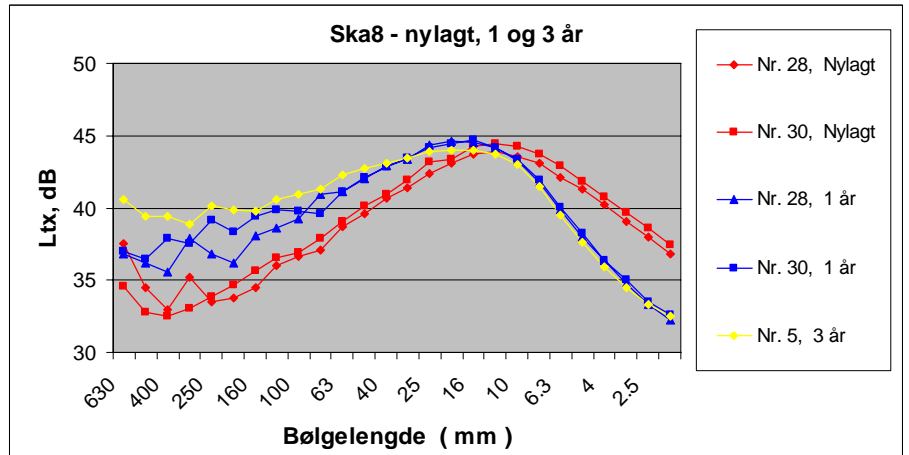


RAPPORT



Miljøvennlige vegdekker:

Resultater fra teksturmålinger 2006 - 2008

Svein Å. Storeheier

SINTEF IKT

Mai 2009



SINTEF RAPPORT

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

TITTEL

Miljøvennlige vegdekker:

Resultater fra teksturmålinger 2006 – 2008.

FORFATTER(E)

Svein Å. Storeheier

OPPDRAKSGIVER(E)

Statens vegvesen Vegdirektoratet,
Norges forskningsråd

RAPPORTNR. SINTEF A10917	GRADERING Åpen	OPPDRAKSGIVERS REF. Jostein Aksnes	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-14-04425-6	PROSJEKTNR. 90E239/90E266	ANTALL SIDER OG BILAG 66 / 2
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF_A10917.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Svein Å. Storeheier <i>S.A. Storeheier</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Truls Berge <i>Truls Berge</i>	
ARKIVKODE	DATO 2009-05-03	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Odd Kr. Ø. Pettersen <i>Odd Kr. Ø. Pettersen</i>	

SAMMENDRAG

Det ble gjennomført teksturmålinger (2D) på et større antall vegdekker i perioden 2006 -08 i tilknytning til etatsprosjektet "Miljøvennlige vegdekker", gjennomført i regi av Statens vegvesen. Rapporten refererer til de målerutiner som er etablert i tidligere fase av prosjektet, og gjennomgår kort de viktigste størrelsene for tekstur. På et utvalg av 37 vegdekker tett asfalt er det gjort ulike typer undersøkelser. Hovedpunktene i undersøkelsen skulle belyse:

- Generelt om tekstur i vegoverflaten,
- Sammenhenger mellom støy og teksturdata, evt. materialdata for vegdekket,
- Utvikling i tekstur over tid, spesielt i løpet av det første året, samt gi
- Eksempler på teksturdata for de vanligste dekketyperne.

Undersøkelsene er begrenset til støy fra ett bildekk (referansedekk A), og til rullehastigheten 50 km/t. Undersøkelsen omfatter ikke porøse dekker. Det er samlet inn materialdata for alle vegdekkene. Teksturdata for alle dekkene er gitt som teksturspektra med teksturrelevante parametere som tillegg. Resultatene viser ganske stor spredning. Statistikkundersøkelsen viste at støyen kan modelleres rimelig sikkert dersom teksturdata (teksturparametere) finnes. Analysen gir også indikasjoner på at disse teksturparameterene statistisk sett kan avhenge av materialparametere og piggekkandel.

Utviklingen av tekstur fra nylagte dekker til eldre viste et ganske klart mønster. Teksturspekteret endres markert i løpet av det første året. Endringen er ugunstig for støy. Rapporten avsluttes med forslag til videre arbeid med bakgrunn i erfaringer fra prosjektet.

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

Forord

Dette arbeidet er finansiert av Statens vegvesen, Vegdirektoratet, gjennom etatsprosjektet "Miljøvennlige vegdekker", og Norges forskningsråd gjennom prosjektet "Environmental Noise Phase III".

Kontaktperson hos Vegdirektoratet har vært Jostein Aksnes, som også er prosjektleder for etatsprosjektet. Ingunn Milford har vært prosjektleder for området støy/tekstur i Vegdirektoratet. Statens vegvesen, Region Midt, Geodataseksjonen ved tekniker Bjørn Ove Ofstad, har bidratt med alle teksturmålingene. Forsker Truls Berge ved SINTEF IKT har vært ansvarlig for innsamling og tilrettelegging av alle støydata som er brukt i denne rapporten. Prosjektleder hos SINTEF IKT har vært seniorforsker Svein Å. Storeheier.

Summary in English

Measurements of road surface texture (2D) were carried out on a great number of pavements in Norway during the period of 2006 – 2008. This work was part of the R&D project “Environmentally friendly pavements” run by the Norwegian Public Roads Administration.

This report makes reference to measurement methods and validations that were established in an early phase of the project. Shortly, it summarises the main features of road surface texture, and the technical units involved.

On a selection of 37 asphalt pavements (dense type, age 1 year or more) and 8 new-laid pavements, several investigations were carried out. The main purpose was to increase knowledge concerning:

- Texture in dense road surfaces and its influence in general,
- Investigate - if possible – the relation between texture and noise (by the CPX-method), possibly also some connection between texture and pavement parameters,
- The development of texture in time, especially during the first year of operation,
- Give examples of texture data for common Norwegian dense pavements.

The investigation had some considerable restrictions. It was limited to noise from only one car tyre (the reference tyre A), rolling at only one speed (50 km/h). Further, no porous pavements were included.

The parameters of the pavements (concerning for instance the binder, chipping size, resistance to wear, additions, etc.) were collected.

The texture data included the texture spectrum, and a number of texture related parameters (for instance Mpd, G-factor).

The results showed great variation in texture data from each type of pavement, and also between the pavement types.

The noise levels, texture data and pavement parameters formed a basis for statistical treatment. A simple regression analysis showed that CPX-noise can be modelled with reasonable accuracy based on measured texture data. The analysis in some cases indicates a connection between texture data and pavement parameters.

The development in texture from new-laid pavements showed a relatively unambiguous pattern. The texture spectrum changes markedly during the first year. This change tends to increase the noise.

The report gives some preliminary suggestions regarding the work further on, based on the experiences so far.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	BAKGRUNN	7
2	INNLEDNING.....	8
3	TEKSTURDATA	10
3.1	MÅL FOR TEKSTUR	10
3.2	TEKSTURDATA AVLEDET FRA VEGENS OVERFLATEPROFIL	11
3.3	ENKEL MODELL FOR TEKSTURGENERERT STØY	11
4	TEKSTUR OG STØY, DATAINNSAMLING	12
4.1	TEKSTUR	12
4.2	STØY	12
5	VEGDEKKER I UNDERSØKELSEN.....	13
6	OPPLEGG FOR UNDERSØKELSEN	15
6.1	PROBLEMSTILLINGER	15
6.2	BEGRENSNINGER.....	15
6.3	DATA OG NOMENKLATUR	15
7	TEKSTUR GENERELT	18
7.1	TEKSTURENDRING I VEGOVERFLATEN	18
7.2	GENERELLE TREKK VED TEKSTURDATA	19
7.2.1	<i>Teksturspektra og steinstørrelse</i>	<i>19</i>
7.2.2	<i>Eksempel på registrering av profilhøyder og beregning av løpende Mpd og G-faktor.</i>	<i>21</i>
7.3	SAMVARIASJON MELLOM STØY OG TEKSTUR.....	22
8	TEKSTURDATA FOR ULIKE VEGDEKKETYPEN.....	24
8.1	DATA.....	24
8.2	FORELØPIGE KOMMENTARER TIL DATA	28
9	STATISTISK ANALYSE FOR SAMMENHENG MELLOM TEKSTUR OG STØY	30
9.1	HENSIKT	30
9.2	GRUPPER AV DATA	30
9.3	STATISTISKE SAMMENHENGER VED LINEÆR REGRESJON	30
9.3.1	<i>A-veid støy, sammenheng med én teksturvariabel.....</i>	<i>31</i>
9.3.2	<i>A-veid støy, sammenheng med flere teksturvariable.....</i>	<i>33</i>
9.3.3	<i>Sammenheng mellom støy/teksturdata, og trafikk/vegdekkedata.....</i>	<i>34</i>
9.3.3.1	<i>Lcpx (A-veid) som avhengig variabel, Dmax konstant</i>	<i>34</i>
9.3.3.2	<i>DL som avhengig variabel.....</i>	<i>35</i>
9.3.3.3	<i>Teksturparametere Ltx80 og Ltx5 som avhengige variable.....</i>	<i>36</i>
9.3.3.4	<i>Andre statistiske sammenhenger.....</i>	<i>37</i>
10	TEKSTUR- OG STØYDATA FOR NYLAGTE VEGDEKKER – KORT OVERSIKT.....	38
11	UTVIKLING I TEKSTUR.....	41
11.1	BAKGRUNN	41
11.2	UTVIKLING I TEKSTURSPEKTER	41
12	SPESIELLE TEKSTURDATA.....	46
12.1	RESULTATER FRA E18 MASTEMYR	46
12.2	TEKSTURVARIASJONER LANGS VEGEN.....	47
13	REPETERBARHET VED TEKSTURMÅLINGER	49

14	OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER.....	51
15	VIDERE ARBEID.....	54
15.1	RESULTATER FOR TESTDEKK SRTT	54
15.2	OPPFØLGINGSDATA.....	54
15.3	UTVIKLING AV MATERIALPARAMETERE	54
16	REFERANSER.....	56
VEDLEGG 1		58
PARAMETERE FOR TEKSTUR, STØY, TRAFIKK OG VEGDEKKER		58
VEDLEGG 2		65
FORUTSETNINGER FOR STATISTISK ANALYSE.....		65

Figurer

<i>FIGUR 1</i>	<i>TEKSTURSPEKTER FOR NYLAGT SKA8 (2007), 2007.....</i>	<i>10</i>
<i>FIGUR 2</i>	<i>NYLAGT SKA8-DEKKE, AUGUST 2005.....</i>	<i>18</i>
<i>FIGUR 3</i>	<i>SKA8-DEKKET I 28 FEBRUAR 2006</i>	<i>18</i>
<i>FIGUR 4</i>	<i>SKA8-DEKKET 30 MAI 2008.....</i>	<i>19</i>
<i>FIGUR 5</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FRA RV. 715, TROLLA, SOMMEREN 2006</i>	<i>20</i>
<i>FIGUR 6</i>	<i>A) PROFILREGISTRERING MED FEILDATA B) REGISTRERING AV MPD OG G</i>	<i>21</i>
<i>FIGUR 7</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA VED OVERGANG FRA NYLAGT TIL ELDRE VEGDEKKE</i>	<i>22</i>
<i>FIGUR 8</i>	<i>KORRELASJONSFAKTOR R MELLOM STØY OG TEKSTURDATA,</i>	<i>23</i>
<i>FIGUR 9</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR AB6</i>	<i>25</i>
<i>FIGUR 10</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR AB8</i>	<i>25</i>
<i>FIGUR 11</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR AB11, AGB16.....</i>	<i>26</i>
<i>FIGUR 12</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR SKA6</i>	<i>26</i>
<i>FIGUR 13</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR SKA8</i>	<i>26</i>
<i>FIGUR 14</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR SKA11</i>	<i>27</i>
<i>FIGUR 15</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR SKA16</i>	<i>27</i>
<i>FIGUR 16</i>	<i>TEKSTURSPEKTRER FOR DIVERSE 8 MM DEKKER.....</i>	<i>27</i>
<i>FIGUR 17</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR RV. 715 – TROLLA, (2008)</i>	<i>28</i>
<i>FIGUR 18</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR E18 MASTEMYR, (2008).....</i>	<i>28</i>
<i>FIGUR 19</i>	<i>MÅLEDATA OG REGRESJONSMODELL FOR LCPX.</i>	<i>34</i>
<i>FIGUR 20</i>	<i>MÅLEDATA (Y) OG REGRESJONSMODELL (X) FOR LCPX, NYLAGTE VEGDEKKER.</i>	<i>38</i>
<i>FIGUR 21</i>	<i>VEGDEKKE NR. 20, VIAQ8, RV 2 RASTA, LAGT I 2006.</i>	<i>41</i>
<i>FIGUR 22</i>	<i>VEGDEKKE NR. 28, SKA8, E6 STJØRDAL, LAGT I 2007.</i>	<i>42</i>
<i>FIGUR 23</i>	<i>VEGDEKKE NR. 29, SKA11, E6 STJØRDAL, LAGT I 2007.</i>	<i>42</i>
<i>FIGUR 24</i>	<i>VEGDEKKE NR. 30, SKA8, E6 TUNGA – GRILSTAD, LAGT 2007. FELT 2, SPOR YTRE.</i>	<i>42</i>
<i>FIGUR 25</i>	<i>VEGDEKKE NR. 31, SKA11, E6 TUNGA – GRILSTAD, LAGT 2007.</i>	<i>43</i>
<i>FIGUR 26</i>	<i>VEGDEKKE NR. 32, T8S, RV. 20, ELVERUM, LAGT 2007.</i>	<i>43</i>
<i>FIGUR 27</i>	<i>VEGDEKKE NR. 71, SKA11, E6 OMKJØRINGSVEGEN, LAGT I 2006.</i>	<i>43</i>
<i>FIGUR 28</i>	<i>VEGDEKKE NR. 72, SKA11, E6 TUNGA – GRILSTAD, LAGT 2008.</i>	<i>44</i>
<i>FIGUR 29</i>	<i>UTVIKLING I TEKSTURSPEKTER FOR SKA8 VEGDEKKER</i>	<i>44</i>
<i>FIGUR 30</i>	<i>UTVIKLING I TEKSTURSPEKTER FOR SKA11 VEGDEKKER</i>	<i>45</i>
<i>FIGUR 31</i>	<i>TEKSTURSPEKTRA FOR SKA11-DEKKER.....</i>	<i>46</i>
<i>FIGUR 32</i>	<i>MÅLTE VARIASJONER I STØYNIVÅ FOR VEGDEKKE NR. 35 (UNDER), OG.....</i>	<i>47</i>
<i>FIGUR 33</i>	<i>VARIASJONSOMRÅDE FOR TEKSTURSPEKTRA (20 M) PÅ VEGSTREKNINGER</i>	<i>48</i>
<i>FIGUR 34</i>	<i>RESULTATET FRA 5 MÅLEGJENTAK, DEKKE NR. 71 FELT 4 YTRE SPOR, MÅLT I 2007</i>	<i>49</i>
<i>FIGUR 35</i>	<i>RESULTATET FRA 5 MÅLEGJENTAK, DEKKE NR. 70, FELT 3 INDRE SPOR, MÅLT I 2008.....</i>	<i>49</i>
<i>FIGUR 36</i>	<i>STANDARDVAVIK FRA 5 MÅLEGJENTAK</i>	<i>50</i>
<i>FIGUR 37</i>	<i>STØYDATA FOR DEKK A OG DEKK SRTT, PÅ SAMME TEKSTUR</i>	<i>54</i>
<i>FIGUR 38</i>	<i>UTVIKLING I TEKSTURSPEKTER FOR SKA8 VEGDEKKER.....</i>	<i>55</i>

Tabeller

TABELL 5.1	OVERSIKT OVER FORSØKSDEKKER	13
TABELL 5.2	OVERSIKT OVER ORDINÆRE TETTE DEKKER	14
TABELL 7.1	VERDIER FOR TEKSTURPARAMETERE OG STØY, RV. 715 TROLLA, 2006	20
TABELL 8.1	NØKKELDATA FOR VEGDEKKER MÅLT I 2008	24
TABELL 9.1	INNDELING AV PARAMETERE	31
TABELL 9.2	STØY (A-VEID LCPX) OG AVHENGIGHET AV ENKELTVARIABLE. DATA FOR 37 VEGDEKKER.	32
TABELL 9.3	STØY (A-VEID LCPX) OG AVHENGIGHET AV FLERE VARIABLE	33
TABELL 9.4	EKSEMPLER PÅ MULIGE SAMMENHENGER FOR LTX80 OG LTX5 MED VARIABLE FRA TRAFIKK- ELLER VEGDEKKEMATERIALET	36
TABELL 10.1	STØY- OG TEKSTURDATA FOR NYLAGTE OG ELDRE VEGDEKKER. DMAX 8 MM.	39
TABELL 10.2	STØY- OG TEKSTURDATA FOR NYLAGTE OG ELDRE VEGDEKKER. DMAX 11 MM.	39
TABELL 12.1	NØKKELDATA FOR SKA11-DEKKER PÅ HHV. RV. 715 OG E18.	46
TABELL 13.1	VERDIER FOR STANDARDAVVIK VED 5 MÅLEGJENTAK PÅ 2 VEGDEKKER	50

1 Bakgrunn

I prosjektet ”Miljøvennlige vegdekker” i regi av Vegdirektoratets Teknologivdeling, og innenfor Forskningsrådets prosjekt ”Environmental Noise Phase III” ble det gjennomført teksturmålinger på mange av teststrekningene innenfor måleprogrammet for støy. Hensikten var både å kartlegge teksturdata for ulike typer vegdekker, og om mulig å finne sammenhenger mellom teksturdata og støy.

2 Innledning

Støy fra vegdekker varierer i løpet av dekkets levetid. Vanligvis finner man en viss økning i støy. For tette dekker skjer mye av støyøkningen i løpet av det første året. Tilsvarende vil man finne en endring i tekstur over tid. Sammenhengen mellom støy og tekstur for tette dekker, og utviklingen i slike data over tid (og spesielt det første året) er hovedtemaene i denne rapporten.

I tidligere rapporter for dette temaet [1, 2, 14] er det samlet erfaring via en pilotundersøkelse, og det er tilrettelagt måle- og analyserutiner for det utstyret som Statens vegvesen har stilt til rådighet. Dette utstyret gjelder egentlig måling av spor og jevnhet (tidligere målesystem ALFRED, og ViaPPS fra siste halvår 2006), og er ikke nødvendigvis optimalt for den støyrelaterte teksturdelen, som diskutert i [2].

Det er i prosjektet gjennomført støymålinger på et stort antall vegdekker. Det ideelle ville vært å ha fulgt opp samtlige støymålinger med samtidig måling av tekstur, med tanke på senere undersøkelse av sammenhenger mellom støy og tekstur. Dette har det ikke vært mulig å få til. I årene 2005-06 ble det utført ganske få teksturmålinger fordi ansvarsforholdene for slike målinger ikke var helt avklart. I tillegg var en uheldig med værforholdene som ofte ga fuktige vegoverflater (selv om de kunne se forholdsvis tørre ut). Fuktighet gir lett feil i laserregistreringen ved teksturmåling. Det tok også tid å utvikle tilrettelagte måle- og analyserutiner for forholdsvis effektiv behandling. Dette medførte at hovedtyngden av teksturmålingene er fra 2007 – 08, men i noe mindre omfang enn støymålingene. Det har ikke vært mulig i praksis å gjennomføre samtidige støy- og teksturmålinger. De respektive målebiler fra SVV var opptatt med sine oppgaver og planlagt samkjøring kunne ikke gjennomføres i noen stor grad. I 2007 kunne det gå opptil 4 uker mellom støy- og teksturmålinger på samme vegdekke. I 2008 var dette intervallet stort sett begrenset til 1-2 uker.

I databehandlingen har en lagt størst vekt på teksturresultatene fra 2008. Her gjøres det ulike korrelasjonsanalyser for støy og tekstur for 37 vegdekker, hvorav 28 var fra teststrekningene som var lagt for prosjektet, 9 var fra ordinære dekker hvor det også var målt tekstur. Disse måleresultatene gjelder da for dekker som er minst 1 år gamle.

I forbindelse med beskrivelsen av utvikling i tekstur over tid, var det nødvendig å bruke en del av 07-resultatene, og noen få av 06-resultatene. Teksturmålinger på 8 nylagte vegdekker kommer i denne gruppen. Teksturdata fra en måleserie i 2005 ble brukt i én spesiell valideringsundersøkelse, beskrevet i [3]. Problemet med datasett fra 2005-2006 var at måleutstyret i visse tilfeller hadde høy egenstøy.

Utgangspunktet for teksturmålingene var å samle 2D teksturdata for norske vegdekker. I tillegg skulle en undersøke sammenhenger mellom støy og tekstur, og finne utvikling i teksturdata over tid. En mulig kopling mellom støy og enkelte materialdata ble også forberedt. Det ble lagt ned et forholdsvis stort arbeide i å samle inn og strukturere slike data om vegdekkene. Statens vegvesen bidro vesentlig til denne innsamlingen. Utvalget av vegdekker for denne undersøkelsen er begrenset til tette dekker (eller til de dekkene som ikke er karakterisert som ”porøse”).

Et vesentlig spørsmål er knyttet til teksturutvikling i løpet av det første året. Det var ønskelig at denne undersøkelsen kunne belyse dette problemområdet noe nærmere. Uheldigvis ble mange av forsøksdekkene nylagt i 2005-06, i perioden hvor antallet gode teksturmålinger var begrenset. Vi har derfor bare et mindre utvalg data som kan egne seg i denne sammenhengen.

Teksturdata ble registrert over forholdsvis lange strekninger, opptil 5-800 m i noen tilfeller. Dette for å tilpasse til korresponderende støymålingene ved CPX-metoden. Tekstur- og støyregistreringene måtte gjøres over samme vegstrekning. Ulike metoder for posisjonsbestemmelse (kilometrering for tekstur, visuell registrering for støy) gjorde at det ble en del arbeid med denne tilpasningen.

