



**ROADEX III**  
NORTHERN PERIPHERY



Saara Aho, Timo Saarenketo

## **AFVANDING AF LAVT TRAFIKEREDE VEJE**

Praktisk sammendrag

---

Afvanding af lavt trafikerede veje  
PRAKTISK SAMMENDRAG  
April 2006

Saara Aho  
Roadscanners Oy

Timo Saarenketo  
Roadscanners Oy

---

## FORORD

Denne rapport er en opsummering af 2005 rapporten ROADEX II "Drainage on Low Traffic Volume Roads – Problem description, improvement techniques and life cycle costs" ved Geir Berntsen fra Norwegian Road Administration og Timo Saarenketo of Roadscanners Oy, Finland.

Den er tænkt som en vejledning, der omhandler klassificering af afvandingsproblemer, undersøgelsesmetoder og beskrivelse af effekterne af ringe afvanding på belægningernes funktion, teknikker til forbedret afvanding og deres livscyklusomkostninger.

Rapporten er ikke en erstatning for tilgængelige håndbøger eller instruktioner og specifikationer indenfor emnet. Hensigten er, at sammendraget skal give læseren en større forståelse af problemerne, løsningerne og betydningen af dette problemfelt, som mange gange forsømmes.

Rapporten er skrevet af Saara Aho og Timo Saarenketo from Roadscanners Oy, Finland. Ron Munro, projektleder af ROADEX III projektet, kontrollerede sproget. Mika Pyhähuhta fra Laboratorio Uleåborg har designet rapportens layout.

Forfatterne ønsker at takke ROADEX III styregruppen for dens opmuntring og rådgivning til dette arbejde.

**Copyright © 2006 Roadex III Project**

All rights reserved.

ROADEX III Lead Partner: The Swedish Road Administration, Northern Region, Box 809, S-971 25 Luleå. Project co-ordinator: Mr. Krister Palo.

---

## INDHOLD

<b>FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>KAPITEL 1. INDLEDNING</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 ROADEX -PROJEKTET</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 DRÆNING AF LAVT TRAFIKEREDE VEJE</b> .....	<b>6</b>
<b>KAPITEL 2. OVERVÅGNING AF AFVANDINGENS TILSTAND</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 OVERVÅGNINGS PROCESS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 IDENTIFICERING AF PROBLEMSTRÆKNINGER</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 GRUNDLÆGGENDE DIAGNOSTICERING AF STEDER MED     AFVANDINGSPROBLEMER</b> .....	<b>10</b>
<b>KAPITEL 3. KLASSIFICERING AF STEDER MED AFVANINDSPROBLEMER OG LØSNINGER PÅ DISSE</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 GENERELT</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 VEDLIGEHOLDELSSESPROBLEMER</b> .....	<b>13</b>
3.2.1 Problemer forårsaget af smeltet sne .....	13
3.2.2 Dårligt fungerende afvandingskonstruktioner.....	14
<b>3.3 UDFORMNINGSRELATEREDE PROBLEMER</b> .....	<b>18</b>
3.3.1 Generelt .....	18
3.3.2 Skrånende terræn .....	18
3.3.3 Afvandingsproblemer på lavtliggende terræn.....	19
3.3.4 Afvaningsproblemer i fladt terræn.....	20
3.3.5 Afvandingsproblemer i områder hvor vejen er konstrueret i afgravning af grundfjeld .....	21
<b>3.4 ANDRE PROBLEMER</b> .....	<b>21</b>
3.4.1 Indespærret vand.....	21
3.4.2 Stabilitetsproblemer i grøftens yderskråning .....	22
<b>KAPITEL 4. EFFEKTEN AF DÅRLIG AFVANDING PÅ BELÆGNINGS YDEEVNE</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 GENERELT</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2 TEORETISKE BEREGNINGER</b> .....	<b>24</b>

---

<b>4.3 FELTOBSERVATIONER.....</b>	<b>25</b>
<b>4.4 EFFEKTEN AF DÅRLIG AFVANDING - SAMMENFATNING .....</b>	<b>29</b>
<b>KAPITEL 5. AFVANDING OG LCC.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 GENERELT .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2 HVOR OFTE KAN AFVANDING VÆRE EN LØNSOM FORBEDRING? .....</b>	<b>30</b>
<b>KAPITEL 6. ANBEFALINGER.....</b>	<b>32</b>
<b>KAPITEL 7. REFERENCER.....</b>	<b>33</b>
<b>APPENDIKS 1.....</b>	<b>35</b>
<b>TABEL TIL AT IDENTIFICERE AFVANDINGSPROBLEMER OG FORSLAG TIL LØSNINGER.....</b>	<b>35</b>

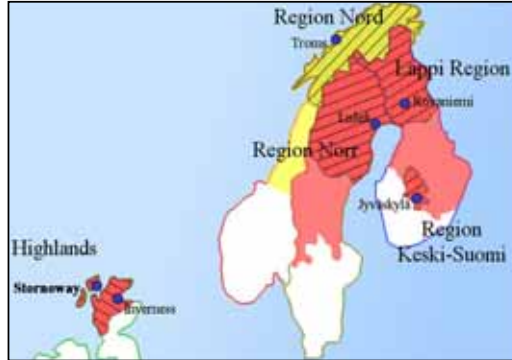
# Kapitel 1. Indledning

Formatted: Bullets and Numbering

## 1.1 ROADEX –PROJEKTET

ROADEX Projektet er et teknisk samarbejde mellem vejorganisationer i det nordlige Europa og dets mål er at dele vejrelateret information og forskning mellem partnerne.

Projektet blev startet op i 1998 som et 3-årigt pilot-samarbejde mellem vejdistrikterne i Finsk Lapland, Troms Amt i Norge, Den Nordlige Region i Sverige og amtet Highlands i Skotland og det blev senere fulgt op af det andet projekt, ROADEX II, fra 2002 til 2005.



Partnerne i ROADEX II projektet omfattede offentlige vejadministrationer, skovbrugsorganisationer, skovbrugs- og transportvirksomheder fra regionerne i de nordlige områder. Disse var The Highland Council, Forest Enterprise & The Western Isles Council from Scotland. Region Nord of The Norwegian Public Roads Administration og The Norwegian Road Haulage Association, The Northern Region of The Swedish Road Administration og The Lappi and Keski-Suomi Regions of The Finnish National Roads Administration. (Disse senere Finske Regions modtog også hjælp fra den lokale skovindustri organisationer fra Metsähallitus, Lapin Metsäkeskus, Metsäliitto & Stora-Enso.)

Målet for projektet var at udvikle måde for interaktiv og innovativ management af lavt trafikerede vejes tilstand ved at integrere behovene fra den lokale industri, lokalsamfundet og vejorganisationerne. 8 rapporter blev publiceret sammen med en DVD og komplette udgaver af rapporterne er til rådighed for download på ROADEX web site på [www.roadex.org](http://www.roadex.org).

Dette rapport indeholdende et praktiske sammendrag, er en af 8 sammendrag, som er blevet forberedt under ROADEX III projektet (2006-2007), et nyt projekt hvor de ovenfor nævnte partnere har fået tilslutning af yderligere Northern Periphery Partnere: Sisimiut Kommune, Grønland, den Islandske Offentlige Vejadministration and den Finske Ve Administration, Region Savo-Karjala.

## 1.2 DRÆNING AF LAVTTRAFIKEREDE VEJE

Vand spiller en nøglerolle, når man diskuterer den mekaniske ydeevne og levetid for al trafikal infrastruktur. Det er et længe kendt faktum, at så længe vejkonstruktioner og jordbundslag ikke indeholder overskudsvand, så vil de fungere godt. Men øget vandindhold i de underliggende jordlag vil reducere bæreevnen, hvilket vil forøge nedbrydningstakten og forkorte vejens levetid. I sådanne tilfælde behøver vejen rehabilitering oftere end godt afvandede vejkonstruktioner. Når valget af vedligeholdelsesstrategi skal tages, skal vejbelægningsomkostningerne til vedligeholdelsen af vejoverfladen sammenlignes med udgiften til vedligeholdelse eller udbedring af afvandingen. Denne analyse er meget udfordrende i den Nordlige Periferi, fordi problemet er mere komplekst i kolde områder, hvor frys-tø cykluserne påvirker fugtindholdet i meget større udstrækning end andre steder.

I ROADEx pilotprojektet 1998-2001 blev afvandingsproblemer det problemfelt, som alle partnere anså som det største. Ressourcerne til vejvedligeholdelse er gennem flere år mindsket i alle de lande som deltager i ROADEx projektet, og som et resultat heraf er grundlæggende vedligeholdelse af afvandingen som oprensning af grøfter og underføringer, såvel som andre opgaver vedrørende afvandingsystemet generelt er blevet forsømt, da de har været lavt prioriteret. I stedet for vedligeholdelse af afvandingen har de opprioriterede opgaver været dem, der for brugerne af vejen, på kort sigt har været vigtigere. For eksempel nyasfaltering og snerydning.

