

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	ORIENTERING	1
2	SAMMANFATTNING	1
3	BEGREPP	2
4	MÄTPRINCIP	4
5	UTRUSTNING	5
5.1	MÄTBIL	5
5.2	GEORADAR.....	5
6	MÄTNING OCH REFERENS PROVNING	5
6.1	MÄTLINJE.....	6
6.2	MÄTNING	6
6.3	TEMPERATURKORRIGERING.....	6
6.4	BEGRÄNSNINGAR	7
6.5	VAL AV PROVPLATS FÖR REFERENS PROV.....	7
6.6	UTTAGNING OCH ANALYS AV REFERENS PROVER	8
7	BERÄKNING AV HÅLRUMSHALT	8
8	RAPPORTERING AV UNDERSÖKNINGSRESULTAT	9
9	MÄTNOGGRANNHET	10
	REFERENSER	10
	BILAGA 1 MÄTPROTOKOLL	12
	BILAGA 2 MÄTNINGSPLAN	14

1 Orientering

Hålrumshalten i asfaltbeläggningar utgör ett mått på beläggnings kvaliteten. Erfarenhetsmässigt är det känt att varje beläggningstyp har ett bestämt hålrumshintervall, inom vilket beläggningsen normalt har god funktion. Mätning av hålrumshalt med georadar utförs normalt vid 50 – 60 km/h. På motorväg är den normala hastigheten dock 80 – 90 km/h. Metoden ger information om hålrumshalten i mätlinjen och ger liten risk för trafikstörningar.

2 Sammanfattning

Denna metodbeskrivning är avsedd för indirekt bestämning av hålrumshalt i nylagda asfaltbeläggningar med hjälp av georadar. Mätningarna utförs med en mätbil.

Mätningen skall utföras i två mätlinjer; 50 cm från beläggningsdragets högra kant i körriktningen och i beläggningsdragets mitt.

Om mätningarna görs efter trafikpåsläpp skall mätningarna göras mitt i höger hjulspår och i beläggningsdragets mitt. Mätningar ska utföras senast 14 dagar efter beläggningsens färdigställande.

Vid mätningen sänds elektromagnetiska vågor ut från en sändare i georadarantennen. Vågorna går ner i marken med en hastighet som primärt bestäms av de elektriska egenskaperna i materialet. En del av energin reflekteras tillbaka mot ytan och en del fortsätter att färdas nedåt. Den våg som reflekteras tillbaka mot ytan fångas upp av en mottagarantenn och registreras på en elektronisk lagringsenhet för senare tolkning. En mätpuls är en georadarvåg inom ett bestämt tidsintervall.

Hålrumshalten beräknas med ett samband mellan hålrumshalt och korrigerad dielektricitets-konstant.

Metodbeskrivningen innehåller teori och grundläggande principer för mättekniken och beräkning av hålrumshalten. Krav på mätutrustning och kalibrering anges. Beskrivningen innehåller också anvisningar för rapportering av resultaten.

3 Begrepp

Dielektricitetsvärde

Det dielektriska värdet hos ett material är en funktion av de volymetriska proportionerna av dess materialkomponenter och de dielektriska egenskaperna hos dessa komponenter. Detta värde varierar med porvolym, stenmaterial och råhet hos ytan.

Beläggningsdrag (kortform: drag)

Båda orden avser den bredd på asfaltytan som en asfaltläggare lämnar bakom sig vid en enstaka utläggning. I talspråk används även orden för yta dock utan att längden är klart definierad. Dragets kanter är samma som beläggningsytans kanter efter skriden i packat skick.

Georadar

Georadar är en icke-förstörande elektromagnetisk sonderingsmetod där radiofrekvenser används.

Metoden användas för att mäta elektromagnetiska egenskaper hos material. Mätvärdena ger en profil från mätlinjen .

GPS

Eng. "*Global Position System*", ett amerikanskt positioneringssystem som utnyttjar satelliter.

Hålrumshalt

Begreppet "hålrumshalt" beskriver förhållandet mellan luftporvolymen och den totala volymen (skrymvolymen) hos beläggningen och uttrycks som ett procenttal.

