

Marius Nytun Fagermo

Forslag til faglig rammeverk for tilstandsvurdering av dype sidegrøfter

Overgang fra reaktivt til proaktivt vedlikehold av
dype sidegrøfter ved bruk av LiDar-data

Masteroppgave i veg

Veileder: Alex Klein-Paste

Medveileder: Per Otto Aursand, Dagfin Gryteselv

Juni 2021

Marius Nytun Fagermo

Forslag til faglig rammeverk for tilstandsvurdering av dype sidegrøfter

Overgang fra reaktivt til proaktivt vedlikehold av dype
sidegrøfter ved bruk av LiDar-data

Masteroppgave i veg
Veileder: Alex Klein-Paste
Medveileder: Per Otto Aursand, Dagfin Gryteselv
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne rapporten er skrevet ved Fakultet for ingeniørvitenskap på NTNU. Prosjektet avslutter min toårige masterutdanning innenfor Bygg- og miljøteknikk, med hovedprofil veg. Gjennom utdanningsløpet har jeg møtt og fått jobbe med mange gode venner, og forhåpentligvis fremtidige kollegaer.

Prosjektet og prosjektgjennomføringen har vært utfordrende og lærerik, og jeg vil uten tvil stå bedre rustet til å gjennomføre prosjekter i fremtiden. Det er mange dyktige personer som fortjener honnør for å dele av sine kunnskaper og erfaringer, men jeg vil spesielt nevne Timo Saarenketo fra Roadscanners og bi-veiledere fra Statens vegvesen; Per Otto Aursand og Dagfin Gryteselv. Takk også til min kjære Maren-Elise, og min nærmeste familie for god støtte under hele perioden.

Jeg vil til slutt rette en stor takk til dyktige forelesere ved NTNU, og spesielt til min hovedveileder Alex Klein-Paste for gode diskusjoner og veiledning under prosjektet.

Sammendrag

Dype sidegrøfter langs vegen er viktige for å drenere overbygningen, og sørge for at overvann ledes trygt gjennom vegen videre til naturlige vannveger. Utbedring av drenering har svært god kost/nytte-faktor, og regnes som et av de viktigste forsterkningstiltakene i arsenalet mot permanent deformasjon. Likevel finnes det ingen automatisert metode for å kartlegge og vurdere grøftens tilstand langs vegen. Det ønsker denne rapporten å gjøre noe med.

States vegvesen samler inn spor- og jevnhetsdata for hvert kjørefelt en gang i året, og kartleggingen foregår med mobil LiDar som samler inn store mengder data også utenfor vegen. En målsetting med dette prosjektet har vært å konstruere et faglig rammeverk til et fremtidig dataprogram som kan evaluere grøftens påvirkning på funksjonell levetid. For å utvide det praktiske bruksområdet er det valgt å skille mellom kartlegging på detalj- og nettverksnivå; Detaljkartlegging kan brukes for å identifisere seksjoner som har utfordringer på grunn av for dårlig drenering eller grøftens geometriske utforming, som ellers slipper under radaren i Pavement Management System. Nettverksnivå er en grovartet kartlegging som ikke baserer seg på samme detaljnivå, men er heller et verktøy som kan gi mulighet til å få oversikt over grøftenes tilstand over et større område. På den måten vil det gi gode data for å anslå budsjettbehov, og gi grunnlag for å prioritere strekninger til forsterkningstiltak i et forsøk på å ta igjen vedlikeholdsetterslepet.

Rammeverket er bygget opp gjennom en omfattende litteraturgjennomgang for å kartlegge hvilke parametere som er hensiktsmessig å utlede fra LiDar-data, og ikke minst hvilke parametere som er viktig å ha oversikt over. Gjennom en litteraturgjennomgang er det valgt ut seks parametere for detaljkartlegging, og to parametere for nettverkskartlegging. Ut ifra litteraturen er det satt opp forslag til generelle grenseverdier i en risikomodel som følger trafikklysoppbyggingen. Rød tilsvarer høy risiko for at resultatet bidrar til å redusere levetiden, mens gul er medium og grønn er lav.

Gjennom en case studie er det laget to praktiske eksempler for detaljkartlegging, mens for nettverksnivå er det foreslått en steg-for-steg-framgangsmåte. Gjennom en statistisk analyse av de enkelte parametere, målt på fire forskjellige enheter, er det bestemt spesifikke grenseverdier for risiko for strekningen i case studien. Disse grenseverdiene blir benyttet for å lage rapport på to 500 m lange strekninger, og det blir gjort en vurdering av tiltak for å utbedre de parametere som identifiseres som skadedrivende.

Systemet differensierer ikke på hvor viktig de forskjellige parametere er i forhold til hverandre, men forutsetter at en bruker har grunnleggende fagkunnskaper for å vurdere tiltak på bakgrunn av resultatene. En viktig detalj er innføringen av en to-faktor autentisering gjennom empiriske spor- og jevnhetsdata for tilsvarende asfaltdekker, men med god drenering. På den måten kan en skille parametere som havner i høyrisikosone, men som likevel ikke bidrar til forhøyet skadeutvikling, fra parametere hvor også skadeutviklingen viser at parameterne ser ut til å bidra. Et annet moment med to-faktor autentisering, er at områder med forhøyet skadeutvikling identifiseres uavhengig av om parametere viser grønn risikosone. Et slikt tilfelle indikerer at dreneringen og grøftens geometri ikke bidrar til redusert levetid, og det kan tyde på at overbygningen er underdimensjonert for dagens trafikkpåkjenning.

Abstract

Roadside drainage ditches serve an important role for draining the pavement and ensuring that stormwater is safely routed through the road onwards to natural waterways. Remediation of drainage infrastructure yields a very good cost/benefit factor and is considered one of the most important reinforcement measures in the arsenal against permanent deformation. Nevertheless, there is no automated method for mapping and assessing the state of the ditches. This report aims to change that.

The Norwegian Public Roads Administration collects rut and roughness data for each lane once a year by mobile LiDar that collects large amounts of data which includes the roadside ditch. One objective of this project has been to construct a theoretical framework for a future computer program that can evaluate the impact of the ditch on functional pavement life. To expand the practical application, it is chosen to distinguish between mapping at detail- and network level; Detailed mapping can be used to identify sections that face challenges due to poor drainage or the geometric design of the ditch, which otherwise slips under the radar of the Pavement Management System. Network level mapping is not based on the same level of detail, but rather is a tool that can provide an opportunity to get an overview of the state of the ditches over a larger area. In this way, it will provide good data for estimating budgetary needs, and provide a basis for prioritising sections for reinforcement measures in an attempt to catch up with maintenance backlog.

The framework is built up through a comprehensive literature review which aims to identify which parameters are possible and useful to derive from LiDar data. Through a literature review, six parameters for detailed mapping have been selected, and two parameters for network mapping. Based on the literature, proposals have been put up for general limit values in a risk model that follows traffic light build-up. Red corresponds to a high risk that the measurement contributes to reduce pavement life, while yellow is medium, and green is low risk.

Through a case study, two practical examples have been created to showcase what a detailed mapping can look like and yield in terms of insight. For network level a step-by-step procedure has been proposed for future use. Through a statistical analysis of the individual parameters, measured on four different units, it is determined specific thresholds to implement in evaluating the section in the case study. The thresholds are used to prepare a report on two 500 m long sections, and an assessment of measures to rectify the parameters identified as high risk is being carried out.

The system does not differentiate the individual parameters in regards of how important they are in relation to each other, but assumes that a user has professional knowledge to assess measures on the basis of the results. An important detail is the introduction of a two-factor authentication through empirical rut and roughness data for similar pavements with good drainage. In this way, parameters that end up in a high-risk zone, but don't contribute to accelerated development in regard to rutting and roughness, can be distinguished from parameters where damage development also shows that the parameters are likely to contribute. By process of elimination the two-factor authentication can contribute to pinpoint sections where the pavement isn't dimensioned for the current traffic stress where the parameters indicate green risk-zone, but the damage development is accelerated.

Innhold

Figurer	xii
Tabeller	xiv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetting og forskningsspørsmål	2
1.3 Oppbygging av oppgaven	2
2 Litteraturgjennomgang	3
2.1 Funksjonskrav	4
2.2 Konsekvenser av utilstrekkelig drenering	4
2.3 Utforming	6
2.4 Hvordan vann trenger inn i vegen	7
2.5 Hvordan vann påvirker vegen	9
2.5.1 Vann i vegen og levetid	11
2.5.2 Vann i vegen og levetidskostnad (LCC)	16
2.5.3 Klimaets påvirkning på vegens bestandighet	18
2.5.4 Teleproblematikk	21
2.5.5 Betydningen av beliggenhet	24
2.6 Vann- og bæreevnerelaterte skader på vegen	27
2.6.1 Spor og permanente deformasjoner	28
2.6.2 Ujevnheter	29
2.6.3 Sprekker	30
2.6.4 Slaghull og separasjon	33
2.6.5 Kantskader	33
2.7 Grøftegeometriens innflytelse på bæreevne	34
2.7.1 Grøftedybde	38
2.8 Trafikksikkerhet	41
2.9 Hydraulisk kapasitet	42
2.9.1 Lengdefall	43
2.10 Bruk av data fra mobil LiDaR	44
2.11 Georadar	47
3 Forslag til parametere for vurdering av grøftens påvirkning på funksjonell levetid ...	49
3.1 Resultat output	49
3.1.1 Totalrangering	49
3.1.2 Rangering av hver enkelt parameter	49
3.2 Vurderinger for detaljnivå-kartlegginger	50

3.2.1	Grøftedybde	50
3.2.2	Lengdefall	51
3.2.3	Fysisk terskel.....	52
3.2.4	Lastavstand.....	52
3.2.5	Sidevinkel	54
3.2.6	Torvkant	57
3.2.7	Oppsummerte grenseverdier for kartlegging på detaljnivå.....	58
3.3	Vurderinger for kartlegging på nettverksnivå	59
3.3.1	Parametere	59
3.3.2	Grenseverdier.....	59
4	Metode	61
4.1	Litteraturstudier	61
4.1.1	Litteratursøk.....	61
4.1.2	Litteratur	61
4.2	Uformelle intervjuer.....	61
4.3	Beskrivelse av strekningen	62
4.4	Innsamling og prosessering av data.....	64
4.4.1	Grøftedybde	64
4.4.2	Spordybde	64
4.4.3	Lengdefall og terskler	64
4.4.4	Lastavstand.....	65
4.4.5	Torvkant	66
4.5	Statistisk analyse	67
4.6	Evaluering av metode	68
5	Analyse	69
5.1	Felt 1 – fyllingsside.....	69
5.1.1	Grøftedybde	70
5.1.2	Lengdefall	73
5.1.3	Terskel	77
5.1.4	Lastavstand.....	81
5.1.5	Sidevinkel	85
5.1.6	Torvkant	89
5.2	Felt 2 – skjæringsside.....	92
5.2.1	Grøftedybde	93
5.2.2	Lengdefall	95
5.2.3	Terskel	97
5.2.4	Lastavstand.....	99

5.2.5	Sidevinkel	101
5.2.6	Torvkant	103
5.3	Oppsummering analyse.....	105
5.3.1	Grøftedybde	105
5.3.2	Lengdefall	105
5.3.3	Terskel	106
5.3.4	Lastavstand.....	106
5.3.5	Sidevinkel	106
5.3.6	Torvkant	107
5.4	Spesifikke grenseverdier for strekningen	107
6	Praktisk eksempel	108
6.1	To-faktor autentisering	108
6.2	Bestilling av detaljrapport.....	109
6.2.1	Felt 1: EV8 S9D1 m5450 – 4970	109
6.2.2	Felt 2: EV8 S9D1 m5450 – m4970	113
6.3	Nettverksnivå	117
7	Konklusjon	118
7.1	Vegen videre	119
8	Referanser	120

Figurer

Figur 1 - Utsnitt fra ViaPPS Desktop	1
Figur 2 - Hovedkomponenter i drenering av veg (Norem et al., 2018)	3
Figur 3 - Begreper for dyp sidegrøft benyttet i denne rapporten	3
Figur 4 - Flomhendelse på E6 i Kåfjord. Foto: Svein Eriksen/Scanpix.....	5
Figur 5 - Prinsippskisse av åpen grøft ved ulike overbygninger (Statens vegvesen, 2018)6	
Figur 6 - Fuktighetsregulerende faktorer i vegen. Redigert fra Salour (2015).	7
Figur 7 - Sammenheng mellom materiale og vannets kapillære aktivitet (Bråthen, Lyshaug & Nashoug, 2020).	8
Figur 8 - Vannets påvirkning på et granulært lag (Dawson & Kolisoja, 2004).....	9
Figur 9 - E-modul utvikling med hensyn på finstoff og vanninnhold (Ill.: Geir Berntsen) 10	
Figur 10 - Illustrasjon av effekten av senket GV-speil på poresug og fuktinnhold (Ill. Geir Berntsen)	11
Figur 11 - Resulterende deformasjoner med hensyn på grunnvannstand (P. Simonsen & Hjalmarsson, 1977).	12
Figur 12 - Bæreevne basert på GV og dekketykkelse (Elshaer, 2017).....	13
Figur 13 - Sammenheng mellom asfaltykkelse og sporutvikling (hentet fra Roadex.org).	14
Figur 14 - Tverrsnitt av vegoverbygninger og GV-nivå (Fladvad & Erlingsson, 2021).	14
Figur 15 - Resultater fra simulering med HVS. Blå figur er 0/90 mm, og rød figur er 22/90 mm (Fladvad & Erlingsson, 2021)	15
Figur 16 - Eksempel på LCC på effekten av utbedret drenering.....	16
Figur 17 - LCCA for vegdekker med forskjellige fuktighetsinnhold (Zaghloul et al., 2006).	17
Figur 18 - Effekten av fukting og tørking på poresug	18
Figur 19 - Variasjon i bæreevne gjennom året (Ill.: Geir Berntsen)	19
Figur 20 - Resultater fra Aasho-prosjekt i Nord-Amerika (hentet fra Roadex.org).....	19
Figur 21 - Skråningsstabilitet i tørre jordarter (Rahardjo et al., 2019).	20
Figur 22 - Teleproblematikk i nordlige strøk (Ill.: Geir Berntsen)	21
Figur 23 - Illustrasjon fra Andersland og Ladanyi (2004), s.14.	22
Figur 24 - Effekten av torvkanter og manglende grøft (Berntsen & Saarenketo, 2005a).23	
Figur 25 - Spordybdeforhold (Skjæringsside/fyllingsside) (Aho & Saarenketo, 2006).	24
Figur 26 - Skrånende terreng og GV-strøm (Nordal, 1996).	25
Figur 27 - Sporutvikling med hensyn på tverrsnitt (Berntsen & Saarenketo, 2006).	25
Figur 28 - Innerkurve i skjæring (Berntsen & Saarenketo, 2006).....	26
Figur 29 - Prinsippskisse av skadeutvikling for asfaltdekker. Hentet fra Lurfald og Hoff (2007) som refererer til VTI (2004).	27
Figur 30 - 4 forskjellige moduser for sporutvikling. Redigert fra Roadex.org	28
Figur 31 - Generelle sprekketyper.....	30
Figur 32 - Eksempel på spenninger i et asfaltdekke under hjullast som forårsaker type 1 utmattingssprekker og type 2 utglidning i plan.	30
Figur 33 - Eksempel på syklisk belastning av et asfaltdekke (M. G. Lay, 2009).	31
Figur 34 - Deformert skulder som følge av smal veg (Foto: Roadex.org)	33
Figur 35 - Relativ bæreevne i forhold til senter av veg på teststrekning i Trøndelag (Aksnes, 2002).	34
Figur 36 - Terzaghis modell til venstre og Granlunds tilpasning til høyre (Granlund, 2012).	34
Figur 37 - Lastfordelende evne ved 1,2 m skulder (Chandra et al., 2006).	35

Figur 38 - Skisse av forsøk med forskjellige skråninger (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).	36
Figur 39 - Sporutvikling ved 50 kN belastning, 600 sykluser og forskjellig distanse fra kant (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).....	36
Figur 40 – GEOM-faktoren som en funksjon av skråning og distanse fra kant (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).....	37
Figur 41 - Eksempel fra treaks-forsøk på pukk med inntegnede grenser for elastisk- og bruddsone (Statens vegvesen, 2015).....	38
Figur 42 - Grunnvannsspeil og vannspeil ved flom ved forskjellige grøftedybder. Redigert fra Matintupa og Saarenketo (2012).	39
Figur 43 - Funn fra PEHKO Project 2015-2025 (Hentet fra Roadex).	39
Figur 44 - Sporverdier og høyde fra overbygningsbunn (hentet fra Roadex.org)	40
Figur 45 - Relativ ulykkesfrekvens i forhold til grøfteskråning med fall 1:7 fra Zegeer et al.	41
Figur 46 - Illustrasjon av de viktigste parameterne i Mannings formel fra (Norem, Flesjø, Sellevold, Lund & Viréhn, 2016).	42
Figur 47 - Bruk av Mobil Lidardata for transportformål i 2013 (Williams et al. 2013).	44
Figur 48 - Punktsky fra LiDarskanning i trafikkfart. Trafikkskiltene markeres automatisk av algoritmen (Malehmir et al., 2018).	45
Figur 49 - Innsamlede parametere av Lee og Gharaibeh (2020)	45
Figur 50 - Visualisering fra Roadscanners tydeliggjør at.....	46
Figur 51 - Forenklet fremstilling av georadar (Evans, 2009).	47
Figur 52 – Utvikling geometrisk faktor med hensyn på skulderbredde	53
Figur 53 - Geometrisk faktor med hensyn på grøftevinkel	54
Figur 54 - Beregnet kantbæreevne med forskjellige parametere og 0,5 m dybde	56
Figur 55 - Beregnet kantbæreevne med forskjellige parametere og 1 m dybde.....	56
Figur 56 - Kartutsnitt fra Norgeskart.no.....	62
Figur 57 - Månedlig klimastatistikk for Skibotn basert på de siste 30 år (web&media, 2021)	62
Figur 58 - Temperaturdata fra april 2020 - april 2021 (Yr.no)	63
Figur 59 - Kalibrering av spordybde F1	63
Figur 60 – Skjerm bilde fra ViaPPS-desktop med manuell måling med trådkors i lokalt koordinatsystem.....	65
Figur 61 - Profilavleser i ViaPPS-desktop	66
Figur 62 - Spordybde data for F1 og kumulativ fordeling av forholdstall.....	69
Figur 63 - Analyse F1 grøftedybde: Spordybde, forholdstall, IRI	70
Figur 64 - Analyse F1 grøftedybde: Sporutvikling	71
Figur 65 - Analyse F1 lengdefall: Spordybde, forholdstall, IRI	73
Figur 66 - Analyse F1 lengdefall: IRI, sporutvikling	74
Figur 67 - Analyse F1 terskel: Spordybde, forholdstall, IRI	77
Figur 68 - Analyse F1 terskel: Sporutvikling.....	78
Figur 69 - Analyse F1 lastavstand: Spordybde, forholdstall, IRI	81
Figur 70 - Analyse F1 lastavstand: Sporutvikling	82
Figur 71 - Analyse F1 sidevinkel: Spordybde, forholdstall, IRI	85
Figur 72 - Analyse F1 sidevinkel: Sporutvikling	86
Figur 73 – Analyse F1 torvkant: Spordybde, forholdstall, IRI.....	89
Figur 74 - Analyse F1 torvkant: Sporutvikling	90
Figur 75 - Spordybde data for F2 og kumulativ fordeling av forholdstall.....	92
Figur 76 - Analyse F2 grøftedybde	93
Figur 77 - Analyse F2 lengdefall	95

Figur 78 - Analyse F2 terskel	97
Figur 79 - Analyse F2 lastavstand	99
Figur 80 - Analyse F2 sidevinkel	101
Figur 81 - Analyse F2 torvkant	103
Figur 82 - Detaljrapport 20 m intervaller for EV8 S9D1 F1 m5450 - m4970	109
Figur 83 - Detaljrapport 10 m intervaller for EV8 S9D1 F1 m5450 - m4970	110
Figur 84 - Antall meter i høyrisikosone F1	111
Figur 85 - Detaljrapport 20 m intervaller for EV8 S9D1 F2 m5450 - m4970	113
Figur 86 - Detaljrapport 10 m intervaller for EV8 S9D1 F2 m5450 - m4970	114
Figur 87 - Antall meter i høyrisikosone F2	115

Tabeller

Tabell 1 - Krav til skråningshelning ved åpen og dyp sidegrøft (Statens vegvesen, 2018)	6
Tabell 2 - Resultater fra Zhang (2004)	10
Tabell 3 - Sporutviklingsrate (Fladvad & Erlingsson, 2021).	15
Tabell 4 - Levetidskostnads resultater (Zaghloul et al., 2006)	17
Tabell 5 - 3 hovedtyper spordannelser	28
Tabell 6 - Forklaring av risikomodell.....	50
Tabell 7 - Grenseverdier for grøftedybde.....	51
Tabell 8 - Grenseverdier for lengdefall	52
Tabell 9 - Beregnede geometriske faktorer	52
Tabell 10 - Grenseverdier for lastavstand	53
Tabell 11 - Beregnede geometriske faktorer med hensyn på grøftevinkler	54
Tabell 12 - Generelle grenseverdier for grøfteskråningsvinkel	57
Tabell 13 - Grenseverdier for torvkanter.....	57
Tabell 14 - Oppsummerte grenseverdier for detaljnivå	58
Tabell 15 - Forslag til generelle grenseverdier for Europaveg/riksveg og nettverksnivå ..	60
Tabell 16 - Spesifikke grenseverdier basert på analysen	107
Tabell 17 - Antagelser om spor- og jevnhetsutvikling etter 6-7 år.....	108
Tabell 18 - Gjentakelse av spesifikke grenseverdier F1	109
Tabell 19 - Totalt antall meter i høyrisikosone for F1	111
Tabell 20 - Gjentakelse av spesifikke grenseverdier F2.....	113
Tabell 21 - Totalt antall meter i høyrisikosone for F2	115
Tabell 22 - Gjentakelse av generelle grenseverdier for Europaveg og nettverksnivå	117

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Denne masteroppgaven handler om viktigheten av god drenering, og lanserer en mulighet for å kartlegge grøftens innvirkning på dekkets funksjonelle levetid. Norge er et kuppert land med høye fjell, lange daler og dype fjorder. Veggen binder oss sammen, og har i mange tilfeller blitt til over lang tid i de områdene hvor mennesker levde og hadde sitt virke. Topografien fører naturlig til at mye vann må tas hånd om for å unngå skader på veien og tilstøtende områder. Vegmyndighetene i Norge har ansvar for å forvalte vegkapitalen, og får bevilget midler fra politisk hold. Samtidig vokser vedlikeholdsetterslepet vokser år for år, mens duften av nylagt asfalt fargelegger det politiske ordskiftet.

Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) gir ut en helhetlig vurdering av offentlige bygg og infrastruktur gjennom rapporten «State of the Nation – Norges tilstand». I 2021-rapporten gis riksveger tilstandskarakter 3, som tilsvarer akseptabel, men ikke god stand. Fremtidige investeringer er nødvendig, men RIF har satt anslår gode fremtidsutsikter. For fylkesveger er resultatet tilstandskarakter 2, med dårlige fremtidsutsikter. Tilstandskarakter 2 tilsvarer et anlegg i dårlig forfatning, med en truet funksjonalitet. Uten umiddelbar innsats vil denne restfunksjonaliteten trues ytterligere (RIF, 2021).

Statens vegvesen anslår forfallet på riksveg til å være om lag 30 milliarder kr i 2022, og anslår at ca. 5 % av dette gjelder drenering. Det tilsvarer ca. 1,5 milliarder, bare for riksvegene (Statens vegvesen, 2020). Med slike summer sier det seg selv at det er behov for god oversikt over dreneringens tilstand. I R610 Standard for drift og vedlikehold stilles det krav til at grøftedybden i dype sidegrøfter (åpen drenering) målt fra vegkant til grøftebunn skal være større enn høyden på overbygningen (Statens vegvesen, 2014a). I dagens praksis blir ikke dette kravet håndhevet, og i realiteten er det lite eller ingen kontroll på grøftedybder langs vegnettet.

I Norge baserer vi behovet for dekkefornyning på spor- og jevnhetsdata som årlig samles inn for begge kjørefelt ved hjelp av mobil LiDar (Light Detection And Ranging). LiDar-målingene er millimeterpresis og samles inn ved en lasermåler som spinner 360° om sin egen akse, og samler dermed inn store mengder overskuddsdata som per i dag ligger som en utappet ressurs. Figur 1 viser et utsnitt fra en lasermåling av høyre kjørefelt på EV8 ved Skibotn.



Figur 1 - Utsnitt fra ViaPPS Desktop

Siden det allerede foreligger og årlig samles inn data av svært god kvalitet, vil det være kostnadseffektivt og nyttig å kunne bruke disse dataene for å skape et bedre beslutningsgrunnlag rundt forsterkninger og ikke minst budsjettbehov.

Opgaven er skrevet i samarbeid med Statens vegvesen som har bidratt med data og programvare, og bygger til en viss grad på erfaringer fra deres pilotprosjekt i Skibotndalen ledet av Per Otto Aursand (Aursand, 2019).

1.2 Målsetting og forskningsspørsmål

Målsettingen for masteroppgaven kan deles inn i to delmål; Det første er innsamling av teori som til sammen kan gi grunnlag for å vurdere grøftens påvirkning på levetid. Det andre delmålet er å konstruere et faglig rammeverk for et fremtidig program som kan benytte spor- og jevnhetsmålingene til å undersøke grøftens påvirkning på asfaltens funksjonelle levetid.

På bakgrunn av ovennevnte er det bestemt tre forskningsspørsmål som skal besvares:

1. Hvilke parametere er hensiktsmessig å kartlegge med mobil LiDar med tanke på grøftegeometriens påvirkning på funksjonell levetid på detalj- og nettverksnivå??
2. I hvilken grad er det mulig å finne spesifikke risikoverdier for hver enkelt parameter med hensyn på spor- og jevnhetsdata?
3. Hvordan kan slike data presenteres og brukes i praksis?

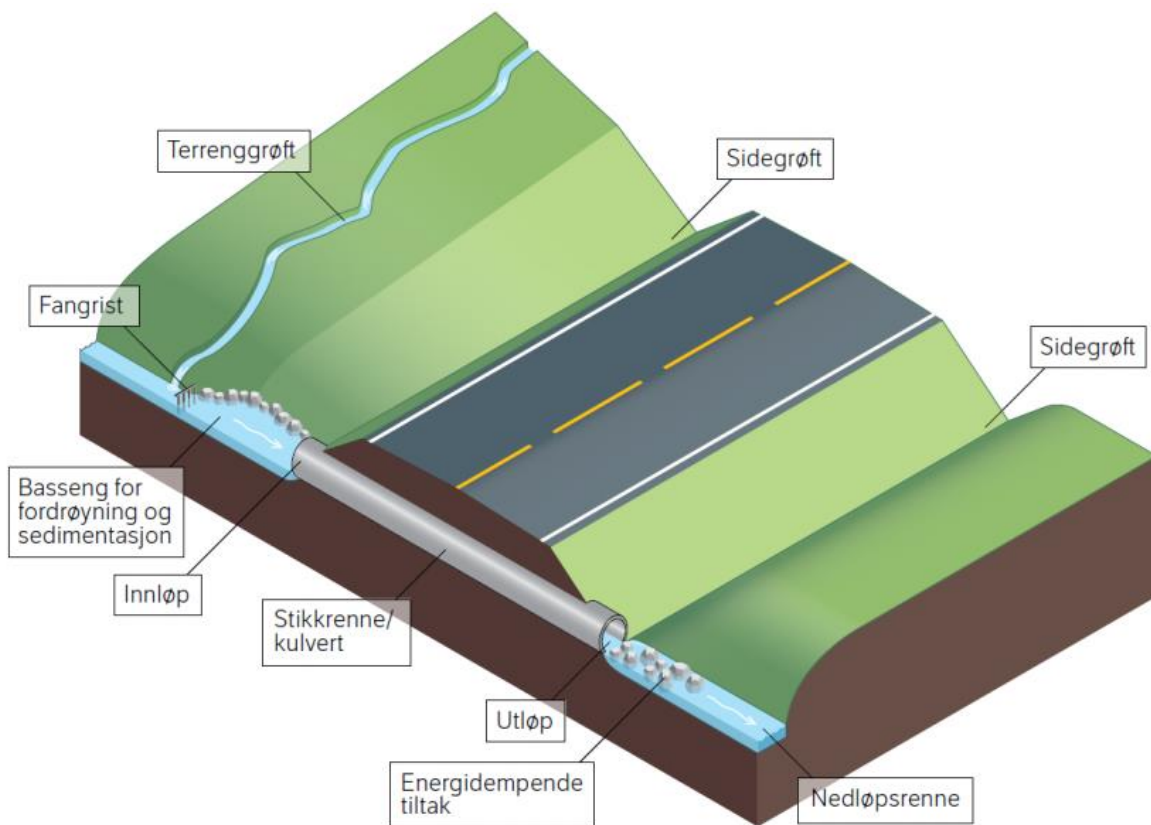
1.3 Oppbygging av oppgaven

Det første kapittelet er en innledning, og bidrar til å sette oppgaven inn i en praktisk sammenheng. Kapittel 2 er litteraturgjennomgangen som går fra det generelle til det spesielle, og delkapitlene bygges opp nærmest som områderapporter for de enkelte tema. Etter litteraturgjennomgangen følger en diskusjon hvor parametere bestemmes og det settes opp et forslag til generelle risikoverdier basert på litteraturen for detalj- og nettverksnivå.

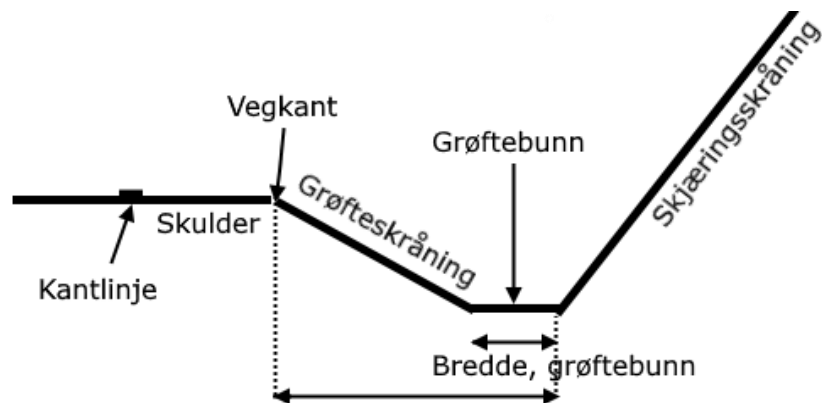
Kapittel 4 beskriver metodene som er benyttet for å løse oppgaven, mens kapittel 5 er analysedelen. Kapittel 6 er praktiske eksempler på hvordan et tenkt program kan fungere for detaljrapporter, og i tillegg foreslås en steg-for-steg-metode for kartlegging på nettverksnivå. Kapittel 7 er en oppsummering med konklusjoner, og forslag til videre arbeid.

2 Litteraturgjennomgang

Drenering kan deles inn i to hovedprinsipper; åpen og lukket drenering. Lukket drenering består av et nettverk av kummer, rør og drenerør som fører vann fra overflaten og ned under bakken i rørsystemer som renner ut i naturlige vannveger. Åpen drenering med dyp sidegrøft er det som er mest vanlig langs infrastrukturen utenfor tettbygde strøk, og vil være fokus videre i rapporten. Figur 2 og Figur 3 viser henholdsvis illustrasjon av komponenter i åpen drenering, samt begreper for dyp sidegrøft benyttet i denne rapport.



Figur 2 - Hovedkomponenter i drenering av veg (Norem et al., 2018)



Figur 3 - Begreper for dyp sidegrøft benyttet i denne rapporten

2.1 Funksjonskrav

Oppfølgingen av dreneringen er styrt av funksjonskrav, og beskrevet i kontrakten mellom vegeier og entreprenør. Funksjonskravene er nedfelt i vegnormalene og beskriver hvilke funksjoner dreneringen skal yte til enhver tid. Disse er:

- Sikre regularitet
- Avrenning fra vegbane og skulder
- Drenering av overbygningen
- Føring av overvann gjennom vegen
- Sikring mot skader på veg
- Begrense endringer i grunnvannstrømmer og opprettholde naturlig balanse

Drenering skal sørge for at overvann ikke hindrer normal og sikker trafikkavvikling, og skal også hindre vann i å trenge inn overbygningen. Forhøyet vanninnhold i overbygningen kan akselerere nedbrytning av vegen, og på den måten hindre sikker ferdsel langs vegen. For høy andel vann i overbygningen senker bæreevnen drastisk, og kan muliggjøre dannelse av ujevne telehiv.

Veglinjen skjærer ofte landskapet som et menneskeskapt hinder for naturlig vannveger og grunnvannstrømmer, derfor er det viktig å samle og lede vannet gjennom vegen videre ned til resipienter nedstrøms. Erosjonsskader kan oppstå når vannstrømmen blir for mektig, og dreneringen skal sørge for å lede vannet unna sårbare partier slik at omfattende skader unngås. Vegbygging gir store inngrep i naturen, og fører ofte til endring av grunnvannstrømmen. En skjæring vil ofte avskjære grunnvannstrømmen, mens en fylling kan føre til setninger som endrer permeabiliteten i undergrunnen. Dreneringen er, som følge av dette, en nøkkelfaktor for å ta vare på trafikksikkerhet, fremkommelighet og ikke minst varige veger som gir best mulig forvaltning av vår felles vegkapital (Norem, Flesjø, Sellevold, Lund & Viréhn, 2018).

2.2 Konsekvenser av utilstrekkelig drenering

Konsekvenser ved funksjonssvikt i dreneringssystemet kan ifølge NVE og Statens vegvesen deles inn i fire kategorier etter konsekvensene som påføres brukere, drift, og for tredjepart:

- Midlertidig redusert framkommelighet og trafikksikkerhet, men som ikke etterlater skader på veg eller bane.
- Skader som fører til redusert kvalitet og levetid, og som videre leder til problemer for trafikkavvikling.
- Omfattende skader på veg og bane som utløser større tiltak og stengning.
- Skader påført tredjepart.

Oversvømmelser er den vanligste grunnen til redusert framkommelighet og trafikksikkerhet, og kan klassifiseres som lavkonsekvenshendelser. Oversvømmelser skyldes ofte mangelfull drift og vedlikehold eller at vegen ligger lavt i terrenget i forhold til vann og våtmark. En annen viktig grunn er manglende kapasitet på grøfter og stikkrenner, som fører til at vannet ledes ut i vegbanen og hindrer sikker og effektiv ferdsel (Norem et al., 2016).

De permanente skadene ved flom skyldes som regel at overvannsmengden har vært så stor at det har ført til erosjon og massetransport. De vanligste skadene er erosjon langs grøft, vegskulder og i tilknytning til stikkrenner. Flom kan også føre til innvasking av finstoff i overbygningen, som gjør denne mer utsatt for telehiv og redusert bæreevne. Mye finstoff tillater mer lagring av vann i vegen, og gir også ugunstig lav permeabilitet (Aurstad, 2016).

Store skader på veg eller bane skyldes som regel flomhendelser hvor kapasiteten ikke er tilstrekkelig, og vannet påfører overbygning så stor kraft at den gir etter. Det kan typisk skje rundt en stikkrenne som ligger på et lavt punkt, men kan også være et resultat av at flomvannet har tatt nye løp.

Figur 4 viser en flomhendelse på E6 i Kåfjord i 2010 hvor nedbør og smeltevann førte til at kapasiteten på stikkrennene ikke var tilstrekkelig. Den store vannmengden til slutt vasket den eneste ferdselsåren mellom Troms og Finnmark ut i havet og delte Norge effektivt i to.

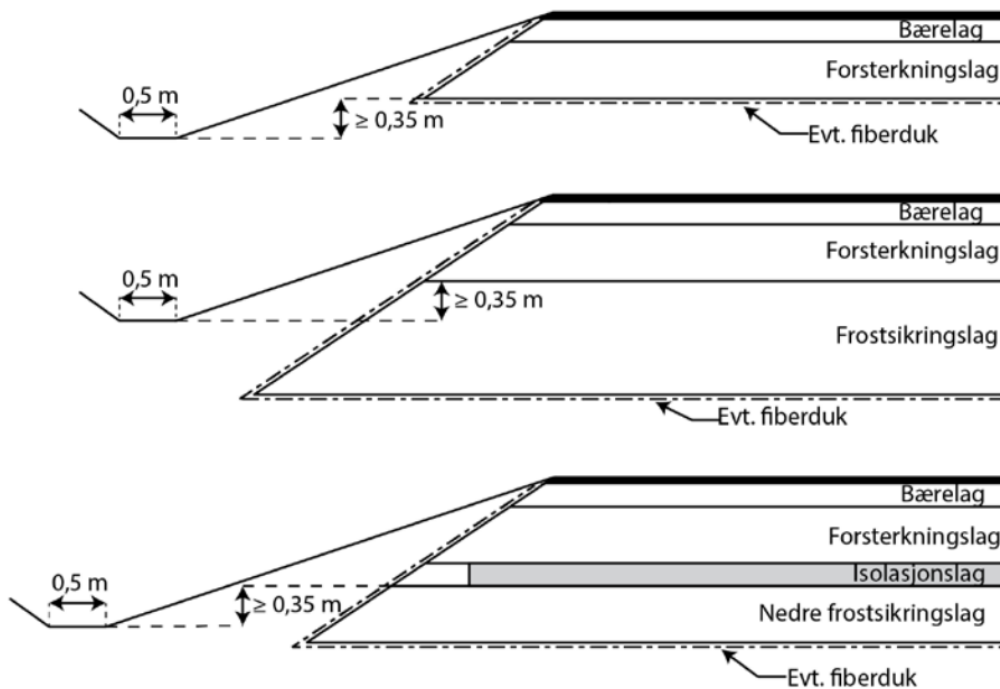


Figur 4 - Flomhendelse på E6 i Kåfjord. Foto: Svein Eriksen/Scanpix

Når lokal avrenning endres, og vannet samles til en konsentrert vannstrøm gir det følgeeffekter nedstrøms. Skader på tredjepart skyldes ofte at infrastrukturbygging har endret lokal avrenning, og dersom forholdene nedstrøms ikke er dimensjonert for påkjenningen vil det kunne skape problemer for nærliggende områder. Typisk kan dette være jordbruksområder og annen infrastruktur som tar skade når vannet tar nye veier på grunn av for liten kapasitet nedstrøms.

2.3 Utforming

Sidegrøfter må ha tilstrekkelig kapasitet til å lede overflatevann, men også gi forsterkningslaget tilstrekkelig drenering. Kravet til grøftebunnens dybde er gitt Håndbok N200 og skal minimum være 0,35 m dypere enn bunnen av forsterkningslaget, se Figur 5. Dersom det benyttes isolasjonslag av XPS eller lettklinker/skumglass skal bunnen av sidegrøfta ligge minst 0,35 m under isolasjonslaget. Bunnen av grøfta bør være 0,5 m bred for å sikre tilstrekkelig kapasitet (Statens vegvesen, 2018).



Figur 5 - Prinsippkisse av åpen grøft ved ulike overbygninger (Statens vegvesen, 2018)

Krav til grøfteskrånings helning er angitt i N200, og er gjengitt i Tabell 1. Hierarkisk er disse kravene gjeldende over N101 fra 2013, og det står skrevet i N200 s. 99 at ved brattere helning enn oppgitt i tabellen er det behov for rekkverk.

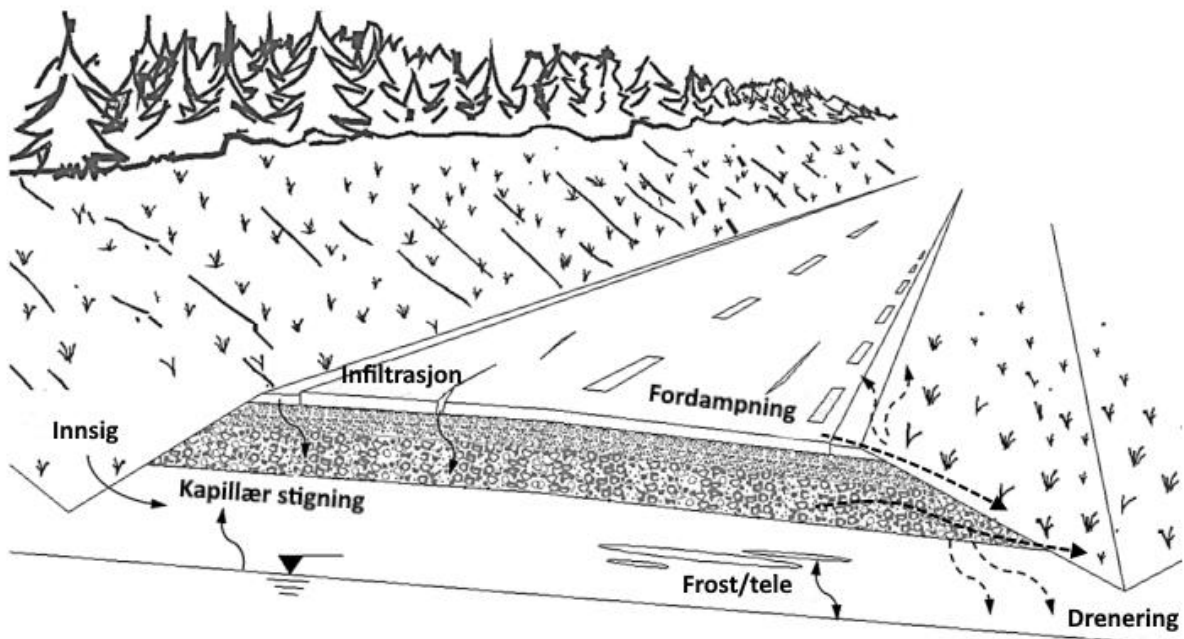
Tabell 1 - Krav til skråningshelning ved åpen og dyp sidegrøft (Statens vegvesen, 2018)

	Grøfteskrånings helning		
	Fartsgrense ≤ 80 km/t ÅDT ≤ 5000	Fartsgrense ≤ 80 km/t ÅDT > 5000	Fartsgrense ≥ 90 km/t
Løsmasser	1:2 - 1:5	1:3 - 1:5	1:4 - 1:5
Berg	1:4 - 1:5	1:4 - 1:5	1:4 - 1:5

For å unngå at vannet blir stående langs vegen er det nødvendig med fall i vegens lengderetning. Både Statens vegvesens Rapport 681 og Norem et al. (2016) foreslår et fall på minimum 0,5 %, men at det bør tilstrebes 1 % fall (Norem et al., 2018).

2.4 Hvordan vann trenger inn i vegen

Fuktighetens bevegelse i vegen kan ifølge Charlier et al. (2008) i all hovedsak beskrives i tre faser. En ankomstfase som forløper ganske raskt, og vann trenger inn i vegen. En omfordelingsfase hvor vannet flyttes gjennom massene som følge av poresug og/eller gravitasjon. Den siste er en fordampningsfase hvor vannet fordampes og forlater massene eller flyttes oppover til et annet lag i overbygningen. I Figur 6 illustreres vannets veger inn og ut av overbygningen.



Figur 6 - Fuktighetsregulerende faktorer i vegen. Redigert fra Salour (2015).

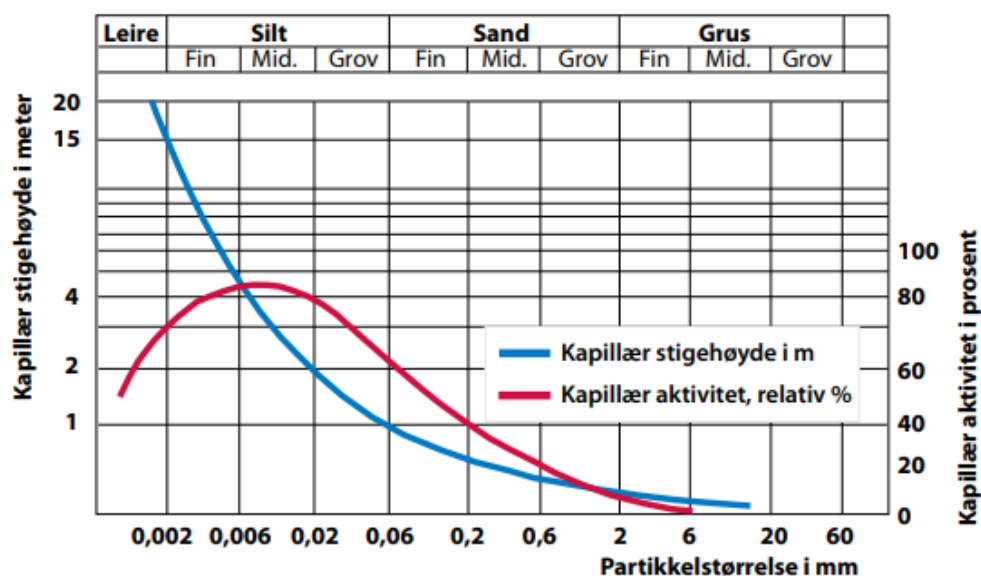
Innsig fra områder med høyere grunnvannstand, er et fenomen som er spesielt aktuelt i skråningsskjæringer. Innsiget avhenger av den hydrauliske gradienten, permeabilitetskoeffisienten for de stedlige massene og andre lokale forhold som påvirker vanntilsig. Grunnvannstanden endres gjennom året, og avhenger av klima og ikke minst massenes permeabilitet. Tunge regnfall vil øke fuktighetsinnholdet i alle lagene dersom topplaget tillater infiltrasjon, mens i impermeable masser vil vannet i større grad dreneres mot anlagte vannveger og fordampes. Et eksempel på dette kan være et uskadet asfaltdekk med godt tverrfall. Dekket i seg selv er ikke direkte impermeabelt, men i langt større grad enn en åpen granulær masse. I samvirking med tverrfallet vil dermed vannet ledes mot grøften. Dersom vegdekket er skadet, kan vann infiltrere gjennom sprekke og forårsake lokalt forhøyet vanninnhold i underkant av infiltrasjonspunktet.

Infiltrasjon kan også forekomme gjennom skulderen. Dette vil gi samme effekt som infiltrasjon gjennom sprekker, spesielt dersom skulderen er deformert eller torvkanter hindrer avrenning slik at vannet blir stående over lengre tid. Infiltrasjonen avhenger av skulderens permeabilitet og kompaktering, men effekten er ikke like kritisk som ved infiltrasjon midt i vegen ettersom granulære lag skal dreneres mot grøften. Vannet vil imidlertid ha potensial til å øke fuktighetsinnhold langt inn i vegen (Charlier et al., 2008).

Vann kan også løftes inn i overbygningen gjennom kapillær stigning fra grunnvannspeilet (GV-speilet). Kapillær stigning er avhengig av poresuget, eller negativt porevannstrykk. Poresuget er trykket den tørre massen påfører omliggende masse for å utligne

fuktighetsforskjellen etter likevektsprinsippet. Mekanismen bak vannstigningen er en blanding av molekulære og fysisk-kjemiske krefter som virker mellom steinmaterialene og vannmolekylene. Høy finstoffandel i massene bidrar til å skape trange porekanaler, og jo trangere kanaler jo høyere potensial for poresug inntil massen er nærmest impermeabel (leire). Adhesjon og kohesjon utgjør til sammen større kraft på vannmolekylene enn tyngdekraften, og løfter vannet over GV-speilet. Adhesjon er sterke molekulære bindinger med kort rekkevidde mellom steinpartiklene og vannmolekylene, og kohesjon er tiltrekningenskraften som virker mellom vannmolekylene (Koorevaar, Menelik & Dirksen, 1983).

Figur 7 viser en prinsipiell fremstilling av forskjellige materials potensial for kapillær stige høyde. Legg merke til den røde linjen som viser relativ % kapillær aktivitet. Silt gir spesielt gode forhold på grunn av høyt finstoffinnhold som skaper trange porekanaler, samtidig som det er tilstrekkelig permeabelt til å kunne fore det negative poretrykket med vann i motsetning til leire. I et materiale med lite finstoff vil poresuget raskt gå mot null, men vil aldri bli null siden vann binder seg til overflaten av steinpartiklene.



Figur 7 - Sammenheng mellom materiale og vannets kapillære aktivitet (Bråthen, Lyshaug & Nashoug, 2020).

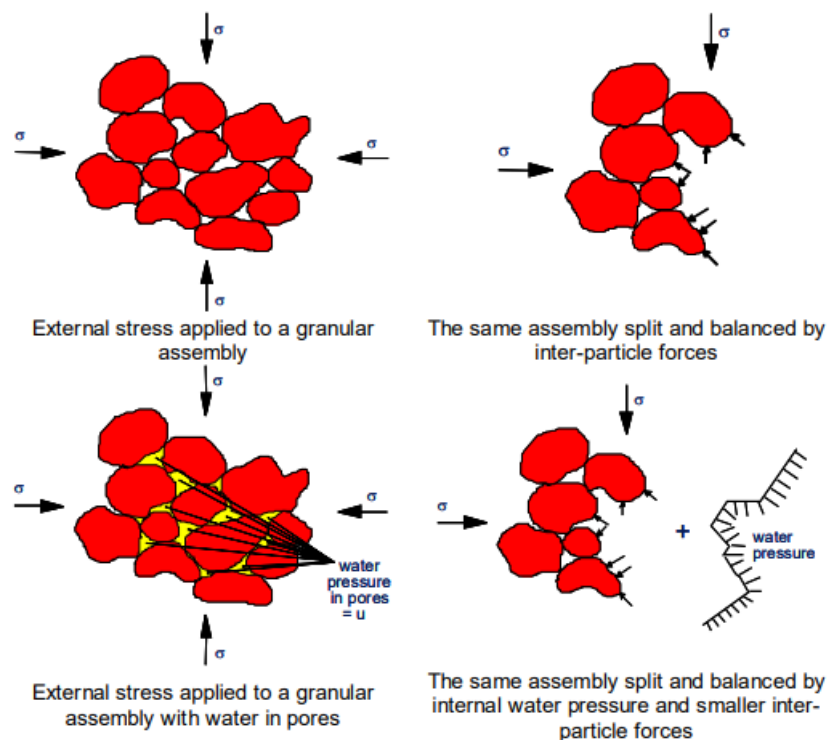
En annen mekanisme med potensial til å transportere vann oppover i overbygningen er osmose. Mekanismen oppstår på grunn av forskjell i ionekonsentrasjon mellom grunnvannet (ferskvann) og vann i toppen av overbygningen som følge av det salte miljøet langs vegen. I henhold til likevektsprinsippet ønsker ferskvannet å utjevne ionekonsentrasjonen, og vil derfor strømme gjennom en membran (skillet mellom salt- og ferskvann) som er permeabel bare for vannmolekyler (M. G. Lay, 2009).

Fordampning opp fra undergrunnen til et kaldere lag i overbygningen kan forekomme som følge av temperaturgradienten mellom jordvarmen i grunnen og overbygningen. Damptrykket er høyere lenger ned i grunnen, og dampen forsøker alltid å utligne trykket ved å bevege seg fra høyere trykk mot lavere trykk. Dette fører til transport av fuktighet oppover i overbygningen (M. G. Lay, 2009).

2.5 Hvordan vann påvirker vegen

Utsiktet vann i vegkroppen kan være svært ødeleggende for vegens varighet. Et godt dreneringssystem er helt essensielt for å forlenge vegens livsløp, og utbedring av drenering er det første og viktigste forsterkningstiltaket som bør utføres på veger (Aurstad, 2016).

Bæreevnen i granulære lag i overbygningen henger tett sammen med skjærstyrken som skapes av friksjonskreftene mellom steinpartiklene. Dersom det granulære laget blir vannmettet, vil vannet ta opp en del av skjærkraften og resultere i økt poretrykk, og effektivt redusere kontaktrykket mellom steinpartiklene, se Figur 8. Redusert kontaktrykk gir redusert friksjonskraft og motstand mot deformasjoner, og kan effektivt redusere effekten av et godt materiale (Dawson & Kolisoja, 2004).

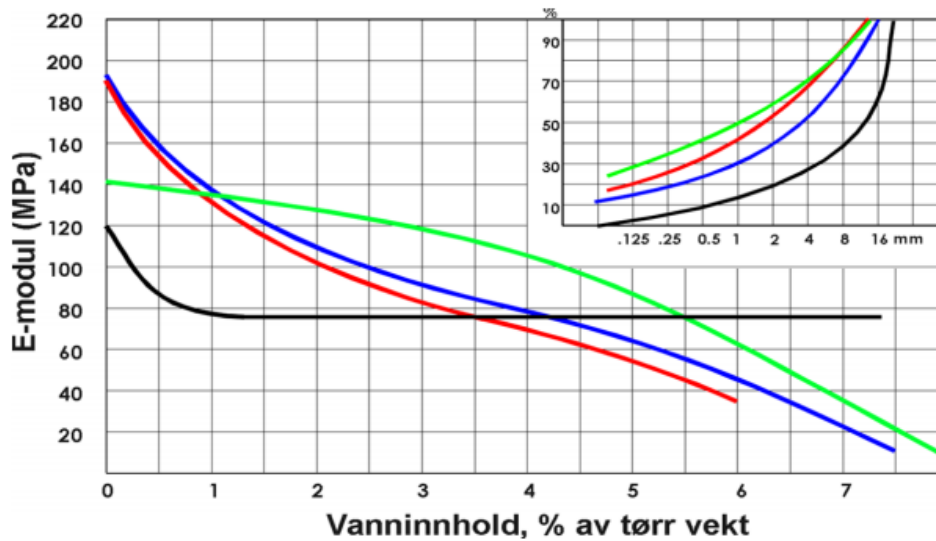


Figur 8 - Vannets påvirkning på et granulært lag (Dawson & Kolisoja, 2004).