Denne rapport koncentrerer sig om at præsentere de problemer som utilstrækkelig afvandning påfører lavt trafikerede veje i NP området i Europa. Den omhandler også undersøgelsesmetoder, som kan anvendes til at vurdere afvandings tilstand og foreslår mulige forbedringsteknikker på forskellige afvandingsproblemer. Desuden undersøges afvandings betydning på belægningernes levetid og livscyklusomkostningerne for asfaltbelægningerne. Rapporten er hovedsagelig baseret på forskningsarbejdet udført under ROADEx II delprojektet "Drainage on Low Traffic Volume Roads" skrevet af Berntsen & Saarenketo (2005). Originalrapporten indeholder et omfattende litteraturstudie af fugtindholdet i vejstrukturen og relationen mellem fugtindholdet og egenskaberne af ubundne grusmaterilaer og undergrundsjordarter.

# Kapitel 2. Overvågning af afvandings tilstand

## 2.1 OVERVÅGNINGSPROCES

En økonomisk fornuftig vedligeholdelse af afvandingen kræver et managementsystem med en systematisk tilgang til overvågning og analyse af afvandingen. Et sådant system kræver en mindre investering på et tidligt stadium for at etablere de nødvendige databaser, men dette vil efterfølgende hurtigt tjene sig ind gennem en mere effektiv vedligeholdelse. Overvågning bør i disse år gennemføres med ganske korte intervaller for at lokalisere de vejstrækninger hvor afvandingen nedbrydes hurtigt.

Når grunddata er blevet indsamlet og gemt i databaserne, anbefales det at en omfattende vurdering af afvandings tilstand gennemføres i slutningen af hver driftkontrakts tidsperiode eller med maksimalt med 6 -8 års interval. Under vurderingen skal de problematiske afvandingsstrækninger identificeres og behovet for forbedringer fastslås. Når dette er gjort kan de særlige årsager til afvandingsproblemerne vurderes og løsninger på disse findes. Denne overvågnings- og forbedringsstrategi kan inddeles i tre faser:

1. kortlægning af vejstrækninger som lider under utilstrækkelig afvandning
2. formulering af en diagnose af stederne med afvandingsproblemer
3. formulering af løsninger for problemstederne

Når man arbejder sig gennem disse faser, har man brug for information om afvandings tilstand, dens opbygning, geologiske forhold etc. Til den opgave er visuel inspektion af grøfter og underføringer, interviews med brugerne af vejen og/eller driftspersonalet, analyse af historiske sporkørings- og ruhedsdata og GPR brugbare. I fremtiden vil der også komme nye undersøgelsesmetoder, som laserscanning og infrarøde kameraer, der kan overvåge afvandings tilstand.

Timing af disse faser er meget vigtig for at få brugbare data. Den første fase bør gennemføres tidligt i foråret eller sent om sommeren, hvor grøfterne er fri for frodig vegetation. Foråret er det bedste udførelsestidspunkt for fase to, da der er store mængder smeltevand, der flyder på det tidspunkt, men det kan også gennemføres om sommeren om nødvendigt.

## 2.2 IDENTIFICERING AF PROBLEMSTRÆKNINGER

Den visionelle inspektionsteknik er formodentlig den mest brugbare metode til at identificere vejstrækninger, der lider under utilstrækkelig afvandning. Det anbefales,



at den visuelle inspektion gennemføres ved at anvende dataloggere suppleret med digital video og serier af still fotos fra begge sider af vejen. Dette tillader at alle data kan kalibreres til en ensartet standard hen over året og muliggør en fremtidig anvendelse af data, f.eks. når man skal udforme et specielt design af afvandingsystemet.

Ved indsamling af digitale videooptagelser, bør videokameraet rettes mod grøften som vist i figur 2.1. Et to-kamera system kan også anvendes og i det tilfælde anbefales det, at et kamera rettes direkte mod vejen, mens det andet kamera optager grøften og vejrabatterne. GPS data bør også indsamles på samme tid som den digitale video for at sikre, at problemstedernes position noteres præcist. Observationer gjort af undersøgelsesmandskabet vedr. afvandings tilstand kan ligeledes blive optaget på videobånd eller direkte på PC'en. Disse observationer kunne f.eks. beskrive og klassificere grøftens funktion, vejens topografiske og geologiske tilstand, og dertil afvandings generelle tilstand, lokale skader som ødelagte rørunderføringer og sammenfaldne grøfter m.m.



**Figur 2.1. Eksempel på retningen af den digitale video.**

Efter at afvandings tilstandsdata er blevet indsamlet, bør vejen opdeles i homogene delstrækninger baseret på afvandings systemets tilstand. Dette kan gøres ved at anvende klasseinddelinger som "standard afvandings vedligeholdelses klasse" og "speciel afvandings vedligeholdelsesklasse". Vejstrækninger kategoriseret i den førstnævnte klasse vil normalt have afvandingsproblemer, som kan forbedres ved rutinemæssige forbedringstiltag af afvandingen, gennemført med jævne mellemrum. Den "specielle afvandings vedligeholdelsesklasse" bør indeholde strækninger, hvor vejens strukturelle og funktionelle tilstand i høj grad påvirkes af afvandings tilstand. Disse strækninger behøver særlig overvågning og vedligeholdelse i løbet af kontraktperioden med særlige afvandingsforbedringstiltag om nødvendigt. Klassificeringen kan gennemføres f.eks. ved at anvende de tre afvandingskategorier fra de svenske projekteringsregler (ATB VÄG) (klasse 1 = god afvandings, klasse 2 = utilstrækkelig afvandings og klasse 3 = dårlig afvandings) som "standard afvandings

vedligeholdelses klasse” og dertil en “speciel afvandingsklasse” som en fjerde kategori for afvandings tilstand.

For mere detaljerede analyser på kontoret anbefales det, at still foto data analyseres sammen med historiske data for sporkøring og ujævnhed, hvis disse data er til rådighed. Information fra det lokale driftspersonale kan også bruges som hjælp til at udpege og klassificere strækningerne med problemer. F.eks. kan man med sporkøringsdata beregne den årlige forøgelse af sporkøringsdybden for derved at finde ud af om dårlig afvandning har en effekt på udviklingen af sporkøringen.

Baseret på resultaterne fra afvandingsanalysen kan problemstrækninger og strækninger, der med stor sandsynlighed kan give problemer i en nær fremtid, identificeres for yderligere analyse. Når dette er gjort kan de udpegede problemstrækninger gennemgå en mere detaljeret problemdiagnose for at finde årsagen til deres problemer.

En ulempe ved den visuelle inspektion er, at den er baseret på visuelle iagttagelser og dermed er subjektiv. Hvis dette er gjort af veluddannet personale, forbedres kvaliteten af evalueringen af afvandingsklassen. Begreberne afvandingsanalyse og “speciel afvandingsklasse” vil blive videreudviklet under ROADX III delprojekt “Drainage guidelines”.

## 2.3 GRUNDLÆGGENDE DIAGNOSTICERING AF STEDER MED AFVANDINGSPROBLEMER

Hvis det besluttes, at en reparation af en problematisk vejstrækning skal udføres, bør årsagen til de bagved liggende problemer identificeres. Den grundlæggende diagnose bør indeholde en vurdering af om afvandings problemer skyldes et dårligt fungerende afvandingsystem, vejens placering og dens omgivelser, om der findes indespærret vand i vejkonstruktionen eller om der er stabilitetsproblemer i vejens yder skåninger (se figur 3.1).

Den grundlæggende diagnose vil ofte nødvendiggøre en mere præcis visuel inspektion, hvilket betyder at tilstanden af underføringer og andre eksisterende afvandingskonstruktioner som f.eks. udløbsgrøfter inspiceres til fods. Data fra GPR undersøgelserne kan (hvis disse findes) også hjælpe med at finde årsagen til de eksisterende skader. Det kan f.eks. være at klippestykker spærrer for vandet i væjkonstruktionen og således forhindrer afvandingsystemet i at fungere ordentligt.

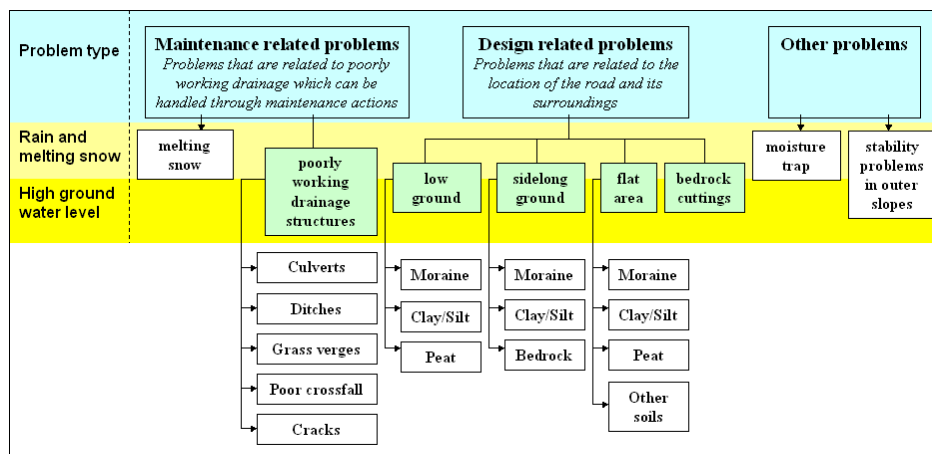
Det er vigtigt, at personalet som udfører dette arbejde har tilstrækkelig viden til at kunne erkende årsagerne til problemerne og til at komme med forslag til de

nødvendige reparationer. Et besøg i felten kan også identificere nødvendigheden af yderligere undersøgelser for at stille en diagnose.

