

SINTEF A10837

RAPPORT

***Miljøvennlige vegdekker:
Måling av tekstur i vegoverflater. En
pilotundersøkelse utført på vegdekker
i Kongsvingerområdet i 2003-04***

Svein Å. Storeheier

SINTEF IKT

Mai 2009

**SINTEF IKT**

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: O S Bragstads plass 2C
7034 Trondheim
Telefon: 73 59 30 00
Telefaks: 73 59 10 39

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Miljøvennlige vegdekker:**Måling av tekstur i vegoverflater.****En pilotundersøkelse utført på vegdekker i Kongsvingerområdet i 2003-04.**

FORFATTER(E)

Svein Å. Storeheier

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen Vegdirektoratet,

RAPPORTNR. SINTEF A10837	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Jostein Aksnes	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-14-04423-2	PROSJEKTNR. 90E239	ANTALL SIDER OG BILAG 28 + 1
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF_A10837.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Svein Å. Storeheier <i>S.A. Storeheier</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Truls Berge <i>Truls Berge</i>	
ARKIVKODE	DATO 2009-05-15	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Odd Kr. Ø. Pettersen <i>Odd Kr. Ø. Pettersen</i>	

SAMMENDRAG

I forbindelse med Vegdirektoratets etatsprosjekt "Miljøvennlige vegdekker" ble det innledningsvis gjennomført et pilotprosjekt innen måling og vurdering av tekstur i vegoverflater. Dette ble utført i 2003-04. Formålet var å få erfaringer i forbindelse med måling og analyse av tekstur, som grunnlag for mer omfattende teksturstudier i hovedprosjektet. Undersøkelse av betydningen av tekstur for dekk/vegbanestøyen vil være et hovedformål her.

Erfaringene som ble oppnådd under målingene i 2003-04 viste at det var mulig å få fram teksturdata, både enkeltparametere (Mpd, G-faktor) og teksturspektra. Målemetoden (og påfølgende analyse) viste seg å være ganske arbeidskrevende. I tillegg så en behovet for å legge inn kvalitetskontroll (kontroll med dropouts) i analysedelen. Det pågikk derfor en viss utvikling i analysedelen. En videreutvikling mot rasjonelle måle- og analysemetoder bør fortsette. Det meste av datamaterialet er analysert flere ganger. Detaljresultater fra analysen er lagt i en egen rapport [3].

Teksturmålingene ble gjennomført på 6 nylagte (i 2003) tynndekker på Rastafeltet, og på 6 eldre vegdekker, alle i området omkring Kongsvinger. Målingen ble fulgt opp over året 2003 - 04.

Resultatene viste en overraskende stor endring i teksturparametere og -spektre i løpet av det første året, eller over den første vinteren. For eldre vegdekker har en sett på støyens avhengighet av enkelte teksturparametere. Det er også vist hvordan en kan utvikle multiple regresjonsmodeller for å beskrive en best mulig sammenheng mellom støy og teksturparametere. Det ble kommentert at en i framtidige analyser bør kunne kombinere teksturdata og direkte vegdekkedata for om mulig å undersøke koplingen mellom støy og vegdekkedata mer i detalj.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Akustikk	Acoustics
GRUPPE 2	Støy	Noise
EGENVALGTE	Vegdekker	Road surfaces
	Tekstur	Texture

Forord

Arbeidet ble finansiert av Vegdirektoratets Teknologivdeling, Vegdirektoratet, og var en oppstart til arbeid under etatsprosjektet ”Miljøvennlige vegdekker”.

Teksturmålingene høsten 2003 ble utført av ATI (Asfaltteknisk Institutt), og i 2004 av Statens vegvesen, Hamar distrikt.

Forsker Truls Berge ved SINTEF IKT har vært ansvarlig for innsamling av de støydata som det refereres til i denne rapporten.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	BAKGRUNN	4
2	TIDLIGERE RAPPORTERING AV TEKSTURDATA	4
3	TEKSTUR.....	4
3.1	MÅLEMETODE OG REGISTRERINGER	4
3.2	MÅL FOR TEKSTUR	5
3.3	TEKSTURDATA AVLEDET FRA VEGENS OVERFLATEPROFIL	6
3.4	MODELL FOR TEKSTURGENERERT STØY	6
4	INNSAMLING OG ANALYSE AV TEKSTURDATA	8
4.1	MÅLESTEDER	8
4.2	DETALJRESULTATER	9
5	STØY.....	10
6	RESULTATER FOR TEKSTUR	11
6.1	RESULTATER 2003	11
6.2	RESULTATER 2003-04	12
6.2.1	<i>Endring i teksturspektra.....</i>	<i>12</i>
6.2.2	<i>Endring i teksturparametre.....</i>	<i>16</i>
6.2.3	<i>Kontroll.....</i>	<i>16</i>
6.3	RESULTATER 2004	17
6.3.1	<i>Tilgjengelige data</i>	<i>17</i>
6.3.2	<i>Noen sammenhenger.....</i>	<i>18</i>
6.3.2.1	<i>Støy og teksturparametere</i>	<i>18</i>
6.3.2.2	<i>Eksempel på modellering av sammenhengen mellom støy og tekstur</i>	<i>22</i>
6.3.3	<i>Kommentarer</i>	<i>22</i>
7	BEGRENSNINGER.....	23
8	OPPSUMMERING	24
9	REFERANSER.....	25
VEDLEGG 1	PRESENTASJON AV TEKSTURDATA	27

1 Bakgrunn

I forberedelsene til oppstarten av prosjektet ”Miljøvennlige vegdekker” i regi av Vegdirektoratets Teknologivdeling Tek-T, ble det bestemt at man også burde undersøke vegdekkenes tekstur, og om mulig finne teksturens betydning for støyen. Sommeren 2003 ble det lagt et prøvefelt med 5 tynndekker på Rv. 2 ved Rasta nær Kongsvinger. Her og på et lite utvalg veger i området ble de første støy- og teksturmålingene i tilknytning til prosjektet gjort i 2003 og -04. For teksturdelen var arbeidet et pilotprosjekt som omfattet delvis opplæring og erfaringsinnhenting for både målingene og databehandlingen.

Det meste av materialet er tidligere presentert i rapporter, foredrag og presentasjoner. I denne rapporten presenteres resultatene i sammenheng, og en oppsummering av de viktigste erfaringer og konklusjoner blir gjort.

2 Tidligere rapportering av teksturdata

En del resultater fra teksturmålingene i 2003-04 er tidligere presentert i ulike sammenhenger. De viktigste er:

- Presentasjon på Inter-Noise i Praha, 20-22 august 2004. Generell omtale av målemetodikk og foreløpige resultater, [1],
- Detaljresultater og noen resultatsammenstillinger fra målingene i 2004, i en fellesrapport om støy- og teksturdata fra målingene i 2004, [2],
- En sammenstilling av detaljerte teksturdata for alle målinger utført i 2003-04. I tillegg til datasamling gis en kort omtale av målesteder, målemetode og registreringer, og databehandling, [3].
- Presentasjoner ved nordiske samarbeidsmøter 2006-05-22 [4] og 2007-02-14 [5], og ved Vegdirektoratets Teknologidager 2006-09-14 [6], 2008-09-10 [6b].

3 Tekstur

3.1 Målemetode og registreringer

Statens vegvesen registrerer systematisk jevnhet og slitasje på veger ved bruk av ALFRED målesystem installert i spesialbiler. En av målestørrelsene er midlere profildybde (mpd) som beregnes på grunnlag av høydevariasjoner i vegoverflaten (profil). Data samles inn via et laserbasert måleutstyr som samler vegoverflaten med en viss vertikal og horisontal oppløsning. Slike samlede profildata ble gjort tilgjengelig for prosjektet for beregning av teksturspektra og andre parametere som diskuteres nedenfor.

Ved hjelp av den laserbaserte måleimplementeringen som allerede eksisterte, ble det i hver måling registrert 7500 profildata over en strekning på ca. 2.6m ved kjørefart 40 km/t, dvs. med en horisontal samplingstetthet på ca. 0.35 mm. Vertikaloppløsningen ble oppgitt til 0.044 mm. Som et praktisk kompromiss ble det for hver vegstrekning utført minst 6 slike enkeltmålinger, dvs. en registreringslengde på ca. 15-16 m totalt pr. strekning. Strekningenes lengde varierte i området 70 – 250 m slik at teksturregistreringene representerte bare en mindre del prøvestrekningen. Målingene ble gjennomført i høyre hjulspor i kjøreretningen. Disse registreringene var rådata for etterfølgende analyser.