Fra pilotforsøket beskrevet i [1] har vi noen indikasjoner på sammenhenger mellom støy og teksturparametere som det ville være aktuelt å arbeide videre med i denne undersøkelsen. Det ble der registrert en stor endring i teksturdata over første vinter. I tillegg er det indikasjoner på en sammenheng mellom CPX-støy og Ltx80 (teksturspekternivå i oktavbåndet med senterbølglengde 80 mm), og med Mpd (midlere profildybde).

3 Teksturdata

3.1 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 (effektspekter eller rms-verdien av amplituder) som funksjon av bølgelengde for svingningene. Vanlig framstilling er rms-amplituder (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 (630) mm, som er innenfor områdene makro- og megatekstur i vegteknisk sammenheng.

For beregning av teksturspektra ble anbefalingene i ISO/TS 13473-4 i hovedsak fulgt [4]. Det teoretiske utgangspunktet i denne undersøkelsen var ref. [5] for beskrivelse av høydevariasjonenes effektspekter. Effekt (rms amplitudeverdier kvadrert) ble summert i 1/3-oktav bølgelengdebånd for senterbølgelengder i området 2 – 315 (630) mm. Resulterende teksturspekter $L_{\text{tx},\lambda}$ i 1/3-oktav bølgelengdebånd ble gitt ved:

$$L_{\text{tx},\lambda} \text{ (dB)} = 20\log(a_{\lambda} / a_{\text{ref}}) \quad (3.1)$$

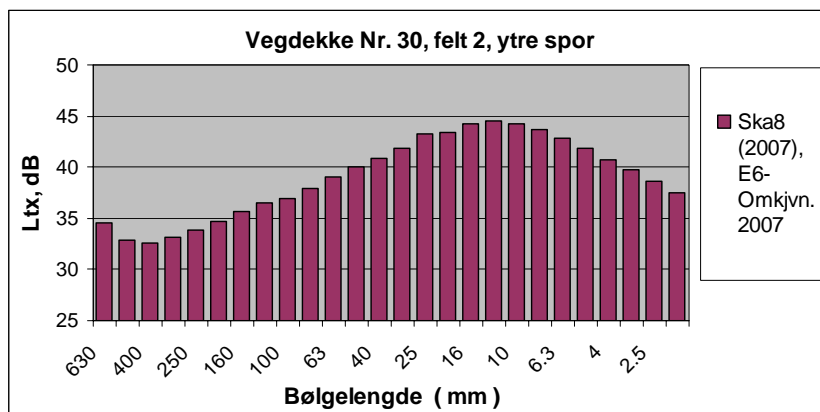
hvor :

$L_{\text{tx},\lambda}$ er tekturnivå i dB for 1/3- eller 1/1-oktavbånd (se tekst i kapittel 6.3) med senterbølgelengde λ (mm),

a_{λ} er rms amplitudeverdi 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 1 vises et eksempel på teksturspekter for et vegdekke lagt sommeren 2007, målt høsten 2007.



Figur 1 Teksturspekter for nylagt Ska8 (2007), 2007.

3.2 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 [6],
G-faktor	- formfaktor for vegoverflate, %, basert på kumulativ fordeling 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	- høydefordelingens skjevhet (”skewness”), mål på asymmetri. Negativ verdi trekker i samme retning som høy G-faktor.
Rku	- høydefordelingens ”kurtosis”, uttrykker fordelings ”spisshet” eller ”toppethet”.

Alle teksturparametrene er beregnet for hvert 10 cm intervall langs målestrekningen. Middelerverdier 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].

3.3 Enkel modell for teksturgenerert støy

I tillegg er det beregnet en verdi for ”Estimated Road Noisiness Level”, ERNL (dB), som uttrykker vegdekkets bidrag til A-veid støynivå fra et lett kjøretøy (dekk/vegbanestøy), 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, og simulerer en støytopp ved forbikjøring på 7.5 m avstand. Hovedpoenget med denne konstruksjonen er å vise teksturens innvirkning på støy, og gi en relativ vurdering av støyen ved tallverdier for ERNL, [9].

4 Tekstur og støy, datainnsamling

4.1 Tekstur

Hvordan selve teksturregistreringene ble gjort er beskrevet i detalj i [2]. For å sikre sporbare resultater ble hver enkeltregistrering identifisert med et filnavn som inneholdt informasjon om:

fylke, vegtype (riksveg, europaveg) og nr, hovedparsellnr, (veg) feltnr, sporangivelse (Ytre-, Mellom eller Indre spor), årstall og dato, klokkeslett for start registrering, km-fra, km-til.

I flere tilfeller lå teststrekningene etter hverandre over en lengre vegstrekning. Det ble da gjort én kjøring over totalstrekningen. Teststrekningene ble identifisert ved kilometreringsverdier. Teksturresultatene kunne tilpasses til støymålingene ved at det i ettertid under analysen av teksturregistreringene ble valgt ut samme strekning som under støymålingene. I tillegg skulle teksturmålingene gjøres i samme spor som støymålingene. Dette gjelder dataene i Vedlegg 1 som er utgangspunktet for statistikkbehandling.

4.2 Støy

Støyen ble målt etter CPX-metoden, med en spesiallaget tilhenger etter en instrumentert bil. Mikrofoner plasseres ved begge hjul i et støydempet rom hvor bare dekk/vegbanestøyen skal bidra. Dette opplegget med resultater er beskrevet i rapporten om støy. Støyen ved støynivå L_{CPX} , ble oppgitt som en energimiddelverdi i dB(A) rel. $20\mu\text{Pa}$ over 20 m segmenter langs prøvestrekningen. Prøvestrekningen var som regel 200 – 300 m lang. Generelt er støynivå for strekningen et aritmetisk middelnivå for 20 m-verdiene, og midlet over støy fra høyre og venstre hjul, ved kjøring i konstant hastighet. For sammenheng med tekstur er det brukt støynivå fra bildekket i det aktuelle spor.

For beskrivelse av metoder, målinger og støynivåer, se ref. [10].

5 Vegdekker i undersøkelsen

Det ble lagt 37 forsøksdekker i prosjektperioden. En oversikt over disse er vist i Tabell 5.1, hvor vegnr., sted, leggear, dekketype og –kategori er oppgitt. Det ble målt tekstur på 28 av disse teststrekningene, alle tette dekker. De vegdekkene som det ble målt tekstur på, er avmerket med røde Nr. Dette gjelder også i Tabell 5.2. De resultater som er brukt her, kommer fra målinger som stort sett er utført i 2008. Resultater fra 2007 ble brukt for 6 dekker (Nr. 13, 14, 15, 17, 43, 44). Dekker med Nr. merket med * er målt som nylagt vegdekke, altså i det oppgitte leggear.

Tabell 5.1 Oversikt over forsøksdekker

Nr.	Vegnr.	Sted	Leggear	Dekketype	Kategori
1 2 3 4 5 6	Rv715	Trolla, Trondheim	2005	Ab6 Ab8 Ab11 Ska6 Ska8 Ska11	Tette dekker
7 8	E6	Melhus	2005	Ska11, 1% gummi Ska11, 3% gummi	Tette dekker
9 10 11 12	E18	Oslo	2005	Ska6 Ska8 Ska11 Ska16	Tette dekker
13 14 15	E16	Hønefoss	2005	Ab6 Ab8 Ab11	Tette dekker
16 17 18 19	E6	Stange	2005	Ab6 T8g, gummi +pmb Wa8, pmb Da11, pmb	Tett dekke Tett dekke Porøst Porøst
20 * 21 *	Rv2	Kongsvinger	2006	ViaQ8, pmb T8s	Tynndekke
22 23	Rv161	Oslo	2006	Novachip8, pmb T8s, pmb	Tynndekke
24 25 26 27	Rv170	Bjørkelangen	2006	Da11, pmb Wa8/Da16, pmb ViaQ11/ViaQ16, pmb DaFib8/DaFib16, pmb	Porøst, ett-lags Porøst, to-lags Porøst, to-lags Porøst, to-lags
28 * 29 *	E6	Stjørdal	2007	Ska8, pmb Ska11, pmb	Tette dekker
30 * 31 *	E6	Trondheim	2007	Ska8, pmb Ska11, pmb	Tette dekker
32 *	Rv20	Elverum	2007	T8s, pmb	Thin layer
33	Rv62	Eidsvåg	2007	Ab6, pmb	Tett dekke
34	Rv118	Moss, Rygge	2007	ViaStAb8, pmb	Tett dekke
35	Rv582	Bergen	2007	Sealastic8, pmb	Tett, spesialdekke
36	E6	Horg	2008	Da11/Da16, pmb	Porøst, to-lags
37	Rv25	Hamar	2008	Da11/Da16, pmb	Porøst, to-lags

I tillegg til disse dekkene ble det gjort støymålinger også på tette dekker utenom testprogrammet, se Tabell 5.2. På 10 av disse ble det målt tekstur. Løpenummeret i tabellene (Nr) er viktig for enkelt å referere til vegdekker som inngår i ulike undersøkelser.

Tabell 5.2 Oversikt over ordinære tette dekker

Nr.	Fylke	Leggeår	Vegnr.	Sted	Dekketype
38	Hedmark	2003	Rv2	Kongsvinger	Ska11
39		1999			Ska14
40		2003			Ab6
41		2003			Ab6
42		2003			Ska8
43	Hedmark	2003	Rv2	Kongsvinger, Rasta	Ska8
44		2003			Ska11
45		2003			Ska11
46		1996			Ska14
47		Hedmark			2000
48	Hedmark	1999	E6	Stange	Ska14
49		1999		Østfold border	Ska16
50	Akershus	2004	E6	Son	Ska11
51		2000		Kvestad	Ska16
52		2003		Vinterbro	Ska11
53				1991	
54	Akershus	1994	Rv160	Bjørnemyra	Ska16
55		2000		Levre	Ska16
56	Akershus	1994	Rv168	Nordli	Ska16
57		2004		Kolsås	Ska11
58		2004		Østfold border	Agb11
59	Akershus	2004	Rv120	Bjerke	Agb11
60		2002		Tømmerbråten	Ska8
61		2001		Rælingen	Ska11
62	Akershus	2006	Rv170	Bjørkelangen	Ska11
63	Buskerud	2002	E16	Hønefoss	Ab11
64		2003		Korporals bru	Ab16
65		1998		Støren	Ska16
66		2004		Horg	Ska11
67		2008		Horg	Ska11
68	Sør-Trøndelag	1999	E6	Omkj.veien	Ska16 Felt 4
69		2001		Omkj.veien	Ska16 Felt 3
70		2005		Omkj.veien	Ska11 Felt 3
71 *		2006		Omkj.veien	Ska11 Felt 4
72 *		2008		Omkj.veien	Ska11 Felt 1
73		1999		Omkj.veien	Ska16 Felt 3
74		2007		Omkj.veien	Ska11 Felt 2
75		2005		Klett	Ska11
76	Sør-Trøndelag	2005	Rv715	Trolla	Ska11
77		2001		Trolla	Ab16
78	Sør-Trøndelag	1999	Rv704	Klæbu	Ab16
79		2005		Klett/Udduvoll	Ab11
80	Sør-Trøndelag	2008	E39	Øysand	Ska11
81		2005		Viggja	Ab11
82	Nord-Trøndelag	2003	E6	Stjørdal	Ska16
83	Møre- og Romsdal	1992	Rv62	Eidsvåg	Ab16
84	Hedmark	1998	Rv25	Hamar	Ska11

6 Opplegg for undersøkelsen

6.1 Problemstillinger

Hovedpunktene i undersøkelsen på dette datamaterialet var å måle og presentere praktisk informasjon om :

- Generelt om tekstur i vegoverflaten,
- Sammenhenger mellom støy og teksturdata, evt. materialdata for vegdekket,
- Utvikling i tekstur over tid, spesielt i løpet av det første året,
- Eksempler på teksturdata for de vanligste dekketyperne.

For å finne sammenhenger mellom støy og teksturdata eller vegdekkedata brukes statistiske metoder [11] (lineær regresjon, enkel eller multipl). Utgangspunktet er støy (CPX-nivåer, A-veid og i 1/1- eller 1/3-oktavbånd), og teksturdata som omtalt i kapittel 3 ovenfor (for dekker minst 1 år gamle), relevante trafikkdata og diverse data for vegdekkene.

Utvikling i tekstur går på direkte sammenligning av spektre og/eller teksturparametere. Om mulig koples utviklingen til tilsvarende utvikling i støy.

6.2 Begrensninger

Alle støydata i undersøkelsen er begrenset til ett bildekk, referansedekk A, som er brukt i hele prosjektperioden (Avon/Cooper ZV1 185/65 R15). Videre gjelder støyresultatene bare for kjørehastighet 50 km/t. Undersøkelsen omfatter ikke porøse dekker.

Begrensning mht teksturdata er allerede nevnt. På grunn av uheldige omstendigheter fikk vi teksturdata for bare 8 stk. nylagte vegdekker.

De spesielle egenstøyproblemene vi hadde i 2006 forsvant i stor grad i 2007-08 etter bytte av laser i registreringsenheten for profilhøyder. Men noe egenstøy er fortsatt til stede ved korte bølgelengder, og kan være begrensende i noen tilfeller for bølgelengder fra ca. 4 mm og kortere.

Data for 37 vegdekker inngår i statistikkbehandlingen. Dette kan være lite for statistikkbehandlingen dersom mer enn 2 uavhengige variable skal estimeres samtidig. Det settes også krav til dekningsområde for de parametrene som inngår, dvs. at datasettets parameterverdier har rimelig god spredning i det parameterrommet man ønsker å kartlegge. Av de 37 dekkene har 27 en øvre nominell steinstørrelse på 8 eller 11 mm. 6 vegdekker har 6 mm, 4 har 16 mm. Det er derfor mulig at de to siste gruppene er noe dårlig representert.

I tillegg er det behandlet data for 8 vegdekker, fra nylagt situasjon og den første tiden etterpå (1 – 3 år). Dette datagrunnlaget er for lite for statistisk analyse, men presenteres på annen måte.

6.3 Data og nomenklatur

Datagrunnlaget for statistikkbehandlingen er vist i Vedlegg 1, Tabell V1 (a – f).

Tabellene omfatter ca. 44 parametere som gir muligheter for å prøve ut ulike sammenhenger. 37 vegdekker inngår i den ordinære statistikkbehandlingen. Dette er vegdekker som har vært i bruk minst én vintersesong. I tillegg er det tatt med parameterdata for 8 nylagte vegdekker. Nr. for vegdekkene er vist i første kolonne i tabellene.

Forklaring til parametere:

Nr.	Løpenummer på vegdekkene
Vegid	Vegnr.
Sted	Sted
Leggeår	Det året dekket ble lagt
Alder, mnd	Dekkealder i mnd, på måletidspunktet, avrundet
ÅDT, 1000	ÅDT /1000
ÅDT t%	Tungandel
ÅDT, felt, 1000	ÅDT/1000 normalisert til ett kjørefelt
ÅDT, 2 spor*Alder/100	Tilpasset uttrykk for trafikkbelastning/felt ved akkum. ant. kjøretøy
Piggandel, %	Anslag for andelen av piggdekk brukt i vintersesongen
Hastighet, km/t	Skiltet hastighet på strekningen
Navn	Dekketype, for eksempel Ab6, Ska8
Dmax, mm	Øvre nominelle steinstørrelse i asfaltmassen
Tett, Porøs	Hovedtype av vegdekke
Flatevekt, kg/m ²	Flatevekt for utlagt masse, alternativ til beregnet dekketykkelse
Bm, mengde	Bindemiddelmengde, vektprosent
Hulrom, %	Designet hulrom i asfaltmassen, inkl. ikke-kommuniserende porer
Mengde>4	Fra resept, rest masseprosent med steinstørrelse > 4 mm
Mengde>2	Fra resept, rest masseprosent med steinstørrelse > 2 mm
Trøger	Verdi fra Trøgertesten
Steinuttak	Hvor steinmaterialet kommer fra
Kulemølle	Verdi fra kulemølletesten
Sliteparm4	En-tallsverdi for slitasje, kombinasjon av steinkvalitet (kulemølleverdi) og mengde > 4 mm
Sliteparm2	En-tallsverdi for slitasje, kombinasjon av steinkvalitet (kulemølleverdi) og mengde > 2 mm
Lcpx, dBA	CPX-støynivå, A-veid, ved 50 km/t
Lcpx80, dBA	CPX-støynivå, A-veid, ved 80 km/t (lite data)
Mpd, mm	Midlere profildybde i vegoverflaten
G, %	formfaktor for vegoverflate, %, basert på kumulativ amplitydefordeling av profilhøydeverdier i vegoverflaten
Ltx80	Teksturnivå, oktavbånd omkring senterbølgelengde 80 mm
Ltx5	Teksturnivå, oktavbånd omkring senterbølgelengde 5 mm
Ltx63	Teksturnivå, oktavbånd omkring senterbølgelengde 63 mm
Ltx8_3	Teksturnivå, 1/3-oktavbånd omkring senterbølgelengde 8 mm
Lcpx, 630_3, dB	CPX-støynivå, 1/3-oktavbånd omkring senterfrekvensen 630 Hz
Lcpx, 3150_3, dB	CPX-støynivå, 1/3-oktavbånd omkring senterfrekvensen 3150 Hz
Rsk	Verdi for "Skewness" (skjevhet) på amplitydefordeling av profilhøyder
ERNL	<u>E</u> stimated <u>R</u> oad <u>N</u> oisiness <u>L</u> evel, (dBA), en-tallsverdi for teksturindusert støy
Trøgermod	Estimat av Trøgerverdi fra sammenheng med Sliteparm2, (ikke brukt),
Lcpx630	CPX-støynivå, oktavbånd omkring senterfrekvensen 630 Hz

Lcpx3150
Ltx160_3
Ltx160

CPX-støynivå, oktavbånd omkring senterfrekvensen 3150 Hz
Teksturnivå, 1/3-oktavbånd omkring senterbølgelengde 160 mm
Teksturnivå, oktavbånd omkring senterbølgelengde 160 mm

7 Tekstur generelt

7.1 Teksturendring i vegoverflaten

Vegoverflaten endrer struktur og utseende med tiden etter hvert som slitasjen øker. Bildene i det følgende viser slik utvikling i en viss grad, for dekkene lagt på Rv. 715, Trolla. Dekkene ble lagt i 2005. Bildene ble tatt i tidsrommet august 2005 – mai 2008. Som eksempel vises 3 bilder fra Ska8-dekket på 3 ulike tidspunkter. Bildene er ikke tatt eksakt på samme sted, men er vist i samme målestokk.



Figur 2 Nylagt Ska8-dekke, august 2005



Figur 3 Ska8-dekket i 28 februar 2006



Figur 4 Ska8-dekket 30 mai 2008

Teksturendringen er tydelig. I august 2005 er steinmaterialet fullstendig dekket av mørtel og bindemiddelhinne, og overflaten bærer ennå preg av valsing. Allerede i februar 2006 etter 3-4 vintermåned er steinmaterialet sees. I mai 2008 er steinmaterialet helt eksponert.

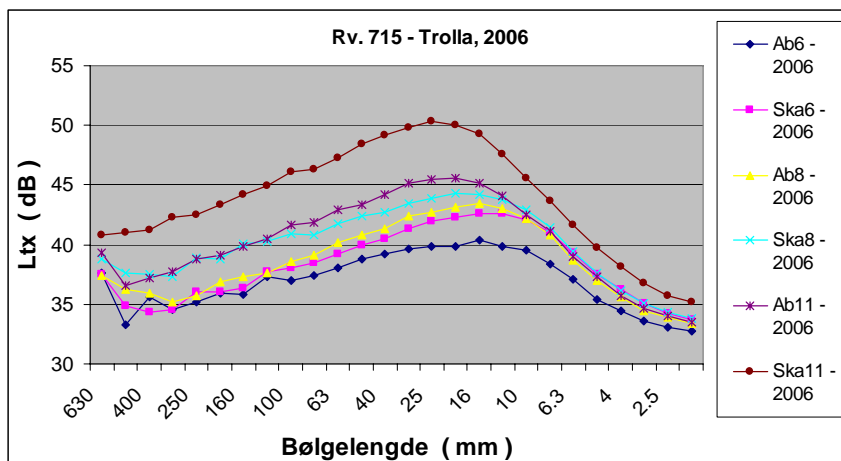
7.2 Generelle trekk ved teksturdata

I det følgende vises noen generelle trekk ved teksturdata og teksturmålinger, som en kort innledning til resultatpresentasjonen senere.

7.2.1 Teksturspektra og steinstørrelse

På Rv. 715 ved Trolla utenfor Trondheim ble det lagt teststrekninger sommeren 2005. 6 ulike vegdekker med noe ulik lengde i området 200 – 250 m ble lagt etter hverandre.

Figur 5 viser teksturspektrene for disse dekkene, målt etter 1 år i 2006, i felt 1 og indre (venstre) spor.



Figur 5 Teksturspektra fra Rv. 715, Trolla, sommeren 2006

Vi vet ikke hvordan spektrene var for disse dekkene da de var nylagte. Figuren viser at spektrene har en mer eller mindre utpreget topp i bølgelengdeområdet fra ca. 10 mm til om lag 40 mm. Denne toppen avhenger klart av D_{max} , dvs. større øvre nominell steinstørrelse gir større topp i teksturspekteret. Det vises også at Ska-dekkene har noe høyere spekternivåer enn Ab-dekker, ved samme D_{max} .

Tabell 7.1 viser verdier for teksturparametere for dekkene ovenfor. Teksturnivåer er gitt i oktavbånd. Dekkene er 1 år gamle, og har en trafikkbelastning på ca. 1350 ÅDT pr. felt. Registrert CPX-støynivå er også tatt med her for generell informasjon.