## Kapitel 3. Klassificering af steder med afvandingsproblemer og løsninger på disse

### 3.1 GENERELT

Selv om terrænforholdene, landskabet og klimaet varierer meget indenfor NP området er de afvandingsproblemer man møder grundlæggende de samme. En lille undtagelse har været Skotland, hvor der er nogle specielle problemer, der relaterer sig til brugen af græsrabatter. Problemerne kan grupperes i tre hoved kategorier, som vist i figur 3.1.



Figur 3.1. Kategorier af afvandingsproblemer.

Afvandingsproblemerne vist i figur 3.1 er beskrevet i den følgende tekst ved:

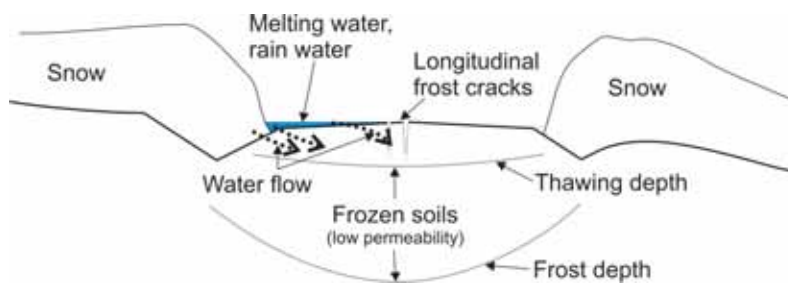
- problembeskrivelse
- problemidentifikation
- problemårsager
- forslag til forbedring af afvandingen

En samlet oversigt over afvandingsproblemerne indeholdende retningslinier for problemidentifikation og forslag til passende forbedringsteknikker, er vist i appendiks 1. Derud over findes mere detaljerede beskrivelser af afvandingsproblemerne i ROAD EX II projektfase II rapporten "Drainage on Low Traffic Volume Roads" skrevet af Berntsen & Saarenketo (2005).

## 3.2 VEDLIGEHOLDELSESPROBLEMER

### 3.2.1 Problemer forårsaget af smeltet sne

Under tøbrudsperioder kan der være store mængder vand fra smeltet sne og regn på vejens overflade og i grøfterne. Det største problem er, at de fleste frosne jordarter næsten er impermeable i modsætning til ikke frosne jordarter. Desuden kan smeltevand og regnvand ikke løbe væk fordi grøfterne er fyldte med sne og is og derfor ikke fungerer. Under disse omstændigheder har overskudsvand fra islinserne kun en vej at løbe, nemlig op gennem vej kroppen. Sammen med overfladevandet forårsager dette et ekstremt højt porevandstryk i vej kroppen. Dette vil reducere bæreevnen i disse perioder. Typiske afvandingsproblemer under tøbrud er beskrevet under figur 3.2.



Figur 3.2. Afvandingsproblemer under tøbrud.

Forbedringsmetoder - forslag:

- bortskaffelse af sne fra grøfterne i tøbrudsperioderne for at fjerne overfladevandet (figur 3.3)
- brug af dybdegående afvanding
- frostisolering (dyrt)
- løft af vejens længdeprofil ved nybygning og/eller etablering af bredere og dybere grøfter
- bruge vejmaterialer i vejkonstruktionen som ikke er følsomme overfor vand eller frost
- ved design af vejkonstruktionen må underbundens bæreevne under den kritiske tøbrudsperiode tages i betragtning



Figur 3.3. Bortskaffelse af is og sne i grøfterne.

### 3.2.2 Dårligt fungerende afvandingskonstruktioner

#### Stenkister/underføringer

Stenkister kan grundlæggende opdeles i tværgående stenkister og stenkister langs vejen. Tværgående stenkister er de stenkister, som leder vandet under vejen, og stenkister langs vejen leder grøftevandet under vejtilslutninger og private adgange til det nærmeste udløb.

I tværgående stenkister vil materialer blive afsat i stenkisten under vejen hvis afstrømningshastigheden er lavere end opstrømhastigheden. Et vigtigt vedligeholdelsestiltag er derfor, at rense stenkisten når mængden af deponerede jordmaterialer har nået et forudbestemt niveau. Hvis dette arbejde forsømmes, vil den tværgående stenkiste ikke have tilstrækkelig kapacitet til at bortlede vandet, og vandet vil flyde henover vejoverfladen og/eller ind i vejkonstruktionen. Dette kan også blive et trafikikkerhedsproblem, eftersom en tilstoppet stenkiste også kan forårsage erosion med den mulige konsekvens, at vejen bliver skyllet bort. Dette kan også ske hvis stenkistens indløb er spærret af grene, mudder, grus, affald eller andre genstande og konsekvensen er den samme som beskrevet ovenfor.

Tværgående stenkister er også udsat for fros- og isproblemer. Hvis is lukker stenkisten, støver vandet op og flyder hen over vejen. Dette er hovedsagelig et problem i det tidlige forår og om vinteren i perioder med mildt vejr med kraftig regn. Erosion kan være et problem, men på grund af at vejkonstruktionen normalt er frosset på det tidspunkt, er problemet ikke så stort som senere på året, hvor jorden og vejkonstruktionen er tørt.

Forbedringsteknikker – nogle forslag for tværgående stenkister:

- inspicer og oprens både indløb og stenkiste efter behov
- rekonstruer indløbet/stenkisten
- fjern den blokerende is i stenkisten med damp
- solpaneler og varmekabler mod isdannelser

Stenkister som er indbygget langs vejen har normalt en mindre diameter end tværgående stenkister under vejen. Stenkister under private adgange er normalt placeret i bunden af grøften, som oftest ligger uden fald sammenlignet med stenkister på tværs af vejen. Ofte deponeres fint materiale nemt i stenkisten på grund af den lave strømningshastighed og dette reducerer det effektive afvandingsareal. Et andet problem er, at etablering uden fald, den lave strømningshastighed og det reducerede afvandingsareal gør stenkisten modtagelig for frost og tilisning. Is kan lukke stenkisten til og problemet kan blive alvorligt under tøbrudsperioden, når sne smelter og behovet for en effektiv løsning er presserende.

Specielle udgaver af afvanding er ved adgange til butikker, benzinstationer og andre virksomheder, hvor stenkister langs vejen ofte er meget lange. På disse strækninger er stenkister mere udsat for frost og is og derfor vanskeligere at rense for aflejringer og affald.

Forbedringsteknikker – forslag vedr. stenkister langs vejen:

- rens stenkisterne jævnligt
- fjern den blokerende is i stenkisten med damp
- solpaneler og varmekabler mod isdannelser
- ved svære problemer kan det være nødvendigt at udskifte afvandingsystemet med dybtliggende afvanding og et regnvandsbassin med sandudskillere

Ved ujævne frosthævninger, sætninger eller fejlagtige konstruktioner kan stenkisterne revne og bryde sammen. Konsekvensen af dette er, at vandet flyder ukontrolleret og kan forårsage erosion omkring stenkisten og/eller hæve grundvandsspejlet. I sådanne tilfælde kan vej kroppen skylles væk efter kraftige regnbyger med det resultat at vejen må lukkes.

Forbedringsteknikker - forslag:

- udskift den beskadede stenkiste og etabler en frostsikker bund
- relinje stenkisten ved at bruge et PEH/plastrør lagt inde i den gamle stenkiste og injicer beton mellem de to rør

### Grøfter

Grøfternes kapacitet kan reduceres ved ophobning af mudder og vegetation som fylder grøftebunden op over en årrække. Dette vil reducere afvandingskapaciteten. Konsekvensen af dette er, at grundvandsspejlet stiger i vej kroppen og at bæreevnen reduceres. I områder hvor undergrundsjordarterne er finkornede, er behovet for grøfteoprensning større, da de finkornede jordarter lettere kan errorere. Stabiliteten af grøfteskråningerne kan også være et vanskeligt problem

specielt i områder med silt som det ses i figur 3.5. Sammenbrudte grøfter bør altid reetableres eller erstattes af en stærkere konstruktion.

