



# ROADEX III

NORTHERN PERIPHERY



---

Udformning og reparation af veje med bæreevneproblemer  
forårsaget af forårstøbrud  
**PRAKTISK SAMMENDRAG**  
Marts 2006

Saara Aho  
Roadscanners Oy

Timo Saarenketo  
Roadscanners Oy

---

## FORORD

Denne rapport er et praktisk anvendeligt sammendrag af ROADEX II rapporten "Managing Spring Thaw Weakening On Low Volume Roads - Problem Description, Load Restriction Policies, Monitoring And Rehabilitation" af Timo Saarenketo og Saara Aho , Roadscanners Oy, udgivet i 2005.

Rapporten er tænkt at være en praktisk tilgængelig håndbog med focus på de rehabiliteringsmetoder og udførelsen af disse på lavt trafikerede veje, der har problemer relateret til årstidernes skiften, specielt bæreevnereduktion forårsaget af forårstøbruddet.

Rapporten skal ikke erstatte de mange fortrinlige opslagsværker og den øvrige litteratur, som er tilgængelig om emnet, men det er håbet at det foreliggende sammendrag vil give læseren en større forståelse for årsagerne til og løsningerne på disse tilbagevendende årstidsbestemte problemer.

Rapporten er skrevet af Saara Aho og Timo Saarenketo fra Roadscanners Oy, Finland. Ron Munro, projektleder på ROADEX III Projektet, kontrollerede sproget i den engelske udgave af rapporten. Mika Pyhähuhta fra laboratoriet Uleåborg har stået for rapportens layout.

Forfatterne ønsker at takke styregruppen for ROADEX III for deres påskønnelse af, opmuntring og rådgivning i forbindelse med arbejdet.

**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> .....	6
<b>KAPITEL 1. INTRODUKTION</b> .....	6
<b>1.1 ROADEX PROJEKTET</b> .....	6
<b>1.2 UDFORMNING OG REPARATION AF VEJE MED BÆREEVNEPROBLEMER FORÅRSSAGET AF FORÅRSTØBRUD</b> .....	7
<b>KAPITEL 2. REDUKTION AF BÆREEVNE I TØBRUDSPERIODEN – EN KORT BESKRIVELSE</b> .....	9
<b>2.1 FAKTORER SOM PÅVIRKER TØBRUDSSVÆKKELSEN</b> .....	9
<b>2.2 TØBRUDSSVÆKKELSENS FASER</b> .....	10
<b>2.3 KLASSIFICERING AF VEJSTRÆKNINGER, DER LIDER UNDER TØBRUDSSVÆKKELSE</b> .....	11
<b>KAPITEL 3. REHABILITERINGSPROCESSEN</b> .....	13
<b>KAPITEL 4. UNDERSØGELSE OG ANALYSE AF VEJSTRÆKNINGER SOM SVÆKKES AF FORÅRSTØBRUD</b> .....	15
<b>4.1 UNDERSØGELSESMETODER FOR LAVT TRAFIKEREDE VEJE</b> .....	15
<b>4.2 INTEGRERET ANALYSE AF UNDERSØGELSESDATA</b> .....	17
<b>4.3 OPERATIV MODEL FOR UNDERSØGELSE AF VEJE DER ER SVÆKKEDE UNDER FORÅRSTØBRUD</b> ....	18
<b>KAPITEL 5. FORSTÆRKNINGSTILTAG VED TØBRUDSSKADER</b> .....	24
<b>5.1 GENERELT</b> .....	24
<b>5.2 LIVSCYKLUSOMKOSTNINGER VED REHABILITEREDE KONSTRUKTIONER</b> .....	24
<b>5.3 REHABILITERINGSTILTAG PÅ GRUSVEJE</b> .....	25
<b>5.4 REHABILITERINGSTILTAG FOR ASFALTEREDE VEJE</b> .....	30
5.4.1 <i>Generelt</i> .....	30
5.4.2 <i>Veje med tynde belægninger - belægningstykkelse: 20 – 100 mm</i> .....	30
5.4.3 <i>Veje med tyk belægning - belægningstykkelse &gt; 100 mm</i> .....	35
<b>KAPITEL 6. KVALITETSSIKRING OG FUNKTIONSKONTROL AF REHABILITEREDE VEJE</b> .....	38
<b>KAPITEL 7. REFERENCER</b> .....	40
<b>APPENDIX 1</b> .....	42