Kalibrering

Tre typer av kalibrering skall utföras:

- En årligt specifikationstest för antennutrustningen (se vidare avsnitt 5.2)
- En kontroll av antensignalernas reflektion före och efter mätning av varje objekt (se avsnitt 3 och avsnitt 6.3).
- En kalibrering av erhållen hålrumshalt baserad på georadarmätningen med hänsyn till den hålrumshalt som erhållits i referensprov från aktuellt objekt, d v s en bestämning av kalibreringskonstanten (se vidare avsnitt 7).

Kontrollobjekt

Objekt, t ex yta eller vägsträcka med ≤ 1000 m utsträckning, för vilket kravuppfyllelse skall avgöras.

Luftkopplad antenn (hornantenn)

Luftkopplade antenner är antenner som placerats så högt från marken eller från mätobjektet att antennens egenskaper inte påverkas om materialegenskaperna hos marken eller mätobjektet förändras.

Mätlinje

En i tvärlinje bestämd längsgående linje av ett objekt i vilken mätning skall utföras.

MätvärdenEnskilt värde

Ett enskilt värde (x_i) är medelvärde avseende ytan ca 300 x 300 mm.

1-m medelvärden

En meters medelvärden (\bar{X}) är medelvärdet av enskilda värden över en meter.

Standardavvikelse

Spridningsmått i detta fall visande homogeniteten inom ett kontrollobjekt.

Objekt

Med objekt avses ett vägavsnitt som belagts med samma typ av asfaltbeläggning med stenmaterial från samma täkt och som kan kalibreras med avseende på hålrumshalten med hjälp av referensprov.

Pulsgivare (encoder)

En pulsgivare är ett instrument som ger pulser med bestämda avståndsintervall till georadarns kontrollenhet när mätbilen rullar. Avståndsmätningen hos georadarsystemet görs med dessa mätpulser.

Avståndsmätningen kalibreras mot objektets längdmätningssystem. Under mätning skall georadarsystemet ställas in att samla in en georadarpuls med $\leq 0,1$ m intervaller. I mätbilen är pulsgivaren vanligen ansluten till vänster bakhjul eller till ett extra hjul (ett femte hjul) eller till en wire till trippmätaren inne i bilen.

Radarevåg

En radarevåg är en elektromagnetisk våg.=

Reflektionen från en metallplåt

Georadarpulsens reflektion från en c:a 1 m² stor kvadratisk metallplåt placerad på marken mäts under ett visst tidsintervall .

Metallplåtens reflektion är en reflektion från en "total" reflektor och den används vid beräkning av det dielektriska värdet för det översta asfaltlagret.

Referensprov

Referensprov är borrhov från beläggningen som uttas på en provplats i aktuell mätlinje. Proven analyseras med avseende på hålrumshalt. Provresultatet används

för att bestämma en kalibreringskonstant vid omräkning av dielektricitetsvärden uppmätta med georadar till hålrums halt.

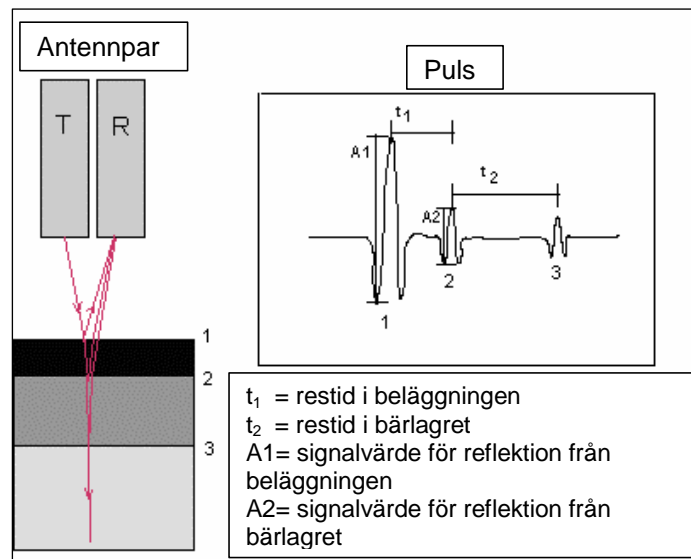
Signalvärde

Med signalvärde menas i detta dokument summan av absolutvärdena för den positiva och negativa amplituden hos en reflekterad signal.

4 Mätprincip

Med denna metod mäts hålrums halt indirekt hos asfaltbeläggning. Mindre hålrums halt i beläggningen leder till en minskning i volym av luft med lågt dielektricitetsvärde och en ökning av volymandelen bitumen och stenmaterial med högre dielektricitetsvärden.