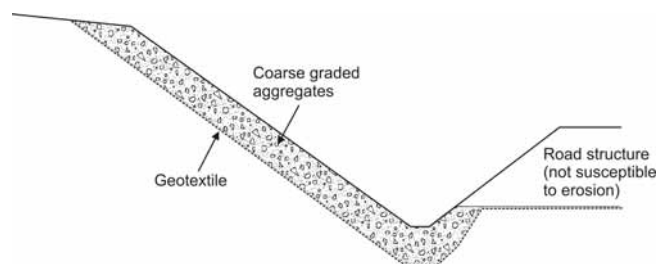


**Figur 3.5. Kollapset yderrabat i et siltholdigt område. Billedet er taget det første forår efter grøfteoprensning.**

At rense udløbsgrøfter er meget vigtigt for et velfungerende afvandingsystem og ved inspektion af grøfterne bør disse ikke ignoreres som en del af afvandingssystemet. Det er ingen fordel at rense grøfterne langs vejen hvis de effektive udløb for det afdrænede vand savnes. Ved reparation af grøften bør udløbsgrøften derfor få samme behandling. I bund og grund kan de samme forbedringsteknikker (oplistet herunder) anvendes for både afløbsgrøfter og grøfterne langs vejen.

Forbedringsteknikker for grøfter - forslag:

- rens grøften tilstrækkeligt ofte
- forebyg erosion, udskift materialet i grøftens yderskråning med groft materiale og geotekstil (figur 3.6)
- rørlæg grøften (underjordisk dræn)
- grøfterender fyldt med groft materiale pakket i geotekstil



**Figur 3.6. Beskyttelse af grøftens yderskråning.**



### Græskanter

Høje græskanter er et stort problem i Skotland på de gamle, smalle vejnet på landet, men lignende problemer kan også opstå i de andre NB områder når græstørvet langs vejkanterne vokser op over asfalterfladen. Hvor det sker, er overfladevandet tvunget til at afdræne gennem overbygningen i stedet, som normalt at løbe ned i grøfterne. Dette resulterer i reduceret bæreevne og deformationer.

Forbedringsteknikker - forslag:

- Fjern græskanter og tørv, sørg for at grøfterne afvander overfladevandet og overbygningen
- dyb afvanding (subdrain)
- kantafvanding

### Dårligt tværfald

Et godt tværfald er en af hovedårsagerne til, hvor hurtigt vandet løber af vejens overflade. Vejafvanding afhænger både af tværfaldet og af vejens længdefald. For et tværfald anses for effektivt på asfalterede veje i Norge, skal det mindst være 1 %. I Finland anbefales et tværfald for grusveje på 4 %.

Sporkøringsrender og ujævne vejoverflader kan hindre overfladevand i hurtigt at løbe bort og vand, der står på vejoverfladevand kan infiltrere vejkroppen. Den infiltrerede mængde afhænger af omfanget af revner, slaghuller og belægningens permeabilitet.

Vand på vejens overflade kan også være et trafiksikkerhedsproblem. En våd overflade reducerer friktionen som fører til længere bremseafstande. Overfladevand kan også fryse på kolde nætter, hvorved vejen bliver meget glat. En pludselig ændring af friktionen kan også være en overraskelse for billisterne. Af denne grund er det vigtigt at alle veje har tilstrækkeligt tværfald og dette kan tilvejebringes gennem rehabilitering eller afretning/overfladebehandling af vejen.

### Revner og slaghuller

De fleste lavt trafikerede veje i Sverige, Finland og Norge har et meget tyndt slidlag af asfalt på et bærelag af nedknust grus. Denne type bærelag kan have et højt indhold af finkornet materiale og lav stivhed i forhold til i forhold til andre bærelagsmaterialer og dette kan forårsage store horisontale spændinger i asfaltslidlaget. Hvis bitumen i i slidlaget er for stiv vil det føre til krakeleringer og

langsgående revner. Yderligere revnedannelser forårsaget af forsthævninger, svage vejkanter og tunge hjultryk er også almindelige.

Vejoverfladen er ofte ujævn på disse veje og det tilstedeværende overfladevand kan koncentreres i sporrender og andre fordybninger. Hvis overfladen også er revnet disse steder, vil overfladevandet trænge ned i i gruslagene og reducere materialets bæreevne. Dette vil fremskynde vejens nedbrydning.

For at tage hånd om dette problem, bør fleksible bitumenbundne materialer anvendes i overfladelaget og, som sådan, er en blød bitumen anbefalet. Det er også vigtigt at forsegle overfladen, så vandet løber af til grøfterne og ikke ned i vej kroppen som allerede omtalt.

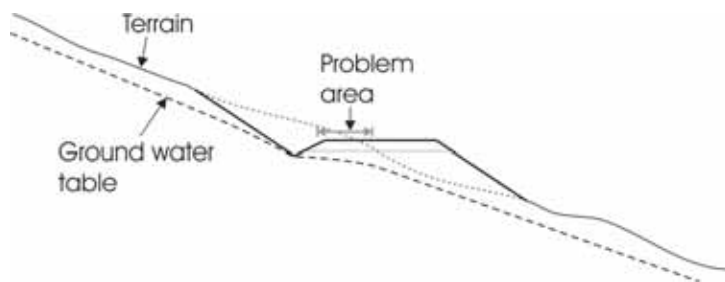
### 3.3 UDFORMNINGSRELATEREDE POBLEMER

#### 3.3.1 Generelt

Et afvandingsystem kan fortsat være utilstrækkeligt selv hvis systemet har være konstrueret efter retningslinierne. Retninglinier kan ikke dække alle tilfælde og hvis det er tydeligt at problemerne forårsages af vand i vej kroppen, er der stadigvæk behov for at forbedre afvandingsystemet.

#### 3.3.2 Skrånende terræn

I størstedelen af NP-området er vejene bygget på skrånende terræn, hvor halvdelen af vejen ligger i afgravning og den anden halvdel af vejen ligger i påfyldning som vist i figur 3.7. Afvandingsproblemer relateret til skrånende terræn er normalt fundet i områder med moræne- og sand/siltmaterialer. Hvor underbundsjordarterne er ler eller mose er terrænet normalt fladt.



*Figur 3.7. Afvandingsproblemer på en vej på skrånende terræn..*

På veje på strånende terræn vil grundvandsspejlet normalt være nærmere vejens overflade (og belastningen fra hjulene) på afgravningssiden. Fugtindholdet er en

funktion af dets afstand fra grundvandsspejlet og derfor er sporskøringen på bjergsiden større end på dalsiden i skrånende terræn. Konsekvensen af dette er, at vejens afgravningsside viser behov for rehabilitering mange år før den veldrænedede påfyldningsside. Livstidsforholdet (drænet kørespor/udrænet kørespor) kan være mere end 2.

På skrånende terræn flyder grundvandet naturligt under vejen. Hvis der findes grundfjeld eller impermeable materialer tæt på vejen kan disse blokere eller ophobe grundvandet på steder med stort potentiale for udvikling af frosthævninger, opblødning ved tøbrud og reduceret bæreevne.

Forbedringsteknikker - forslag:

- forøg tykkelsen på vejkonstruktionen (materialeudskiftning) på vejens afgravningsside eller forøg vejens længdeprofil
- anvend en dyb afvanding for at sænke grundvandsspejlet på afgravningssiden
- kantafvanding
- fjern klippen/impermeable materialer som blokerer for grundvandet
- frostisolering (dyrt)
- anvend flere underføringer der hvor vandet bliver blokeret

### 3.3.3 Afvandingsproblemer på lavtliggende terræn

I områder med lavtliggende terræn hvor der ikke er naturlige afvandingssystemer for overfladevand må overskudsvandet trænge ned gennem undergrundsgrunden. Når jorden er frosset eller efter en periode med kraftigt nedbør eller snesmeltning, kan vandet ikke løbe væk tilstrækkelig hurtigt og opsamles derfor i lavtliggende områder til det stiger så meget, at vejen oversvømmes. Dette forårsager problemer for vejen som vist i figur 3.8. Det høje grundvandsspejl kan også opbløde vejkonstruktionen og vejoverfalden specielt for grusveje i et sådan omfang at vejen bliver ufarbar.



**Figur 3.8. Afvandingsproblemer for lavtliggende terræn, Rd 19778, Kemijärvi, Finland.**

Forbedringsteknikker - forslag:

Underbund af moræne

- det er muligt at etablere infiltrationsbrønde eller infiltrationsgrøfter
- løfte vejens længdeprofiler (hjælper også vintervedligeholdelsen)

Underbund af ler, silt eller mose

- løft vejens længdeprofil (hjælper også vintervedligeholdelsen), men vær opmærksom på muligheden for stabilitetsproblemer
- infiltration fungerer ikke

### 3.3.4 Afvandingsproblemer i fladt terræn

Afvandingsproblemer for veje som krydser flade områder ligner normalt de problemer som veje, der ligger i lavtliggende terræn, har med tilføjelse af det problem at der er langt til naturlige afvandingsystemer eller recipienter, hvor man kan bortlede vandet. Dette problem er mest åbenbart under forårstøbrud, hvor jorden stadigvæk er frosset og hvor der er store mængder vand fra smeltet sne og regnvand. Dette sker også i perioder med kraftig regn, hvor undergrundsjordarterne kan have problemer med at bortlede overfladevandet. Problemets størrelse afhænger af vandmængderne og underbundens permeabilitet. I alle tilfælde vil virkningen være den samme. Grundvandsspejlet vil stige og konsekvenserne er beskrevet i det foregående afsnit.