3.2 Mål for tekstur

Dekk/vegbanestøyen avhenger av bildekkene som er brukt og av vegdekkets egenskaper i overflaten. For tette vegdekker er teksturen viktig, dvs. det mønsteret i overflaten som skapes av vertikale høydevariasjoner. Slike høydevariasjoner vil avhenge av massetypen for vegdekket og etterbehandlingen. Faktorer som påvirker teksturen er bl.a. kornkurven for massen, maks steinstørrelse, etterbehandling (valsing, avstrøing) og slitasje.

Høydevariasjonene i overflaten knyttes til bølgelengder, slik at teksturen ofte blir beskrevet ved et teksturspektrum. Dette viser høydevariasjoner (rms-verdien av amplituder) som funksjon av bølgelengde for svingningene. Vanlig framstilling er rms-amplityder (μm) som funksjon av bølgelengder i 1/3-oktav bånd, med senterbølgelengder i millimeter. Alternativt benyttes en logaritmisk form, dvs. amplitudeverdiene omformes til dB relativt til en referanseverdi på 1 μm . Aktuelt bølgelengdeområde er ca. 2 – 315 mm, som er innenfor områdene makro- og megatekstur i vegteknisk sammenheng.

For beregning av teksturspektra ble anbefalingene i ISO/CD 13473-4 i hovedsak fulgt [11]. I en tidlig utvikling av et analyseprogram ble et effektspekter beregnet basert på diskret Fourier transformasjon på profilsampelverdiene i hver måling. Det teoretiske utgangspunktet her var ref. [13] for beskrivelse av høydevariasjonenes effektspekter. Effekt ved spektrallinjene ble summert i 1/3-oktav bølgelengdebånd for senterbølgelengder i området 0.8 – 315 mm. Teksturspekteret L_{tx} i bølgelengdebånd ble gitt ved:

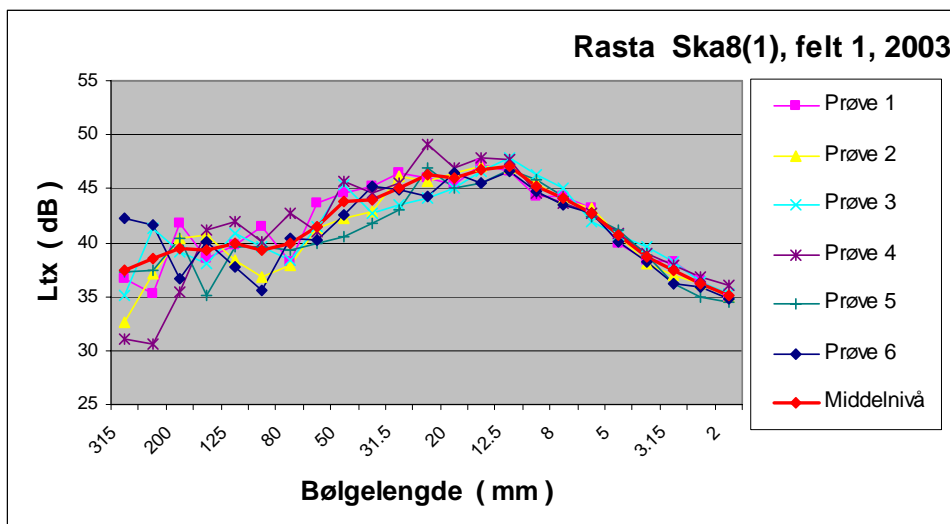
$$L_{\text{tx},\lambda} \text{ (dB)} = 20\log(a_{\lambda} / a_{\text{ref}})$$

hvor :

$L_{\text{tx},\lambda}$ er tekturnivå i dB for 1/3-oktav senterbølgelengde λ (mm),
 a_{λ} er rms-verdi for høydesvingninger i bølgelengdebåndet omkring λ ,
 og a_{ref} er referansen 1 μm (10^{-6} m).

Alternativt kan det oppgis rms-verdien a_{λ} (μm) for bølgelengdebånd med senterbølgelengde λ (mm). Spekterverdier er beregnet i 1/3-oktav bølgelengdebånd, men er også omregnet til verdier i 1/1-oktav bølgelengdebånd.

I Figur 2.1 vises eksempler på teksturspektra målt høsten 2004. Det er resultatet av 6 teksturmålinger, hver over 2.6 m målestrekning på samme vegdekke. En økende spredning i tekturnivåer mot lange bølgelengder er godt synlig, som en følge av økende måleusikkerhet ved lange bølgelengder og kort målestrekning.



Figur 2.1 Teksturspektra for 6 enkeltmålinger på vegdekket Ska8(1), felt 1, målt høst 2003. Dekket ble lagt sommeren 2003.

3.3 Teksturdata avledet fra vegens overflateprofil

I tillegg til resultater i form av teksturspektra ble det beregnet teksturparametere ved analyse direkte på høydeprofilverdiene:

Mpd	– midlere profildybde (mm), etter metode gitt i ISO 13473-1 [12],
G-faktor	- formfaktor for vegoverflate, %, basert på kumulativ amplitydefordeling av profilhøydeverdier. Høy verdi antyder en overflate av typen ”platå med sprekker”, mens en lav verdi antyder en overflate av typen ”dype daler, spisse fjell”.
Rms	- rms verdi (effektivverdi i mm) beregnet direkte på høydevariasjonene.
Rsk	- amplitydefordelingens skjevhet (”skewness”), mål på asymmetri. Negativ verdi trekker i samme retning som høy G-faktor.
Rku	- amplitydefordelingens ”kurtosis”, uttrykker fordelings ”spissitet” eller ”toppethet”.

Alle teksturparametrene er beregnet for hvert 10 cm intervall langs målestrekningen på 2.6 m. Middelerverdi og spredning (standardavvik) er oppgitt. De teksturdata som er beskrevet her utover teksturspektra, er valgt ut på indikasjoner i nyere standarder og litteratur [7], [8].

3.4 Modell for teksturgenerert støy

I tillegg er det beregnet en verdi for ”Estimated Road Noisiness Level”, ERNL, som uttrykker en vegoverflates bidrag til opplevd støy ved A-veid støynivå fra et lett kjøretøy (lydavstråling fra bildekk), basert på teksturinnflytelse. Denne indikatoren gjelder for tette dekker, og for kjøring i hastigheter 60 – 120 km/t. Den tar primært hensyn til teksturspekterets form [9].

4 Innsamling og analyse av teksturdata

4.1 Målesteder

Data om de ulike vegstrekningene som det ble målt tekstur på i tidsrommet høst 2003 til høst 2004, er oppgitt i Tabell 4.1. Vegstrekningene ligger i Hedmark fylke, i området ved Kongsvinger. En vegstrekning ligger ved Gardermoen i Akershus. Det er målt på i alt 14 ulike vegstrekninger, og på 48 vegfelter i 3 måleomganger (sommer/høst 2003, vår 2004, høst 2004). Rastafeltene hadde 2 teststrekninger for hver vegdekketype Ska8, Ab6 og Ska11, merket med hhv. (1) og (2).

Tabell 4.1 Data for målestrekningene

Vegnr. / Navn	Type	Km – felt 1	Km - felt 2	Leggeår	Måletidspunkt
Rv2 HP3, Rasta	Ska8(1)	3145 – 3570	3145 – 3549	2003	H03, Vå04(f1), H04
Rv2 HP3, Rasta	Ab6(1)	3570 – 3848	3549 - 3874	2003	H03, Vå04(f1), H04
Rv2 HP3, Rasta	Ska11(1)	3848 – 4170	3874 - 4170	2003	H03, Vå04(f1), H04
Rv2 HP3, Rasta	Ab6(2)	4170 - 4512	4170 – 4522	2003	H03, Vå04(f1), H04
Rv2 HP3, Rasta	Ska8(2)	4512 – 4851	4522 – 4855	2003	H03, Vå04(f1), H04
Rv2 HP3, Rasta	Ska11(2)	4851 - 4930	4855 – 4930	2003	Vå04(f1), H04
Rv2 Hp3, ref.	Ska14	5000 -		1996	H03, H04(f1)
Rv2 ved stadion Gjemselund	Ska11			1998	H03
Rv2 Hp1 Togstad, Skarnes	Ab8	7500 -	8500 -	2000	H03, H04
Rv175 HP1, Skarnes Sentrum	Ab11	12000 -		2002	H03, H04(f1)
Rv175 HP1 Shellst., Skarnes	Ska8	11000 -	12000 -	2002	H03, H04
Rv2 HP2, Volla	Ska14	9500 -		1999	H04(f1)
Rv2 HP2, Øiset	Ska11	16000 -		2003	H04(f1)
Fv530, Gardermoen	Ab16			1996	S03

H03: høst 2003, Vå04: Vår (mai) 2004, S03: sommer 2003, H04: høst 2004. (f1) viser at det er målt tekstur bare i felt 1 på strekningen. Uten feltangivelse er det målt i både felt 1 og 2. (felt 1 er høyre kjørefelt i km-retningen).