Tabell 7.1 Verdier for teksturparametere og støy, Rv. 715 Trolla, 2006

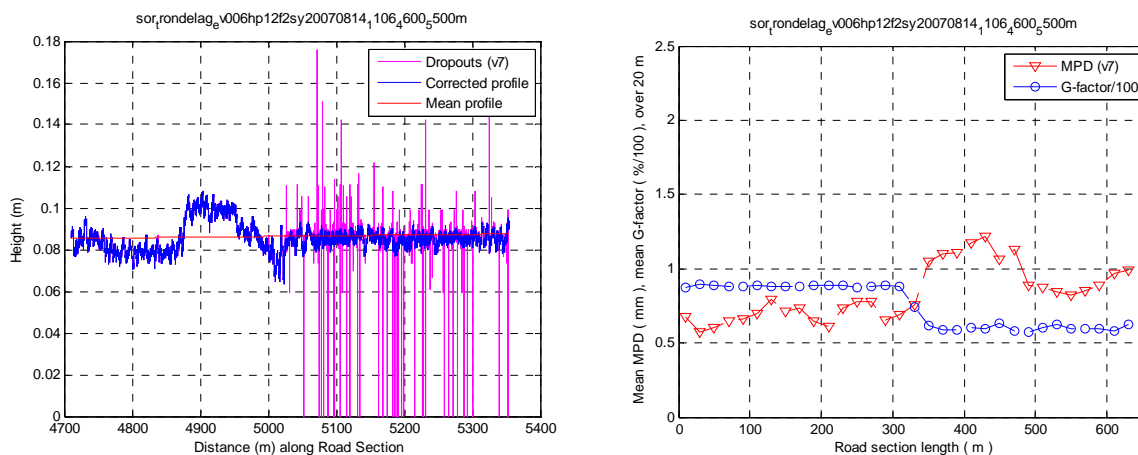
Vegdekke	Nr.	Mpd mm	G-faktor %	Ltx80 dB	Ltx5 dB	Lcp _{x,A} dB
Ab6	1	0.8	32.2	42.3	40.6	90.6
Ab8	2	1.04	40.9	44.1	42.1	90.9
Ab11	3	1.1	46.3	46.9	42.3	92.4
Ska6	4	0.9	52.3	43.4	42.6	90.9
Ska8	5	1.11	50.4	46.0	42.7	91.3
Ska11	6	1.46	59.1	51.4	44.8	92.2

Tabellen viser at G-faktoren har lave verdier, noe som kan tyde på at det meste av steinmaterialet allerede er relativt eksponert. En ser også at Mpd-verdien er liten for Ab6 og stor for Ska11, mens de øvrige dekkene ligger omtrent i samme område. En samlet oversikt over verdiene i tabellen viser at det er en tendens til at Ska-dekkene har høyere teksturverdier. Dette gjelder ikke for støynivåene. For disse vegdekkene synes det å være en klar sammenheng mellom støynivå og D_{max} , muligens også med Ltx80.

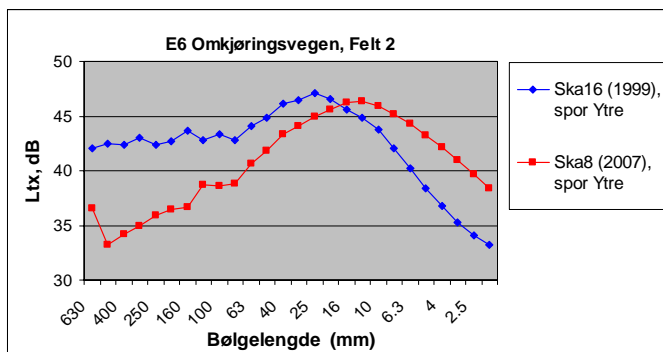
7.2.2 Eksempel på registrering av profilhøyder og beregning av løpende Mpd og G-faktor.

Det er laget en enkel utviklingsprogramvare for analyse av rådata fra lasermåleren via målesystemet. Den er laget for uttesting og skrevet i Matlab. Analysedelen har noen muligheter utover å beregne teksturspekter. I utgangspunktet beregnes Mpd og G-faktoren etter spesifikasjonen i segmenter på 0.1 m. Middelerverdi for hele strekningen beregnes, og middelerverdi pr. 20 m delstrekning. Den siste plottes ut og legges midt i de etablerte 20 m delstrekningene. Som omtalt i [2] korrigeres profilhøyden for dropouts (feil). Spesielt ved nylagt asfalt og ved fuktig asfalt fås lett feil pga ugunstig refleksjon av laserstrålen. Feilene indikeres og korrigeres for, og verdier for profilhøyde, Mpd og G-faktor plottes ut langs strekningen.

Figur 6a viser et plott av rådata (før filtrering og etterbehandling) for registrert profilhøyde over en strekning på nær 650 m. Teksturregistreringen er kjørt fra km 5350 til km 4700, altså *mot* km-retningen. De første ca. 325 m består av nylagt asfalt (Ska8) som gir mye registreringsfeil, vist med rød markering. Etter dette kommer registreringen over på et eldre dekke (Ska16 (1999)). Figur 6b viser løpende verdier av Mpd og G (pr. 20 m delstrekning). Her regnes avstanden fra start av registreringen, dvs. ved km 5350. I de første ca. 300 m måles moderate verdier for Mpd, og høye verdier for G-faktor, dvs, ca. 90 %. Dette indikerer at dekkeoverflaten er forholdsvis jevn, uten uregelmessigheter som et eksponert steinmateriale ville gi. En endring av teksturen ved overgang til det eldre dekket etter ca. 325 m vises tydelig. Mpd-verdiene øker raskt til et høyere nivå som betyr større ruhet i overflaten. I tillegg faller verdiene for G-faktoren ganske dramatisk til ca. 55-60 %. Disse to informasjonene forteller at overflaten klart har forandret karakter. Høy Mpd-verdi og lav verdi for G-faktor trekker begge i retning mot økt støy.



Figur 6 a) Profilregistrering med feildata b) Registrering av MPD og G



Figur 7 Teksturspektra ved overgang fra nylagt til eldre vegdekke

Teksturspekteret forandres merkbart ved overgang fra nytt til eldre dekke, se Figur 7. Denne spekterforandringen er viktig for å forstå støyøkningen i løpet av det første året. Vi finner igjen det samme endringsmønsteret for samtlige nylagte dekker som er fulgt opp i denne undersøkelsen. Problematikken omkring endringen i teksturspekteret er tatt opp i kapittel 9 og 10.

7.3 Samvariasjon mellom støy og tekstur

Det har en viss pedagogisk effekt å se på samvariasjonen mellom støydata og teksturdata. Mange undersøkelser har presentert slike data tidligere, men de gir resultater som er spesifikke for hvilket bildekk som er brukt, og på hvilke vegdekker.

I denne delundersøkelsen er bildekk "A" brukt. Dekkematerialet er de 37 vegdekkene som er omtalt tidligere. Det gjelder bare tette dekker (ikke-porøse). 28 er fra utvalget av testdekker, 9 er innhentet utenom dette. Materialet omfatter flest dekketyper Ab og Ska. Det er ikke tatt med data fra nylagte vegdekker i denne analysen.

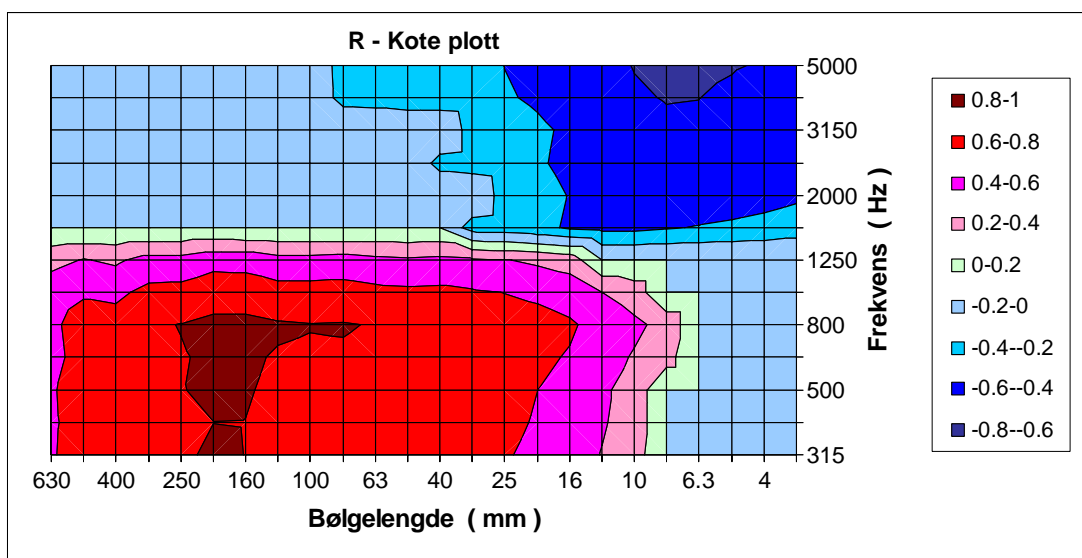
Teksturspekteret består av 26 stk. 1/3-oktav bånd (senterbølgelengder 2 – 630 mm), støyspekteret består av 13 stk. 1/3-oktavnåbånd (senterfrekvenser 315 – 5000 Hz).

For å oppnå et korrelasjonskoteplott gjennomføres følgende:

Velg ut en vektor (datasett over antall vegdekker) med støynivåer fra ett bestemt 1/3-oktavnåbånd. Velg tilsvarende ut teksturnivå fra ett bestemt 1/3-oktav teksturbånd. De to datasettene korreleres og gir en korrelasjonsfaktor R. Da har vi ett punkt for R på en korrelasjonsflate. Når denne prosedyren er gjentatt for alle kombinasjoner av støybånd og teksturbånd, får vi et korrelasjonsplott for R.

Dette ble gjort for alle kombinasjoner av støydata og teksturdata, i alt 338 korrelasjonsverdier (13 verdier i støyspekteret x 26 verdier i teksturspekteret). Små verdier av R kunne forekomme som ikke var signifikante. For å få et litt skarpere bilde av hovedtendensene i samvariasjonen, ble presentasjonen "renset" ved å sette R=0 der hvor verdiene ikke var signifikante. Et moderat signifikansnivå på 0.1 ble brukt (dette betyr at sannsynligheten for at en "sikker" regresjonssammenheng er resultatet av en tilfeldighet, er høyst 10 %).

Resultatene er vist i Figur 8. Samvariasjonen mellom støy- og teksturnivåer er vist som positive eller negative R-verdier, med korresponderende fargeskala fra dyp rødt til dyp blått.



Figur 8 Korrelasjonsfaktor R mellom støy og teksturdata, over 37 vegdekker, med bildekk A.

Nå vises to klare trekk ved samvariasjonen mellom støy og tekstur.

Ved lavfrekvent støy (i denne sammenhengen, dvs. 1/3-oktav båndene fra 315 Hz og opp til ca. 1000 Hz) er det sterk positiv korrelasjon med tekstur i et bredt bølgelengdeområde mellom ca. 25 – 500 mm. I dette området (rødt område) vil støyen øke når teksturen øker.

Den andre hovedtendensen gjelder høyfrekvent støy, dvs. 1/3-oktav båndene over ca. 2000 Hz. Her er det betydelig negativ korrelasjon mellom støy og tekstur for korte bølgelengder under ca. 12.5 – 16 mm. I dette området (blått område) vil støyen avta når teksturen øker.

Disse resultatene er som nevnt avhengig av det bildekket og de vegdekkene som er brukt ved måling av CPX-støy og tekstur. Resultatene gir imidlertid et ganske instruktivt bilde av den prinsipielle samvariasjonen mellom støy og tekstur, med støyen registrert som Lcpx-nivåer.

Rødt område vil en assosiere med teksturindusert støyavstråling fra bildekket. Blått område kan assosieres med lufttrykkavlastning i kontaktflaten mellom bildekk og vegdekke.

8 Teksturdata for ulike vegdekketyper

8.1 Data

I Vedlegg 1 er gitt alle data for hvert enkelt av de 37 vegdekkene som inngår i den ordinære undersøkelsen. Vedlegget er omfattende, og en har derfor valgt å gi nøkkelinformasjon her om hvert enkelt vegdekke ved tabelldata og grafer. Tabelldata er gitt i Tabell 8.1, og omfatter:

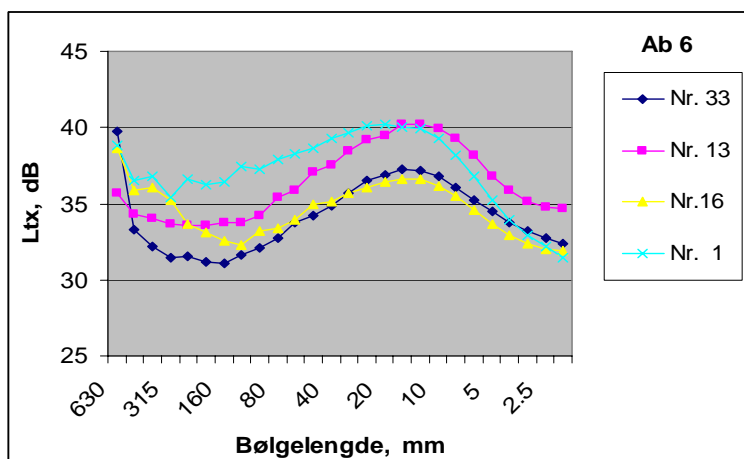
- Vegtype
- Nr, løpenr. for vegdekkene
- Mpd-verdi
- G-faktor verdi
- Støynivå ved Lcpx (A-veid)
- Forskjell i teksturnivåer for oktavbåndene ved 80 mm og 5 mm senterbølgelengde
- Leggeår.

Tabell 8.1 Nøkkeldata for vegdekker målt i 2008

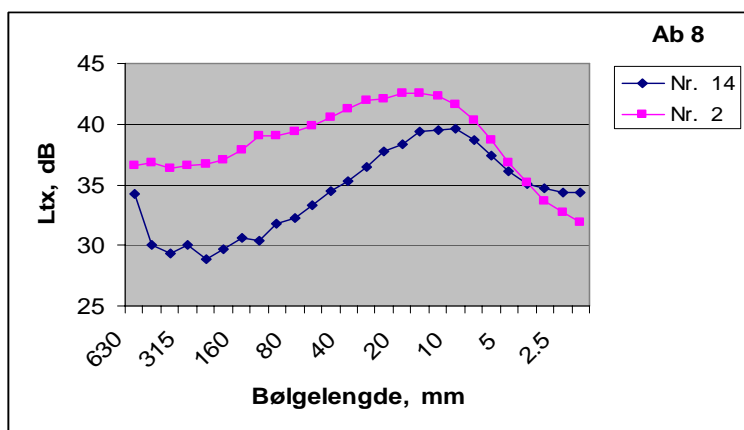
Type	Nr.	Mpd mm	G %	Lcpx dBA	Ltx80 – Ltx5	Leggeår
Ab 6	33	0.46	61.9	91.7	-1.6	2007
	13*	0.6	61	90.1	-1.8	2005
	16	0.44	59.4	91.7	-0.2	2005
	1	0.81	33.6	91.7	2.4	2005
Ab 8	14*	0.71	35.7	91.1	-3.7	2005
	2	1.01	40.4	92.1	2.3	2005
Ab 11	15*	0.87	49.1	91.1	0.4	2005
	3	1.26	40.8	93.9	6.9	2005
Agb 16	83	0.76	47.6	94.6	5.5	1996
Ska 6	9	0.95	81.4	91.5	-4.4	2005
	4	0.88	49.8	92.1	2.5	2005
Ska 8	10	0.9	81.4	91.9	-2.0	2005
	22	1.79	52	92.1	1.9	2006
	28	0.82	54.4	92.7	2.7	2007
	5	1.1	52	92.2	3.6	2005
	43*	0.43	67.5	91.7	-1.6	2003
	30	0.87	56.6	92.5	2.3	2007
Ska 11	62	0.97	62.8	93.5	3.3	2006
	11	0.98	80.1	92.9	0.9	2005
	7	1.55	52.5	92.8	5.4	2005
	8	1.28	65.7	92.7	2.1	2005
	29	1.06	58.5	93.8	4.3	2007
	6	1.68	49.7	93.7	7.8	2005
	44*	0.7	60.6	92.6	0.5	2003
	76	1.37	38.4	93.8	7.4	2005
	70	1.03	55.4	94.0	3.4	2005
	71	0.9	50.9	93.0	2.6	2006
Ska 16	12	1.43	78.2	93.1	3.6	2005
	68	1.29	45.7	93.9	6.6	1999
	82	0.95	47.6	94.5	4.8	2002
8 mm, T8s	32	0.87	73.5	91.5	2.0	2007
	23	1.41	50.4	92.4	4.8	2006
	21	1.65	61.7	92.1	3.7	2006
Viastab8 T8g	34	1.12	56.5	91.1	0.3	2007
	17*	0.75	42.6	90.1	-3.8	2005
ViaQ8	20	1.03	59	92.6	3.0	2006

Nr merket med * indikerer at støy- og teksturmålinger ble gjort i 2007.

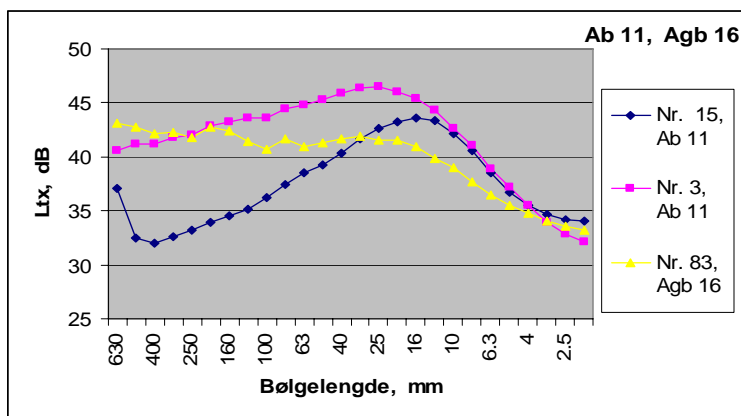
For å gi et inntrykk av teksturdata er teksturspekteret (teksturnivået i 1/3-oktav bølgelengdebånd) for dekker innen hver dekketype vist som grafer. Ved å sammenholde dekketype og løpenummer Nr, kan en lett kople nøkkeldata i Tabell 8.1 til vedkommende teksturspekter. Resultatene i grafene kan representere dekker med ulik alder.