Forbedringsteknikker - forslag:

Underbund af moræne

- løft vejens længdeprofil
- udskift vejmaterialerne med materialer der ikke er frost og vand følsomme
- etabler infiltrationsbrønde eller -grøfter

- etabler lange grøfter (lange udløbsgrøfter) eller dyb afvanding

Underbund af ler, silt eller mose

- løft vejens længdeprofil – (hold øje med mulige sætninger)
- lange grøfter (lange udløbsgrøfter) (overfladetrug eller dræn)
- infiltrationsbrønde fungerer ikke

### 3.3.5 Afvandingsproblemer relateret til tilstedeværelsen af grundfjeld

Tilstedeværelsen af grundfjeld tæt på profillinien giver altid særlige problemer med vejafvandingen, specielt når vejen er beliggende på skrånende terræn. Grundfjeld kan blokere grundvandsstrømmene og dette kan være en årsag til at vejkonstruktionen ikke afdrænes hvilket forårsager en reduceret bæreevne. I løbet af den kolde årstid kan vejkonstruktionen være frosset helt ned til grundfjeldets overflade og blokere for grundvandsstrømmene. Dette medfører, at islinser opbygges ovenpå grundfjeldet, hvilket fører til ujævnheder i form af bump på vejens overflade. Det er også muligt at hulninger i grundfjeldets overflade kan samle vand og hvis der er frostfølsomme materialer i vejkonstruktionen vil segregationsis dannes.

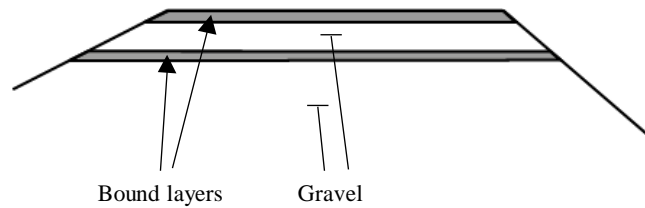
Forbedringsteknikker - forslag:

- bortspræng grundfjeldet til endybde af 1 – 2 m under planum. Dette vil danne revner i grundfjeldet og vandet får mulighed for at løbe væk fra vejkonstruktionen
- etabler grøfter/dyb afvanding som forhindrer vandet i at komme ind i vejkonstruktionen
- brug frostisolering (bør specielt overvejes på skrånende terræn hvor bortsprængning af grundfjeldet ikke er muligt, eller er dyrt
- fjern eller afvand hulninger i grundfjeldet som opsamler vand

## 3.4 ANDRE PROBLEMER

### 3.4.1 Indespærret vand

Almindelig praksis gennem halvfjerdserne og firserne var at forstærke vejene ved at komprimere ubundne bærelagsmaterialer direkte ovenpå den gamle belægning. Derved opbyggedes en sandwichkonstruktion (se figur 3.9). Vandet i disse konstruktioner, som gennemtrænger asfaltoverfladen fra de ubelagte rabatter og fra grøfterne (i perioderne med smeltende sne), vil blive fanget mellem to bundne lag. Hvis fugtindholdet i de ubundne materialer er tæt på mætningspunktet vil et dynamisk akseltryk skabe et højt hydraulisk tryk i materialet og dette vil ødelægge belægningen ovenover.



**Figur 3.9. Vandmættede lag på grund af bundne materialer i konstruktionen.**

Forbedringsteknikker - forslag:

- dybdefræs overbygningen og knus de underliggende bundne lag, hvis de ligger tættere på vejoverfladen end 40 cm
- fræs den eksisterende belægning og forøg tykkelsen af de ubundne lag til at være mindst 35 cm (plus 5 cm belægning)

### 3.4.2 Stabilitetsproblemer i grøftens yderskråning

Et andet alvorligt afvandingsproblem, specielt ved afgravning, er at materialet fra våde skrånninger kan flyde ned i grøfterne og kan forhindre vandet i at flyde og dermed få grundvandsspejlet til at stige. Dette problem er størst hvor jordarten er finkornet sand og silt, og hvor der er en høj grundvandsstrømning.

Forbedringsteknikker - forslag:

- overfladedræn
- etabler en bagvedliggende grøft bag den øvre kant af yderskråningen, for at tage hånd om overfaldevandet og sænke grundvandsspejlet
- plant vegetation
- dæk skråningsens overflade med groft grus eller makadam (figur 3.10). Brug geotekstil mellem undergrundsjordarterne og det grove materiale



***Figur 3.10. Et eksempel på hvordan en afgravningsskråning kan gøres mere stabil.***

## Kapitel 4. Effekten af dårlig afvanding på belægningens ydeevne

### 4.1 GENERELT

Mange modeller er blevet udviklet for at vurdere vejkonstruktioners ydeevne under trafikbelastning. Nogle af dem beregner eller tager i hvert fald hensyn til effekten af afvanding. Problemet ved disse modeller er de komplekse mekanismer, som styrer vandindholdets påvirkning på belægningens ydeevne. Det er nødvendigt at disse mekanismer forenkles ved forudsigelse af en vejs nedbrydning som funktion af afvandingens kvalitet.

Næsten alle forskere nævner i deres studier at afvandingen er den vigtigste parameter, når man betragter en vejkonstruktionens funktion på langt sigt. Imidlertid har meget få studier undersøgt i hvilket omfang god afvanding virkelig påvirker en vejkonstruktionens levetid. Nogle af de mere kendte designprocedurer anvendes i de følgende afsnit til at vurdere levetiden for en vejkonstruktion med varierende vandindhold. Ud over disse procedurer præsenteres også feltobservationer for at vise effekten af dårlig afvanding på belægningens levetid.

### 4.2 TEORETISKE BEREGNINGER

De følgende retningslinier, som indeholder modeller der behandler effekten af afvandingens kvalitet var præsenteret i den første ROADDEX II rapport:

- Svensk design guide
- AASHTO design guide
- HDM-4
- FHWA, LTPP programmer i SHRP

Andre modeller præsenteret i litteraturlisten blev også anvendt til at beregne afvandingens effekt på deformationen af undergrunden.

Den svenske design guide klassificerer E-moduler for materialer af dårlig kvalitet (udenfor specifikation) i 3 kategorier baseret på resultaterne fra afvandingsanalyser. Disse materialer er ofte anvendt i lavt trafikerede veje. Med disse værdier er det muligt at beregne virkningen af forbedringer af en vejstrækning afvandingsklasse til en bedre klasse ved at beregne spændinger og tøjninger med egnede nedbrydningsmodeller.

I den første rapport (Berntsen og Saarenketo 2005) blev der præsenteret to eksempler for at demonstrere effekten af forskellige dræningsklasser. Beregningerne blev lavet med det svenske Vejdirektorats program PMS Objekt, som anvender en lineær elastisk model. Som et resultat blev antallet af standardaksler beregnet indtil den maksimalt tilladte deformation og revnedannelse



optrådte. Resultatet viste, at vejkonstruktionens levetid var øget med en faktor 2.2 – 2.6 når afvandingssystemet var forbedret fra dårlig til god tilstand (fra afvandingsklasse 3 til 1). Undergrundens jordart blev antaget at være moræne, men hvis det havde været silt ville faktoren have været endnu større.

AASHTO design guiden anvender 5 forskellige klasser for afvandingens kvalitet, som går fra “meget dårlig” til “fremragende”. Forbedring af afvandingskvaliteten fra “meget dårlig” til “rimelig” jævner disse retningslinier viser en meget større forøgelse af levetiden end med den svenske model. Levetiden forlænges 5 gange i de eksempler der præsenteres i den første rapport.

Nedbrydningsmodellerne udviklet i SHRP programmet er baseret på multiple regressions af tilstandsudvikling for et stort antal potentielle parametre og har gennem regressionsanalyse kvantificeret betydningen af fugtindholdet. SHRP modellerne er ikke lette at anvende, men det er helt klart at modellerne giver øget nedbrydning, når fugtindholdet øges og forskellen er større når der er frost tilstede.

En forøgelse af belægningens levetid kan også opnås ved at øge forstærkningelagets tykkelse. En forøgelse af forstærkningslaget på 8 cm vil have den samme virkning som at sænke grundvandsspejlet på 40 cm (fra et niveau 20 cm over planum til et niveau 20 cm under planum). Dette kan selvfølgelig ikke gøres ved en gammel vej, men er vigtigt at være opmærksom på når man designer en vejkonstruktion og et afvandingssystem. Der er steder, hvor det er svært at etablere tilstrækkelig afvanding og den bedste løsning kan være at øge vejkonstruktionens tykkelse ved f.eks. at hæve vejens længdeprofil i forhold til grundvandsspejlet.

### 4.3 FELTOBSERVATIONER

Effekten af dårlig afvanding på belægningens ydeevne kan ses i praksis ved at observere vejstrækninger konstrueret på skrånende terræn. Som beskrevet i kapitel 3.3.2 er grundvandsspejlet normalt nærmere vejoverfladen (og dermed belastningen fra hjulene) på afgravningssiden. På vejens påfyldningsside er afstanden til grundvandsspejlet større og vejkonstruktionens fugtindhold er mindre. Dermed kan afgravningssiden bruges til at demonstrere en situation med dårligt afvandingssystem og påfyldningssiden kan demonstrere situationen med et velfungerende afvandingssystem. Nogenlunde samme forhold er fundet i belægningsopbygninger beliggende i afgravning: fugtindholdet er i disse tilfælde en anelse højere end i lignende belægningsopbygninger beliggende i påfyldning.