Ovennevnte gjelder dersom hulrommene mellom steinpartiklene er så små at vannet ikke dreneres vekk ved belastning. Et velgradert material med høyt finstoffinnhold har høyere Elastisitetsmodul (E-modul) i drenert tilstand enn en tilsvarende masse med mindre finstoffinnhold, men er mer sensitive for endring i vanninnhold. Sensitiviteten mot vann henger tett sammen med økningen av finstoffinnhold, noe som bidrar til at vannet fanges i porene i massen (Uthus, 2007).

Et ens-gradert materiale påvirkes ikke i like stor grad på grunn av lavere poretrykk ettersom vannet kan rømme ved belastning, se Figur 9. Vannet fungerer heller som et smøremiddel som senker friksjonskraften mellom partiklene i et ens-gradert material, og dermed E-modul (Thom & Brown, 1987).

Over tid kan imidlertid interpartikulær nedknusning og innvasking av finstoff fra grøften føre til økt finstoffinnhold, og dermed økt vannsensitivitet (Norem et al., 2016; Uthus, 2007).



Figur 9 - E-modul utvikling med hensyn på finstoff og vanninnhold (Ill.: Geir Berntsen)

Siktekurvene for materialene er vist til høyre i Figur 9. Grafen viser materialenes E-modul med hensyn på vanninnhold i prosent av tørrvekt. E-modulen er i prinsippet et mål for materialets motstand mot deformasjon, som i praktisk forstand er materialets bæreevne. Figuren illustrerer at E-modulen reduseres for materialene med mye finstoff når vanninnholdet øker. For materialet med mest finstoff (grønn linje i figuren) reduseres elastisitetsmodulen ca. 86 % (fra 140 MPa til 20 MPa) når vanninnholdet økes fra 1 % til ca. 7-8 %. Dette betyr i prinsippet at deformasjonen øker sju ganger ved samme belastning. Den svarte linjen er et material med svært lite finstoff, og som tidligere nevnt er det materialet nesten upåvirket av vanninnholdet (Aurstad, 2016).

Zhang (2004) undersøkte grunnvannivåets innflytelse på forskjellige undergrunnsmasser, og konkluderte med at andelen finstoff ikke direkte var et godt mål på hvor vannømfintlig massen er. Kurvaturkoeffisienten (C_c) viste derimot god korrelasjon på vannømfintlighet. Massene han undersøkte samt resultatene fra laboratorietester er oppgitt i Tabell 2.

Tabell 2 - Resultater fra Zhang (2004)

	SR-70 A-3 (8 %)	A-2-4 (12 %)	SR-70 A-2-4 (14 %)	A-2-4 (20 %)	A-2-4 (24 %)
D10 [mm]	0,081	0,05	0,001	0,037	0,0095
D30 [mm]	0,15	0,099	0,13	0,091	0,082
D60 [mm]	0,31	0,15	0,29	0,14	0,14
C_u	3,83	3,00	290,00	3,78	14,74
C_c	0,90	1,31	58,28	1,60	5,06
Endring fukt. innhold	+ 2,3 %	+ 2,5 %	+ 1,0 %	+ 1,9 %	+ 1,9 %
Endring i E-modul	- 12,2 %	- 8,2 %	- 37,8 %	- 3,8 %	- 21,6 %

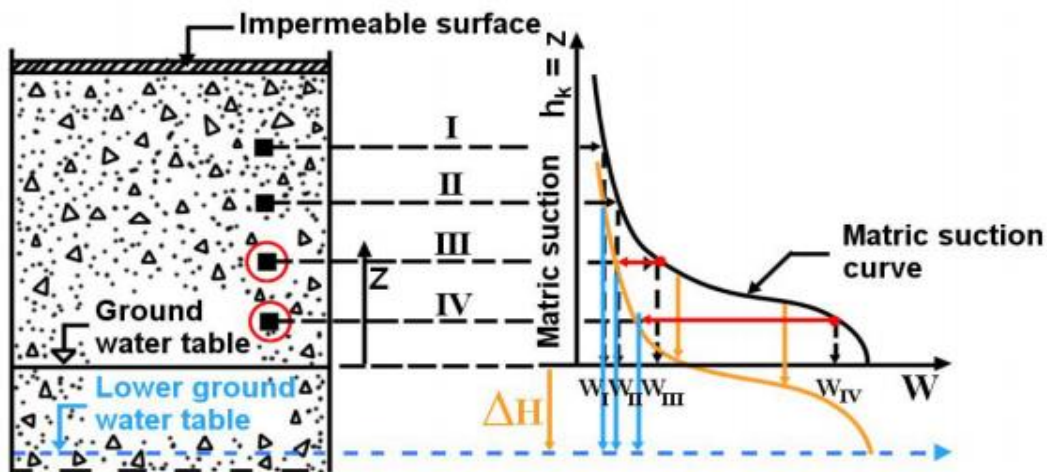
Prosentandelen i overskriftsrekken er andel finstoff i massen. D10 er den kornstørrelsen som 10 % av materialet er mindre enn, C_u angir materialets graderingstall, og C_c angir kornkurvens kurvaturkoeffisient.

Statens vegvesens definisjoner for graderingstall er ensgradert: $C_u < 5$ middels gradert: $C_u = 5 - 15$ velgradert: $C_u > 15$

Formel 1

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Figur 10 illustrerer hvordan poresugskurven parallellforskyves når grunnvannstanden senkes, og på den måten effektivt senker vanninnholdet i vegen. Fuktighetsinnholdet (W) markeres med røde piler mot x-akse i figuren, og reduseres når poresuget øker. Økt poresug gir økt bulk-stress og dermed høyere E-modul og skjærstyrke. Fuktighetsinnhold er en funksjon av avstanden til grunnvannet, og dermed oppnår en ved å senke GV med Δh mindre fuktighet og høyere effektivspenning i lagene som ikke er vannmettet (Berntsen & Saarenketo, 2005b).



Figur 10 - Illustrasjon av effekten av senket GV-speil på poresug og fuktinnhold (III. Geir Berntsen)

Formen på kurven er avhengig av porestørrelsesfordelingen i materialet, eller mengden finstoff i praktisk forstand. Et materiale med lite finstoff vil ha en mye brattere poresugskurve som resulterer i mindre potensial for tilførsel av fukt fra undergrunnen. For et materiale med mye finstoff vil vanninnholdet avta langsomt med høyden over grunnvannsnivået, men som vist i Figur 7 kan den kapillære stighøyden være svært høy.

2.5.1 Vann i vegen og levetid

Veger varer ikke evig, og i Norge dimensjoneres veg for å vare i 20 år fra ferdigstilling. Etter 20 år regner man med at en reasfaltering vil øke levetiden med ytterligere 20 år og fortsette i en slik syklus inntil den trafikale lastpåkjenningen er så stor at granulære lag i overbygningen ikke lenger gir tilstrekkelig styrke og det kreves et større forsterkningstiltak. Når man snakker om levetid er det som oftest snakk om spordybde inntil terskelverdien i vedlikeholdsstandarden er oppnådd. Verdien er differensiert på ÅDT,

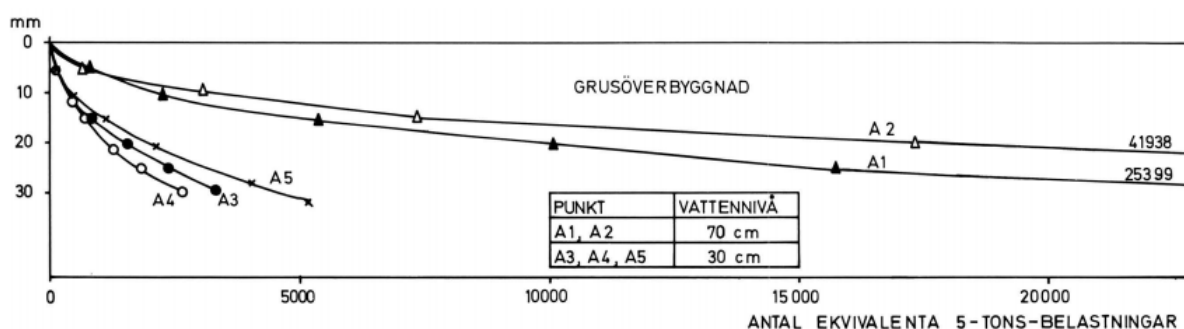
og følger et såkalt 90/10 system. Det betyr at 10 % av parsellen tillates å ha dårligere verdi enn terskelverdien (Statens vegvesen, 2015).

Verdien beregnes som 90-persentilen av 20 meters verdier for parseller med lengde 1000 m. For ÅDT 0 – 5000 er 90-persentilen 25 mm, mens den er 20 mm for ÅDT > 5001. I tillegg er det krav til at ingen 20-meter verdi overstiger 40 mm i gjennomsnitt (Statens vegvesen, 2014a).

Basert på dekkelevetiden beregnes en levetidsfaktor som fasit på hvor god overbygningen er, basert på empiri fra pavement management system (PMS). Levetidsfaktoren er forholdet mellom funksjonell dekkelevetid, og nominell dekkelevetid (Statens vegvesen, 2015).

Et fullskala forsøk av P. Simonsen og Hjalmarsson (1977) viste effekten av å senke grunnvannstanden fra -30 cm til -70 cm relativt til asfaltdekket. Dekket ble belastet 5 tonns ekvivalente hjullaster, og de resulterende permanente deformasjoner ble registrert, se Figur 11.

Den vertikale akse viser permanent deformasjon i millimeter som funksjon av antall 5-tonns ekvivalenter. Resultatene viser at deformasjonene var mindre enn 30 mm etter 25 000 belastninger når vannivået var 70 cm under veidekket. Når vannivået var 30 cm under dekket var deformasjonsutviklingen mye raskere, og var over 30 mm etter 2 500 – 5 000 belastninger.

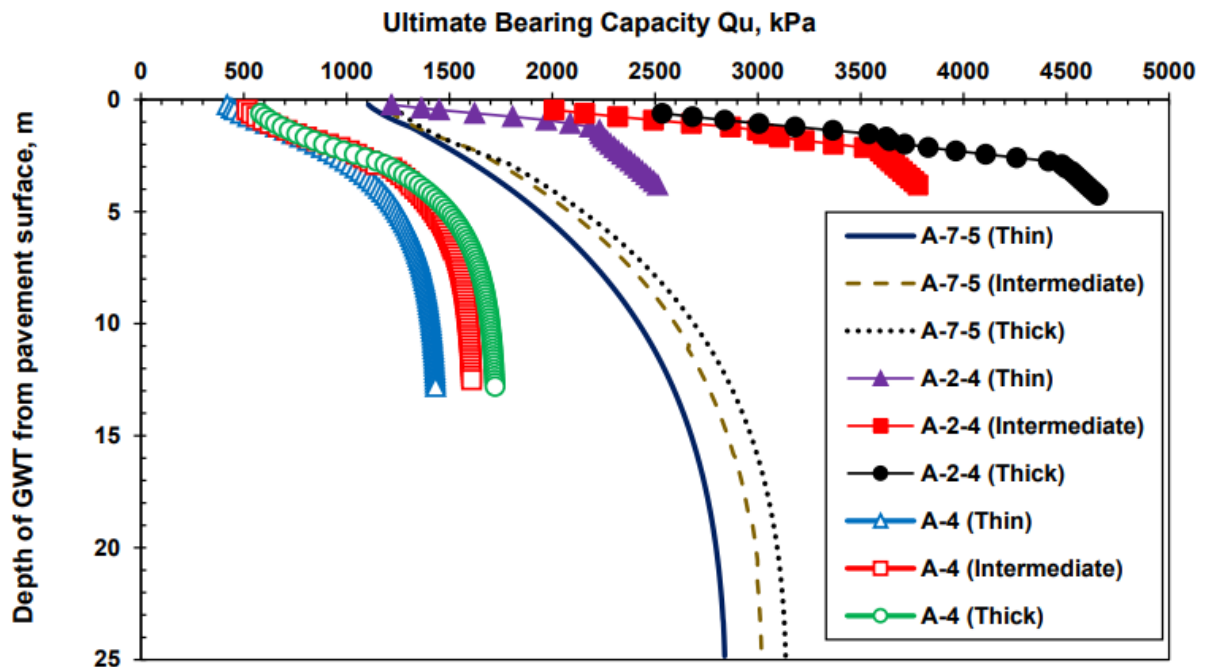


Figur 11 - Resulterende deformasjoner med hensyn på grunnvannstand (P. Simonsen & Hjalmarsson, 1977).

Zaghloul et al. (2004) utførte en case studie hvor de økte vanninnholdet fra 16 % til 45 % for å undersøke effekten den økte fuktigheten hadde på dekkets levetid. Dekkelevetiden gikk fra 13 år til 7 år, noe som tilsvarer ca. dobbelt så høy levetidskostnad over en periode på 40 år for et 250 ft. langt asfaltdekke (ca. 76 m).

Ekblad og Isacsson (2006) undersøkte E-modul og tverrkontraksjon for materialer med forskjellig finstoff- og vanninnhold med hensyn på total- og effektivspenning. Resultatene ble fremskaffet gjennom triaksialforsøk på relativt store prøver med diameter 50 cm og høyde 100 cm. De fant gjennom sine forsøk at økt vanninnhold medførte en reduksjon i E-modul og økning i tverrkontraksjon (dilatant oppførsel). Denne sammenhengen var mer framtrædende for velgraderte materialer med finstoff enn for ensgraderte materialer med relativt lite finstoffinnhold. Ekblad og Isacsson (2006) skriver til slutt at den store økningen i tverrkontraksjon (Poisson-tall) var noe uventet med tanke på tidligere rapporter. Grusmaterialet med lite finstoff viste bare en liten reduksjon i E-modul selv om materialet var nær vannmetning. De velgraderte materialene med høyere andel finstoffinnhold fikk et markant tap i E-modul når vanninnhold økte.

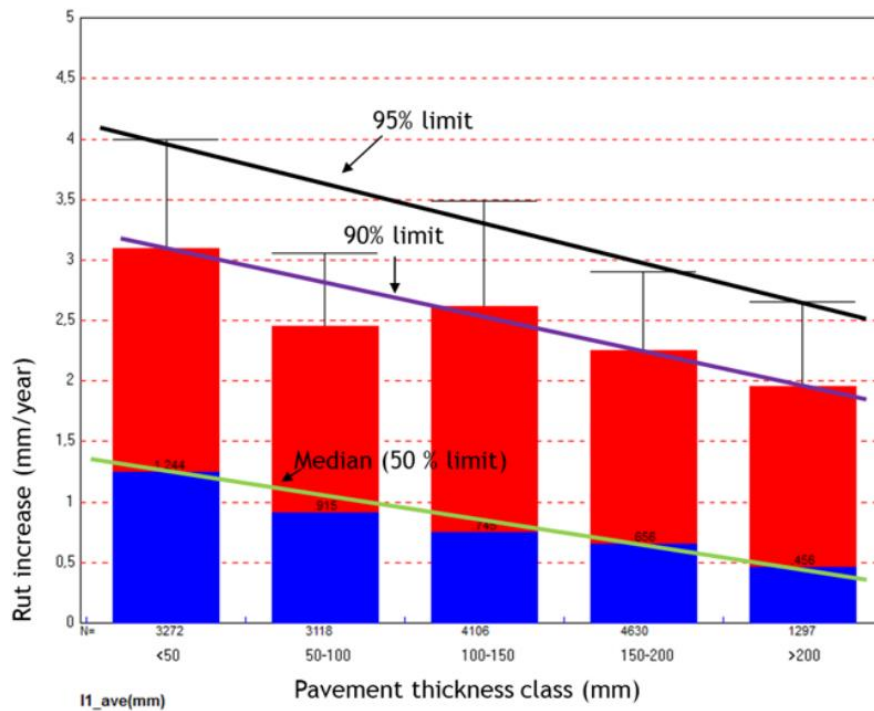
Figur 12 viser resultatene fra simuleringer utført av Elshaer (2017) hvor målet var å undersøke effekten av flom på den mekaniske responsen i vegen. A-2-4 er et material hvor 22,4 % passerer 75 μm sikten, mens A-4 er silt hvor 80 % passerer 75 μm sikten og A-7-5 er et leirig materiale hvor 92,5 % passerer 75 μm sikten. Thin representerer 76,2 mm asfalt og 152,4 mm grus, intermediate er 152,4 mm asfalt og 304,8 mm grus og thick er 203,2 mm asfalt og 406,4 mm grus.



Figur 12 - Bæreevne basert på GV og dekketykkelse (Elshaer, 2017)

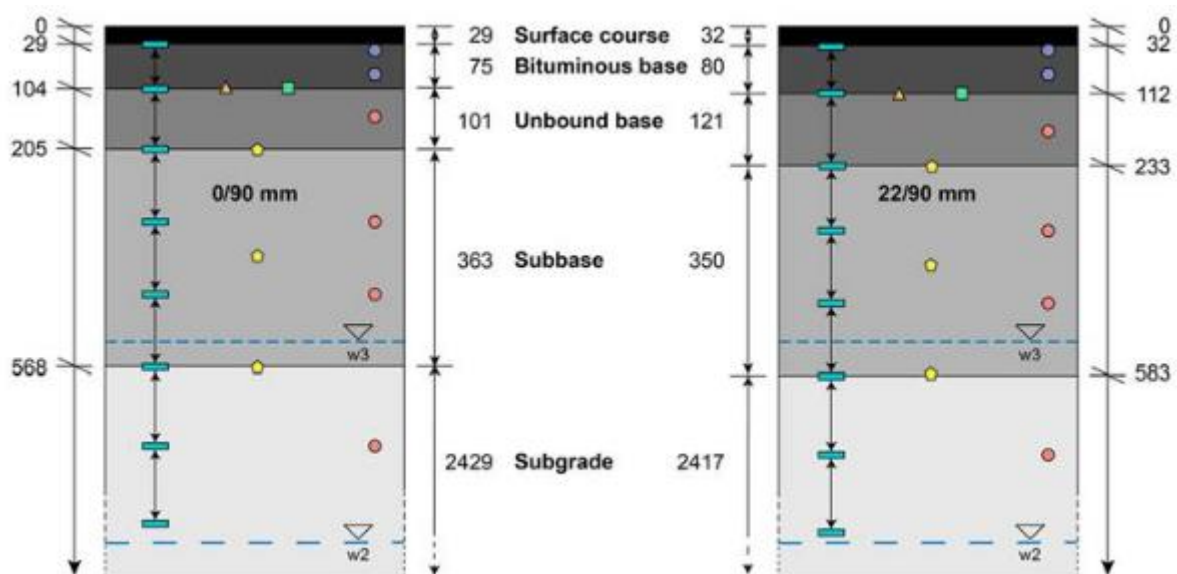
Senkningen av GV-speilet gir generelt stor effekt på alle jordartene, og alle målingene flater ut etter en viss effektiv dybde hvor vannet ikke lenger har stor effekt på bæreevnen. For undergrunnen med lite finstoff (A-2-4) var det klar sammenheng mellom overbygningstykkelse og effektiv dybde, mens denne sammenheng ikke kunne ses for materialene med mer finstoff. Elshaer konkluderer med at materialet i undergrunnen har stor påvirkning på hvor den effektive sonen ligger der GV-høyde utgjør en signifikant effekt på vegens bæreevne.

Roadex har funnet tilsvarende sammenheng gjennom statistisk analyse av asfalttykkelse og sporutvikling i mm/år fra kartlegging i PEHKO-prosjektet i Finland. Resultatet fra analysen er vist i Figur 13. Resultatet er interessant og antyder at det er mer kritisk med dårlig drenering dersom asfalttykkelsen er tynn, og snudd på hodet kan det bety at det til en viss grad nytter å asfaltere seg ut av dreneringsproblemer. Det vil imidlertid være veldig dyrt i forhold til å utbedre drenering av overbygningen. Roadex gir en generell anbefaling om å øke asfalttykkelsen dersom sporutviklingen for den respektive asfalttykkelsen ligger over medianen i Figur 13 (Roadex).



Figur 13 - Sammenheng mellom asfalttykkelse og sporutvikling (hentet fra Roadex.org).

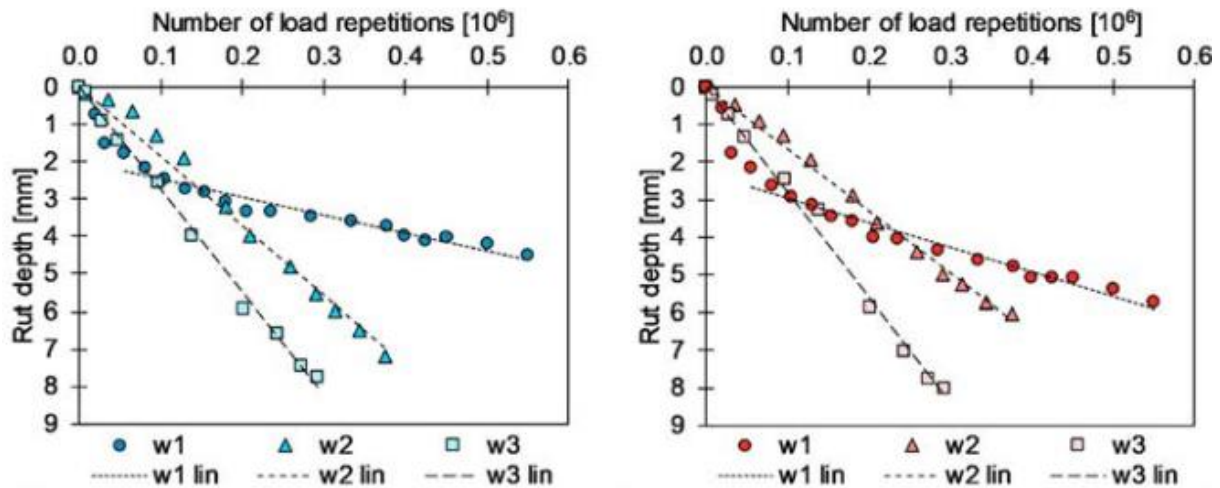
Fladvad og Erlingsson (2021) undersøkte to forskjellige overbygninger, se Figur 14, hvor målet var å undersøke utviklingen av permanente deformasjoner i forsterkningslag med forskjellige finstoffinnhold. Forsøket ble utført i Finland ved hjelp av en Heavy vehicle simulator (HVS) som simulerer trafikkpåkjenning fra tunge kjøretøy. I tillegg ble det gjort målinger med forskjellige grunnvannsnivå for å undersøke effekten på de forskjellige overbygningene.



Figur 14 - Tverrsnitt av vegoverbygninger og GV-nivå (Fladvad & Erlingsson, 2021).

Massene i forsterkningslaget var 0/90 mm og 22/90 mm, hvor 0/90 mm ble produsert ved å blande 1:1 i vekts ratio av 0/32 mm og 22/90 mm. Grunnvannsnivået startet på over 3 m under vegdekket, og ble siden hevet til 30 cm under forsterkningslaget, w2, og til slutt, w3, 5 cm over bunnen av forsterkningslaget Figur 14.

Det ble funnet en klar sammenheng mellom økt fuktighetsnivå og økt permanent deformasjon, og samtidig funnet en lineær trend for deformasjonen etter ca. 50 000 passering. Det antas at den lineære trenden for sporutvikling starter etter etterkompaktering av konstruksjonen i fase 1, se Figur 15.



Figur 15 - Resultater fra simulering med HVS. Blå figur er 0/90 mm, og rød figur er 22/90 mm (Fladvad & Erlingsson, 2021)

Overbygningen med 0/90 mm forsterkningslag, mest finstoff, ble påvirket i større grad av økt GV-nivå. For de siste 200 000 lasterepetisjoner ble sporutviklingsraten i **Tabell 3** etablert.

Tabell 3 - Sporutviklingsrate (Fladvad & Erlingsson, 2021).

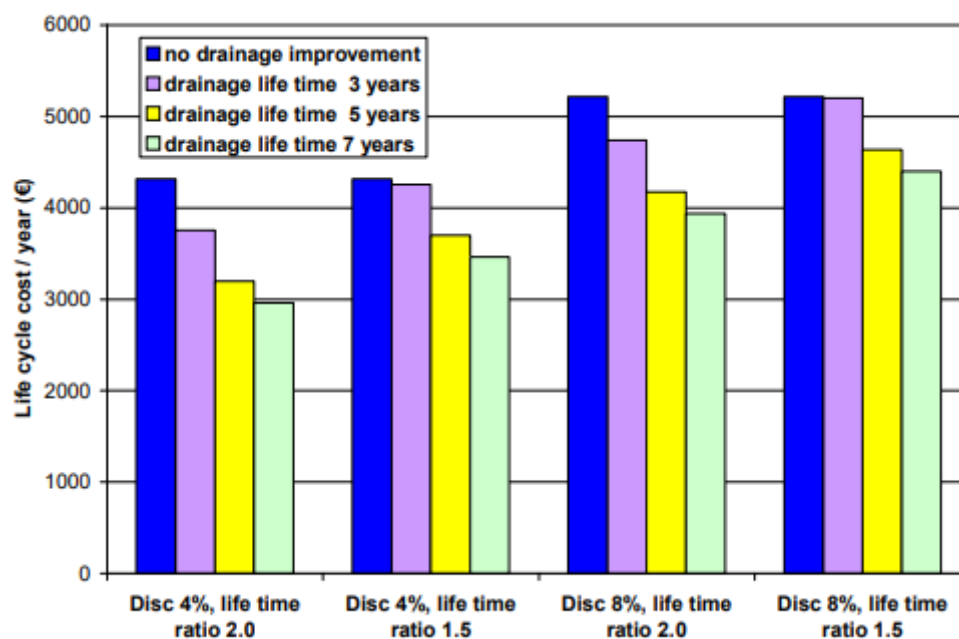
Forsterkningslag	Sporutviklingsrate [mm pr 100 000 lasterepetisjoner]		
	w1	w2	w3
0/90 mm	0,43	2,06	2,64
22/90 mm	0,53	1,62	2,84

2.5.2 Vann i vegen og levetidskostnad (LCC)

I foregående kapittel ble det slått fast at vanninnhold i overbygningen har stor effekt på motstand mot permanent deformasjon, og dermed vegdekkets og vegens levetid. Et betimelig spørsmål på bakgrunn av det er derfor hvor mange ganger dreneringen kan utbedres med gevinst i levetidskostnader.

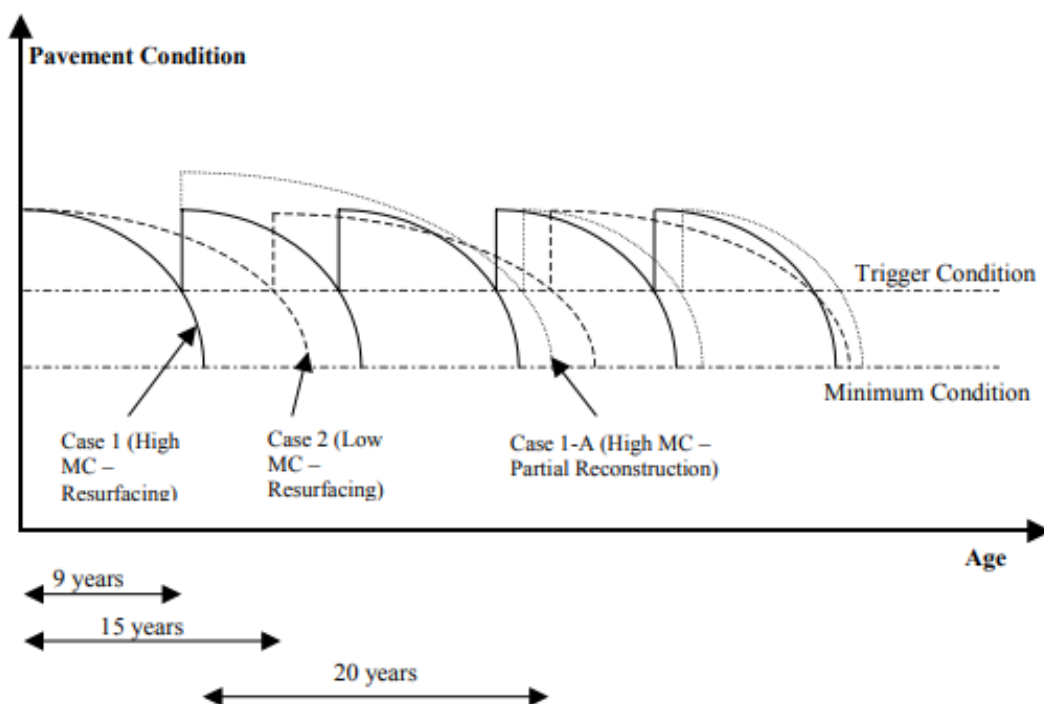
Berntsen og Saarenketo (2005a) undersøkte nettopp dette og kom frem til resultatene i Figur 16. De regnet med en kostnad for å utbedre drenering (åpne grøfter) på 4100 €/km, og kostnad for nytt asfaltdekke på 35 000 €/km. Figuren viser resultater for to faktorer for økt levetid, og to forskjellige diskonteringsrenter. De tok ikke hensyn til økte kostnader for andre driftsoppgaver på grunn av høyt fuktinnhold, og skriver at fordelene ved å holde dreneringen i god stand burde beregnes over flere livssykluser på grunn av andre skader i tilknytning til frost-/tineskader.

Resultatene til Berntsen og Saarenketo viser at det alltid bør vurderes å utføre større dreneringstiltak enn bare grøfterensk. Som eksempel viser de til at dersom en kan doble dekkelevetiden med diskonteringsrente på 4 % kan en utbedre dreneringen for 8400 €/km pr 5. år, og levetidskostnaden vil fremdeles være lavere enn om det ikke ble gjort dreneringstiltak.



Figur 16 - Eksempel på LCC på effekten av utbedret drenering.

Zaghloul, Gucunski, Jackson og Hadidi (2006) gjorde en levetidskostnads-analyse (LCCA) på en strekning i USA, hvor hele strekningen hadde samme standard og høyt fuktighetsinnhold ved oppstart av 40 års-analysen. Ved år 0 blir Case 1 reasfaltert med en levetid på 9 år, mens Case 2 får senket fuktighetsinnholdet gjennom utbedring av dreneringen. Med utbedring av dreneringen menes her et permeabelt lag over undergrunnen som vinkles med fall til en åpen grøft, på samme måte som vi bygger forsterkningslag i Norge. Case 1-A er en underkategori hvor Case 1 ble delvis utbedret ved å fjerne alle bituminøse lag og legge disse på nytt i år 9. Resultatet er illustrert i Figur 17.



Figur 17 - LCCA for vegdekker med forskjellige fuktighetsinnhold (Zaghloul et al., 2006).

Kostnader i nåværende verdi pr. mile er oppgitt i Tabell 4. Det ble benyttet inflasjonsrente på 0 og diskonteringsrente på 6 %. Av Figur 17 ser vi at det er oppnådd en økning i levetid for case 2 på 1,67, og tabell 4 viser nåværende kostnad for de forskjellige scenarioene. Levetidskostnadene er på bakgrunn av dette redusert med 57 % for strekningen med utbedret drenering (case 2), se Tabell 4 (Zaghloul et al., 2004).

Tabell 4 - Levetidskostnads resultater (Zaghloul et al., 2006)

Analyse case		Nåværende kostnad/ kjørefelt mile [\$]
Case 1	Høyt fuktighetsinnhold (reasfaltering)	311,168
Case 1 - A	Høyt fuktighetsinnhold (forsterkning)	433,641
Case 2	Lavt fuktighetsinnhold	133,303

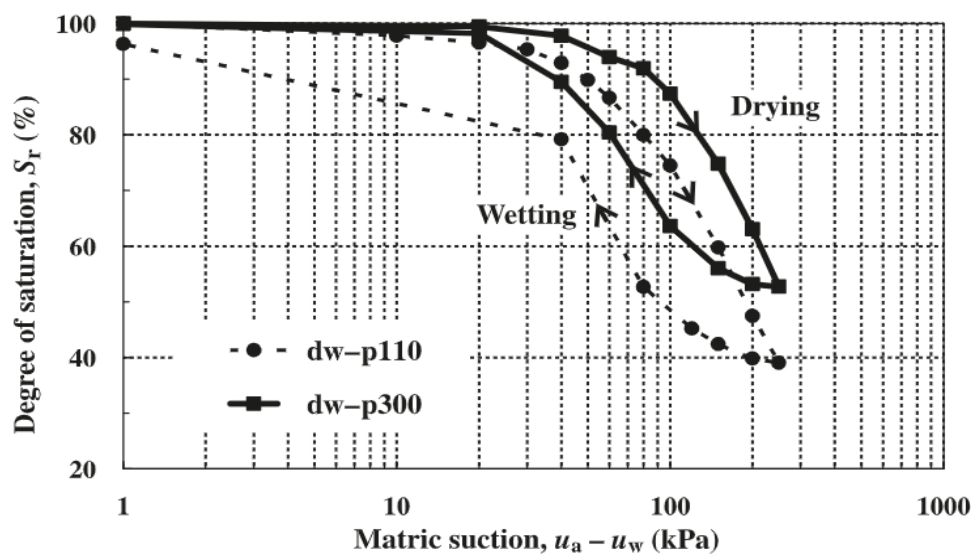
2.5.3 Klimaets påvirkning på vegens bestandighet

Klimaet ser ut til å gå mot røffere påvirkning fra tørkeperioder, mer intense regnskyll, flere fryse/tine-sykluser og barfrost i fremtiden (*Klima i Norge 2100*, 2015). De viktigste miljøeffekter med hensyn på nedbrytning av vegnettet ser ut til å være fukt og temperatur. Fukt i overbygningen har direkte påvirkning på oksidasjon, tele, nedsatt elastisitet, volumendring, ustabilitet og spenninger. Temperaturendringer forårsaker spenningsendringer i forbindelse med utvidelse og sammentrekninger av vegdekket. Nedbrytningseffekten er proporsjonal med mengde frost og fryse/tine-sykluser, og er større på strekninger med trafikk (Matter & Farouki, 1994).

Store sesongmessige variasjoner i vegens bæreevne skyldes i all hovedsak variasjoner i temperatur- og fuktighetsnivå som resulterer i betydelig lavere bæreevne. Effekten varierer imidlertid etter stedlige forhold, og kan på noen vegstrekninger virke styrkende (Matter & Farouki, 1994).

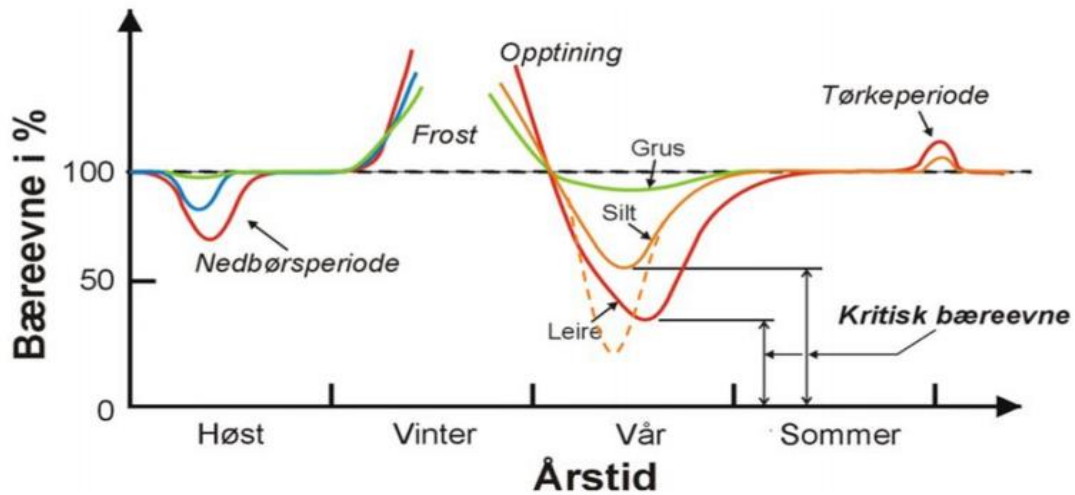
Det er en klar sammenheng mellom regnfall og fuktighetsnivå i overbygningen og undergrunnen. Ved tunge regnfall vil fuktigheten stige i alle lagene i vegen samt undergrunnen før den reduseres over tid ved at regnvannet dreneres gjennom overbygningen. Det forutsetter imidlertid at det ikke er et høyt finstoffinnhold i massene, med evne til å binde fuktigheten i overbygningen. Regnfall etter tørkeperioder kan se ut til å være mer alvorlig enn konsentrerte perioder med høy regnintensitet (Zaghloul et al., 2006).

Det kan forklares gjennom å se på poresuget i materialet. Vannet bidrar til styrke i materialet gjennom adhesjon og kohesjon, og når vann er til stede vil disse kreftene bidra til å gi høyere motstand mot deformasjon på grunn av høyere effektivspenning. Etter tørkeperioder vil det være minimalt med vann i materialet, og dermed blir styrken i større grad redusert. Når vann tilføres et materiale skjer det gjennom en jevn strøm som ikke tillater sterke adhesjons- og kohesjonsbindinger, men når materialet tørkes vil vannet «klore» seg fast. Hystereseeffekten er illustrert i Figur 18 hvor samme vanninnhold (degree of saturation) har høyere poresug når materialet tørkes (Ng, Xu & Yung, 2009).



Figur 18 - Effekten av fukting og tørking på poresug

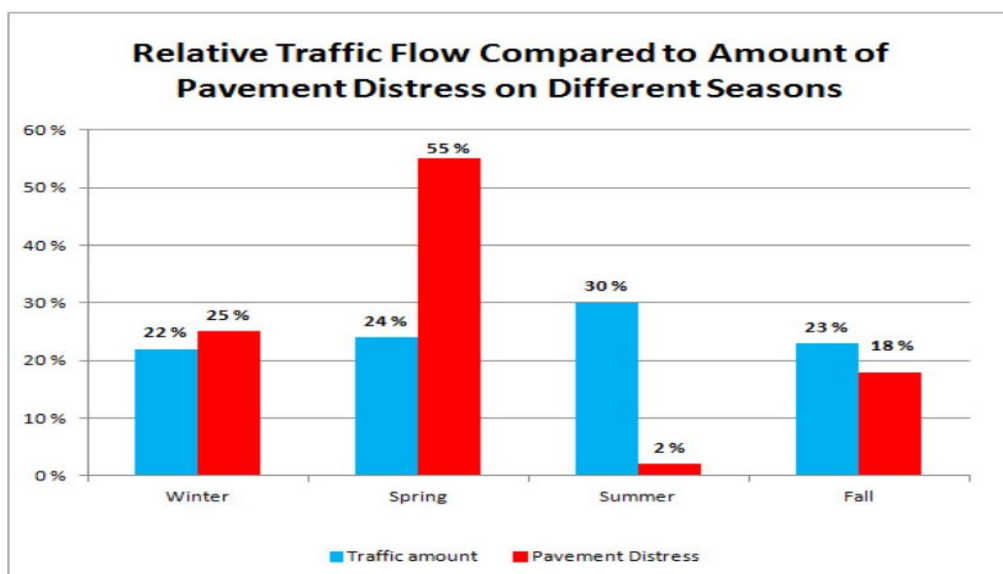
Figur 19 viser prosentvis utvikling av bæreevne gjennom årstidene. Illustrasjonen stemmer godt med en generell reduksjonsfaktor på 0,7 - 0,8 i vårtiningen fra litteraturen i forhold til optimale forhold (Richter, 2006).



Figur 19 - Variasjon i bæreevne gjennom året (Ill.: Geir Berntsen)

De forskjellige fargene i Figur 19 representerer forskjellige typer masser. Grønn er grus med lite finstoffinnhold, og viser optimal situasjon med små variasjoner i bæreevne. Gul og rød representerer henholdsvis silt og leire, og er begge betydelig mer vannømfintlig enn grus. Leiren er mindre permeabel enn silten, og vil påvirkes i større grad dersom vannet trenger inn i massen. Silten har større potensial for vanninnstrømming gjennom kapillaritet, og er tilstrekkelig tett slik at vannet ikke kan rømme ved belastning som medfølger høyere poretrykk.

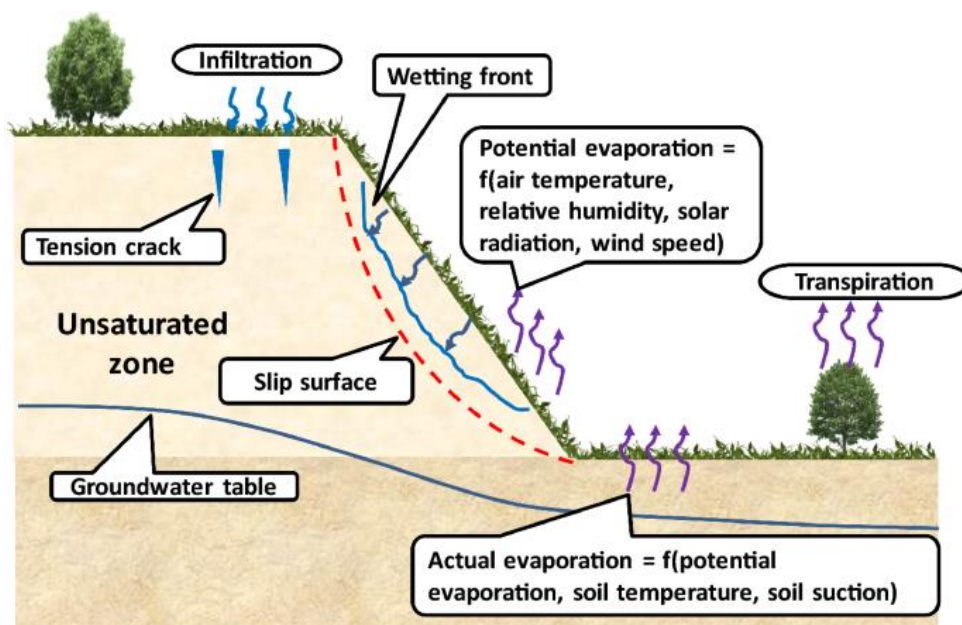
Resultater fra Aasho Road Test project i Nord-Amerika viste en tydelig sammenheng sesongvariasjoner og kritiske spenninger i overbygningen. Trafikkmengden holdes relativt stabil gjennom hele året, mens nedbrytningen endres drastisk på grunn av sesongvariasjoner. Våren står for 55 % av nedbrytningen, mye grunnet nedsatt bæreevne på grunn av høyt vanninnhold og temperatursvingninger rundt 0 °C med påfølgende fryse/tine-sykluser, se Figur 20 (Woods, 1962).



Figur 20 - Resultater fra Aasho-prosjekt i Nord-Amerika (hentet fra Roadex.org).

Økt regnintensitet kan få stor effekt på skråningsstabiliteten i fremtiden, spesielt i materialer med høyt finstoffinnhold. Som tidligere nevnt gjør poresuget at materialet får høyere E-modul og bæreevne gjennom økt bulk-stress. Det gjør at områder som i dag er tørre med god skråningsstabilitet og høy sikkerhetsfaktor, kan få en markant reduksjon i skjærstyrke ved økt infiltrasjon og dermed risikere å bli ustabile i fremtiden (Rahardjo, Kim & Satyanaga, 2019).

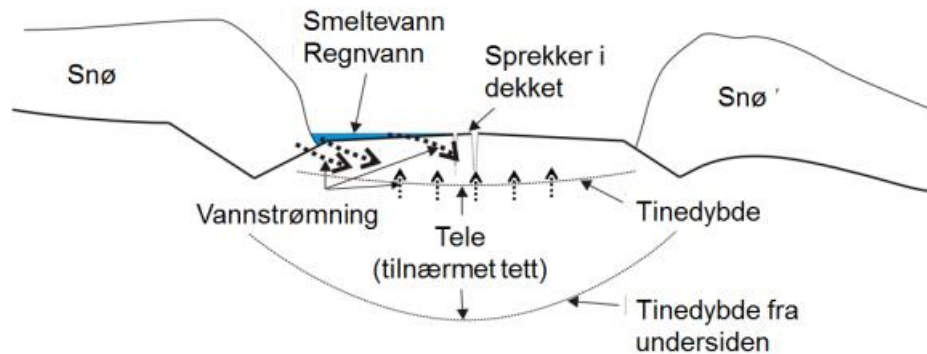
Dersom vi overfører denne kunnskapen til overbygningen, er mange av aspektene like. Eldre vegger med dårlige masser kan tilsynelatende ha god bæreevne på grunn av en gunstig klimapåvirkning, eller lokalt lite regn og fuktighet. Dersom området senere får økt ekstremvær med kraftigere regnskyll kan det gi stort utslag på levetiden. Torvkanter og sprekker i asfaltdekket gir god adgang for infiltrasjon i toppen av vegen, og ved tilfeller av for dårlige grøfter eller utilstrekkelig fall i grøften vil vann kunne infiltreres fra grøften i tillegg. Dette er illustrert i Figur 21.



Figur 21 - Skråningsstabilitet i tørre jordarter (Rahardjo et al., 2019).

2.5.4 Teleproblematikk

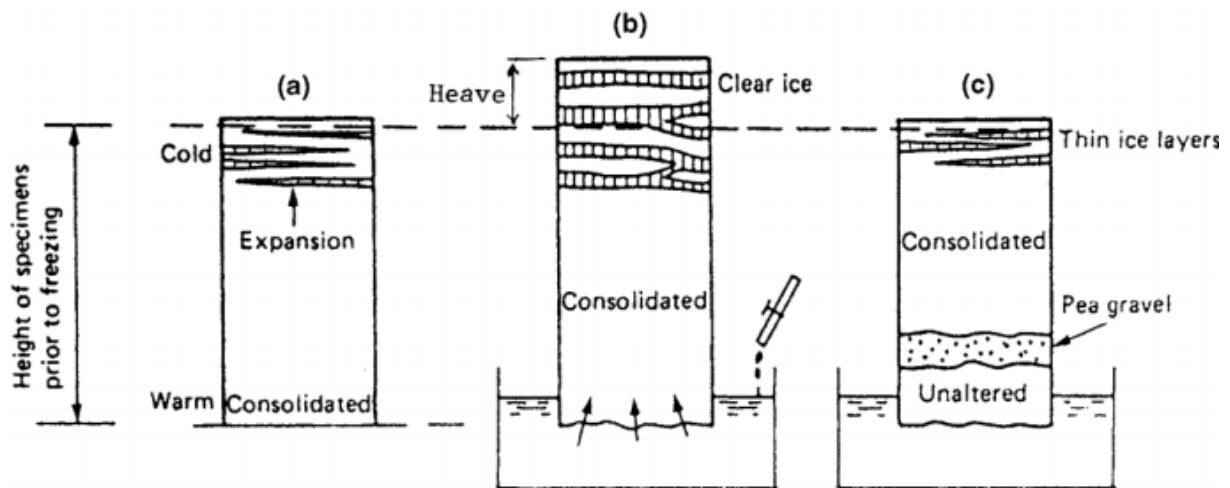
Størst nedbrytning av det lavtrafikkerte vegnettet i kalde strøk skjer under teleløsningen (Saarenketo & Aho, 2005). På våren tines tele både av jordvarme nedenfra og av stigende temperaturer ovenfra, som gjør at det kan dannes et helt vannmettet lag øverst i veggen. Samtidig ligger snøen som et isolerende lag over vegskulder og grøft, og hindrer telene i å slippe fra skulderen og bidrar til å danne et reservoar. Det ser man ofte som overskuddsvann som trenger gjennom ellers tørr asfalt om våren, dannelsen er illustrert i Figur 22.



Figur 22 - Teleproblematikk i nordlige strøk (Ill.: Geir Berntsen)

Et vannmettet lag i overbygningen reduserer bæreevnen betydelig. Reduksjonen kommer av at vannet binder seg til overflaten av massene og reduserer kornkontakten som oppstår når veien blir belastet. På veier med mye finstoff er overflatearealet langt større enn i et grovt materiale, og høy andel finstoff gir også ugunstig lav permeabilitet. Dynamisk belastning av et vannmettet lag fører til høyt hydrostatisk trykk som kan føre til sprekker, deformasjoner eller slaghull dersom asfaltdekket ikke gir tilstrekkelig bæreevne i perioden (E. Simonsen & Isacsson, 1999; Saarenketo & Aho, 2005).

Is har 9 % større volum enn vann, og islinsjer i overbygningen på vinteren er vanlig. Det skaper imidlertid ingen problemer så lenge ikke volumet overstiger porevolumet lokalt i materialet. Volumet på islinsene avhenger av vanntilførsel til frysefronten, og Figur 23 fra Andersland og Ladanyi (2004) viser tre ulike scenarier. Figur (a) viser islinsjer uten tilgang til vann fra undergrunnen, og det fører til et marginalt og ikke minst jevnt fordelt telehiv. I Figur (b) er grunnvannet så høyt at poresuget tilfører vann til frysefronten og islinene får gode forhold for å vokse. Figur (c) viser et tilfelle hvor grunnvannet er så høyt at poresuget har potensial til å løfte vann til frysefronten, men et åpent lag med grus hindrer vannet i å stige til frysefronten.



Figur 23 - Illustrasjon fra Andersland og Ladanyi (2004), s.14.

Telehiv er avhengig av tre grunnleggende forutsetninger; vanntilførsel, vannømfintlige masser og frost. Spesielt i eldre vegger kan massene i overbygningen være vannømfintlig, samtidig som det er vanskelig å gjøre noe med den lokale frostmengden. Vanntilførsel er i all hovedsak grunnvann og grunnvannstrømmer, og det kan være mulig å senke denne ved for eksempel grøfting.

Grunnvannstand eller GV-tilsig i skråninger spiller en viktig rolle i at telehiv blir det vi i vegnormalene kaller uakseptable. Jo høyere grunnvannstand, jo mer telehiv dannes på bakgrunn av bedre tilgang på flytende vann fra undergrunnen. Dette henger sammen med det tidligere nevnte poresuget i materialene og avtagende vanntilsig over den kapillære stighøyden. Hermansson og Guthrie (2005) konkluderte, ved hjelp av laboratorieforsøk med direkte telehivtesting av frostsensitive materialer med forskjellig grunnvannstand, at økt avstand fra fryseseonen til grunnvannet gir til dels stor reduksjon i telehiv. Utbedring av drenering kan derfor sies å ha en gunstig effekt på telehiv (Hermansson & Guthrie, 2005).

Det er imidlertid ikke slik at vi ikke ønsker noe vann i veggen, økt vanninnhold gir bedre varmekapasitet som medfører at frostdybden reduseres. Det skyldes den frigjorte energien fra faseovergangen mellom vann til is som bremser frostnedtrengningen i grunnen (Nordal, 1996). Det medfører at drenering kan øke frostdybden under veggen, og potensielt gi telefarlige masser med vanntilførsel dypere nede i grunnen tilgang til frost.

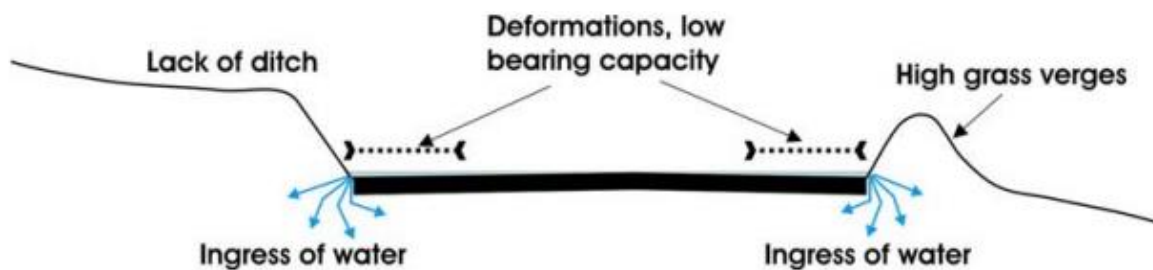
Mengden vann som løftes opp fra undergrunnen er avhengig av kapillariteten, som er summen av poresug og osmose. Osmosekreftene når saltholdig vann fryser til is kommer av at saltmolekylene i vannet samles ved frysefronten og danner en saltholdig veske. Det konsentrerte saltvannet har høyere ionekonsentrasjon enn grunnvannet, og lavere frysepunkt slik at det fungerer som en membran like under islinsene. For å utjevne saltinnholdet under islinsene tiltrekkes vann fra undergrunnen opp til islinsene, men den saltholdige vesken bevarer saltinnholdet gjennom en tilnærmet likevektssituasjon styrt av saltvannets frysepunkt. Damptrykk kan også bidra til å løfte fuktighet oppover i grunnen, noe som fører til kondensering og omgjøring til is (R. D. Lay, 2005).

Ny, upublisert forskning fra Roadex gjennom PEHKO og Aurora-project tyder på at det er klar sammenheng mellom økt nedbrytning av veggen og for sen utskyvning av brøytekanter før varmeperioder på vinteren. Problemet ser ut til å være at frosten i overbygningen fører til et så høyt negativt poretrykk (cryosuction på engelsk) at smeltevannet trekkes inn i

vegen i større grad enn man tidligere har forventet (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21).

Vannet fører til heving av skulder og ytre spor på grunn av telehiv. Når varmen kommer ytterligere og islinsene under det ytre sporet begynner å tine oppstår det en kritisk situasjon med vannmettet bærelag/forsterkningslag rett under det ytre sporet. Vannet fører til en skjærdeformasjon som flytter grusmassene ut i skulderen og dannelsen av torvkanter fremskyndes. Det er fremdeles et spørsmål hvordan torvkanter oppstår i felt, eller hvor mye som kommer av sanding og torv fra grøften, kontra hvor mye som stammer fra skjærdeformasjon (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21).