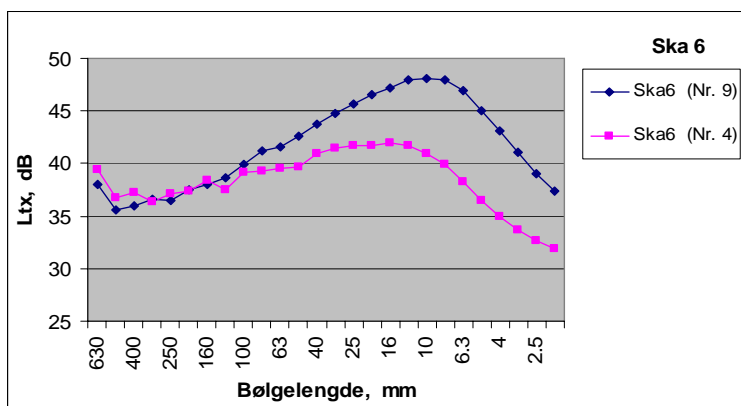
Figur 9 Teksturspektra for Ab6



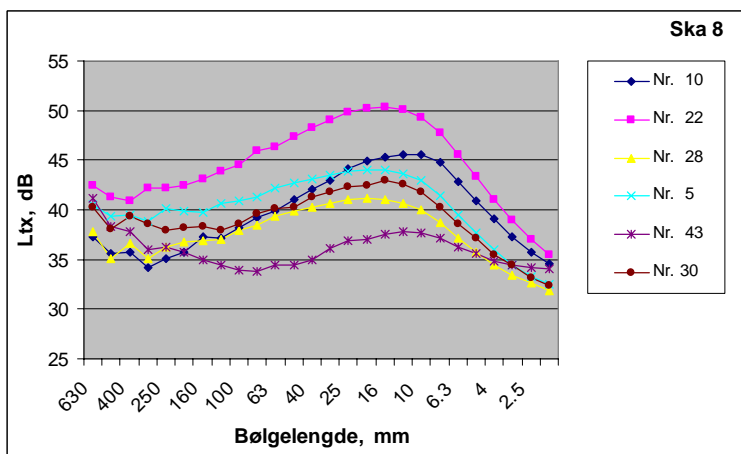
Figur 10 Teksturspektra for Ab8



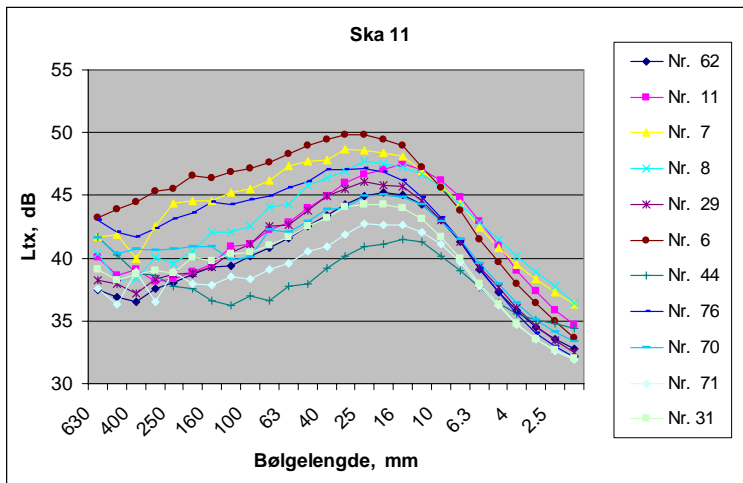
Figur 11 Teksturspektra for Ab11, Agb16



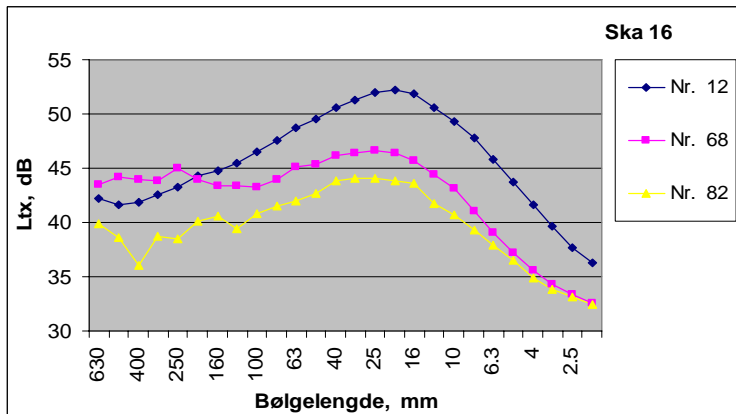
Figur 12 Teksturspektra for Ska6



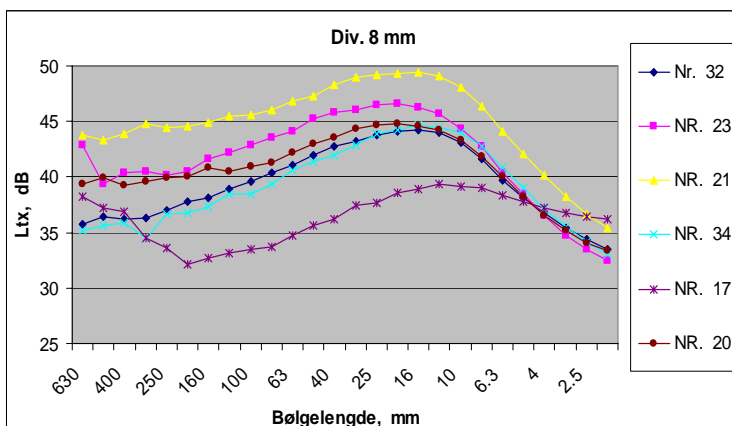
Figur 13 Teksturspektra for Ska8



Figur 14 Teksturspektra for Ska11



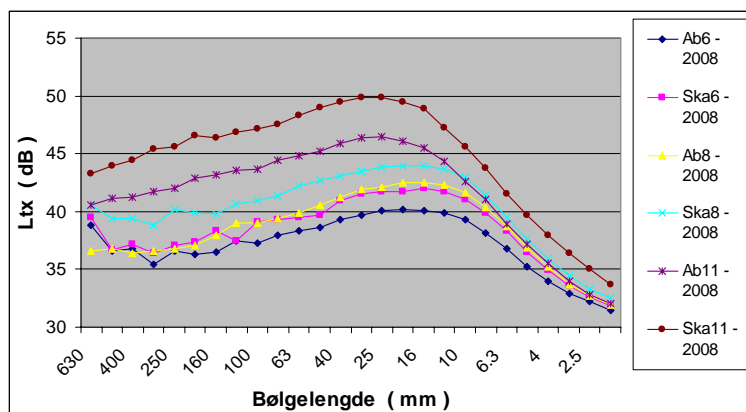
Figur 15 Teksturspektra for Ska16



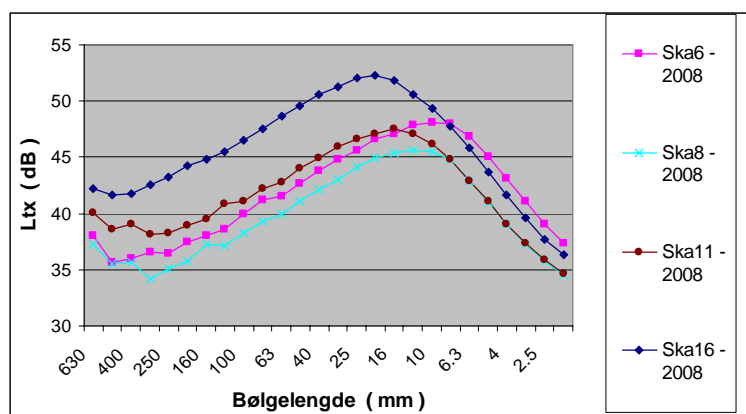
Figur 16 Teksturspektre for diverse 8 mm dekker

Figurene ovenfor viser teksturspektra for samme øvre nominelle steinstørrelse, for hver vegdekketype. Som et tillegg kan det være aktuelt å se hvordan spektrene ligger for varierende steinstørrelse, i samme presentasjon. For to av vegdekkene, Rv. 715 Trolle, Trondheim, og E18

Mastemyr, Oslo, var det lagt forsøksstrekninger med Ab- og Ska-dekker med ulik steinstørrelse. De ulike strekningene var lagt inntil hverandre slik at de hadde samme klimaforhold, trafikkbelastning, piggdekkandel, osv. Figur 17 og 18 viser teksturspektra for disse dekkene med steinstørrelse som parameter. Begge vegdekkene ble lagt i 2005, og er målt i 2008 i denne presentasjonen.



Figur 17 Teksturspektra for Rv. 715 – Trolla, (2008)



Figur 18 Teksturspektra for E18 Mastemyr, (2008)

8.2 Foreløpige kommentarer til data

Hovedinntrykket av resultatene ovenfor er at spredningen er ganske stor, ikke bare fra dekketype til dekketype, men også innen den enkelte dekketype. Resultatene kan slik virke litt uoversiktlige. Men en skal huske på at de aktuelle vegdekkene har ulik alder på måletidspunktet. Resept, dimensjonering, utlegging, dekketykkelse osv. har vært forskjellig. I tillegg er trafikkmengde og piggdekkandel forskjellig. Dette gjør resultatene forskjellig.

Det er vanskelig å ha noen formening om teksturspektrene er støymessig gunstige eller ugunstige bare ved å se på figurene. Enklest er det å vurdere resultatene i hver figur som et realistisk variasjonsområde for de ulike dekketyperne.

Undersøkelsen av de 37 vegdekkene mht. tekstur var lagt opp slik at det også ble målt et støynivå (Lcpx) på den aktuelle vegstrekningen (med riktig lengde), og i det rette sporet. Ved alle

støymålinger som brukes sammen med disse teksturmålingene, er det målt på dekk ”A”. Støy og teksturmålingene er stort sett gjort innenfor et tidsspenn på ca. 1-2 uker. En bør derfor kunne lete etter sammenhenger mellom støy og tekstur.

Resultatene i Tabell 8.1 kan derfor kanskje inneholde nyttige sammenhenger hvis en undersøker nærmere.

Parameteren $DL=(L_{tx80} - L_{tx5})$ (differansen mellom teksturnivå i oktavbåndene omkring senterbølgelengdene hhv. 80 og 5 mm) er tatt med i nøkkelinformasjonen i Tabell 8.1. Dette er en følge av resultatene fra samvariasjonen mellom tekstur og støy som vist i kapittel 7.3. Ved enkel inspeksjon i Tabell 8.1 ser en at lavest støynivå L_{cpx} alltid forekommer for den laveste verdi av DL . Slike tilfeller er vist med uthevet skrift i tabellen.

Noe mindre klart, men som en grov trend, er at lavest støynivå stort sett forekommer ved kombinasjoner av *lav* M_{pd} -verdi og *høy* G -verdi. Her ligger det allerede noen utgangspunkter for videre analyse av resultatene.

9 Statistisk analyse for sammenheng mellom tekstur og støy

9.1 Hensikt

Prosjektet har resultert i tekstur- og støymålinger på et større antall vegdekker. Støyforhold for vegdekkene er grundig rapportert i annen sammenheng, [10]. Hensikten med denne rapporten var opprinnelig en sammenstilling av teksturdata for ulike typer vegdekker. Men med dette materialet så en også en mulighet til å undersøke sammenhenger mellom teksturparametere og støy. Kanskje ville det være mulig å se sammenhenger mellom støy eller teksturdata til underliggende vegdekkeparametere. Derfor ble det tatt fram et større antall data pr. vegdekke, som en antok var relevante, se kapittel 6.3 og Vedlegg 1. I tillegg kommer en ganske omfattende teksturanalyse av de mange teksturregistreringene som ble gjort.

9.2 Grupper av data

Datagrunnlaget er som vist i Vedlegg 1, Tabell V1. a-f. Det er data i 4 hovedgrupper:

- 1 Støydata (Lcpx), A-veid totalnivå ved 50 km/t, utvalg av nivåer i 1/1-oktavnåbånd og 1/3-oktavnåbånd, simulert nivå ERNL. Lcpx er hentet fra måleprogrammet for støy, og er målt med referansedekket A over en lengre prøvestrekning, se [10].
- 2 Teksturdata, utvalg av tekturnivåer i 1/1-oktavnåbånd og 1/3-oktavnåbånd samt utvalg av profilfordelingsdata, bl.a. Mpd og G, alle målt over samme strekning som støydata.
- 3 Trafikkdata inklusive anslag over piggdekkandel, og uttrykk for totalbelastning på vedkommende vegdekke via indikatoren (alder x ÅDT).
- 4 Vegdekkedata (bl.a. Dmax, flatevekt på utlagt masse, bindemiddelmengde, hulrom, mengde > 4 mm, mengde > 2 mm, slitasedata Trøger, kulemolle, sliteparameter). For videre beskrivelser se Tabell V1 i Vedlegg 1, og forklaringen til disse gitt i kapittel 6.3.

Dataene er gitt for 37 vegdekker. Støy og teksturdata er registrert på vegdekkene når de er minst 1 år gamle (etter minst én vintersesong). Vegdekkene omfatter både Ab- og Ska typer asfalt, 9 stk. Ab og 28 stk Ska. Nummerering for videre referanse er gitt i tabellene.

Hovedenhet for støydata er Lcpx, A-veid støynivå i dB re 20µPa, og gjelder for kjørefart 50 km/t.

9.3 Statistiske sammenhenger ved lineær regresjon

I denne statistiske analysen er det brukt standard lineær regresjonsanalyse, enkel og multippel, i beregningsverktøyet SPSS v. 15 (Windows), med støttemateriale [11, 12, 13]. I første tilfelle er det én avhengig variabel (Y-verdi datasett) og én uavhengig variabel (X-verdi datasett). Hensikten er å undersøke i hvilken grad det er en statistisk signifikant sammenheng mellom Y og X. I siste tilfelle er det flere uavhengige variable (flere X-verdi datasett). Multippel regresjon estimerer da virkningen av en X-variabel på Y, der det kontrolleres for virkningen av andre X-variable. Kort sagt kan multippel regresjon si noe om hvor mye av variansen i Y som kan forklares av de uavhengige variablene X som velges inn i analysen.

Analysen gir også en indikasjon på det relative forklaringsbidraget for hver enkelt X som inngår. Videre kan en gjennom tester bestemme statistisk signifikans (godhet) i resultatene, både for den enkelte modell, og for de individuelle variablene.

Lineær regresjonsanalyse (standard regresjonsanalyse) hviler på en del forutsetninger som er gjengitt i Vedlegg 2.

I denne statistiske analysen er det hensiktsmessig å inndele de ulike parametrene i ”Fysiske påvirkningsparametere” og ”Teksturrelaterte parametere” og ”Støydata”. En oversikt over denne inndelingen er gitt i Tabell 9.1.

Tabell 9.1 Inndeling av parametere

Fysiske påvirkningsparametere	Tekstur-relaterte parametere	Støydata
Alder		
Ådt x alder (akkumulert trafikkbelastning)	Alle teksturdata, direkte og avledede	Alle støydata
Piggdekkandel, %		
Mengde >2 mm	Hjelpestørrelser:	
Mengde >4 mm	G faktor	
Ådt-tung, tungandel, %	Mpd	
Dmax, mm	Rsk	
Flatevekt, kg/m ²	ERNL	
Bindemiddelmengde, vektprosent		
Hulrom		
Trøger verdi		
Kulemølle verdi		
Sliteparameter (2 mm)		
Sliteparameter (4 mm)		

9.3.1 A-veid støy, sammenheng med én teksturvariabel

Her er det noen utgangspunkter. Korrelasjonsanalysen i kapittel 7.3 antyder at en teksturenhet fra det ”røde” området i Figur 8 vil være positivt korrelert med støy. Ltx80 tas med i analysen fordi den ligger noenlunde i riktig område, og ellers er brukt som en generell indikator på teksturindusert støy. Men Ltx160 tas også med, fordi korrelasjonsanalysen også her indikerer en sterk kopling til støy. Størrelsen ERNL (Estimated Road Noisiness Level, dB) er foreslått som en entallsverdi for støy basert på en veiet differanse mellom Ltx80 og Ltx5. Derfor bør Ltx5 også være med, eller direkte differensen DL gitt ved $(Ltx80 - Ltx5)$. Det er også aktuelt å se på differensen DL2 gitt ved $(Ltx160 - Ltx8)$ på bakgrunn av resultatene vist i Figur 8.

Det er videre naturlig å se på virkningen av Dmax. Resultatene i Figur 5 viser at steinstørrelsen påvirker direkte den delen av tekturen som kan knyttes til det ”røde” området. Det bør også undersøkes om støyen avhenger av piggdekkandel, eller direkte av enkelte av vegdekkeparametrene, f. eks slitasjeparametere og/eller rest masseprosent med steinstørrelse over gitt verdi.

Undersøkelsen ble gjort etter en enkel strategi siden en mer formell datareduksjon (for eksempel ved hjelp av faktoranalyse) syntes mindre aktuell. Datamengden (antall vegdekker) er trolig for liten til å kunne trekke ut mer enn høyst 2-3 variable samtidig. Lcpx ble holdt som avhengig variabel og øvrige parametere som uavhengige variable. I første omgang så en på sammenhengen mellom Lcpx og hver enkelt påvirknings- og teksturrelatert parameter (ikke støyrelatert) for seg. De viktigste resultatene er vist i Tabell 9.2 etter gjennomgang av samtlige parametere.

Tabell 9.2 Støy (A-veid Lcpx) og avhengighet av enkeltvariable.
Data for 37 vegdekker.

Variabel	R ² Forklart varians	Signifikans nivå	Modell sammenheng Lcpx =
Ltx80	0.34	ok	84.9 + 0.168·Ltx80
Ltx160	0.44	ok	84.2 + 0.19·Ltx160
Dmax	0.53	(U)	89.8 + 0.282·Dmax
DL*	0.64	ok	91.9 + 0.293·DL
DL2**	0.58	ok	93.2 + 0.281·DL2
Flatevekt	0.143	0.012, U	90.5 + 0.029·Flatevekt
ERNL	0.54	ok	-
Mpd	0.11	0.026	91.2 + 1.235·Mpd

ok : signifikansnivå mindre enn 0.001,

tallverdi : beregnet signifikansnivå (bør være < 0.05)

U : noe usikkert i forhold til forutsetningene i Vedlegg 2

* : betegner differansen (Ltx80 – Ltx5) som enkeltvariabel

** betegner differansen (Ltx160 – Ltx8) som enkeltvariabel

Kolonnen ”R² Forklart varians” viser hvor mye av variansen i datamaterialet som kan tilskrives den aktuelle variabelen. Signifikansnivå er et mål for sammenhengens ”godhet”, uttrykt ved sannsynligheten for at en tilsynelatende sikker sammenheng oppstår ved en tilfeldighet. Se forklaringen under Tabell 9.2. Signifikansnivået ved denne typen tester bør ikke overstige 0.05. Et lavt signifikansnivå gir en sikrere sammenheng. Merket ”U” indikerer at det kan være problemer i forhold til forutsetningene i Vedlegg 2, ut fra enkle vurderinger.

Som enkeltvariable (dersom Lcpx skulle ha én uavhengig variabel) ser en at Ltx80, Ltx160, DL og Dmax er aktuelle kandidater. DL gitt ved (Ltx80 – Ltx5) gir best korrelasjon med støydata, dvs. med Lcpx, dB(A).

ERNL regnes ikke med i denne sammenhengen, men er tatt med for å vise at denne eldre ett-tallsvurderingen av dekk/vegbanestøy basert på teksturdata, gir korrelasjon med Lcpx (A-veid). Dette er interessant da ERNL er konstruert for forbikjøringsstøy på 7.5 m avstand, og for noe høyere hastigheter [9]. ERNL har i en viss grad vært modell for DL, dvs. en antakelse om at Ltx80 og Ltx5 representerer områder i teksturspekteret som er støyrelatert på hver sin måte.

Forklart varians (R²) er generelt ikke spesielt høy. Dette kan indikere at støyen avhenger av flere variable og/eller at det er en del ”støy” i datamaterialet som kommer av diverse unøyaktigheter i forbindelse med registreringene av støy og tekstur. Flatevekt og Mpd er bare svakt korrelert med Lcpx over totalmaterialet. Mpd-verdien alene er derfor ingen spesielt god indikator for støy.

Variabelen DL danner et unntak, med forklart varians over 60 %. DL er en variabel som er basert på 2 parametere, Ltx80 og Ltx5. Ltx80 er positivt korrelert til støy ved akustiske frekvenser under ca. 1000 Hz. Ltx5 er negativt korrelert til støy ved akustiske frekvenser over ca. 2000 Hz, se Figur 8.

Flatevekten ser ut til å spille en viss, men beskjeden rolle som enkeltparameter. Resultatet er noe usikkert. Det er foreløpig uklart hva som er fysikken bak dette. Flatevekten kan indikere dekketykkelsen for et nylagt dekke. En forklaring kan være at det er en sammenheng mellom dekketykkelse og steinstørrelsen, og at virkningen av dekketykkelsen i noen grad avspeiler virkningen av steinstørrelsen. Dette kan være en mulighet fordi det er ingen sammenheng når analysen blir gjort med bare én steinstørrelse, dvs. enten 11 mm eller 8 mm.

I Tabell 9.2 er det satt inn modellbeskrivelser for sammenhengen mellom Lcpx og aktuell variabel som har gitt en sammenheng med tilstrekkelig lavt signifikansnivå.

9.3.2 A-veid støy, sammenheng med flere teksturvariable

Verdiene i Tabell 9.2 viser at støyavhengighet basert på én parameter er knyttet opp mot ulike teksturbeskrivelser, men bare to rene fysiske parametere: Dmax og flatevekt. Flatevekten kan være knyttet til Dmax, slik at det i denne grove undersøkelsen bare er Dmax som kommer inn som fysisk parameter ved siden av teksturbeskrivelsene. Disse krever at det blir gjort en teksturanalyse. Et viktig spørsmål vil være om teksturbeskrivelsene kan knyttes til fysiske og/eller vegtekniske parametere.

Med utgangspunkt i resultatene i kapittel 9.3.1 er det naturlig å gå videre med ulike kombinasjoner av Ltx80, DL, Dmax, se resultatene i Tabell 9.3. Forklart varians for kombinasjonene er høyere enn for enkeltvariable.

Tabell 9.3 Støy (A-veid Lcpx) og avhengighet av flere variable

Variable	R ² Forklart varians	Sign. nivå	Modell sammenheng
Ltx80 Dmax	0.589	ok	$86.6 + 0.083 \cdot \text{Ltx80} + 0.223 \cdot \text{Dmax}$
Dmax, DL	0.746	ok	$90.54 + 0.158 \cdot \text{Dmax} + 0.206 \cdot \text{DL}$
Dmax, DL2	0.727	ok	$91.29 + 0.191 \cdot \text{DL}^2 + 0.175 \cdot \text{Dmax}$

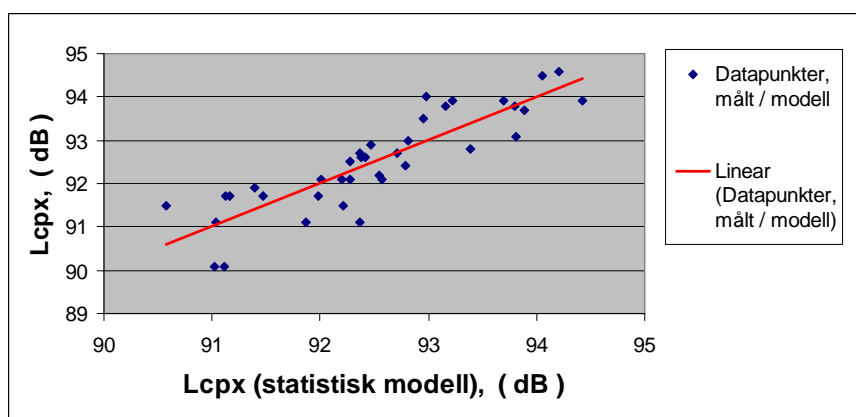
DL2 er gitt ved (Ltx160 – Ltx8).

Den variabelen som gir det største unike bidraget til modellsammenhengen er vist uthevet i siste kolonne. Hver av kombinasjonene i Tabell 9.3 er også forsøkt kombinert med vegdekkeparametere, (flatevekt, slitasjeparametere, bindemiddelmengde, restmengde med steinstørrelse større enn gitt verdi, osv.) uten at noen nye kombinasjoner kom opp som mer signifikante.

Denne enkle analysen viser at en rimelig modell for L_{cpx} (A-veid) på grunnlag av data fra de 37 vegdekkene, kan skrives som en funksjon av variablene D_{max} og DL på formen:

$$L_{cpx}(\text{mod}) = 90.54 + 0.158 \cdot D_{max} + 0.206 \cdot DL \quad (9.1)$$

hvor $DL = (L_{tx80} - L_{tx5})$, D_{max} er øvre nominelle steinstørrelse. Sammenhengen er vist grafisk i Figur 19. Måledata er satt av langs Y-aksen, mens korresponderende modellverdier etter ligning (9.1) er satt av langs X-aksen. En regresjonslinje er trukket mellom Y- og X-verdier i datamaterialet. Forklart varians for denne modellen er ca. 75 %. Spredningen omkring regresjonslinjen (standard error of estimate) er 0.57 dB.



Figur 19 Måledata og regresjonsmodell for L_{cpx} .

Teksturdata fra vegdekkene kan brukes til en grov prediksjonsmodell for støynivået L_{cpx} . Modellen gjelder for et vegdekkeutvalg tilsvarende de 37 dekkene som inngår i denne undersøkelsen (alle med minst én vintersesong), og for støy fra bildekket A.

Sammenhengen har to klare komponenter; én knyttet til tekstur via leddet ($L_{tx80} - L_{tx5}$) som den dominerende, den andre er øvre nominelle steinstørrelse i asfaltmassen.