Den følgende tekst viser to eksempler på observationer af vejstrækninger beliggende på skrånende terræn. Når eksemplerne studeres bør man dog huske på, at det ikke kun er afvandingens tilstand, som kan forårsage forskelle på sporkøringen mellem det afvandede og ikke afvandede spor. Materialerne og komprimeringen af materialerne kan være forskellige og det er også muligt, at

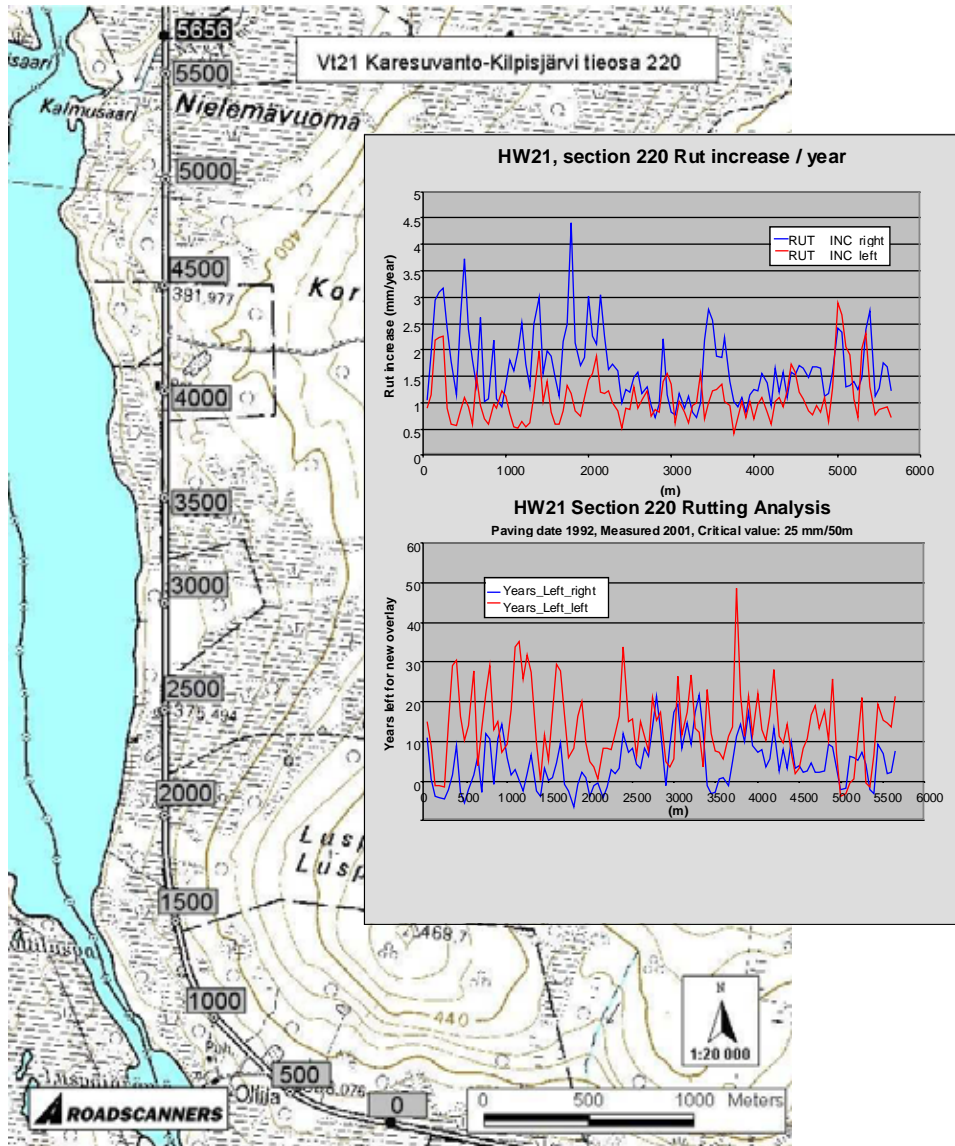
underbundens jordarter kan variere hen over tværsnittet. Sidst men ikke mindst vil trafikbelastningen have forskellig virkning på sporkøring i inder- og ydersporet i en vejs horisontalkurver. Hjulbelastningerne er mere koncentrerede i indersporet og vil have en større virkning på deformationerne.

Eksempel: HW 21 (E8) Kilpisjärvi, Finland

Figur 4.1 viser et eksempel fra HW 21 tæt ved Kilpisjärvi, Finland. På denne strækning er vejen placeret på skrånende terræn og kan ses på kortet vist i figur 4.1. Grafer som viser den gennemsnitlige sporkøringsudvikling i mm/år for begge kørespor og deres restlevetider vises også.

Den tydelige forskel i sporkøringens udvikling kan let ses på delstrækning 0 – 2500, hvor terrænet er mest stejlt. Hvis man kun undersøgte denne strækning er den årlige sporkøringsudvikling i spordybde 2.0 mm/år i det højre spor og kun 1,0 mm/år i det venstre spor. Dette indikerer at levetiden for det drænede spor er dobbelt så lang som levetiden af det udrænede spor, hvis sporkøringsudviklingen antages at være lineær.

Sporkøringsmålinger var gennemført da belægningen var 9.5 år gammel og den beregnede restlevetid for det højre spor var 1.8 år og for det venstre spor 15.0 år. Med andre ord var levetiden for det drænede venstre spor 24.5 år og 11.3 år for det udrænede højre spor. Det giver et forhold på 2.17.



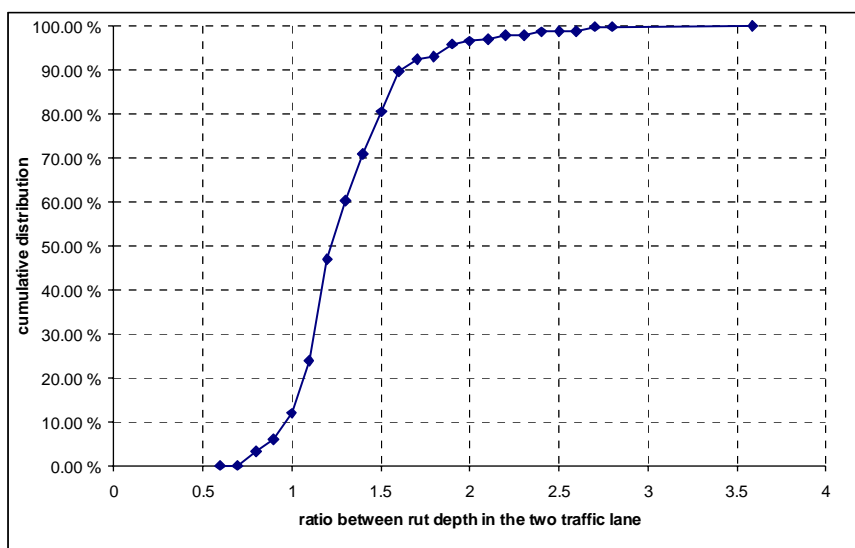
**Figur 4.1. Vejstrækning på HW21 – Kilpisjärvi, Finland, som viser sporkøringsforøgelsen/år og restlevetiden.**

Eksempel:: Fieltobservationer fra 184 km veje i Troms Amt, Norge.

I Norge måles sporkøringen hvert år på begge sider af alle asfalterede stats- og amtsveje. Vejene er opdelt i homogene strækninger, hvor forholdene omtrent er de samme. Disse strækninger anvendes i det norske PM System. For hver strækning beregnes den statistiske fordeling af sporkøringen og sporkøringsværdien beskrives som det niveau, hvor 90 % af vejstrækningen har mindre sporkøring.

Denne sporkøringsværdi er brugt som en skadesudløsningsfaktor og når denne overskrider 25 mm anbefaler retningslinierne at vejens overflade bør forbedres.

I ROADX II afvandingsanalysen er forholdet mellem sporkøringsdybden på bjergsiden kørespor (udrænnet) og det udvendige (drænede) spor beregnet. Det samme forhold var også beregnet for ruhedsindekset. Figur 4.2 viser den kumulative fordeling af forholdet mellem spordybden (udrænnet/drænnet kørespor) for 184 km veje. Som figuren viser, har kun 12 % af det undersøgte vejnet haft en større sporkøringsdybde på den drænede side af vejen (beregnete forhold under 1). 19.5 % af det undersøgte vejnet havde et sporkøringsforhold større end 1.5, hvilket betyder at sporkøringsdybden for det udrænede kørespor var mere end 50 % større end det drænede kørespor. For den resterende del (68.5 %) var forholdet mellem 1.0 og 1.5. Forholdene mellem IRI værdier for de to kørespor var ikke af samme størrelse som for sporkøringsdybderne, men det var klart, at udviklingen af IRI var værst for det udrænede kørespor.