En ”ytreflektionsmetod”, som kan åstadkommas med hjälp av georadar med ett luftkopplat antensystem, används för att bestämma det dielektriska värdet på det översta asfaltlagret. Den luftkopplade antennen sänder ut elektromagnetiska pulser och deras reflektioner från elektriska gränssnitt registreras av en mottagarantenn.



Figur 1. Verkningsätt hos hornantenn

Det relativa dielektricitetsvärdet hos beläggningen kan beräknas genom användning av följande formel nr 1:

$$\varepsilon_a = \left(\frac{1 + A_a/A_m}{1 - A_a/A_m} \right)^2 \quad (1), \text{ där}$$

A_a är signalvärdet för en reflektion från det översta asfaltlagret och A_m är signalvärdet för reflektionen från en metallplåt (total reflektion).

5 Utrustning

5.1 Mätbil

Mätning med Georadar bör utföras med en för georadarmätning speciellt utrustad mätbil. Alternativt kan utrustning installeras temporärt även i andra bilar.

5.2 Georadar

Utrustningen för kvalitetskontroll av beläggning ska omfatta:

- 1,0–1,5 GHz hornantenn vid tjocklek > 32 mm (80 kg/m²) och 1,5-2,5 GHz vid tjocklek ≤ 32 mm och antennkabel.
- Elektronik för sändare/mottagare
- Centralenhet med display innehållande system för datalagring
- Pulsgivare för mätning (Sampling encoder)

Dessutom krävs att systemet innehåller en dator (PC) för lagring och bearbetning av data.

Använd antennutrustning skall årligen klara ett specifikationstest för antenner. Krav enligt tabell 1 skall uppfyllas.

Tabell 1 Krav på antennutrustning

Provningar	Kravnivåer, maximalvärden
Proportion signalstörningar	5 %
Korttidsstabilitet för amplituden	1 %
Långtidsstabilitet för amplituden	3 %
Långtidsstabilitet	5 %
Tidslinjaritet	5 %

6 Mätning och referensprovning

6.1 Mätlinje

Mätningen skall utföras i två mätlinjer; 50 cm från beläggningsdragets högra kant i körriktningen och i dragmitt.

6.2 Mätning

Före mätning skall antennutrustning värmas upp. Tid för uppvärmning bestäms vid den årliga kalibreringen av antennerna men vanligen ligger den i intervallet 20-30 min. Utrustningen skall dessutom kalibreras före och efter varje mätning genom användning av metallplåt (se avsnitt 3 ”Reflektionen från en metallplåt” och avsnitt 6.3). Mätningens frekvensen skall vara minst 10 mätpulser (scans) per meter. Mätningstiden (mätområdet) som skall användas är 20 nanosekunder. Utrustningens inställning vid mätning skall vara sådan att den direkta mätpulsen (S i figur 3) kan registreras i sin helhet eftersom pulsen kan användas till temperaturkorrigeringar. Den direkta mätpulsen skall registreras på samma sätt också vid mätpulser från luft och metall (se figur 3). Dessutom krävs att inga sådana filter används som kan ge ”fas- och amplitudförskjutning” under mätning.

Start- och slutpunkter skall märkas ut på vägen och noteras exakt vid mätningen. Längdmätaren skall kalibreras och GPS skall användas för att bestämma start och slutposition. Minst start och slutpunkt hos en mätlinje skall bestämmas på detta sätt.

Rekommenderad mät hastighet är 50-60 km/h men 80-90 km kan användas i speciella fall, t ex på motorväg. En mätning täcker en yta på ca 300 x 300 mm. Datainsamlingen utförs som en kontinuerlig längdprofil från början till slutet av mätsektionen.