9.3.3 Sammenheng mellom støy/teksturdata, og trafikk/vegdekkedata

Resultatene så langt har gitt en rimelig god sammenheng mellom A-veid støy (L_{cpx}) og parametere ved D_{max} og teksturdata. Bortsett fra parameteren D_{max} har vi ikke klart å vise klare virkninger av data i gruppene 3 og 4 (se kapittel 9.2), dvs. trafikkdata og vegdekkedata.

9.3.3.1 L_{cpx} (A-veid) som avhengig variabel, D_{max} konstant

Øvre nominelle steinstørrelse (D_{max}) er en viktig komponent. Hvis denne parameteren holdes konstant ville kanskje virkninger av andre parametere vises. Dataene ble inndelt i to grupper, en med D_{max} på 8 mm (14 stk), og en med D_{max} på 11 mm (13 stk).

En analyserunde ble gjennomført med L_{cpx} (A-veid) som avhengig variabel, og samtlige tekstur-, og påvirkningsdata etter tur som uavhengig variabel. Innen hver gruppe var resultatet det samme;

støynivået var korrelert med DL med forklart varians i området 43 – 57 %. Det var også en rimelig klar korrelasjon med Ltx80. Men det var ingen klare korrelasjoner med de fysiske påvirkningsparametrene (trafikk- eller vegdekkedata).

En ny analyserunde over alle vegdekker ble gjennomført med Lcpx som avhengig variabel, og med samtlige fysiske påvirkningsparametere etter tur som variabel nr. 3 ved siden av Dmax og DL. Dette ga ingen nye signifikante sammenhenger.

Dette resultatet kan tyde på at i vårt datamateriale er de viktigste variasjonene i A-veid Lcpx styrt av de generelle parametrene Dmax og teksturkombinasjonen ved DL. Poenget er at vi ikke vet hvilke detaljparametre som bestemmer DL, bortsett fra at variabelen (Ltx80 – Ltx5) inngår.

Det kan synes rimelig at enkelte av de fysiske påvirkningsparametrene kan ha virkning på støyen ved siden av de generelle parametrene. Det er ingen klare svar på dette utover at virkningene kan være begrenset etter ett eller flere år med slitasje, og drukner i totalbildet. Eventuelle virkninger av trafikk- og vegdekkedata kan også ligge i teksturdata via DL. Undersøkelsen kan også ha noe høy ”bakgrunnsstøy” (ubestemthet) fordi støy og teksturdata ikke alltid ble registrert optimalt.

9.3.3.2 DL som avhengig variabel

DL er differensen mellom ”samtidige” verdier av Ltx80 og Ltx5 (på samme vegdekke), og er et resultat av teksturanalysen. Denne variabelen er viktig for støyen ved siden av Dmax, og gir det sterkeste unike bidraget til å forklare variasjonen i Lcpx etter modellen i lign. (9.1). Det synes klart at DL kan være noe koplet til Dmax, se Figur 5, men den kan også være koplet til andre parametre. Koplingen til Ltx80 er selvfølgelig.

En analyse direkte på DL ville være naturlig i første omgang for å se om noen av de fysiske påvirkningsparametrene (trafikk-, vegdekkedata) kunne komme fram på dette nivået.

For totalmaterialet på 37 vegdekker ser vi først på sammenhenger mellom DL og samtlige påvirkningsvariable og avledede teksturparametere, én om gangen. Analysen viser at Dmax, Mpd og G kommer ut med en signifikant korrelasjon med DL som kan beskrives ved :

$$DL(\text{mod}) = -1.93 + 4.196 \cdot MPD - 0.073 \cdot G + 0.417 \cdot D \text{ max} \quad (9.2)$$

med forklart varians $R^2 = 0.58$, og med bidrag fra alle parametre. Standardavviket (standard error of estimate) er 2 dB.

Dette er et interessant resultat. G-verdien som er et uttrykk for overflatens form (konveks/konkav), er derved koplet til DL. Stor G-verdi gir mindre DL, og mulighet for lavere støynivå ifølge ligning (9.1).

Selv om vi utelukker Dmax i analysen (som ville ført til en noe mindre forklart varians) oppnås signifikante bidrag fra Mpd og G.

Dataene ble videre inndelt i to grupper, én med Dmax på 8 mm (14 stk), og én med Dmax på 11 mm (13 stk). En analyserunde ble gjennomført med DL som avhengig variabel, og samtlige tekstur-, og påvirkningsdata etter tur som uavhengig variabel.

For 11 mm Dmax-gruppen ble det funnet en statistisk signifikant sammenheng mellom DL og enkeltparametrene:

Mpd, G, Sliteparameter2, Kulemølleverdi, Hulrom

listet etter avtagende verdi for forklart varians R^2 .

En enkel strategi for modellering med to parametere, er å bruke Mpd og G i første modell, og G og Sliteparameter2 i neste modell, osv. Ved forsøk gir dette en mulig modell for DL:

$$DL(\text{mod11}) = 2.82 + 5.82 \cdot MPD - 0.101 \cdot G \quad (9.3)$$

med forklart varians $R^2 = 0.77$, og med bidrag fra begge parametere, men størst fra Mpd. Standardavviket (standard error of estimate) er 1.23 dB.

For 8 mm Dmax-gruppen var spredningen i påvirkningsvariablene stor. Dette vist tydelig på variablene restmengde med steinstørrelse større enn hhv. 2 og 4 mm. Spredningen forplantes også til variabelen sliteparameter.

Spredningen i datamaterialet for denne gruppen gjør det vanskelig med nyansering. DL er korrelert med Mpd, men med en relativ lav forklart varians ($R^2 = 0.3$).

9.3.3.3 Teksturparametere Ltx80 og Ltx5 som avhengige variable

Regresjonsanalyser ble nå gjennomført for Ltx80 og Ltx5, mht. eventuelle koplinger til trafikk- eller vegdekkedata. Eksempler på resultater for mulige sammenhenger er vist i Tabell 9.4. Sammenhenger med høyest R^2 og/eller som har flere komponenter, er vist.

Tabell 9.4 Eksempler på mulige sammenhenger for Ltx80 og Ltx5 med variabler fra trafikk- eller vegdekkematerialet

Avhengig variabel	Uavhengig variable	R^2 Forklart varians	Modell sammenheng,
Ltx80	Flatevekt, Mengde > 4	0.42	$31.35 + 0.1 \cdot \text{Flatevekt} + 0.13 \cdot \text{Mengde} > 4$
Ltx5	Piggdekk-andel, Mengde > 2	0.41, (U)	$39.57 + 0.095 \cdot \text{Mengde} > 2 - 0.065 \cdot \text{Piggdekk-andel}$

U : noe usikkert i forhold til forutsetningene i Vedlegg 2

Resultatene i Tabell 9.4 gjelder som et snitt over materialet på 37 vegdekker, det er ikke nyansert på alder, akkumulert trafikkbelastning eller Dmax.

Resultatene knytter Ltx80 til flatevekt og til mengde > 4 mm (fra steinmaterialets kornkurve ved rest masse (prosentandel) med størrelse > 4 mm), begge med positiv korrelasjon. Tilknytningen til mengde > 4 mm er viktigst. Flatevekt kan være koplet til Dmax, men ikke sterkt.

Det er indikasjoner på at Ltx5 er knyttet til piggdekkandel, med negativ korrelasjon. Høy piggdekkandel gir lav verdi for Ltx5.

I datamaterialet ble det registrert en indikasjon på negativ korrelasjon mellom Trøgerverdier og Mengde > 4 mm (og Mengde > 2 mm), med en forklart varians R^2 på over 60 % for sammenhengen mellom de to. Dette kan bety at antatt piggdekkrelatert slitasje (stor Trøgerverdi) avtar med større andel stein med størrelse over 4 mm.

Verdiene i Tabell 9.4 er indikasjoner på mulig kopling mellom teksturparametere som har betydning for DL (og dermed støy), og trafikk/vegdekkedata. Men disse indikasjonene skal ikke tolkes videre her. Det er også registrert at det kan være usikkerheter i forhold til enkelte av analyseforutsetningene. Vi har sannsynligvis for liten datamengde til å kunne gjøre rimelig sikre analyser på dette detaljnivået.

Det vises til forbehold og begrensninger gitt i Vedlegg 2 og kapittel 6.2. Det understrekes at undersøkelsen er forenklet, og bare gir et grovt og kvalitativt bilde av hvordan visse trafikk- og vegdekkparametere kan tenkes å påvirke teksturparametrene Ltx80 og Ltx5, som igjen er viktige parametere for støyen via variabelen DL.

9.3.3.4 Andre statistiske sammenhenger

Ved bruk av det statistiske datamaterialet som foreligger og regresjonsanalyse etter de enkle strategier som er vist, er det sett følgende andre indikasjoner:

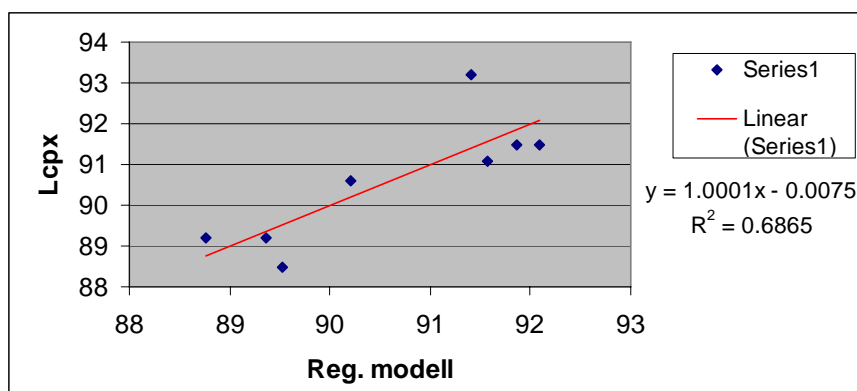
- Støyen (Lcpx50) påvirkes ikke klart av vegdekkens alder, eller akkumulert trafikkbelastning (husk at data for det første året ikke inngår i analysen), heller ikke når data for bare én Dmax (11 mm) analyseres,
- Ltx5 og Ltx8 er påvirket av piggdekkbruk, forklart varians i størrelsesorden 30 %,
- G-faktor verdier er koplet til piggdekkbruk, forklart varians i størrelsesorden 35 %.

10 Tekstur- og støydata for nylagte vegdekker – kort oversikt

Det er bare 8 vegdekker i denne gruppen, og øvre nominelle steinstørrelse i asfaltmassen er begrenset til 8 og 11 mm. Det gjelder vegdekkene Nr. 20, 28, 29, 30, 31, 32, 71, 72. Antallet vegdekker er for lite til at sikre regresjonsanalyser kan gjennomføres, i hvert fall med flere variable. Med nylagt vegdekke menes her et dekke som er lagt i sommer- eller høstperioden, og hvor støy og tekstur er målt før første vintersesong (før piggedekkbuk).

Basert på enkel regresjon med én variabel, oppnås det ikke signifikant sammenheng mellom L_{cpx} (A-veid) og noen av vegdekkeparametrene, bortsett fra D_{max} . Men med bare to steinstørrelser i utvalget blir dette resultatet sannsynligvis ikke representativt.

Det er signifikant sammenheng mellom L_{cpx} (A-veid) og teksturvariablene ($L_{tx80} - L_{tx5}$), og ($L_{tx160} - L_{tx8}$). Den siste gir best korrelasjon med L_{cpx} , og er vist i Figur 20.



Figur 20 Måledata (y) og regresjonsmodell (x) for L_{cpx} , nylagte vegdekker.

Denne enkle analysen viser at en rimelig modell for L_{cpx} på grunnlag av data fra de 8 nylagte vegdekkene, kan skrives som en funksjon av variabelen ($L_{tx160} - L_{tx8}$) på formen:

$$L_{cpx}(\text{mod}) = 95.502 + 0.757 \cdot (L_{tx160} - L_{tx8}) \quad (10.1)$$

hvor $R^2 = 0.63$ (korrigert verdi), spredningen omkring regresjonslinjen (standard error of estimate) er 0.94 dB. D_{max} er ikke inkludert spesifikt i analysen.

Sammenhengen i lign. (10.1) har fellestrekk med lign. (9.1), men leddet D_{max} mangler.

Det lille antallet vegdekker i denne undersøkelsen begrenser muligheten til å se koblinger mellom støy og vegdekkeparametere.

For å diskutere forskjellen på nylagte og eldre vegdekker innledningsvis er det i Tabell 10.1 og Tabell 10.2 vist verdier for støynivå L_{cpx} (A-veid) og en del viktige teksturparametere.

Oversikten gjelder for gruppene med øvre nominelle steinstørrelse 8 mm og 11 mm. Verdiene for

de eldre dekkene er middelværdier fra hoveddatatabellen (Vedlegg 1), og ikke nødvendigvis en ren oppfølging av de opprinnelige nylagte dekkene.

I oversikten for 8 mm steinstørrelse inngår data for 4 nylagte vegdekker, 4 dekker med alder 1 år, samt 10 eldre vegdekker med gjennomsnittsalder 2.5 år. På denne måten får vi se virkningen etter første vintersesong, og utviklingen over tid.

Tabell 10.1 Støy- og teksturdata for nylagte og eldre vegdekker. Dmax 8 mm.

Parameter	Middelverdi nylagt dekke	Middelverdi, 1 år	Differanse eldre (1 år) - nylagt	Middelværdier eldre dekker (2.5 år)	Differanse-eldre (2.5 år) - nylagt
Lcpx50	89.4	92	2.6	91.8	2.4
G	86.7	60.3	-26.4	54.3	-32.4
Mpd	0.76	0.92	0.16	1.08	0.32
Ltx80	44.1	44.3	0.2	44.5	0.4
Ltx5	47.4	42.5	-4.9	43.7	-3.7
DL=(Ltx80-Ltx5)	-3.4	1.8	5.2	0.8	4.2
Ltx160	41.4	42.5	1.1	43.1	1.7
Ltx8	49.4	45.7	-3.7	46.8	-2.6
DL2 (Ltx160-Ltx8)	-8.0	-3.2	4.8	-3.7	4.3

Endringer i støy- og teksturdata relativt til nylagt vegdekke, er vist i kolonne 3 og 5 for dekkealder hhv. 1 år og 2.5 år. På grunn av få verdier i hver kategori (og at det er forskjellige dekker i hver aldersgruppe) må en se etter tendenser, mindre avvik kan være unøyaktige.

Tilsvarende er det i oversikten for 11 mm steinstørrelse i Tabell 10.2 vist data for 4 nylagte vegdekker, 2 dekker med alder 1 år, samt 11 eldre vegdekker med gjennomsnittsalder 2.8 år.

Tabell 10.2 Støy- og teksturdata for nylagte og eldre vegdekker. Dmax 11 mm.

Parameter	Middelverdi nylagt dekke	Middelverdi, 1 år	Differanse eldre (1 år) - nylagt	Middelværdier eldre dekker (2.8 år)	Differanse-eldre (2.8 år) - nylagt
Lcpx50	91.8	93.9	2.1	93.1	1.3
G	87.6	53.8	-33.8	55.1	-32.5
Mpd	0.73	1.03	0.3	1.14	0.41
Ltx80	45.7	46.4	0.7	47.1	1.4
Ltx5	46.1	42.0	-4.1	43.4	-2.7
DL=(Ltx80-Ltx5)	-0.4	4.5	4.9	3.7	4.1
Ltx160	43.2	44.6	1.4	45.6	2.4
Ltx8	48.1	45.6	-2.5	46.8	-1.3
DL2 (Ltx160-Ltx8)	-5.0	-1.0	4.0	-1.19	3.81

Et kort sammendrag av resultatene i Tabell 10.1 og 10.2:

Resultatene i begge tabeller viser at støyen går klart opp, og G-verdien avtar relativt mye, i løpet av det første året. Mpd-verdien øker også relativt klart. Størrelsen DL (og DL2) som er viktig for støynivået, øker merkbart. Når det gjelder teksturspekteret er det mest påfallende at absoluttnivåer ved små bølgelengder (Ltx5 og Ltx8) avtar klart (ca. 2.5 til 5 dB), mens virkningen ved bølgelengder som assosieres med støyutstråling fra bildekket (Ltx80 og Ltx160) viser en svak økning.

Resultatene etter 2-3 år følger i grove trekk resultatene etter det første året. Dette indikerer at endringene i det første året er svært viktige for resulterende tekstur- og støydata.

11 Utvikling i tekstur

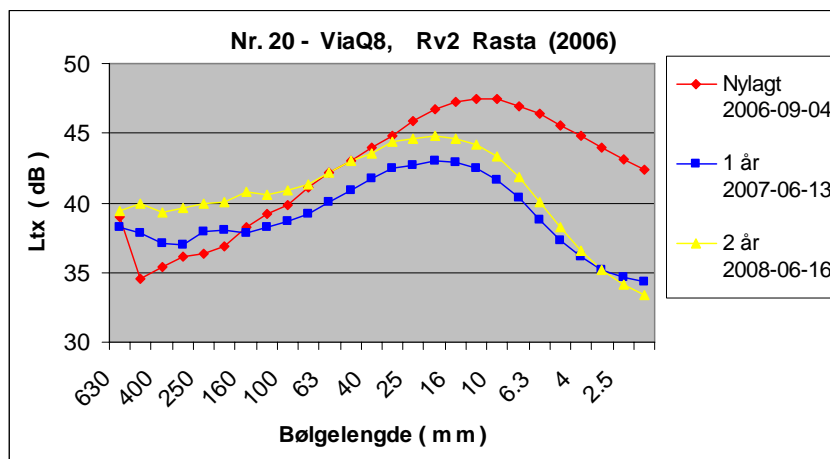
11.1 Bakgrunn

Verdiene i Tabell 10.1 og 10.2 viser at tekstur og støy utvikles over tid, men at den største og viktigste utviklingen skjer i løpet av det første året. I Figur 6 og 7 er slik utvikling vist for to forskjellige vegdekker (Ska8 lagt 2007, og Ska16 lagt 1999, begge målt i 2007) for å demonstrere med tydelighet hva som skjer. I korte trekk endres profilhøydedata (her vist med G-faktor og Mpd) og teksturspekteret. Teksturspekteret endres ganske dramatisk i form, dels pga. forskjellig øvre nominelle steinstørrelse i dekkene, og dels pga. alder. Støyen er avhengig av spekterets form, og vil følgelig endres.

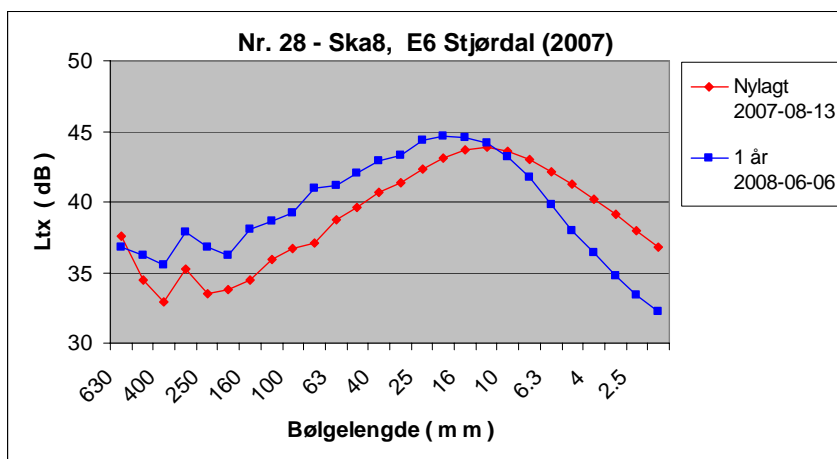
I det følgende vises eksempler på utvikling i teksturspektra over de første 1 – 2 år for å vise at endringene tydelig følger et felles mønster.

11.2 Utvikling i teksturspekter

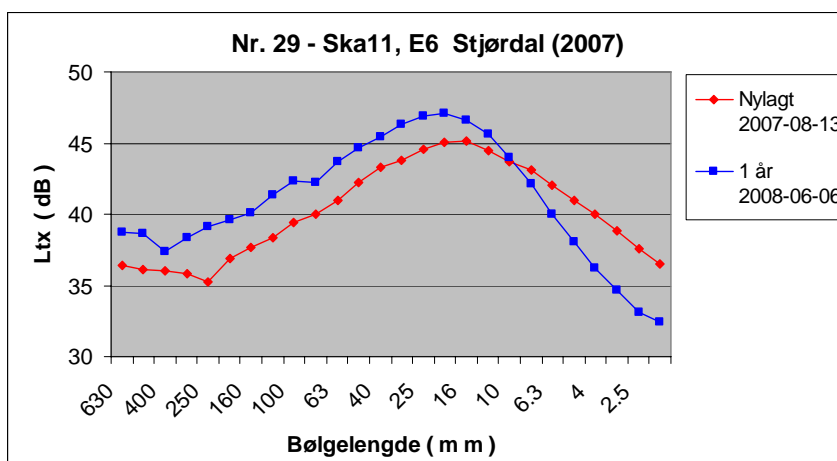
Som nevnt i kapittel 10 er endringene store i løpet av det første året. Endringen i teksturspektra er vist grafisk i de følgende figurer, for 7 vegdekker. Det er vist spekter for nylagt vegdekke, og for samme dekke etter 1 år, i noen tilfeller også etter 2 eller 3 år. Målingene er utført slik at resultatene kan sammenlignes. Det er også vist teksturspekter for ett nylagt dekke, målt i 2008. Felt nr. (kjøreretning relativt til kilometrering) er angitt, samt spor for teksturmåling. ”Indre” er i venstre hjulspor, og ”Ytre” i høyre hjulspor i forhold til tilhengerens kjøreretning.