På Rasta-feltet har 6 og 8 mm massene en flatevekt på 55 Kg/m^2 , mens 11mm massen har en flatevekt på 80 kg/m^2 . Dette tilsvarer tykkelser på hhv. ca. 20 og 30 mm.

4.2 Detaljresultater

Alle tekstregistreringer ble analysert for å få ut mål for tekstur som omtalt i kapittel 3.2 ovenfor. Disse detaljresultatene er rapportert i [3]. Hvert resultat representerer en middelvei over 6 enkeltregistreringer på strekninger á 2.6 m.

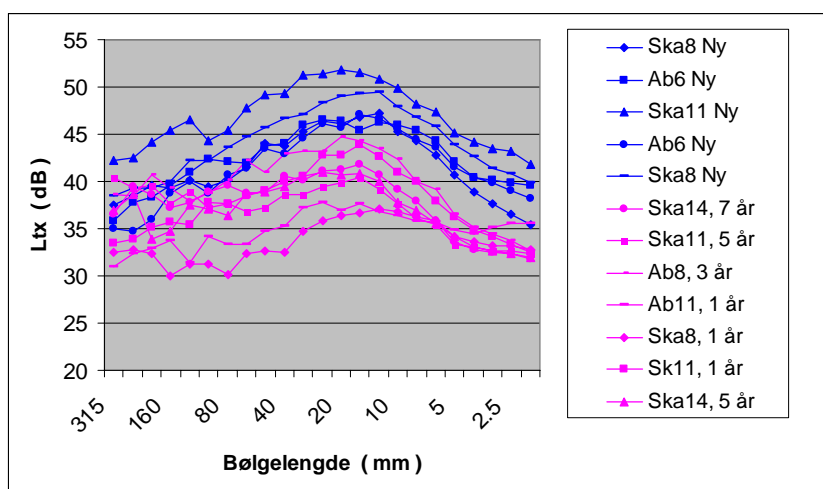
5 Støy

Støyen ble målt etter CPX (CPX=Close **ProXimity**)-metoden, dvs. med mikrofoner plassert på bilen og tett inntil bildekket i standardiserte avstander og høyder. Støyen ved støynivå L_{cpX} , ble oppgitt som en middelvei i dB(A) rel. $20\mu\text{Pa}$ over prøvestrekningen ved kjøring i konstant hastighet. Det ble brukt forskjellige bildekk montert på bilen. For beskrivelse av metoder, målinger og støynivåer, se ref. [2] og [10]. De støynivåene som ble brukt i denne undersøkelsen gjelder for referansedekk A (Avon/Cooper ZV1 185/65 R15).

6 Resultater for tekstur

6.1 Resultater 2003

Figur 6.1 viser resultater for teksturspektra målt i 2003. Blå kurver gjelder for de nylagte tynnnekkene merket Rasta i Tabell 4.1. De røde kurvene gjelder for et antall eldre vegdekker i området omkring Kongsvinger, og finnes også oppgitt i Tabell 4.1. Alle vegdekkene er merket H03, og resultatene gjelder middelverdier for strekninger i felt 1.



Figur 6.1 Teksturspektra for nylagte tynndekker (blått) og eldre dekker (rødt), målt i felt 1, høsten 2003.

Resultatene viser at teksturnivåene for de nylagte dekkene er betydelig høyere enn for de eldre dekkene, også de tre (Ab11, Ska8, Ska11) som bare er ett år gamle. Grunnen til dette er foreløpig ukjent.

Som vist i kapittel 3.3 kan teksturen også karakteriseres med et sett med teksturparametere. Midlere profildybde, Mpd, og G-faktor syntes mest interessante i denne sammenhengen. Verdier for de nylagte tynnnekkene og for de eldre dekkene er vist i Tabell 6.1 og 6.2.

Tabell 6.1 *Mpd og G-faktor for nylagte tynndekker, Rasta, høst 2003*

Vegdekke	Mpd	G-faktor
Ab6(1), f1	1.05	82.7
Ab6(2), f1	0.95	84
Ab6(1), f2	1.32	77.3
Ab6(2), f2	1.33	83.6
Ska8(1), f1	0.99	78.6
Ska8(2), f1	1.22	81.5
Ska8(1), f2	0.87	61.8
Ska8(2), f2	0.96	80.2
Ska11(1), f1	1.59	81.1
Ska11(2), f1		
Ska11(1), f2	1.16	80.4
Ska11(2), f2		
Snitt	1.14	79.1

Tabell 6.2 *Mpd og G-faktor for eldre vegdekker*

Vegdekke	Mpd	G-faktor	Leggeår
Ska14, f1	0.7	59.1	1996
Ska14, f2	1.03	79.1	
Ska11, f1	0.64	51.0	1998
Ska11, f2	0.58	55.3	
Ab8, f1	0.91	60.4	2000
Ab8, f2	0.73	48.5	
Ab11, f1	0.56	52.1	2002
Ab11, f2	0.61	58.4	
Ska8, f1	0.46	60.1	2002
Ska8, f2	0.58	67.0	
Ab16, f1	0.51	66.7	1996
Ab16, f2	0.72	72.8	
Snitt	0.67	60.9	

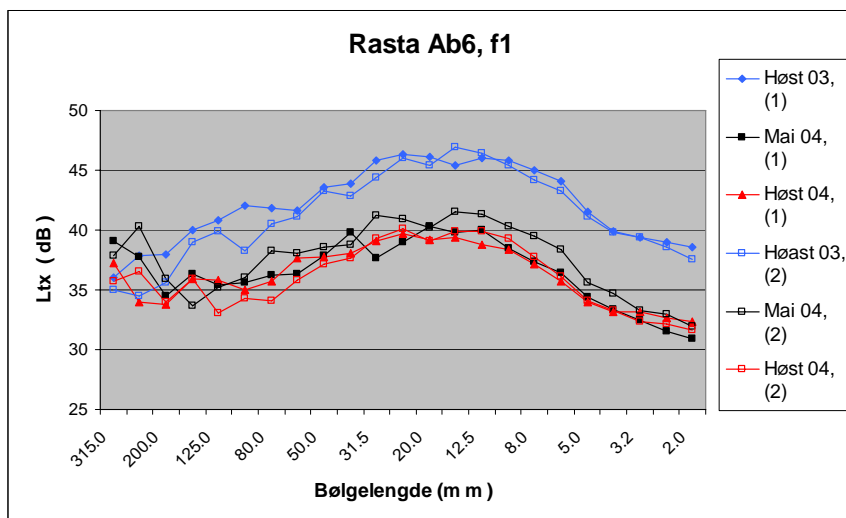
Verdiene i Tabell 6.2 og Tabell 6.3 varierer ganske mye. Både for nylagte og eldre vegdekker er variasjonene betydelige. Det er også forskjeller mellom kjørefeltene på samme veg. Men det er klar forskjell på middelverdiene for Mpd og G-faktor mellom nylagte og eldre vegdekker. Dette gjelder også for de to yngste av de eldre vegdekkene (Ab11, Ska8, leggetidspunkt 2002) sammenlignet med tilsvarende nylagte.

6.2 Resultater 2003-04

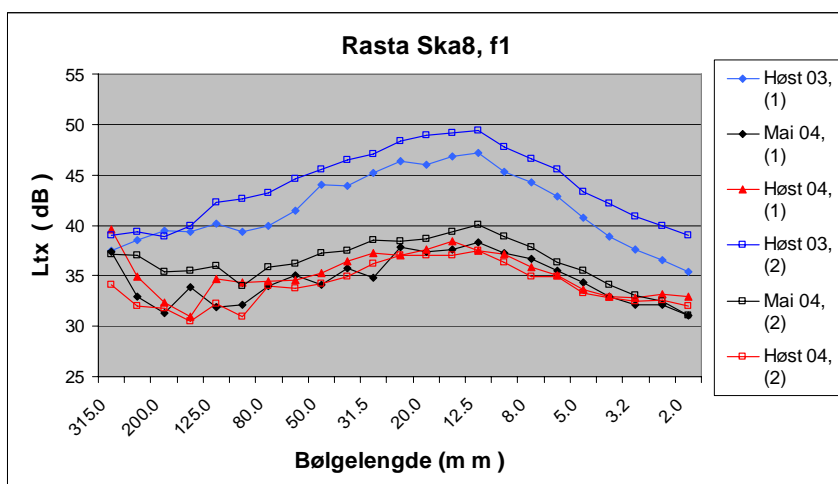
6.2.1 Endring i teksturspektra

Endringene i teksturspekter for tynndekkene fra høst 2003 til høst 2004 kan gi interessant informasjon. I det følgende vises endringene i teksturspektra for tynndekkene, for kjørefelt 1 og 2.