**Figur 4.2. Kumulativ fordeling af forholdet mellem sporkøringsdybderne i det udrænede og drænede kørespor.**

Forskellene på de to kørespors levetid kan anses for hovedsageligt at skyldes forskelle i afvandingens tilstand. Grundvandsspejlet er tættere på trafikbelastningen på afgravningssiden (den udrænede side) og det højere fugtindhold vil forårsage dybere sporkøring. Derfor kan forskellen i levetid anses for at være et mål for virkningen af at sænke grundvandsspejlet.

#### 4.4 EFFEKTEN AF DÅRLIG AFVANDING - SAMMENFATNING

Modellerne for tilstandsudvikling i kapitel 3 har været brugt til at vise at levetiden på belægninger (beregnet som et antal standardaksler) vil forøges væsentligt når afvandingen er forbedret. Når man sammenligner resultaterne fra den svenske design guide med feltobservationerne, er resultaterne overraskende ens. Alle andre forudsigelsesmodeller påviser en lignende eller endda større effekt.

Baseret på teoretiske modeller og feltobservationer kan problemområderne kategoriseres i grupper hvor forholdene er ens og effekten af afvandingsforbedringer er den samme. Tabel 4.1 viser den estimerede forøgelse af levetiden når afvandingssystemet forbedres.

**Tabel 4.1. Ændringer af levetiden når afvandingssystemet forbedres.**

Afvandings tilstand	Afvandingsklasser 1)	Faktor ændring af levetid gennem forbedret afvandingssystem
<i>Gruppe 1</i> Afvandingssystemet virker slet ikke (eller afvandingssystemet mangler). Vandfølsom jord i vejkroppen og underbunden. Meget højt grundvandsspejl. Lavtliggende terræn og sten blokerer grundvandsstrømningen.	>3	> 2,5
<i>Gruppe 2</i> Afvandingssystemet virker slet ikke og jorden i vejkroppen og underbunden er mindre vandfølsom end i gruppe 1. Afvandingssystemet fungerer dårligt på grund af manglende vedligeholdelse (grøfter og underføringer ikke renses) og vandfølsom jord i vejkroppen og underbunden	3	2-2,5
<i>Gruppe 3</i> Afvandingssystemet fungerer dårligt på grund af manglende vedligeholdelse (grøfter og underføringer ikke renses) og vandfølsom jord i vejkroppen og underbunden. Jorden i vejkroppen og underbunden er mindre vandfølsom.	2	1,5-2
<i>Gruppe 4</i> Afvandingssystemet virker utilfredsstillende på grund af manglende vedligeholdelse og vedligeholdelsesrutinerne er utilstrækkelige.	1-2	1-1,5

1) Jævnfør afvandingsklasserne i den svenske design guide

Forøgelsen af vejkonstruktionens levetid afhænger af omfanget af forbedringerne. Faktorerne i tabel 4.1 viser de forbedringer det er muligt at opnå.

## Kapitel 5. Afvanding og LCC

### 5.1 GENERELT

Det er vigtigt at kende vedligeholdelsesomkostningerne et afvandingsystem for at kunne beregne effekten af et velfungerende system på livscyklusomkostningerne på en belægning. De aktuelle vedligeholdelsesomkostninger vil variere mellem landene i NP-området, og indenfor hvert land.

Normalt er omkostningerne ved at vedligeholde et afvandingsystem meget mindre end nyasfaltering og i Norge, for eksempel, koster en nyasfaltering af lavt trafikerede veje 8-10 gange mere end oprensning af grøfter og underføringer (grøfteoprensning koster 10-12 % af asfalteringsomkostninger, en ny asfaltering koster 32-37 €/meter og grøfteoprensning koster 3.7-4.5 €/meter). I Finland, hvor LC analyser også gennemføres, er priserne en anelse lavere, men forholdet mellem grøfteoprensning og nyasfaltering er stort set det samme.

En grøft behøver imidlertid ikke altid at fungere, selvom den er udformet efter design retningslinierne. I sådanne tilfælde må afvandingen forbedres ved at øge grøftedybden eller ved at bruge dybdeafvanding. Disse forbedringer er dyrere og omkostningerne er afhængige af problemernes årsag. Omkostningerne ved at etablere dybdeafvanding ligger fra 30 – 50 % af omkostningerne for nyasfaltering, afhængigt af typen af underbundsjordarterne.

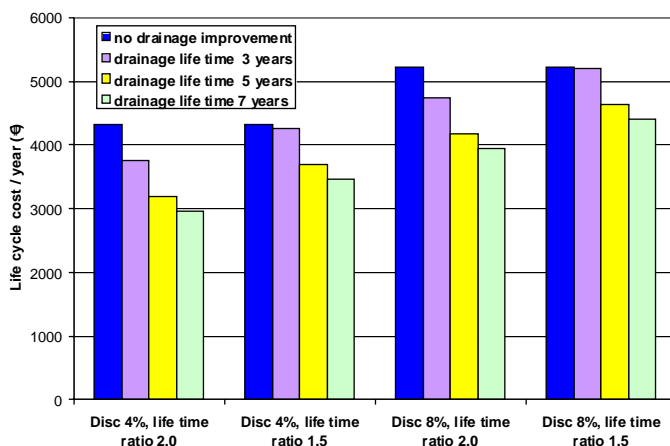
I de følgende afsnit vises en sammenligning mellem omkostningerne ved nyasfaltering af en 5 eller 6 meter bred vej og omkostningerne ved grøfteoprensning. Sædvanligvis er det bare korte afsnit af længere strækninger der nedbrydes på grund af utilstrækkelig afvanding, men disse korte afsnit er årsagen til at hel strækningen nyasfaltes.

### 5.2 HVOR OFTE KAN AFVANDING VÆRE EN LØNSOM FORBEDRING?

Et interessant spørgsmål, som ofte stilles er: hvor ofte kan forbedringer af afvandingen udføres og stadig holde livscyklusomkostningerne lønsomme. Som et eksempel gennemførtes LCA-beregninger, hvor der blev anvendt en omkostning på afvandingsforbedringer på 4,100 €/km og et belægningsudskiftningsomkostning på 35,000 €/km (forholdet 0.117). Resultaterne fra denne analyse kan ses af figur 5.1.

Figur 5.1 viser, at hvis forbedring/vedligeholdelse af afvandingssystemet fordobler levetiden (fra 10 til 20 år) kan en vedligeholdelse af afvandingsystemet gennemføres hvert andet år og stadigvæk være rentabelt selvom

diskonteringsrenten er så høj som 8% (som anvendes i Norge). Hvis forøgelsen af levetiden kun er 50 % (fra 10 til 15 år) og diskonteringsrenten kun er 4 % (som anvendes i Finland), kan vedligeholdelse af afvandingsystemet udføres hvert tredje år og stadigvæk være lønsomt. Normalt er der ikke brug for at gennemføre afvandingsvedligeholdelse oftere end det.



**Figur 5.1. Eksempel på resultat af analyse af livscyklusomkostninger, som viser forlønsomheden af afvandingsforbedringer. Resultatet, som vises baseres på to forskellige levetidsforhold på 2.0 (10 til 20 år) og 1,5 (10 til 15 år) og bruger 2 forskellige diskonteringsrenter (4 % og 8 %).**

Beregningseksemplet tager ikke hensyn til andre vedligeholdelsesomkostninger som følge af dårligt fungerende afvanding. Faktisk, skal fordelene ved at holde afvandingsystemet i en god tilstand beregnes over en længere periode end én belægnings levetid, da frostafhængig "træthed", forårsaget af et højt fugtindhold, vil påvirke vejkonstruktionens ydelse på langt sigt.

Beregningerne viser også, at det altid er værd at overveje brugen af dyrere afvandingsforbedringer end grøfteoprensning alene. Kan for eksempel belægnings levetid fordobles og hvis diskonteringsrenten er 4 %, kan afvandingsforbedringstiltag koste 8,400 €/km og kan således stadigvæk fornyes hvert 5'te år og livscyklusomkostningerne vil stadigvæk være mindre uden renovering af afvandingen.

## Kapitel 6. Anbefalinger

Det har i denne rapport, gennem teoretiske modeller og feltobservationer, været vist, at hvis utilstrækkelig afvanding er årsagen til lav bæreevne og kort levetid, så er det muligt at forøge levetiden med mindst en faktor 1,5 – 2,0 ved at forbedre afvandingen. Derfor er vedligeholdelse af afvandingssystemet måske den mest lønsomme vedligeholdelsestiltag for vejmyndighederne samtidigt med at det er en langsigtet og økonomisk vejtilstandsvedligeholdelsessystem. Effektiv vedligeholdelse af afvandingen bør derfor prioriteres før alle andre tiltag.

Første skridt i en vejforstærkende proces bør derfor være, at få afvandingssystemet til at fungere korrekt. Dette bør gøres 1-2 år før asfaltering, da det sikrer at vejens konstruktion er veldrænet og i en bedre tilstand når rehabiliteringen påbegyndes.