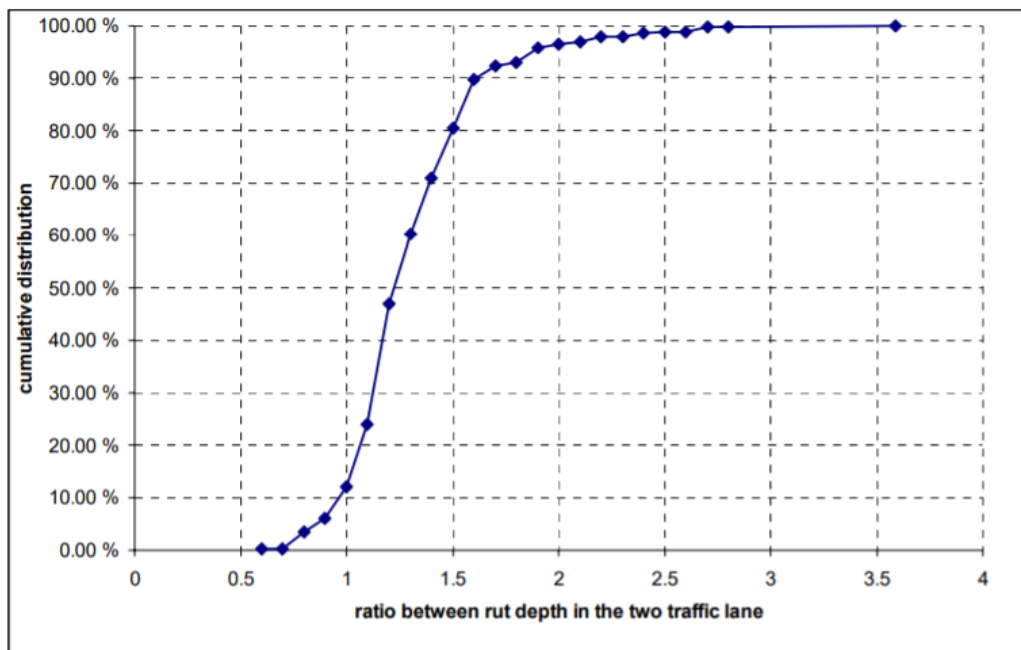
Torvkanter vil gi mye av den samme effekten som for sen fjerning av brøytekanter, men vil i så måte kunne være akselererende siden avrenning fra vegen hindres og ledes inn i skulderen gjennom hele året, se Figur 24. Det ytre sporet har mindre lateral støtte enn midt i vegen, og det antas at ytterligere skjærdeformasjoner og telehiv vil oppstå som følge av torvkanten (Berntsen & Saarenketo, 2005a).



Figur 24 - Effekten av torvkanter og manglende grøft (Berntsen & Saarenketo, 2005a)

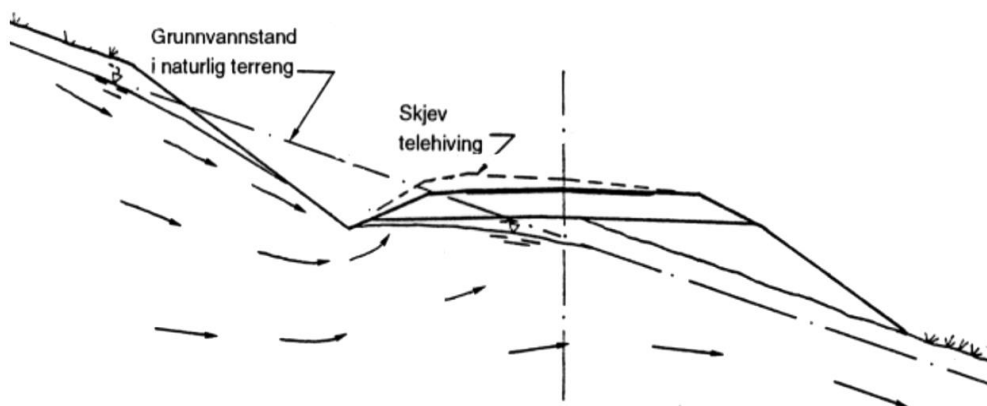
2.5.5 Betydningen av beliggenhet

Vegens beliggenhet i landskapet har generelt stor betydning for levetiden, noe som henger tett sammen med avstanden fra grunnvannsspeilet og evnen til å lede vann vekk fra vegen. Veger som ligger i skjæringer gjennom skrånende terreng har signifikant kortere levetid på kjørefeltet på skjæringssiden kontra fyllingssiden. Gjennom Roadex III ble det kartlagt 184 km veg i skrånende terreng med hensyn på spordybde. I 12 % av tilfellene hadde kjørefeltet på fyllingssiden størst spordybde, mens 19,5 % av kjørefeltene på skjæringssiden hadde et forholdstall større enn 1,5 i forhold til ytterste felt. Det betyr i prinsippet at sporutviklingen i innerste felt tilsa 50 % kortere levetid enn ytterste felt. Resten av datamaterialet (68,5 %) hadde forholdstall mellom 1 og 1,5, se Figur 24. For IRI var ikke resultatene like signifikante, men de innerste feltene var tydelig verre enn de ytterste feltene (Aho & Saarenketo, 2006).



Figur 25 - Spordybdeforhold (Skjæringsside/fyllingsside) (Aho & Saarenketo, 2006).

Skrånende terreng gir også utfordringer om vinteren, som beskrevet av Nordal (1996) med hensyn på telehivutvikling. Det ytre kjørefeltet ligger på en fylling som gjerne har bedre materialer enn undergrunnen, og kan dermed være både drenert og ha mindre frostsensitive masser enn det innerste kjørefeltet. For det innerste kjørefeltet er avstanden til grunnvannet mye kortere enn for det ytterste feltet, noe som har stor betydningen for vanntilførselene til frysefronten, se Figur 26.

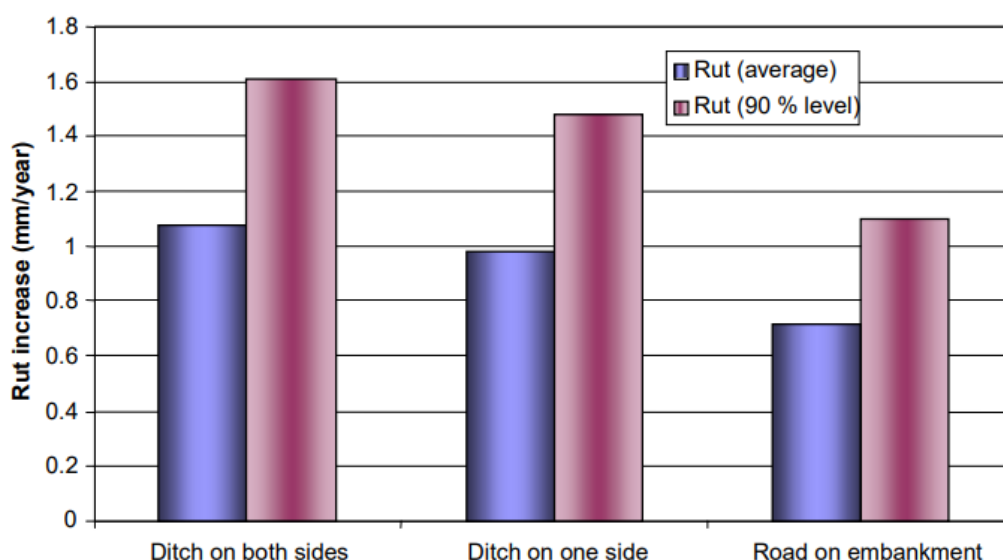


Figur 26 - Skrånende terreng og GV-strøm (Nordal, 1996).

Lavbrekk i områder hvor vannansamlinger ikke har noe naturlig dreneringsveg er også en vanlig problematikk. Vannet må infiltreres i bakken eller fordampes, og dersom klimaet i området tillater det vil høy grunnvannstand typisk føre til myr og fuktig vegetasjon nært vegen. Ved mye regn eller snøsmelting vil det raskt oppstå en relativt langvarig flomsituasjon inntil vannet har fordampet og/eller infiltrert bakken. I denne perioden vil vanninnholdet i vegen og undergrunnen øke betraktelig og skadeutviklingen vil akselerere deretter (Aho & Saarenketo, 2006).

Veger som strekker seg gjennom lange flate områder med minimal forskjell i høydeprofil vil også gi utfordringer med å lede vannet vekk. Spesielt problematisk er vårflokk når bakken fremdeles er impermeabel av frost. Avhengig av permeabiliteten på undergrunnen kan tunge regnfall gi tilsvarende problemer, og resultatet er midlertidige høyere grunnvannstand (Aho & Saarenketo, 2006)

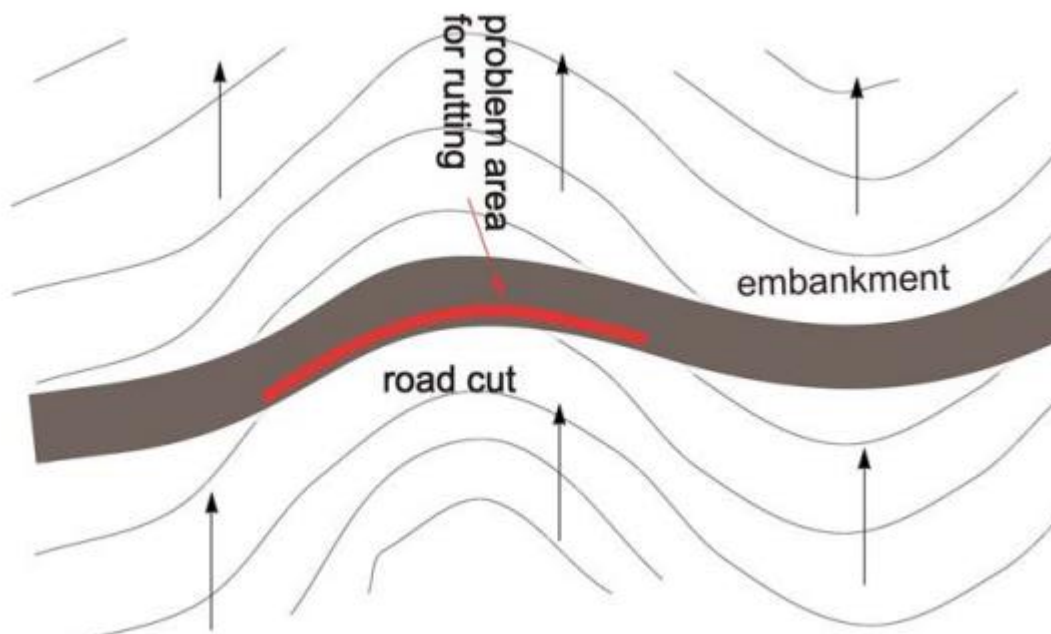
Figur 27 viser resultater fra 155 km med veg kartlagt av Berntsen og Saarenketo (2005a). De tok tverrsnittet hver 500 m og brukte sporutviklingen 100 m i begge retninger fra der tverrsnittet ble registrert.



Figur 27 - Sporutvikling med hensyn på tverrsnitt (Berntsen & Saarenketo, 2006).

Berntsen og Saarenketos resultater viser at områdene som lå på fylling hadde ca. 20 års levetid, dersom kravet er 25 mm og spordybden var 3 mm etter etterkompaktering av nylagt asfalt. Områder som lå i skrånende terreng hadde ca. 14,7 år i levetid, og kortest funksjonell levetid ble funnet i skjæringer (grøfter på begge sider) med ca. 13,7 år levetid.

I skrånende terreng kan også fast fjell under vegen føre til opphopning av grunnvann dersom denne ikke er tilstrekkelig sprengt ut under utbygging. Dreneringsproblemer er som regel summen av mange faktorer. Horisontalkurvaturen kan også bidra til økte deformasjoner på grunn av høyt fuktinnhold. Spesielt gjelder det når en innerkurve plasseres i skjæring i skrånende terreng, se Figur 28. I innerkurver er sporene mer konsentrerte som medfører større belastning, i tillegg er ofte overbygningen på sitt tynneste i innerkurve. I sum fører det til en kritisk situasjon med rask sporutvikling, og problemet illustreres i Figur 28 med innerkurven på det mest ugunstige punktet (Berntsen & Saarenketo, 2005a).



Figur 28 - Innerkurve i skjæring (Berntsen & Saarenketo, 2006).

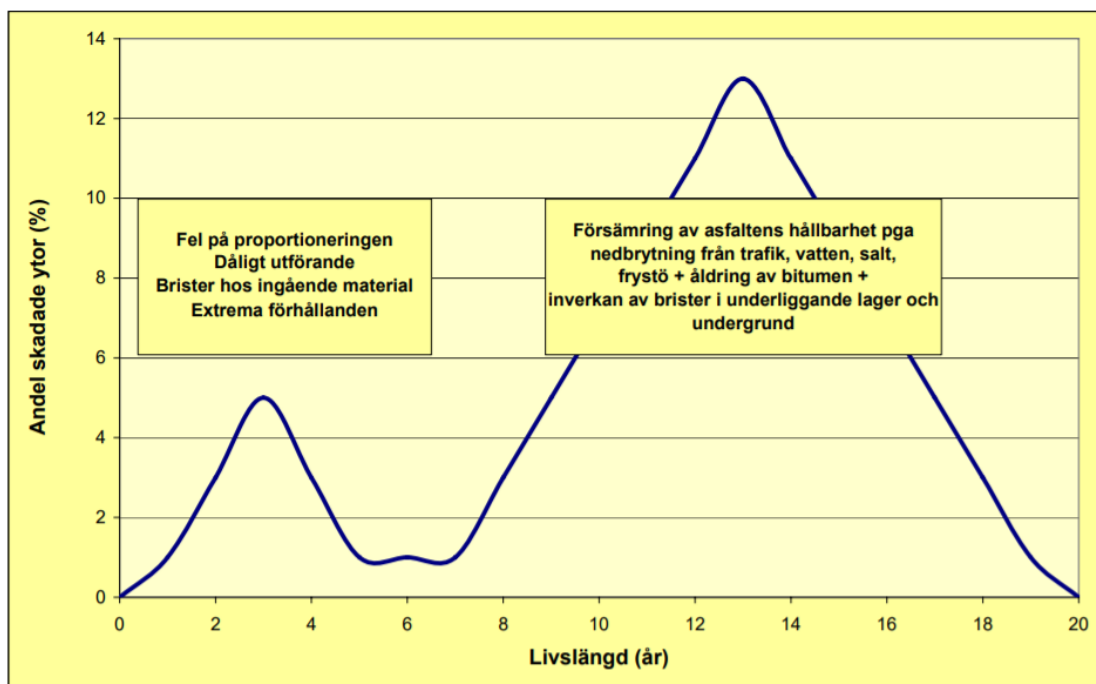
2.6 Vann- og bæreevnerelaterte skader på vegen

Som tidligere vist vil en økning i vanninnhold redusere styrke og stivhet i granulære lag i overbygningen og undergrunnen. Vann er også en av tre nødvendige komponenter for å danne telehiv, og reduserer skråningsstabilitet i skjæringer og vegfyllinger på grunn av redusert skjærstyrke og dermed bæreevne.

Skader i vegdekket som følge av vann- og bæreevnerelaterte skademekanismer kan forenklet deles inn i to hovedmekanismer; Umiddelbare skader som følge av vannmettet tilstand øverst i vegen, og langsomt utviklede bæreevnerelaterte skader som følge av redusert E-modul på grunn av høyere vanninnhold i granulære lag og undergrunnen.

Ubehandlet skadeutvikling følger ofte denne rekkefølgen: Sporutvikling → Sprekkedannelse → Ytterligere setninger i granulære lag → Krakelering = Ytterligere akselerasjon.

Lerfald og Hoff (2007) gjorde en state of the art-studie for Statens vegvesen, med fokus på klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer. I den forbindelse kom Figur 29 frem fra VTI, hvor en prinsipiell skadeutvikling for asfaltdekker illustreres. Fra figuren kan en lese at korrekt utførte asfaltdekker under normale forhold vil ha svært liten skadeutvikling inntil 7-8 år inn i levetiden. I perioden før vil en typisk kunne finne noe skadeutvikling som følge av dårlig utført arbeid og ekstreme ytre forhold.



Figur 29 - Prinsippskisse av skadeutvikling for asfaltdekker. Hentet fra Lerfald og Hoff (2007) som refererer til VTI (2004).

2.6.1 Spor og permanente deformasjoner

I Norge bruker vi store deler av asfaltbudsjettet for å bøte på dype spor som passerer 20 mm – 25 mm avhengig av ÅDT. Dype spor har stor påvirkning på trafiksikkerheten fordi det kan føre til vannplaning og ujevne forhold over tverrprofilen som kan lede til uventet reaksjon mellom bil og veg. Tidligere har vi tillagt mye av sporutviklingen på piggdekkslitasje, men i senere år har en vesentlig mindre piggdekkandel og bedre slitestyrke avdekket at sporutviklingen i stor grad også skyldes deformasjoner i overbygningen (Statens vegvesen, 2015).

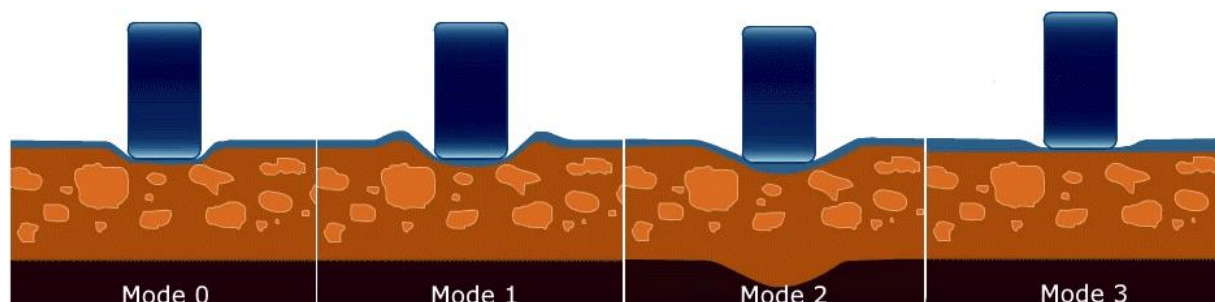
Spordannelser er langsgående fordypninger i hjulbanen på vegdekket, som ofte opptrer sammen med forhøyninger på begge sider av sporet som følge av skjærdeformasjoner. De kan deles inn i 3 forskjellige hovedtyper (Aurstad, 2016; M. G. Lay, 2009), som vist i Tabell 5.

Tabell 5 - 3 hovedtyper spordannelser

Slitasje	Etterkompaktering	Materiell/strukturell svikt
<ul style="list-style-type: none">• Piggdekkslitasje• Konsentrert trafikklast	<ul style="list-style-type: none">• Trafikkindusert sammentrykking av ett eller flere lag• Feil kompaktering• Lav innspenning• Høyt fuktinnhold• Konsentrert trafikklast	<ul style="list-style-type: none">• Skjærdeformasjoner pga. høyt fuktinnhold• Overlast• Konsentrert trafikklast, spesielt saktegående tungtrafikk.• Høy dekketemperatur senker asfaltstivhet• Interpartikulær nedknusing av stein i granulære lag• For dårlig massekvalitet• Plastisk deformasjon

Dawson og Kolisoja (2004) deler permanente deformasjoner inn i 4 moduser basert på opptredende skademekanisme, se Figur 30.

Mode 0 kommer av etterkompaktering av asfalt og granulære lag, og opptrer som regel gjennom relativt konsentrerte spor. Mode 0 er selvstabiliserende, med det menes at kompakteringen vil fortsette til materialet har oppnådd nok styrke gjennom komprimering.



Figur 30 - 4 forskjellige moduser for sporutvikling. Redigert fra Roadex.org

Mode 1 er plastiske deformasjoner hvor den påførte normalkraften overstiger motstanden mot deformasjon og fører til skjærdeformasjoner rundt sporet. Denne modusen er typisk for kalde områder i teleløsningen hvor materialet opplever økt vanninnhold og redusert skjærstyrke. Lav innspanning i vegkanten kan bidra til å øke lateral forskyvning av masser, og dermed øke effekten og dybden i sporet (M. G. Lay, 2009).

Mode 2 beskriver i prinsippet at overbygningen ikke gir tilstrekkelig beskyttelse for undergrunnen, og kan skyldes økt trafikal belastning over tid og redusert styrke i våte perioder. Mode 2 materialiserer seg som en bred forsenkning i undergrunnen i området under sporet.

Mode 3 er optimal sporutvikling for en levedyktig overbygning. Lagene over undergrunnen håndterer og fordeler belastningen slik at sporutvikling utelukkende foregår i slitelaget. I praktisk forstand vil mode 3 i hovedsak være piggdekkslitasje. Det er imidlertid sjeldent at en kan observere modusene så definert som i Figur 30, og som regel vil en finne en kombinasjon av de fire tilfellene ute på vegen (Dawson & Kolisoja, 2004).

2.6.2 Ujevnheter

Der spordannelser utvikles som følge av konsentrerte hjullaster i samme bane, oppstår ujevnheter som regel av ujevne telehiv, setninger, etterkomprimering eller skjærdeformasjoner i materialene (Statens vegvesen, 1996). Generelt er det slik at ujevnheter utvikles senere i levetiden enn spor, og sees ofte i sammenheng med lokalt forhøyet vanninnhold og i forlengelsen utilstrekkelig drenering (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21).

M. G. Lay (2009) deler skademekanismene for ujevnheter, eller roughness som det ofte omtales som i engelsk litteratur, inn i 5 forskjellige mekanismer som i større eller mindre grad kan forårsake ujevnheter i lengdeprofilen. Kort oppsummert deles mekanismene inn i iboende egenskaper, trafikk, miljø, alder og overbygningsfaktorer.

Iboende egenskaper i vegen kan i Norge typisk være områder hvor det ikke er god nok overgang mellom fylling og bergskjæring, og at strekningen blir utsatt for ujevne telehiv siden bergskjæringen ligger stadig mens fyllingen kan heves av telehiv. I senere år er det blitt større fokus på utkiling av masser for å skape jevne eller akseptable telehiv. Det kan også skyldes uheldig istandsetting etter gravearbeider som for eksempel utskifting av stikkrenne.

Trafikkfaktorer er generelt andelen tyngre kjøretøy og akselsammensetninger som er i stand til å forårsake permanente deformasjoner, men kan også skyldes overbygningens reaksjon på normale trafikkpåkjenninger. Et interessant poeng er at ujevnheter ofte er selvforsterkende fenomener på grunn av vaskebretteffekten som forårsakes av de dynamiske kreftene i hjulopphengene når kjøretøyet passerer en eksisterende ujevnheter. Dersom ujevnheten er dyp eller høy nok vil fjæra i hjulopphengene ta opp mye av kreftene i slaget slik at hjulet løftes opp av ujevnheten i fart, og vil deretter påføre asfalten noe av kreftene i retur i området rett bak ujevnheten. På samme måte som korrugeringer (vaskebrett) oppstår i grusdekker.

Miljøfaktorer er ytre faktorer som for eksempel klima, og spesielt mengden nedbør og frost. I tillegg vil tilfeldige forskjeller i lengdeprofilen føre til at overbygningen reagerer forskjellig på vanntilsig, og ikke minst vil lokale variasjoner i vanntilsig kunne føre til ujevne telehiv. Et annet moment i samme sjanger er områder med iskjøving som kan føre til ujevn heving av overbygningen. Iskjøving er generelt et tegn på stort tilsig av vann, og opptrer som regel i skjæringer hvor skjærmede grunnvannstrømmer strømmer ut i dagen. Miljøfaktorer oppgis å stå for ca. halvparten av ujevnheterne på en godt driftet veg.

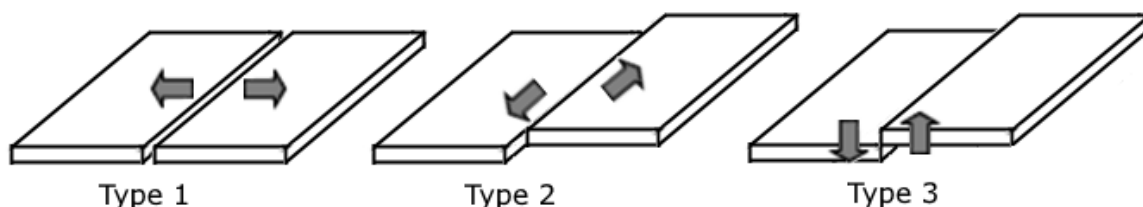
Alder spiller inn for all nedbrytning av veger, uavhengig av trafikkpåkjenninger. Med alder kommer også tap av bindemiddelets viskoelastisitet noe som medfører sprekker og større tilgang på vann over tid. I samme sjanger kan overbygningsfaktorer listes opp. Ved store spordybder, slag hull og lapping vil en kunne se akselerert utvikling av ujevnheter.

Kantdeformasjoner er også et vanlig problem på smale veger hvor trafikken påfører last helt ute på skulderkanten. Redusert bæreevne som følge av mindre lateral innspenning og/eller høyere vanninnhold nært grøften kan føre til ujevnheter og setninger som strekker seg utover i både lengde- og tverrprofilen (Statens vegvesen, 1996).

2.6.3 Sprekker

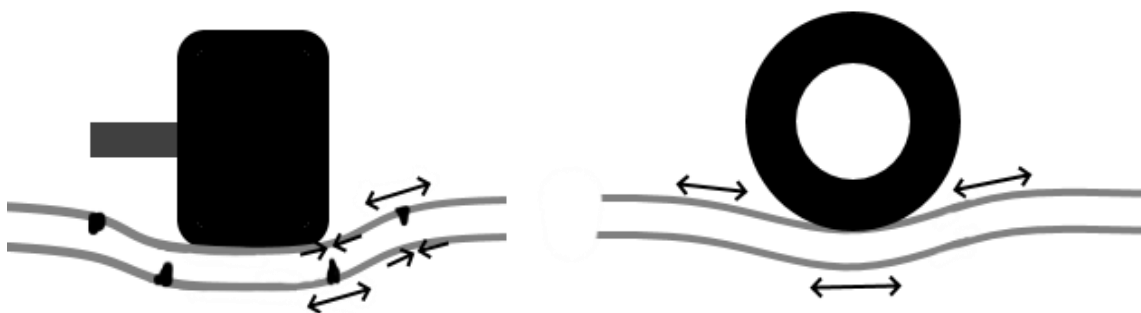
Fra et sprekke mekanisk synspunkt deles sprekker opp i tre typer basert på hvordan de utvikler seg (Alshandah, Huang, Lu & Tolliver, 2018; M. G. Lay, 2009):

- Type 1 sprekker åpnes som følge av strekkspenninger i planet
- Type 2 sprekker er skjærsprekker i planet (glidning)
- Type 3 sprekker er skjærsprekker ut av planet



Figur 31 - Generelle sprekketyper

I Norge skilles gjerne sprekker på orientering langs vegen, og en grov inndeling på om de er klima- eller trafikkinduserte. Trafikkinduserte sprekker kan illustreres gjennom opptredende spenninger i Figur 32. Trykkspenning bidrar til sporutvikling, mens strekkspenning over tid vil føre til sprekke dannelse.

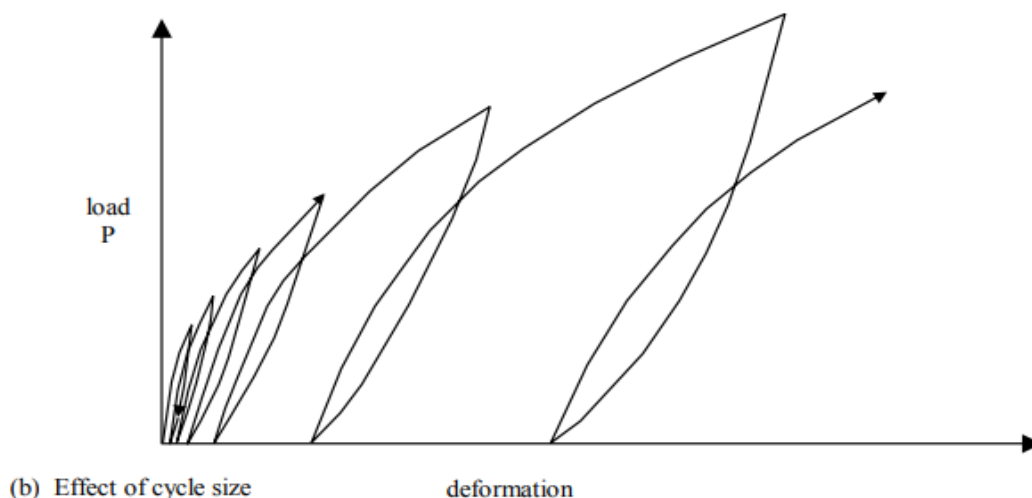
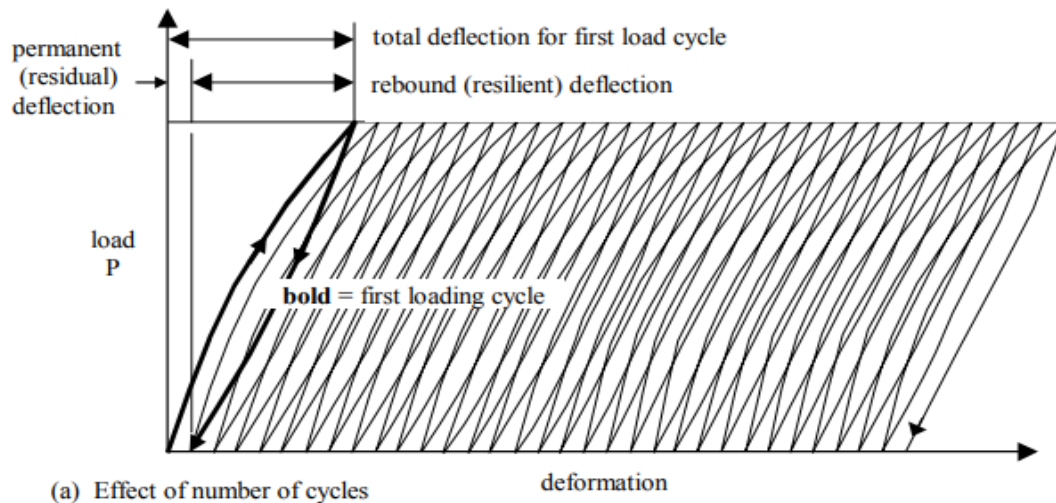


Figur 32 - Eksempel på spenninger i et asfaltdekke under hjullast som forårsaker type 1 utmattingssprekker og type 2 utglidning i plan.

Langsgående sprekker

Langsgående sprekker kan typisk være telesprekker på høyryggen mellom spor (type 1), langsgående åpne asfaltkjøter (type 2) og åpne sprekker som følge av forskjellige setninger etter en dårlig utført breddeutvidelse (type 1). I tillegg kommer utmattingssprekker (type 1) som forklares nærmere i avsnittet under. Sprekker som oppstår nær kanten refereres ofte til som kantsprekker på grunn av årsaksforhold som korrelerer med lavere innspenning og mulig vanninntrengning.

Utmattingssprekker oppstår som følge av gjentagende dynamisk belastning som over tid fører til sprekke dannelse i områder med strekkspenning. Hver enkelt belastning er mindre enn dekkets strekkstyrke, men alle belastninger over en viss terskelverdi gir en liten økning i permanent strekkspenning i undergrunn og/eller overbygning. Den permanente skaden fra hver enkelt aksel over terskelverdien akkumuleres med antall passeringer, og jo høyere belastningen er over terskelverdien jo større blir deformasjonen, se Figur 33. Det fører over tid til at den akkumulerte strekkbelastningen overstiger dekkets strekkstyrke og utmattingsprekker oppstår, mens kompresjonsbelastningen fører til økt spordybde (Canestrari & Ingrassia, 2020; M. G. Lay, 2009).



Figur 33 – Eksempel på syklisk belastning av et asfaltdekke (M. G. Lay, 2009).

Utmattingssprekker kan oppstå i ytterkant av ringtrykket, i underkant av asfaltlagene eller i grensen mellom ulike asfaltlag. For tynne asfaltlag vil ringtrykket ha stor betydning, mens for tykkere asfaltlag vil aksellast og hjulkonfigurasjon ha større påvirkning (Aurstad, 2016). I en tidlig fase vil utmattingssprekker typisk være langsgående sprekker langs et konsentrert spor, og det vil videre gjennom akselerert nedbrytning oppstå sprekker på tvers mellom de langsgående sprekke. Økt vanninntrengning og nedsatt styrke i overbygningen vil videre akselerere utviklingen av det rutete krakelerings-mønsteret, og økt strekkspenning i vegdekket kan åpne flere langsgående sprekker. Dersom sprekke oppstår i ytterste hjulspor kan lav innspenning og infiltrasjon gjennom vegskulder være påvirkende faktorer (Aurstad, 2016; Canestrari & Ingrassia, 2020).

Sprekker kan reflekteres oppover og nedover i overbygningen avhengig hvor sprekke utvikler seg. Ved svakheter dypt nede i overbygningen kan sprekke oppstå i underkant av bituminøse bærelag og føre til en styrkereduksjon som øker utbredelsen av sprekke før den til slutt når overflaten. Sistnevnte er et typisk eksempel dersom det legges nytt slitelag over et bindelag/bærelag med utmattingssprekker. På samme måte kan overflatesprekker reflekteres nedover i overbygningen (såkalt top-down cracking) (Canestrari & Ingrassia, 2020).

Top-down cracking oppstår gjerne på grunn av for dårlig kontakt mellom slitelaget og underliggende lag, som bidrar til å skape høye konsentrerte spenninger i slitelaget. Det kan også skyldes rask aldring av bindemiddelet i slitelaget, og kantskader på smale veger (M. G. Lay, 2009).

Tversgående sprekker

Enkeltstående tversgående sprekker (ikke krakelering) er som regel klimainduserte sprekker. Lavtemperatursprekker oppstår som følge av at asfalten trekker seg sammen i sterk kulde, og sammentrekningen overstiger strekkstyrken i bindemiddelet. Asfalten har størst potensial til å trekke seg sammen på langs, og derfor opptrer disse sprekke gjerne med jevn avstand langsetter vegen. Et aldret asfaltdekke hvor bindemiddelet har reduserte visko-elastiske egenskaper vil ha større sannsynlighet for opptredende telesprekker. Tversgående sprekker er også vanlig å finne over stikkrenner/kulverter og i områder med telebevegelser (Aurstad, 2016).

Krakelering

Krakelering er et sammenflettet mønster av sprekker som ofte sammenlignes med krokodilleskinn og andre like mønster (engelsk: alligator-, block-, chicken wire-, crazing-, crocodile-, fishnet- eller map cracking). Krakelering oppstår som regel i etterkant av langsgående utmattingssprekker, og virker akselererende på skadeutviklingen gjennom ytterligere nedsatt bæreevne og vanninntrengning (Aurstad, 2016).

Årsakene til krakelering kan være mange, men mønsteret gir vanligvis en god indikasjon på hvor i overbygningen problemet ligger. Store ruter (sidelengde 30 – 50 cm) kommer vanligvis av kritiske påkjenninger dypt nede, mens jo mindre rutemønsteret er, jo høyere opp ligger problemet. Ofte vil problemet skyldes et dårlig bærelag, men det kan også være for liten overbygningstykkelse, utmatting, aldring og uttørking. Overlast og lave temperaturer kan i ekstreme tilfeller også gi krakeleringsmønster (Aurstad, 2016; M. G. Lay, 2009).

Det kan være utfordrende å bestemme hvor kritiske påkjenninger oppstår dersom vegdekket har flere generasjoner av krakeleringer. Problemet kan for eksempel oppstå

nede i konstruksjonen og danne store ruter, men over tid vil nedsatt allmenntilstand, på grunn av vanninntrengning, påføre bærelaget kritiske påkjenninger og dermed skape mindre ruter (Statens vegvesen, 1996).

2.6.4 Slaghull og separasjon

Slaghull har navnet sitt fra lyden som oppstår når et dekk kjører over det, og rammer ofte som siste ledd av oppsprekking og krakelering. I slike tilfeller vil gjerne erosjon av granulære lag eller poretrykk i et vannmettet lag under asfalten føre til slaghull (M. G. Lay, 2009). I ekstreme tilfeller kan slaghull oppstå i vårløsningen dersom det dannes et vannmettet lag i toppen innrammet av fryste impermeable lag (E. Simonsen & Isacsson, 1999).

Det kan imidlertid også oppstå på bakgrunn av isolerte skader, og vil ofte da ha en sammenheng med manglende kvalitet i utførelsen. Dårlig vedheft/klebing, inhomogent dekke, separasjon, dårlige skjøter, for lav temperatur ved utlegging og tykkelsesvariasjoner i dekket kan alle bidra til slaghull (Aurstad, 2016; Statens vegvesen, 1996).

2.6.5 Kantskader

Kantsvikt kan grovt deles inn deformasjoner og hevelse. Hevelse kan forårsakes av svelleleire i undergrunnen hvor vannet ikke trenger inn mot midten av vegen, og dermed løfter vegkanten over en lengre strekning (M. G. Lay, 2009). Deformasjoner kan oppstå som følge av en rekke faktorer og årsaker.

Kantskader kan ifølge Aurstad (2016) deles inn i tre hovedårsaker; Skader som følge av geometriske årsaker som for smal skulder og/eller for bratt grøfteskråning. Skader som skyldes økt vanninnhold eller høyere grunnvannstand på skjæringssiden i skrånninger, og skader som skyldes dårlig utførte breddeutvidelser slik at de ytre delene av tverrprofilet har dårligere fundament.

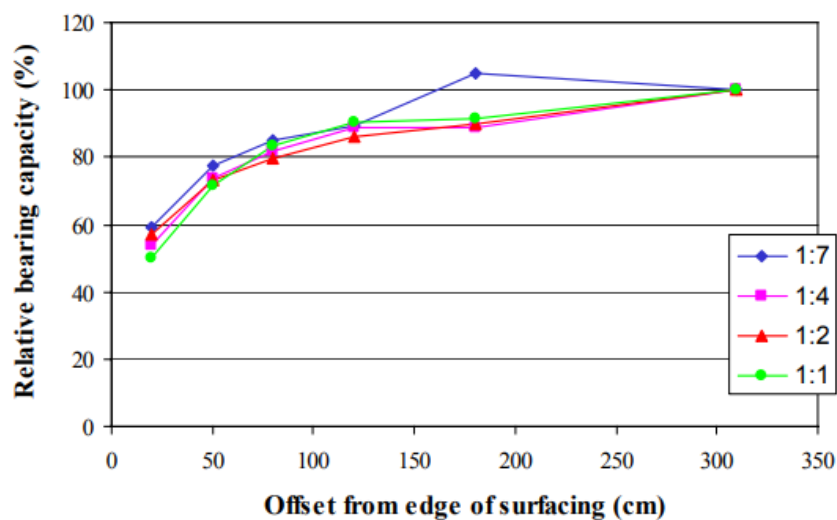
Tungtrafikk på smale veger er et typisk eksempel hvor vegkanten belastes over evne, og over tid vil deformeres plastisk. Dersom kanten har høyere fuktighet vil skadeutviklingen gå enda hurtigere. En annen skadeårsak som nevnes av M. G. Lay (2009) er erosjon langs asfaltkanten som fører til undergravning og mindre understøtte. Det kan komme av stor grad av avrenning fra vegdekket, men også som følge av langsgående vannstrømmer som på grunn av torvkant hindres avrenning til grøft. Slike tilfeller kalles gjerne «lurvekant» og kan i tillegg til nevnte årsaker forårsakes av at det er blitt asfaltert langt ut på en ustabil skråningskant for å utnytte bredden så mye som mulig (Statens vegvesen, 1996).



Figur 34 - Deformert skulder som følge av smal veg (Foto: Roadex.org)

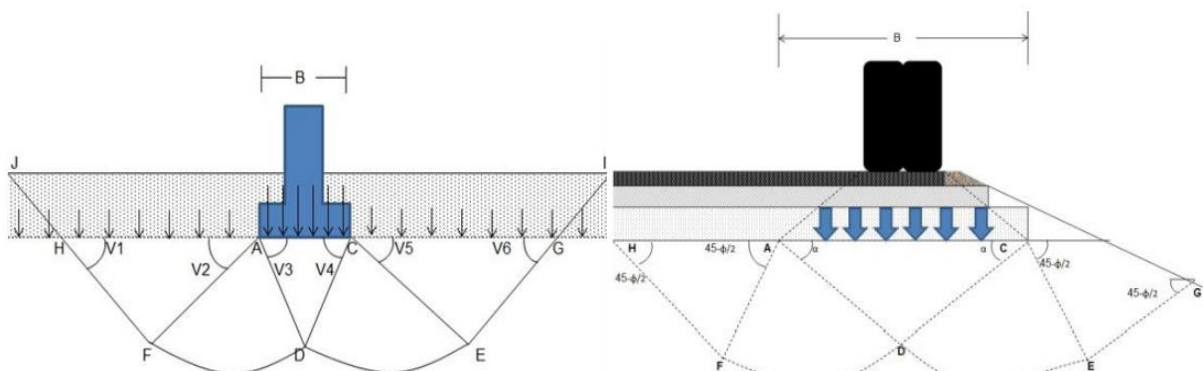
2.7 Grøftegeometriens innflytelse på bæreevne

Skulderbredde defineres som bredden fra midten av kantlinja og til skulderkanten, mens skulderen er den delen av vegen som ligger utenfor kantlinjen. Vegens bæreevne avtar ut mot kanten, og lavere bæreevne kan observeres så langt som inntil 1 m fra skulderkanten mot senterlinjen. Aksnes (2002) fant gjennom forsøk med platebelastning at permanent deformasjon 0,5 m fra kanten etter to lastpåkjenninger var mellom 45 % til 59 % av deformasjonen 0,2 m fra kanten. På en distanse 0,8 m fra kanten var permanent deformasjon mellom 24 % til 50 % avhengig av vinkelen på grøfteskråningen. Generelt fant han at bæreevnen 0,5 m fra skulderkanten var redusert med ca. 40 % til 50% på undersøkte veger i Sør-Trøndelag, se Figur 35. Resultatene viste at bæreevnen i testområdet ble lite påvirket av forskjellig grøfteskråningsvinkel helt ned til 1:1. Skulderbredde hadde større innflytelse, og han anbefalte derfor at skulderbredde bør være minimum 0,75 – 1,0 m for å unngå premature kantskader på nye veger.



Figur 35 - Relativ bæreevne i forhold til senter av veg på teststrekning i Trøndelag (Aksnes, 2002).

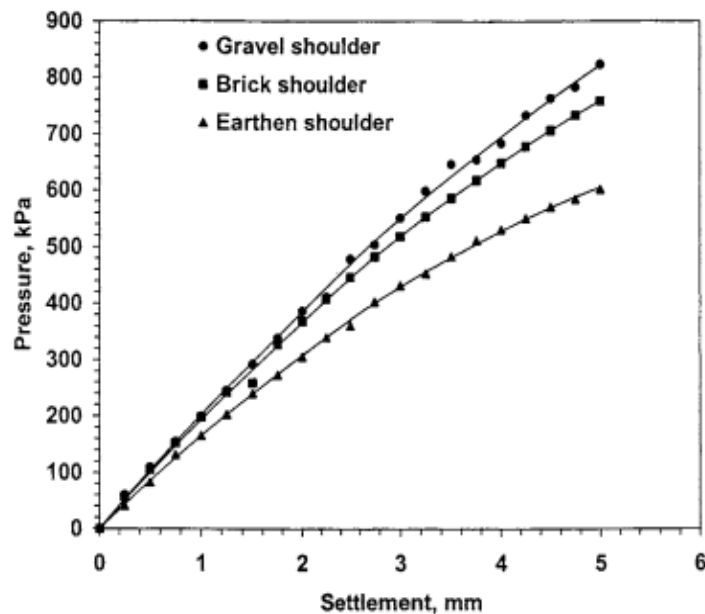
Granlund, Petterson og Jansen (2012) modifiserte Terzaghi (1943) sin teoretiske modell for å beregne bæreevnen for grunne fundament. Problemet med Terzaghis modell er at den er laget for et plan, og dermed ikke er direkte overførbar til å beregne bæreevne ut mot vegkanten hvor mindre innspenning gir svakere fundament, se Figur 36.



Figur 36 - Terzaghis modell til venstre og Granlunds tilpasning til høyre (Granlund, 2012).

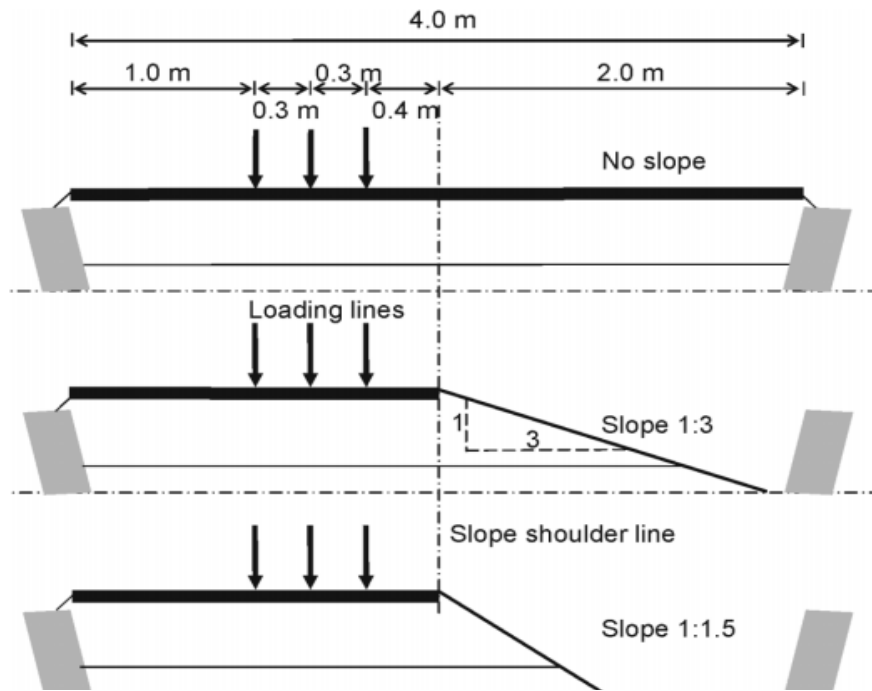
Granlund et al. (2012) skriver i tråd med Aksnes (2002) at bæreevnen ut mot vegkanten kan være ned mot 45 % svakere enn senterlinjen, og at tradisjonell vegutforming i for liten grad har tatt hensyn til utfordringen. En reduksjonsfaktor for bæreevne tar hensyn til dette, og bruker skulderbredde, grøfteskråning og grøftedybde i utregningen. Han påpekte at den viktigste parameteren er fallet på grøfteskråningen, som har multipliserende effekt på reduksjonsfaktoren i beregningen. Det henger sammen med den laterale innspenningen som grøfteskråningen bidrar med.

Valg av skulderbredde og material har innflytelse på dekkets bæreevne ut mot kanten. Økning fra 0,3 m til 1,2 m skulderbredde gir i snitt 24 % økning i bæreevne, og doubling i lateral innspenning. En skulderbredde på 0,9 m ser ut til å gi tilstrekkelig strukturell støtte til vegdekket, og gir også tilsynelatende større nytte enn en skulder på 1,2 m hvis man ser på økningen i innspenning i intervaller på 0,3 m økning fra 0,3 m til 1,2 m. Vegdekker med 1,2 m grusskulder har 31 % bedre lastfordelende evne enn en jordskulder på 1,2 m, som vist i figur 5 (Chandra, Mehndiratta & Chennapragada, 2006).



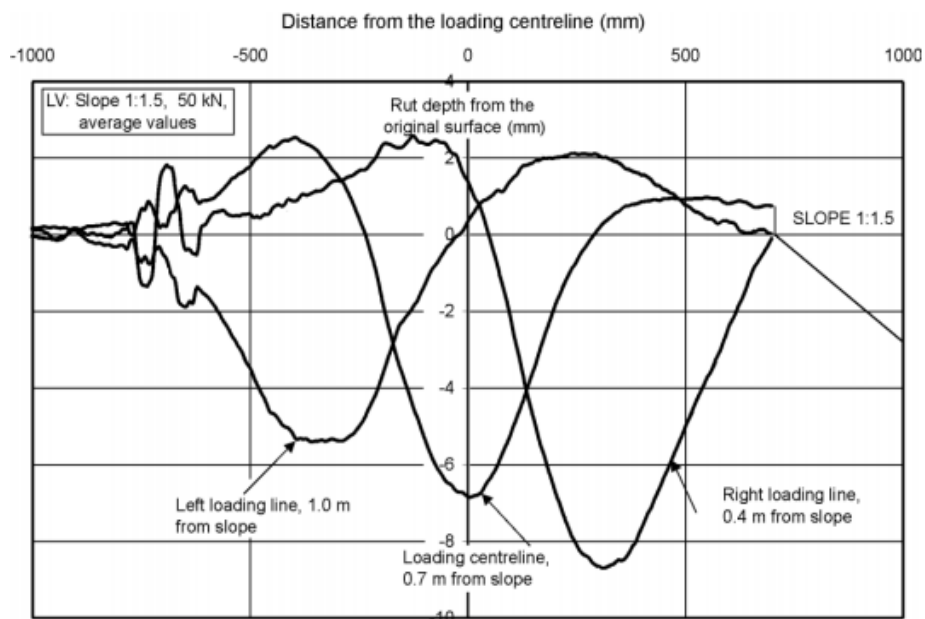
Figur 37 - Lastfordelende evne ved 1,2 m skulder (Chandra et al., 2006).

En annen faktor som har stor innflytelse er kjørebanebredde, eller mer spesifikt, avstanden fra ytre hjulspor til skulderkant (topp av grøfteskråning). Dawson og Korkiala-Tanttu (2008) utførte forsøk på tre forskjellige grøfteskråninger, i tillegg til tre forskjellige distanser fra skråningskanten, se Figur 38. Strekningene ble belastet fra 30 kN til 50 kN med tre forskjellige grunnvannsnivå, og av resultatene kunne de avlede en geometrisk faktor som de kalte GEOM-faktor.



Figur 38 - Skisse av forsøk med forskjellige skråninger (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).

Ved 50 kN belastning ble tre spor testet fra 1,0 m til 0,4 m med 30 cm differanse for hver måling. Sporet som var 0,4 m fra skråningskanten hadde i gjennomsnitt 60 % dypere spordybde enn sporet som var 1,0 m unna, se Figur 39. Denne sammenhengen var i sammenlignbar for 1:1,5 og 1:3, men ikke for målingen uten skråning som er logisk siden den laterale støtten er total for seksjonen uten skråning.



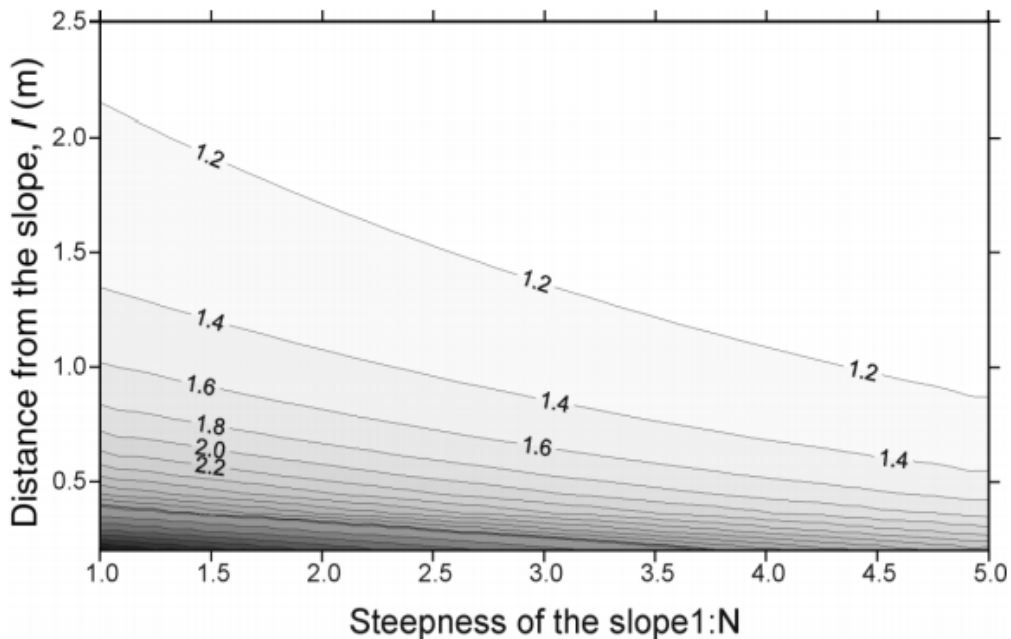
Figur 39 - Sporutvikling ved 50 kN belastning, 600 sykluser og forskjellig distanse fra kant (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).

GEOM-faktoren gir en akseptabel tilnærming til spordannelsen in situ, og gir en pragmatisk tilnærming til sporutvikling fordi den neglisjerer belastningen fordi den er avledet fra resultater med forskjellige belastninger. Ifølge forfatterne fører det til at den overvurderer spordannelsen ved 30 kN belastning, men gjør seg godt gjeldende for belastning mellom 40-50 kN. GEOM-faktoren er inkludert i PAVEDEF-programmet i Finland, som kalkulerer permanente deformasjoner i ubundne lag (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).

Formel 2

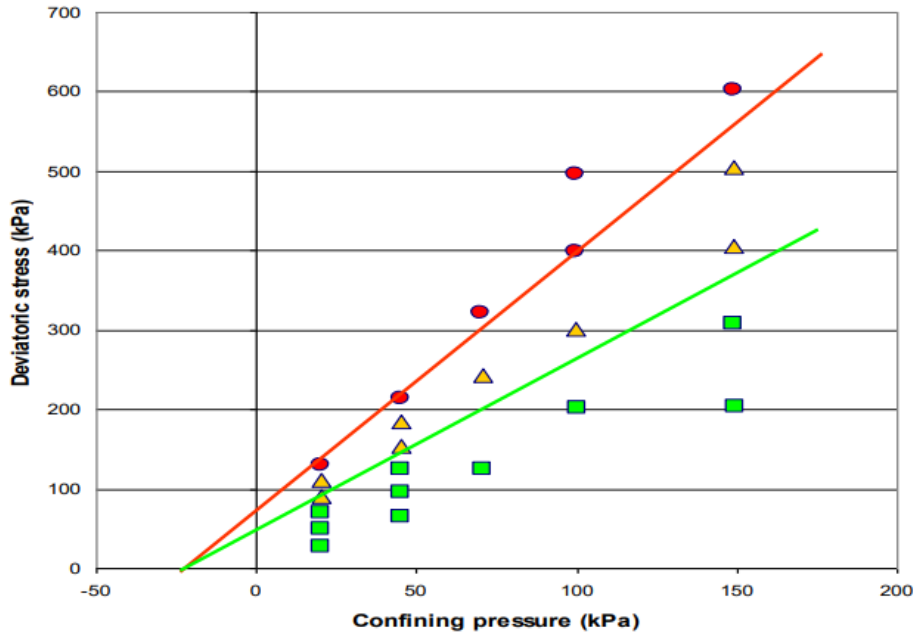
$$GEOM = 1 + \frac{0,86}{l^{1,454} \cdot 2,7^{\frac{N}{3}}}$$

Hvor *l* er distansen fra lastpåkjenningen fra sentrum av spor til grøftkant, mens *N* er horisontal lengde på skråning når vertikal dybde er 1. Altså 1:N. I Figur 40 er GEOM-faktoren gjengitt som en funksjon av *l* og *N*. Hvis vi legger til grunn 1 m fra midten av spor til grøftkant som et eksempel på norske forhold, vil faktoren være 1,44 for 1:2 og 1,29 for 1:3. Ved 0,75 m fra skråningskant vil 1:2 gi 1,67 i GEOM-faktor, mens 1:3 gir 1,45.