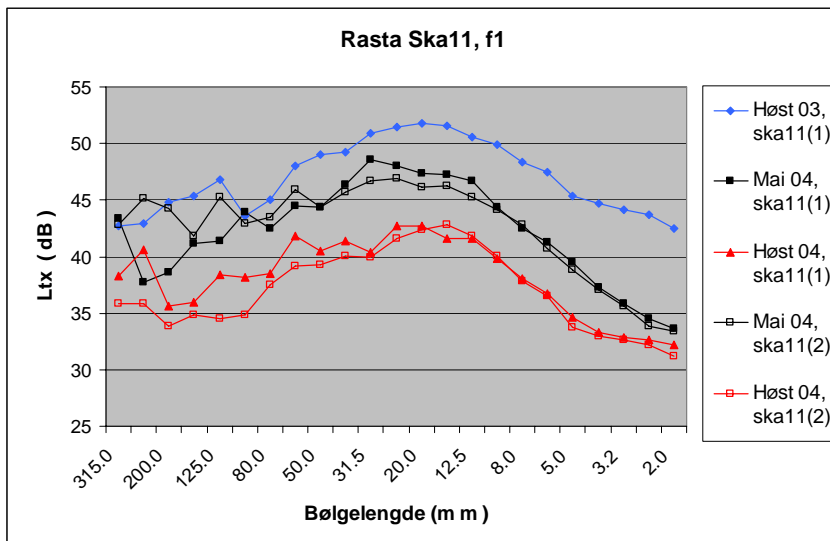
Figurtittelen viser hvilket vegdekke og kjørefelt det gjelder. Kurvemarkørene viser når målingen er foretatt (for eksempel Høst 03), og hvilken av strekning 1 eller 2 det gjelder (for eksempel (1)).



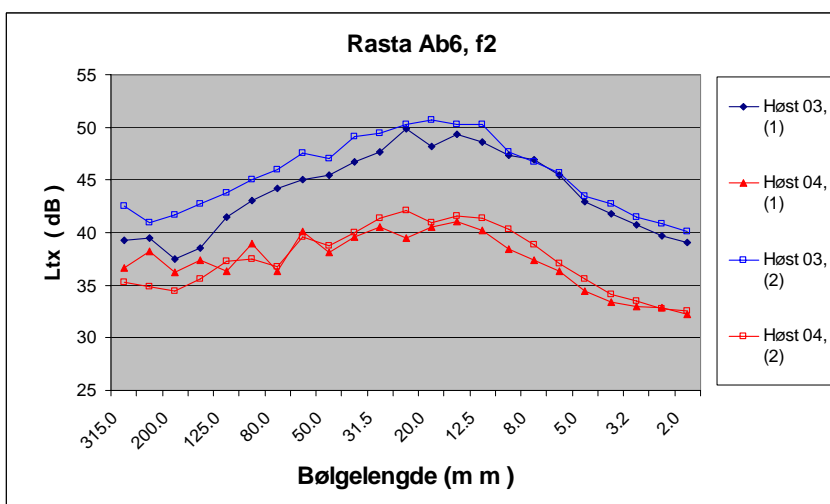
Figur 6.1 Endring i teksturspektra for Ab6 på felt 1



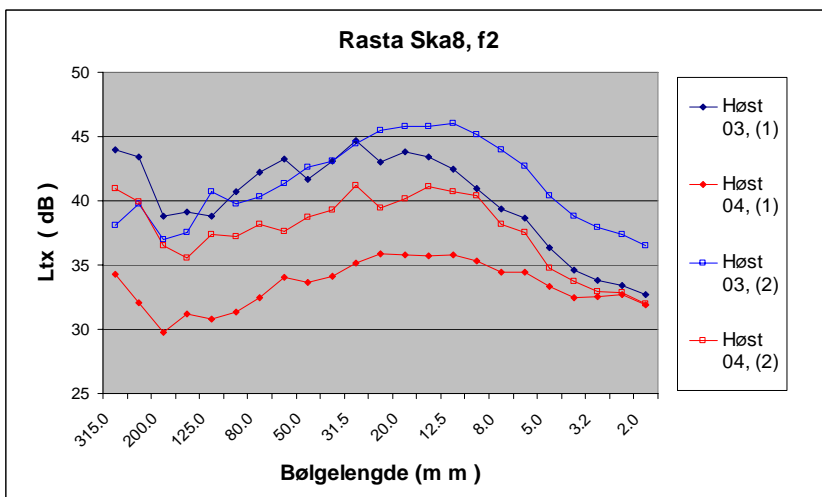
Figur 6.2 Endring i teksturspektra for Ska8 på felt 1



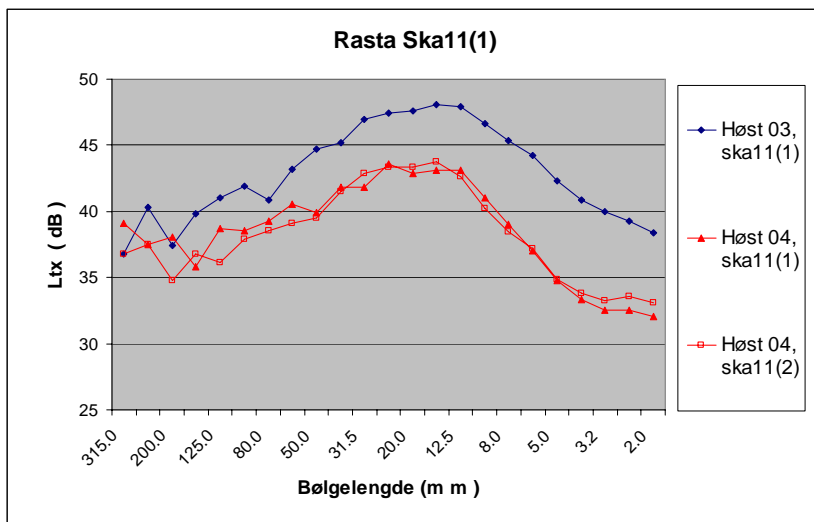
Figur 6.3 Endring i teksturspektra for Ska11 på felt 1



Figur 6.4 Endring i teksturspektra for Ab6 på felt 2

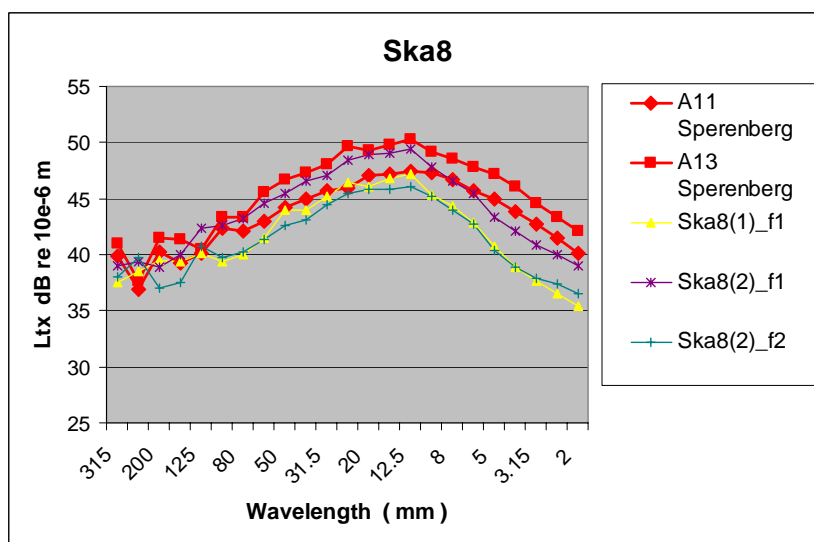


Figur 6.5 Endring i teksturspektra for Ska8 på felt 2



Figur 6.6 Endring i teksturspektra for Ska11 på felt 2

Disse figurene viser at teksturspekteret endres mye for tynnnekkene over det første året. For Ska11 ser det ut til at endringen også fortsetter inn i sommerperioden, mens endringene ser ut til å være ferdig i løpet av mai for Ab6 og Ska8. Den første vinteren har derfor tilsynelatende stor virkning på teksturspekteret. Men det er overraskende at endringen er så stor. En kontroll på teksturspekteret kan gjøres. Fra Sperenbergundersøkelsen [8] finnes teksturspektra for Ska8 vegdekker. Disse er sammenlignet med 3 av spektrene fra Rasta Ska8 (2003) i Figur 6.7. Rasta-dekkene var her nylagte.