En vurdering af afvandings tilstand anbefales at blive gennemført ved slutningen af hver vedligeholdelseskontrakts løbetid, eller mindst hvert ottende år. Under vurderingen bør de problematiske afvandingssystemer identificeres og deres behov for reparation bør fastslås. Herefter skal årsagerne til problemerne findes og løsninger på problemerne må designes.

Under afvandingsanalysen anbefales det at vejen inddeles i homogene strækninger baseret på afvandingssystemets tilstand ved at bruge klasser som "normal afvandingsklasse" og "speciel afvandingsklasse". Afvandingsproblemerne kategoriseret til "normal afvandingsklasse" kan forbedres ved rutinemæssige forbedringstiltag som gennemføres jævnligt. De vejstrækninger, som kategoriseres i "speciel afvandingsklasse", har brug for særlig overvågning i løbet af vedligeholdelseskontraktperioden og forbedringer af disse har brug for mere end rutinemæssige tiltag og teknikker. Dette koncept for afvandingsanalyser og især den "specielle afvandingsklasse" vil blive udviklet yderligere i ROADDEX III delprojektet "Drainage guidelines".



## Kapitel 7. Referencer

Aho S., Saarenketo T., Berntsen G., Dawson A., Kolisoja P. and Munro R. (2005). Structural Innovations. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)

Berntsen G. and Saarenketo T. (2005). Drainage on Low Traffic Volume Roads. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)

Lary, J.A. and Mahoney, J.P. 1984. Seasonal effects on the strength of pavement structures. Transportation Research Record 954.

Noss, P. M. 1978. Poresug i jordarter (Soil suction). Doctor thesis. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim.

Roadex Project 1998-2001. Northern Periphery. CD-ROM

Saarenketo, T. 2005. Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)

Saarenketo T. and Aho S. (2005). Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)



# Appendiks 1

TABEL TIL AT IDENTIFICERE AFVANDINGSPROBLEMER OG FORSLAG TIL LØS

Kategori	Beskrivelse af problemet	Hvordan man identificerer problemet	Hvad forårsager problemet	F a
Vedligeholdelsesrelaterede problemer	Vandmætning af vej kroppen under forårstøbrudsperioden og frost-tø cyklus perioder i mildre vintre.  Grøfter tilstoppet, dvs. at grøfterne ikke holdes åbne.	<i>Bæreevneproblemer.</i>  Aftalterede veje: Sporkøring, revnedannelse og deformationer.  Grusveje: Problemer med plastiske deformationer under forårstøbrudsperioden. I alvorlige tilfælde kan vejen blive ufrekommelig.  <i>Generelt er problemet relateret til bæreevneproblemer, forårsaget af manglende grøfteoprensning.</i>  Mudder og finkornet jord fylder grøften og der kræves meget arbejde at holde den åben.  Erosion af grøftens yderskråning.	Frostfølsom underbundsjordarter eller ubundne vejmaterialer, hvori der skabes islinser under frostperioderne, hvilket skaber overskud af porevand under tøbrudsperioden og hermed lav bæreevne.  Smeltet sne og overfladevand trænger ned i vej kroppen fra grøfter, vejens rabatter og fra revner i vejens overflade.  For stejle grøfteskråninger i forhold til underbundsjordarterne.  Mangel på erosionsbeskyttelse.	▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪

Kategori	Beskrivelse af problemet	Hvordan man identificerer problemet	Hvad forårsager problemet	F a
(fortsættelse) Vedligeholdelsesrelaterede problemer	Stenkister/underføringerne er defekte.	Visuel inspektion afslører stenkistens/underføringens strukturelle tilstand. Vejen er brudt sammen (sætninger, ujævnheder) i nærheden af stenkisten/underføringen. Der er ofte frosthævninger. Huller i vejens overflade.	Sætninger, tilstoppede indløb, bevægelser pga frosthævninger, for lille underføring, dårlig konstruktion af stenkister/underføring og/eller indløbet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>
	Blokeret indløb til stenkisten/underføringen.	Affald, grene, tørv, mudder blokerer indløbet. Problemer specielt efter kraftig nedbør, hvor store mængder overfladevand skal bortledes.	Indløbet kan være konstrueret forkert. Stenkisten/underføringens diameter er for lille. Området opstrøms underføringen er eroderet og materiale lejes i indløbet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>
	Is blokerer stenkisten/underføringen.	Is tilstopper stenkisten/underføringen og vandet vil flyde hen over vejen under milde perioder i vinteren og under perioder i foråret med smeltende sne. Opstemning i grøften opstrøms.	Frost trænger ned i stenkisten enten ovenfra eller gennem selve underføringen. Lav vandstrømningshastighed gennem stenkisten/underføringen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>
	Høje græskanter/græstørv i vejrabatterne.	Græstørven i rabatterne vokser og forhindrer overfladevand i at løbe af vejen. Trafiksikkerhedsproblem (bassindannelse) i tilgift til nedbrydningen af vejen.	Vegetation, der vokser på vejrabatterne og på grøfternes inderskråninger vil danne tørv, der vokser højere hvert år.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> </ul>

Kategori	Beskrivelse af problemet	Hvordan man identificerer problemet	Hvad forårsager problemet	F a
Design relaterede problemer	Græskanter	Belægningen er nedbrudt ved kørebanekanterne og hovedsageligt på de laveste steder, hvor vand bliver stående på overfladen ved regn.	Nogle veje har græskanter i stedet for grøfter. Overfladevandet er forhindret i at løbe af belægningen og vil trænge ned i bvejkonstruktionen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>
	Afvandingsproblemer for di vejen ligger i lavt terræn (bunden af en lille dal).	Differential frost heave problems Vejen oversvømmes når sneen smelter og under kraftige regnskyl. Permanente deformationer opstår på disse strækninger. Ujævne frosthævninger opstår.	Som følge af topografiske problemer er det ikke muligt at lede bort fra vejens nærområde. Grundvandspejlet ligger for tæt ved vejkonstruktionen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>M</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>
	Utilstrækkelig afvanding på skrånende terræn.	Rut deformation in hillside wheel track in inside lane related to sloping ground. Sporkøring af køresporet mod bjergsiden i det indvendige spor i forhold til det skrånende terræn.	Højt grundvandspejl i vejens afgravningsside. For svag vejkonstruktion. Grøften på bjergsiden af vejen er ikke rensat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>L</li> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> <li>▪</li> </ul>

Kategori	Beskrivelse af problemet	Hvordan man identificerer problemet	Hvad forårsager problemet	F a
Design relaterede problemer  (fortsættelse)	Afvandingsproblemer hvor grundfjeldet ligger tæt på vejkonstruktionen.	Vandet løber ikke bort fra vejkonstruktionen, hvilket fører til reduceret bæreevne. På den kolde årstid dannes der isinser ovenover grundfjeldet, som forhindrer vandets gennemstrømning og dette forårsager ujævne bump på vejens overflade.	Grundfjeldet forhindrer vandet i at strømme under vejen. Vandet når frostfarlige materialer ovenpå grundfjeldets overflade. Frostfronten når ned til grundfjeldet og begynder at blokere for grundvandsstrømningen.	▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪
	Afvandingsproblemer i fladt terræn.	Grøfterne eller endna hele vejen oversvømmes i perioderne med meget smeltevand og kraftige regnskyl. Permanente deformationsproblemer, specielt i vejens rabatter.	På grund af det flade terræn er det svært at bortled vandet fra vejens nærområdet. Højt grundvandsspejl er årsag til højt fugtindhold i vejkonstruktionen.	/v ▪ ▪ ▪ ▪ L ▪ ▪ ▪

Kategori	Beskrivelse af problemet	Hvordan man identificerer problemet	Hvad forårsager problemet	F a
Andre problemer	Vandfyldte på grund af bundne lag i vejens konstruktion. (Indespærret vand)	Hurtig sporkøring og dannelse af krakeleringer (alligatorrevner) i belægning efter asfaltering. Vand trykkes ud af den revnede belægning i løbet af forårstøbruddet og efter regnskyl.	Gamle og uigennemtrængelige belægning er efterladt under de ubundne bærelag tættere end 40 cm på undersiden af de nye belægninger. Vandet fanges mellem disse lag og materialet vandmættes. Dynamiske belastninger af vejen forårsager højt porevandstryk, som ødelægger belægningen.	▪ ▪ ▪
	Erosion og nedskridning af materialer i vejens afgravning.	Materialer fra yderskråningernes overflade eroderer og glider ned i grøften som blokeres og dermed hæves grundvandsspejlet.	For stejle skråninger. Højt grundvandsspejl og/eller høj grundvandsgennemstrømning. Skråningen udført med erosionsfarlige materialer.	▪ ▪ ▪ ▪
	Drainage problems on gravel roads (drainage of the road structure of a gravel road) Afvandingsproblemer på grusveje (afvanding af en grusvejs vejkonstruktion.	Vejoverfladen mister styrke og bliver plastisk og vejen er næsten ufremkommelig under forårstøbrudsperioden.	Skyldes frostfølsomme materialer i vejkonstruktionen. Dette er ikke et afvandingsproblem, men afvanding kan reducere problemet.	▪ ▪ ▪ ▪ ▪