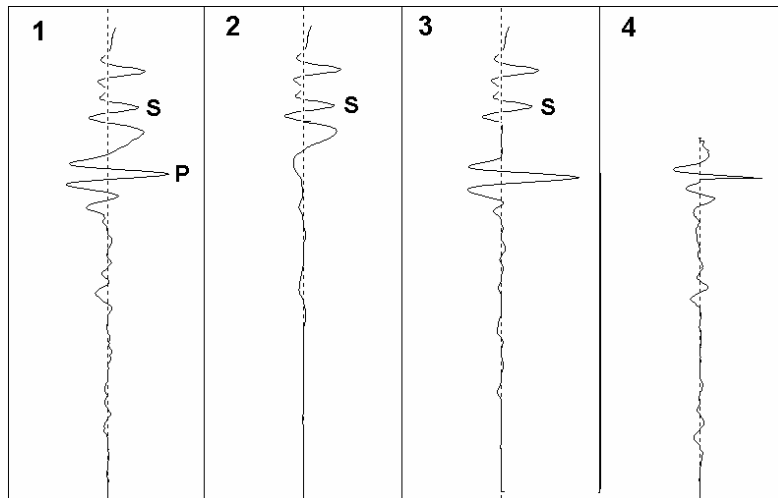
Stroboskopljus kan orsaka störningar på mätresultaten och bör inte användas vid mätning.

6.3 Temperaturkorrigering

Temperaturkorrigering skall utföras för att minimera störningarna från omgivningen. Störningar kan orsakas t ex av lufttrycket eller temperaturen (mestadels från molnigt väder till solsken eller under hösten när temperaturen kan skilja flera grader mellan morgon och dag). Temperaturkalibrering skall utföras på följande sätt:

1. I filen från metallplåten (3 i figur 3) definieras signalvärdena (se figur 1) både från den direkta mätpulsen (S) och från ytrelektionen (P).
2. Från mätpulsen vid mätning (1 i figur 3) definieras motsvarande signalvärden från den direkta pulsen (S) och från ytrelektionen (P).

3. Signalvärdet hos den direkta pulsen från metallplåten A_{S3} divideras med signalvärdet hos den direkta mätpulsen A_{S1} och detta värde används som multiplikationsfaktor för reflektionspulsens signalvärde som erhålls vid mätning A_{P1} . På så sätt kalibreras ytamplituden till samma nivå genom hela mätningen.
4. Operation 1-3 upprepas för varje mätpuls som sänds ut under mätningen. (multiplikationsfaktorn används för varje mätpunkt.)



Figur 3. Exempel på de pulser som behövs vid beräkning av dielektriskt värde på asfaltytan och för temperaturkorrigering: 1. rådata, 2. mätpuls i luft (behövs inte om inte antennen påverkas av störningar som påverkar ytrektionens amplitudvärde), 3. mätpuls från metallplåt och 4. processad och höjkalibrerad puls. S är direkt mätpuls och P är reflektion från beläggningsytan.

6.4 Begränsningar

Mätning ska göras på torr beläggning. Ytan skall vidare vara ren från föremål som kan störa mätningen så som stenar, kvistar löv, kantfärg eller dyl.

Mätningar är inte tillåtna när beläggnings- eller lufttemperaturen är lägre än + 1 °C. När dielektricitetsvärden > 8 uppmäts skall mätningen avbrytas och orsaken till de höga värdena skall undersökas.

Mätmetoden fungerar dåligt på beläggningar med varierande innehåll av cement eller slagg. Beläggningar av den typen kännetecknas av höga dielektriska värden.

6.5 Val av provplats för referensprov

Operatören väljer provplatser för referensprov En provplats väljs där georadarn lämnar höga värden och ett prov tas där låga värden uppmäts. Båda platserna bör helst ha konstanta värden sett över en m.

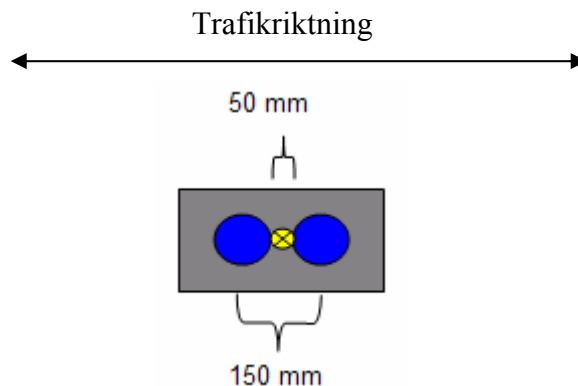
Provplatser skall väljas så att trafiksäkerheten inte äventyras. Provningsen ska ske enligt ATB VÄG F4.8.4 stycket "Hålrumshalt". Minst 2 provplatser uttas för varje kontrollobjekt.