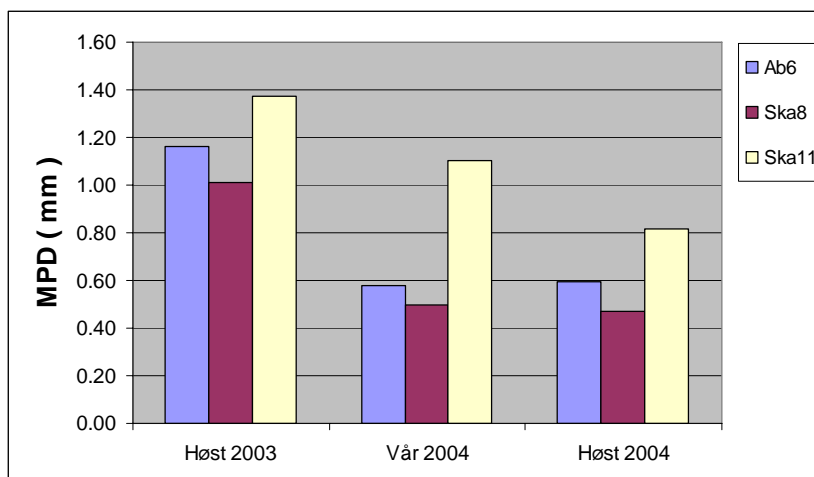


Figur 6.7 Målte teksturspektra for Ska8 sammenlignet med spektra (variasjonsområde for et antall målinger) fra Sperenbergundersøkelsen.

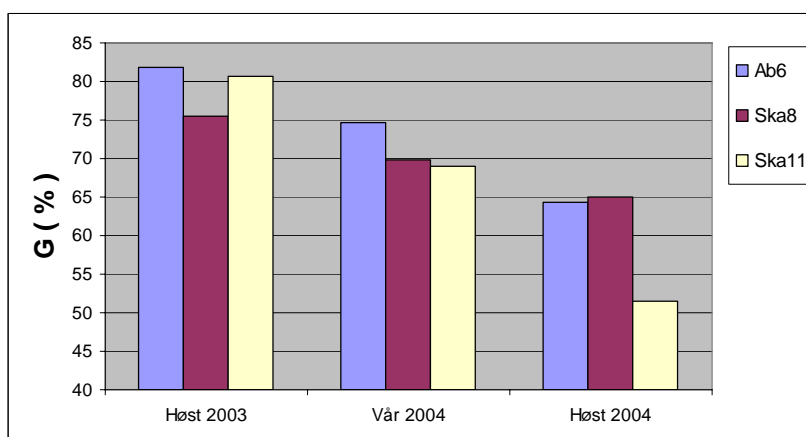
Sammenligningen viser at Ska8-spektrene fra de to undersøkelsene har samme størrelsesorden for bølgelengder større enn ca. 12.5 mm. Ved kortere bølgelengder synes Rasta-dekkene å ha lavere teksturnivåer.

6.2.2 Endring i teksturparametre

Endringer i teksturparametrene Mpd og G-faktor over året 2003 – 04 er vist grafisk i Figur 6.8 og Figur 6.9. Resultatene gjelder middelverdier over to strekninger og to kjørefelt pr. vegdekke.



Figur 6.8 Utvikling i Mpd



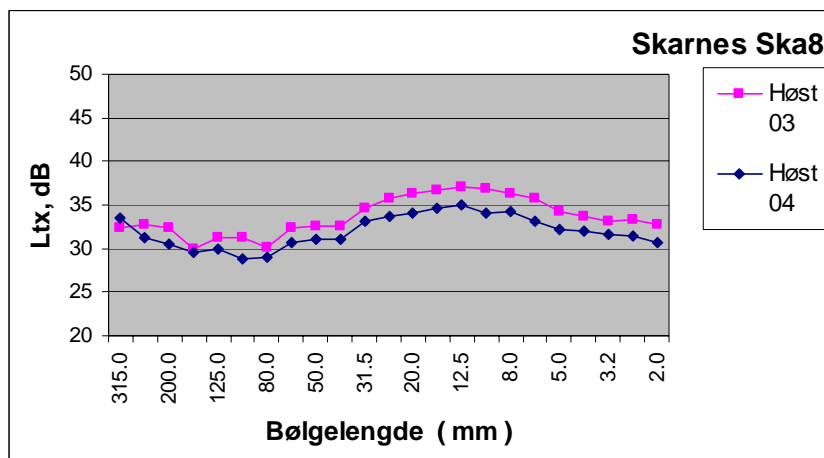
Figur 6.9 Utvikling i G-faktor

Resultatene viser en klar utvikling i både Mpd og G-faktor over det første året. Figur 6.8 viser at Mpd kan ha forskjellig utvikling for ulike vegdekketyper.

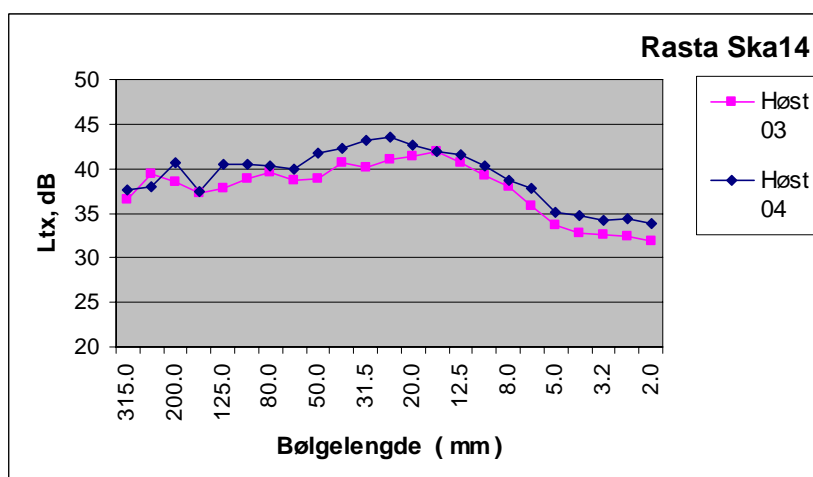
6.2.3 Kontroll

I pilotprosjektet var det vanskelig å få faste avtaler på teksturmåling med målebil. Målingene høsten 03 ble gjort etter ad hoc avtale med ATI (Asfaltteknisk Institutt) som hadde en implementering for teksturmålinger i sin målebil. Vår og høst 2004 ble det gjort en avtale med Statens vegvesen, Hamar distrikt, om tilsvarende teksturmålinger. Begge målebilene brukte ALFRED-systemet, med det samme laserutstyret, og hadde samme programpakke for teksturmålingene. Det ble ikke gjort noen spesiell kontroll av teksturdata ved skifte av målebil. I ettertid har en sett på måleresultater for to av de eldre vegdekkene (Ska14 (1996), Ska8 (2002)) målt i 2003 og 2004. Tanken var at teksturen for disse dekkene sannsynligvis ikke endret seg mye

over året. Dersom virkningen av bilskiftet er ubetydelig, ville en derfor se små endringer i spekter fra 2003 til 2004.



Figur 6.10 Teksturspekter for Ska8 dekket målt i 2003 og 2004.



Figur 6.11 Teksturspekter for Ska14 dekket målt i 2003 og 2004.

Figurene viser rimelig godt sammenfallende teksturspektra for 2003 og 2004 for begge dekketyperne. Dette indikerer liten innvirkning av bilbyttet. Noe forskjell må påregnes, på grunn av statistisk usikkerhet i spektermålingen, se Figur 2.1.

6.3 Resultater 2004

6.3.1 Tilgjengelige data

For teksturmålingene utført høsten 2004 ble det gjort en del resultatsammenstillinger. Fra støymålingene har vi CPX-nivåer (L_{CPX}) målt med bildekk A (Avon/Cooper ZV1 185/65 R15). Dersom vi skiller mellom felt 1 og felt 2 for vegstrekningene har vi støy og teksturdata for 18 vegdekker. Dette inkluderer de nå 1 år gamle tynndekkerne i Rasta-feltet og eldre dekker i området, se oversikt i Tabell 4.1 med data merket "H04".

