste korrelation kunne forventes, ligeledes er behæftet med en betydelig usikkerhed.

Sommerdæksprøvernes sliddybder repræsenterer i højere grad en svag plastisk deformation af prøverne end egentlig bortslidning af materiale.

For pigdæksprøverne findes der naturligvis ret store sliddybder svarende til den kraftige bortslidning af materiale. Sliddybderne er i gennemsnit mindst for prøver med nedtromlede skærver, hvis holdbarhed under kraftigt slid med pigdæk på den anden side er ret begrænset.

Sliddybdemålingerne kan næppe benyttes til en bestemmelse af de forskellige stenarters modstandskraft overfor slid med pigdæk. Dog synes Synopal-sten at slides noget hurtigere end natursten.

6. SUMMARY

6.1 Parameter interrelationships

The extensive measuring programme has made it possible to examine a number of parameter interrelationships, of which only a few have previously been brought to attention, and then often on rather frail foundations. The artificial, well-controlled abrasion also facilitates the determination of the effects of wear on these interrelationships, which are discussed in section 4.2 and summed up in short below.

The different conditions of wear, i.e. the abrasion of bitumen and the growth of the surface texture of the road samples, of course also operate on the mean luminance coefficient, Q_0 . In addition, a strong influence on the specular factor in dry condition, S_1 , can be noted, but surprisingly enough only an unsystematic influence on the specular factor in wet condition, S_1' .

The various degrees of influence of the wear have the result that when all of the conditions of wear are added together and looked upon as a whole, the earlier, well-known pattern repeats itself, viz. Q_0 and S_1 are intercorrelated whereas the correlation between Q_0 and S_1' is insignificant or even completely non-existent. When each single case of wear is looked at separately, there is, however, an effect of Q_0 on S_1' . Thus a light admixture can be expected to have a positive effect on the specular factor of both dry and, though to a lesser extent, wet pavements.

There is a strong indication that retroreflection, QR , will not change significantly with the distances on the road, whereas the specular reflection, QS , on a dry road is likely to increase rapidly in a uniform manner with the meeting distances to the oncoming vehicle.

It is to be assumed that the above-mentioned, simple state of things is conditioned by relatively uncomplicated geometrical and physical connections. It is beyond the scope of the present study to demonstrate such connections which none the less would seem to be of some use for practical measurements and calculations relating to unlighted roads and should therefore be examined separately at a suitable opportunity.

The change in QR for the dry and wet condition, respectively, can be described as a case with a factor of abt. 2 to abt. 8. For the simple cases of wear there are correlations between the QR -values that are fairly good and which indicate that a low and a high QR , respectively, in the dry

condition means that the QR for the wet condition is very low and reasonably high, respectively. A light admixture therefore has the greatest influence on the retroreflection of a wet flexible pavement.

The specular reflection, QS, naturally increases from dry to wet condition. For the greatest meeting distance, i.e. 130 m, the increase is most often quite moderate, a rise by a factor of 2 is then typical. For the shorter meeting distances, 40 and 80 m, the pattern again shows relatively moderate increases in the QS but it is often broken by steeper rises which supposedly emanates from additional reflection from the water speculum at the bottom of the texture.

Considering the established parameter interactions, 8 characteristic parameters from among the 20 measured are chosen to be used in the further investigations.

6.2 Evaluation of the different cases of wear

The repeated effects of the wear and of the simulated climatic conditions furthermore render a study of the separate actions of wear and climate possible that will be accounted for under section 4.3.

The bitumen of the one group of road samples that is exclusively worn by summer tyres is only slowly worn off, which has a permanent effect on the reflecting properties of the surface. Thus the brightness, as measured by Q0 and QR, only develops slowly and does not attain such values as would be motivated by the composition of the aggregate.

Residual bitumen on the samples worn by summer tyres also makes for an increase in S1, but apparently no systematic increase in S1'. This last-mentioned fact must be attributed to the water-repellant properties of the bitumen film.

No demonstrable effect of the simulated shift from summer to winter climate could be found during the abrasion test.

In practice, the bitumen on wearing courses in Denmark is worn off to a greater extent than was found to be the case on the summer-tyre worn samples but nevertheless seems to have similar characteristics, viz. the reflecting properties are permanently influenced by residual bitumen.

Thus it is of significance that different aggregates have different degrees of adhesiveness to bitumen.

As for the samples worn by summer tyres, the last condition of wear is used in the following investigations.

Unlike the summer-tyre worn samples, the other group of samples worn alternately by summer and studded tyres shows surfaces which even after the first action from the studded tyres have been completely cleared, displaying a rugged surface texture. Q0 and QR are relatively high and S1 relatively low.

The two subsequent exposures of the second group of studded-tyre worn samples involve alternate abrasion by summer and studded tyres. Under the action from summer tyres there is a slight deterioration in the properties, which again attain improved values after the exposure to the studded tyres. Thus the influence of the respective type of tyre can very well be the cause for the kind of varying reflecting properties that have previously been found in Sweden (8).

The favourable state, from the point of view of brightness, of the samples worn by studded tyres comes closest to the conditions in Sweden, where the use of studded tyres is more widespread than in Denmark. However, wearing courses in practical use in Sweden will hardly have such favourable properties as were found in the case of the studded-tyre worn samples.

From the point of view of measurement technique the very heavy wear caused by studded tyres poses a problem in that the surfaces, especially after the second exposure to the studded tyres, are so full of cavities that the adequacy of the measurements is reduced. Therefore, the state produced after the first exposure to the studded tyres has been chosen as typical of the samples worn by studded tyres.