Figur 40 – GEOM-faktoren som en funksjon av skråning og distanse fra kant (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).

Ubundne materialer vil utvikle trafikkinduserte permanente deformasjoner dersom spenningene overskrider visse grenseverdier. I Figur 41 er det tegnet inn grenser for et pukkmateriale gjennom treaks-forsøk. Aksene er sidetrykk (confining pressure) og skjærspenning (deviatoric stress), og viser en klar sammenheng mellom lav innspenning og lav motstand mot deformasjon. Den grønne linjen representerer elastisk sone, og belastning i dette området vil gi minimale permanente deformasjoner. Den røde linjen er bruddsonen og som en kan se vil økt belastning over elastisk sone gi økte permanente deformasjoner, som tidligere vist i Figur 33. På bakgrunn av dette er det mulig å anta at vegger med smale skuldre og bratte grøfteskråninger kan bidra til økt spordannelse og deformasjoner (Statens vegvesen, 2015).



Figur 41 - Eksempel fra treaks-forsøk på pukke med inntegnede grenser for elastisk- og bruddsone (Statens vegvesen, 2015).

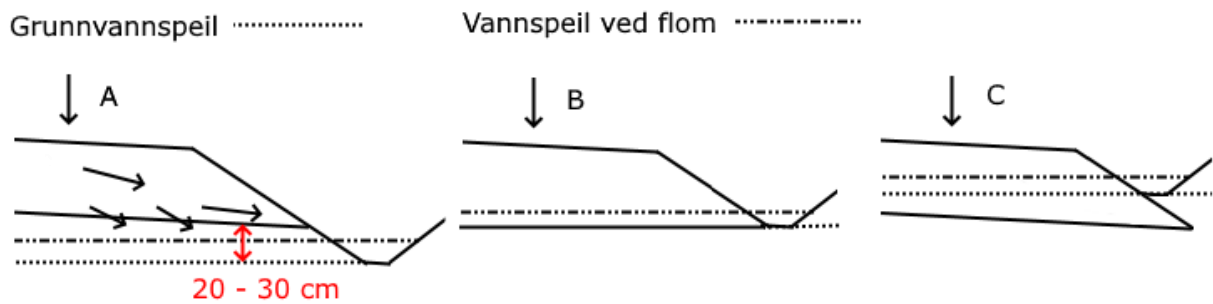
I N200 presiseres det at kjørebane og vegskulder bør ha samme lagtykkelser og materialer for å unngå setninger. Overbygningen bør bygges opp med skråningshelning på de enkelte lag som ikke er brattere enn 1:2, og at utslaking av innerskråningen kan gjøres med stedlige masser (Statens vegvesen, 2018).

2.7.1 Grøftedybde

Hvor dyp grøften må være for å gi tilstrekkelig drenering for vegkroppen er det, ifølge Gurganus, Scullion, Gharaibeh, Ravipati og Neupane (2019), forsket for lite på. Tilstrekkelig drenering kan være veldig forskjellig basert på kvaliteten på massene i overbygningen, men også i stor grad av undergrunnen og lokal høyde på grunnvannsspeil.

I Norge er kravet på nye veger at grøftebunnen må være minimum 35 cm under forsterkningslaget, se kap. 2.3. Graveprøver utført av Statens vegvesen tyder på at mange av de eldre og lavtrafikkerte vegene ofte ligger mellom 0,5 – 0,7 m i overbygningstykkelse (Per Otto Aursand, personlig kommunikasjon, 04.05.21). Matintupa og Saarenketo (2012) forsket på sammenhenger mellom grøftedybde og sporutvikling/bæreevne gjennom Roadex IV, og konkluderte med at dybden på grøften er tilstrekkelig dersom den er 20 – 30 cm under overbygningen, se Figur 42.

Grunnen til at bunnen på grøften må være under bunnen av overbygningen er fordi vann skal dreneres ut i grøften og følgelig senke fuktighetsnivået i de granulære lagene og undergrunnen som er over grøftebunnen. Ved situasjon A er grøften 20 – 30 cm dypere enn overbygningen, og vil drenere vegen og undergrunnen under vegen, og effektivt føre til større motstand mot deformasjoner. Ved B og C er situasjonen mer kritisk, men ikke uvanlig. Vannet vil i økende grad påvirke elastisitetsmodulen i de granulære lagene, og det vil være større permanente deformasjoner enn i A.

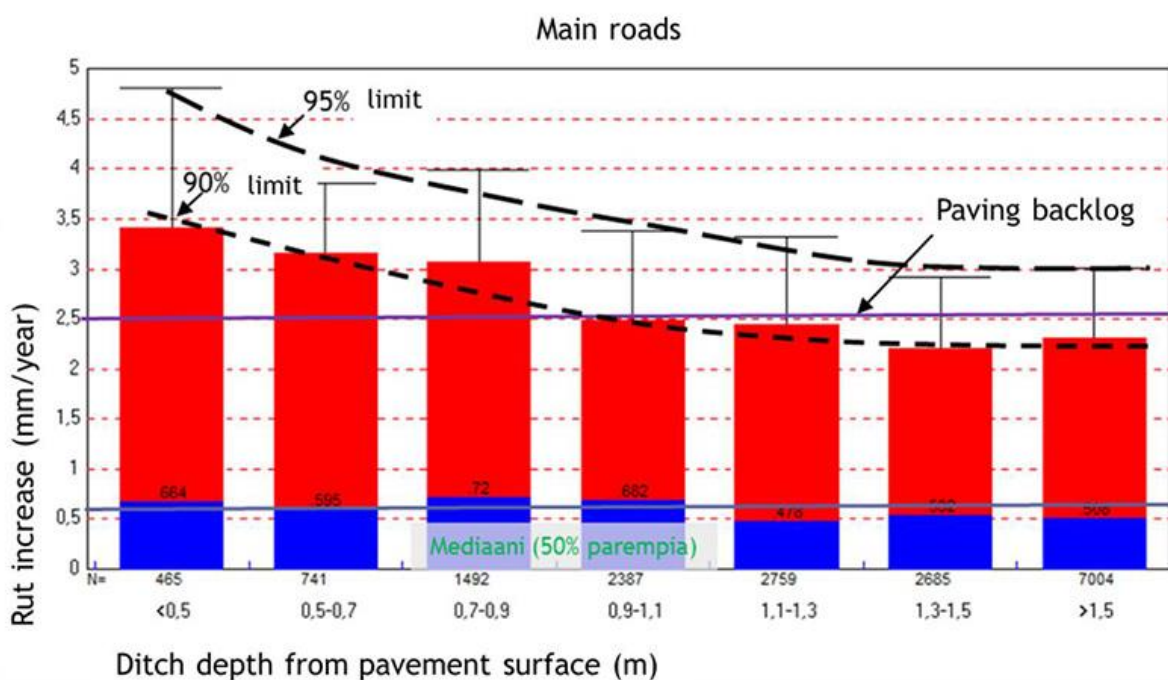


Figur 42 - Grunnvannspeil og vannspeil ved flom ved forskjellige grøftedybder. Redigert fra Matintupa og Saarenketo (2012).

På nye veger er det krav til at traubunn anlegges med tverrfall på minimum 3 %, og skal økes til 6 % ved vannømfintlige masser. Kravet gjelder imidlertid ikke dersom det bygges frostsikringslag (Statens vegvesen, 2014b, 2018).

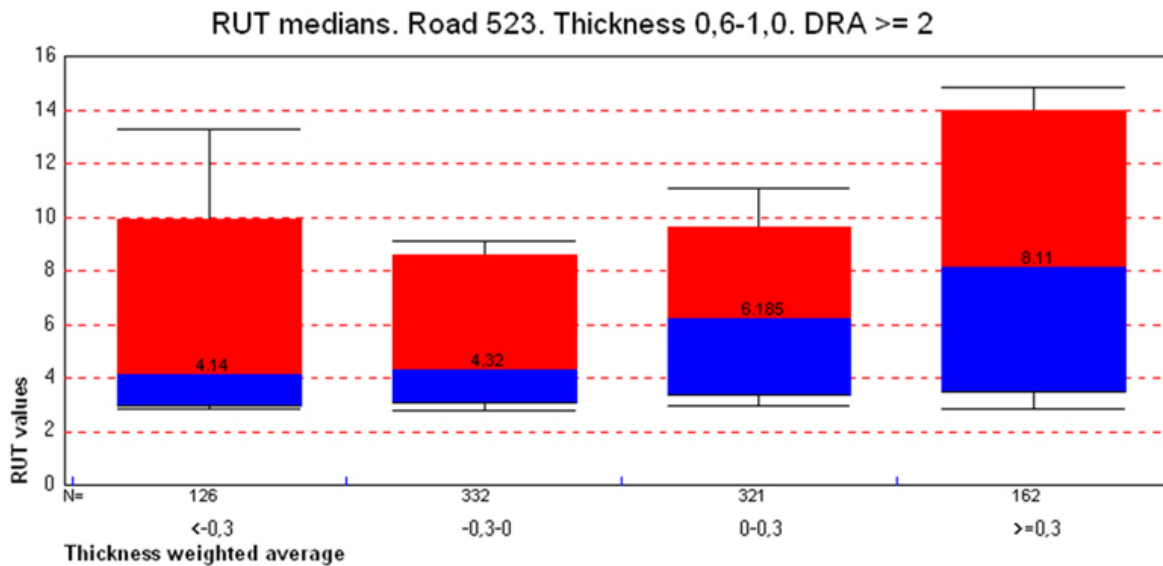
I perioden år 2015 – 2025 gjennomføres en pilotstudie for å øke effektiviteten til investerte penger på veger i Finland gjennom asset management metodikk. Prosjektet er et samarbeid mellom Finnish Transport Agency, Central Finland Centre of Economic Development og Roadscanners. Et av de ambisiøse målene de har satt seg er å redusere årlige asfaltutgifter med 40 – 50 % gjennom mer varige veger (Tapio, Lehtinen, Ylinampa & Saarenketo, 2016).

Figur 43 viser sammenhengen mellom sporutvikling i mm/år og grøftedybde målt fra asfaltdekket funnet gjennom PEHKO. Paving backlog er den definerte grensen som skaper vedlikeholdsetterlep i prosjektområdet, og vil også i norsk målestokk måtte anses som normal sporutvikling på gode veger. Skillet mellom blå og rød farge viser medianverdien og illustrerer at på tross av til dels svært grunne grøfter kan levetiden være god dersom andre forhold legger til rette for det. 90-persentilen er i dette tilfellet akseptabel for grøftedybder over 0,9 m (Tapio et al., 2016)



Figur 43 - Funn fra PEHKO Project 2015-2025 (Hentet fra Roadex).

Figur 44 er fra et Roadex prosjekt i Nord-Sverige. Den viser en statistisk analyse av sammenhengen mellom grøftedybde og spordybde av veg 523 i Umeå. Medianen er skillett mellom rød og blå og viser en tydelig trend til at spordybden blir dypere jo høyere grøftebunnen er over overbyggningsbunnen. Verdiene i x-aksen er relativ høyde målt fra bunnen av overbygningen. Figuren viser at medianverdien for spordybde er dobbelt så høy for steder hvor grøftebunnen er 30 cm over overbyggningsbunnen enn 30 cm under.

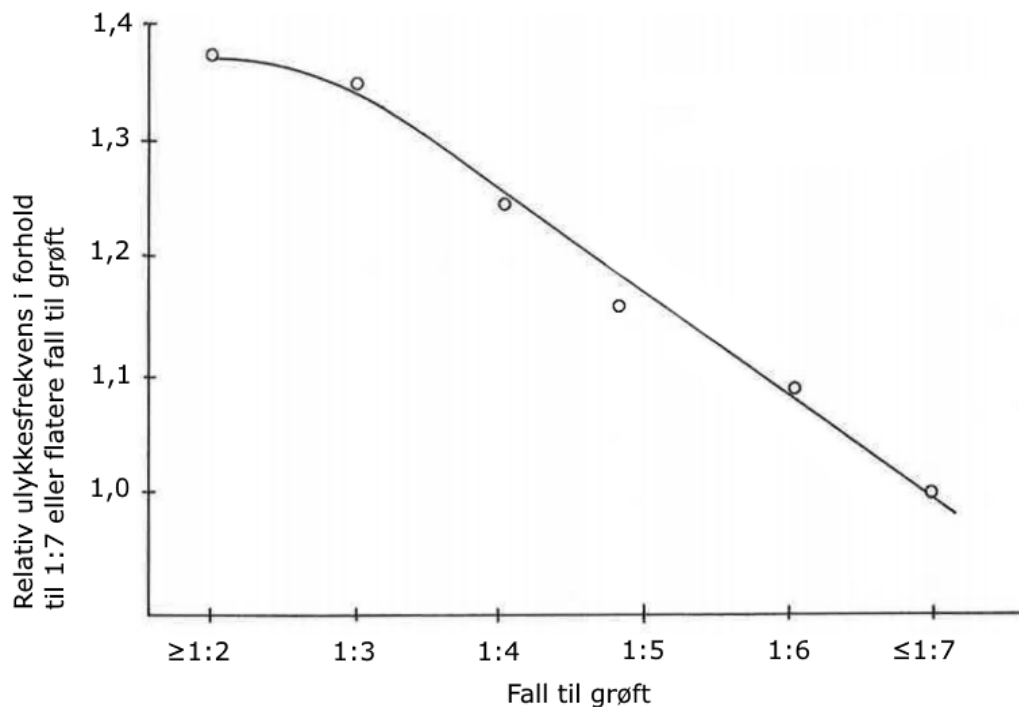


Figur 44 - Sporverdier og høyde fra overbyggningsbunn (hentet fra Roadex.org)

2.8 Trafikksikkerhet

Trafikksikkerheten med hensyn på grøfter påvirkes i all hovedsak av hellingen på skråningen og avstanden til objekter innenfor sikkerhetssonen (Norem et al., 2016).

Figur 46 viser relativ økning i ulykkesfrekvens ved utforkjøringer i forhold til en helling på 1:7 eller slakere (Zegeer et al., 1988).



Figur 45 - Relativ ulykkesfrekvens i forhold til grøfteskråning med fall 1:7 fra Zegeer et al.

Sannsynligheten for utforkjøringsulykker minker gradvis for helling fra 1:3 til 1:7 eller flatere med ca. 5 % for hvert steg, mens reduksjonen i relativ ulykkesfrekvens fra helling 1:2 til 1:3 bare er 2 prosent. Faren for velt er derimot større ved 1:2 enn ved 1:3, men den lave reduksjonen i ulykkesfrekvens kan forklares ved at det er nærmest umulig å gjenvinne kontrollen ved så bratt grøft (Zegeer et al., 1988).

Grøftedybden og skråningshelling har innvirkning på andelen av utforkjøringsulykker med velt, noe som gir større sannsynlighet for personskader og høyere alvorlighetsgrad ved en eventuell ulykke. Deleys og Parada (1986) viste at ved skråningshelling 1:3 og dybde 3 ft. (ca. 0,9 m) er andelen eneulykker med velt 12,5 %, mens for grøft med dybde mellom 4-5 ft. var andelen 25,1 %. Andelen gikk betraktelig ned ved skråningshelling slakere enn 1:3. Dette gjenspeiles også i kravene i Håndbok N101 hvor det stilles krav til at det skal gjøres en egen vurdering om behovet for rekkverk ved 1:3 eller brattere skråning avhengig av ÅDT, fartsgrense og grøftedybde. For nærmere info, se tabell 2.6 og 2.7 i Håndbok N101 s. 29.

Ved helling fra 1:4 eller slakere øker sannsynligheten for at fører av bilen til en viss grad kan styre bilen til et mindre alvorlig utfall, mens skråninger brattere enn dette tvinger bilen

ned i skråningsfoten. Det stille også krav til at overgangen mellom skråningstopp og skråningsfot skal avrundes ved helling fra 1:4 og brattere (Statens vegvesen, 2013).

Det er også verdt å nevne at Norem et al. (2016) anbefaler å bruke helling fra 1:5 eller flatere for å gi drift og vedlikeholdspersonell mulighet for å plassere arbeidsmaskiner eller operere fra grøfteskråningen. På den måten kan en redusere risiko for negativ påvirkning på trafikken og ulykker ved vedlikeholdsarbeid.

2.9 Hydraulisk kapasitet

Grøftens kapasitet er avhengig av utforming, fall og grøftebunnens ruhet. Kapasiteten og strømningshastigheten kan beregnes ved hjelp av Mannings formel basert på materialets ruhet.

Formel 3

$$Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Hvor

Q = Vannføring i kanalen [m^3/s]

M = Mannings tall [$m^{1/3}/s$]

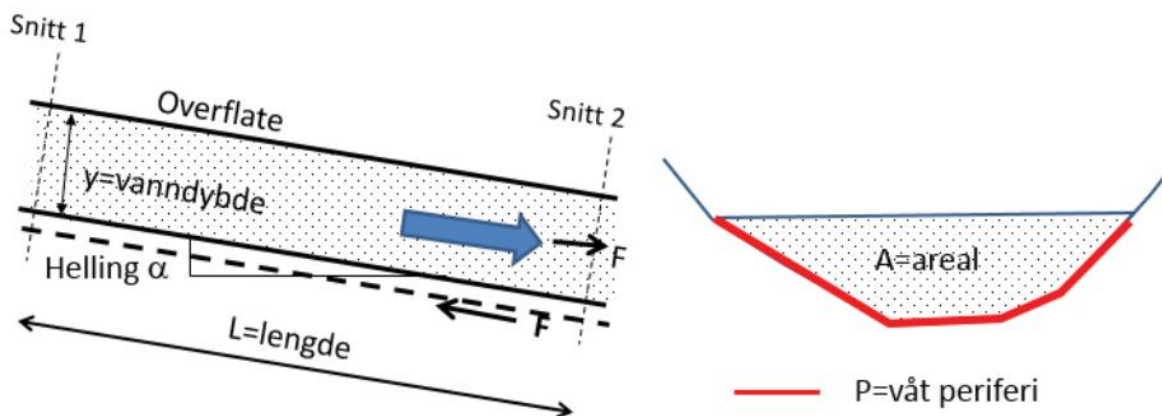
A = Strømningsareal tverrsnitt [m^2]

R = A/P = Hydraulisk radius [m]

A = Strømningsareal tverrsnitt [m^2]

P = Våt periferi [m]

I = $\sin \alpha$ = lengdefall [m/m]



Figur 46 - Illustrasjon av de viktigste parameterne i Mannings formel fra (Norem, Flesjø, Sellevold, Lund & Viréhn, 2016).

Et annet moment er hvor interessant det er å vite grøftens hydrauliske kapasitet, når det i praksis er hydraulisk belastning som kan gi svar på om grøften er tilstrekkelig dimensjonert. For å finne belastningen må også avrenning fra nærområder tas inn i bildet, og i Norge er det to flomberegningmodeller ifølge Norem et al. (2018). For områder under 1 km² er den rasjonelle formel best egnet, mens PQRUT-modellen benyttes for arealer mellom 1 til 200 km².

For å kartlegge avrenning kan flybåren LiDar gi brukbare målinger som kan analyseres for å finne naturlige vannveger og størrelse på disse. Slike analyser bruker algoritmer som fjerner vegetasjon fra dataene og oppnår en relativt god kartlegging (Lindsay & Dhun, 2015).

2.9.1 Lengdefall

Statens vegvesen opererer med at lengdefall bør være minimum 5 ‰ (Aurstad, 2016), men at fall opp mot 10 ‰ bør tilstrebes (Norem et al., 2018). I Standard for drift og vedlikehold står det skrevet at det skal være kontinuerlig fall i avrenningsretningen (Statens vegvesen, 2014a).

Banenor presiserer i sitt tekniske regelverk at grøtfeallet (lengdefall) på ethvert punkt skal være på minimum 5 ‰ (Banenor, 2021). Det samme gjelder for Sverige, mens Finland tidligere har operert med 4 ‰ (Roadex). I asset management systemet utviklet av Gurganus et al. (2019) får 5 ‰ bare 50/100, mens 10 ‰ får rangeringen 100/100.

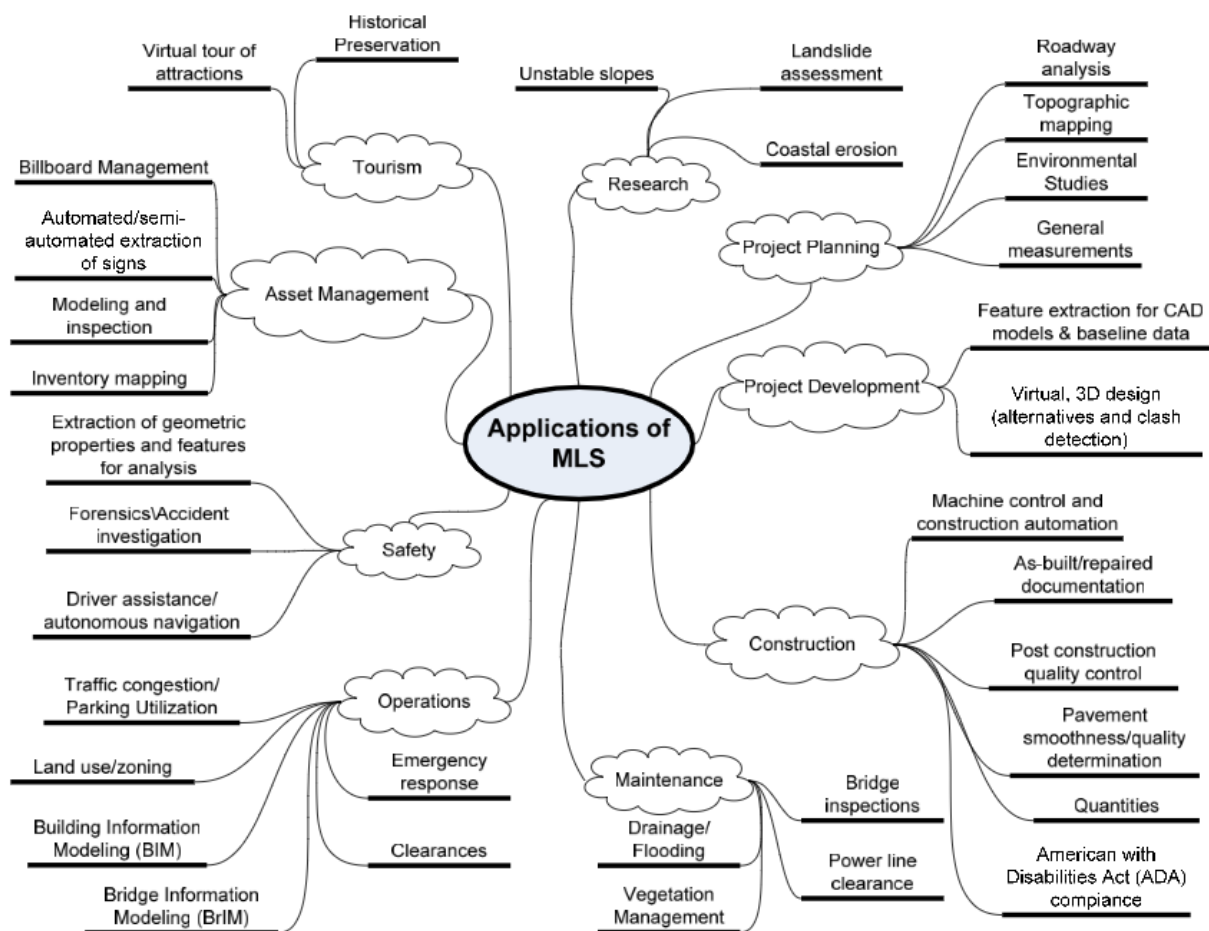
Gjennom PEHKO-piloten av Roadex har de ikke undersøkt lengdefall, men avdekket terskler i grøften. Terskler i grøften kan kort forklart være private avkjørsler med tett stikkrenne, eller hindringer som demmer opp vann. De anslår at terskler beslaglegger 10 % av dekkebudsjettet i Finland på grunn av økt skadeutvikling i terskelområdet (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21).

2.10 Bruk av data fra mobil LiDaR

Det er store fordeler med mobil skanning av vegen for innsamling av data, og det virker å være opp til fantasien hva en kan benytte dataene til. Williams, Olsen, Roe og Glennie (2013) kartla og syntetiserte bruken av mobil LiDar for transportformål, og visualiserte datidens bruk med den ikke uttømmende skyen i Figur 47. De konkluderte også med at bruken av LiDardata er i full utvikling både teknologisk og med tanke på hva dataene kan brukes til.

Matintupa og Saarenketo (2012) brukte LiDaR, termisk kamera og georadar (Ground Penetrating Radar, GPR) for å finne sammenhenger mellom grøftetilstand og spordannelse og IRI. De anbefalte at i hvert fall LiDaR bør benyttes til å kartlegge drenering, men at det også er stor nytte i GPR-målinger for å finne bunnen av overbygningen. Gjennom statistisk analyse av dataene deres fant de at grøftetilstand hadde mest innvirkning på vegskader når overbygningen var mellom 0,6 – 1,0 m.

Yen, Ravani og Lasky (2011) pekte på gevinsten av innsamling av data, men også kvaliteten og mulighetene dataene gir for behandling. Sikkerheten er bedre for trafikanter og personell når dataene samles inn automatisk ved hjelp av laser, i tillegg kommer effektiviteten ved at dataene samles inn i trafikkfart. Nøyaktigheten i dataene er meget gode, og gir gode muligheter for å følge utvikling fra år til år. Kostnadmessig kan ikke visuell inspeksjon sammenlignes med LiDar-data, både med tanke på kostnad og tidsbruk (Mendenhall, 2011).



Figur 47 - Bruk av Mobil Lidardata for transportformål i 2013 (Williams et al. 2013).

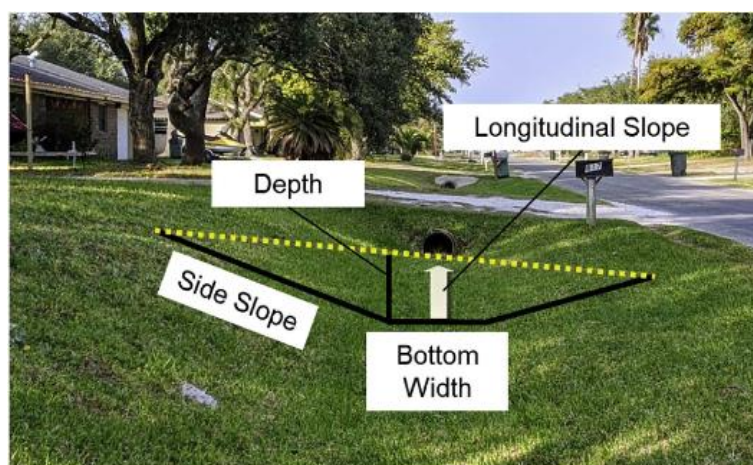
Malehmir, Coram, Firbank, Palsat og Palesch (2018) viste at deres maskinlæringsalgoritme er i stand til å identifisere objekter langs vegen ved hjelp av bilder og LiDarpunktsky - et system ikke ulikt slik vi samler inn data i Norge. Algoritmen var i stand til å identifisere og klassifisere skilt, rekkverk, vegoppmerking og rumlefelt i nær sanntid mens kjøretøyet fulgte trafikken. Figur 48 viser en punktsky hvor skilt merkes automatisk av algoritmen, noe som forenkler innsamling av inventardata til et kapitalforvaltningsystem.



Figur 48 - Punktsky fra LiDarskanning i trafikkfart. Trafikkskiltene markeres automatisk av algoritmen (Malehmir et al., 2018).

Gurganus et al. (2019) utviklet et semiautomatisk system for å bestemme risiko for vannplaning ved hjelp av LiDaR-data. Systemet bruker geometriske data for å rangere asfaltdekket, grøftedybde, langsgående fall og vinkel på skråning og sideterreng. Erfaringene de gjorde seg viser at det er mulig å samle inn og behandle data nærmest helt-automatisk, og gir tilstrekkelig kvalitet i møte med kravene fra Texas Department of Transportation (TxDOT). De ønsket å få kartlagt tverrfall, horisontalkurvatur og grøftegeometri. Endringer fra rurale strøk med dype grøfter til urbane strøk med flere elementer gjør at det foreløpig ikke egner seg for annet enn landeveg uten vesentlig høyere andel manuelt arbeid.

Lee og Gharaibeh (2020) fokuserte på grøfter i urbane strøk, og viste at ved relativt homogene forhold var det mulig å automatisere innsamling av data og evaluering av disse ved å bruke punktsky fra laserskanning. De fokuserte på parametere gitt i Figur 49, og testet innsamlingen på ca. 6 km med grøft i Texas.



Figur 49 - Innsamlede parametere av Lee og Gharaibeh (2020)

Statens vegvesen utførte i 2019 et testprosjekt kalt E8 Borealis hvor målet var å sammenligne utstyr for måling av dekketilstand, undersøke forskjeller, samt fordeler og ulemper med forskjellige typer utstyr. Målinger ble gjort med fallodd, georadar og laserskannere med hensyn på overflatetilstand, bæreevne og vegens oppbygning. Deltakere med laserutstyr var Statens vegvesen, Rambøll, TerraTec, Roadscanners og Lehmann+Partner. Det ble gjort forsøk på kartlegging av grøftedybder, og det ble også testet ut kartlegging av grøfteskråning av Roadscanners, Statens vegvesen og Terratec (Aursand, 2019).

Aursand (2019) konkluderte med at kartlegging av grøfter med laserscanning ga store datamengder som kan benyttes til å detaljundersøke problempunkter. Punktvis er det god korrelasjon mellom sporutvikling og områder med grunn grøft, men sporutviklingen er forskjøvet med 50 – 100 m i forhold til det grunneste partiet i grøften. Det er også funnet gode sammenhenger mellom økt sporutvikling og grunne grøfter i bergskjæringer, og det ser ut til å være en sammenheng mellom grunne grøfter, redusert bæreevne i teeløsningen og sporutvikling. I rapporten ble det benyttet 100 m glidende snitt for å undersøke sammenhenger mellom spor- og grøftedybde, og det blir presisert at det må gås inn på detaljdata for å identifisere områder der dreneringen har innvirkning på sporutvikling. Det er noe forskjell på tolkede grøftedybder, og det har sammenheng med filtrering av vegetasjon og definering av vegkant.

Figur 50 viser en figur fra Aursand (2019) hvor Roadscanners visualisering bidrar til å identifisere en stikkrenne (merket med rød sirkel) oppstrøms som en terskel som forårsaker økt sporutvikling.

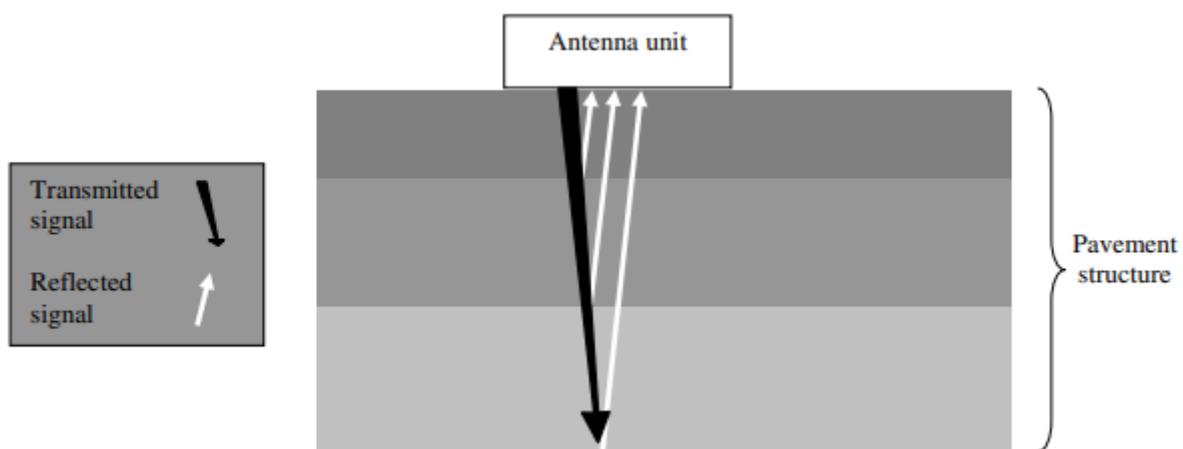


Figur 50 - Visualisering fra Roadscanners tydeliggjør at

2.11 Georadar

Georadarer er en såkalt non-destructive testing (NDT) metode for å kartlegge overbygningen med tanke på lagdelinger, hulrom, vanninnhold, teledybde, dybde til fjell og andre legemer (rør osv.) (Evans, 2009). Det finnes i tillegg mange andre bruksområder som for eksempel arkeologi, og ikke minst er Perserverance utstyrt med en norsk georadar (RIMFAX) som bidrar til kartlegging og leting etter liv på Mars (FFI, 2015).

En georadar sender korte pulser av høyfrekvente radarsignaler ned i grunnen hvor de elektromagnetiske (EM) pulsene reflekteres forskjellig tilbake avhengig av materialenes dielektriske egenskaper (permittivitet) og konduktivitet (ledningsevne). Når en EM puls møter en dielektrisk kontrast vil noe av energien reflekteres tilbake til radaren, mens resten vil gå videre slik at flere lag i bunnen kartlegges (Bianchini Ciampoli, Tosti, Economou & Benedetto, 2019).



Figur 51 - Forenklet fremstilling av georadar (Evans, 2009).

Penetrasjonsdybden er materialavhengig og kan variere fra 2,5 – 30 m avhengig av de dielektriske egenskapene i jordarten. Statens vegvesen opplyser at en normalt få gode målinger og kan se objekter ned til ca. 5 cm størrelse helt ned til en dybde på 2,5 – 3 m (Statens vegvesen, 2021).

3 Forslag til parametere for vurdering av grøftens påvirkning på funksjonell levetid

I denne omgang velges det å ikke differensiere på bakgrunn av forskjellige vegklasser, men det vil være et naturlig steg videre for fremtidig bruk å gjøre dette. For eksempel er det stor sannsynlighet for at overbygningstykkelsen på en europaveg er større enn en kommunal veg, og en overlapping av grøftedybdeparametere mest sannsynlig vil gi feilaktig vurdering. Den generelle vurderingen som gis i dette kapittelet baseres på teori og vurderinger om strekningen som skal undersøkes nærmere i case studien.

3.1 Resultat output

Hvilke parametere som er viktige og hvordan disse bør vektlegges innad i et system vil som regel være en avveining av flere faktorer som til syvende og sist faller ned på forfatterens synspunkter og faglige tyngde. Noen ganger kan det være viktig og riktig å velge en framstilling av vurderingen som går på karakterer fra for eksempel 1 – 5, mens andre ganger vil det bidra til et uriktig bilde av virkeligheten. To like dype grøfter på 0,5 med forskjellige masser i overbygningen kan ha svært ulike skadeutvikling som følge av grunnvannstand og vanntilsig. Andre ganger kan undergrunnen være tilstrekkelig permeabel slik at det ikke utgjør noen særlig forskjellig om grøften er 0,8 m eller 0,2 m.

Det finnes anerkjente metoder for å vekte parametere innad i et komplekst system, som for eksempel AHP-metoden, hvor matriser benyttes for å vurdere hver enkelt parameter opp mot alle andre parametere i systemet (Najafi & Bhattachar, 2011). Spørsmålet i dette tilfellet er hva som er mest hensiktsmessig og nyttig metode å framstille resultater fra en laserscanning på for den som skal nyttiggjøre seg av outputen. Det må legges til grunn at personen som har interesse av å bruke en slik output er en vegteknolog eller en offentlig forvalter med budsjettansvar for området med innsikt i faget.

3.1.1 Totalrangering

Framstilling av resultat kan gjøres på flere måter, og innen asset management er det ikke uvanlig å rangere forskjellige parametere fra 1 – 5. Noe av det som er bra med et slikt system er at det gir en god visuell effekt når resultatene fremlegges, spesielt hvis alle parametere summeres med vektning og fremlegges som én karakter. Det som ikke er bra, er at et slikt system vil være en serie av kompromisser hvor viktige detaljer kan gå tapt og bli forbigått om en bare ser på totalkarakteren. Det er heller ikke funnet noe forskning som kan legges til grunn for å vekte parametere innad i systemet, og som tidligere nevnt er dette et komplekst problem hvor flere detaljer kan spille en viktig rolle. Det velges derfor å ikke gå for en løsning med gjennomsnittskarakter, men heller fremlegge alle parametere hver for seg.

3.1.2 Rangering av hver enkelt parameter

Når det gjelder rangering av hver enkelt parameter er det forskjellige hensyn å ta. For eksempel er «torvkant» en parameter som i prinsippet gir JA/NEI output. Dersom det er torvkant vil den hindre avrenning, og dersom skulderen er tilstrekkelig permeabel vil vann kunne trenge inn i overbygningen. Det antas at torvkantens høyde har liten betydning for hvor mye vann som trenger inn i vegen ettersom den i de aller fleste tilfeller ikke har

egenskaper til å demme opp et magasin på vegen, men i et slikt system må det også være terskler for hva som skal registreres og ikke.

Som tidligere nevnt er en 1 – 5 rangering vanlig i asset management i USA, hvor det før var vanlig med rangering fra 1 – 9. Grunnen til at det ble omgjort til 1 – 5 var for å redusere nyansene i rangeringen, i praksis var det for lite forskjell på rangeringen 7 i forhold til 8 som eksempel (Bowers, Magers, Pyrz & Bullock, 2014). Kompleksiteten i hvordan parametere bidrar til skadeutvikling, og i hvilken grad utviklingen går hurtigere ved dårligere rangering er på dette tidspunkt ikke kartlagt i litteraturen. Det skyldes nok at det kreves svært spesifikk forskning for å undersøke dette. GEOM-faktoren fra Dawson og Korkiala-Tanttu (2008) er til en viss grad et resultat av slik forskning.

Det antas derfor at en 1 – 5 rangering av parametere ikke vil gi bedre informasjon enn om de faktiske målene blir presentert i resultatet. Det er imidlertid ønskelig å differensiere på gode og dårlige resultater, for eksempel om vinkel på grøfteskråning er 1:1 eller 1:4. For å løse dette visuelt, foreslås det å benytte en trafikklysmoell som vist i Tabell 6. Den visuelle effekten vil egne seg godt til å klargjøre vurderingen, og er i tillegg en etablert risikofremstilling som mange vil kunne kjenne igjen.

Tabell 6 - Forklaring av risikomodel

	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Vurdering av bidrag til reduksjon av levetid	Høy sannsynlighet for at dette resultatet bidrar vesentlig til kortere levetid.	Noe sannsynlighet for at dette resultatet bidrar til kortere levetid.	Lav sannsynlighet for at dette resultatet bidrar til uakseptabel lavere levetid.
Anbefalt handling	Må undersøkes nærmere, og bør utbedres	Bør kontrolleres og vurderes nærmere av fagpersonell.	Trenger ingen særskilt handling.

3.2 Vurderinger for detaljnivå-kartlegginger

3.2.1 Grøftedybde

Det fremgår i litteraturgjennomgangen at tilstrekkelig grøfthøyde er en funksjon av relativ høyde til bunnen av overbygningen (Gurganus et al., 2019; Matintupa & Saarenketo, 2012; Tapio et al., 2016).

På nye veger i Norge stilles det krav til at grøftbunnen skal være 35 cm under filterlaget mot undergrunnen, mens det ellers i Norden virker å være praksis at nivået ligger fra 20 – 30 cm under forsterkningslaget (Matintupa & Saarenketo, 2012; Statens vegvesen, 2018).

Uten GPR-data vil det i praksis være umulig å vite hvor overgang fra undergrunn til forsterkningslag ligger, og graveprøver er fordyrende og derfor ønskelig å unngå i stor utstrekning. Det er imidlertid mulig å anslå grøfthøyder som bidrar til skadeutviklingen av vegen. Fuktighetsinnholdet er en funksjon av avstanden fra grunnvannsstanden (Berntsen & Saarenketo, 2005b), og dermed i verste fall bunnen av grøften.

Det antas i dette tilfellet at de færreste trafikkerte veger i dag har overbygningstykkelse under 0,5 m. Selv veger som er blitt til gjennom årenes løp vil i løpet av overgangen fra

kjerreveg til grusveg og til 10 tonns akseltrykk fått tilført masser og gjerne lag på lag med asfalt. En kan også argumentere for at overbygningstykkelser under 0,5 m er avhengig av styrkebidrag fra undergrunnen, og ved å senke grunnvannstanden vil en oppnå høyere effektivspenning i lagene overfor og dermed høyere E-modul.

Deformasjonsutvikling med forskjellige fuktighetsinnhold i en overbygning ser ut til å følge en lineær trend med brattere stigningstall jo høyere fuktinnhold (Fladvad & Erlingsson, 2021), og det later til at å være enighet om at lavere fuktinnhold i overbygningen vil øke motstanden mot deformasjon. Å senke grunnvannsstanden kan resultere i økt telehivdannelse (Nordal, 1996), men i de relativt tynne overbygningstykkelsene det er snakk om antas det at frostdybden ikke vil gi uakseptable endringer. Et annet moment er at økte telehiv antageligvis vil være et sjeldent problem på noen få problempunkter, mens majoriteten vil kunne bedres betraktelig. Det settes derfor en grense på 0,7 m hvor det anses som høy risiko for at grøftedybden er utilstrekkelig for å drenere forsterkningslaget.

Hvis vi ser tilbake på resultatene fra PEHCO-prosjektet, se Figur 43, er det tilsynelatende en klar sammenheng mellom sporutvikling over terskelverdien og grøftedybder helt opp til 0,7 – 0,9 m. 90-persentilen følger imidlertid en tydelig nedadgående trend, og ser ut til å flate ut fra og med 1,1 – 1,3. Det er også verdt å ta innover seg sikkerhetsaspektet ved grøftedybden, og den økte sannsynligheten for kjøretøyvelt ved grøftedybder over 1 m (Deleys & Parada, 1986). Medium risiko gir en anbefaling om å undersøke nærmere dersom funksjonell levetid er lavere enn forventet levetid, og et av tiltakene som bør gjøres vil være å kartlegge overbygningstykkelsen med georadar. Det vil da bli klart hvor dyp grøften må være for å drenere forsterkningslaget uten fordyrende og inngripende gravearbeid. På bakgrunn av dette velges grenseverdiene i Tabell 7. Det er imidlertid viktig å fremheve at selv grøftedybder over 1 meter kan være utilstrekkelig dersom de lokale forholdene tillater det.

Tabell 7 – Grenseverdier for grøftedybde

Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
< 0,7 m	0,7 – 1,0 m	> 1,0 m

3.2.2 Lengdefall

I gjennomsnitt ligger det en stikkrenne for hvor 100 – 150 m, og med et minimumskrav til fall på 5 ‰ tilsvarer det fra 0,5 – 0,75 m høydeforskjell dersom fallet er kontinuerlig fra stikkrenne til stikkrenne (Aurstad, 2016). Når det gjelder lengdefall er risikoen i liten grad forbundet med selve fallet, men heller med konsentrerte lokale punkter som tillater vannansamlinger.

Det kan være fordypninger i grøften, men også terskler som hindrer avrenning i lengderetning som for eksempel en avkjøring med tett stikkrenne. Slike terskler antas å være mer ugunstig i områder med mye fall enn på flatmark, siden en terskel i en nedoverbakke vil samle opp mye vann mens en terskel på flatmark i realiteten har liten effekt fordi fordampning og infiltrasjon står for mesteparten av dreneringen. På flatmark vil derimot mindre terskler kunne utgjøre skade ved flomsituasjoner fordi fallet og hastigheten er så lav at vann ikke overstiger terskelen, men demmes opp i større grad.

Det antas også at fordypninger er mindre kritiske for levetiden enn en høy terskel, og det kan forklares med potensiell høyde på vannspeilet. Begge deler vil øke infiltrasjonen, men en terskel i en nedoverbakke vil samle mer vann og bidra til økt vanninnhold høyere i

overbygningen enn en fordypning siden poresugskurven parallellforskyves ved forskjellige vannhøyder (Berntsen & Saarenketo, 2005a) .

Grøftebunn i åpne grøfter er i liten grad uniforme i skapningen. Over tid vil erosjon, sedimentering og vekster gjøre at bunnen i enda mindre grad vil være en rett linje hvor fallet enkelt kan bestemmes. Det foreslås derfor å benytte 5 meters løpende gjennomsnitt. På bakgrunnen av ovennevnte settes risikoverdiene som følger i Tabell 8.

Tabell 8 – Grenseverdier for lengdefall

Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
< 5 ‰	5 ‰ – 10	> 10 ‰

3.2.3 Fysisk terskel

Det kan se ut til at fysiske terskler demmer opp vann og forårsaker økt skadeutvikling, men foreløpig er det ikke klart hvor stor eller når en terskel/hindring blir kritisk. For dette prosjektet foreslås det derfor å forsøke å fange opp terskler i datasettet, og se om det videre kan identifiseres økt skadeutvikling i området. Det blir derfor et JA/NEI-spørsmål i denne omgang, som kan deriveres ut fra lengdefallet.

3.2.4 Lastavstand

Skulderbredde og grøftevinkel henger tett sammen hva gjelder motstand mot deformasjon. En svært liten skulderbredde vil gjøre at en i utgangspunktet akseptabel grøftevinkel blir lite tilfredsstillende. Statens vegvesen setter krav til minimum fall på 1:2, mens det anbefales større vinkel for bedre innspenning. Jo større vinkelen er, jo mer arealkrevende blir grøften, men det bør ikke spille inn på vurdering av bidrag til skadeutvikling.

Sporutviklingen i sporet nærmest grøften vil i praksis være høyere nesten uansett, noe som betyr at det ikke er realistisk å sette verdier for den skulderbredde som ikke bidrar til raskere sporutvikling. Mer naturlig vil det være å sette grenseverdier for hva som er akseptabelt.

Aksnes (2002) anbefalte en skulderbredde på minimum 0,75 m, og det fremkommer av hans resultater at skulderbredder under 0,75 m gir for lav innspenning. Det ser også ut til at større skulderbredder gir noe bedre innspenning, men trenden flater ut over 1 m. En økning i skulderbredde fra 0,3 – 1,2 m gir i snitt 24 % økning i bæreevne, og det later til at 0,9 m bred skulder gir tilstrekkelig effekt. Økningen i bæreevne etter 0,9 m ser ut til å flate noe ut (Chandra et al., 2006).

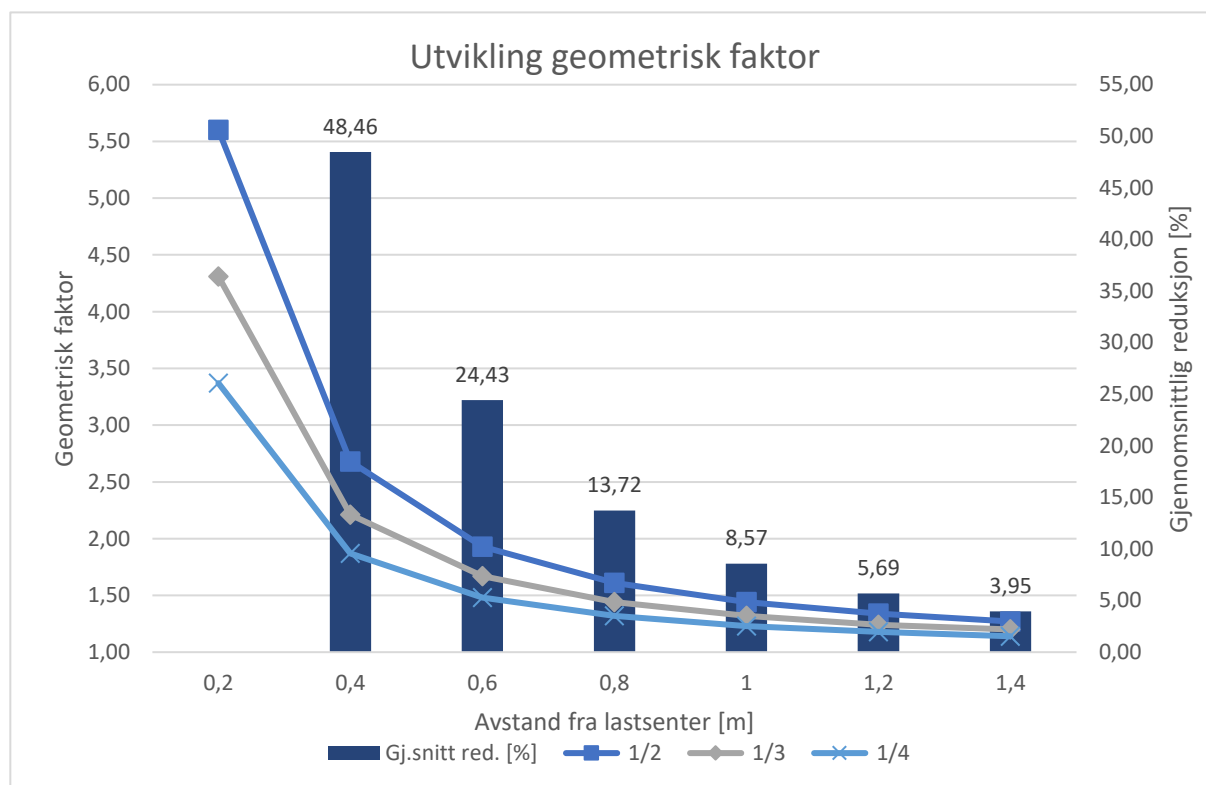
Dawson og Korkiala-Tanttu (2008) fant ca. 30 % økning i sporutvikling for hver 0,3 m fra 1 m til 0,4 m. Det medfører at 1,0 m avstand fra skulderkant gir 60 % reduksjon i sporutvikling. I Tabell 9 er resultater av beregning av geometrisk faktor for typiske grøftevinkler langs vegnettet i Norge og forskjellige avstander fra lastsenter, nederste rad er gjennomsnittlig reduksjon av geometrisk faktor for de tre sidevinklene.

Tabell 9 – Beregnede geometriske faktorer

Vinkel\Bredde	0,2 m	0,4 m	0,6 m	0,8 m	1,0 m	1,2 m	1,4 m
1/2	5,60	2,68	1,93	1,61	1,44	1,34	1,27
1/3	4,31	2,21	1,67	1,44	1,32	1,24	1,2
1/4	3,37	1,87	1,48	1,32	1,23	1,18	1,14

Gj.red. [%]	-	48,46	24,43	13,72	8,57	5,69	3,95
--------------------	---	-------	-------	-------	------	------	------

Tabell 9 er illustrert i diagrammet i Figur 52, og viser en utflatende trend for avstander fra og med 0,8 og spesielt fra > 1,0 m. Det gjenspeiles også i at den gjennomsnittlige prosentvise reduksjonen er markant mindre etter at skulderbredden når 0,8 m, og desto mer markant for større grøftevinkler enn 1/2.



Figur 52 – Utvikling geometrisk faktor med hensyn på skulderbredde

Generelt ser det ut til at litteraturen peker mot en avstand over 0,7-0,8 meter for best kost/nytte, men samtidig vil det være noe reduksjons på levetid for en slik lastavstand. Det ser ikke ut til at det er så veldig mye å hente på å øke avstanden over 1,0 m, noe som også fremkommer av Figur 52. Tabell 10 viser de foreslåtte grenseverdiene for lastavstand.