I det følgende presenteres og diskuteres en del sammenhenger mellom støy og teksturdata, og mellom ulike teksturdata. Utgangspunktet er støy og avledete teksturdata som vist i Tabell 6.3

Tabell 6.3 Data fra støy- og teksturmålinger høsten 2004

Type	Lcpx dB(A)	Alder mnd	Mpd mm	G-fk %	Rms	rsk	rku	Max mm	Ltx80 dB	Ltx63 dB	Ltx32 dB	Ltx8 dB	Ltx5 dB
ska8 f1	92.20	12.00	0.51	58.00	0.27	-0.20	5.19	8.00	39.30	39.56	41.70	40.90	38.80
ska8 f2	91.80	12.00	0.37	68.20	0.22	-0.57	3.85	8.00	37.50	38.20	39.90	39.50	38.30
ab6 f1	92.70	12.00	0.56	62.00	0.31	-0.32	3.75	6.00	41.00	41.88	43.80	42.00	39.20
ab6 f2	92.20	12.00	0.60	65.30	0.34	-0.52	4.02	6.00	43.50	43.20	44.70	42.20	39.70
ska11 f1	94.00	12.00	0.80	55.60	0.40	-0.17	3.71	11.00	44.60	45.26	46.40	43.20	40.00
ska11 f2	93.50	12.00	0.88	47.80	0.41	0.11	3.43	11.00	44.30	44.60	47.30	44.10	40.10
ab6 f1	92.40	12.00	0.57	64.36	0.31	-0.45	3.92	6.00	39.60	40.70	43.90	42.70	39.40
ab6 f2	92.50	12.00	0.64	66.10	0.36	-0.51	3.97	6.00	42.90	43.28	46.00	43.70	40.50
ska8 f1	92.40	12.00	0.41	67.00	0.24	-0.54	4.07	8.00	37.90	38.75	40.90	40.20	38.60
ska8 f2	92.10	12.00	0.61	64.60	0.34	-0.45	3.67	8.00	42.60	42.97	44.80	43.60	40.40
ska14 f1	94.80	96.00	0.77	52.10	0.42	-0.04	4.16	14.00	45.00	45.50	47.80	43.80	40.90
ab8 f1	94.10	48.00	0.64	53.70	0.33	-0.07	4.15	8.00	42.60	43.73	45.50	41.60	38.80
ab8 f2	94.00	48.00	0.82	59.50	0.43	-0.22	4.15	8.00	46.00	46.49	48.00	43.90	40.40
ab11 f1	92.60	24.00	0.62	53.90	0.30	-0.07	4.55	11.00	40.90	41.78	43.60	42.00	39.30
ska8 f1	91.80	24.00	0.37	59.20	0.19	-0.26	4.83	8.00	34.30	35.12	37.50	38.60	37.30
ska8 f2	92.30	24.00	0.35	64.80	0.19	-0.54	5.27	8.00	34.30	35.25	37.30	39.50	38.30
ska11 f1	93.60	12.00	0.73	66.60	0.40	-0.36	4.34	11.00	42.70	43.16	46.00	44.60	41.30
ska14 f1	94.80	60.00	0.62	56.20	0.33	-0.11	4.18	14.00	42.30	42.87	45.10	41.70	39.10

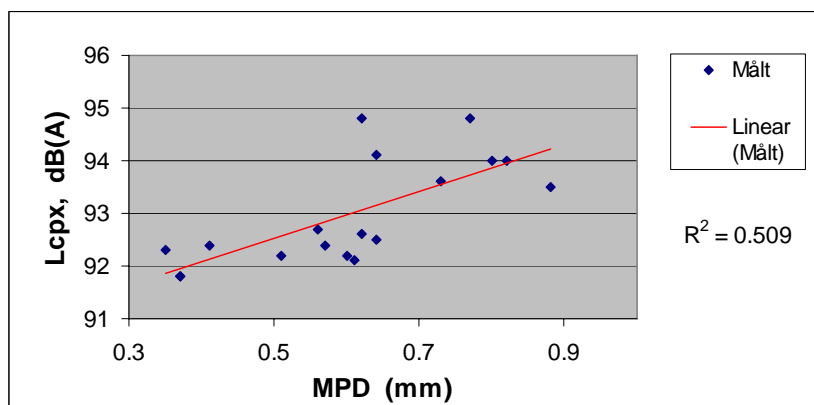
Se kapittel 3.3 for forklaringer. Ltx80 angir teksturnivå i et oktavbånd med angitt senterbølgelengde 80 mm, osv.

6.3.2 Noen sammenhenger

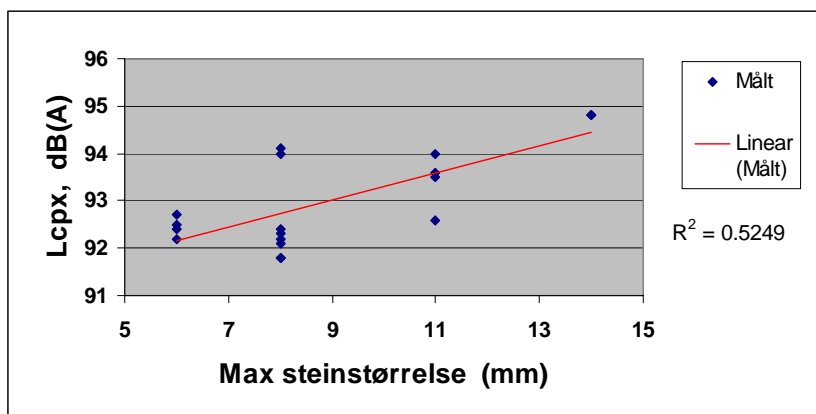
6.3.2.1 Støy og teksturparametere

Her undersøkes om A-veide cpx-nivåer kan ha signifikant korrelasjon med enkelte av teksturparametrene.

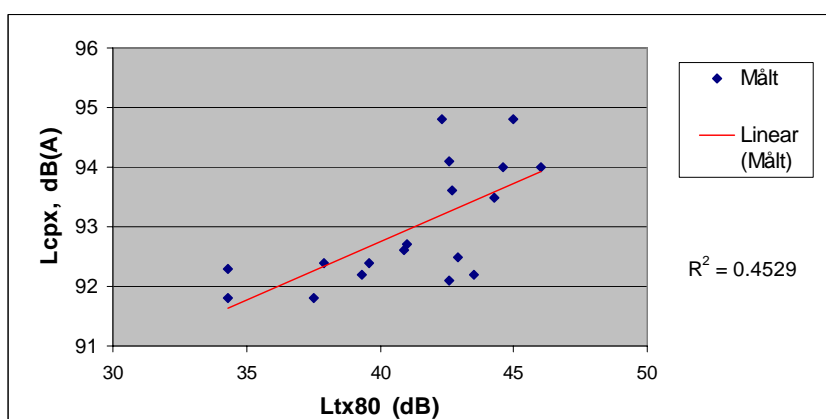
I de følgende figurer vises lineær regresjonssammenheng mellom Lcpx (A-veid) og parametrene Mpd, max steinstørrelse, G-faktor, Ltx80, Ltx32 og Ltx8, enkeltvis. I tillegg vises sammenheng mellom enkelte av teksturparametrene.



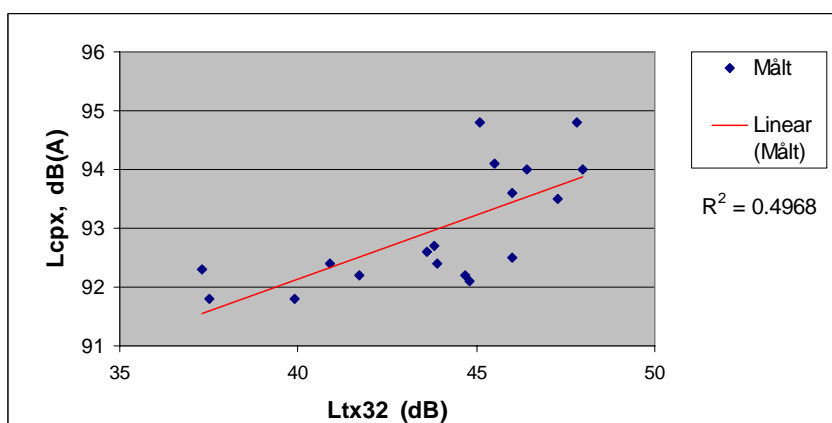
Figur 6.12 Sammenheng mellom Lcpx og Mpd



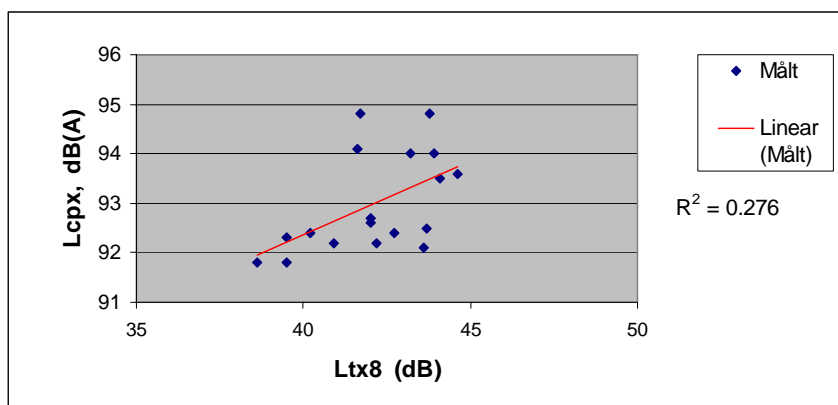
Figur 6.13 Sammenheng mellom L_{cpX} og max steinstørrelse