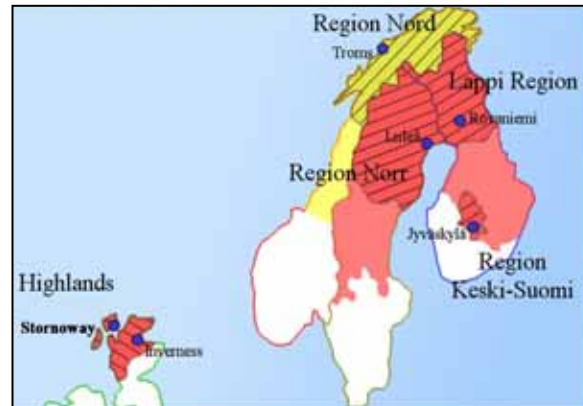
**BEHANDLINGSKORT FOR REHABILITERING AF GRUSVEJE ..... 42**

# Kapitel 1. INTRODUKTION

## 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 UDFORMNING OG REPARATION AF VEJE MED BÆREEVNEPROBLEMER FORÅRSAGET AF FORÅRSTØBRUD

Årstidsbetingede ændringer, frost-tø cykler og skaderne forårsaget heraf, er de mest signifikante faktorer, som påvirker vejenes tilstand på vejnettet i det nordlige, kolde klima i Europa, Asien og Nordamerika. Frost-tø processerne skaber også store problemer i højt beliggende områder i lande med et varmere klima. I AASHO's forskningsprogram i USA studeres forekomsten af belægningsskader på forskellige årstider (White og Goree 1990) og resultaterne viste at 60 % af skaderne opstod i løbet af foråret når den relative trafikmængde var 24 %. I løbet af sommeren var den relative mængde ny belægningsskader kun på 2 % når den relative trafikmængde var 30 %.

Frostskader optræder i veje som ujævne frosthævninger og langs- og tværgående revner, men frem for alt som opblødning af vejaksen samt permanente deformationer i tørtidsperioden. I det værste scenarie kan det være umuligt at køre på disse veje. Oftest er det bæreevneproblemerne ved tørtidsperioden, der er det største problem ved "ubyggede" grusveje men det skaber også store problemer på asfalterede veje og specielt på svage veje med en overfladebehandling.

Afhængigt af skalaen og omfanget af tørtidsproblemerne er der flere metoder til at vedligeholde en vej i denne periode. Generelt kan vedligeholdelsesværktøjerne opdeles i:

- 1) forskellige vedligeholdelsesmetoder der reducerer virkningen af tørtidsperioden
- 2) vægtbegrænsninger og forskellige værktøjer til at minimere problemerne forårsaget af disse begrænsninger
- 3) forstærkning af svage vejstrækninger i et omfang, så vægtbegrænsningerne kan ophæves eller kun finder anvendelse under ekstreme forhold og
- 4) samarbejde med transportorganisationerne som bruger tunge køretøjer

Traditionelt har vejadministrationerne forsøgt at forhindre tørtidsskader ved at indføre vægtrestriktioner eller ved at lukke vejen. Anvendelsen af vægtbegrænsninger i forårsperioden forøger belægningens levetid, men på den samme tid medfører vægtbegrænsningerne også store ekstra omkostninger for industrierne, som gør brug af de tunge transportkøretøjer. I Finland er eksempelvis skovindustriens ekstra omkostninger på grund af bæreevneproblemer i tørtidsperioden beregnet til 100 mio. euro. Heraf relaterer 65 mio. € sig til de offentlige veje (Pennanen og Mäkelä 2003).