Tabell 10 - Grenseverdier for lastavstand

Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
< 0,8	0,8 – 1,0	> 1,0

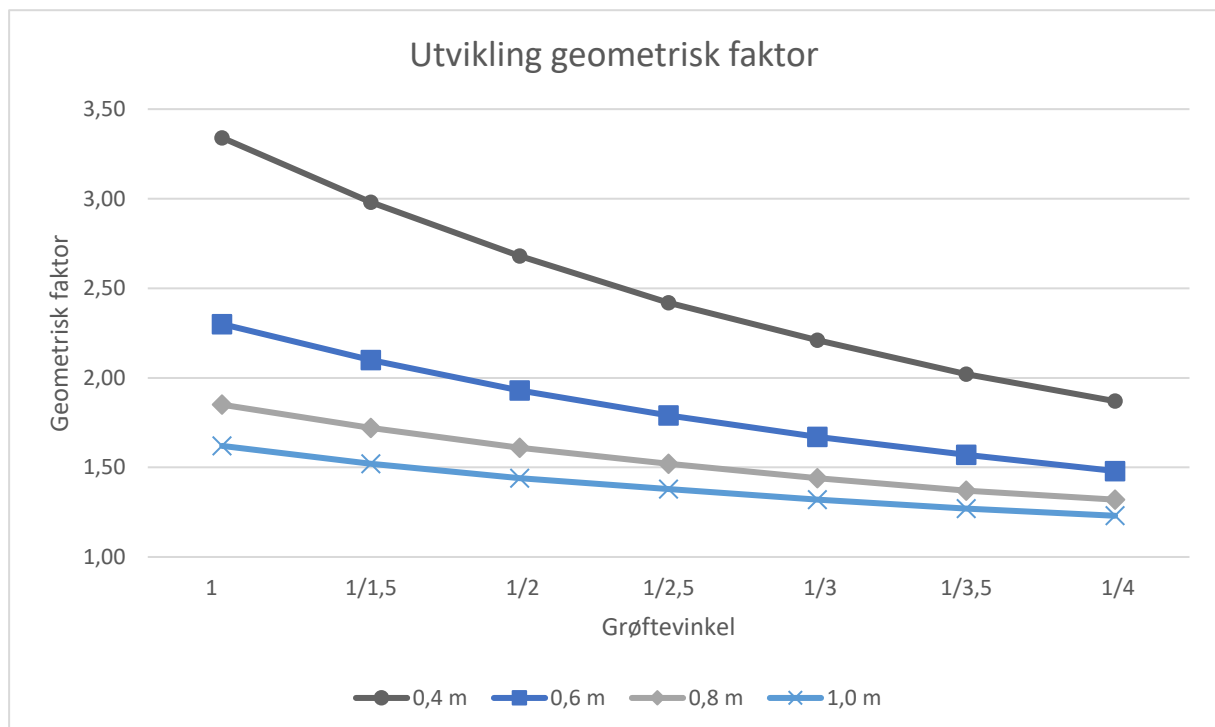
3.2.5 Sidevinkel

Statens vegvesen setter krav til minimum fall på 1:2, men det anbefales større vinkel for bedre innspenning (Statens vegvesen, 2018). Jo større vinkelen er, jo mer arealkrevende blir grøften, men det bør ikke spille inn på vurdering av bidrag til skadeutvikling. Tabell 11 og Figur 53 viser beregnede verdier med hensyn på grøftvinkel, og det som kommer til syne i figuren er at skulderbredde tilsynelatende har større innvirkning på faktoren enn grøftvinkelen.

Tabell 11 – Beregnede geometriske faktorer med hensyn på grøftvinkler

Bredde\Vinkel	1	1/1,5	1/2	1/2,5	1/3	1/3,5	1/4
0,4 m	3,34	2,98	2,68	2,42	2,21	2,02	1,87
0,6 m	2,30	2,10	1,93	1,79	1,67	1,57	1,48
0,8 m	1,85	1,72	1,61	1,52	1,44	1,37	1,32
1,0 m	1,62	1,52	1,44	1,38	1,32	1,27	1,23

Med mange smale veger hvor avstanden fra lastsenter til vegkant kan være svært liten og ikke uvanlig mellom 0,4 – 0,6 m er det klart at grøftvinkel kan bidra til å redusere effekten av skulderbredden. Minimumskravet på 1:2 virker å være fornuftig, mens det spesielt på smale veger bør anlegges slake grøfter for å gi bedre innspenning. Sikkerhetsaspektet gjør seg også gjeldende her, med klart forhøyet risiko for kjøretøyvelt ved skråningsvinkel på 1:2 (Deleys & Parada, 1986).



Figur 53 - Geometrisk faktor med hensyn på grøftvinkel

For å videre illustrere effekten skulderbredde, grøfteskråning og grøftedybden har på vegkantens bæreevne utføres et beregningseksempel basert på Granlunds eksempel i NVFs rapport nr. 04/2012. Det forutsettes at overbygningen er drenert. Formel 1 angir bæreevne ved kvadratisk fundament på undergrunn av friksjonsjord og uten vegkant/skråning.

Formel 4
$$Q/A = q * Nq + 0.4 * \gamma * B * N\gamma$$

Eksempelet tar for seg tvillinghjul på drivaksel. Overbygningen er 0,5 m tykk, og består av:

- 10 cm asfalt $\gamma = 22,5 \text{ kN/m}^3$
- 15 cm asfaltert bærelag $\gamma = 33,8 \text{ kN/m}^3$
- 25 cm forsterkningslag $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$

På drivaksel godkjennes aksellast på 11,5 tonn. Dimensjonerende last settes til 60 kN, ca. 6,1 tonn. Tvillinghjulenes kontaktflate med vegbanen kan anses kvadratisk for beregninger dypt nede i overbygningen. Kontaktflaten blir $0,3 \text{ m} * 0,3 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2$, og belastningen fordeles med en vinkel på ca. 45° . Det vil si at $60 \text{ kN}/0,09 \text{ m}^2 = 670 \text{ kPa}$ fordeles 1 m utover for hver 1 m ned i konstruksjonen. I eksempelet blir da belastningsområdet på undergrunnen $0,8 \text{ m} * 0,8 \text{ m} = 0,64 \text{ m}^2$. Det vil si at det imaginære fundamentet på undergrunnen er 0,8 m bredt.

Overbygningens egenvekt er $q = 0,1 * 22,5 + 0,15 * 33,8 + 0,25 * 20 = 12,32 \text{ kN}$. Sammenlagt belastning på fundamentet blir da $(60 + 12,32)/0,64 = 113 \text{ kPa}$.

Fundamentet ligger på sand ($\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$) med friksjonsvinkel $\varphi = 30^\circ$. Det gir bæreevnefaktorene $N\gamma = 22,4$ og $Nq = 18,4$. Innsatt i Formel 1 får vi da:

Formel 5

$$\frac{Q}{A} = q * Nq + 0.4 * \gamma * B * N\gamma = 12,3 * 18,4 + 0,4 * 20 * 0,8 * 22,4 = 371,5 \text{ kPa}$$

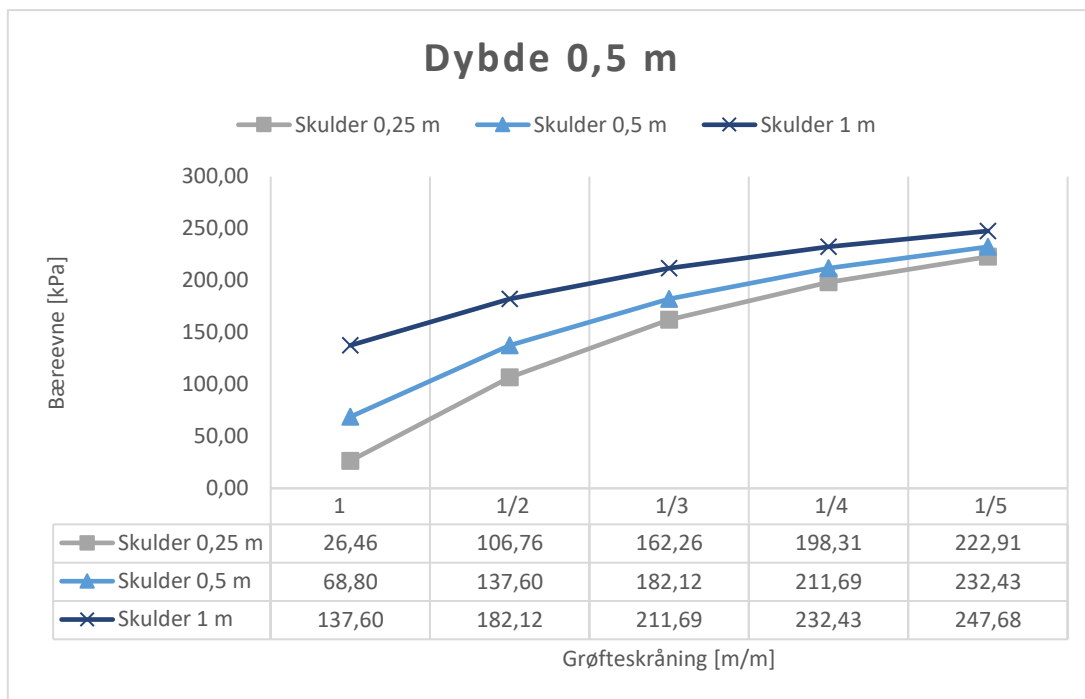
Bæreevnen på senterlinjen av vegen er altså 371,5 kPa, noe som gir en sikkerhetsfaktor $F_s = 371,5/113 \approx 3,3$.

Dersom skulderen er smalere enn $B \cdot \sqrt{Nq} = 0,8 \text{ m} \cdot \sqrt{18,4} \approx 3,4 \text{ m}$, som angir den bæreevnemessige minste strekningen, skal bæreevnen reduseres. Formel 6 viser parametere i reduksjonsfaktoren β .

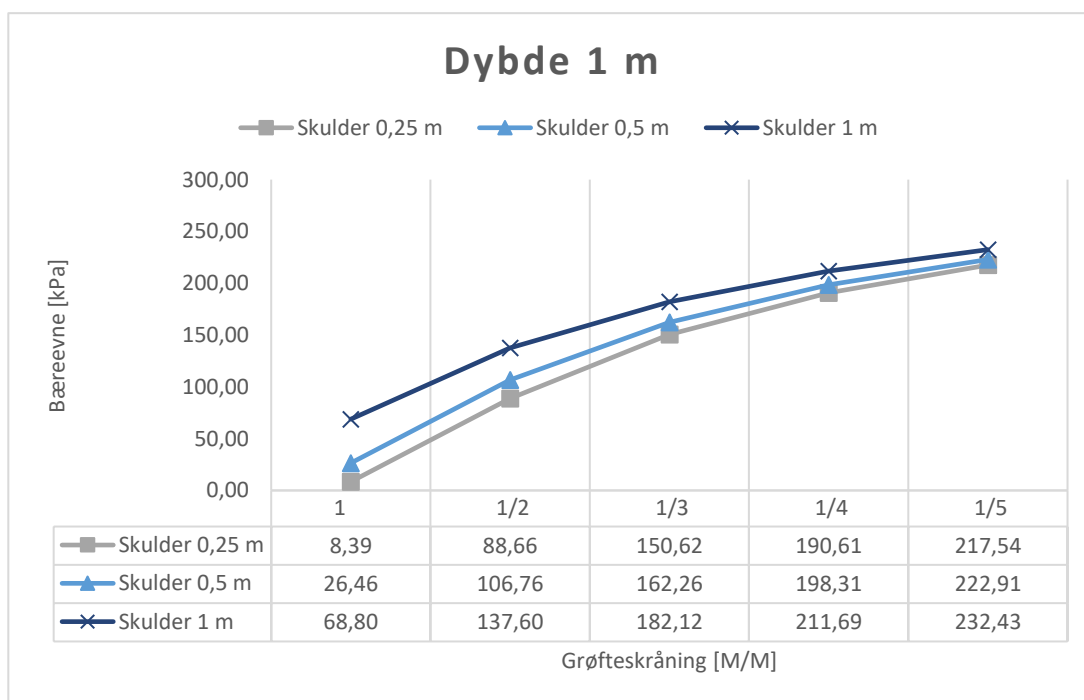
Formel 6
$$\tan \beta = \frac{\text{grøftedybde}}{\text{skulderbredde} + \left(\frac{\text{grøftedybde}}{\text{grøfteskråning}} \right)}$$

Figur 4 og figur 5 viser resultatene av forskjellige kombinasjoner grøfteskråning og skulderbredder.

Det som kan observeres er at spesielt ved dyp grøft, Figur 55, vil parameterne ha mye å si for bæreevne. Minner om at lastebildekket belaster vegkanten med 110 kPa, og en kan se at ingen av skulderbreddene er tilstrekkelig når grøfteskråningen hadde en vinkel på 45° dersom grøftedybden er 1 m. Det er også verdt å nevne at denne beregningen bruker statisk last, og at trafikk og dynamisk last vil ha en akkumulerende effekt (Granlund et al., 2012).



Figur 54 - Beregnet kantbæreevne med forskjellige parametere og 0,5 m dybde



Figur 55 - Beregnet kantbæreevne med forskjellige parametere og 1 m dybde

Resultatene etter formelen fra Granlund et al. (2012) viser også at skulderbredden har mye å si, og det er ikke tvil om at det mest kritiske vil være en kombinasjon av uakseptable målinger for lastavstand og sidevinkel. Når det er sagt vil det på dette stadiet i prosjektet være viktig å skille de to, for å kunne isolere effektene av den enkelte. Den geometriske faktoren er tross alt utledet fra én type overbygning og undergrunn, mens det i praksis vil være nesten like mange forskjellige resultater som undersøkte vegger. De generelle grenseverdiene basert på litteraturen foreslås derfor å være som følger i Tabell 12.

Tabell 12 – Generelle grenseverdier for grøfteskråningsvinkel

Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
< 1:2	1:2 – 1:3	> 1:3

3.2.6 Torvkant

Torvkanter antas å være mindre ugunstig jo større tverrfall, rett og slett på grunn av at avrenningshastigheten gjør at vannet finner vegen til grøften. Generelt antas det at torvkanter kan identifiseres ved å trekke en tangent fra asfaltkant til høyeste punkt innenfor 0,5 m fra asfaltkanten. Dersom tangenten har positiv stigning betyr det at det foreligger en torvkant som hindrer avrenning.

Det er imidlertid ikke slik at enhver torvkant er kritisk, og her velges det å differensiere på lengdeutbredelse og vegens lengdefall. En torvkant i en nedoverbakke vil bare lede vannet videre nedover bakken, og i den forstand bidra lite til infiltrasjon i skulderen. Mens en torvkant på 20 cm i praksis vil ha ekstremt liten effekt på infiltrasjonen siden vannet enkelt kan finne vegen rundt. Høyde vil også ha en effekt, men torvkanter egner seg ikke til å demme opp magasin. Det er ingen indikatorer i litteraturen som sier noe om hva som er minste høyde på torvkant, eventuelt dybde på erosjonsspor. Roadex benytter 2 cm som terskelverdi for å registrere torvkanter, og det kan virke som en logisk verdi (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21).

En torvkant i denne sammenhengen defineres derfor som alle sammenhengende torvkanter over 3 m, men utbredelsen telles i meter fra og med første registrering.

Tabell 13 - Grenseverdier for torvkanter

Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Ja - Fall < 5 %	Ja - Fall > 5 %	Nei

3.2.7 Oppsummerte grenseverdier for kartlegging på detaljnivå

De generelle grenseverdiene fra litteraturen er oppsummert i Tabell 14.

Tabell 14 - Oppsummerte grenseverdier for detaljnivå

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,7 m	0,7 – 1,0 m	> 1,0 m
Langsgående fall	< 5 ‰	5 – 10 ‰	> 10 ‰
Terskel	Ja	-	Nei
Lastavstand	< 0,9	0,9 – 1,0	> 1,0
Grøftevinkel	< 1:2	1:2 – 1:3	> 1:3
Torvkant/erosjonsspor	Ja - Fall < 5 %	Ja – Fall > 5 %	Nei

De oppsummerte grenseverdiene ser med første øyekast ut til å være relativt strenge, spesielt med tanke på tilstanden av drenering på mye av vegnettet i Norge. Det vil i praksis føre til svært mange røde resultater ved kartlegging, men det i seg selv bør ikke føre til en firing på kravene for å få færre dårlige resultater.

Lastavstand vil nok være en parameter som fører til mange røde vurderinger uavhengig av vegklasse. 0,9 m er en relativt lang distanse, og med tanke på at mye av for eksempel fylkesvegnettet ikke håndterer to trailere i bredden er det klart at det vil slå ut på denne målingen. Litteraturen ser imidlertid ut til å være klar på avstanden, og ikke minst virker det også logisk i praksis. En forbedring av disse parameterne i felt vil selvfølgelig ikke skje over natten, og det bør også differensieres på skadeutvikling i tillegg til de foreslåtte parameterne i Tabell 14.

3.3 Vurderinger for kartlegging på nettverksnivå

3.3.1 Parametere

En kartlegging på nettverksnivå vil ikke ha nytte av detaljnivået som legges til grunn for korte strekninger, og for å få en oversiktlig fremstilling vil det være nødvendig å velge bort mange av parameterne. Målet er å få en overordnet kartlegging av dreneringens påvirkning på levetid på nettverksnivå, og da bør de viktigste påvirkningsfaktorene med.

Grøftedybde er en av dem, litteraturen tyder på at det er den viktigste parameteren og påvirker også de andre gjennom regulering av vanninnhold i massene. Lengdefall og terskler er detaljdata som ikke egner seg i en slik større sammenheng. Lastavstanden er en parameter som er viktig, men utslagene kommer i all hovedsak gjennom kombinasjoner med sidevinkel. Det kan derfor være nyttig å benytte GEOM-faktoren som kombinerer lastavstand og sidevinkel (Dawson & Korkiala-Tanttu, 2008).

GEOM-faktoren vil ikke nødvendigvis gi et korrekt bilde for alle veger i Norge siden den ble utledet fra én type overbygning og med optimalt vanninnhold, men det kan hende at den gir tilstrekkelig dekning i en nettverkskartlegging som av natur må være overordnet. Torvkanter vurderes som noe som bør håndteres gjennom driftsoppgaver, og gir ikke mening å kartlegge utover kontraktsoner. Anbefalingen blir derfor å kartlegge grøftedybde og kombinasjonen lastavstand og sidevinkel.

3.3.2 Grenseverdier

Et viktig spørsmål i en slik kartlegging vil være hvordan grenseverdier skal settes, og videre hvordan en vurdering skal se ut. I utgangspunktet er det to måter å sette grenseverdier; Den ene er å bestemme generelle grenseverdier basert på skjønn som videre differensieres på veg- og trafikkklasse. Den andre muligheten er å gjennomføre detaljanalyser for utvalgte representative strekninger for å sette grenseverdiene etter dem, noe som kanskje vil redusere usikkerheten noe.

Sannsynligvis er det godt nok med generelle verdier basert på skjønn. Et annet moment er at det må gjøres mange detaljanalyser for å finne representative strekninger for alle typer overbygninger og undergrunner osv. Klima og topografi vil begge spille inn, så det kan bli mange faktorer som overkompliserer kartleggingen.

En annen vurdering som må gjøres er fremstillingen av resultatet, og det velges i denne rapporten å fortsette med den illustrative trafikklusmodellen. Det vil være et godt hjelpemiddel, og samtidig et sterkt virkemiddel dersom vegstrekninger ble fargelagt av den risikozonen dreneringen tilsa. Det vil i så fall være etter modellen til vann og avløpsetatene som kan bruke samme fremstilling gjennom Gemini VA.

En slik fremstilling vil medføre at grøftedybden og GEOM-faktoren må kombineres for å beregne risiko. En slik kombinasjon vil komme med forenklinger og kompromiss, og det finnes per i dag ingen spesifikk forskning som gir grunnlag for noe vektning av den enkelte parameter mot den andre.

Ut ifra resultatene i denne rapporten er det mye som tyder på at grøftedybden er den klart viktigste, og som tidligere nevnt vil den også påvirke begge inputene i GEOM-faktoren gjennom vanninnhold. For å forenkle vurderingen og utjevne styrkeforholdet mellom

grøftedybde og GEOM-faktor ble det bestemt å sette sistnevnte høyt. En GEOM-faktor på 1,6 tilsvarer for eksempel kombinasjonene; 0,8 m + 1:2, 0,65 m + 1:3 eller 1 m + 1:1.

På den måten kan den overordnede vurderingen følge den enkle prosessen ved at den høyeste risikozonen for de enkelte parameterne blir gjeldene for kombinasjonen. Tabell 15 lister opp forslaget til de generelle grenseverdiene for en nettverksnivå-kartlegging for Europaveg/Riksveg.

Tabell 15 - Forslag til generelle grenseverdier for Europaveg/riksveg og nettverksnivå

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,8 m	0,8 – 0,9 m	> 0,9 m
GEOM-faktor	> 1,6	1,6 – 1,4	< 1,4

4 Metode

4.1 Litteraturstudier

Litteraturstudiet i dette prosjektet er en generisk litteraturstudie og beskrives ikke i detalj, men følger de retningslinjer og anbefalinger gitt fra NTNU.

4.1.1 Litteratursøk

Det har vært en krevende og lang prosess å finne tidligere forskning, og ikke minst forskning av gjennomgående god kvalitet. I den forbindelse er litteraturen vurdert etter NTNUs retningslinjer og TONE-prinsippet som vurderer hver enkelt kilde mot troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet. Metodekapittelet har i så måte vært spesielt viktig i vurderingen av kvaliteten på kilden.

Litteratursøket har pågått, i større eller mindre grad, gjennom hele prosjektet og helt frem mot slutten. Fokuset har vært på publiserte artikler i fagfellevurderte databaser, men også åpne og spesifiserte søk i andre databaser. Scopus har vært flittig brukt, men Oria, Google Scholar og vanlig google-søk har også vært viktig for å utvide treffene noe. EndNote har vært veldig nyttig for å holde kontroll og orden på den relativt omfattende mengden med kilder. Sammensetningen av teori i dette prosjektet virker å være relativt upløyd mark, og det har derfor nærmest blitt skrevet områderapporter for de enkelte faktorer og parametere i teorikapittelet.

4.1.2 Litteratur

Inngangen til litteraturen og teorien i denne oppgaven ble lagt gjennom et grunnlag med vannets påvirknings av granulære materialer, og videre ble det funnet sammenhenger og annen litteratur som ble vurdert til å være interessant for dette prosjektet. Roadex er nok den kilden som har publisert litteratur som i størst grad har vært tilpasset dette prosjektet, med både teori og forskning som ligner på denne type prosjekt.

Der det ikke er funnet nødvendig teori har annen litteratur og undertegnedes teoretiske forståelse blitt benyttet for å bygge broer mellom lignende problemer og forskning og dette prosjektet.

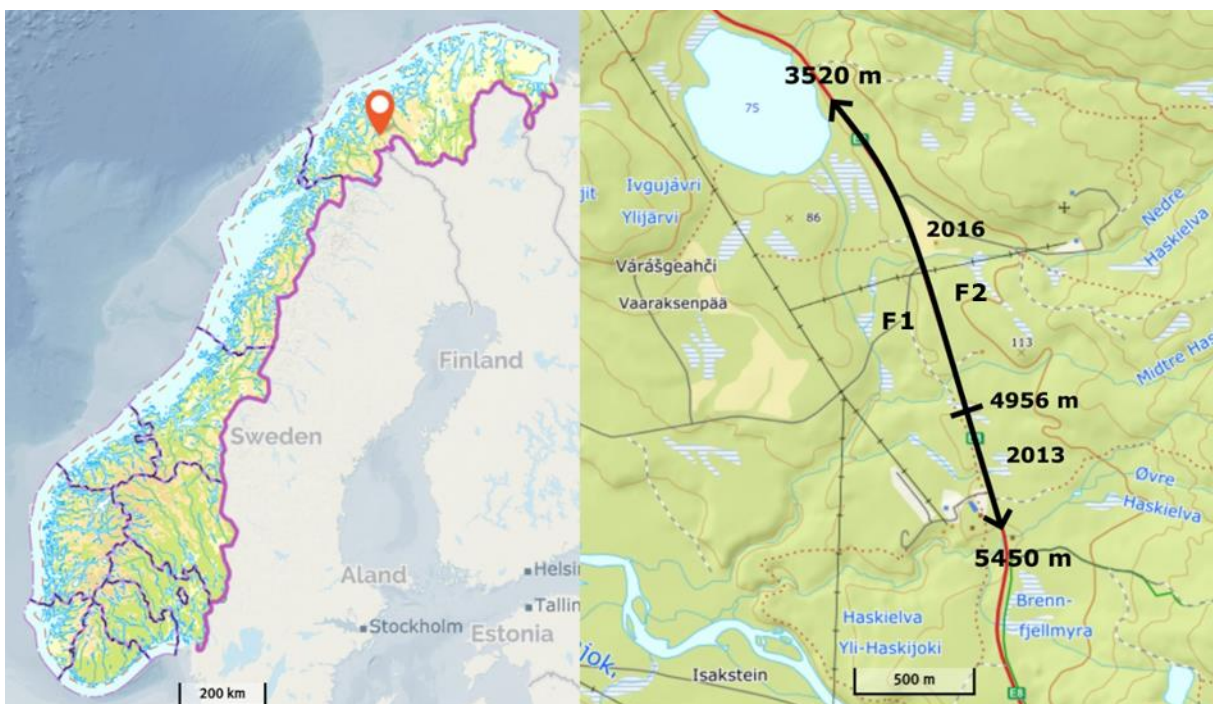
4.2 Uformelle intervjuer

Intervjuer har, i dette prosjektet, i stor grad handlet om presentasjon og åpen diskusjon om funn og bakenforliggende årsaker i den statistiske analysen. På det planet har Per Otto Aursand og Timo Saarenketo vært veldig behjelpelige og innsiktsfulle. Møtene har foregått over Microsoft Teams, og har vært uformelle i formen, men likevel vært planlagt for å utnytte tiden og få frem spørsmål og uklarheter som måtte foreligge.

4.3 Beskrivelse av strekningen

Strekningen som er analysert i dette prosjektet ligger i Skibotndalen på Europaveg 8 som strekker seg fra Skibotn til Finland, og er værmessig beskyttet av de høye Lyngsalpene som skjermer for både nedbør og vind fra havet i vest. Grunnforholdene er i hovedsak tykk havavsetning med til dels finkornige masser, mens en mindre del ligger på tynn moreneavsetning og to korte strekninger krysser myrområder med mektighet over 0,5 m (NGU, 2021).

Fallet fra Stolpefjellet, på høyre side i Figur 56, flater noe ut i området hvor vegen ligger. Det fører til at det ikke er veldig stor forskjell på skjærings- og fyllingsside, men noe forskjell er det likevel som fører til at avrenningen langs skjæringsiden (F2) må håndteres i større grad av dype sidegrøfter og føres gjennom vegen til resipient som enten er myr, vann eller via Skibotnelva og ut i Storfjorden.



Figur 56 - Kartutsnitt fra Norgeskart.no

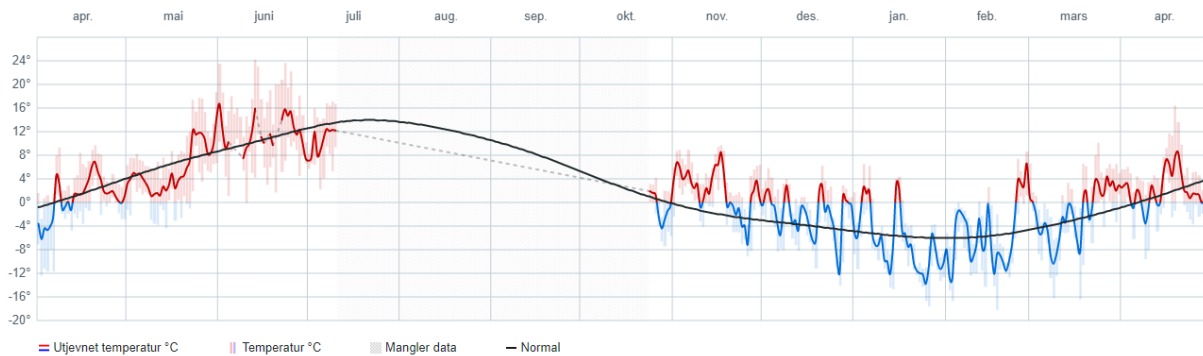
Skibotn ligger på 2. plass blant topp 10 steder med minst sommernedbør i perioden 2010 – 2019 ifølge Aftenposten som har hentet opplysningen fra Meteorologisk Institutt (Amundsen, 2020). Sammenlignet med Tromsø som ligger vest for Lyngsalpene faller det nesten dobbelt så mye nedbør i Tromsø som i Skibotn, med henholdsvis 77 mm og 43 mm i gjennomsnitt i juli måned. På årsbasis er Skibotn med sine 300 mm/år tørrere enn Athen

Jan	Feb	Mars	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
-9 °C	-8 °C	-6 °C	-1 °C	2 °C	7 °C	14 °C	12 °C	8 °C	0 °C	-4 °C	-7 °C
24 mm	29 mm	34 mm	25 mm	22 mm	39 mm	43 mm	33 mm	25 mm	25 mm	25 mm	22 mm

Figur 57 - Månedlig klimastatistikk for Skibotn basert på de siste 30 år (web&media, 2021)

(Hellas) som er Europas tørreste storby med 365 mm/år. Figur 57 viser gjennomsnittlig temperatur- og nedbørsdata basert på de siste 30 årene.

Figur 58 fremstiller temperaturdata fra april 2020 til april 2021, og viser at det er til dels stor variasjon i temperaturen også på vinterstid. Gjennomsnittstemperaturen synker under 0°C, men øker med jevne mellomrom til temperaturer over 0°C noe som gir mange tine-/fryse-sykluser i løpet av vinteren og våren.

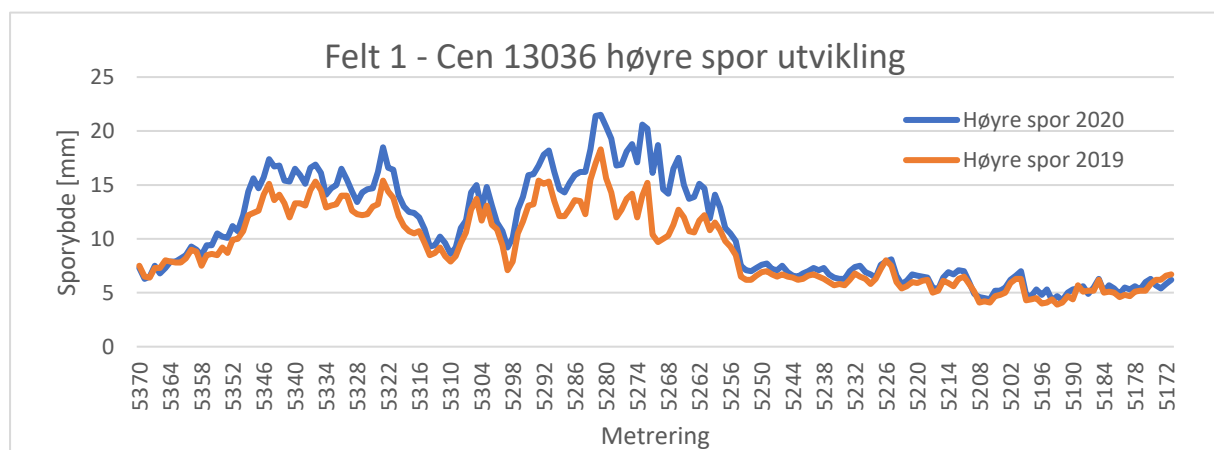


Figur 58 - Temperaturdata fra april 2020 - april 2021 (Yr.no)

Slitelaget er Asfaltgrusbetong med største nominelle kornstørrelse 16 mm (Agb16) for hele strekningen, med ca. 4,5 cm mektighet (ca. 100 – 110 kg/m²). Første del fra m3500 – m4965 er lagt i år 2016, mens videre fra m4965 til m5450 har leggear 2013.

Strekningen har årsdøgntrafikk (ÅDT) på 815 kjøretøy i 2014 med 26 % lange kjøretøy, noe som tilsvarer 211 lange eller tunge kjøretøy i døgnet (ÅDT-T) og trafikkgruppe B/C. Det er ikke oppgitt noe trafikkøkning, men hvis en legger til grunn 2 % økning hvert år fra 2014 vil ÅDT i 2019 være 900 og ÅDT-T ca. 234 tungbiler som også tilsvarer trafikkgruppe B/C (NVDB, 2021).

Statens vegvesen endret vegreferansesystem i 2020, og det var derfor nødvendig å gjøre en kalibrering av spordybde data for de forskjellige systemene. Spordata fra år 2019 og år 2020 ble satt i samme diagram og videre ble 2019 målingen flyttet slik at den passet med referansesystemet fra 2020. Det var nødvendig for å hindre feilmålinger på grunn av forflytning, men også for å sikre at grøftedybde- og sidevinkeldataene ble plassert på rett sted i Excel. Et eksempel er vist i Figur 59, og det er gjort en tilpasning slik at mest mulig skal stemme overens.



Figur 59 - Kalibrering av spordybde F1

4.4 Innsamling og prosessering av data

Parametere er valgt på bakgrunn av teori, og om det kan forventes at parameterne har en ikke-neglisjerbar effekt på skadeutvikling. Det er også tatt hensyn til om det er mulig å fremskaffe data fra Lidarmålinger, samt om det er mulig å fremskaffe og behandle data for dette case-studiet. Det er imidlertid ingen parametere som er utelukket på bakgrunn av at de ikke kunne samles inn. Data hentes i stor grad ut fra genererte rapporter i ViaPPS-desktop, og behandles videre i Excel.

4.4.1 Grøftedybde

Grøftedybder og sidevinkler er levert av Roadscanners til Statens vegvesen i forbindelse med forsøk gjort på strekningen. I denne rapporten settes det en grense i Excel på at grøftebunnen maks kan være 4 meter unna vegen, og grøftedybdene fra Roadscanners kontrolleres ved hjelp av en logisk regel. Dersom sidevinkelen er større enn 4, og den målte dybden ligger utenfor 4 meter bredde vil dybden endres til den korresponderende dybden ved 4 meters bredde.

Dette gjøres for å hindre at slake sidevinkler får stå med dyp grøftedybde på tross av at dybden er målt langt utenfor en effektiv bredde for grøften. Det betyr i prinsippet også at maks dybde i analysen avhenger av den minste sidevinkelen, men denne dybden vil være godt over 2 meter under vegdekket slik at det ikke bør gi utslag i analysen.

4.4.2 Spordybde

Cen 13036 benyttes med rettholt 1,5 m venstre, og 1,8 m høyre etter flere forsøk for å bedre lokalisere og identifisere det ytre sporet. Standard verdier er 1,5 venstre og 1,5 høyre, men i dette tilfellet var ikke det optimalt. Bakgrunnen for at CEN13036 benyttes, og ikke bunnrettholt som er standard i Norge, er for å kunne skille høyre og venstre spor. Bunnrettholt måler høyden på ryggen mellom sporene, mens CEN13036 måler med rettholt over sporene.

Verdier for ytre spor hentes fra laserdataene gjennom rapportgenerering i ViaPPS desktop. For å filtrere ut feilmålinger settes godkjente verdier til å ligge innenfor 0,5 til 1,4 m i det lokale koordinatsystemet som baseres på at målepunktet er 0. Høyre spor ligger til høyre for målepunktet som er midt på bilen, mens venstre spor ligger til venstre for målepunktet og får samme grenseverdier med motsatt fortegn. Verdier utenfor disse grenseverdiene slettes og anses som feilmålinger. Det kan for eksempel skyldes at algoritmen har tolket et spor mellom asfaltkant og torvkant.

4.4.3 Lengdefall og terskler

Lengdefallet bestemmes ved å trekke grøftedybde fra dekkehøydedata. Grøftedybdene er levert av Roadscanners til Statens vegvesen i forbindelse med et tidligere pilotprosjekt. For å avgjøre lengdefall og dempe oscilleringene i høydedata velges det å benytte et 5 meter løpende snitt, hvor stigningstallet baseres på en linje mellom to punkter som er 2 meter bak og 2 meter foran punktet. Det vil si at stigningstallet beregnes først, før lengdefallet beregnes som et 4 meters løpende snitt basert på stigningstallet.

Terskler identifiseres gjennom en logisk regel som gir sann dersom fallet går fra minus til pluss, eller med andre ord et lavbrekk. Dersom en terskel identifiseres, går den logiske testen videre og markerer hver meter inntil 10 m bakover fra terskelen dersom fallet de 10 meterne har kontinuerlig fall mot terskel. Dersom «terskelen» er et lavbrekk, og ikke

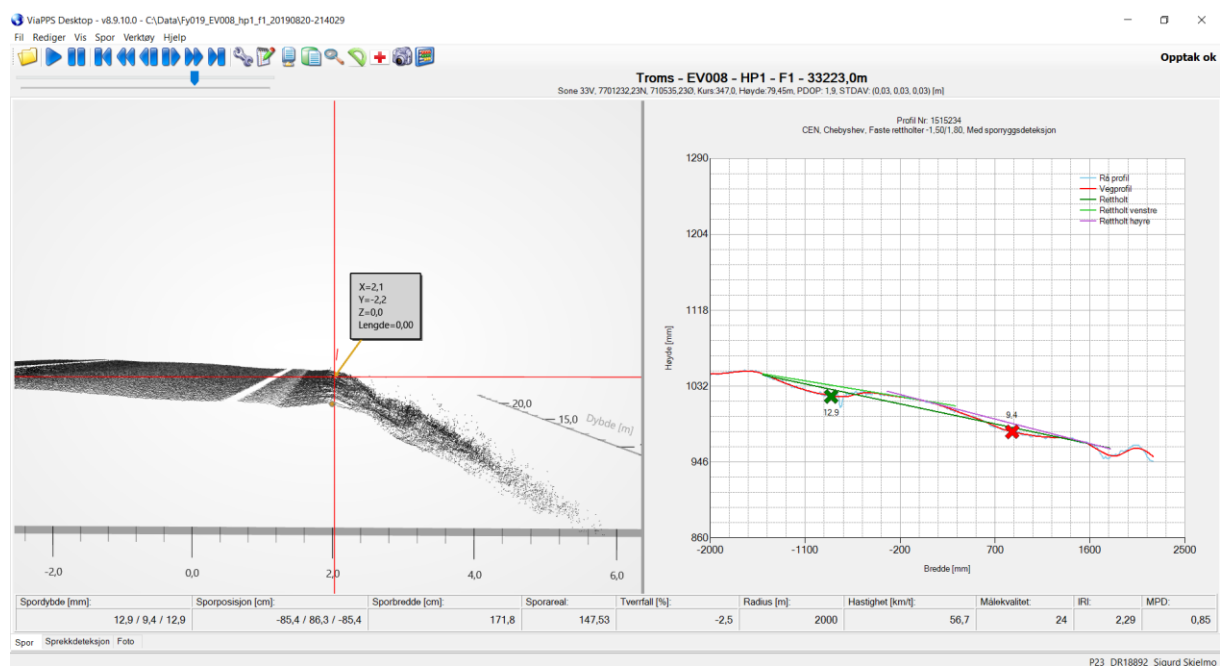
for eksempel en privat avkjørsel, vil også inntil 10 meter foran terskelen markeres som påvirket av terskel dersom fallet er kontinuerlig mot lavbrekk.

4.4.4 Lastavstand

Lastavstand er avstanden mellom senter ytre spor og det teoretiske knekkpunktet mellom tangenten fra skråningsvinkel og tangenten fra asfalten. Sporposisjonen genereres automatisk fra ViaPPS-rapport, mens det teoretiske knekkpunktet måles manuelt i det lokale koordinatsystemet. Bakgrunnen for at lastavstand benyttes i stedet for skulderbredde som i praksis er et mer kjent begrep er to-delt. Sporposisjonen oppgis med stor nøyaktighet, mens skulderbredde beregnes fra hvitlinje som ikke registreres med samme nøyaktighet i ViaPPS. For det andre vil ikke skulderbredde gi et godt mål i denne sammenhengen, siden det ikke sier noe om hvor lasten påføres. Skulderen kan være veldig smal, men dersom trafikken kjører langt inn fra hvitstripa vil resultatet være veldig liten skadeutvikling. Lastavstanden er i så måte en bedre parameter som også kan overføres direkte til geoteknisk fagområde med last og avstand til skråningstopp.

Sporposisjon oppgis i ViaPPS rapporter, og for denne målingen vil gjennomsnittet av høyre sporposisjon fra 2019 og 2020 benyttes. Sporposisjonen filtreres som tidligere nevnt under spordybde gjennom en kontroll for validitet, og ved å benytte gjennomsnittet av to målinger oppnår en høyere kvalitet på målingen. Det bidrar i tillegg til å tette noen hull som følge av datatap på grunn av valideringskontroll eller at ViaPPS ikke var i stand til å finne riktig spor. For felt 2 (mot Skibotn) har det ikke lyktes å få tak i lasermålingen fra 2020, derfor vil høyre sporposisjon for 2019 benyttes direkte.

Skulderkanten måles manuelt med trådkors i ViaPPS og måles en meter av gangen med en nøyaktighet på en tidels meter (se Figur 60). Sporposisjonen og skulderkantmålingene følger begge de lokale koordinatene relativt til laserscanneren. Det vil si at dersom målebilen varierer avstanden fra kanten vil de lokale koordinatene endres tilsvarende, på den måten vil en ved å trekke fra sporposisjonen fra skuldermålingen finne avstanden uavhengig av den relative plasseringen i koordinatsystemet.

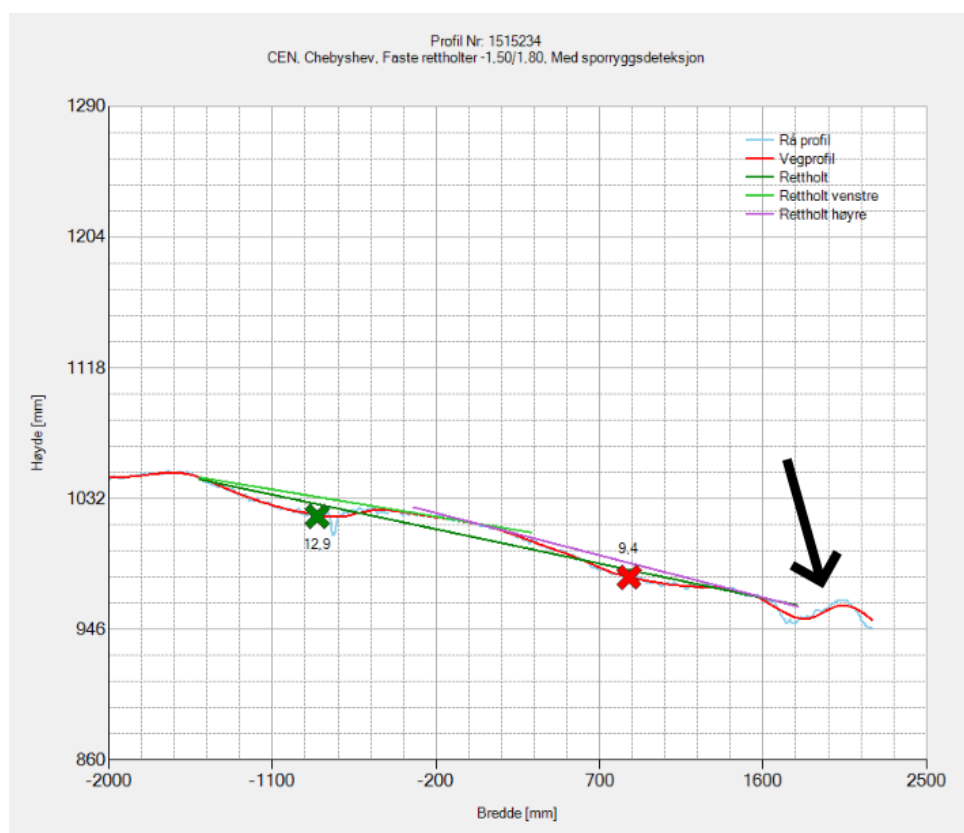


Figur 60 – Skjerm bilde fra ViaPPS-desktopt med manuell måling med trådkors i lokalt koordinatsystem.

4.4.5 Torvkant

Det er gjort en manuell gjennomgang av laserdatabene for hele strekningen meter for meter. Torvkanter/erosjonsspor registreres fra første meter dersom utbredelsen er over 3 sammenhengende meter, og at torvkanten/erosjonssporet er høy/dyp nok til å hindre avrenning. Det var i praksis ikke mulig å benytte grenseverdier i den manuelle kartleggingen, et naturlig krav kunne vært at torvkanter bare registreres dersom de er høyere/dypere enn 2 cm.

Den visuelle gjennomgangen er støttet av profilavleseren i ViaPPS hvor det tydelig fremkommer av den røde kurven i Figur 61 (Vegprofil) om vannet hindres avrenning på grunn av torvkant eller erosjonsspor. Det kan ha ført til at korte strekninger med svært lav/grunn torvkant er registrert i dataene, men det vurderes til at den sammensatte visuelle vurderingen er tilstrekkelig for dette prosjektet.



Figur 61 - Profilavleser i ViaPPS-desktop

4.5 Statistisk analyse

For å forsøke å isolere de forskjellige effektene anses det som nødvendig å gå relativt bredt ut, og benytte forskjellige målbare enheter for å skape et helhetlig bilde. Av den bakgrunn velges fire forskjellige enheter som hver for seg og samlet kan gi gode svar i analysen. De fire enhetene er sporutvikling, spordybde, forholdstall og IRI. Grunnet manglende lasermålingsdata for felt 2 i år 2020 er ikke sporutvikling tilgjengelig for felt 2.

Sporutviklingen er utviklingen i spordybde fra 2019 til 2020, og sier først og fremst noe om sporutviklingen denne året. Noen år er sporutviklingen større enn andre, og vil i første omgang være påvirket av klimafaktorer og nedbør. Spesielt viktig er tine-/frysesykluser og perioder med overflødig vann i tilknytning til veggen, som for eksempel vårtiningen. Det er imidlertid ikke unyttig å vite noe om sporutviklingen, som for denne relativt korte stekningen vil ha lik påvirkning av ytre faktorer. Sporutviklingen bør teoretisk gi et øyeblikksbilde på hvordan sporutviklingen er for den enkelte parameter, og i tillegg kan den også gi en mulighet til å tolke om skadeutviklingen er akselerert dersom sporutviklingen tilsier en mye høyere spordybde enn hva som er registrert.

En annen måte å se sporutvikling på er årlig gjennomsnitt ved hjelp av etableringsår og spordybde, samt en forenkling om at initialspor settes til 2 mm. Det kunne vært interessant, men ble i dette tilfellet valgt bort for å se direkte på spordybde og i tillegg få svar på hvordan sporutviklingen er på dette stadiet i tilstandsutviklingen.

Spordybde er en enhet som sier noe om skadetrend over tid, og brukes direkte i PMS som vi benytter i Norge. Spordannelser kan ha flere årsaker, som tidligere redegjort for, men er et av de viktigste målene vi bruker i forbindelse med tilstandsutvikling.

Enheden forholdstall er spordybde høyre spor over spordybde venstre spor. Bakgrunnen for at forholdstallet er interessant å vite noe om er fordi venstre spor ligger midt i veggen med god lateral innspenning, og kan i så måte regnes som optimal situasjon med tanke på bæreevne og motstand mot permanent deformasjon. Dersom spordybden i det ytre sporet er høyere enn spordybde i venstre spor vil det være et tydelig tegn på at grøfteutformingen bidrar til å redusere bæreevnen for ytre del av veggen.

Det er imidlertid ikke slik at en forventer at forholdstallet skal være 1 (lik sporutvikling for venstre og høyre spor). Dette er urealistisk på grunn av grøftens utforming, vannledende funksjon og arealbegrensning. Det er også kjent at vannet i vårflommen kan bli stående i grøften, og da vil en kunne se langt høyere sporutvikling i ytre spor enn i indre spor som følge av at vanninnholdet er en funksjon av avstanden til vannkilden.

IRI-verdien vil også gi et bilde på utviklingen over en lengre periode, men er som kjent et mål på ujevnheter i lengdeprofilen. Det antas at IRI-verdien kan avdekke andre typer svakheter og kanskje større svakheter i forhold til spordybde. For eksempel forventes det at IRI-verdien ifølge litteraturen kan gi større utslag på stående vann i grøften, og er i så måte et nyttig tillegg for å danne et bilde av situasjonen langs strekningen. Forhøyet IRI-verdi vil, som tidligere nevnt, oftest lokaliseres på seksjoner med ujevne telehiv, setninger og skjærdeformasjoner som alle er tegn på høyt lokalt vanntilslag og -forekomst.

4.6 Evaluering av metode

Strekningen som undersøkes er 1,95 km lang, eller med andre ord 1950 unike målinger for hvert kjørefelt. Det er en del data, men samtidig i minste laget for å finne definitive svar for hvordan de enkelte parametere påvirker nedbrytningen av veggen. Det understrekes at dette er en liten casestudie, og vil i så måte kunne gi anbefalinger til et utvidet prosjekt i fremtiden. En annen faktor som med fordel kunne vært tatt større hensyn til var valget av test-strekning, og spesifikt den lave dekkealderen på mesteparten av strekningen. Det ble tydelig i den statistiske analysen at målingene på dekket som var bare 3 år ikke ga de samme klare resultatene som for dekket som var 7 år. Det var imidlertid ikke unyttig å undersøke det nye asfaltdekket, og det ble på den måten funnet noen andre interessante svar som ellers ikke ville kommet frem.

Selv om dekkealderen er relativt lav har det likevel lyktes å isolere effekter og skadetrender, som både er logiske i praksis og ifølge litteraturen. En nøkkelfaktor for i den statistiske analysen var å ha 4 forskjellige målbare enheter som hver enkelt bidrar med input fra en annen synsvinkel, og som dermed gjør det mulig å vurdere fra et større perspektiv. Det må imidlertid presiseres at en alltid kunne hatt flere målbare enheter, som for eksempel gjennomsnittlig sporutvikling pr år i levetiden minus 2 mm initialspor. Ifølge Timo Saarenketo er det en enhet som Roadex og Roadscanners har undersøkt og som de er i ferd med å publisere interessante resultater i forbindelse med pilot prosjektet PEHKO (T.Saarenketo, Ph.D, personlig kommunikasjon, 31.05.21). I dette prosjektet ble en slik enhet vurdert til å være dekket av sporutvikling siste år og spordybde. I tillegg ble det vurdert at gjennomsnitt pr år fra etableringsår potensielt kunne gi et feilaktig bilde av hvordan utviklingen er på dette tidspunkt siden nedbrytningen av veggen ikke er regnet for å være lineær.

En annen enhet som kunne og kanskje burde vært inkludert er bunnrettholt-metoden som er den norske standarden for spordybde, men ved å bruke spordybde for ytre spor samt kombinere det med forholdstallet mellom høyre og venstre spor ble det vurdert til at spordybde målt med bunnrettholt ikke ville gi mer informasjon.

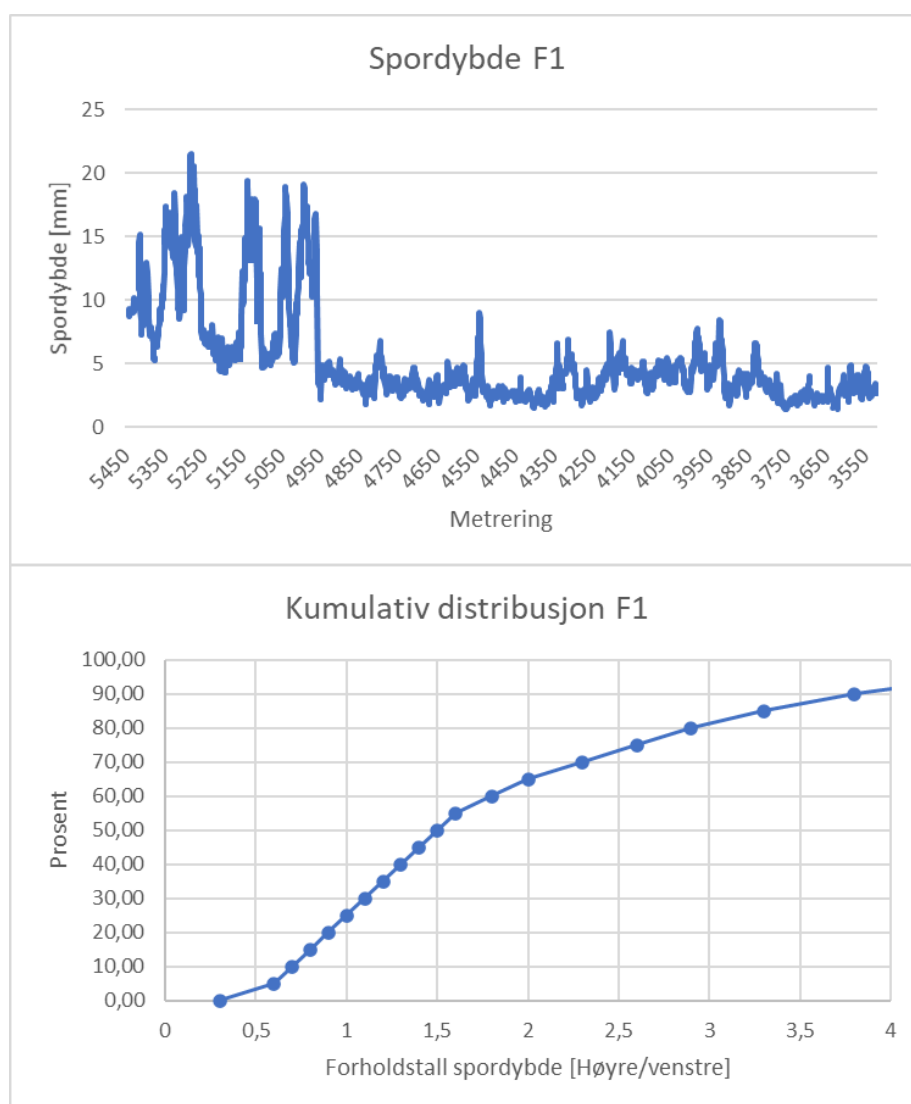
Alt i alt er undertegnede fornøyd med metoden og utførelsen, og det er klart at den brede inngangen til prosjektet med mange undersøkte parametere gjør at detaljnivået som hver enkelt parameter er undersøkt kunne vært noe dypere. Metoden virker i all hovedsak å ha bidratt til å finne svar på de spørsmål som stilles i dette prosjektet.