Provplatsen markeras genom användning av en "märkningsmetod". I metoden skall mätbilen stannas under mätningen på den plats där borrhålet skall tas ut och den exakta punkten under georadarantennen märks ut med märkfärg enligt figur 4. Denna referenspunkt lokaliserar i georadardata med hjälp av markörer och den exakta distansen från startpunkten noteras. I det här fallet måste också den totala längden av mätlinjen mätas ifall sträckan måste skalas om senare.

6.6 Uttagning och analys av referensprover

Uttagning av referensprover skall utföras enligt FAS Metod 418.

Borring skall utföras på båda sidor om den utmärkta markeringen av provplatsen i trafikriktningen enligt figur 4. Skrymdensiteten bestäms enligt FAS Metod 427 om hålrumshalten bedöms vara lägre än 7 %. Vid högre hålrumshalt används FAS Metod 411. Kompaktdensiteten bestäms enligt FAS Metod 412 eller 425. Hålrumshalten beräknas enligt FAS Metod 413.



Figur 4 Uttagning av borrhål. Gul färg avser märkning av provplats. Blå färg avser borrhålets lägen.

7 Beräkning av hålrumshalt

För uttagna borrhål skall densitet och hålrumshalt bestämmas enligt avsnitt 6.6 ovan. Genom att använda värdet på de hålrumshalter som erhållits från

referensproven, och deras respektive dielektriska värden, kan en kalibreringskonstant bestämmas för beräkning av hålrumshalten i beläggningen. Kalibreringskonstanten K är medelvärdet av $K_{(i)}$ beräknat med formel 2:

$$K_{(i)} = \frac{\ln(272,93) - \ln(\bar{H})}{1,3012 * \bar{X}_{cal}} \quad (2)$$

Där:

i är index för enskild provplats där borrhärdar tas.

\bar{H} är medelvärdet av de två borrhärdarnas individuella hålrumshalter på samma provplats bestämd genom laboratorieundersökning.

\bar{X}_{cal} är medelvärdet av de uppmätta dielektriska värdena X_{cal} beräknat över en meter för respektive provplats där borrhärdar tas.

Därefter kan hålrumshalten ($Y_{(i)}$) i form av en-metersvärden beräknas för hela mätlinjen med formel 3 :

$$Y(i) = 272,93 * e^{-1,3012 \bar{K} \bar{z}} \quad (3)$$

\bar{K} är medelvärdet av kalibreringskonstanterna ($K_{(i)}$) från samtliga provplatser där borrhärdar tas.

\bar{z} är medelvärdet av de av georadarn uppmätta enskilda värdena ($x_{(i)}$) inom den meter som beräknas.

För beräkning av medelvärde och standardavvikelse hänvisas till Vägverkets Metodbeskrivning 908, ”Statistisk acceptansk kontroll.”

8 Rapportering av undersökningsresultat

Resultaten skall presenteras som längsgående profiler med 1 m medelvärden. Där skall framgå hålrumshalter, dielektricitetsvärden och lägen. Laboratorieresultat och lägen för referensprover skall rapporteras.

I den medföljande rapportsidan skall följande information framgå:

Resultattabellen skall omfatta följande uppgifter:

- Medelvärden för kontrollobjekt
- Tvärseparation och standardavvikelse

- Standardavvikelser för kontrollobjekt
 - Kontaktman hos mätföretaget
 - Mätoperatör
 - Kontaktman hos entreprenören
 - Undersökningsmetod, georadarmodell, antenmodeller med tillverkningsnummer hos utrustningen och använd mjukvara
 - Objekttyp
 - Väg nr
 - Beläggningstyp
 - Beläggningstjocklek
 - Data från undersökningstillfället, tid, väderlek mm
 - Total längd på objektet
 - Mätlängd (längd på mätlinjer)

Ett exempel på resultattabell redovisas i bilaga 1.

Om förhållandet mellan medelvärdena för dielektricitetsvärdet och hålrums halten är exceptionella bör rapporten ge en detaljerad förklaring till detta.

9 Mätnoggrannhet

Den maximala avvikelsen mellan hålrums halt beräknad från mätning med georadar och hålrums halt analyserad på borrhov uppgår till ca $\pm 0,9$ volymprocentenheter (gäller mätsystem år 2006).

Referenser

FAS Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige: FAS Metoder 2003.

Maser, K.R., Scullion, T. and Briggs, R.C. 1991. Use of Radar Technology for Pavement Layer Evaluation. Texas Transportation Institute Research Report 930-5F. 19p.