6.3 The composition of the road samples

One of the main purposes of the study has been to shed light on a number of questions relating to the influence of the type of pavement and of the aggregate composition on the reflecting properties. Therefore the pavement samples were chosen with a view to depicting the characteristic parameters in a series of recipe diagrams. See section 4.4.2, where also the surfaces of the road samples in typical cases of wear are shown.

For reasons which have been stated in section 4.1 an essential part of the investigation into the influence of sample compositions has been worked out as a variance analysis, which is described in section 4.4.3.

The variation of S_1 and S_1' is above all attributable to the above-mentioned influence from Q_0 . The expected influence of the surface texture is only demonstrable for S_1 , and yet only for the studded-tyre worn samples, in the manner that S_1 on an average is lowest on samples with coated chippings. As for Q_S , only the summer-tyre worn samples show a systematic variation, which likewise seems to be conditioned by coated chippings which lead to lower values.

It is further demonstrated that Q_0 and Q_R vary according to the aggregate composition and that the variation of the two parameters has a strong similarity. Diagrams for the influence of recipe on Q_0 and Q_R , see section 4.4.4, to which reference is also made for a detailed discussion.

It should be observed here that the coarseness of the aggregate used does not seem to influence Q_0 or Q_R , which nor seem to be influenced by a light admixture in the matrix for pavements with coated chippings.

The use of quartzite has a far stronger influence on Q_0 and Q_R on the samples worn by studded tyres than on those worn by summer tyres, since the bitumen on the quartzite of the latter samples is far from being removed.

As for the summer-tyre worn samples attempts have been made to determining the effects of the grading of Luxovit, a light admixture for bituminous pavements. It would seem that the light admixture when placed in the middle of the grading curve has just as great effects as the light admixture placed at the top of the grading curve. Fine-grained light admixture seems to have a lesser, though noticeable, effect.

As far as the summer-tyre worn samples are concerned, attempts were also made at a direct comparison of the light admixtures Synopal and Luxovit. However, no conclusions are drawn at the present stage, as these would be based on a few samples only, of which not all could even be expected to be typical.

6.4 Friction, texture depth and wearing depth

Friction (skid resistance tester), texture depth (sandpatch method) and wearing depth (profilng) of the road samples were taken into account in the investigation. The aim was to evaluate these properties and also to put them in relation to each other and to the reflecting properties.

The outcome of this part of the test, however, was disappointing for reasons which directly or indirectly will be evident below.

As to the friction it can only be said that, on an average, the samples worn by studded tyres had better values than those worn by summer tyres. It would seem that the method of measurement is too unreliable to permit of more detailed information.

The texture depths measured seem to be marred by a rather substantial uncertainty of measurement, especially with regard to the samples worn by summer tyres. On an average, the studded-tyre worn samples have greater texture depths than the summer-tyre worn samples. Within each group of samples it was also found that samples with coated chippings on an average have greater texture depths than samples with no coated chippings.

Only in the case of the studded-tyre worn samples is there a hint at increased texture depths with the upper size limit of the aggregate.

Thus the measurements of the texture depths are of a limited value, which is still further reduced by the fact that just the parameter, S_1' , with which the best correlation might be expected, likewise suffers from a considerable degree of uncertainty.

The depths of wear of the samples worn by summer tyres actually represent a slight plastic deformation rather than a true tearing-off of material.

As for the studded-tyre worn samples there are of course quite considerable depths of wear due to the heavy abrasion of material. The depths of wear are on an average smallest on samples with coated chippings, whose strength under heavy wear by studded tyres on the other hand is fairly limited.

The depth of wear measurements can hardly be used for determining the abrasion resistance of minerals outside the wear by studded tyres. It seems, however, as if Synopal-stone is worn somewhat faster than natural stone.

REFERENCER

1. C.I.E. Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting, C.I.E. publikation nr. 30 (TC-4.6), Paris, 1976.
2. Frederiksen, E. & Sørensen, K. Reflection Classification of Dry and Wet Road Surfaces, Lighting Research & Technology 8 (1976), nr. 4, side 187.
3. Bjørset, H.-H. & Augdal, A. .. Undersøkelse av muligheten for å lage et lett transportabelt instrument for måling av vegdekkers retrorefleksjon, Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitutt, EFI teknisk rapport nr. 1910, Trondheim, 1975.
4. Kullberg, G. Statens Væginstituts provvægsmaskin, Statens Væginstitut, Meddelande nr. 69, 1944.
5. Sørensen, K. & Nielsen, B. ... Road Surfaces in Traffic Lighting, Lysteknisk Laboratorium, Rapport nr. 9, København 1974.
6. Sørensen, K. Road Surface Reflection Data, Lysteknisk Laboratorium, Rapport nr. 10, København 1975.
7. Sørensen, K. Undersøgelsen af sammenhængen mellem vejbelægnings refleksionsegenskaber, deres alder og slidtilstand. Lysteknisk Laboratorium, Notat 97-30-(TR), København 1976.
8. Persson, E. & Forsberg, A. ... Vægbelæggningars ljusreflexionsegenskaper - uppföljning av fältförsök 1971-1973, Statens Væg- och Trafikinstitut, Intern rapport nr. 150, 1973.
9. Rosengren, Å. & Hansson, M. .. Belæggningstekniska faktorers inflytande på det slitage dubbade personbilsdäck åsamkar tät asfaltbetong HAB 16, Statens Væg- och Trafikinstitut, Rapport nr. 87, 1976.