5 Analyse

5.1 Felt 1 – fyllingsside

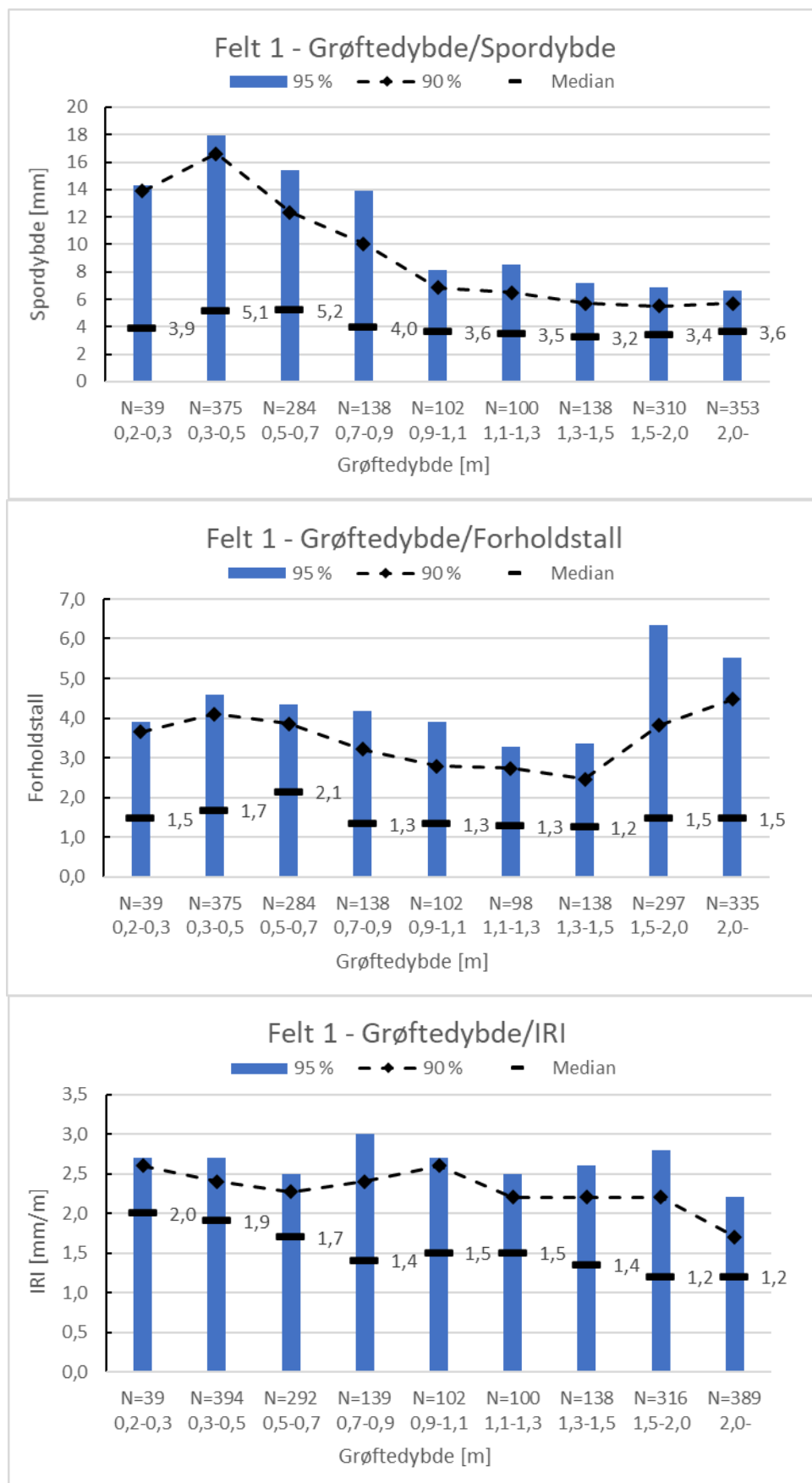
Kjørefelt 1 (F1) fører trafikken i retning Finland og ligger på fyllingssiden av tverrprofilen. Det er imidlertid ikke bare fylling på strekningen, noe går gjennom bergskjæringer og områder med grøfter på begge sider av vegen. Det overordnede landskapets fall ligger likevel slik til at F1 er nedstrøms med hensyn på avrenning og grunnvann.

Figur 62 viser spordybde målinger for F1, og det kommer klart frem av dataene hvor skillet mellom asfalten fra 2016 og 2013 befinner seg. Generelt er sporutviklingen lite konform over strekningen, og det er tydelig at korte problemområder drar ned den helhetlige vurderingen. Den kumulative fordelingen av forholdstall mellom høyre og venstre spordybde antyder relativt stor reduksjon av levetid på grunn av utilstrekkelig grøft. 50 % av målingene har et forholdstall over 1,5 som i praksis betyr at høyre spor er 50 % dypere enn venstre spor. Det er forventet at de aller fleste målingene skal ligge over 1,0, men jo nærmere 1,0 jo bedre.

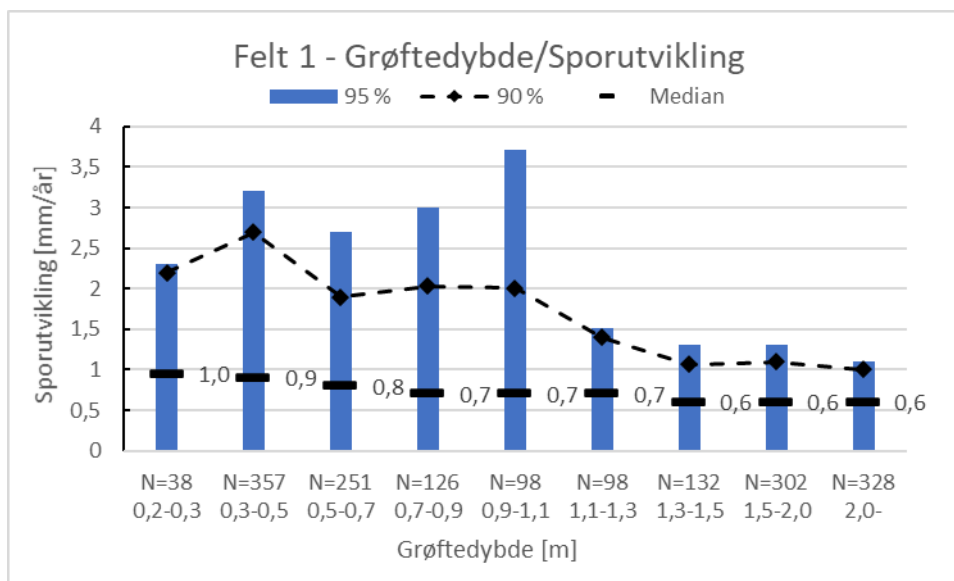


Figur 62 - Spordybde data for F1 og kumulativ fordeling av forholdstall

5.1.1 Grøftedybde



Figur 63 - Analyse F1 grøftedybde: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 64 - Analyse F1 grøftedybde: Sporutvikling

Spordybde

Figur 63 viser en klar sammenheng mellom grøftedybde og spordybde for alle indikatorer, spesielt fra 0,3-0,5 m og større. Medianverdien viser en klar nedadgående trend, men både 90- og 95-persentilen synker ved økning i grøftedybde. Alle indikatorene er relativt samstemte, og en kan se en markant reduksjon fra dybde 0,5 – 0,7 m til 0,7 – 0,9 m. Det er en sterk indikasjon på at overbygningen er drenert ved grøftedybder over 0,7 m. Videre er det en utflatende trend helt til medianen begynner å stige fra 1,5 m og oppover. Sistnevnte henger trolig sammen med at målte grøftedybder i denne analysen er på maks 4 m fra vegkanten. Det vil si at grøftedybder over 1,33 m har en brattere sidevinkel enn 1:3, noe som antas å bidra til økt sporutvikling. De siste intervallene blir nok derfor forurenset av den negative effekten av bratt sidevinkel.

Forholdstall

Forholdstallet viser en interessant sammenheng hvor de tre første intervallene stiger forholdstallet før det synker markant ved 0,7 – 0,9 m. Det virker å være logisk at den lave grøftedybden vil føre til at grunnvannet nærmer seg effektiv sone og kan trekkes opp i overbygningen. At forholdstallet øker betyr i prinsippet at det venstre sporet gradvis dreneres og forskjellen mellom høyre og venstre spor blir større, før begge spor er drenert over 0,7 m. Det kan stemme godt med litteraturen om at ca. 50 % av nedbrytningen foregår på våren, i tillegg til det faktum at Skibotn har svært liten årlig nedbørsmengde. En vårflo i grunn grøft kan gi stor infiltrasjon inn i overbygningen, og spesielt for det ytre sporet, mens det venstre sporet i større grad påvirkes av kapillær stigning fra grunnvannet.

Forholdstallet synker fra 2,1 til 1,3 i området mellom 0,5 – 0,7 m og 0,7 - 0,9 m, og holder seg lavt helt til grøftedybden overstiger 1,5 m. Det kan tyde på at begge sporområdene får tilstrekkelig drenering i dette området, og at grøftedybden i liten grad bidrar negativt til nedbrytning. Grøftedybdene over 1,5 m får en større negativ kanteffekt, som tidligere nevnt er det trolig effekten av bratt sidevinkel som kommer til syne.

IRI

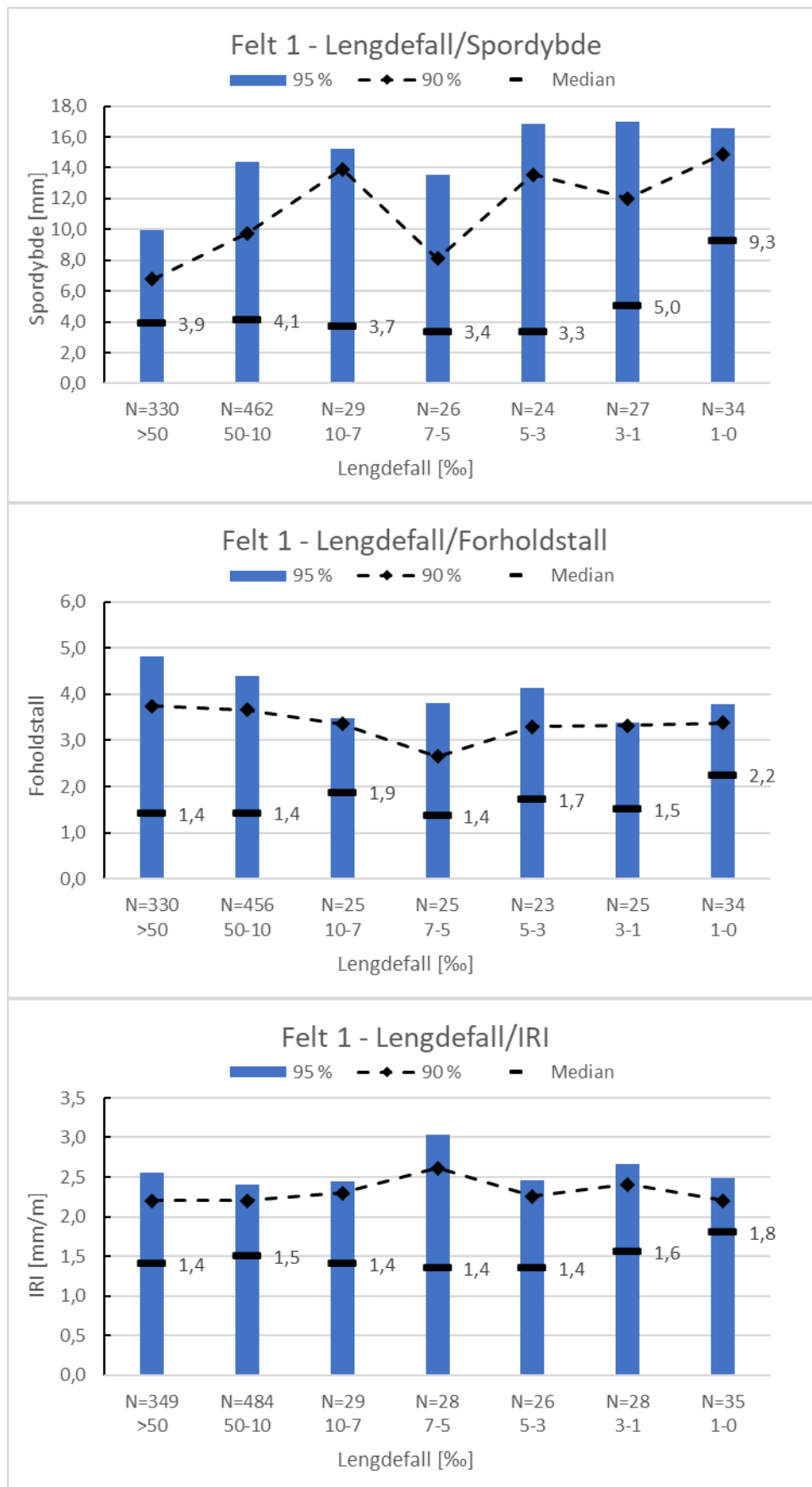
Alle indikatorverdiene for IRI synker gradvis ned til det stabiliserer seg fra og med intervallet 0,7 - 0,9m. Langsgående ujevnheter vil i praksis være ujevne setninger i lengderetning, og det gir mening at forhøyet vanninnhold vil gi større lokale setninger, ujevnt telehiv eller skjærdeformasjoner. Siden vanninnholdet er en funksjon av avstanden til vannkilden, er det god overenstemmelse med effektene av smeltevann i grunne grøfter hvor vårens tine-/frysesykluser kan gi ujevne telehiv langs lengdeprofilen. Resultatet stemmer også godt med rapportene fra PEHKO-prosjektet fra Nord-Finland, som kan antas å ha tilsvarende oppbygging og undergrunn, se Figur 43.

Intervallet 0,9 – 1,1 m får et overraskende løft for alle indikatorer, og det kan for eksempel skyldes lokale forhold som at store deler av dataene for den grøftedybden ligger over myr eller ligger i en vindtunnel som fører til snøskavl på vinteren. Det er ikke gått nærmere gjennom dataene for å undersøke denne sammenhengen. Det må også tas til etterretning at dette kjørefeltet er på fyllingssiden, og at det forventes større utslag på skjæringsiden.

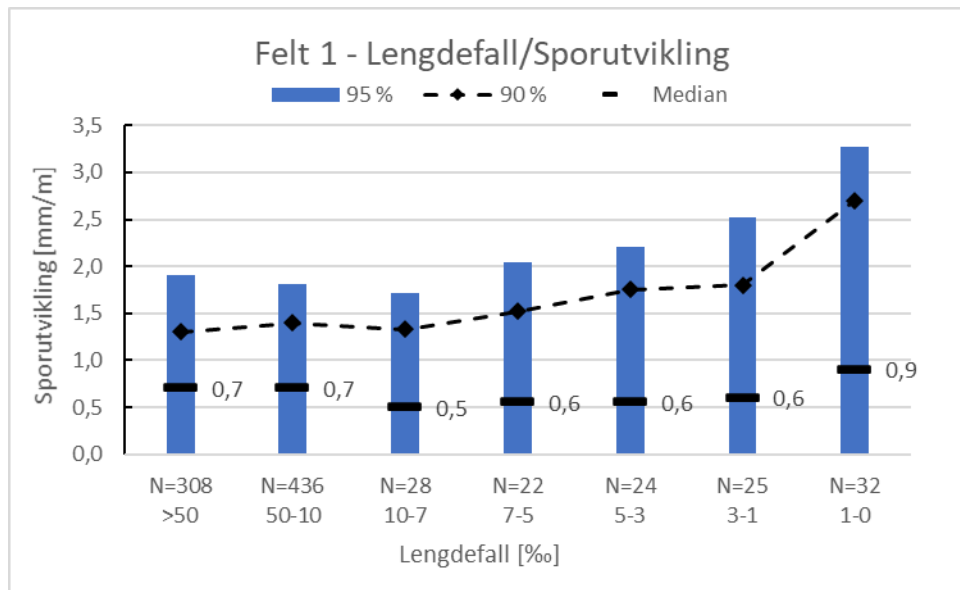
Sporutvikling

Sporutviklingen er mellom 1 og 0,9 mm/år for de grunneste grøftene, mens den ligger på 0,7 mm/år på grøfter som er dypere enn 0,7 m. Sporutviklingen er 28,5 % raskere for grøfter mellom 0,3 – 0,5 m i forhold til grøfter som er mellom 0,7 - 0,9 m. Sporutviklingen for de grunneste intervallene er høyere enn spordybden skulle tilsi, noe som kan tyde på en akselerert utvikling i perioden 2019-2020. Asfaltdekket er som nevnt relativt tidlig i tilstandsutviklingen, og det kan kanskje tyde på de aller grunneste grøftene har bedre lateral innspenning og klarer seg godt i starten av levetiden.

5.1.2 Lengdefall



Figur 65 - Analyse F1 lengdefall: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 66 - Analyse F1 lengdefall: IRI, sporutvikling

Som Figur 65 og Figur 66 viser har strekningen godt lengdefall med nesten 750 m med fall over 10 ‰, mens resten av intervallene har mellom 20 – 30 m (målinger) hver. Det betyr at ekstremaler og andre parametere fort kan forurense isoleringen av lengdefalleffekten. Figurene viser imidlertid en teoretisk logisk utvikling med en klar økning i skadegrad for lengdefall under 1 ‰.

Spordybde

Spordybden følger i all hovedsak en tydelig akselerasjon i skadeutvikling ved lengdefall under 3 ‰. Medianverdien viser en klar økning for lengdefall under 3 ‰, fra stabil spordybde rundt 3,5 mm. Intervallet mellom 3-1‰ har spordybdemedian på 5 mm, mens under 1 ‰ er samme verdi 9,3 mm.

Resultatene kan tyde på at undergrunnen er relativt permeabel, og tar godt unna vann gjennom infiltrasjon. Et annet moment er at det er svært lite nedbør i området, så nedbrytningen vil sannsynligvis foregå under vårtiningen når vannet samles på flate områder med svært liten infiltrasjon i bakken før telen går.

Forholdstall

For forholdstallet er ikke sammenhengene i Figur 65 like klare, men det er en klar økning under 1 ‰ som stemmer godt med spordybde og sporutvikling. Stående vann bør i teorien være mest kritisk for det ytre sporet, og det ser ut til å stemme av resultatene. Det er imidlertid noen målinger med høyt fall som ikke samsvarer med dette, for eksempel en medianverdi på 1,9 for intervallet 10 – 7 ‰. Det kan for eksempel skyldes at de fleste meterne med fall innenfor det nevnte intervallet ligger i en bergskjæring med dårlige grøfter, eller at det foreligger en hindring på en seksjon med slik fall som bidrar til å demme opp vann. Sistnevnte burde i så fall slått ut noe på IRI, men det later ikke til å være tilfelle. Antallet målinger er veldig lavt for de fleste intervallene, så det må forventes noen uventede utslag. Trenden er imidlertid økende for lavere fall, selv om resultatene oscillerer noe.

IRI

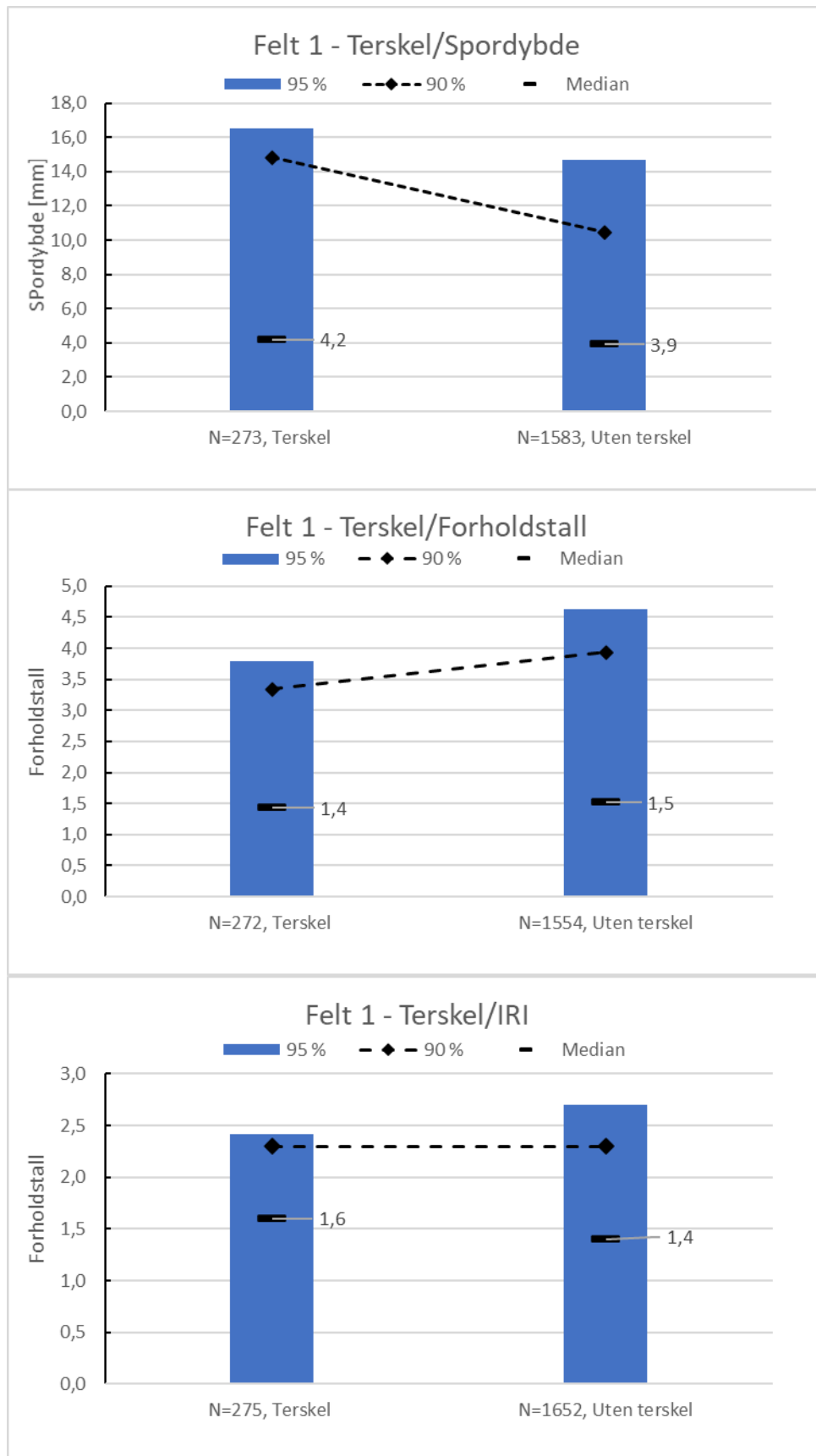
Medianverdien viser en klar og forventet sammenheng med lavere fall og høyere infiltrasjon av vann, og dermed utslag på jevnhet på langs. Økningen starter fra fall under 3 ‰ og øker videre for verdier under 1 ‰. Stående vann i grøften gir god grobunn for ujevne telehiv og setninger, og følger argumentasjonen til siste avsnitt under «Spordybde».

90- og 95-persentilen viser ingen tydelig trend, men det skyldes sannsynligvis det lave antallet med målinger for de laveste lengdefallene (26 – 35 målinger).

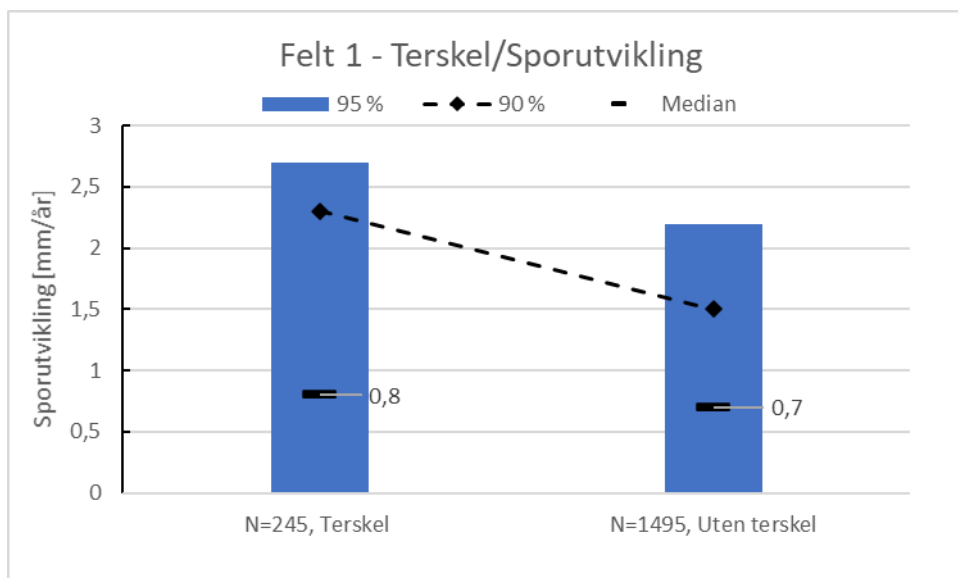
Sporutvikling

Medianverdien tyder på en høyere sporutvikling for større fall, mens 90- og 95-persentilen viser en mer naturlig gradvis økning med klart høyere stigningstall for lavere fall. Medianverdien får også en økning for verdier under 1 ‰, som tilsvarer 1 m høydeforskjell på 1000 m. I praksis er en slik stigning omtrent flat, og resultatene tyder på at vannet i større grad må infiltreres eller fordampes for lengdefall under 1 ‰.

5.1.3 Terskel



Figur 67 - Analyse F1 terskel: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 68 - Analyse F1 terskel: Sporutvikling

Spordybde

På strekningen ble det identifisert 275 m som var innenfor definisjonen av «påvirket av terskel», og spordybde data ser ut til å støtte en framskredet skadeutvikling. Medianverdien er 7,7 % høyere for terskelområder, men utslaget er større for ekstremalene. -persentilen er 41 % høyere for terskelområder enn andre områder, noe som kan tyde på at ikke alle områdene som er identifisert er like kritiske. De logiske reglene identifiserer for eksempel lavbrekk, men en stikkrenne vil falle inn under den definisjonen. Det må også understrekes at 7,7 % høyere medianverdi er en svært liten forskjell, men spordybdemedianen er også veldig lav med 4,2 mm og 3,9 mm. Forskjellene vil sannsynligvis øke med aldring og flere vårsesonger.

Forholdstall

Resultatet for forholdstall peker i motsatt retning. Alle verdier er høyere for områder uten terskler. En mulig forklaring kan være at terskler demmer opp relativt mye vann i vårtiningen, og at det vannet også påvirker det venstre sporet i en slik grad at nedbrytningen går raskere der også i en kort periode. Men siden vanninnholdet er en funksjon av avstanden til vannkilden er ikke den forklaringen særlig sannsynlig. En annen og kanskje bedre forklaring er at fyllingssiden har noe avrenning også normalt på vegen, og derfor ikke får den påvirkningen av stående vann i grøften. Dersom det var mye stående vann i grøften burde det gjenspeiles på store utslag på IRI-verdien, men differansen er relativt liten i dette tilfellet. Forventes større utslag på skjæringssiden enn på fyllingssiden.

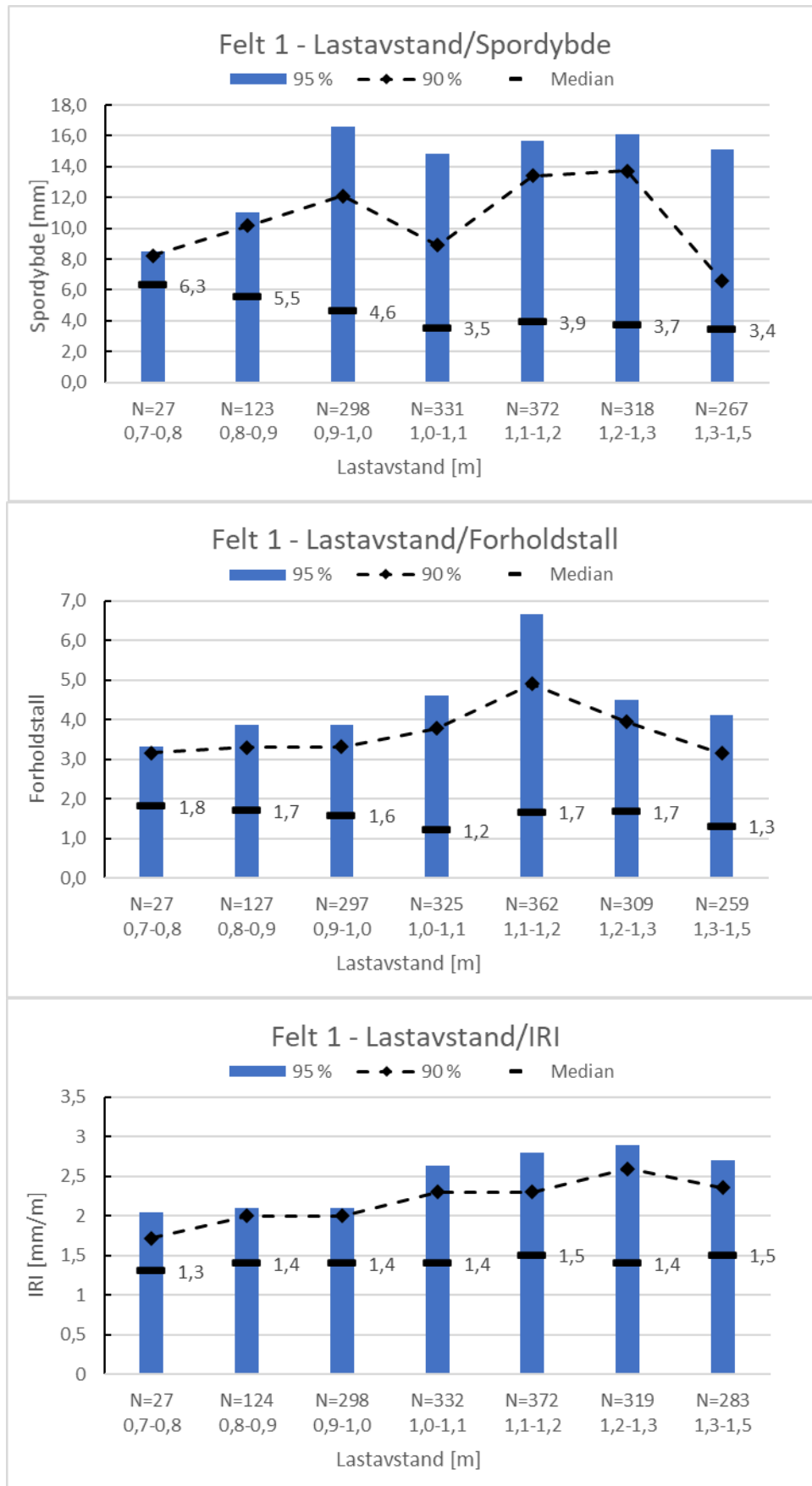
IRI

For IRI-verdien er 90- og 95-persentilen relativt like, mens medianen er 14,3 % høyere for terskelområder. Et område med lokalt forhøyet vannstand i grøften bør teoretisk og logisk sett slå ut på jevnhet på langs, og medianverdien tyder på det. Utslaget er imidlertid ikke så veldig stort, og med tilfeller av stående vann i grøften ville ujevne telehiv og setninger sannsynligvis kommet bedre frem av data. Medianverdien kan tyde på at noen terskler på fyllingssiden gir utslag i redusert levetid, men at avrenning fra vegen antageligvis hindrer større utslag.

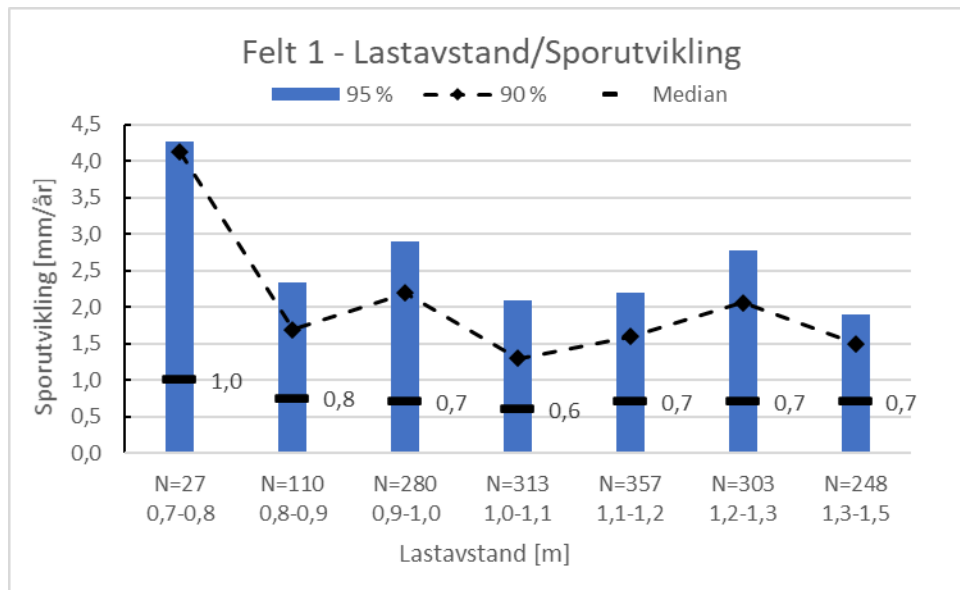
Sporutvikling

Sporutviklingsmedianen er 14,5 % høyere for områder med terskler, enn for områder uten. 90-persentilen er enda tydeligere med 53 % høyere sporutvikling, mens 95-persentilen viser en økning på 22,7 %. Resultatet tyder på at reglene var i stand til å identifisere områder som var påvirket av terskler, og at disse hadde markant større sporutvikling enn andre områder. Sporutviklingen antyder en større forskjell enn spordyden, noe som kan tyde på en akselerert utvikling i sesongen 2019 - 2020. At 90-persentilen er 53 % høyere kan tyde på at noen av terskelområdene ligger kritisk til med tanke på avrenning,

5.1.4 Lastavstand



Figur 69 - Analyse F1 lastavstand: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 70 - Analyse F1 lastavstand: Sporutvikling

Alle analyseenhetene viser i stor grad samme og forventet utvikling. Et uventet resultat er økningen i verdier fra lastavstander over 1,0 m, noe som går igjen i alle målene. Det er ingen åpenbar forklaring på utviklingen. Spormedianverdien ser ut til å øke for de to intervallene mellom 1,1 til 1,3 m, og det antas at lokale forhold langs strekningen forårsaker dette utslaget. Den samme trenden viser seg for sporutvikling og forholdstall som har et spesielt stort hopp. At forholdstallet øker så mye kan tyde på at lave grøftedybder påvirker dataene i dette tilfellet.

Spordybde

Medianverdien viser en klar gradvis reduksjon i skadeutvikling helt til lastavstanden blir over 1,0 m. Det stemmer godt overens med tidligere forskning på temaet, og er som forventet (Aksnes, 2002). 95- og 90-persentilen later ikke til å vise samme sammenheng, men det er forventet at disse verdiene kan variere stort som følge det relativt lave antallet målinger og den komplekse naturen til nedbrytning av vegen. Siden IRI-verdiene er så lave for dette kjørefeltet kan det tyde på at skadeutviklingen som følge av lastavstanden i stor grad stammer fra lavere bæreevne ut mot kanten, og nærmere bestemt lavere lateral innspenning.

Forholdstall

Forholdstallet viser i likhet med de andre målene en reduksjon ned til lastavstanden blir over 1,0 m hvor forholdstallet bare er 1,2. Det tyder på tilstrekkelig innspenning for de trafikale påkjenningene på denne strekningen ved 1,0 – 1,1 m i lastavstand. Forholdstallet stiger igjen etter det, med et stort utslag i 95- og 90-persentilen. Det antas at særskilte forhold langs strekningen skyldes utslaget på datasettet, og det er ingenting fra litteraturen som skulle tilsi økning etter å ha nådd et lavpunkt.

IRI

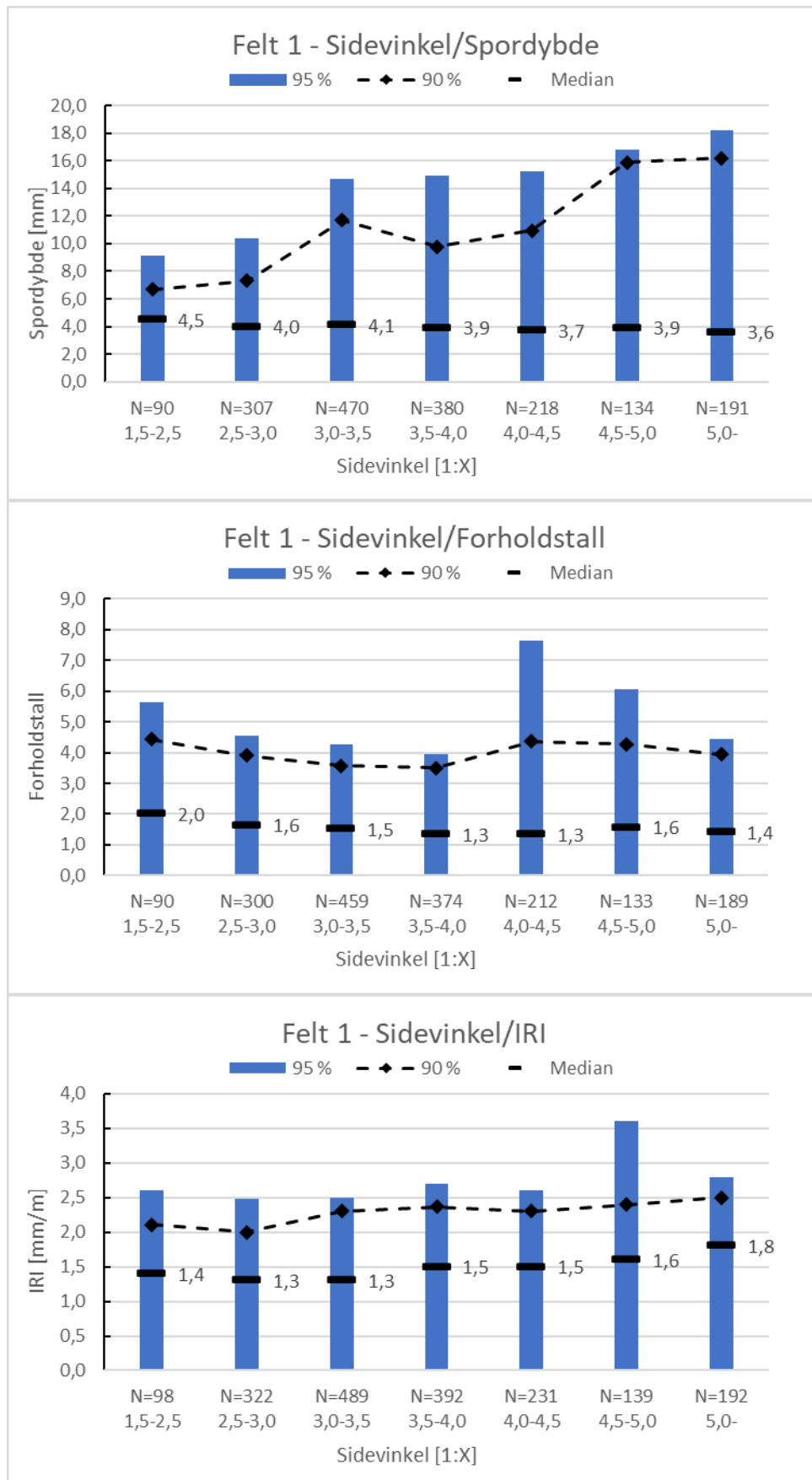
IRI-verdiene er jevne og svært lave, og tyder på god avrenning fra vegen. Et annet moment er at ujevnheter i stor grad kommer senere enn sporutvikling, og i samband med en relativt lav dekkealder kan det forklare mangelen på utslag på IRI-verdier. Spesielt mangelen på stående vann i grøften på fyllingssiden antas å redusere ujevnheter, og

spesielt kritiske telehiv som dannes fra grøften og inn under høyre spor. Resultatene kan tyde på at fyllingssiden gjennom avrenning slipper unna mye av nedbrytningen på våren, og dermed ikke får de samme kritiske påkjenningene når bæreevnen er lavest.

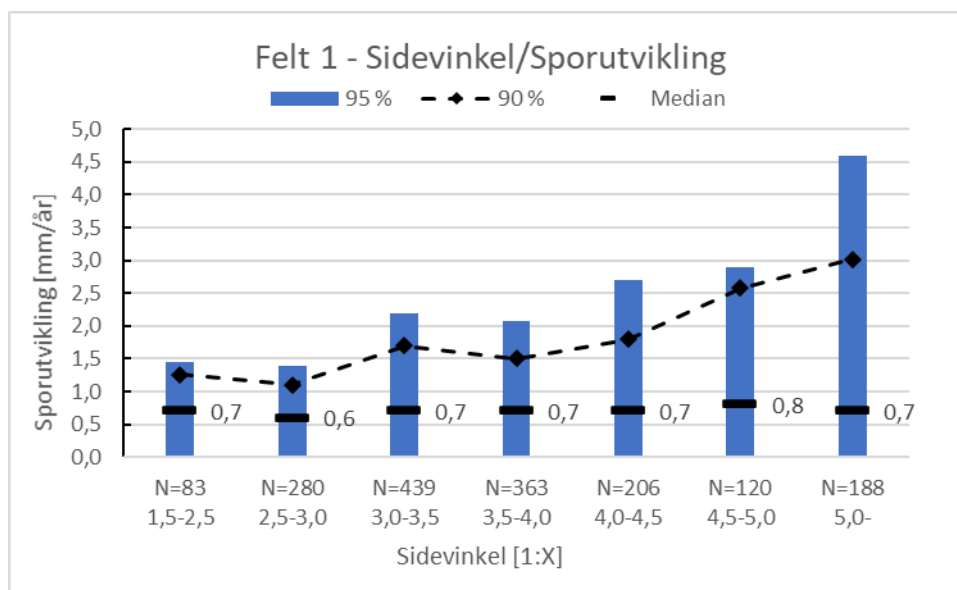
Sporutvikling

Medianverdien viser en klar synkende trend ned mot 1,1 – 1,1 m hvor sporutviklingen er på det laveste. 90- og 95-persentilen følger samme trend, om enn ikke like klart. Sporutviklingen er 66,7 % høyere for intervallet 0,7 – 0,8 m i forhold til intervallet 1,0 – 1,1 m, noe som ikke gjenspeiles i spordybden. Der er spordybden 80 % høyere for den samme sammenligningen, noe som kan forklares med at lastavstand vil påvirkes i stor grad av telehiv og infiltrasjon i skulderen. Dersom vårsesongen eller vinteren har vært «snill» vil ikke nødvendigvis sporutviklingen gjenspeile spordybden.

5.1.5 Sidevinkel



Figur 71 - Analyse F1 sidevinkel: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 72 - Analyse F1 sidevinkel: Sporutvikling

Spordybde

Medianverdien følger en forventet utvikling med gradvis reduksjon jo større vinkel, og intervallet mellom 1,5 – 2,5 har spesielt stor negativ innvirkning. Det er som forventet, og stemmer godt med minimumskravet i N200 om 1:2 for vegbygging. Når lasermålingen måler 1:2 vil i praksis de granulære massene være brattere enn det, på grunn av plastring/pussing med lokale fyllmasser og påbygg fra vegetasjon.

Den synkende trenden flater ut etter det første intervallet, og synker videre med lavt stigningstall. Litteraturen fra Dawson og Korkiala-Tanttu (2008) og Granlund et al. (2012) indikerer at vinkelen har mindre å si enn selve skulderbredden. Dette kan til en viss grad registreres i resultatene hvor andre faktorer nok har en større innvirkning enn selve vinkelen. Likevel ser trendene ut til å støtte teorien om at bratte vinkler er mindre gunstig enn slakere vinkler.

Forholdstallet

Forholdstallet ser ut til å isolere effekten av sidevinkelen godt, og det er en klar reduksjon fra de første intervallene til 1:3,5 – 1:4 for alle verdiene. Resultatet tyder på at innerskråningsvinkel på 1:4 kan være en optimal situasjon for denne strekningen med det vanninnholdet som finnes i dag. Det stemmer også godt med litteraturen, mens økningen som forekommer fra 1:4,5 ikke umiddelbart kan redegjøres for. Det er ikke logisk ifølge teorien, og en mulig forklaring er at økende sidevinkel har høy korrelasjon med grunnere grøftedybde og de negative effektene det medfører med økt vanninnhold.

IRI

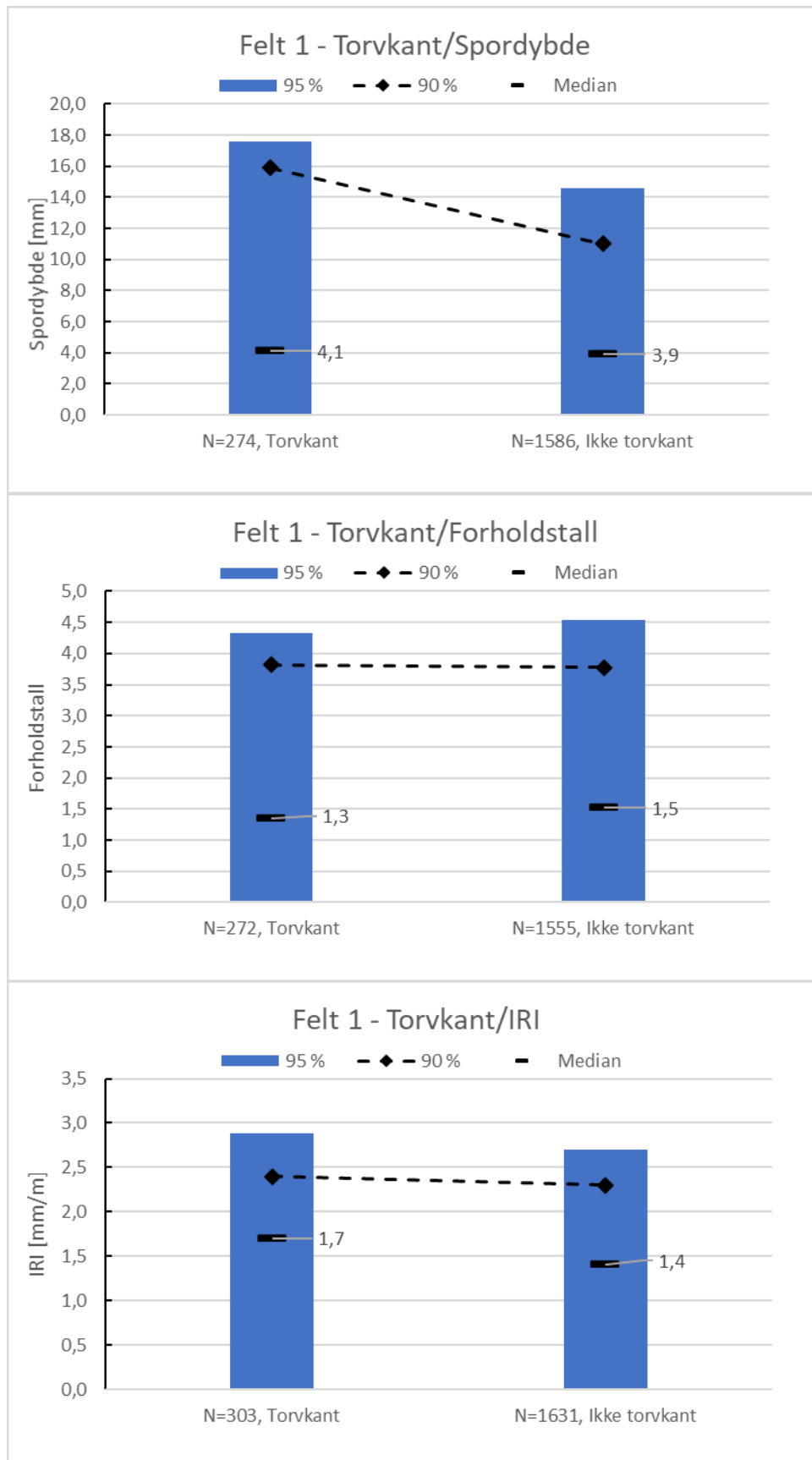
Sidevinkelen ser ikke ut til å ha noen effekt på jevnheten på langs på fyllingssiden, noe som styrker mistanken om relativt god avrenning vekk fra veien. Man kunne kanskje forventet å se setninger på de bratteste vinklene, men uten forhøyet vanninnhold eller stående vann i grøften vil ikke de store utslagene forekomme. IRI-verdien øker for slakere vinkler som støtter opp om teorien at slakere vinkler korrelerer med grunnere grøftedybder

i dette datasettet. Som tidligere vist var det en klar sammenheng mellom lavere grøftedybder og forhøyet IRI-verdi.

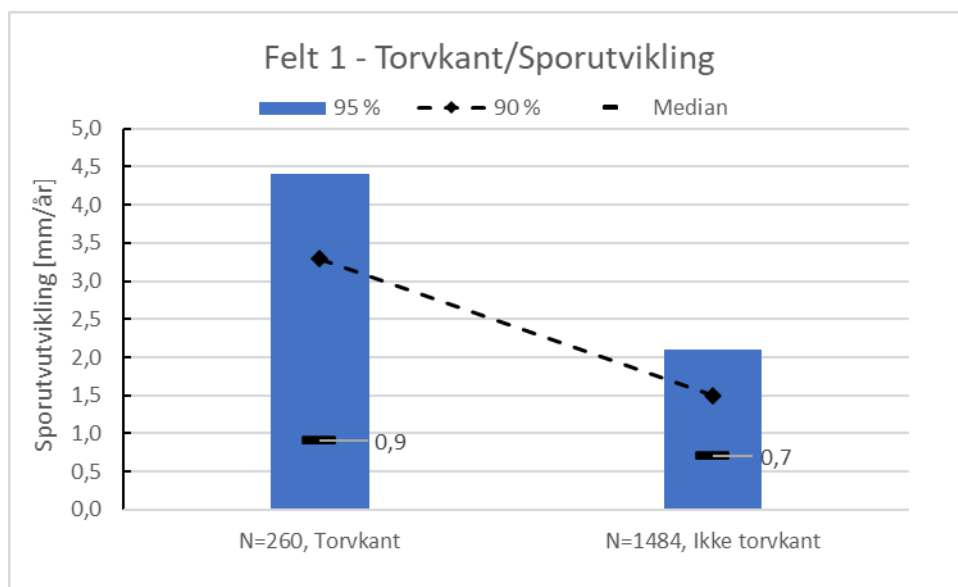
Sporutvikling

Sporutviklingen viser ingen klar sammenheng med sidevinkelen, om noe så stiger 95- og 90-persentilen ved økende sidevinkler. Mulige forklaringer er nevnt tidligere i kapitlet. Overaskende resultat, men det henger nok sammen med at strekningen for det meste har godt lengdefall og ikke minst lav dekkealder.

5.1.6 Torvkant



Figur 73 – Analyse F1 torvkant: Spordybde, forholdstall, IRI



Figur 74 - Analyse F1 torvkant: Sporutvikling

Spordybde

Spordybden viser at torvkanter/erosjonsspor har effekt på sporutviklingen, spesielt for ekstremalverdiene. At ekstremalverdiene har størst utslag henger sannsynligvis sammen med vegens vertikalkurvatur og lokale forhold som vanntilslig. Ikke alle torvkanter ligger til slik at utviklingen blir kritisk, men torvkanter vil ved riktige forhold øke skadeutvikling som beskrevet nedenfor. I tillegg må de understrekes at 500 m av strekningen er eldre enn resten, og kan slå ut på ekstremalverdiene. Medianverdien er 5,1 % høyere for torvkanter, mens 90-persentilen er 44,5 % høyere.

Torvkant og erosjonsspor vil effektivt hindre avrenning og føre til vannansamling ved asfaltkanten. Om vinteren kan det oppstå et svært høyt poresug som følge faseovergangen fra vann til is. Dette poresuget drar vann inn under asfaltkanten ved mildvær, samtidig som det fører til at asfaltkanten løftes når vannet fryser. Når vårtiningen setter inn vil brøytekanter hindre tining av skulderkanten, og det dannes et vannbasseng under asfaltkanten og høyre spor. Det lokalt forhøyede vanninnholdet fører til en skjærdeformasjon hvor de granulære massene fra underkanten av sporet får en lateral forskyvning ut mot skulderen, og etterlater en kritisk situasjon i sporposisjonen. Videre vil asfalten, som har mindre understøtte i sporet, etter hvert få et trettetsbrudd i underkant av sporet, som videre vil reflekteres opp til overflaten. Det vil føre til større vanninntrengning i kritisk posisjon gjennom hele året, og følgelig en akselerert utvikling år for år.

Forholdstall

Forholdstallet viser ikke et forventet resultat, og medianverdien er noe høyere for områder uten torvkant. For 90- og 95-persentilen er de tilnærmet like. Det var ventet at forholdstallet skulle være høyere for områder med torvkant siden vanninnholdet er en funksjon av avstanden fra vannkilden, og dermed være mer kritisk for høyre spor enn venstre spor.

En mulig forklaring som kan støttes av tidligere resultater er avrenningen bort fra vegen på fyllingssiden, men det kan ikke forklare at områder uten torvkanter har høyere forholdstall enn områder med torvkanter. En annen mulighet er at det sterke poresuget er

undervurdert av forfatter, og at i årets mest kritiske fase for nedbrytning er tilgangen på vann så stor at også venstre spor blir påvirket av infiltrasjonen langs asfaltkanten og oppdemmingen fra den frosne undergrunnen. For områder uten torvkant/erosjonsspor renner smeltevannet i større grad ned i grøften og kan tenkes å påvirke det høyre sporet mer enn det venstre sporet. Sistnevnte er dog lite sannsynlig.

IRI

Som tidligere vist er IRI i stor grad påvirket av lav grøftedybde, og følgelig av lokal flomsituasjon ved vårtiningen. Områder med torvkant har høyere medianverdi, og det kan tyde på at infiltrasjon under asfaltkant forårsaker ujevne setninger. Ujevne setninger kommer ofte som følge av telehiv, og følger for torvkanter sannsynligvis forklaringen under «Spordybde».