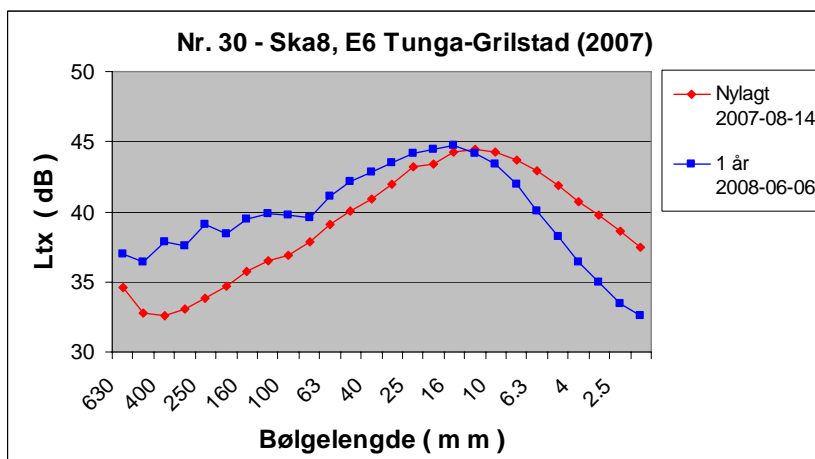
Figur 21 Vegdekke nr. 20, ViaQ8, Rv 2 Rasta, lagt i 2006.
Felt 1, spor Indre.



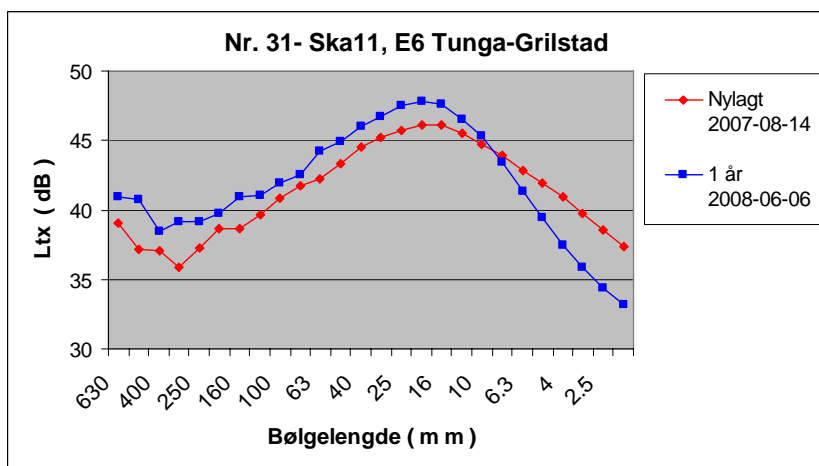
Figur 22 Vegdekke nr. 28, Ska8, E6 Stjørdal, lagt i 2007. Felt 1, spor Ytre.



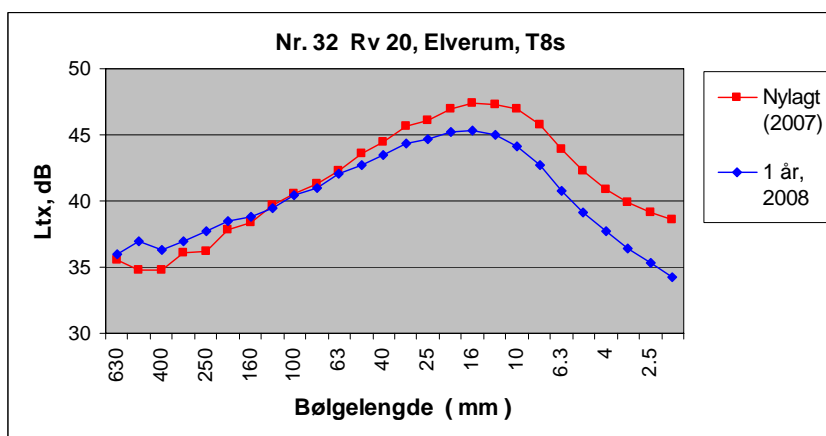
Figur 23 Vegdekke nr. 29, Ska11, E6 Stjørdal, lagt i 2007. Felt 1, spor Ytre.



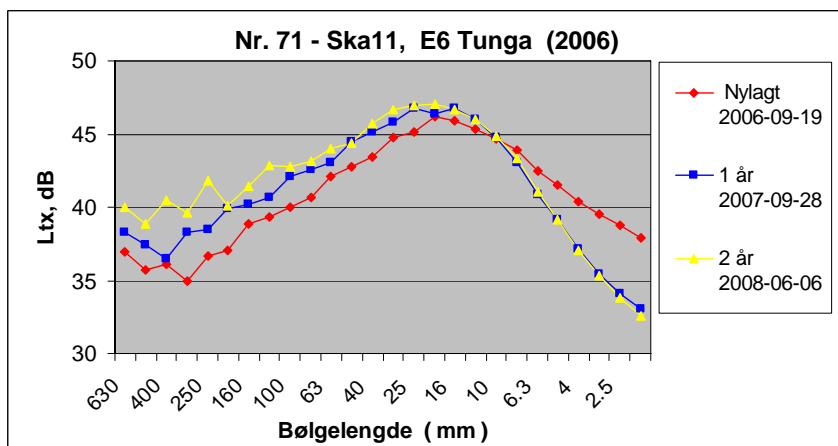
Figur 24 Vegdekke nr. 30, Ska8, E6 Tunga – Grilstad, lagt 2007. Felt 2, spor Ytre.



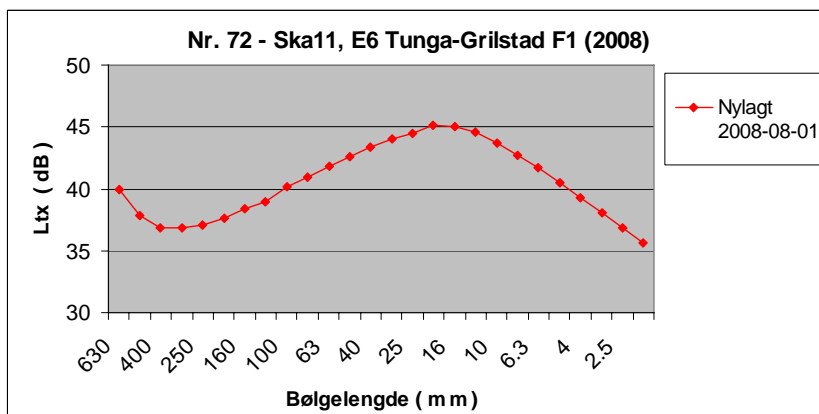
Figur 25 Vegdekke nr. 31, Ska11, E6 Tunga – Grilstad, lagt 2007. Felt 2, spor Ytre.



Figur 26 Vegdekke nr. 32, T8s, Rv. 20, Elverum, lagt 2007. Felt 1, spor Indre.



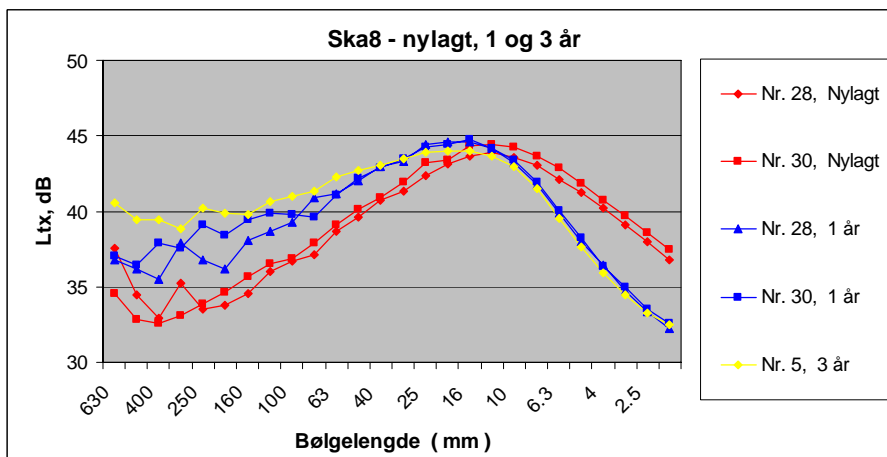
Figur 27 Vegdekke nr. 71, Ska11, E6 Omkjøringsvegen, lagt i 2006. Felt 4, spor Ytre.



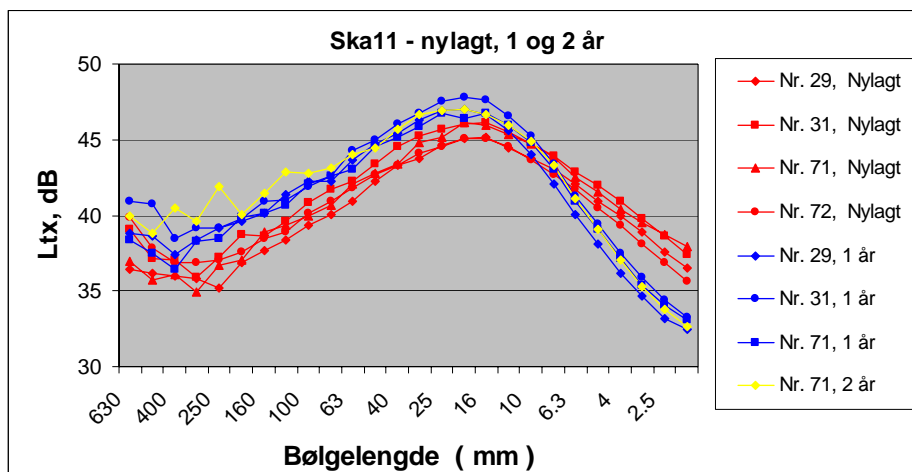
Figur 28 Vegdekke nr. 72, Ska11, E6 Tunga – Grilstad, lagt 2008. Felt 3, spor Indre. Ingen 1 års måling er tilgjengelig.

For samtlige vegdekker ser en det samme mønsteret som vist i Figur 7. Teksturnivåene avtar kraftig ved korte bølgelengder, dvs. ved bølgelengder under ca. 10 - 16 mm. Ved lange bølgelengder over ca. 16 – 20 mm, øker teksturnivåene. I Figur 21 og 27 som har utvikling over 2 år, ser en at utviklingen har stoppet opp ved korte bølgelengder etter det første året, men fortsetter noe ved lange bølgelengder.

Samlefigurer for utviklingen for Ska8 og Ska11 er vist i Figur 29 og Figur 30.



Figur 29 Utvikling i teksturspekter for Ska8 vegdekker



Figur 30 Utvikling i teksturspekter for Ska11 vegdekker

Utviklingsforløpene kan beskrives ved en bikking av spekterets form (mest utpreget for Ska8-dekkene), samt en viss økning av nivåer ved lengre bølgelengder. Dette er svært uheldig for støyen. Nivåøkningen i området 25 – 200 mm kan assosieres med større lavfrekvent lydutstråling fra bildekkene, mens nivåreduksjon ved korte bølgelengder kan assosieres med dårligere lufttrykkavlastning i kontaktflaten mellom bildekk og vegoverflate, og mulighet for støyøkning ved høye frekvenser.

Dekkene ViaQ8 og Ts8 ser ut til å ha et noe annerledes utviklingsforløp, hvor endringen i teksturnivåer ved korte bølgelengder ser ut til å dominere.

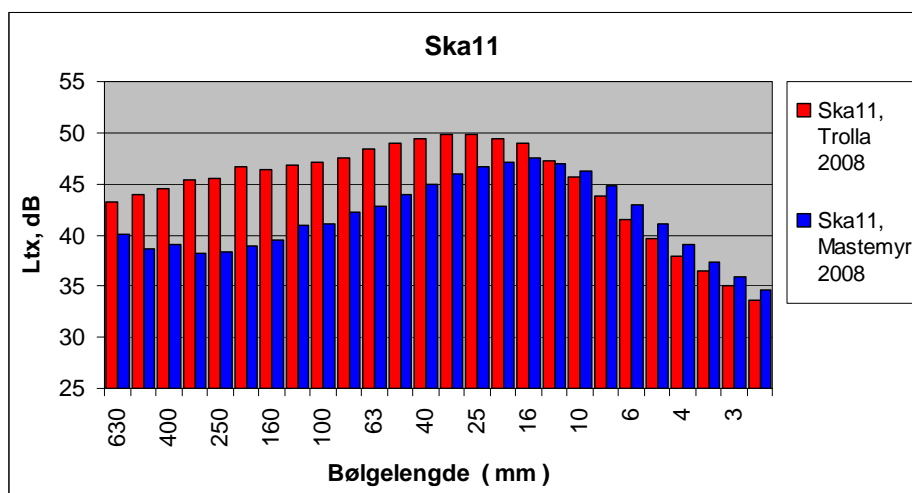
12 Spesielle teksturdata

12.1 Resultater fra E18 Mastemyr

I kapittel 11.2 er det vist at teksturspekteret og teksturdata forandrer seg over det første året, i et oppfølgingsstudie av 7 nylagte vegdekker.

Det ble funnet ett sett med vegdekker som avvek fra dette mønsteret. Ska-dekkene på E18 (Mastemyr, Oslo) hadde spesielle egenskaper i forhold til andre vegdekker i undersøkelsen. Som en demonstrasjon på dette ser vi spesielt på Ska11-dekket (Ska6, Ska8, Ska11 og Ska16 er lagt på en forsøksstrekning i 2005). Dette sammenlignes med et Ska11-dekke lagt på en tilsvarende forsøksstrekning på Rv. 715 ved Trolla, Trondheim, også i 2005.

I Figur 31 er teksturspekteret vist for de to vegdekkene, begge målt i 2008, dvs. 3 år gamle.



Figur 31 Teksturspektra for Ska11-dekker

Figuren viser en tendens til bikking av spekteret (fra blått til rødt) noe tilsvarende utviklingsmønsteret fra nylagt til eldre dekke, som ble vist i Kapittel 11. Det ser ut til at spekteret fra E18 Mastemyr kan ha opprettholdt mer av sin opprinnelige form.

I Tabell 12.1 har en sammenlignet nøkkeldata for det to Ska11-dekkene.

Tabell 12.1 Nøkkeldata for Ska11-dekker på hhv. Rv. 715 og E18.

	Flatevekt	Hulrom	Mengde >4 mm	Kule-mølle	Trøger	Slite-Par. 4	Mpd	G	ÅDT Pr. kj.f.	Piggd.-%
Rv. 175 Trolla	77	7.9	55	12.5	15.8	22.73	1.68	49.7	1350	59
E18 Mastemyr	100	3.3	66	6.1	13.6	9.24	0.98	80.1	6100*	20

* kan være lavere

Ska11 Mastemyr har ca. 1 dB(A) lavere støynivå.

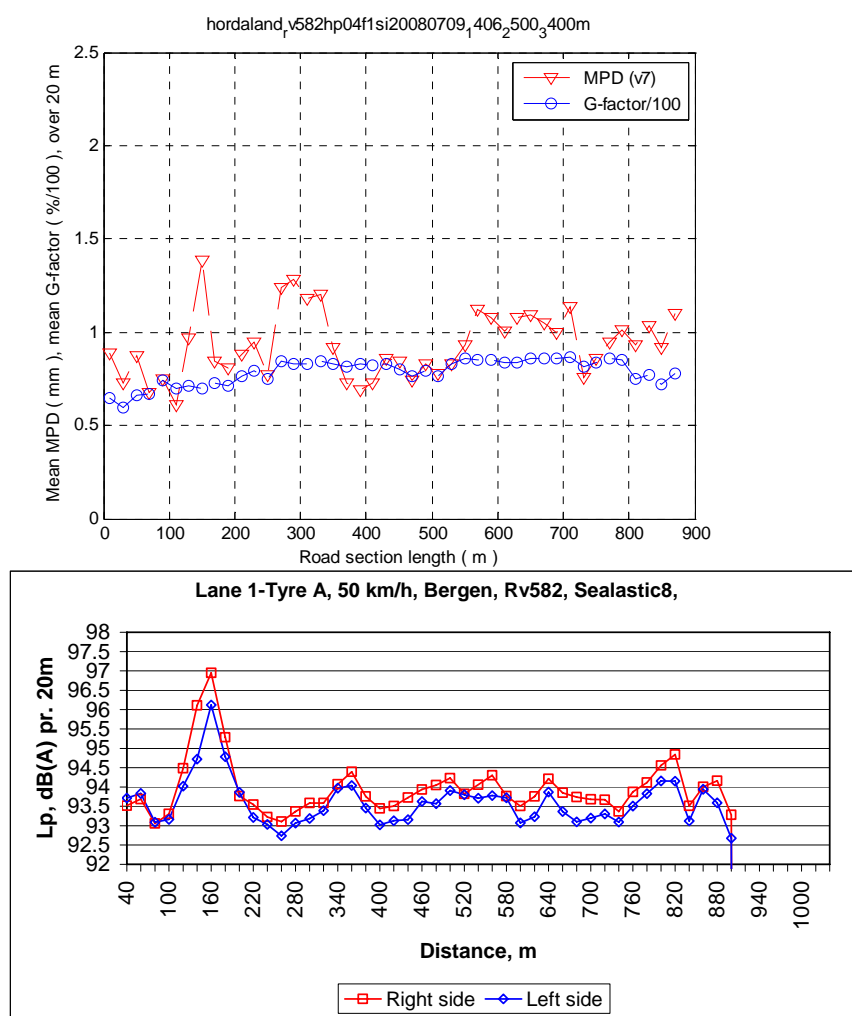
Her kan en observere at Ska11 Mastemyr har mer restmengde stein med størrelse over 4 mm, og har gunstigere verdier fra kule-mølle- og Trøger testen, slik at entallsindikatoren for kvalitet/slitestyrke (sliteparameter 4) blir vesentlig bedre for Mastemyr. Dette dekket har videre

høyest ÅDT, men lavest andel piggdekk. Det som er overraskende er at dekket opprettholder en G-verdi på ca. 80 %, selv etter 3 år. For en mer fullstendig analyse bør en også se på bindemiddeltipe, -mengde og evt. modifiseringer, samt kvalitet på stein og fillermateriale. Foreløpig registreres at gunstig verdi for sliteparameter og lav piggdekkandel synes å være viktige.

Men flere av dekkene i denne undersøkelsen har også lav sliteparameterverdi, men lav G-verdi.

12.2 Teksturvariasjoner langs veggen

I noen tilfeller viser løpende Lcp_x støynivå pr. 20 m intervaller relativt store variasjoner (flere dB). Dette skyldes sannsynligvis inhomogenitet i asfaltmassen. Støyen målt på Rv. 582 Bergen (vegdekke Nr. 35) er et eksempel som viser betydelige variasjoner i støynivå.



Figur 32 Målte variasjoner i støynivå for vegdekke Nr. 35 (under), og registrerte Mpd- og G-verdier (over).

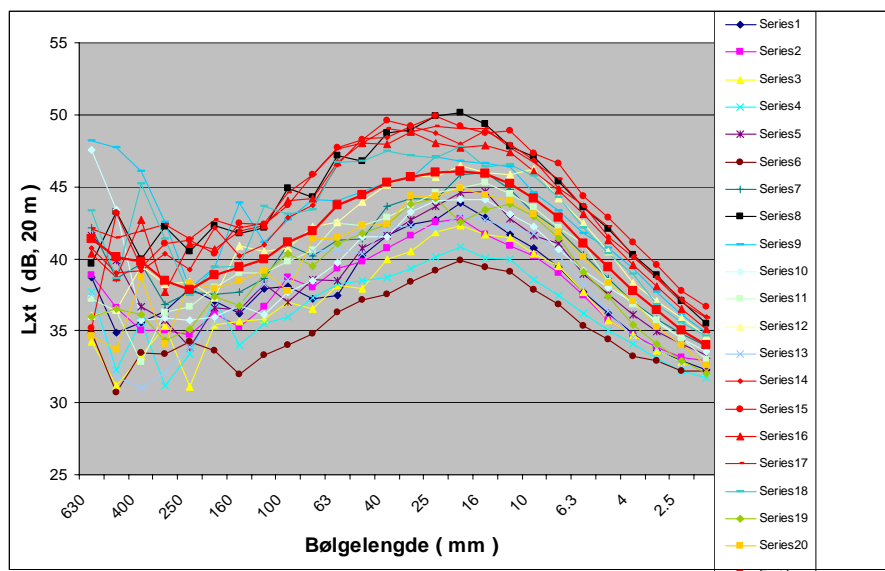
Støynivåene har to markerte topper i området opp til 400 m avstand langs veggen. I samme område og noenlunde sammenfallende har Mpd-verdien topper, se over.

Det er rimelig å anta at disse uregelmessighetene i tekstur og støynivå skyldes inhomogeniteter i vegdekket, og på en slik måte at det også finnes i overflaten. Det viste eksempelet var et ekstrem-

tilfelle. Konsekvensene av erfaringene her er at et vilkårlig vegsegment ikke nødvendigvis trenger å være representativt for hele vegstrekningen.

Videre at målemetoder for støy og/eller tekstur må ta hensyn til eventuelle variasjoner og sørge for midleteknikker som gir representative verdier.

Figur 33 viser målt teksturspektra pr. 20 m over ca. 400 m avstand, i samme område som vist ovenfor. I dette området er det inhomogeniteter som gjør at enkeltspetrene varierer mye.



Figur 33 Variasjonsområde for teksturspektra (20 m) på vegstrekninger hvor dekkeegenskapene er ujevne. Rød kurve med store markeringer er midlere spekter over strekningen.

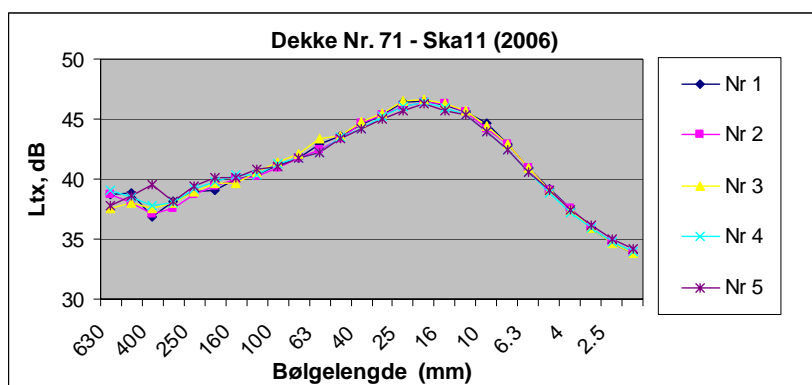
Første topp i Mpd kurven ved ca. 150 m og toppen ved ca. 270 – 330 m - se øverste del av Figur 32, tilsvarer teksturspektrene i serie 8 (sort) og serie (14 – 17) rød, gir også teksturspektra med de høyeste nivåene.