Roimela, P. 1998. Päällystetutkatutkimukset 1996-1997, Tielaitoksen selvityksiä 4/1998, TIEL 3200499 (Engelskt sammandrag).

Roimela, P. 1999. Päällystetutka tiiviyden laadunvalvonnassa, Tielaitoksen selvityksiä 6/1999, TIEL 3200552 (Engelskt sammandrag)

Saarenketo, T. 1997. Using Ground Penetrating Radar and Dielectric probe measurements in Pavement density Quality Control. Transportation Research Record 1997, pp. 34-41.

Saarenketo, T. and Roimela, P. 1998. Ground Penetrating Radar Technique in Asphalt Pavement Density Quality Control. Proceedings of the Seventh International Conference on Ground Penetrating Radar, May 27-30, 1998, Lawrence Kansas. Volume 2, pp. 461 – 466.

Scullion T., Lau C. L., Saarenketo T., Performance Specifications of Ground Penetrating Radar; Proceedings of Sixth International Conference on Ground-Penetrating Radar. Sendai, Japan, 1996. p. 341-346.

Scullion, T. and Saarenketo, T. 2002. Implementation of Ground Penetrating Radar Technology in Asphalt Pavement Testing. In Proceedings of the Ninth International Conference on Asphalt Pavements, August 17 – 22, Copenhagen, Denmark, 16 p.

Sebesta, S. and Scullion, T. 2002b. Application of Infrared Imaging and Ground Penetrating Radar for Detecting Segregation in Hot-Mix Asphalt Overlays. Transportation Research Board Paper, 15 p.

Christoffer With, Analys av hålrums halt och lagertjocklekar på vägar genom markradarmätningar.
KTH, inst. För mark och vattenteknik, Examensarbete 2001:28

Bilaga 1 Mätprotokoll

Georadar AB
Köpmansgatan 7 - 9
00000 Göteborg

Hålrums haltrapport 2004

Beställare Vägverket/ Kalle Svart
 Asfaltgatan 21, 00000 GÖTEBORG

Objekt: Göte-Borg **Objektnr:** 11-121
Vägnr: E6
Metod: Mätning av hålrums halt med Georadar
Mjukvara: Road Doctor v.1.1.

Hålrums halt spec: ATB VÄG 2003 **Massatyp:** ABS
Objekttyp: Europaväg **Tjocklek:** 90 kg/m²
Acceptansintervall: 1,5 - 5 % enskilda värden
 2 - 4 % medelvärden **Mätdatum:** 9.6.2004

Objektlängd:	10 000 m	Sektion 1 start:	0	m
Mätlängd:	20 000 m	Sektion 1 slut:	10 000	m
		Sektion 2 start:	0	m
		Sektion 2 slut:	10 000	m
		Mätlängd	20 000	m

Referensprover: *Sektion 4/900 riktning 1, 2,2 %, section 6 300 riktning 2, 1,9 %*

Kalibreringscoefficient: **0.6265**
Medelvärde hålrums halt som motsvarar kalibreringsfaktorn 3.25
Medelvärde av dielectricitetsvärde motsvarande medelv hålrums halt 6.97

Objekt info	Hålrums halt (%)		Ensk värden	Ensk värden	Ensk värden	Ensk värden
	Medelv.	Stdavv	Under (%)	Under (m)	Över (%)	Över (m)
Körfält 11	2.93	0.65	4.48	13.13	3.93	314.40
Körfält 12	2.33	0.29	15.06	1204.80	0.00	0.00
Körfält 22	2.51	0.39	12.02	23.92	0.49	0.98
Körfält 21	2.57	0.34	3.75	300.00	0.48	38.40
Total	2.75	0.50		1541.85		352.80

Tilläggsinformation: *Förklaringar till avvikelser mm*

Göteborg 17.9.2004

Sven Svensson, georadar AB
tel. 123 000 000
GSM 010 000 0000
Sven.svensson@georadar.se

Bilaga 2 Mättningsplan

Varje kontrollobjekt skall vara ett beläggningsdrag omfattande $\leq 1\ 000$ m.

Antal mätlinjer skall vara 2. Den ena linjen skall mätas 50 cm från beläggnings-dragets högra kant i körriktningen. Den andra mätlinjen skall mätas i beläggningsdragets mitt.