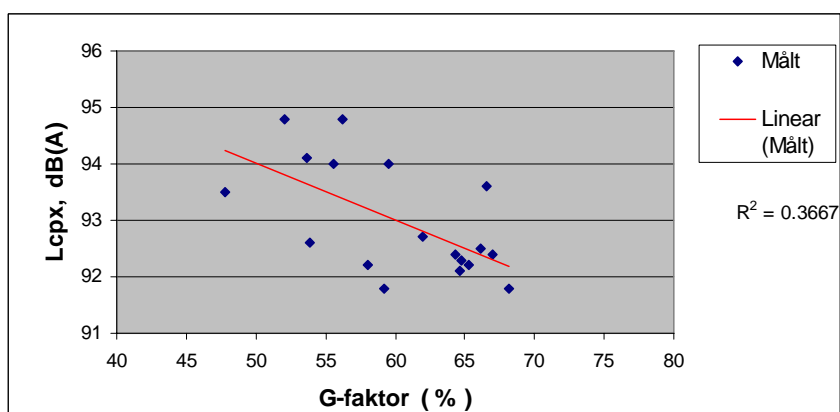
Figur 6.14 Sammenheng mellom L_{cpX} og L_{tx80}



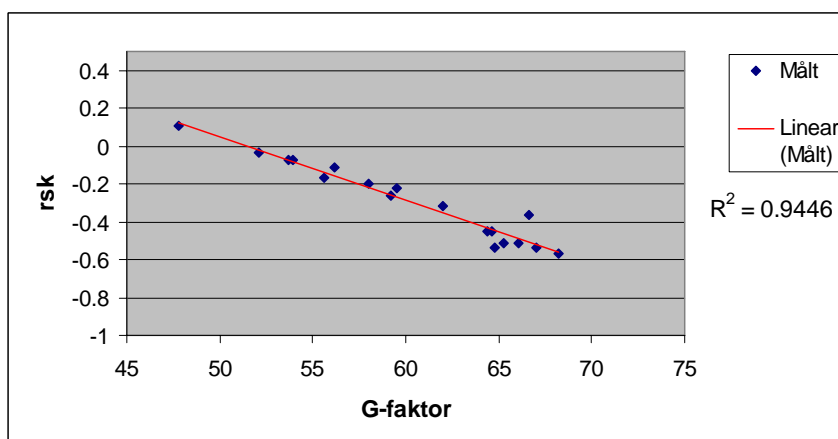
Figur 6.15 Sammenheng mellom L_{cpX} og L_{tx32}



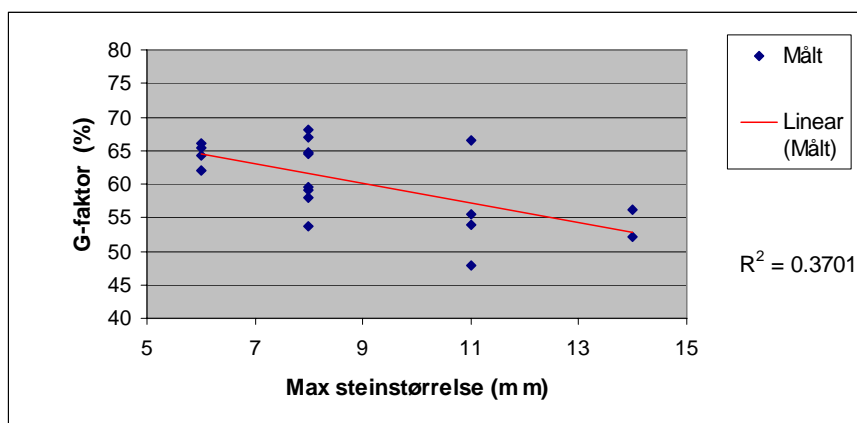
Figur 6.16 Sammenheng mellom L_{cpX} og L_{tx8}



Figur 6.17 Sammenheng mellom L_{cpX} og G-faktor



Figur 6.18 Sammenheng mellom r_{sk} (Skewness) og G-faktor



Figur 6.19 Sammenheng mellom G-faktor og max steinstørrelse

Signifikansnivået for regresjonsberegningene er beregnet ved siden av forklart varians (R^2) ved enkel regresjonsanalyse. Signifikansnivået bør være 0.05 eller lavere for at materialet skal gjenspeile en statistisk sammenheng, og ikke en tilfeldighet.

Forutsatt at antall datapunkter (uavhengige vegdekker i forsøket) er 18, vil resultatet være signifikant for alle sammenhenger vist på Figur 6.12 – 6.17. Men resultatet i Figur 6.15 og 6.16 har en forholdsvis svak signifikans.

Denne undersøkelsen var i utgangspunktet basert på å belyse noen sammenhenger ved enkel lineær regresjon uten å gå inn på problematikk og muligheter ved bruk av flere samtidige uavhengige parametere. Det bør derfor knyttes noen kommentarer til resultatene.

Resultatene i Figur 6.12 – 6.17 viser at Lcpx har en rimelig sikker sammenheng med flere parametre. Primærparameteren er max steinstørrelse som er en fysisk størrelse. Forklart varians for Lcpx med denne parameteren er 52 %. Omtrent det samme oppnås når en ser på sammenhengen mellom Lcpx og Mpd, og noe mindre for sammenhengen med teksturnivåene Ltx80 og Ltx32. Det er bare svak sammenheng mellom Lcpx og Ltx8, og forholdsvis svak sammenheng mellom Lcpx og G-faktor. Men i siste tilfelle er tendensen som ventet, en høyere G-faktor gir lavere støynivå.

Resultatene viser at ingen enkeltparameter gir full forklaring på variasjonene i Lcpx. Det kan være at en kombinasjon av parametere gir bedre forklaring, eller at det er mye ”støy” i datamaterialet som kan ha med kvaliteten på innsamlede data å gjøre. En må også regne med at utvalget vegdekker i denne begrensede undersøkelsen ikke dekker variasjonene i teksturverdiene tilstrekkelig.

Tilleggsanalyser viser at det er sterk korrelasjon mellom Mpd og Ltx80 - Ltx8, men liten korrelasjon mellom Mpd og max steinstørrelse.

Figurene 6.18 og 6.19 viser andre interessante forhold. Figur 6.18 viser at G-faktor er sterkt korrelert med profilhøydenes skjevhet (skewness) som er en innarbeidet beskrivelse av en egenskap ved fordelingsfunksjoner.

I Figur 6.19 vises det en svak tendens til at G-faktoren avhenger av max steinstørrelse. Her skal en være svært forsiktig med tolkninger på et så lite materiale. En ujevn fordeling av max steinstørrelse mht alder (og dermed slitasje og endring i G-faktor) kan være avgjørende.

6.3.2.2 Eksempel på modellering av sammenhengen mellom støy og tekstur

I en multippel regresjonsanalyse ville det være naturlig å bruke to (nesten) ukorrelerte variable som uavhengige variable, i dette tilfellet max steinstørrelse og en av variablene Mpd, Ltx80 eller Ltx32.

En slik multippel regresjon ble gjennomført som en test av mulighetene. Variablene max steinstørrelse og Ltx80 var uavhengige variable, og Lcpx var den avhengige variable.

Datagrunnlaget i Tabell 6.3 ble lagt inn i statistikkpakken SPSS, v15, [14]. Med disse to uavhengig variablene ble ca. 70 % av variansen i Lcpx forklart. Regresjonsmodellen kan skrives:

$$Lcpx(\text{mod}) = 85.2 + 0.22(\text{max steinstørrelse}) + 0.14(\text{Ltx80})$$

med en anslått usikkerhet (std. avvik) på $\pm 0.6 \text{ dB(A)}$.

Dersom Ltx80 byttes ut med Mpd, fås en modell som er bare marginalt dårligere enn den første:

$$Lcpx(\text{mod}') = 89.4 + 0.2(\text{max steinstørrelse}) + 3.1(\text{Mpd})$$

Ett poeng ved å bruke Mpd er at man trenger ikke gjøre en frekvensanalyse, men basisregistreringen er den samme.

En test i dette materialet viste at *max steinstørrelse* gir et noe større bidraget til forklart varians hos Lcpx enn Ltx80/Mpd.

6.3.3 Kommentarer

Analysene ovenfor må betraktes som eksempler på muligheter. Den viktigste grunnen til dette er at datamengden på 18 vegdekker er liten. Den er liten for å fungere som et representativt utvalg vegdekker, som kan gi almenngyldige resultater. Den er også liten for å kunne håndtere 2 variable i statistisk sammenheng, i hvert fall for multippel regresjon. Dessuten brukes data fra både felt 1 og felt 2 (med antatt samme masse ved utleggingen) som kan påvirke uavhengigheten noe. Sammenhengen mellom støy og teksturparametere kan raffineres ved å bruke multippel regresjon. For sikker modellering settes det krav til datasettets størrelse, som generelt bør være mye større enn de 18 vegdekkene som inngår i eksempelberegningen ovenfor.