13 Repeterbarhet ved teksturmålinger

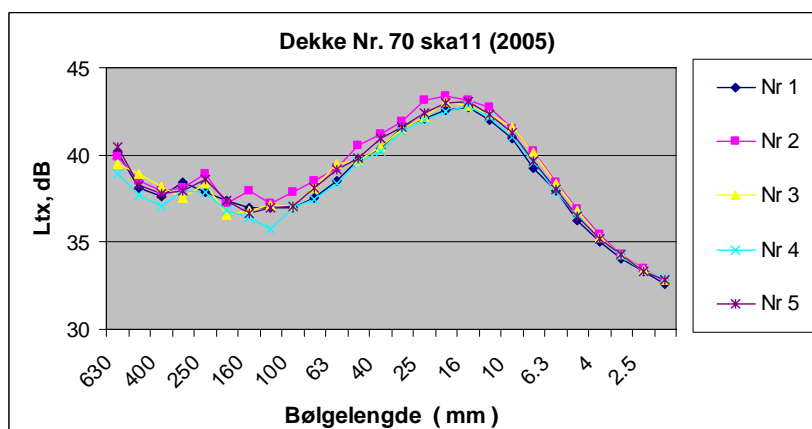
Ved teksturmålingene ble det bare kjørt én gang over hvert spor på hver strekning. Men som hovedregel for målingene i 2008 ble det målt i 3 spor: ytre spor (høyre hjulspor), indre spor (venstre hjulspor) og mellom hjulspor. Med denne prosedyren ble det likevel et betydelig registreringsarbeid i felten.

To vegdekker ble valgt ut for å gjennomføre en test på repeterbarhet, dvs. å undersøke spredningen i resultater ved gjentatte målinger utført på samme måte. De to dekkene var begge Ska11-dekker lagt på E6-Omkjøringsvegen i Trondheim. Det ene var dekke Nr. 70, lagt i 2005 og målt i denne testen i 2008 (3 år gammelt) i indre spor. Det andre var dekke Nr. 71, lagt i 2006 og målt i 2007 (1 år gammelt) i ytre spor. Trafikkbelastningen på dekkene er anslått til ca. 8000 kjøretøy pr. døgn. Målelengden var 200 m.

Figur 34 og 35 viser resultatene for teksturspekteret, for 5 målinger.



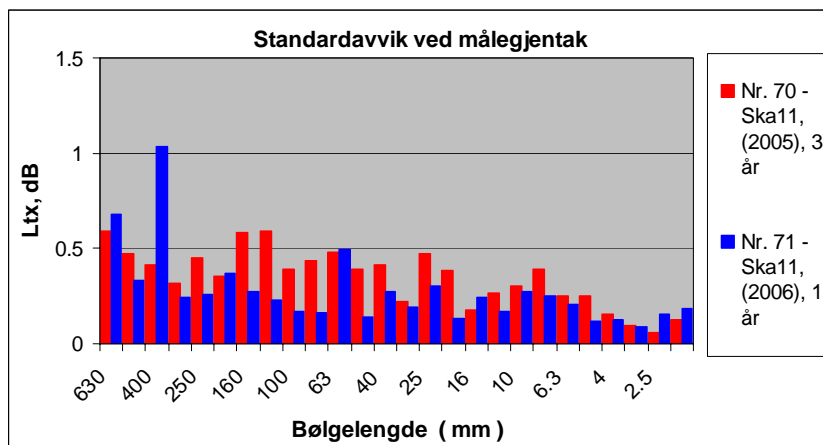
Figur 34 Resultatet fra 5 målegjentak, dekke Nr. 71 felt 4 ytre spor, målt i 2007



Figur 35 Resultatet fra 5 målegjentak, dekke Nr. 70, felt 3 indre spor, målt i 2008

Resultatene er gode. For dekke Nr. 71 ligger kurvene svært tett. For dekke Nr. 70 er det noe mer spredning, men 4 av kurvene ligger tett sammen, den femte avviker litt.

I Figur 36 vises standardavvik for hvert enkelt bølgelengdebånd i teksturspekteret.



Figur 36 Standardavvik fra 5 målegjentak

Det framgår av Figur 36 at variasjonsområdet i spekteret er noe større for dekke Nr. 70, dvs. det eldste Ska11-dekket. Dette gjelder spesielt for bølgelengdeområdet ca 25 – 160 mm.

I Tabell 13.1 sammenfattes standardavvik for variasjonene ved 5 gjentak for de viktigste teksturparametrene.

Tabell 13.1 Verdier for standardavvik ved 5 målegjentak på 2 vegdekker

Vegnr/type/alder	σ - Mpd mm	σ - G-faktor %-poeng	σ - Ltx80 dB (tekstur)	σ - Ltx5 dB (tekstur)	σ - ERNL dB (støy)
NR. 70, Ska11, 3 år	0.0153	0.86	0.40	0.216	0.152
NR. 71, Ska11, 1 år	0.0079	1.18	0.275	0.153	0.127

Verdiene i Tabell 13.1 antyder at ubestemtheten i resultatene ved bare å gjøre én måling, vil være tilnærmet:

Mpd	± 0.02 mm,
G-faktor	fra ± 1.5 til ± 2 %-poeng,
Ltx80	fra ± 0.5 til ± 0.7 dB,
Ltx5	ca. ± 0.3 dB,
ERNL	ca. ± 0.25 dB

beregnet ut fra et 90 % konfidensintervall.

14 Oppsummering og konklusjoner

I tidligere rapporter ble det lagt til rette for måling og analyse av tekstur i vegoverflaten, innenfor et relevant bølgelengdeområde. Målingene er utført med vegvesenets målesystem, egentlig tilpasset måling av spor og jevnhet.

I kapittel 3 er det gitt en kort grunnleggende oversikt over teksturenheter og aktuelle parametere.

Hovedtyngden av teksturdata som er behandlet i denne rapporten er målt i 2007 og 2008. Målingene i 2008 er samkjørt med støymålingene slik at støy og tekstur er målt i samme spor, og over samme lengde. Dette gjelder for 37 vegdekker (tette dekker, testdekker og ordinære) med alder minst 1 år. I tillegg har vi slike korresponderende data for 8 nylagte vegdekker. Dekkealderen er i hovedsak opptil 3 år, men med noen få eldre dekker. Detaljdata for teksturregistreringene vil rapporteres separat. Formen på resultatene fra måling og analyse er vist i Figur 6 og 7.

Undersøkelsen har noen klare begrensninger. Antallet vegdekker som inngår (37 + 8) er noe lite. Det bør kunne gi en rimelig oversikt over teksturdata for vanlige norske vegdekker, men med visse begrensninger i alder. For den statistiske behandlingen er antallet lite. I undersøkelsen har en tatt med støy/teksturdata bare for referansedekk A, og bare for rullefart 50 km/t. På grunn av tekniske problemer ble omfanget av brukbare teksturdata lite i 2005 og 2006 da mange nye vegdekker ble lagt. Vi har derfor få teksturdata på nylagt vegdekke.

Figur 8 viser samvariasjonen mellom tekstur og støy, begge i 1/3-oktavgbånd (bølgelengde for tekstur, akustisk frekvens for støy). Resultatene er interessante.

Ved lavfrekvent støy (i denne sammenhengen) er det sterk positiv korrelasjon med tekstur i et bredt bølgelengdeområde mellom ca. 25 – 500 mm. I dette området (rødt område) vil støyen øke når tekturen øker.

Den andre hovedtendensen gjelder høyfrekvent støy, dvs. 1/3-oktavg båndene over ca. 2000 Hz. Her er det betydelig negativ korrelasjon mellom støy og tekstur for korte bølgelengder under ca. 12.5 – 16 mm. I dette området (blått område) vil støyen avta når tekturen øker.

Resultatene er ikke helt generelle, men gir et ganske instruktivt bilde av den prinsipielle samvariasjonen mellom støy og tekstur, med støyen registrert som L_{cpX} -nivåer i 1/3-oktavg bølgelengdebånd.

Kapittel 8 gir et sammendrag av teksturdata for alle 37 vegdekker. Teksturspektret er hovedresultatet, men alle vegdekker har en referanse til en utvidet resultattabell i Vedlegg 1. Hovedinntrykket av resultatene er at spredningen er ganske stor, ikke bare fra dekketype til dekketype, men også innen den enkelte dekketype. Resultatene kan slik virke litt uoversiktlige. Men en skal huske på at de aktuelle vegdekkene har ulik alder på måletidspunktet. Resept, dimensjonering, utlegging, dekketykkelse osv. har vært forskjellig. I tillegg er trafikkmengde og piggdekkandel forskjellig. Dette gjør resultatene forskjellig.

Det er vanskelig å ha noen formening om teksturspektrene er støymessig gunstige eller ugunstige bare ved å se på figurene. Enklest er det å vurdere resultatene i hver figur som et realistisk variasjonsområde for de ulike dekketyperne.

Parameteren $DL=(L_{tx80} - L_{tx5})$ (differansen mellom teksturnivå i oktavgbåndene omkring senterbølgelengdene hhv. 80 og 5 mm) er tatt med i nøkkelinformasjonen i Tabell 8.1. Dette er en

følge av resultatene fra samvariasjonen mellom tekstur og støy som vist i kapittel 7.3. Ved enkel inspeksjon i Tabell 8.1 ser en at lavest støynivå L_{cpX} alltid forekommer for den laveste verdi av DL. Noe mindre klart, men som en grov trend, er at lavest støynivå stort sett forekommer ved kombinasjoner av *lav* Mpd-verdi og *høy* G-verdi. Her ligger det allerede noen utgangspunkter for videre analyse av resultatene.

Med det materialet som er samlet inn så en også en mulighet til å undersøke sammenhenger mellom teksturparametere og støy via statistisk analyse. Kanskje ville det være mulig å se sammenhenger mellom støy eller teksturdata til underliggende vegdekkeparametere. Derfor ble det tatt fram et større antall data pr. vegdekke, som en antok var relevante, se kapittel 6.3 og Vedlegg 1. Fra tidligere kommer en ganske omfattende teksturanalyse av de mange teksturregistreringene som ble gjort. I denne statistiske analysen er det hensiktsmessig å inndele de ulike parametrene i ”Fysiske påvirkningsparametere”, ”Teksturrelaterte parametere” og ”Støydata”. En oversikt over denne inndelingen er gitt i Tabell 9.1.

Resultatene fra den statistiske analysen kan kort oppsummeres:

- For totalmaterialet på 37 vegdekker ble det funnet en forholdsvis god modell for $L_{cpX}(A)$ ved parametrene D_{max} og DL (= $L_{tx80} - L_{tx5}$). Ingen direkte avhengighet mellom støy og detaljerte vegdekkeparametere ble funnet (eller var gyldig).

Følgende indikasjoner på statistisk sammenheng (med signifikant, men moderat forklart varians) ble funnet:

- DL som er en viktig parameter for $L_{cpX}(A)$, kan modelleres ved parametrene Mpd, G og D_{max} ,
- Dersom analysen begrenses til $D_{max}=11$ mm, kan DL modelleres ved Mpd og G,
- L_{tx80} som er en viktig parameter for DL, kan modelleres ved parametrene Flatevekt og Mengde >4 ,
- L_{tx5} som er en viktig parameter for DL, kan modelleres ved parametrene Pa (Piggdekkandel), og Mengde >2 .

Her er det viktig å huske på at indikasjonene er statistiske, og at sammenhengen mellom vegdekkeparametrene via hjelpeparametrene (L_{tx80} , L_{tx5} , DL) og opp til støyen $L_{cpX}(A)$ kan være svak.

I kapittel 10 er det sett på middelveier for parametere for nylagte vegdekker, og for dekker som er 1 år gamle og eldre. Dette er gjort for dekker med 8 og 11 mm øvre nominell maksimal steinstørrelse. Resultatene i begge tilfeller viser at støyen går klart opp, og G-verdien avtar relativt mye, i løpet av det første året. Mpd-verdien øker også relativt klart. Størrelsen DL (og DL2) som er viktig for støynivået, øker merkbart. Når det gjelder teksturspekteret er det mest påfallende at absoluttnivåer ved små bølgelengder (L_{tx5} og L_{tx8}) avtar klart (ca. 2.5 til 5 dB), mens virkningen ved bølgelengder som assosieres med støyutstråling fra bildekket (L_{tx80} og L_{tx160}) viser en svak økning.

Resultatene etter 2-3 år følger i grove trekk resultatene etter det første året. Dette indikerer at endringene i det første året er svært viktige for resulterende tekstur- og støydata.

I kapittel 11 har en sett på utviklingen i tekstur, fra nylagt til eldre dekker, ved å følge hvert enkelt av 7 dekker. Alle dekkene viser grader av samme mønster, nemlig at formen på teksturspekteret

endrer seg merkbart i løpet av det første året, og mindre deretter. Dette endringsmønsteret er spesielt tydelig for Ska8- og Ska11-dekker.

I kapittel 12 ser en noe nærmere bl.a. på Ska-dekkene lagt på E18 Mastemyr. Disse har en noe avvikende utvikling, i og med at de opprettholder en relativt høy G-verdi over flere år, og har mindre endringer i teksturspekteret.

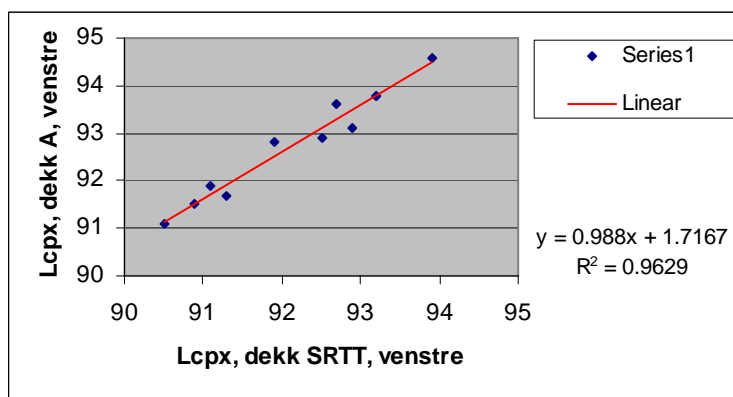
Foreløpig registreres at gunstig (lav) verdi for sliteparameter og lav piggdekkandel synes å være viktige. Men flere av dekkene i denne undersøkelsen har også lav sliteparameterverdi, men lav G-verdi.

15 Videre arbeid

15.1 Resultater for referansedekk SRTT

Alle støydata i denne rapporten er målt med referansedekk A. Et nytt referansedekk, SRTT; (Uniroyal Tigerpaw, 225/60 R16 (ASTM Standard Reference Tyre)) er også brukt til en del støymålinger i 2008. Teksturdata er målt for en del vegstrekninger hvor dette dekket er brukt. Det har ikke vært mulig å analysere og etterbehandle støy/tekstur-data for dette dekket innenfor rammen av prosjektet.

For 11 vegdekker fikk en imidlertid støydata for SRTT-dekket i et spor hvor også tekstur og støy fra A-dekket var målt. Figur 37 viser støynivåer fra A-dekket og SRTT-dekket på disse vegdekkene. Resultatet viser en svært god korrelasjon mellom støynivåene fra de to bildekkene. Dette tar en som en foreløpig indikasjon på at en ville oppnå samme typen resultater i prinsippet med SRTT-dekket, som en har oppnådd med A-dekket.



Figur 37 Støydata (dB(A)) for dekk A og dekk SRTT, på samme tekstur.

En behandling av teksturdata for det nye referansedekket bør gjennomføres som en videreføring av prosjektet. Rådata finnes i tekstur- og støy-basene, men teksturanalyse gjenstår. Resultatene herfra vil evt. bidra til å bekrefte de generelle trendene som resultatene for A-dekket har vist, eller evt. vise nye vinklinger på sammenhengen mellom støy og tekstur.

15.2 Oppfølgingsdata

En del av tidligere målte vegdekker bør følges opp med nye målinger for å se om endringer i støy og/eller tekstur er viktig.

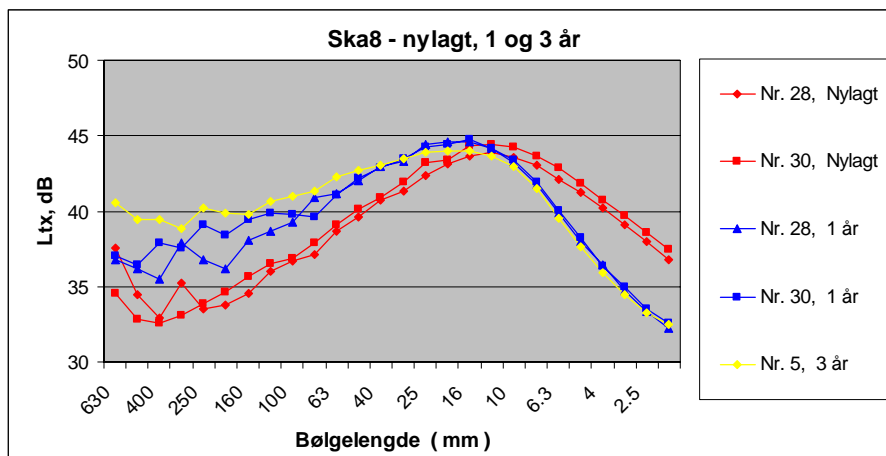
Måling på flere nylagte vegdekker vil bidra til et bedre grunnlag for å vurdere endringen i tekstur og støy i løpet av det første året.

15.3 Innvirkning av materialparametere

Det blir viktig å undersøke videre hvilke materialparametere som kan ha betydning for endringen i støy (og tekstur) i løpet av det første året. Hvordan kan optimalt materialvalg, sammensetning og

utførelse av et asfaltdekke begrense den negative utviklingen? Det blir viktig å fokusere på materialpåvirkninger og materialvalg i asfaltmassen, og videre på leggesprosess og etterbehandling. Undersøkelse av detaljer fra forsøksdekkene lagt på E18 ved Mastemyr kan være nyttig, fordi de opprinnelige teksturegenskapene ble opprettholdt lenge.

Et utgangspunkt for videre arbeid kan diskuteres ut fra Figur 38 (tidligere også vist som Figur 29).



Figur 38 Utvikling i teksturspekter for Ska8 vegdekker

Teksturspekteret for nylagte dekker er utgangspunktet. Det ser ut til at innsatsen kan rettes mot to bølgelengdeområder.

Det ene området gjelder bølgelengder kortere enn 10 – 16 mm, hvor det blir viktig å motvirke en reduksjon i teksturnivå. Den fysiske virkningen betyr gjentetting av små overflatesprekker, og en viss polering og/eller nedsliting av finstrukturen. Viktige oppgaver vil være å undersøke styrke/kvalitet i forbindelse med:

- Mørtel,
- Steinmateriale, spesielt materiale < 2 mm,
- Bindemiddeltype,
- Filler/tilsetningsstoffer.

Det andre området gjelder bølgelengder i området ca. 25 – 200 mm, hvor det blir viktig å motvirke en økning i teksturnivå. Den fysiske virkningen betyr å unngå for stor nominell maksimal steinstørrelse, og unngå steinslipp og uheldige deformasjoner i dekkeoverflaten. Viktige oppgaver vil være å undersøke/forbedre:

- Slitelagets tykkelse/flatevekt i forhold til maksimal steinstørrelse,
- Vedheft mellom bindemiddel og steinmateriale
- Stabilitet i massen,
- Fokusere på god leggeteknikk/utførelse for å unngå inhomogenitet.

Kommentarene ovenfor er svært skissemessige ut fra generelle forhold og erfaringer som vist. De må selvsagt vurderes av dekkekyndig ekspertise som må tolke dette over i hensiktsmessige faglige vurderinger.

16 Referanser

- [1] Svein Å. Storeheier:
Måling av tekstur i vegoverflater – en pilotundersøkelse utført på vegdekker i Kongsvingerområdet i 2003-04.
SINTEF rapport A10837, 2008-12-19.
- [2] Svein Å. Storeheier:
Måling og analyse av teksturdata i prosjektet ”Miljøvennlige vegdekker”.
Forutsetninger og validering.
SINTEF rapport A10839, 2009-01-05.
- [3] S. Å. Storeheier, G. Couweleers:
Test av videofoto-metode for måling av vegtekstur. Kort orientering om foreløpige resultater. SINTEF Notat 90-NO05164, 2005-10-30.
- [4] ISO/TS 13473-4. First edition 2008-05-01.
Characterization of pavement texture by use of surface profiles –
Part 4:
Spectral analysis of surface profiles.
- [5] J. S. Bendat & A. G. Piersol :
Random data: Analysis and measurement procedures.
Kap. 9.6 . Power spectral density functions.
Wiley-Interscience, 1971.
- [6] ISO 13473-1. First edition 1997-09-01.
Characterization of pavement texture by use of surface profiles –
Part 1:
Determination of Mean Profile Depth
- [7] ISO 13473-2. First edition 2002-09-15.
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. 7.5.2.3, Informex, ISBN 91-631-2610-9, 2002.
- [10] Truls Berge, Frode Haukland, Asbjørn Ustad:
Miljøvennlige vegdekker:
Resultater fra støymålinger 2005-2008.
SINTEF Rapport A9720, 2009-02-26
- [11] J. Pallant:

SPSS Survival Manual. A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows. Third edition. McGraw Hill, Open University Press, 2007

- [12] P. R. Kinnear, C. D. Grey:
SPSS 15 made simple.
Psychology Press, 2008

- [13] T. A. Eikemo, T. Høyvarde Clausen (red.):
Kvantitativ analyse med SPSS. En praktisk innføring i kvantitative analyseteknikker.
Tapir akademisk forlag, Trondheim 2007.

- [14] Svein Å. Storeheier:
Teksturmålinger på veger i Kongsvingerområdet høsten 2003, våren 2004 og høsten 2004.
Detaljerte resultater fra profil- og spektralanalyse.
SINTEF Rapport A100, April 2006.