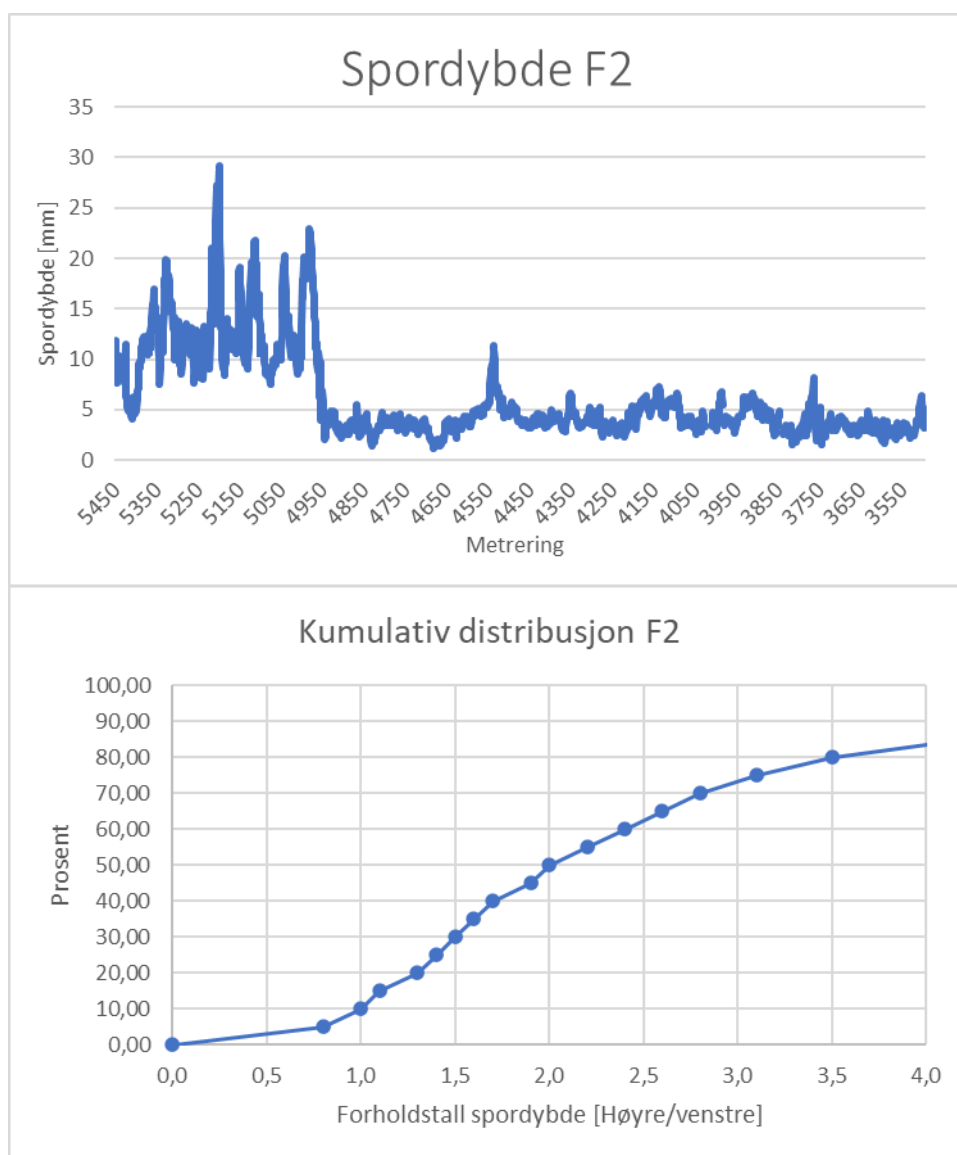
Sporutvikling

Strekninger med torvkant eller erosjonsspor langs asfaltkanten ser ut til å ha markant høyere sporutvikling, og trenden bekreftes av både medianen, 90- og 95-persentilen. Medianverdien er 28,5 % høyere, mens sporutviklingen for 90- og 95-persentilen øker med en faktor på henholdsvis 2,2 og 2,1. Det er lite korrelasjon mellom sporutviklingen og spordybden noe som kan tyde på at sporutviklingen allerede er noe akselerert, og at forskjellene i spordybde vil øke i årene fremover.

5.2 Felt 2 – skjæringsside

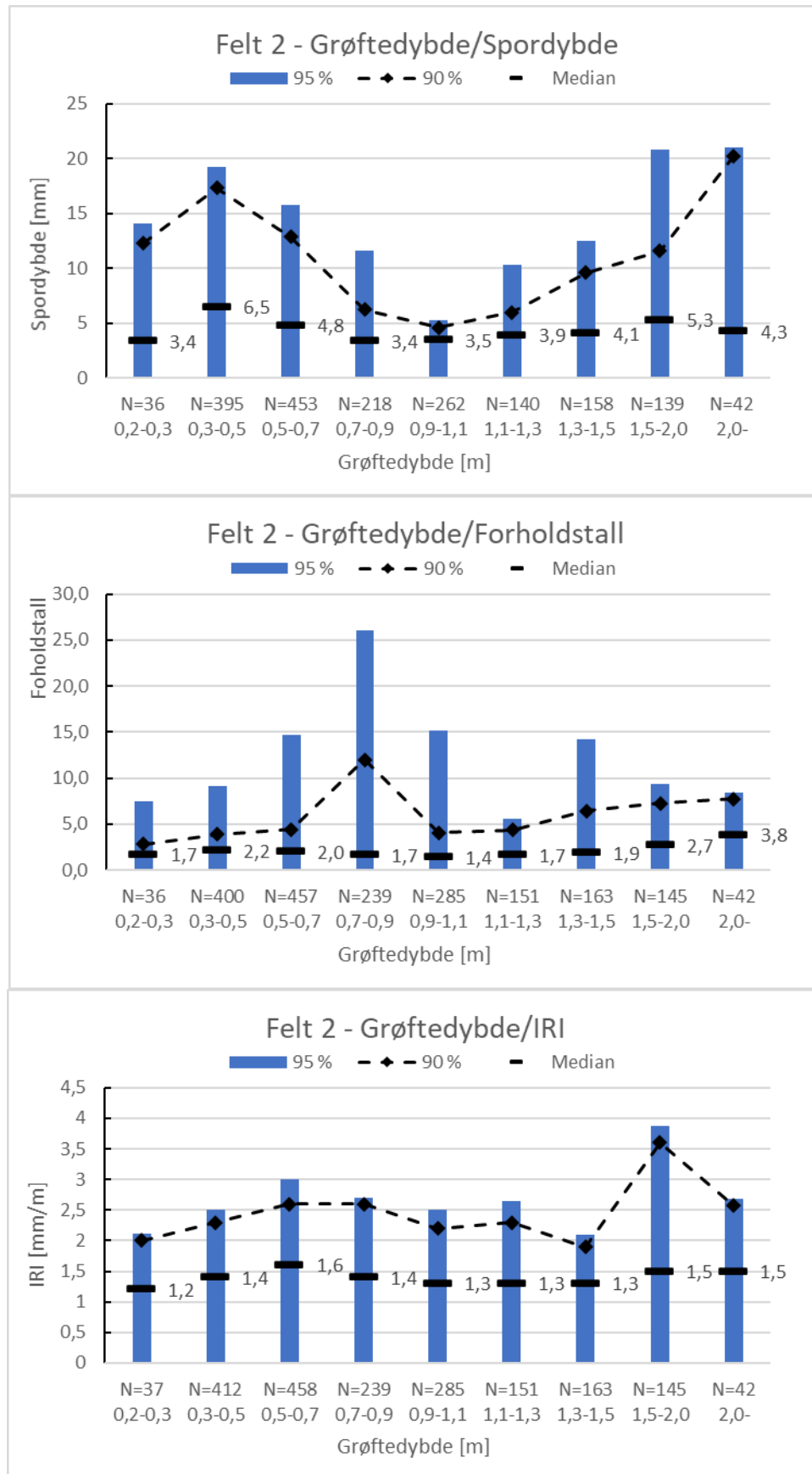
Kjørefelt 2 (F2) fører i retning mot Skibotn og ligger på skjæringsiden i tverrprofilen, men som med F1 er også F2 en blanding av fylling og skjæring. Det er likevel klart mer skjæring enn fylling i dette kjørefeltet.

Figur 75 viser spordybde målingen for F2 fra 2019, og ligner i stor grad på målingen for F1. Sporutviklingen ser ut til å oscillere med relativt store utslag, og korte seksjoner er allerede over 25 mm som er utløsende grenseverdi for dekkefornying. Den kumulative fordelingen av forholdstall mellom høyre og venstre spordybde antyder relativt stor reduksjon av levetid på grunn av utilstrekkelig grøft. 50 % av målingene har et forholdstall over 2,0 som i praksis betyr at høyre spor er dobbelt så dypt som venstre spor. Det er forventet at de aller fleste målingene skal ligge over 1,0, men jo nærmere 1,0 jo bedre.



Figur 75 - Spordybde data for F2 og kumulativ fordeling av forholdstall

5.2.1 Grøftedybde



Figur 76 - Analyse F2 grøftedybde

Spordybde

Spordybden er overraskende lav for grøftedybder under 0,3 m, og det kan kanskje forklares med stor lateral støtte fra en slak sidevinkel. Lengdefallet er også generelt bra på strekningen, slik at stående vann i mindre grad vil forekomme enn ellers. Det er en tydelig fallende trend fra grøftedybder under 0,5 m til grøfter over 0,7 m, noe som er logisk i henhold til litteraturen og bygger opp under en antakelse om at overbygningstykkelsen er mellom 0,5 – 0,7 m. Bunnen på forsterkningslaget ser i stor grad ut til å ligge rundt 0,5 m under overflaten pluss/minus 20 cm ifølge georadardata fra Roadscanners. En grøftedybde på 0,7 m vil være 20 cm under forsterkningslaget dersom overbygningstykkelsen er 0,5 m, noe som virker å være innenfor optimal situasjon for å drenere overbygningen ifølge teorien (20-35 cm under forsterkningslag).

Både 95-, 90- og medianverdien ser ut til å støtte den konklusjonen. Når det er sagt stiger spordybden for alle indikatorer for grøftedybder over 1,1 m, og det kan tyde på at andre parametere «forurensere» målingen som tidligere nevnt (eks. bratt sidevinkel på dyp grøft).

Forholdstall

Forholdstallet følger i stor grad utviklingen for fyllingssiden, med en stigning i medianforholdstall helt til grøftedybden er tilstrekkelig til å drenere både indre og ytre spor. Lavest spordybde for skjæringssiden er for grøftedybder over 0,9 m, og det kan være logisk siden grunnvannsstrømmen teoretisk bør være noe høyere på skjæringssiden, se Figur 26 fra Nordal.

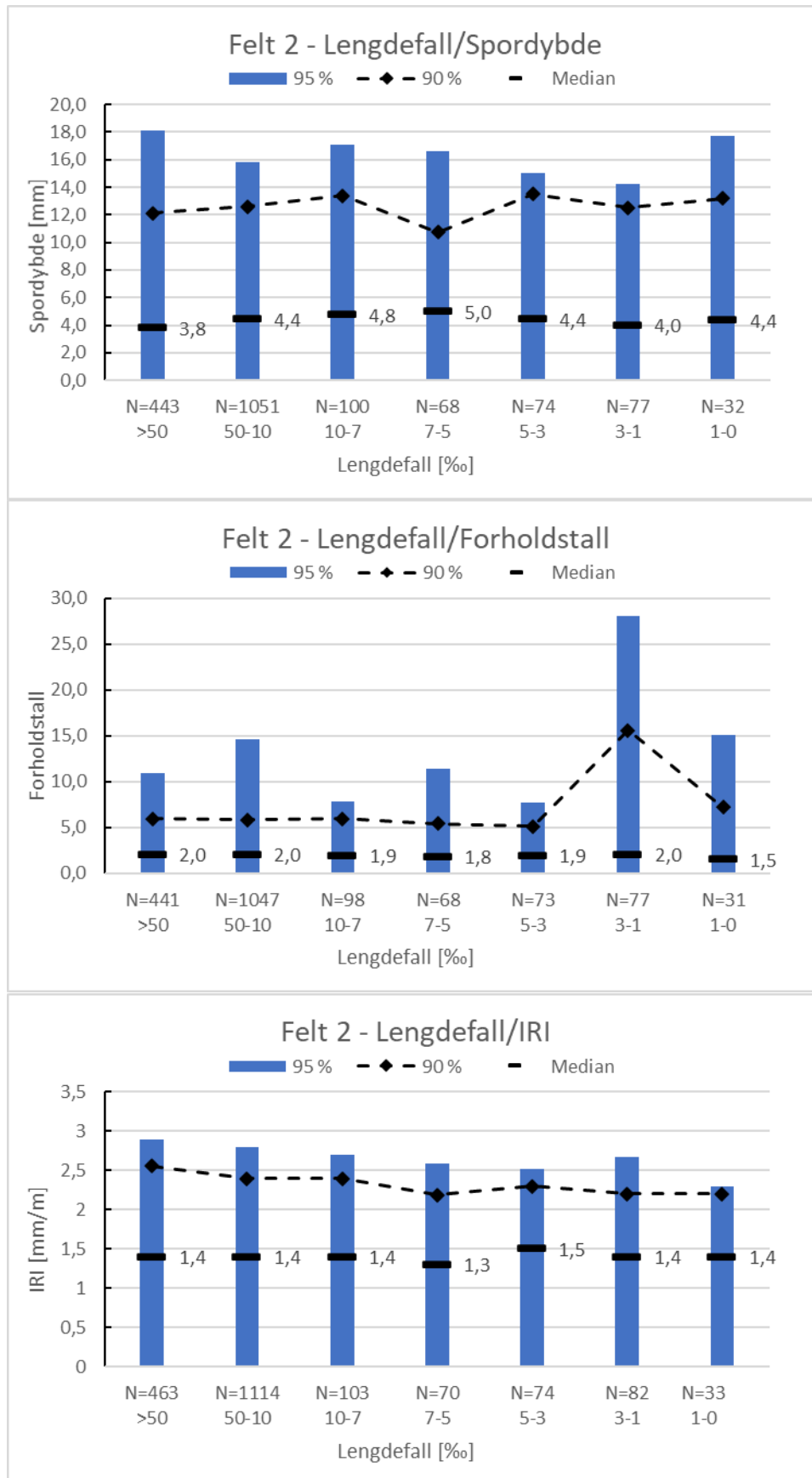
Ekstremalverdiene er høyest for intervallet 0,7 – 0,9 m, og faller før det begynner å stige igjen for grøftedybder over 1,1 m. Generelt gir ikke 90- og 95-persentilen mening med hensyn på litteraturen, og det kan tilsynelatende virke som at 10 % av målingene innenfor 0,7 – 0,9 m er mye dårligere enn resten. Det kan tyde på et lokalt problem langs strekningen, og kan i prinsippet være 24 m (N=239) som påvirkes av en kombinasjon av lav lastavstand og for liten innerskråningsvinkel. At forholdstallet stiger videre tyder på at andre kanteffekter begynner å spille inn i økende grad, og brattere sidevinkel ser ut til å være en god kandidat.

IRI

Alle indikatorene stiger og når en topp for intervallet 0,5 – 0,7 m grøftedybde, og får siden en fallende og utflatende trend. At IRI-verdien stiger før den når en topp kan skyldes at lave grøftedybder korrelerer med slake sidevinkler som gir noe bedre lateral støtte. Det kan også skyldes høyt lengdefall, eller evne til å lede bort vannet for de grunneste grøftene. En annen forklaring er at avstanden til grunnvannsstrømmen er så lav at det i praksis blir jevne telehiv som gir lite ujevne setninger på de laveste grøftedybdene, mens en i større grad får ujevne setninger når grøftedybden blir dypere på grunn av større vannansamling i vårtiningen. Over 0,7 m ser det ut til at grøften i større grad oppfyller funksjonen sin ved å drenere overbygningen.

Den høyeste IRI-verdien forekommer for intervallet 0,5 – 0,7 m kan være at det er på partier hvor vann kan samles i vårtiningen. Vårtiningen er i praksis en flomsituasjon hvor vannet potensielt vil stå noe høyere i grøften enn ellers i året. Den laveste IRI-verdien er for intervallet mellom 0,9 – 1,1 m, altså 20 cm lavere enn for spordybder og det kan støtte teorien om at vårflom med høyere vannstand i grøften gir utslag. Etter toppen med grøftedybde under 0,7 m er det en fallende trend, omtrent som forventet. En økning på slutten skyldes trolig at andre aspekter spiller inn ved dyp og bratt grøft.

5.2.2 Lengdefall



Figur 77 - Analyse F2 lengdefall

Resultatene er overraskende, og viser for skjæringssiden ingen god sammenheng mellom lengdefall og skadeutvikling. Det var forventet å se noe høyere og økende skadeutvikling for lengdefall under 5 ‰, men det er ingen klar trend i resultatene som viser en slik utvikling som en kan se for det andre kjørefeltet.

500 meter av strekningen er 6 år, og 90- og 95-persentilen ser ut til å fordele seg jevnt utover med antydning til en økende skadeutvikling som forventet for lavere fall. Det tyder på for lav skadeutvikling for majoriteten av målingene. Siden spor- og jevnhetsdataene for F2 mot Skibotn er fra 2019, og mesteparten av strekningen bare er 3 år kan den hypotesen stemme godt med Figur 29 fra VTI sett i Lurfald og Hoff (2007).

Spordybde

Det er en økende trend til fallet går under 5 ‰ hvor spordybden reduseres noe, men verdiene er svært lave over hele linjen for medianen. 68 meter faller innenfor 7-5 ‰ og det kan være tilfeldigheter som gir økt spordybde for det intervallet, det er ingen teoretisk støtte i at det fallet skulle være det mest kritiske.

Det kommer imidlertid tydelig frem at dekkealderen er for lav til å konkludere om skadeutviklingen for lengdefall på skjæringssiden.

Forholdstall

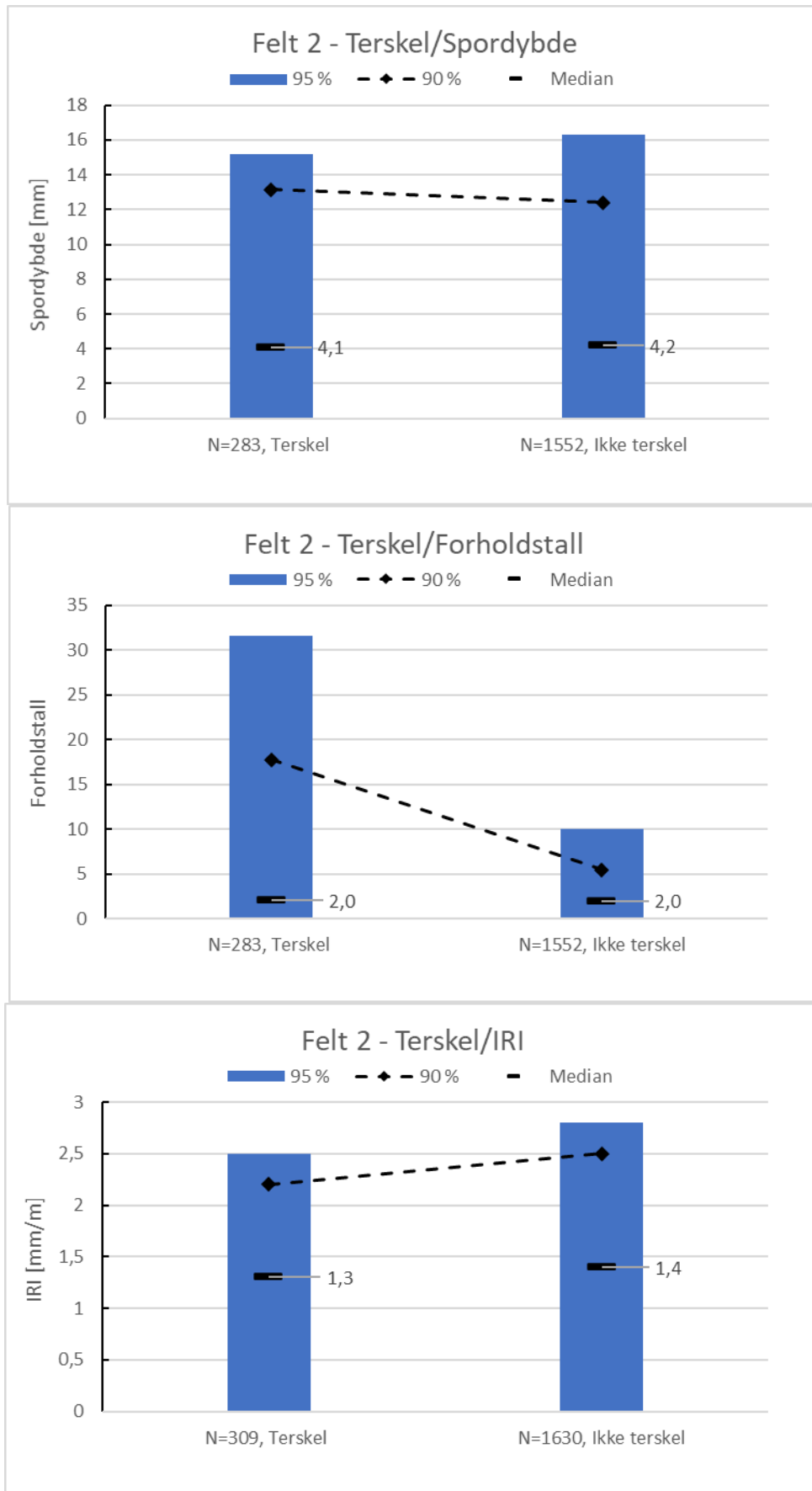
Forholdstallet øker noe ved fall under 3 ‰ for 95- og 90-persentilen, mens medianen faktisk synker ved laveste intervall. Det er interessant at ekstremalene ser ut til å øke som forventet, mens medianen ikke følger forventet utvikling. Det underbygger mistanken om at de verste 10 % på denne strekningen er etablert i 2013 og viser en forventet utvikling, om enn ikke like klart som en medianverdi ville gjort. Ekstremalene vil som regel være påvirket av lokale forutsetninger og kan være mye verre enn bare dårlig lengdefall skulle tilsi.

IRI

Ujevnheter ser ut til å bli påvirket av stående vann i grøften basert på tidligere resultater fra grøftedybde og indirekte også sidevinkel/IRI-resultatene. For dette kjørefeltet er det ingen klar sammenheng, om noe viser 90-persentilen at IRI synker med lavere fall. Medianverdien er relativt stabil på 1,4 over hele analysen.

Dette støtter påstanden om at ujevnheter utvikler seg langsommere enn spordybde, og trenger flere kritiske perioder med telehiv og vårflom for å danne setninger i lengdeprofilen.

5.2.3 Terskel



Figur 78 - Analyse F2 terskel

Det ser ut til at asfaltdekkets unge alder (3 år) kamuflerer skadeutviklingen, spesielt for spordybde og IRI som begge burde påvirkes av stående vann i grøften. For forholdstallet er det noe sammenheng, noe som kan tyde på ekstreme forhold og potensielt lav levetid.

Spordybde

Det var forventet at terskler skulle ha større negativ påvirkning på skjæringssiden enn på fyllingssiden, men det ser ikke ut til å være tilfelle i dette datasettet. 90-persentilen synker noe, mens både 95-persentilen og medianen er større for områder uten terskler. Det kan bety at reglene for å fange opp terskelpåvirkede områder ikke er gode nok, men det kan også tenkes at tersklene som også inneholder lavbrekk på skjæringssiden har sammenheng med større grøftedybder. Et annet moment er at stikkrenner ligger i lavbrekk, og dermed vil merkes etter reglene. Det bør nok gjøres grep for skille ut stikkrenner fra terskler i fremtiden.

Den mest sannsynlige forklaringen er likevel at majoriteten av asfaltdekket på strekningen bare er 3 år, og de lastfordelende evnene i dekket er så gode at de skjuler svakheter mtp. bæreevne. Det forklarer imidlertid ikke at 90- og 95-persentilen ikke er høyere for terskelområder, og disse indikatorene var ventet å vise trenden for de 500 meterne med det eldste dekket. Så forklaringen er nok en blanding av avsnittet over og alderen.

Forholdstall

Forholdstallet er det eneste parameteren som har logisk utvikling, og det er en markant forskjell for alle indikatorverdiene unntatt medianen. Det kan tyde på at områder med terskler og dermed stående vann i vårtiningen får så mye vann at det ytre sporet påvirkes i langt større grad enn venstre spor. Teoretisk er vanninnhold gitt som en funksjon av avstanden til grunnvann, eller vannkilde med andre ord.

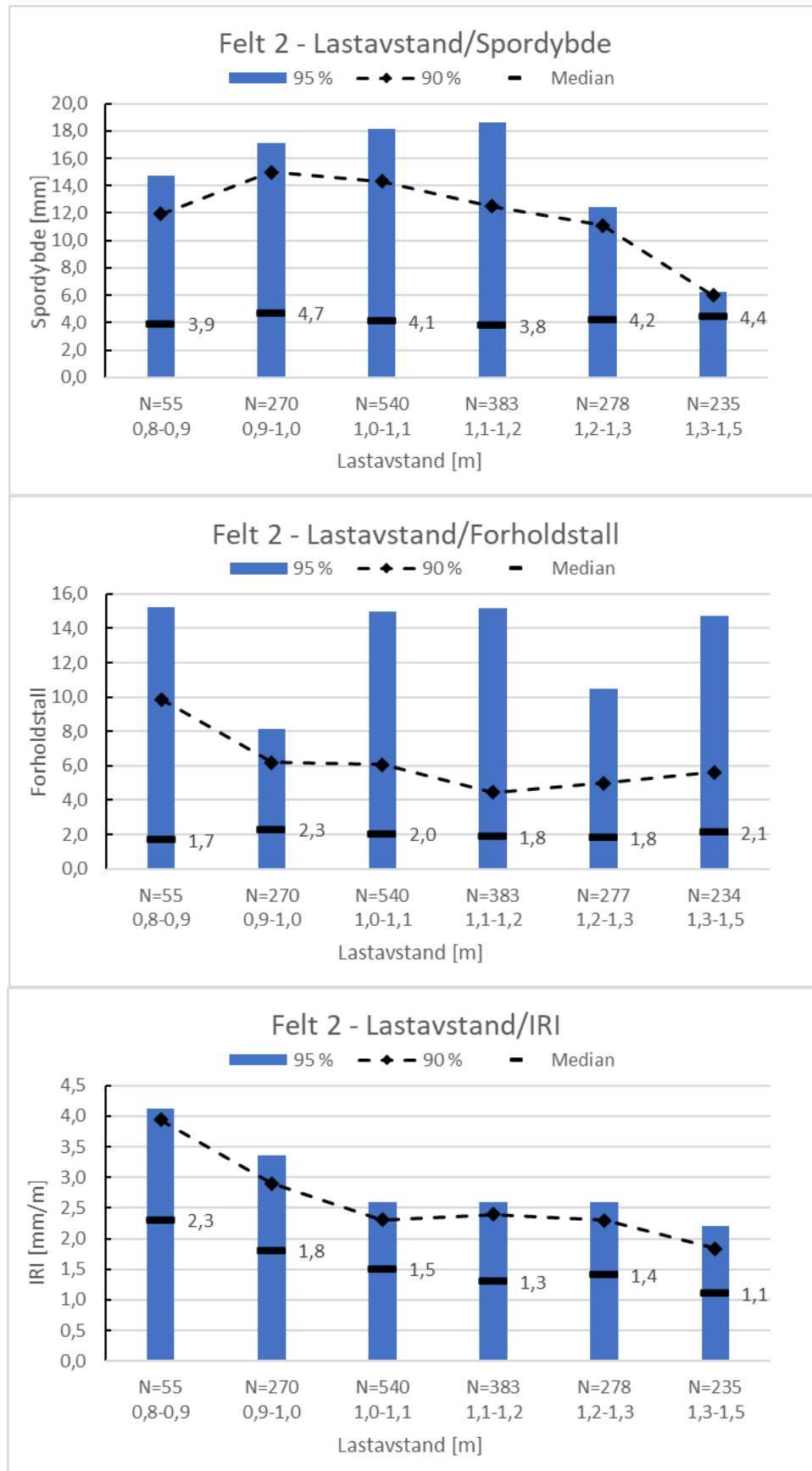
Det er tilsynelatende de ekstremalene som følger denne utviklingen, og det stemmer godt med at det eldste asfaltdekket gir utslag i resultatene.

IRI

IRI-verdiene er motsatt av forventet, og viser større andel ujevne setninger for områder uten terskler. Tidligere resultat i analysen antyder at IRI i stor grad påvirkes av stående vann i grøften, og spesielt om det er nært overflaten. Det ser man ikke igjen i disse resultatene.

Dette underbygger videre at ujevnheter utvikles noe senere enn spor, og medianverdiene er svært lave i dette tilfellet. 1,3-4 mm/m er et meget bra resultat og skyldes det nylagte dekket.

5.2.4 Lastavstand



Figur 79 - Analyse F2 lastavstand

Spordybde

Fordelingen er omtrent som forventet, med en gradvis reduksjon i spordybde for høyere lastavstand. Det første intervallet følger imidlertid ikke trenden, og burde ifølge litteraturen vært intervallet med dårligst motstand mot permanente deformasjoner. IRI og forholdstallmålingene ser ut til å peke i den retningen. Intervallet har relativt få målinger med N=55, og dersom disse målingene ligger innenfor det nylagte asfaltdekket kan det forklare det uventede resultatet.

Målingene faller helt til lastavstanden overstiger 1,2 m. Etter 1,2 m øker medianen, mens 95- og 90-persentilen synker som forventet. At medianverdien øker kan skyldes at andre målinger som grøftedybde eller grøftvinkel forurenses målingen. Det en kan legge merke til er at lastavstander under 1,0 m har 23 % større medianspordybde enn det beste intervallet i denne analysen som er 1,1-1,2 m. For 90-persentilen er tallet 20 %.

Forholdstall

Når det gjelder forholdstallet ser 90-persentilen ut til å synke med økt lastavstand, mens median følger noenlunde samme trend som spordybden. Medianverdien er lavere for det korteste intervallet, men synker deretter før det stiger igjen mot slutten. At det høyre sporet er dypere enn det venstre sporet er å forvente når det er stor forskjell på lateral støtte fra skulderen, eller avstanden til kant.

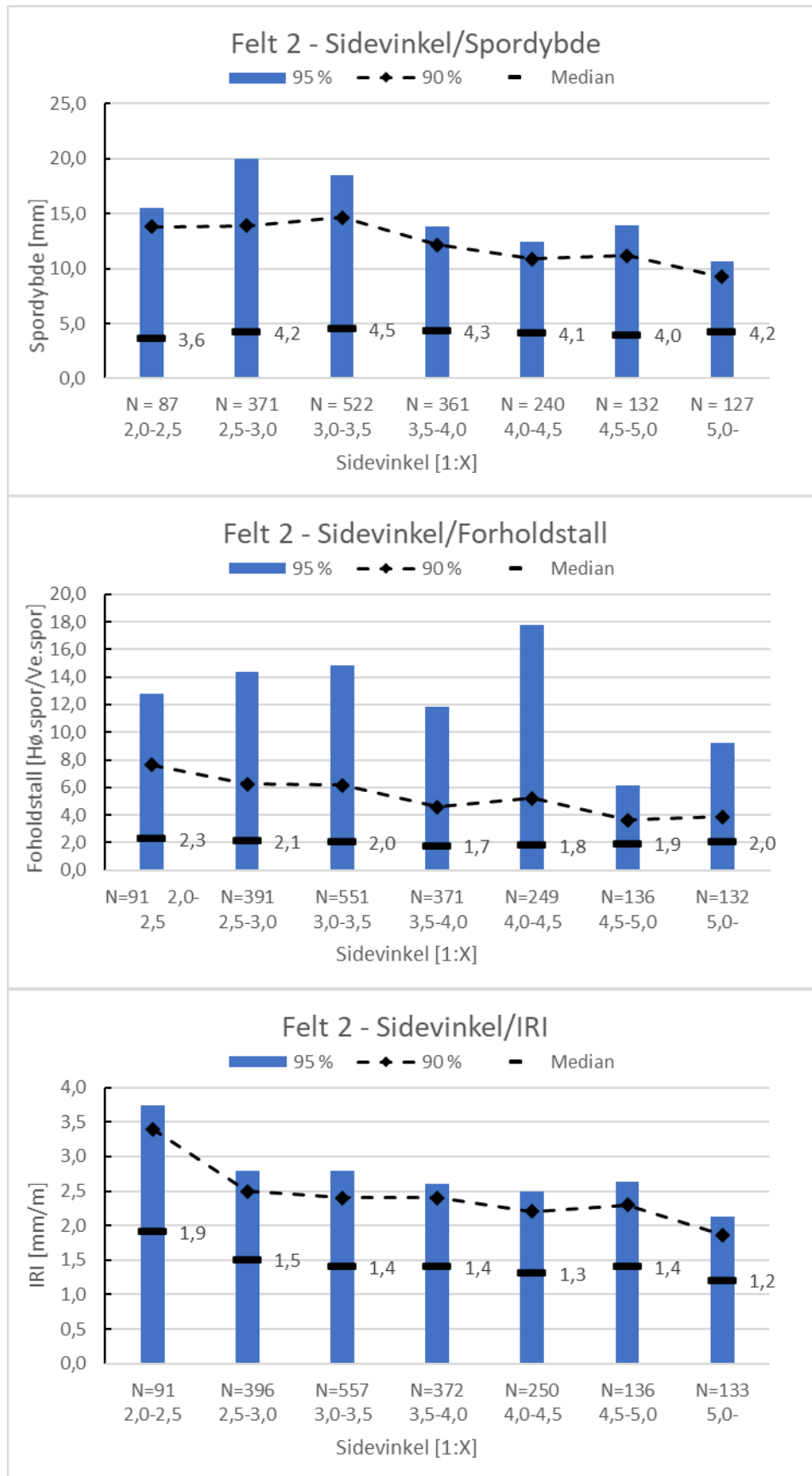
Trenden ser ut til å stemme, med unntak av den første medianverdien. Ellers har også 95-persentilen stor spredning, og det kan tyde på at andre faktorer forurenses målingen noe i ekstreme tilfeller. Det samme antas for intervallet mellom 1,3-1,5 m.

IRI

Resultatet tyder på at det er en klar sammenheng mellom kort lastavstand og forhøyet IRI. Trenden er tydelig fallende for økende lastavstand for alle de statistiske indikatorene. Sammenhengen kommer sannsynligvis av at lasten flyttes nærmere grøften, og dermed snø, telehiv og vann i vårtiningen. At belastningen kommer nærmere kanten medfører presumptivt høyere vanninnhold under lasten, og i arktiske strøk med tele vil teleløsningen være kritisk og i økende grad jo lengre ut mot kanten belastningen påføres. Når solen står på tines telen fra toppen, mens overbygningen fremdeles er under frysepunktet på grunn av varmekapasiteten i massene. Dermed skapes en bassengeffekt hvor vannet ikke dreneres, og en får skjærdeformasjoner og/eller ujevne setninger i dette tilfellet.

IRI-verdiene peker mot en optimal situasjon med svært liten skadeutvikling for intervallet 1,1 - 1,2 meter som er ett intervall høyere enn tilsvarende for fyllingssiden. Det kan tyde på større problemer med stående vann i skjæringssiden som var en forventet utvikling.

5.2.5 Sidevinkel



Figur 80 - Analyse F2 sidevinkel

Spordybde

Det later til å være en synkende trend for innerskråningsvinkler over 1:3, noe som er logisk og støttes fra litteraturen. Trenden innbefatter median-, 90- og til dels også 95-persentilen. En liten økning i medianverdi for sidevinkler over 1:5 skyldes nok korrelasjon med slake sidevinkler og lav grøftedybde. Alderen spiller en klar rolle også for sidevinkel-målingene, og medianverdiene er så lave at de tilsier en lav dekkealder. For 90- og 95-persentilen kommer trendene bedre til syne, og følger den logiske utviklingen som var forventet.

Når det gjelder vinklene som er brattere enn 1:3 tilsier all logikk og litteratur at de burde være lengre fremme i skadeutvikling enn resten, men det er ikke tilfellet her. Det er imidlertid relativt liten forskjell over hele linjen på spordybde, og med tanke på at sidevinkel i GEOM-faktoren og Granlunds formelverk har mindre påvirkning enn lastavstand/skulderbredde kan det tyde på en senere utvikling. Med det menes at det er andre faktorer som er mer kritisk og dermed kommer bedre til syne tidlig i levetiden.

Forholdstall

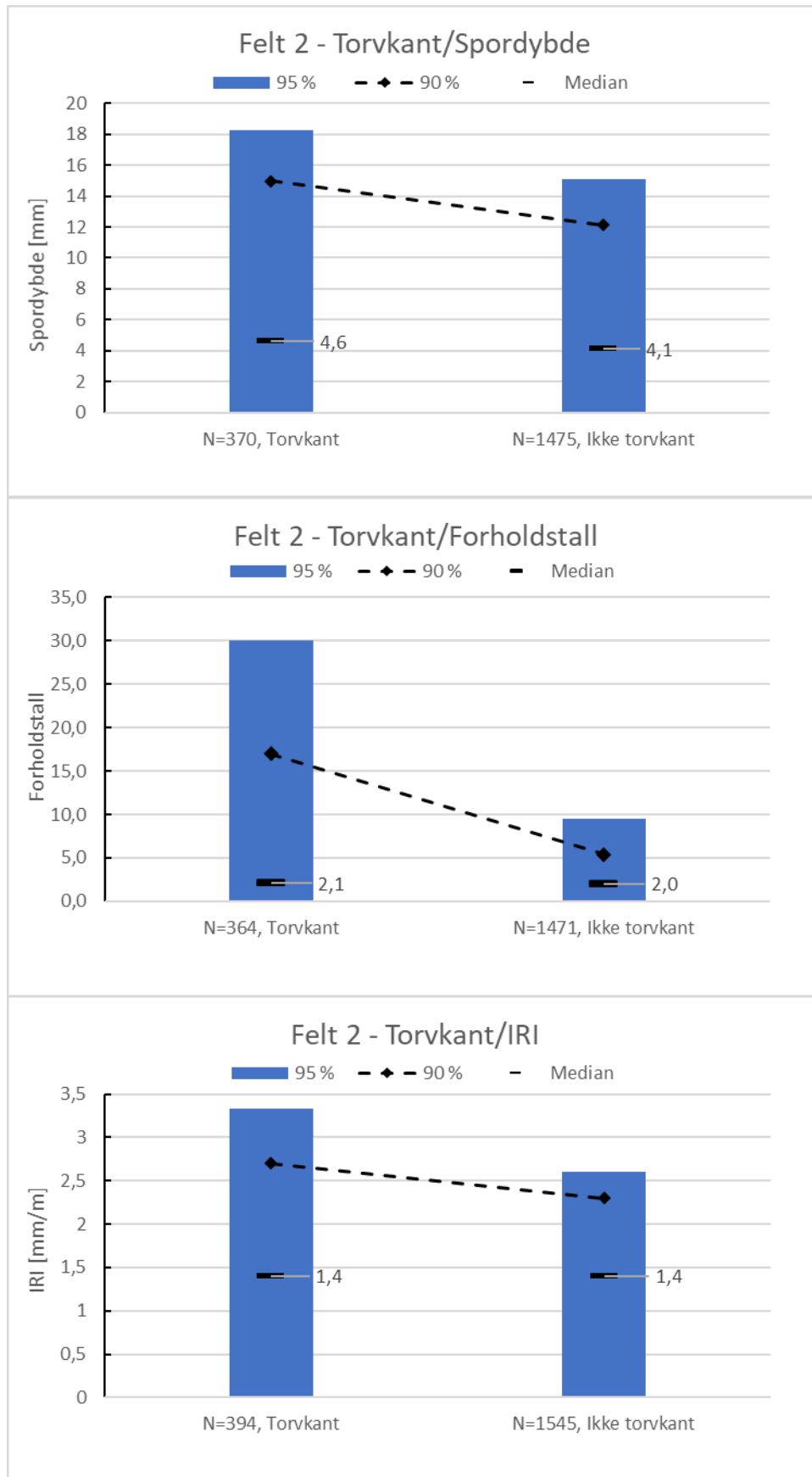
90-persentilen og medianverdien viser en klart synkende trend for slakere sidevinkler, mens 95-persentilen ikke har like klar reduksjon. At ekstremalene ikke viser samme sammenheng er ikke uventet, det kan komme av for eksempel kritiske kombinasjoner av andre faktorer og spesielt lastavstand.

Det synes naturlig at bratte vinkler gir økt spordybde for høyre spor, og videre at forholdet mellom høyre og venstre spor reduseres jo bedre den laterale støtten blir. Median- og 90-persentilen peker mot at en innerskråningsvinkel mellom 1:3,5-4 er optimalt for denne strekningen med dagens vanninnhold.

IRI

I motsetning til fyllingssiden ser det ut til å være en klar sammenheng mellom bratte sidevinkler og forhøyet IRI-verdi. Trenden er veldig klar i dette tilfellet, med alle de statistiske indikatorene synker markant for vinklene under 1:3, og vinkler over 1:3 har en gradvis reduksjon. Jo brattere vinkler, jo bedre vanntilgang fra grøften for telehiv. Et annet moment er skjærdeformasjoner som kan oppstå som følge av for lav innspenning, og med en bratt vinkel kan det kritiske bruddplanet være å finne midt i innerskråningen noe som medfører brudd og setninger.

5.2.6 Torvkant



Figur 81 - Analyse F2 torvkant

Spordybde

Det later til å være en klar sammenheng mellom økt spordybde og torvkanter, noe som gjenspeiles for alle de statistiske indikatorene. Medianverdien viser en økning på 12 %, mens 95- og 90-persentilen er litt over 20 % større enn uten torvkanter.

Det er interessant at medianverdien er 12 % høyere siden det indikerer at torvkanter i motsetning til flere av de andre parameterne gir utslag på skadeutviklingen også helt tidlig i tilstandsutviklingen. I teoridelen ble det stilt spørsmål ved om det var mode 1 spordannelse som førte til torvkanter eller omvendt, og resultatene her kan tyde på at torvkanter fremskynder spordannelser grunnet hindring av avrenning og telehiv som tidligere nevnt.

Forholdstall

95- og 90-persentilen har begge en faktor på 3,15 for områder med torvkanter, mens medianverdien har en økning på 5 %. At medianverdien bare er marginalt høyere for torvkanter underbygger at torvkanter fører til kritiske spenninger for høyre spor også tidlig i levetiden, men samtidig vil de gode visko-elastiske egenskapene i dekket kamouflere noe av skadeutviklingen. Et annet moment er at lokale forhold som grunnvannstilsig spiller en rolle, i tillegg til at tverrfall og vertikalkurvatur kan sørge for avrenning i stedet for infiltrasjon.

Resultatet er som forventet, men noe høyere for ekstremalene enn hva som var ventet. Det er interessant, og kan tyde på en akselerert utvikling som følge av flere sesonger med telehiv og skjærdeformasjoner. Skjærdeformasjonene vil presumptivt øke torvkantene og dermed akselerere infiltrasjonene ytterligere, også gjennom resten av året med nedbørs- og tørkeperioder. Som nevnt i teorikapittelet er regnfall etter tørkeperioder mer kritisk enn kontinuerlige regnfall siden bæreevnen reduseres ytterligere som følge av det store fallet i effektivspenninger (Ng et al., 2009; Zaghloul et al., 2006).

IRI

IRI-resultatene viser en økning for 95- og 90-persentilen, mens medianverdien er identisk. 95-persentilen er 27 % høyere, mens 90-persentilen er 17,4 % høyere enn strekninger uten torvkant. Siden ujevnheter i stor grad kan skyldes telehiv og setninger underbygger det teorien om at torvkanter bidrar til å føre vann inn til telefronten under det høyre sporet i tine-perioder. Om natten med temperaturer under 0°C vil vannet fryse, og telehivet vil vokse seg større.

At medianverdien er like stor kan skyldes flere årsaker, og en av dem er at ujevnheter utvikles litt saktere enn spor. Ekstremalene kan derfor være fra strekningen som er 6 år gammel, mens resten ligger relativt lavt. Et annet moment er som tidligere nevnt at avrenning som følge av tverrfall og vertikalkurvatur gjør at mange av torvkantene ikke ligger kritisk til med hensyn på vanntilsig.

5.3 Oppsummering analyse

Generelt var det i stor grad sammenheng mellom forventninger i henhold til litteraturen og opptredende skadedata på strekningen. Det kan virke som at tverrsnittet av de 4 undersøkte enhetene (spordybde, forholdstall, IRI og sporutvikling) samlet var i stand til å isolere effekter i relativt stor grad, men det er også klart at noe forurensning så ut til å forekomme som følge av et relativt lavt antall målinger og ekstreme lokale forhold.

På skjæringssiden var målingene ett år yngre med 6 og 3 år, noe som kom godt frem i resultatene. 3 år er for lite for å identifisere skadetrender, mens det virket å være større sammenheng for fyllingssiden hvor målingene var 7 og 4 år.

Det lyktes også å identifiseres skadetrender for parametere som trolig har mindre betydning enn andre, som for eksempel sidevinkel kontra grøftedybde. Lastavstand og sidevinkel henger i stor grad sammen, men resultatene kan tyde på at det for denne strekningen var tilstrekkelig med målinger for å isolere effekter av den enkelte. Et annet viktig moment med resultatene er at alle parameterne påvirkes av vanninnhold, og dermed også i stor grad av grøftedybde. Generelt ser grøftedybden ut til å være i det dårligste laget på denne strekningen, noe som vil påvirke de andre resultatene negativt. Det kan bety at dersom grøftene ble utbedret og en ny analyse ble utført ville resultatene vært forskjøvet mot venstre i figurene. Altså at for eksempel en brattere sidevinkel kan godkjennes ved lavere vanninnhold.

5.3.1 Grøftedybde

Resultatene tyder på at det er en klar sammenheng mellom lav grøftedybde og økt skadeutvikling, og dette reflekteres i resultatene for alle de undersøkte sammenhengene. På denne strekningen tyder resultatene på at overbygningen er drenert ved grøftedybder over 0,7 m, og alle enhetene viser at skadeutviklingen synker markant ved grøftedybder over denne verdien. Det stemmer godt med georadardataene på strekningen som antyder at overbygningstykkelsen i snitt er rundt 0,5 m tykk. Denne sammenhengen støttes videre av nordisk forskning gjennom Roadex om at grøftebunnen bør ligge mellom 20 – 30 cm under forsterkningslaget. Resultatene tyder også på at det er noe å vinne på å øke grøftedybde ytterligere, men trenden er utflatende i forhold til trenden frem til 0,7 m. Spordybden for F1 og forholdstallet for F2 antyder at trenden blir enda flatere ved grøftedybder fra intervallet 0,9 – 1,1 m, mens de andre enhetene i stor grad flater ut fra grøftedybder over 0,7 m.

Medianverdiene for sporutvikling og IRI er begge 43 % høyere for de laveste grøftedybdene sammenlignet med grøftedybde mellom 0,7 - 0,9 m. Spordybden er mellom 91 – 44 % større for samme sammenheng. Økt grøftedybde fra intervallet 0,3-0,5 m til 0,7-0,9 m gir en reduksjon på 30 % sportvikling og spordybde, og 36 % reduksjon i IRI.

For grøftedybder settes grenseverdiene på bakgrunn av resultatene i analysen til høy risiko under 0,7 m, mens medium risiko løper fra 0,7 – 0,9 m og lav risiko for dybder over 0,9 m.

5.3.2 Lengdefall

Viser ingen klare trender på skjæringssiden, noe som er overraskende. Det antas at dekkealderen på 3 år fremdeles skjuler svakhetene i dette tilfellet. På fyllingssiden er målingen 1 år nyere, og gir derimot en mer forventet trend. Trenden viser generelt en markant økning i skadeutvikling for lengdefall under 3 ‰, som tilsvarer 3 meter på 1000 meter. Det er i praksis relativt flatt, og det antas at vannet i større grad infiltreres ved så

lavt fall. Skadeutviklingen økes ytterligere for fall under 1 ‰, noe som gir mening for dette området. Som tidligere beskrevet er området ett av de tørreste i Norge, og det antas at nedbør i all hovedsak infiltreres i undergrunnen som er en blanding av gammel sjøavsetning, myr og morene. Siden strekningen ligger i Nord-Norge vil vårtiningen være den perioden hvor det samles mye vann samtidig som bakken er impermeabel av tele slik at avrenningen gjør seg gjeldende. I de tilfeller kan resultatene tyde ruheten i grøftene er slik at lengdefall under 3 ‰ medfører stående vann i grøften.

På bakgrunn av disse vurderingene settes grenseverdiene for lengdefall til høy risiko for 3 ‰, medium risiko 3 – 5 ‰ og lav risiko for verdier over 5 ‰.

5.3.3 Terskel

For skjæringssiden er det for terskler ingen klar sammenheng bortsett fra forholdstallet, og det henger naturlig sammen med at det ikke ble funnet noen klar sammenheng med lengdefallet og videre dekkets unge alder. Terskler kan se ut til å øke skadeutviklingen med ca. 14 % på medianverdien for både spor og IRI, mens 90-persentilen for sporutvikling og spordybde mellom 53 – 37 % høyere for områder som er påvirket av terskler. Resultatene kan tyde på at systemet identifiserer terskler relativt godt, men bør justeres for eksempel med tanke på stikkrenner i lavbrekk.

Det er ikke utført noen form for differensiering av terskelens/hindringens størrelse, og derfor vil resultatet være JA/NEI for terskler.

5.3.4 Lastavstand

Resultatene fra F1 peker mot at lastavstand mellom 1,0-1,1 m gir best nytte for kostnadene, mens ytterligere økning i avstand har en utflatende reduksjon. Ved å øke lastavstanden fra under 0,8 m til 1,0 m kan resultatene tyde på en reduksjon på 66 % i medianverdi for sporutvikling og 80 % lavere spordybde. For samme endring blir forholdstallet for F1 endret fra 1,8 til 1,2 noe som tyder på at den laterale støtten bedres betraktelig og bæreevnen nærmer seg det som oppnås for venstre spor.

Utviklingen i IRI viser ingen trend for fyllingssiden (F1), noe som sannsynligvis skyldes mindre grad av stående vann på grunn av avrenning vekk fra fyllingen og dermed liten grad av telehiv. På skjæringssiden viser resultatene en klar sammenheng mellom IRI og lastavstand, og en økning fra under 0,9 m til over 1,0 m ser ut til å gi en reduksjon i medianverdi på 53 % i IRI og fra under 0,9 m til over 1,1 m reduseres medianverdien 77 %. Generelt tyder resultatene på skjæringssiden (F2) at den utflatende trenden starter fra lastavstand over 1,1 m, og det kan komme av at skjæringssiden i større grad blir påvirket av stående vann i grøften og videre at vannet trekker lenger inn i vegen på grunn av større vanntilgang.

Resultatene i denne analysen peker mot en høy risiko for lastavstand under 0,9 m, medium risiko 0,9 – 1,1 m og lav risiko for lastavstand over 1,1 m.

5.3.5 Sidevinkel

Det må presiseres at resultatene påvirkes av vanninnholdet, og derfor kan drenering av overbygningen medføre at skadeutviklingen forskyves noe mot brattere vinkler. Med andre ord kan drenering av overbygningen føre til at den anbefalte vinkelen etter denne analysen er litt høyere enn absolutt nødvendig. En samlet vurdering peker mot at en innerskråningsvinkel mellom 1:3,5-4,0 har god kost/nytte-verdi med tanke på utflatende skadeutvikling og beslag av areal.

For begge kjørefeltene ser forholdstallet ut til å være en god indikator på å måle sidevinkelen, i hvert fall viser den en forventet utvikling for begge kjørefeltene. Spordybde viser ingen klar sammenheng for skjæringssiden, men for fyllingssiden følger medianverdien en forventet trend. For skjæringssiden er spordybden størst for intervallet 1:3,0 – 3,5, noe som ikke er logisk og neglisjeres derfor med antagelse om at andre parametere forurenses resultatet eller at ny asfalt foreløpig skjuler sammenheng.

Feltet mot Skibotn har som tidligere nevnt 3 år gammel asfalt, og bør motstå deformasjoner i noen år fremover. IRI-verdiene viser en klart fallende trend med utflating fra og med 1:3,0-3,5, og en økning fra under 1:2,5 til over 1:3,5 gir 35,7 % lavere medianverdi for IRI. Med bakgrunn i vurderingene ovenfor settes høyriskosone for verdier under 1:3, medium risiko 1:3 – 1:4 og lav risiko over 1:4.

5.3.6 Torvkant

Resultatene peker på at torvkanter har en stor påvirkning på levetid, medianverdi for sporutvikling er 28,6 % høyere, og 95- og 90-persentilen er over dobbelt så høye som strekninger uten torvkant. For IRI og forholdstallet mellom høyre og venstre spor er det foreløpig størst utslag på ekstremalverdiene, noe som tyder på at tilgangen på vann langs strekningen antagelig er forskjellig fra sted til sted og at majoriteten av målingene har lav dekkealder.

Det er imidlertid ingen tvil om at torvkanter bør fjernes kontinuerlig, og betegnes som en driftsoppgave. Det kritiske med torvkanter er at de øker vanninnholdet under det ytre sporet og forårsaker en skjærdeformasjon dersom asfalten ikke bære spenningene alene. Etter skjærdeformasjonen har funnet sted vil asfalten med tiden gi etter, og spordannelsen vil være langt raskere enn forventet. Over flere vintere vil prosessen akselereres, og ikke minst vil prosessen akselereres ytterligere dersom det oppstår utmattingssprekker i sporet når asfalten aldres. Sporet vil hindre avrenning og når utmattingssprekkene reflekteres mot overflaten vil vannet infiltreres inn i overbygningen og ytterligere forverre situasjonen. Når det gjelder spesifikke grenseverdier er det ikke differensiert på størrelse og utbredelse i denne analysen, og dermed vil risikoverdiene være JA/NEI.

5.4 Spesifikke grenseverdier for strekningen

Gjennom analysen i kapittel 5 er det kommet fra til følgende grenseverdier for den undersøkte strekningen, som vist i Tabell 16. Analyseresultatene tyder på at det er mulig å fastsette grenseverdier for de aktuelle parameterens påvirkning på funksjonell levetid gjennom statistisk analyse av eksisterende spor- og jevnhetsmålinger.