Således er den bedste og mest holdbare løsning på problemet med reduceret bæreevne ved forårstøbrud, at genopbygge og forstærke de svage vejstrækninger. Dog skal dette kun gøres hvis vejregionen har tilstrækkelige ressourcer til at gennemføre tiltag, som også har virkning på langt sigt. Der har været begået stor fejl når vejstrækninger er blevet forstærket med en opbygning, som har vist sig værende for svag. Disse problemer bliver særligt synlige, hvis vejen efterfølgende bliver asfalteret.

Denne rapport fokuserer på at præsentere forstærkende processer og -metoder for svage vejstrækninger, baseret på forskningsarbejdet der blev gennemført under ROADEX II – delprojektet “Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads” (Saarenketo og Aho 2005) og “Permanent Deformation” (Dawson og Kolisoja 2005), men også i rapporten “Design and Rehabilitation of Spring Thaw Weakened Road Sections” (Aho et al 2005b) udført for det finske vejdirektorat (Finnra). Formålet med denne rapport er at skabe en praktisk vejledning, som retter sig mod de behov som lokale vejingeniører, konstruktører etc. har og analytisk og systematisk giver en ”step by step” anvisning på udformning og reparation af veje med bæreevneproblemer forårsaget af forårstøbrud. Et klassificeringssystem introduceres for tøbrudsskadede vejstrækninger, såvel som den grundlæggende teori bag tøbrudssvækkelse også præsenteres for en bedre forståelse for processerne bag problemerne. Rapporten giver også et kort gennemgang af forstærkningstiltag og deres egnethed i forhold til reparation af forskellige former for skader. Endeligt håndterer rapporten almene aspekter i relation til kvalitetssikring og funktionskontrol af de rehabiliterede veje.

Flere politikker og teknikker for administration af bæreevneproblemer ved tøbrud diskuteres i ROADEX II projektrapporten “Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads” skrevet af Saarenketo og Aho (2005).



## Kapitel 2. Reduktion af bæreevnen i tøbrudsperioden – En kort beskrivelse

### 2.1 FAKTORER SOM PÅVIRKER TØBRUDSSVÆKKELSE

Termen “Reduktion af bæreevnen i tøbrudsperioden” har forskellig betydning på forskellige sprog. Generelt kan reduktion af bæreevnen i tøbrudsperioden defineres som en reduktion i en vejs bæreevnen i den periode hvor de frosne lag i vejen tør op i løbet af foråret. Launonen et al (1995) opstillede følgende faktorer for at være nødvendige for tilstedeværelsen af reduktion af bæreevnen i tøbrudsperioden.

- Vekroppen og/eller underbunden fryser
- materialet er frostfarligt
- der er tilstrækkeligt med vand i frostzonen
- under tøbrudsperioden bliver vandet som frigøres af den smeltende segregations is, bliver i vejkassen eller i underbundens jord og svækker således konstruktionen.
- Vejen er udsat for belastninger i tøbrudsperioden

Hvis en af disse faktorer ikke er til stede, så er der ingen risiko for tøbrudskader. I lande med varmere klima (f.eks. Skotland) er frost-tø relateret bæreevnereduktion som regel forbundet med en dagligt forekommende bæreevnereduktion i perioder med skiftevis frost og tø. Processen bag bæreevnereduktionen under tøbrud beskrives mere detaljeret i ROADDEX II projektrapporten “Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads” (Saarenketo og Aho 2005),

De faktorer som påvirker udviklingen af tøbrudssvækkelse kan opdeles i belastning, miljø- og designrelaterede faktorer, som vist i tabel 2.1. Designrelaterede faktorer er de lokale faktorer, som hører sammen med vejens placering og dens omgivelser, som igen påvirker frostens aktivitet, omfanget af frosthævninger og udbredelsen af smeltevand. Alle faktorerne vist i tabel 2.1 har effekt hver for sig og i kombination øges deres betydning. Vedligeholdelsestiltag og vejskuldrenes bæreevne kan også påvirke sværhedsgraden på tøbrudskader i tilknytning til årstidsafhængige effekter.