Vedlegg 1

Parametere for tekstur, støy, trafikk og vegdekker

Tabell V1.a

Nr	Veg id	Sted	Leggeår	Alder mnd	ÅDT, 1000	ÅDT t%	ÅDT Felt, 1000
1	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
2	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
3	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
4	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
5	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
6	Rv715	Trheim	2005	36	2.7	10	1.35
7	E6	Melhus	2005	36	10.3	14	4.635
8	E6	Melhus	2005	36	10.3	14	0.515
9	E18	Oslo	2005	36	24.4	10	6.1
10	E18	Oslo	2005	36	24.4	10	6.1
11	E18	Oslo	2005	36	24.4	10	6.1
12	E18	Oslo	2005	36	24.4	10	6.1
13	E16	Hønefoss 07	2005	24	4.4	10	2.2
14	E16	Hønefoss 07	2005	24	4.4	10	2.2
15	E16	Hønefoss 07	2005	24	4.4	10	2.2
16	E6	Stange	2005	36	11.7	10	5.85
17	E6	Stange 07	2005	24	11.7	10	5.85
20	Rv2	Kongsv	2006	24	12	10	6
21	Rv2	Kongsv	2006	24	10.6	11	5.3
22	Rv161	Oslo	2006	24	20.3	7	2.03
23	Rv161	Oslo	2006	24	20.3	7	6.09
28	E6	Stjørdal	2007	12	17	14	8.5
29	E6	Stjørdal	2007	12	17	14	8.5
30	E6	Trheim	2007	12	22	8	5.5
31	E6	Trheim	2007	12	22	8	5.5
32	Rv20	Elverum	2007	12	7	12	3.5
33	Rv62	Eidsvåg	2007	12	3.6	13	1.8
34	Rv118	Rygge	2007	12	7.9	7	3.95
43	Rv2	Kongsv., Rasta, 07	2003	48	10.6	10	5.3
44	Rv2	Kongsv., Rasta, 07	2003	48	10.6	10	5.3
62	Rv170	Bjørkelangen	2006	24	6.6	10	3.3
68	E6	Omkjvn. Sgående Moholt	1999	84	31.8	8	7.95
70	E6	Omkjvn. Ngående F3 Moholt	2005	36	31.8	8	7.95
71	E6	Omkjvn. Sgående F4 Tunga	2006	24	28	8	7
76	Rv715 ref	Trolla	2005	36	2.7	10	1.35
82	E6 Stjørdal	Ng tunnel	2002	72	17	14	8.5
83	Rv62	Hp4 Eidsvåg,	1996	144	3.6	13	1.8

Tabell V1.b

Nr.	ÅDT 2spor x Alder /100	Pigg- Andel %	Hastighet Km/t skiltet	Navn	Dmax mm	Tett Porøs	Flatevekt Kg/m ²
1	14.783	59	80	Ab6	6	T	78
2	14.783	59	80	Ab8	8	T	75
3	14.783	59	80	Ab11	11	T	76
4	14.783	59	80	Ska6	6	T	73
5	14.783	59	80	Ska8	8	T	77
6	14.783	59	80	Ska11	11	T	77
7	50.753	52	90	Ska11, 1% gummi, F3	11	T	100
8	5.639	52	90	Ska11, 3 % gummi, F1	11	T	100
9	66.795	20	90	Ska6	6	T	63
10	66.795	20	90	Ska8	8	T	65
11	66.795	20	90	Ska11	11	T	100
12	66.795	20	90	Ska16	16	T	113
13	16.060	60	80	Ab6	6	T	54
14	16.060	60	80	Ab8	8	T	60
15	16.060	60	80	Ab11	11	T	59
16	64.058	48	80	Ab4, pmb	4	T	60
17	42.705	48	80	T8g, gummi+pmb	8	T	60
20	43.800	40	60	ViaQ8, pmb	8	T (tynndekke)	60
21	38.690	40	70	T8s	8	T (tynndekke)	60
22	14.819	20	50	Novachip8, pmb	8	T (tynndekke)	50
23	44.457	20	50	T8s, pmb	8	T (tynndekke)	50
28	31.025	60	80	Ska8, pmb	8	T	60
29	31.025	60	80	Ska11, pmb	11	T	70
30	20.075	35	80	Ska8, pmb	8	T	60
31	20.075	35	80	Ska11, pmb	11	T	70
32	12.775	40	70	T8s, pmb	8	T (tynndekke)	55
33	6.570	60	50	Ab6, pmb	6	T	60
34	14.418	40	70	ViaStab8, pmb	8	T (spesiell)	52
43	77.380	40	70	Ska8	8	T	55
44	77.380	40	70	Ska11	11	T	80
62	24.090	35	80	Ska11	11	T	80
68	203.123	35	80	Novachip 16	16	T	50
70	87.053	35	80	Ska11	11	T	68
71	51.100	35	80	Ska11	11	T	65
76	14.783	59	80	Ska11	11	T	77
82	186.150	60	80	Ska16	16	T	60
83	78.840	60	60	Agb16	16	T	100

Tabell V1.c

Nr.	Bm Menge	Hulrom %	Mengde >4 m m	Mengde > 2 m m	Troger	Steinuttak	Kule- mølle	Slite- parm4
1	5.7	7.3	17	37	25.2	Vassfjell/Heggb	12.5	73.53
2	6.2	9	27	48	21	Vassfjell/Heggb	12.5	46.30
3	5.8	5.4	46	64	17.5	Vassfjell/Heggb	12.5	27.17
4	6.2	7.6	13	60	19.3	Vassfjell/Heggb	12.5	96.15
5	6.3	7.3	49	64	17.7	Vassfjell/Heggb	12.5	25.51
6	6	7.9	55	66	15.8	Vassfjell/Heggb	12.5	22.73
7	6.8	2.7	62	70	13.1	Ottersbo/Heggb	7	11.29
8	8.5	0.6	54	75	12.2	Ottersbo/Heggb	7	12.96
9	6.8	3	68	77	.	Bjørndalen	6.1	8.97
10	6.4	3.7	62	74	13.7	Bjørndalen	6.1	9.84
11	5.9	3.3	66	75	13.6	Bjørndalen	6.1	9.24
12	5.7	3.1	72	77	12.9	Bjørndalen	6.1	8.47
13	6.3	3.5	42	56	.	Stryken/Myrvang	3.8	9.05
14	6.2	3.5	37	51	.	Stryken/Myrvang	3.8	10.27
15	5.9	3.5	50	61	.	Stryken/Myrvang	3.8	7.60
16	6.5	10.8	18	53	22.2	Bjørnd/Hovindmo	6.5	36.11
17	8	2.7	62	80	17.8	Bjørndalen	6.1	9.84
20	6.5	3.6	48	63	11.7	Stryken	3.8	7.92
21	5.5	7.3	72	80	15	Hadeland	3.8	5.28
22	6.2	15.1	70	79	14.9	Lierskogen	7	10.00
23	5.5	2.0	72	80	13.5	Hadeland	3.8	5.28
28	6.7	3.5	55	67	.		6.4	11.64
29	6.3	3.5	60	70	.		6.4	10.67
30	6.7	3.5	54	67	.		6.4	11.85
31	6.3	3.5	61	70	.		6.4	10.49
32	5.5	7.3	75	80	.		9.8	13.07
33	6.3	3.0	15.0	40.0	.		7	46.7
34	6.5	3.5	60	72	.		3.8	6.33
43	7.2	3.5	55	68		Odals bruk	8	14.55
44	6.2	3.5	64	74		Odals bruk	8	12.50
62	6.2	3.5	63	74		Bjørndalen	6.6	10.48
68	5.6		68	76		Jaspis	4	5.88
70	6.3	3.5	60	71		Ottersbo/Heggb	5.7	9.50
71	6.3	3.5	61	72		Ottersbo/Heggb	5.7	9.34
76	6.3	3.5	60	71		Ottersbo/Heggb	5.7	9.50
82	5.8	3.5	65	72		Ottersbo/Heggb	5.1	7.85
83	5.7	4.5	52	63		Sunndal/Bergmester	11.5	22.12

Tabell V1.d

Nr.	Slite- parm2	Lcp dBA	Lcp80 dBA	Mpd mm	G %	Ltx80 okt	Ltx5 okt	Ltx63 okt	Ltx8_3	Lcp 630_3 dB	Lcp 3150_3 dB
1	33.8	91.7		0.81	33.6	42.6	40.2	43.1	38.2	81.4	72.2
2	26.0	92.1		1.01	40.4	44.2	41.9	44.8	40.3	82.1	72.3
3	19.5	93.9		1.26	40.8	49.1	42.2	49.6	41	84.4	74.1
4	20.8	92.1		0.88	49.8	44.1	41.6	44.3	39.9	81.7	72.7
5	19.5	92.2		1.1	52	46.3	42.7	46.9	41.5	82.4	72.6
6	18.9	93.7		1.68	49.7	52.5	44.7	53.1	43.8	84.8	73.7
7	10.0	92.8	100.4	1.55	52.5	51.2	45.8	51.9	44.3	83.3	72.3
8	9.3	92.7	100.5	1.28	65.7	48.5	46.4	49.6	44.3	83.2	72.8
9	7.9	91.5	98.7	0.95	81.4	45.7	50.1	46.6	48	80.4	72
10	8.2	91.9	98.8	0.9	81.4	44.0	46.0	44.9	44.8	80.8	72.5
11	8.1	92.9	100.1	0.98	80.1	46.9	46.0	47.8	44.8	82	72.9
12	7.9	93.1	100.7	1.43	78.2	52.4	48.8	53.4	47.8	82.2	72.4
13	6.8	90.1		0.6	61	40	41.8	40.9	39.3	78.8	72.3
14	7.5	91.1		0.71	35.7	37.3	41	38.2	38.7	80.4	72.5
15	6.2	91.1		0.87	49.1	42.3	41.9	43.2	40.6	80.5	71.8
16	12.3	91.7	98.5	0.44	59.4	38.3	38.5	38.9	35.5	79	75.2
17	7.6	90.1	97.6	0.75	42.6	38.8	42.6	39.6	39	77.9	74.6
20	6.0	92.6		1.03	59	46.3	43.3	47	41.9	82.1	72.3
21	4.8	92.1		1.65	61.7	50.9	47.2	51.5	46.4	82.4	71.6
22	8.9	92.1		1.79	52	50.4	48.5	51.4	47.8	83.1	71.1
23	4.8	92.4		1.41	50.4	48.3	43.5	49.2	42.8	82.8	71.5
28	9.6	92.7	99.9	0.82	54.4	43.4	40.7	44	38.6	81.7	74.1
29	9.1	93.8	101.2	1.06	58.5	46.9	42.6	47.8	41.3	83.7	74.1
30	9.6	92.5	99.9	0.87	56.6	44.3	42	44.8	40.3	82.6	74
31	9.1	93.9	101	1	49.1	45.9	41.3	46.6	40	84	74.9
32	12.3	91.5		0.87	73.5	45.1	43.1	46	41.6	81.8	72.2
33	17.5	91.7		0.46	61.9	37.7	39.3	38.4	36	80.1	72.6
34	5.3	91.1		1.12	56.5	44.3	44	45.3	42.7	81.1	70.6
43	11.8	91.7		0.43	67.5	38.8	40.4	39	37.2	79.7	76.1
44	10.8	92.6		0.7	60.6	41.9	41.4	42.3	39	81.3	73.9
62	8.9	93.5	100.5	0.97	62.8	45.7	42.4	46.5	41.3	83	74.2
68	5.3	93.9	101.1	1.29	45.7	48.9	42.3	49.6	41.1	85.2	75.5
70	8.0	94.0	101.4	1.03	55.4	46.3	42.9	47.2	41.5	84.4	73.4
71	7.9	93.0	100.9	0.9	50.9	43.8	41.2	44.5	39.7	83.2	74.2
76	8.0	93.8		1.37	38.4	49.8	42.4	50.3	41.4	84.9	74.3
82	7.1	94.5	101.8	0.95	47.6	46.2	41.4	46.9	39.3	84.1	74.8
83	18.3	94.6		0.76	47.6	45.9	40.4	46.1	37.7	83.8	74.8

Tabell V1.e

Nr.	Rsk	ERNL	Trøgermod	Lcpx630Okt	Lcpx3150Okt	Ltx160_3	Ltx160
1	0.54	71.2	24.6	86.8	77.5	36.5	41.6
2	0.35	71.6	21.1	87.5	77.5	37.9	42.8
3	0.39	74.0	18.0	89.8	79.3	43.2	48.0
4	0.03	71.7	18.6	87.2	77.9	38.3	42.5
5	0	72.5	18.0	87.8	77.7	39.8	44.9
6	0.09	75.1	17.8	90.1	78.8	46.4	51.4
7	0.05	74.1	13.6	88.6	77.6	44.5	49.6
8	-0.36	72.6	13.3	88.6	78.0	42.1	46.4
9	-1.1	70.3	12.7	86.1	77.1	38.0	42.8
10	-1.06	70.5	12.8	86.4	77.6	37.2	41.5
11	-0.98	71.9	12.8	87.5	78.1	39.5	44.6
12	-0.99	74.0	12.7	87.9	77.6	44.8	49.7
13	-0.33	69.5	12.1	84.3	77.6	33.7	38.5
14	0.53	68.4	12.4	85.7	77.8	30.6	35.0
15	0.16	70.7	11.9	85.8	77.0	34.6	39.3
16	-0.27	69.5	14.7	85.2	80.4	32.6	37.5
17	0.27	68.7	12.5	83.6	79.9	32.7	37.5
20	-0.21	72.3	11.8	87.6	77.4	40.8	45.2
21	-0.32	73.2	11.2	88.0	76.7	44.9	49.8
22	-0.02	73.1	13.1	88.5	76.3	43.1	48.0
23	0.07	73.3	11.2	88.3	76.8	41.7	46.3
28	-0.08	71.5	13.4	87.0	79.3	36.9	41.6
29	-0.12	72.8	13.2	89.0	79.2	39.3	44.3
30	-0.16	71.6	13.4	88.0	79.1	38.4	42.9
31	0.18	72.6	13.2	89.5	80.0	39.8	44.8
32	-0.72	71.8	14.7	87.6	77.3	38.1	43.1
33	-0.34	69.0	17.1	85.7	78.7	31.0	36.1
34	-0.06	71.2	11.4	86.5	75.6	37.3	42.3
43	-0.52	69.3	14.4	85.2	81.0	35.0	39.8
44	-0.26	70.6	14.0	86.8	79.0	36.7	41.6
62	-0.3	72.2	13.1	88.3	79.3	39.3	43.9
68	0.29	73.9	11.4	90.3	80.5	43.3	48.3
70	-0.06	72.4	12.7	89.8	78.7	40.9	45.3
71	0.12	71.6	12.7	88.6	79.4	37.9	42.9
76	0.5	74.3	12.7	90.2	79.4	44.4	48.9
82	0.27	72.8	12.3	89.3	80.0	40.6	44.8
83	0.19	72.8	17.5	89.1	79.9	42.4	47.0

Tabell V1.f

Nr.	diff_80_5	Ltx8okt	Diff_160_8	alderår
1	2.4	43	-1.4	3.0
2	2.3	45.2	-2.4	3.0
3	6.9	45.9	2.1	3.0
4	2.5	44.6	-2.1	3.0
5	3.6	46.3	-1.4	3.0
6	7.8	48.7	2.7	3.0
7	5.4	49.1	0.5	3.0
8	2.1	49.1	-2.7	3.0
9	-4.4	52.5	-9.7	3.0
10	-2.0	49.3	-7.8	3.0
11	0.9	49.6	-5.0	3.0
12	3.6	52.6	-2.9	3.0
13	-1.8	44	-5.5	2.0
14	-3.7	43.4	-8.4	2.0
15	0.4	45.4	-6.1	2.0
16	-0.2	40.2	-2.7	3.0
17	-3.8	43.7	-6.2	2.0
20	3.0	46.7	-1.5	2.0
21	3.7	51.3	-1.5	2.0
22	1.9	52.6	-4.6	2.0
23	4.8	47.6	-1.3	2.0
28	2.7	43.5	-1.9	1.0
29	4.3	46.2	-1.9	1.0
30	2.3	45.2	-2.3	1.0
31	4.6	44.9	-0.1	1.0
32	2.0	46.5	-3.4	1.0
33	-1.6	40.8	-4.7	1.0
34	0.3	47.5	-5.2	1.0
43	-1.6	41.9	-2.1	4.0
44	0.5	43.8	-2.2	4.0
62	3.3	46.2	-2.3	2.0
68	6.6	46.2	2.1	7.0
70	3.4	46.3	-1.0	3.0
71	2.6	44.5	-1.6	2.0
76	7.4	46.4	2.5	3.0
82	4.8	44.2	0.6	6.0
83	5.5	42.6	4.4	12

Vedlegg 2

Forutsetninger for statistisk analyse

Lineær regresjonsanalyse (standard regresjonsanalyse) hviler på en del forutsetninger :

- 1 Normalfordelte verdier i avhengig variabel (Y),
- 2 Antallet enkeltdata ("cases", vegdekker i vårt tilfelle) bør være forholdsvis stort. Få konkrete holdepunkter er gitt i tilgjengelig veiledningslitteratur. Et grovt anslag antyder minst 10 – 15 cases pr forklaringsvariabel. Noen hundre tilfeller blir også antydnet som et datagrunnlag
- 3 Krav til interkorrelasjon (multikollinearitet, korrelasjon mellom uavhengige variable), og krav til korrelasjon mellom hver uavhengig variabel X og avhengig variabel Y,
- 4 Normalfordelte feil (avvik mellom observasjon og prediksjon i regresjonsmodellen),
- 5 Linearitet, feilene skal ha et lineært forhold til predikterte verdier i Y,
- 6 Variansen for feilene omkring predikterte verdier for Y skal være konstant

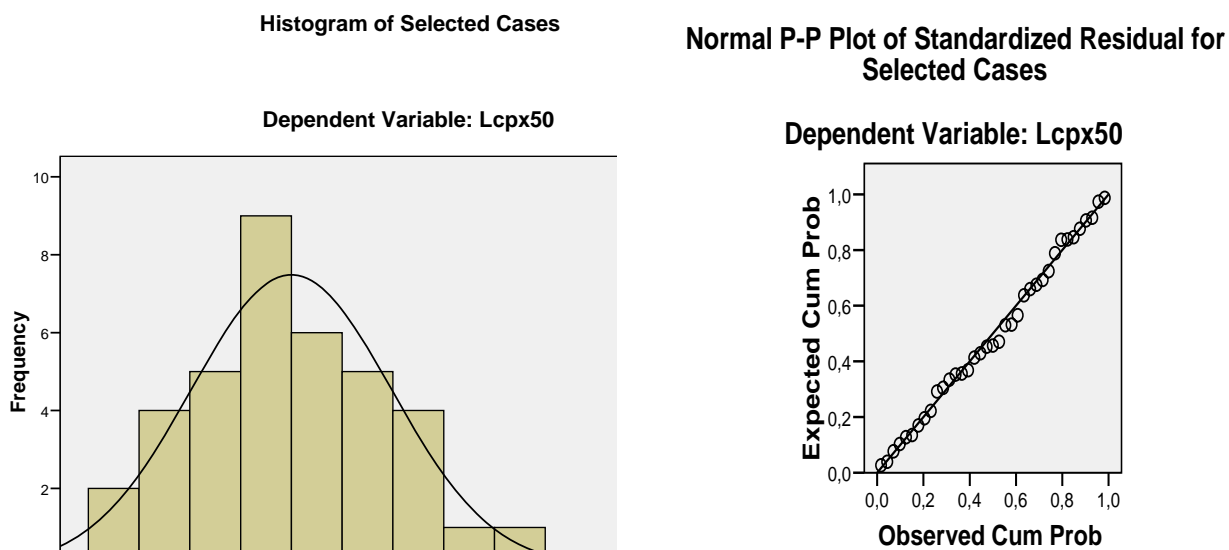
Normalitet for en avhengig variabel Y kan sjekkes relativt enkelt, for eksempel i en Kolmogorov-Smirnov test, [11].

Testene for punktene 3 – 6 ligger gjerne inne i statistisk verktøy for behandling av multipl regressjon, mer eller mindre tilpasset praktisk bruk.

Når det gjelder sjekk av forutsetningene gitt ovenfor, har en lagt mest vekt på enkel vurdering av normalitet av feilfunksjonen (avvik mellom observert og predikert Y-verdier), og linearitet og homogenitet i feilfunksjonen, ved grafiske metoder. Det er uklart hvor strenge krav som skal settes til slike vurderinger. Det ble brukt en lempelig praksis i denne undersøkelsen for å komme fram til resultater, selv om disse skulle ha noe usikkerhet. Normalitet i feilfunksjonen ble vurdert via sammenligning mellom observert og forventet kumulativ sannsynlighet. Linearitet og homogenitet i feilfunksjonen ble vurdert grafisk ved inspeksjon av standardisert feilfunksjon som ideelt sett skal være rektangulært fordelt med mest verdier i sentrum, uten andre trender. Vurderingene om samsvar med forutsetninger ble basert på grafisk framstilling av feilfunksjoner, og en skjønnsmessig vurdering av "rimelig" samsvar med forventede verdier. Ved noen tilfeller er samsvaret mindre bra, og disse er merket med "U" i analysen. Det finnes korreksjonsmuligheter for tilfeller hvor samsvaret er mindre bra, men en slik etterbehandling dette har ikke vært mulig å ta opp i prosjektet.

Den statistiske analysen er gjennomført på enkel måte etter en enkel strategi, se rapportteksten. Vi har sett på hvert data i forbindelse med støy, tekstur- eller vegdekker som om det tilhørte én stor gruppe uten flere nivåer. Flernivå-problemstillinger hvor for eksempel dekkedata grupperes etter utførende entreprenør, og/eller etter distrikt, er derfor ikke mulig i denne analysen.

Figuren V2-1 viser eksempler på grafisk framstilling av feilfunksjoner (residualer) for å vurdere normalitet ved korrelasjon mellom Lcpx (A-veid) og Mpd.



Figur V2.1 Test på normalitet i feilfunksjon ved kurvetilpasning og sammenligning av observert og forventet kumulativ sannsynlighet. Utskrift fra SPSS v.15.