Tabell 16 - Spesifikke grenseverdier basert på analysen

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,7 m	0,7 – 0,9 m	> 0,9 m
Lengdefall	< 3 ‰	3 – 5 ‰	> 5 ‰
Terskel	Ja		Nei
Lastavstand	< 0,8	0,9 – 1,1	> 1,1
Grøftevinkel	< 1:3	1:3 – 1:4	> 1:4
Torvkant/erosjonsspor	Ja		Nei

6 Praktisk eksempel

For å illustrere videre bruk av grenseverdier og teste de spesifikke grenseverdiene for strekningen utføres et praktisk eksempel for hvert kjørefelt på den undersøkte strekningen. Alle parametere beregnes for hver meter slik at rapporter kan lages for alle intervaller, men det er viktig å ha visshet om at større intervaller gir mer tap av detaljer. Det anbefales derfor ikke i denne omgang å bruke intervaller over 20 m, som også er en kjent verdi fra Pavement management system. Videre i eksempelet refereres det til «programmet» som et ferdig produkt for å få mer flyt i språket og en forståelse av målet med programmet.

Gjennom erfaringene fra analysen velges det å bestille rapport for m5450 – m4970 i begge kjørefelt, LiDar-målingene på denne strekningen er utført når dekket var 7 år for F1 (fylling) og 6 år for F2. Bakgrunnen for at ikke resten av strekningen er tatt med er på grunn av for liten skadeutvikling som følge av et relativt nylagt dekke, noe som hindrer to-faktor autentisering som beskrevet nedenfor.

6.1 To-faktor autentisering

Et viktig moment med programmet er at det skal kunne skilles mellom problemområder ifølge skadedataene, og problemområder ifølge parametere. Selv om parameterne indikerer at skadeutviklingen bør være stor, er det ikke sikkert det er tilfelle for alle seksjoner innenfor den undersøkte strekningen. For eksempel kan undergrunnen være så permeabel at vann ikke er et problem overhodet, eller et annet eksempel kan være at skadeutviklingen er stor mens parameterne indikerer grønn sone over hele linjen.

Det foreslås derfor å bruke empiriske data for levetid fra Pavement management system. Mer spesifikt hvor i tilstandsutviklingen spor- og jevnhetsdata for et tilsvarende, men tilstrekkelig drenert dekke ville befinne seg. På den måten kan parameterdataene kontrolleres opp mot hvor det faktisk er forhøyet skadeutvikling, og dermed videre i rekken hvor det er nødvendig og hensiktsmessig å sette inn tiltak. Dersom ingen av parameterne skulle tilsi økt skadeutvikling bør strekningen undersøkes nærmere med for eksempel graveprøver for å identifisere svakheter, med tanke på en eventuell forsterkning. Det kan da tyde på at overbygningen er underdimensjonert for den rådende trafikkbelastning.

For dette eksempelet er det ikke hentet empiriske data fra PMS, men det er gjort antagelser for hvor stor spordybde og IRI-verdier som kan forventes etter 6-7 år som vist i Tabell 17.

Tabell 17 - Antagelser om spor- og jevnhetsutvikling etter 6-7 år

	God	Nøytral	Dårlig	Veldig dårlig
Spordybde	< 7 mm	7 – 10 mm	10 – 15 mm	> 15 mm
IRI [mm/m]	< 2 mm/m	-	> 2 mm/m	-

Antagelsene er begrunnet med at dekket er 6 - 7 år gammelt på målingsdato, og normert levetid for Agb ved tilsvarende trafikkmengder er 15 år. Standard for drift og vedlikehold setter utløsende verdier for dekketiltak på 25 mm og 5 mm/m for tilsvarende ÅDT. Med visshet om at nedbrytning av vegger ikke følger en lineær utvikling, men heller akselererer mot slutten av levetiden, settes den til verdier som ser fornuftige ut av rapporten og med bakgrunn i teoretisk kunnskap.

6.2 Bestilling av detaljrapport

Første steg er å mate LiDar-målingen inn i programmet slik at en statistisk analyse av parametere kan utføres automatisk, og spesifikke grenseverdier for den aktuelle strekningen beregnes og fremlegges i tabellform. Fra Pavement management system hentes dekkealder, trafikkmengder og forventet spor- og jevnhetsutvikling for å kunne kontrollere parametere opp mot skadeutvikling.

For begge kjørefeltene bestilles to rapporter med intervaller på 10 m og 20 m for å kunne sammenligne hvor mye detaljer som går tapt ved økning fra 10 til 20 m.

6.2.1 Felt 1: EV8 S9D1 m5450 – 4970

For denne strekningen er grenseverdiene gjengitt i Tabell 18, og er hentet fra kap. 5.4.

Tabell 18 - Gjentakelse av spesifikke grenseverdier F1

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,7 m	0,7 – 0,9 m	> 0,9 m
Lengdefall	< 3 ‰	3 – 5 ‰	> 5‰
Terskel	Ja		Nei
Lastavstand	< 0,8	0,9 – 1,1	> 1,1
Grøftvinkel	< 1:3	1:3 – 1:4	> 1:4
Torvkant/erosjonsspor	Ja		Nei

Alle kolonnene i Figur 82 og Figur 83 oppgir medianverdier bortsett fra «Terskel» og «Torvkant», som oppgis i henholdsvis antall pr intervall og prosent pr intervall.

Metring	Spordybde [mm]	IRI [mm/m]	Grøftedybde [m]	Lengdefall [m/m]	Terskel [stk.]	Lastavstand [m]	Vinkel [1:X]	Torvkant [%]
5450	9,0	2,0	0,51	0,115	0	1,8	4,3	95
5430	10,0	2,1	0,41	0,080	0	1,1	4,3	60
5410	10,2	2,2	0,46	0,057	0	1,2	3,7	0
5390	7,2	1,0	0,52	0,085	1	1,0	3,7	0
5370	8,5	1,4	0,51	0,023	0	0,9	3,4	0
5350	15,7	2,0	0,43	0,023	0	1,0	3,8	0
5330	13,7	2,0	0,38	0,030	0	1,2	5,0	0
5310	13,0	2,2	0,44	0,055	0	1,2	4,6	25
5290	17,0	1,9	0,65	0,055	1	1,3	5,6	100
5270	13,8	0,9	1,10	0,070	0	1,2	4,8	25
5250	7,1	2,1	1,75	0,065	0	1,2	3,0	0
5230	6,7	1,6	2,10	0,085	2	1,0	2,7	0
5210	5,0	1,1	2,06	0,075	0	1,0	3,1	0
5190	5,5	0,9	0,92	0,102	0	1,0	3,5	0
5170	6,2	1,1	0,72	0,030	0	1,0	3,2	0
5150	14,1	1,9	0,46	0,060	0	1,1	3,3	0
5130	16,1	1,3	0,44	0,035	0	1,0	3,4	0
5110	7,9	2,0	0,49	0,062	2	1,0	3,1	0
5090	5,3	1,1	0,57	0,022	0	0,9	3,1	0
5070	6,4	1,6	0,66	0,050	0	0,8	2,7	0
5050	13,2	1,5	0,47	0,072	0	0,9	3,0	0
5030	6,4	2,0	0,49	0,087	0	1,0	2,8	0
5010	13,0	2,4	0,51	0,070	0	1,1	3,4	45
4990	15,0	2,4	0,77	0,108	1	1,4	4,9	5
4970	13,1	2,7	1,68	0,230	0	1,5	3,4	0

Figur 82 – Detaljrapport 20 m intervaller for EV8 S9D1 F1 m5450 - m4970

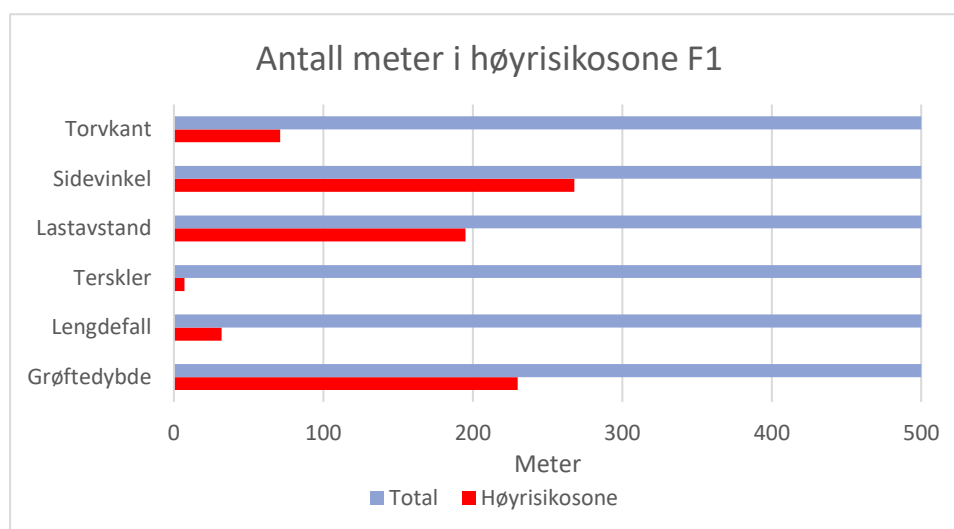
Metring	Spordybde [mm]	IRI [mm/m]	Grøftedybde [m]	Lengdefall [m/m]	Terskel [stk.]	Lastavstand [m]	Vinkel [1:X]	Torvkant [%]
5450	#NUM!	1,8	0,63	0,145	0	1,9	4,2	45
5440	9,0	2,0	0,43	0,090	0	1,7	4,3	50
5430	9,6	2,1	0,41	0,070	0	1,2	4,5	50
5420	12,0	2,1	0,41	0,105	0	1,1	4,0	10
5410	8,5	1,9	0,44	0,070	0	1,2	3,8	0
5400	11,0	2,3	0,50	0,053	0	1,1	3,5	0
5390	7,8	1,4	0,60	0,063	0	1,1	3,6	0
5380	6,2	1,0	0,44	0,087	1	0,9	3,8	0
5370	7,4	1,1	0,52	0,020	0	0,9	3,4	0
5360	9,8	1,6	0,51	0,023	0	0,9	3,5	0
5350	15,5	1,9	0,44	0,017	0	1,0	3,6	0
5340	16,0	2,3	0,43	0,030	0	1,1	3,8	0
5330	15,1	2,0	0,38	0,028	0	1,1	4,9	0
5320	11,5	2,1	0,44	0,045	0	1,5	7,9	0
5310	12,3	2,0	0,32	0,103	0	#NUM!	#NUM!	0
5300	14,9	2,3	0,46	0,035	0	1,2	4,6	25
5290	16,2	1,9	0,59	0,038	0	1,3	5,3	50
5280	18,5	2,3	0,72	0,078	1	1,2	5,7	50
5270	14,9	1,3	1,02	0,070	0	1,2	5,1	25
5260	10,2	0,8	1,24	0,067	0	0,9	3,7	0
5250	7,1	1,3	1,56	0,073	0	1,0	3,0	0
5240	7,1	2,7	1,89	0,048	0	1,2	3,0	0
5230	6,7	1,7	2,07	0,073	2	1,0	2,5	0
5220	6,6	1,6	2,12	0,093	0	1,0	2,9	0
5210	5,2	1,1	2,16	0,075	0	1,0	3,1	0
5200	4,8	1,1	1,97	0,080	0	1,0	3,1	0
5190	5,4	1,0	1,70	0,178	0	0,9	4,7	0
5180	5,7	0,8	0,88	0,047	0	1,0	3,3	0
5170	6,0	1,2	0,68	0,038	0	1,1	3,2	0
5160	6,3	1,0	0,77	0,025	0	0,9	3,0	0
5150	11,4	1,4	0,67	0,115	0	0,9	3,2	0
5140	14,9	2,2	0,40	0,025	0	1,1	3,4	0
5130	15,0	1,4	0,42	0,027	0	1,0	3,4	0
5120	17,5	1,1	0,47	0,058	0	1,0	3,4	0
5110	11,5	2,0	0,49	0,135	2	1,0	3,5	0
5100	5,6	1,9	0,50	0,045	0	1,0	2,8	0
5090	5,3	1,1	0,56	0,010	0	1,0	3,2	0
5080	5,5	0,9	0,61	0,037	0	0,9	2,8	0
5070	6,7	1,2	0,67	0,040	0	0,8	2,8	0
5060	6,0	1,8	0,64	0,065	0	0,8	2,5	0
5050	10,9	1,9	0,59	0,070	0	0,9	2,9	0
5040	17,4	1,4	0,39	0,078	0	0,9	3,2	0
5030	8,3	2,0	0,49	0,060	0	1,1	2,7	0
5020	5,7	1,9	0,52	0,110	0	1,0	2,9	0
5010	10,8	2,1	0,52	0,040	0	1,1	3,1	0
5000	15,3	4,0	0,51	0,107	0	1,1	3,7	45
4990	16,5	2,6	0,64	0,108	0	1,3	4,9	5
4980	12,7	2,4	0,80	0,112	1	1,5	5,2	0
4970	12,1	2,7	1,32	0,252	0	1,6	3,6	0
4960	15,1	3,0	1,91	0,145	0	1,4	2,5	0

Figur 83 - Detaljrapport 10 m intervaller for EV8 S9D1 F1 m5450 - m4970

For å gjøre en bestilling ut mot driftsentreprenør og kartlegging av budsjettbehov er det avhengig av kontraktstype behov for mengder i antall meter, og for dette kjørefeltet er mengdene som ikke er godkjent som følger i Tabell 19. Tabellen oppgir totalt antall meter i høyrisikosone for den undersøkte strekningen, og neglisjerer i denne omgang strekningene som har kombinasjonen parametere i høyrisikosone og lav skadeutvikling siden strekningen er så kort (500 m).

Tabell 19 – Totalt antall meter i høyrisikosone for F1

Grøftedybde	Lengdefall	Terskler	Lastavstand	Sidevinkel	Torvkant
230 m	32 m	7	195 m	268 m	71 m



Figur 84 - Antall meter i høyrisikosone F1

Kommentar til detaljrapporter

Som forventet er det noe detaljdata som går tapt ved 20 meters intervaller kontra 10 meter eller mindre. For en så kort strekning som 500 m er 10 meters intervaller å foretrekke siden det gir bedre innsikt, men for lengre strekninger kan 20 meters intervaller gi god oversikt uten at mottaker drukner i detaljer. For kortere strekninger kan det hende 5 meters og 1 meters intervaller kan være hensiktsmessig, men det kan fremtidige erfaringer gi svar på.

I Figur 84 kommer det frem at parameterne lastavstand, sidevinkel og grøftedybde alle har nesten halvparten av strekningen i høyrisikosone for å bidra til redusert levetid. Generelt ser grøftedybden ut til å være parameteren med størst korrelasjon med høy skadeutvikling, noe som var forventet. Det ser også ut til at to-faktor autentiseringen gir tilstrekkelig bakgrunn til å underbygge behovet for tiltak, og i motsatt fall kunne se bort fra dårlige parameterresultat på grunn av lav skadeutvikling og heller prioritere andre strekninger. Et annet interessant funn er at torvkanter ser ut til å ha god korrelasjon med forhøyet IRI, noe som også ble avdekket i analysen. Når det gjelder kombinasjonen kort lastavstand og bratt sidevinkel ser det foreløpig ikke ut til å spille en avgjørende rolle i dette datasettet, men det betyr ikke at analyseresultatene undergraves av den grunn.

I Figur 83 kan det tilsynelatende se ut til at systemet har fanget opp kritiske terskler som demmer opp vann og øker sporutviklingen i et område 20 – 40 meter oppstrøms av

hindringen i m5280, m5110 og m4980. Det kan imidlertid ikke med sikkerhet konstateres at tersklene er skyld i at spor- og jevnhetsmålingene er så dårlig, men siden spesielt IRI-verdien reagerer på stående vann i grøften kan det stemme godt med analysen.

Anbefalt tiltak ved lavt budsjett

Dersom situasjonen er slik at det er lite penger til overs for større tiltak, vil det det være naturlig å differensiere med bakgrunn i spor- og jevnhetsdataene og bare ta det mest nødvendige. Med bakgrunn i Figur 83 ville følgende være anbefalingen:

Det viktigste tiltaket vil være å senke grunnvannstanden og øke avstanden fra flomvannet om våren ved å senke grøftedybden til anbefalte 0,9 m for lav risiko. Ett år etter dreneringen er utbedret kan det gjøres en ny vurdering for om lastavstand og sidevinkel bør utbedres gjennom evt. breddeutvidelse.

Det er sterkt behov for grøfterensk/utbedring fra m5350 - m5270, m5150 - m5100, m5050 - m4950. Når det er sagt kan man risikere at problemene forplantes videre når disse strekningene får gode grøfter, mens nærliggende områder ikke får samme drenering.

I m5280 - m5270 og m5110 - m5100 og m4980 - m4970 ser det ut til at terskler demmer opp vann og forårsaker stor skadeutvikling for spor og også noe for IRI. Når det gjelder torvkant anbefales løpende fjerning som sannsynligvis vil gjenspeiles i driftskontrakten.

Anbefalt tiltak ved tilstrekkelig budsjett

For denne strekning bør det utføres grøfte- og torvkant-rensk på hele strekningen slik at grøftedybden blir 0,9 m dyp. I samme prosess er det naturlig å undersøke og utbedre terskler, noe som kan bety å anlegge/undersøke stikkrenner i privat avkjørsel og/eller plastre grøftebunnen for å gi tilstrekkelig og kontinuerlig avrenning. Som Tabell 19 viser er mengdebestillingen på F1 ca. 230 m grøfterensk og utbedring, samt 71 m rensk av torvkant samt ifylling av grus for å sikre avrenning.

Ved utbedring av grøftedybde bør innerskråningsvinkelen anlegges med vinkel minimum 1:3, men optimalt sett 1:4. Dette på tross av at en drenering kan medføre at en brattere vinkel kan være tilstrekkelig i drenert tilstand, men trafiksikkerhetsmessig og for å anlegge motstanden mot permanent deformasjon med en sikkerhetsfaktor benyttes anbefalingen fra analysen. Når det gjelder kombinasjonen av sidevinkel og lastavstand bør det vurderes om det er behov for plastring eller breddeutvidelse for punkter som er underkjent mtp. grenseverdi, og i tillegg har klar skadeutvikling. Dette bør undersøkes nærmere, minimum ett år etter at dreneringen er utbedret.

Områdene hvor skadeutviklingen er mest framskredet bør prioriteres først for å bremse utviklingen, mens det ellers bør etterstrebes sammenhengende strekninger med hensyn på riggekostnader og effektivitet i gjennomføringen.

6.2.2 Felt 2: EV8 S9D1 m5450 – m4970

Grenseverdiene er som for F1, og gjentas for enkelhetsskyld i Tabell 20. Spor- og jevnhetsvurderinger står i Tabell 17.

Tabell 20 - Gjentakelse av spesifikke grenseverdier F2

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,7 m	0,7 – 0,9 m	> 0,9 m
Lengdefall	< 3 ‰	3 – 5 ‰	> 5‰
Terskel	Ja		Nei
Lastavstand	< 0,8	0,9 – 1,1	> 1,1
Grøftevinkel	< 1:3	1:3 – 1:4	> 1:4
Torvkant/erosjonsspor	Ja		Nei

Figur 85 viser rapporten for F2 med 20 meters intervaller. Alle kolonnene i Figur 85 og Figur 86 oppgir medianverdier bortsett fra «Terskel» og «Torvkant», som oppgis i henholdsvis antall pr intervall og prosent pr intervall.

Metrering	Spordybde [mm]	IRI [mm/m]	Grøftedybde [m]	Lengdefall [m/m]	Terskel [stk.]	Lastavstand [m]	Vinkel [1:X]	Torvkant [%]
5450	9,3	1,8	0,44	0,066	0	1,2	4,8	0
5430	5,5	1,7	0,44	0,033	0	1,0	4,4	0
5410	5,7	0,9	0,42	0,038	0	1,2	4,3	0
5390	11,2	1,1	0,42	0,015	1	1,2	4,0	0
5370	13,5	2,0	0,51	0,008	2	1,2	3,2	0
5350	11,8	1,7	0,30	0,052	1	1,3	3,9	0
5330	15,6	1,9	0,40	0,019	1	1,1	4,3	0
5310	12,0	2,3	0,50	0,023	0	1,1	4,2	0
5290	11,8	2,5	0,83	0,041	0	1,1	3,6	0
5270	11,1	1,4	1,36	0,031	0	1,0	3,0	0
5250	9,5	1,8	1,68	0,022	0	1,1	2,6	0
5230	12,7	2,2	2,02	0,014	0	1,0	2,5	0
5210	21,4	3,9	1,59	0,106	0	1,1	3,0	30
5190	11,6	3,1	0,61	0,037	0	1,1	3,3	50
5170	11,6	2,8	0,53	0,036	0	1,0	3,2	10
5150	11,8	1,9	0,55	0,013	2	1,2	2,9	50
5130	19,1	1,4	0,46	0,018	0	1,2	3,2	50
5110	13,7	2,0	0,48	0,013	1	1,2	3,0	0
5090	8,6	1,3	0,59	0,010	2	1,0	3,0	0
5070	10,2	1,9	0,57	0,035	1	1,0	3,0	0
5050	15,4	1,1	0,38	0,029	0	1,0	3,2	0
5030	11,4	1,7	0,64	0,050	0	1,0	3,0	0
5010	10,6	1,6	0,52	0,040	0	1,0	3,2	0
4990	19,6	2,7	0,55	0,054	0	1,0	3,0	0
4970	9,8	1,8	1,47	0,090	0	0,9	3,3	0

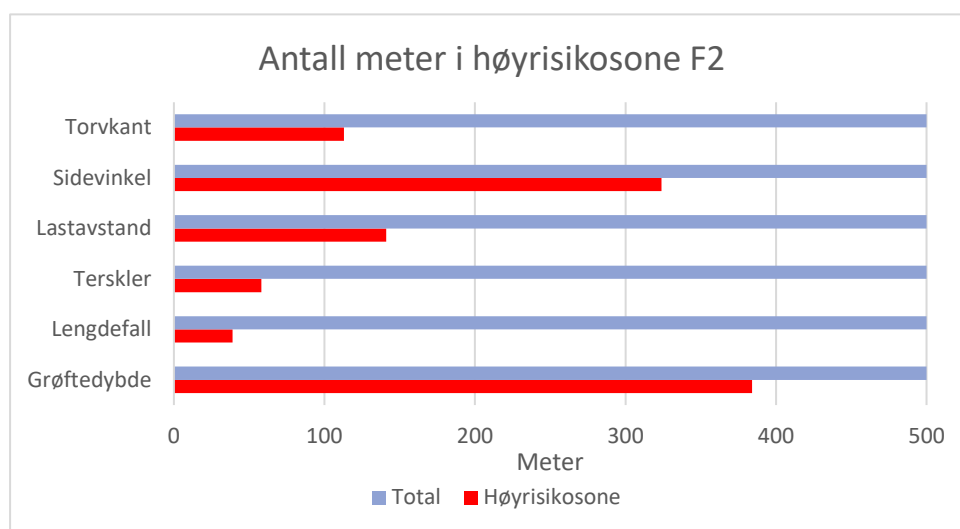
Figur 85 - Detaljrapport 20 m intervaller for EV8 S9D1 F2 m5450 - m4970

Metrering	Spordybde [mm]	IRI [mm/m]	Grøftedybde [m]	Lengdefall [m/m]	Terskel [stk.]	Lastavstand [m]	Vinkel [1:X]	Torvkant [%]
5450	9,6	2,2	0,47	0,074	0	1,2	4,9	0
5440	9,3	1,7	0,42	0,050	0	1,0	4,1	0
5430	7,7	1,7	0,35	0,047	0	1,2	4,6	0
5420	4,9	1,5	0,52	0,024	0	1,2	4,3	0
5410	5,2	0,9	0,54	0,059	0	1,2	4,2	0
5400	6,6	1,0	0,39	0,034	0	1,3	4,3	0
5390	11,0	1,2	0,41	0,020	0	1,1	4,0	0
5380	11,9	1,1	0,42	0,012	1	1,1	3,9	0
5370	12,0	1,9	0,50	0,008	1	1,1	3,1	0
5360	15,0	2,3	0,52	0,008	1	1,0	3,3	0
5350	10,8	1,9	0,43	0,052	1	1,1	3,3	0
5340	12,4	1,4	0,22	0,056	0	1,0	5,9	0
5330	17,6	1,6	0,41	0,018	1	1,1	3,4	30
5320	15,0	2,5	0,36	0,027	0	1,1	4,6	50
5310	12,6	2,6	0,46	0,022	0	1,0	4,2	10
5300	11,5	2,1	0,59	0,023	0	1,2	4,0	50
5290	11,4	2,6	0,75	0,032	0	1,2	3,8	50
5280	12,4	2,4	0,97	0,056	0	1,2	3,5	0
5270	11,6	1,7	1,33	0,047	0	1,0	3,0	0
5260	10,7	1,2	1,51	0,019	0	1,0	2,9	0
5250	9,4	1,5	1,62	0,021	0	1,0	2,7	0
5240	10,7	1,9	1,77	0,023	0	1,0	2,4	0
5230	11,2	2,3	2,00	0,035	0	1,0	2,6	0
5220	15,5	2,2	2,03	0,010	0	1,0	2,4	0
5210	22,5	3,0	1,98	0,087	0	0,9	2,6	0
5200	17,1	4,2	1,41	0,115	0	1,0	3,6	30
5190	9,7	3,7	0,58	0,020	0	0,9	3,3	0
5180	12,1	3,0	0,63	0,040	0	1,0	3,2	10
5170	11,7	3,7	0,57	0,030	0	0,9	3,3	50
5160	11,4	2,1	0,49	0,037	0	1,0	3,1	20
5150	15,1	2,1	0,53	0,015	1	1,2	2,8	0
5140	9,7	1,7	0,58	0,012	1	1,1	2,9	0
5130	16,1	1,5	0,55	0,024	0	1,0	2,9	0
5120	19,6	1,4	0,41	0,012	0	1,1	3,5	0
5110	15,5	1,9	0,38	0,017	0	1,0	3,5	0
5100	11,4	2,3	0,49	0,009	1	1,0	2,9	0
5090	8,9	1,3	0,59	0,022	0	1,1	3,1	0
5080	8,4	1,3	0,58	0,007	2	1,2	3,0	35
5070	9,6	2,2	0,50	0,045	0	1,2	3,3	50
5060	10,9	1,2	0,60	0,026	1	1,1	2,8	50
5050	18,2	1,1	0,40	0,026	0	1,1	3,2	35
5040	14,4	1,2	0,36	0,029	0	1,2	3,3	0
5030	11,4	1,7	0,58	0,073	0	1,1	2,9	0
5020	11,5	1,7	0,65	0,042	0	1,0	3,0	0
5010	9,2	1,6	0,65	0,025	0	1,0	3,3	0
5000	18,0	2,0	0,46	0,048	0	1,1	3,1	50
4990	19,2	2,7	0,53	0,053	0	1,1	3,0	45
4980	20,6	2,1	0,59	0,056	0	1,1	2,8	0
4970	12,3	1,7	0,82	0,110	0	1,0	3,4	0
4960	9,8	2,0	1,59	0,107	0	1,0	3,3	0

Figur 86 - Detaljrapport 10 m intervaller for EV8 S9D1 F2 m5450 - m4970

Tabell 21 - Totalt antall meter i høyriskosone for F2

Grøftedybde	Lengdefall	Terskler	Lastavstand	Sidevinkel	Torvkant
384 m	39 m	11	141 m	324 m	113 m



Figur 87 - Antall meter i høyriskosone F2

Kommentar til detaljrapporter

Denne strekningen har 130 meter med spordybde over 15 mm og opp mot 22,5 mm, noe som er svært høyt etter bare 6 år. Generelt har denne strekningen utilstrekkelig grøftedybde med hele 384 av 500 meter i høyriskosone. I tillegg er det noe høyere andel høyriskosone for sidevinkel på skjæringssiden kontra fyllingssiden, sannsynligvis som følge av tidligere grøfterensk og vegetasjonskutting. Det ser ut til å være god korrelasjon mellom bratt sidevinkel og grunn grøft, og de aller dårligste spormålingene. Det ser ut til å være klar sammenheng mellom grunne grøfter og høy sporutvikling for F2, men som tidligere nevnt er ikke en grunn grøft en garanti for høy sporutvikling. Det kommer frem i Figur 86 i delstrekningen m5430 - m5390 hvor grøften tilsier høy risiko, mens sporutviklingen er lav.

For strekningen m5270 – m5190 er grøftedybden svært god, og vil nok karakteriseres som en fylling i praksis. Likevel er spordybden og IRI-verdien til dels svært høy, noe som kan se ut til å stamme fra en kritisk kombinasjon mellom kort lastavstand og svært bratt sidevinkel.

Det ser også ut til å være en overvekt av sammentreff mellom torvkanter og forhøyet IRI-verdi, som skyldes telehiv under høyre spor og skjærdeformasjoner som tidligere nevnt. Når det gjelder terskler er det interessant at det ikke foreligger noen på skjæringssiden, men det kan tyde på at dette har vært fokusert på tidligere. Spesielt med så grunne grøfter kan det tenkes at vannet ville strømmet over vegen, og i vårtiningen med kald overbygning og kalde nattetemperaturer ville det med stor sannsynlighet oppstått trafikkfarlige situasjoner.

Anbefalt tiltak ved lavt budsjett

Første og viktigste forsterkningstiltak er å sørge for at dreneringen er tilstrekkelig, og med så høy korrelasjon som denne strekningen har mellom grunn grøft og høy sporutvikling bør pengene brukes til grøfterensk/utbedring for hele strekningen. Det vil gi et etterlengtet løft. Siden det gjelder nærmest hele strekningen kan det bety budsjettsprekk for inneværende år, men pengene vil gi god avkastning i økt levetid i årene fremover. En kunne kanskje spart 60 meter med grøfteutbedring fra m5450 – m5390, men når maskinen først er på stedet anbefales det å utbedre også denne seksjonen. Det er i tillegg viktig at innerskråningsvinkelen ikke blir brattere enn anbefalt i Tabell 20 når grøften anlegges dypere.

Da gjenstår det 100 meter mellom m5290 – m5190 hvor grøftedybden er tilstrekkelig i dag, men skadeutviklingen fremdeles er forhøyet. For F1 er ikke skadeutviklingen høyere enn forventet, så det kan virke som at bæreevnen totalt sett er god nok, se Figur 83. Altså kan en mest sannsynlig utelukke at det er veg over myr, noe som også ville gitt større utslag i IRI dersom det skyltes setninger. Et annet alternativ er at det kan være overgang til berggrunn under begge endene på seksjonen, det kan i så fall presse opp grunnvann og med tanke på forhøyet IRI-verdi for begge endene kan det være en mulig løsning. Altså at det dannes større telehiv som følge av overgang til bergskjæring.

En annen god kandidat fra Figur 86 er sidevinkelen som er svært bratt, og godt under 1:3 som er grenseverdien for høy risiko. I tillegg er lastavstanden innenfor medium risiko noe som gir en ugunstig kombinasjon, og kan tenkes å føre til forhøyet sporutvikling.

Forbedring av strekningen m5290 – m5190 vil sannsynligvis kreve en større investering med breddeutvidelse, eller for eksempel reasfaltering med armering av stål- eller geonett som bedrer lastfordelingsevnen. Ved et lavt budsjett er det nok ikke rom for slike tiltak, en billig variant kan kanskje være å forsøke med plastring/fylling av innerskråningen med kult for å se om det kan gi noe forbedret innspenning. Sist, men ikke minst forventes torvkantene fjernet før neste vintersesong.

Anbefalt tiltak ved tilstrekkelig budsjett

Ved tilstrekkelig budsjett vil anbefalingen i stor grad være som beskrevet ovenfor, samt med en nærmere vurdering av muligheter for seksjonen m5290 – m5190. Breddeutvidelser er ofte problematiske med tanke på setninger, og det kan være at det resultatet blir vel så godt med kantarmering ved neste asfaltering.

Som Tabell 21 viser er mengdebestillingen 384 m grøfteutbedring, samt 113 m rensk av torvkant og ifylling av grus for å sikre avrenning. Totalt er det også 324 m med sidevinkler i høyrisikosone, men det kan gjøres nærmere undersøkelser også her med tanke på kombinasjonen med lastavstand. Til sist gjenstår fjerning av 11 terskler, og pussing av grøftebunn på 39 m for å sikre kontinuerlig fall mot stikkrenner for at alle parametere skal være i grønn sone.

6.3 Nettverksnivå

En kartlegging på nettverksnivå vil være et svært nyttig datagrunnlag for å rettferdiggjøre budsjettkrav til en landsdekkende utbedring av grøftene langs vegnettet. En slik kartlegging kan være begynnelsen på en overgang fra reaktivt vedlikehold til proaktiv styring av tiltak og budsjettmidler, og optimalisering av disse med hensyn på mest mulig og best veg for pengene.

Tabell 15 er gjengitt nedenfor i Tabell 22, og er foreslått som generelle verdier for de respektive risikozonene for Europaveg. Som tidligere nevnt vil den totale tilstandsvurderingen bestemmes av den høyeste individuelle risikozonen for de enkelte parameterne i kartleggingen. I første omgang anbefales en differensiering på vegklasse, ÅDT og klimasoner, sistnevnte for å ta hensyn til forskjellene i ytre påvirkning som følge av kyst-/innlandsklima og ikke minst i hvilken grad overbygningen kan ventes å bli påvirket av frost (fryse-/tinesykluser).

Tabell 22 - Gjentakelse av generelle grenseverdier for Europaveg og nettverksnivå

Parameter	Høy risiko	Medium risiko	Lav risiko
Grøftedybde [m]	< 0,8 m	0,8 – 0,9 m	> 0,9 m
GEOM-faktor	> 1,6	1,6 – 1,4	< 1,4

Et viktig grep for å redusere usikkerhet er å benytte den foreslåtte to-faktor autentiseringen gjennom kontroll av empiriske spor- og jevnhetsdata for tilsvarende, men godt drenerte overbygninger. Det vil også bidra med beslutningsgrunnlag vedrørende hvor det er mest kritisk å sette inn ressurser, og videre kunne brukes til planlegging av fremtidige tiltak.

En overordnet kartlegging kan gjennomføres slik:

1. Velg sammenlignbare strekninger med hensyn på vegklasse og tilsvarende trafikk- og klimapåkjenninger
2. Beregne parameterdata meter for meter
3. Generer rapport for nettverket
4. Kontroller data opp mot dekkealder og forventet empirisk skadeutvikling fra PMS
5. Gjør overslag over budsjettbehov
6. Prioriter strekning(er) til forsterkning

7 Konklusjon

Denne rapporten har samlet en del kunnskap og teori om grøftens betydning for asfaltens funksjonelle levetid. Kunnskapen er med på å synliggjøre konsekvensene av grøftens tilstand i praksis gjennom å undersøke skadeutvikling, og i tillegg sette fokus på grøftegeometriens innvirkning på nedbrytning av overbygningen.

En målsetting for oppgaven var konstruere et faglig rammeverk til et fremtidig program som kan utnytte de store datamengdene som genereres gjennom de årlige spor- og jevnhetsmålingene med mobil LiDar. Det ble løst gjennom en litteraturgjennomgang for å vurdere hvilke parametere som var mulig og hensiktsmessig å kartlegge med mobil LiDar.

Videre ble det undersøkt om det er mulig å benytte spor- og jevnhetsmålinger for å bestemme risikosoner for hvilken grad det kan sannsynliggjøres at grøftens geometri bidrar til å redusere levetiden. Det ble derfor bestemt å gjennomføre en case studie på E8 S9D1 m5450 – m3500, hvor spor- og jevnhetsdata ble benyttet for å bestemme risikosoner gjennom statistisk analyse. Analysen undersøkte alle de utvalgte parameterne gjennom fire enheter; Spordybde, IRI, sporutvikling og forholdstall mellom spordybde høyre og venstre spor.

Gjennom analysen ble det klart at det var mulig å skille grad av skadeutvikling for de forskjellige parameterne, og det ble etablert spesifikke grenseverdier for en risikomodell som følger trafikklysoppbyggingen. Rød, gul og grønn sone ble etablert for hver enkelt parameter med henholdsvis høy, medium og lav risiko for hvilken sannsynlighet det er for at de enkelte parametere påvirker levetiden negativt.

Det skilles videre i rapporten på kartlegging på detalj- og nettverksnivå, hvor det er gjennomført et praktisk eksempel for detaljnivå-kartleggingen av strekningen EV8 S9D1 m5450 – m4970. For en kartlegging på nettverksnivå er det laget et forslag steg-for-steg til hvordan det kan gjennomføres ved hjelp av det foreslåtte rammeverket. En slik kartlegging vil kunne være et viktig redskap for å rettferdiggjøre fremtidige budsjettbehov og prioriteringer for å få mest mulig veg for pengene gjennom smartere vedlikehold.

Et viktig moment fra det praktiske eksempelet er innføringen av to-faktor autentisering som et verktøy for å verifisere om skadeutviklingen virkelig er forhøyet når parameterne indikerer at det er høy risiko for det. To-faktor autentiseringen benytter empiriske skadeutvikling fra PMS for tilsvarende veger, men med god drenering.

Basert på resultatene i denne rapporten kan det konkluderes med at det er hensiktsmessig å kartlegge grøftedybde, lengdefall, terskler, lastavstand, sidevinkel og torvkant med mobil Lidar. Analyseresultatene tyder på at det er mulig å fastsette grenseverdier og risikosoner for de aktuelle parameternes påvirkning på funksjonell levetid gjennom statistisk analyse av eksisterende spor- og jevnhetsmålinger. Det blir også klart gjennom analysen at de forskjellige parameterne påvirker skadeutviklingen som forventet, men at noen ser ut til å påvirke mer enn andre. Resultatene i analysen er utledet fra en relativt liten populasjon med ca. 1950 m individuelle målinger for hvert kjørefelt, men skadeutviklingen viste likevel klare trender.

Det ble imidlertid klart at dekkealderen ved analyse bør være over 4-5 år for å kunne identifisere skadetrender. Nylagte asfaltdekker vil i stor grad kamuflere underliggende svakheter i 3 – 4 år før skadeutviklingen ser ut til å sette fart, noe som sannsynligvis

skyldes de gode lastfordelende egenskapene i dekket samt bindemiddelets visko-elastiske egenskaper før det blir påvirket av aldring.

Gjennom de praktiske eksemplene ble det tydelige at detaljrapporter kan være svært nyttige hjelpemidler for å kartlegge strekninger med lav levetid, og ikke minst undersøke årsakene bak. Det er også tilrettelagt for praktisk bruk gjennom eksemplene, ved å anbefale tiltak for utbedring av strekningen.

7.1 Veggen videre

Gjennom arbeidet har det dukket opp flere mulig problemstillinger for videre arbeid, og spesielt to tema kan være aktuelle for videre arbeid: Nærmere undersøkelse av hvilken påvirkning de forskjellige parameterne har på skadeutvikling, og programmering av rammeverket til et fullverdig program eller modul til PMS.

Nærmere undersøkelse av parametere

Et naturlig steg i videre arbeid kan være å utvide datamengden og gjennomføre en statistisk analyse med stordata. En analyse med store mengder data vil redusere usikkerheten, og kunne bekrefte funn fra denne rapporten. Det ville også gitt mulighet for å tilegne data for hvor stor forbedring et tiltak på dreneringen vil kunne gi med hensyn på levetid i et kost/nytte-perspektiv.

For å få mer kunnskap og forståelse av prosessene som ligger bak kunne det vært svært interessant med laboratorie- eller fullskalaforsøk som forsøkte å gjenskape forholdene som finnes i felt.

Programmering av det faglige rammeverket

Det ville vært veldig interessant å undersøke mulighetene for å realisere et slikt program. Et alternativ er å utlyse programmeringen som en masteroppgave, med veiledning fra undertegnede eller annet fagpersonell. Ved å lage programmet ville en videre kunne gjennomføre kartlegginger på detalj- og nettverksnivå, og gjøre seg erfaringer som kan legge styring på videre utvikling.

8 Referanser

- Aho, S. & Saarenketo, T. (2006). *Managing Drainage on Low Volume Roads EXECUTIVE SUMMARY*. roadex.org. Hentet fra https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Drainage_English.pdf
- Aksnes, J. (2002). *A study of Load Responses towards the Pavement Edge* (Dr. Ing). Norwegian University of Science and Technology NTNU, NTNU open. Hentet fra https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/231242/125376_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alshandah, M., Huang, Y., Lu, P. & Tolliver, D. (2018). *Bottom-up crack detection in concrete pavements using in-pavement strain sensors*.
- Amundsen, G. (2020). Her er stedene i Norge med det beste sommerværet. *Aftenposten*. Hentet fra <https://www.aftenposten.no/reise/i/pLe7qo/her-er-stedene-i-norge-med-det-beste-sommerværet>
- Andersland, O. B. & Ladanyi, B. (2004). *Frozen Ground Engineering* (2. utg.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Aursand, P. O. (2019). *Rapport nr. 707 - Måling av vegoverbygning, bæreevne og grøftedybder*.
- Aurstad, J. e. a. (2016). *Lærebok Vegteknologi* (626). Statens vegvesen: Vegdirektoratet. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/1431251/binary/1120246?fast_title=SVV+rappor+626+L%C3%A6rebok+Vegteknologi.pdf
- Baneror. (2021). *TRV:02088*.
- Berntsen, G. & Saarenketo, T. (2005a). *Drainage on Low Traffic Volume Roads* (Roadex II). EU. Hentet fra https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/02/2_6-Drainage_I.pdf
- Berntsen, G. & Saarenketo, T. (2005b). Typical drainage problems in Northern Europe and the effect of improving drainage.
- Bianchini Ciampoli, L., Tosti, F., Economou, N. & Benedetto, F. (2019). Signal Processing of GPR Data for Road Surveys. *Geosciences*, 9(2), 96. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020096>
- Bowers, J. D., Magers, S. R., Pyrz, J. & Bullock, D. M. (2014). Processes of Small Culvert Inspection and Asset Management.
- Bråthen, M., Lyshaug, S. & Nashoug, O. (2020). *Geologi og vegbygging - Veileder*. . skogskurs.no. Hentet fra <https://www.skogskurs.no/userfiles/files/skogsvveier/Veileder%20geologi%20og%20veibygging.pdf>
- Canestrari, F. & Ingrassia, L. P. (2020). A review of top-down cracking in asphalt pavements: Causes, models, experimental tools and future challenges. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(5), 541-572. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.08.002>
- Chandra, S., Mehndiratta, H. C. & Chennapragada, U. K. (2006). Structural adequacy of flexible pavements with types and widths of shoulders. *Journal of Transportation Engineering*, 132(1), 69-75. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:1\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:1(69))
- Charlier, R., Hornych, P., Sršen, M., Hermansson, Å., Bjarnason, G., Erlingsson, S. & Pavšič, P. (2008). Water Influence on Bearing Capacity and Pavement Performance : Field Observations. In : *Water in Road Structures*. I(bd. 5, s. 175-192).
- Dawson, A. & Kolisoja, P. (2004). *Permanent Deformation*. Roadex.org. Hentet fra https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/2_1-Permanent-Deformation_I.pdf

- Dawson, A. & Korkiala-Tanttu, L. (2008). Effects of side slope on low-volume road pavement performance: A full-scale assessment. *Canadian Geotechnical Journal*, 45, 853-866. <https://doi.org/10.1139/T08-018>
- Deleys, N. J. & Parada, L. O. (1986). ROLLOVER POTENTIAL OF VEHICLES ON EMBANKMENTS, SIDESLOPES AND OTHER ROADSIDE FEATURES. VOLUME II: TECHNICAL REPORT. FINAL REPORT. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/870234>
- Ekblad, J. & Isacsson, U. (2006). Influence of water on resilient properties of coarse granular materials. *Road Materials and Pavement Design*, 7(3), 369-404. <https://doi.org/10.3166/rmpd.7.369-404>
- Elshaer, M. (2017). *Assessing the Mechanical Response of Pavements During and After Flooding* University of New Hampshire, New Hampshire. Hentet fra <https://core.ac.uk/download/pdf/215517685.pdf>
- Evans, R. D. (2009). *Optimising Ground Penetrating Radar (GPR) to Assess Pavements* Loughborough University, Loughborough. Hentet fra <https://core.ac.uk/download/pdf/288373375.pdf>
- FFI. (2015). RIMFAX - ground penetrating radar. Hentet 21.04 2021 fra <https://www.ffi.no/en/news/rimfax-ground-penetrating-radar>
- Fladvad, M. & Erlingsson, S. (2021). Permanent deformation modelling of large-size unbound pavement materials tested in a heavy vehicle simulator under different moisture conditions. *Road Materials and Pavement Design*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1883464>
- Granlund, J., Pettersson, S. & Jansen, J. M. (2012). *Vägars bärighet nära vägkanten*. nvfnorden.org. Hentet fra <https://nvfnorden.org/wp-content/uploads/private/2012-V%C3%A4gars-b%C3%A4righet-n%C3%A4ra-v%C3%A4gkanten.pdf>
- Gurganus, C. F., Scullion, T., Gharaibeh, N., Ravipati, D. & Neupane, S. (2019). *Developing av surface drainage rating for inclusion in TXDOT's asset management system*. Texas A&M Transportation Institute. Hentet fra <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/0-6896-R1.pdf>
- Hermansson, Å. & Guthrie, S. W. (2005). Frost heave and water uptake rates in silty soil subject to variable water table height during freezing. *Cold Regions Science and Technology*, 43(3), 128-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2005.03.003>
- Klima i Norge 2100* (2/2015. utg.). (2015). Oslo: Norsk klimaservicesenter. Hentet fra https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/6616?_ts=14ff3d4eeb8
- Koorevaar, P., Menelik, G. & Dirksen, C. (1983). 3 Static Equilibria in Soils. I *Developments in Soil Science* (bd. 13, s. 63-114). Elsevier.
- Lay, M. G. (2009). *Handbook of Road Technology* (4. utg.). New York: Spon Press.
- Lay, R. D. (2005). *Development of a Frost Heave Test Apparatus* (MS). Brigham Young University. Hentet fra <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/654/>
- Lee, C.-C. & Gharaibeh, N. G. (2020). Automating the evaluation of urban roadside drainage systems using mobile lidar data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 82, 101502. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101502>
- Lerfald, B. O. & Hoff, I. (2007). *Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer: State of the art studie*. Oslo: Vegdirektoratet. Hentet fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2686554/T%c3%98I-rapport%202519.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lindsay, J. B. & Dhun, K. (2015). Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using LiDAR. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 397-411. <https://doi.org/10.1080/13658816.2014.975715>
- Malehmir, R., Coram, C., Firkbank, D., Palsat, B. & Palesch, D. (2018). *Machine Learning Powered Roadside Asset Extraction using LiDar*. Innlegg presentert ved TAC 2018: Innovation and Technology: Evolving Transportation - 2018 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada, Saaskatoon, SK. Abstract

- hentet fra https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf_papers/malehmirr-machine_learning.pdf
- Matintupa, A. & Saarenketo, T. (2012). NEW SURVEY TECHNIQUES IN DRAINAGE EVALUATION.
- Matter, N. S. & Farouki, O. T. (1994). *Detailed Study on the Climatic and Seasonal Variation Effects of Pavements in Northern Ireland*. Innlegg presentert ved Bearing Capacity of Road and Airfields, Minneapolis, MN, USA.
- Mendenhall, S. (2011). Mobile laser scanning. *CENews*, 23(Issue), s. 52.
- Najafi, M. & Bhattachar, D. V. (2011). Development of a culvert inventory and inspection framework for asset management of road structures. *Journal of King Saud University - Science*, 23(3), 243-254.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.11.001>
- Ng, C. W. W., Xu, J. & Yung, S. Y. (2009). Effects of wetting-drying and stress ratio on anisotropic stiffness of an unsaturated soil at very small strains. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(9), 1062-1076. <https://doi.org/10.1139/t09-043>
- NGU. (2021). Løsmassekart. I. ngu.no: Norges Geologiske undersøkelse. Hentet fra http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Nordal, R. S. (1996). *Drenering og telesikring: Rådgjerder mot telehiving*. Notat nr 190. NTNU: Institutt for veg- og jernbanebygging.
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R. & Viréhn, P. L. E. (2016). Overvannshåndtering og drenering for veg og jernbane. I: NVE.
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R. & Viréhn, P. L. E. (2018). *Lærebok Drenering og håndtering av overvann* (681). Statens vegvesen: vegdirektoratet.
- Rahardjo, H., Kim, Y. & Satyanaga, A. (2019). Role of unsaturated soil mechanics in geotechnical engineering. *International Journal of Geo-Engineering*, 10(1).
<https://doi.org/10.1186/s40703-019-0104-8>
- Richter, C. (2006). *Seasonal Variations in the Moduli of Unbound Pavement Layers* (FHWA-HRT-04-079). Hentet fra <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/04079/>
- RIF. (2021). *State of the Nation - Norges tilstand*. rif.no: Rådgivende Ingeniørers Forening. Hentet fra https://rif.no/wp-content/uploads/2021/05/210518_State-of-the-Nation-2021.pdf
- Roadex. E-learning - drainage of low volume roads. Hentet 18.04 2021 fra <https://www.roadex.org/e-learning/lessons/drainage-of-low-volume-roads/components-of-road-drainage-system/>
- Roadex. E-learning - Permanent deformation. Hentet fra <https://www.roadex.org/e-learning/lessons/permanent-deformation/managing-permanent-deformation/>
- Salour, F. (2015). *Moisture Influence on Structural Behaviour of Pavements* KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm. Hentet fra <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:796833/SUMMARY01>
- Simonsen, E. & Isacsson, U. (1999). Thaw weakening of pavement structures in cold regions. *Cold Regions Science and Technology*, 29(2), 135-151.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(99\)00020-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-232X(99)00020-8)
- Simonsen, P. & Hjalmarsson, S.-O. (1977). *Grunnvattens inverkan på bärigheten - Ett fullskaleforsök*. Hentet fra <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:674323/FULLTEXT01.pdf>
- Statens vegvesen. (1996). *Håndbok V261 - Skadekatalog for bituminøse vegdekker*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2013). *Håndbok N101 - Rekkverk og vegens sideområder*. Hentet fra https://www.vegvesen.no/s/bransjekontakt/Funksjonskontrakt%20dokumenter/HB231_2013-11.pdf
- Statens vegvesen. (2014a). *R610; Standard for drift og vedlikehold av riksveger*. vegvesen.no. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/61430/binary/964067?fast_title=H%C3%A5ndbok+R610+Standard+for+drift+og+vedlikehold+av+riksveger.pdf

- Statens vegvesen. (2014b). *V221 - Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger*. vegvesen.no. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/61506/binary/964921
- Statens vegvesen. (2015). *Rapport nr. 365 - Lærebok Drift og vedlikehold av veger*. Oslo/Trondheim. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/1011337/binary/1056061?fast_title=SVV+rappport+365+L%C3%A6rebok+Drift+og+vedlikehold+av+veger.pdf
- Statens vegvesen. (2018). *N200 Vegbygging*. vegvesen.no. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/2364236/binary/1269980
- Statens vegvesen. (2020). *Nasjonal transportplan 2022 - 2033*. regjeringen.no. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/13a80858d58a47e1a23e944b7144ee9b/2020-03-26-oppdrag-9-til-sd-korrigert-versjon.pdf>
- Statens vegvesen. (2021). *Håndbok R211 - Feltundersøkelser*. Vegvesen.no.
- Saarenketo, T. & Aho, S. (2005). *Managing spring thaw weakening on low volume roads*. Roadex.org. Hentet fra https://www.roadex.org/wp-content/uploads/elearning/publications/docs-RII-EN/2_3%20Spring_Thaw_Weakening_.pdf
- Tapio, R., Lehtinen, J., Ylinampa, J. & Saarenketo, T. (2016). *PEHKO Project 2015 - 2025, increasing the productivity of paved road management in Finland*. . Abstract hentet fra <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=981>
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. New York; London: J. Wiley and Sons, Inc.; Chapman and Hall, Limited.
- Thom, N. H. & Brown, S. F. (1987). EFFECT OF MOISTURE ON THE STRUCTURAL PERFORMANCE OF A CRUSHED-LIMESTONE ROAD BASE. *Transportation Research Record*, 50-56. Hentet fra <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0023591151&partnerID=40&md5=51ee7875f66d51198e476de2b2865498>
- Uthus, L. (2007). *Deformation Properties of Unbound Granular Aggregates* NTNU, Trondheim. Hentet fra https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/231354/122653_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- web&media. (2021). Beste tida å reise. Hentet 31.05 2021 fra <https://www.bestetidareise.no/norge/skibotn-2941516/>
- Williams, K., Olsen, M. J., Roe, G. V. & Glennie, C. (2013). Synthesis of Transportation Applications of Mobile LIDAR. *Remote Sensing*, 5(9), 4652-4692. Hentet fra <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/9/4652>
- Woods, K. B. (1962). *The AASHO Road Test*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences - National Research Council. Hentet fra <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr61g/61g.pdf>
- Yen, K. S., Ravani, B. & Lasky, T. A. (2011). *LiDar for Data Efficiency (WA-RD 778.1)*. wsdot.wa.gov. Hentet fra <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/778.1.pdf>
- Zaghloul, S., Ayed, A., Ahmed, Z., Henderson, B., Springer, J. & Vitillo, N. (2004). Effect of Positive Drainage on Flexible Pavement Life-Cycle Cost. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1868(1), 135-141. <https://doi.org/10.3141/1868-14>
- Zaghloul, S., Gucunski, N., Jackson, H. & Hadidi, R. (2006). *Material Characterization and Seasonal Variation in Material Properties* (FHWA-NJ-2005-024).
- Zegeer, C. V., Reinfurt, D. W., Hunter, W. W., Hummer, J., Stewart, R. & Herf, L. (1988). Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane roads. *Transportation Research Record*, 1195, 33-47.
- Zhang, C. (2004). *The Effect of High Groundwater Level on Pavement Subgrade Performance* Florida State University, Florida. Hentet fra <https://fsu.digital.flvc.org/islandora/object/fsu:168695/datastream/PDF/view>