I eksempelet ovenfor har en data for ulike teksturparametere, men bare én fysisk variabel ved max steinstørrelse. Dersom en gjør en ny teksturmåling på et vegdekke som ligger i den aktuelle gruppen, vil en kunne forutsi støyen etter sammenhengen gitt ovenfor. Men utover steinstørrelsen har en ingen muligheter til å få fram andre fysiske forhold ved vegdekket som kan kobles til støyen. En slik mer detaljert analyse krever at en også har spesifisert et antall vegdekkeparametere som karakteriserer de enkelte vegdekkene (for eksempel punkter på kornkurve, hulrom, bindemiddeltipe, bindemiddelmengde, data for slitasje (Trøger, Kulemmølle), etterbehandling, osv.).

Dette kan være et område for nærmere undersøkelser senere.

7 Begrensninger

De viktigste begrensningene ved disse pilotmålingene av tekstur ligger i målemetode, feilkontroll og analysemetoder.

Målemetoden er direkte overtatt fra ATI's teksturmåling beregnet på kontroll av rullebaner.

Utstyret er beregnet på spor- og jevnhetskontroll (Alfred), og bruker det lasersystemet (Selcom 32 kHz) som er installert for dette. Det aktuelle bølgelengdeområdet for våre formål er muligens ikke optimalt. Senere undersøkelser har påvist noe egenstøy ved små bølgelengder. I presentasjonen er derfor bølgelengdeområdet begrenset nedover til 2 mm. For vegdekker med liten tekstur (eldre, slitte overflater) kan det minste bølgelengdeområdet fortsatt være påvirket.

Opprinnelig var teksturmålingene i 2003-04 analysert med en første versjon av analyseprogram basert på en enkel diskret Fouriertransform for frekvensanalyse, men uten dropout-kontroll. Alle målinger er reanalysert med en programversjon som har enkel dropout-kontroll. Deler av målingene i 04 er analysert med en nyere programversjon med dynamisk dropout-kontroll, og en bedre tilpasset frekvensanalyse.

Som tidligere nevnt baserer målemetoden på et antall målestrekninger á 2.6 m lengde. Dette var tungvint både under målingene og under analysen. Dette satte en praktisk grense på 6 slike strekninger (dvs ca. 15.5 m total målelengde) pr. vegdekke, for å kunne håndtere datamengden. Som vist i Figur 2.1 er konsekvensen av dette en relativt større usikkerhet i resulterende teksturspekter ved bølgelengder over ca. 30 mm.

8 Oppsummering

Erfaringene som ble oppnådd under målingene i 2003-04 viste at det var mulig å få fram teksturdata, via ALFRED-systemets laserregistreringer. Enkle analyseprogram (testversjoner) ble utviklet for enkeltparametre (Mpd, G-faktor) og teksturspektra. Målemetoden (og påfølgende analyse) viste seg å være ganske arbeidskrevende. I tillegg så en behovet for å legge inn kontroll med dropouts i analysedelen. Det pågikk derfor en utvikling i analysedelen. Det meste av datamaterialet er derfor analysert flere ganger. Denne utviklingen bør fortsette. Detaljresultater fra analysen er lagt i en egen rapport [3]. Et eksempel på datapresentasjon i denne rapporten er vist i Vedlegg 1.

Teksturmålingene ble gjennomført på 6 nylagte (i 2003) tynndekker på Rastafeltet, og på 6 eldre vegdekker, alle i området omkring Kongsvinger. Målingene ble fulgt opp over et år.

Resultatene viste en overraskende stor endring i teksturparametre og –spektre i løpet av det første året, eller over den første vinteren. For eldre vegdekker har en sett på støyens avhengighet av enkelte teksturparametre. Det er også vist hvordan en kan utvikle multiple regresjonsmodeller for å beskrive en best mulig sammenheng mellom støy og teksturparametre. Det ble kommentert at en i framtidige analyser bør kunne kombinere teksturdata og direkte vegdekkedata for om mulig å undersøke koplingen mellom støy og vegdekkedata mer i detalj.

Resultater fra denne undersøkelsen er tidligere presentert på en internasjonal konferanse, og på et antall nordiske og norske fagmøter.

9 Referanser

- [1] Svein Å. Storeheier:
Investigation on road surface texture levels in tyre/road noise mitigation.
Presentasjon ved Inter-Noise 2004, Praha 22-25 August 2004.
- [2] Truls Berge, Svein Å. Storeheier, Asbjørn Ustad:
Miljøvennlige vegdekker. Resultater fra støy- og teksturmålinger på vegdekker i
Kongsvingerområdet, 2004.
SINTEF rapport STF90 A05109, August 2005.
- [3] Svein Å. Storeheier:
Teksturmålinger på veger i Kongsvingerområdet høsten 2003, våren 2004 og høsten 2004.
Detaljerte resultater fra profil- og spektralanalyse.
SINTEF IKT.
SINTEF A100, Rapport, april 2006.
- [4] Svein Å. Storeheier:
Measurement and evaluation of road surface texture. Some norwegian experiences.
Presentasjon ved Nordisk samarbeidsmøte, DRI, Fløng, Danmark 2006-05-22.
- [5] Svein Å. Storeheier:
Measurement and evaluation of road surface texture – further norwegian experience.
Presentasjon ved Nordisk samarbeidsmøte, Vegdirektoratet, Oslo 2007-02-14.
- [6] Svein Å. Storeheier:
Måling og vurdering av tekstur i vegoverflater og kopling til støy.
Presentasjon ved Vegdirektoratets teknologidager, Rica Hotell, Stjørdal, 2006-09-14.
- [6b] Svein Å. Storeheier:
Undersøkelse av tekstur i vegdekker.
Presentasjon ved Vegdirektoratets teknologidager, Britannia Hotell, Trondheim, 2008-09-10.
- [7] ISO 13473-2 "Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 2:
Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis".
- [8] "Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch". Forschungsbericht FE-
Nr. 03-293/1995/MRB, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach, 15.06.2001.
(Sperenbergundersøkelsen).
- [9] Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont : "Tyre/road noise reference book", kap. 19.3.1 , Informex,
ISBN 91-631-2610-9, 2002.
- [10] T. Berge, A. Ustad:
Vegdekkers støyegenskaper. Foreløpige resultater fra målinger på norske vegdekker.
SINTEF Rapport STF90 A04006, januar 2004.

- [11] First ISO/CD 13473-4 "Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 4: Spectral analysis of texture profiles" (CD by 2004-02-04)
- [12] ISO 13473-1:1997(E) "Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of mean profile depth".
- [13] J. S. Bendat & A. G. Piersol :
Random data: Analysis and measurement procedures.
Kap. 9.6 . Power spectral density functions.
Wiley-Interscience, 1971.
- [14] SPSS Version 15 statistikkpakke, for Windows

Vedlegg 1 Presentasjon av teksturdata

Rasta Ska8(1), felt 1, 2003

Senter- bølgelengde mm	Ltx, dB re 1 μ m		a (rms) , μ m			Profilparametre	
	1/3-okt	Stdav (Ltx)	1/1-okt	1/3-okt	1/1-okt		
315.0	37.5	4.1		75.3		mid MPD	0.99
250.0	38.5	4.2	43.4	84.5	147.9	mm	
200.0	39.6	2.8		95.2		mid G	78.45
160.0	39.3	2.5		92.3		%	
125.0	40.1	1.5	44.4	101.2	165.7		
100.0	39.4	2.3		93.2		mid rms	0.64
80.0	40.1	1.9		101.5		mm	
63.0	41.5	1.3	46.9	118.7	222.5		
50.0	44.0	2.1		158.5		mid rsk	-0.97
40.0	43.8	1.5		155.2		skewness	
31.5	45.2	1.5	50.1	182.2	318.3		
25.0	46.4	1.9		209.9		mid rku	4.49
20.0	46.0	0.9		200.6		kurtosis	
16.0	46.8	1.0	51.5	219.2	375.0		
12.5	47.2	0.6		228.8			
10.0	45.3	0.7		184.1			
8.0	44.3	0.5	49.0	164.4	282.9		
6.3	42.8	0.5		138.3			
5.0	40.7	0.5		108.9		ERNL, dB	
4.0	38.9	0.6	44.0	88.0	159.3		
3.2	37.6	1.0		76.0			71.1
2.5	36.5	0.9		67.2			
2.0	35.4	0.7	40.3	58.6	103.7		
1.6	34.5	1.0		53.0			
1.3	34.1	1.3		50.4			
1.0	32.7	0.9	37.7	43.3	76.7		
0.8	31.7	1.4		38.3			