**Tabel 2.1. De faktorer der har betydning for tøbrudssvækkelse. modificeret Aho 2004)**

BELASTNING	OMGIVELSER	DESIGN RELATERET
Mængden af tung trafik	Vejret og hydrologiske faktorer	Afvanding
Størrelse af akseltrykkene	- Temperaturen	- Vejens og omgivelsernes topografi
Størrelse på lufttrykket i dækkene	- Grundvands-spejlets niveau	- Afvandingsudformning
Tidsintervallet mellem køretøjspassager	- Nedbøren	Vejens konstruktion
	- Frost (islinser)	- Tykkelse, kvalitet og blanding
		Planum
		- Planums jordart og dens frostbestandighed

## 2.2 TØBRUDSSVÆKKELSENS FASER

Resultaterne fra overvågningen af tøbrudsskader ifm ROADEX II identificeredes fire forskellige tidsfaser for svækkelse af vejen ved tøbrud med helt unikke kendetegn som kræver helt separate klassifikationer. Disse indtræffer i en kronologisk orden og behovet for vægtbegrænsninger f.eks. i hver fase er meget afhængig af forøgelsen eller mangel på samme, af fugtindholdet og vejens stivhed under den foregående periode. De fire faser er:

- 1) Frost-tø cyklus fasen,
- 2) vejoverfladens opblødningsfase,
- 3) den strukturelle tøbrudssvækkelses fase og
- 4) undergrundens tøbrudsopblødningsfase.

En almindelig faktor i alle disse faser er kryosug. En potentielt femte kategori, med lignende bæreevneproblemer, kunne være efterårssæsonens kraftige regnskyll, men på denne årstid er frost ikke en faktor i processen omkring bæreevnereduktion. I Skotland og i andre lande med varmere klima, er hovedproblemet ikke svækkelsen ved forårstøbrud, men derimod de gentagne frost-tø perioder, som forekommer dagligt i løbet af vinteren. I disse områder er frost-tø cyklus fasen normalt den eneste fase til stede.

De fire faser af forårstøbrudssvækkelse er gennemgået mere detaljeret i ROADEX II rapporten "Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads". De kan bruges ved overvågning og som kommunikationsterminologi for at beskrive status på tøbruddet og de kan også bruges i beslutningsprocessen før implementeringen eller ophævelsen af vægtbegrænsninger. Men også, som en del af rehabiliteringsdesignet og problem analysen, er det vigtigt at identificere de bestemte faser, som forårsager problemerne. Dette er en vigtig faktor for bestemmelse af passende reparationsmetoder.

## 2.3 KLASSIFICERING AF VEJSTRÆKNINGER, DER LIDER UNDER TØBRUDSSVÆKKELSE

ROADEX II rapporten “Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads” (Saarenketo og Aho 2005) foreslår et system til klasificering af vejstrækninger med tøbrudsskader og deres årsager ved hjælp af beskrivelser af topografien og underbundens tilstand samt beskrivelse af skaderne. Kriterierne som anvendes er:

- Underbundens jordarter
- vejens og omgivelsernes topografi
- skadernes sværhedsgrad
- skadernes hyppighed

Hver klasse, der tages i betragtning er underinddelt i tre (I-III) underklasser afhængigt af skadernes sværhedsgrad og hyppighed. Underklasserne er:

- I. Mindre problemer, hvor tøbrudsproblemerne ikke er alvorlige og ikke forekommer årligt.
- II. Middelsvære, problemer, hvor mindre og medium svære tøbrudsproblemer opstår næsten hvert år
- III. Svære problemer, hvor middelsvære eller svære strukturelle tøbrudsskader har været observeret gennem flere år

Ved at anvende dette system, kan områder med tøbrudsskader inddeles i 27 skadesklasser, som præsenteres i tabel 2.2. Den generelle beskrivelse af hvert område med tøbrudsskader kan findes i ROADEX II rapporten “Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads” (Saarenketo og Aho 2005). Dette klassifikationssystem anbefales når man skal diagnosticere det grundlæggende problem og vælge den optimale rehabiliteringsmetode.

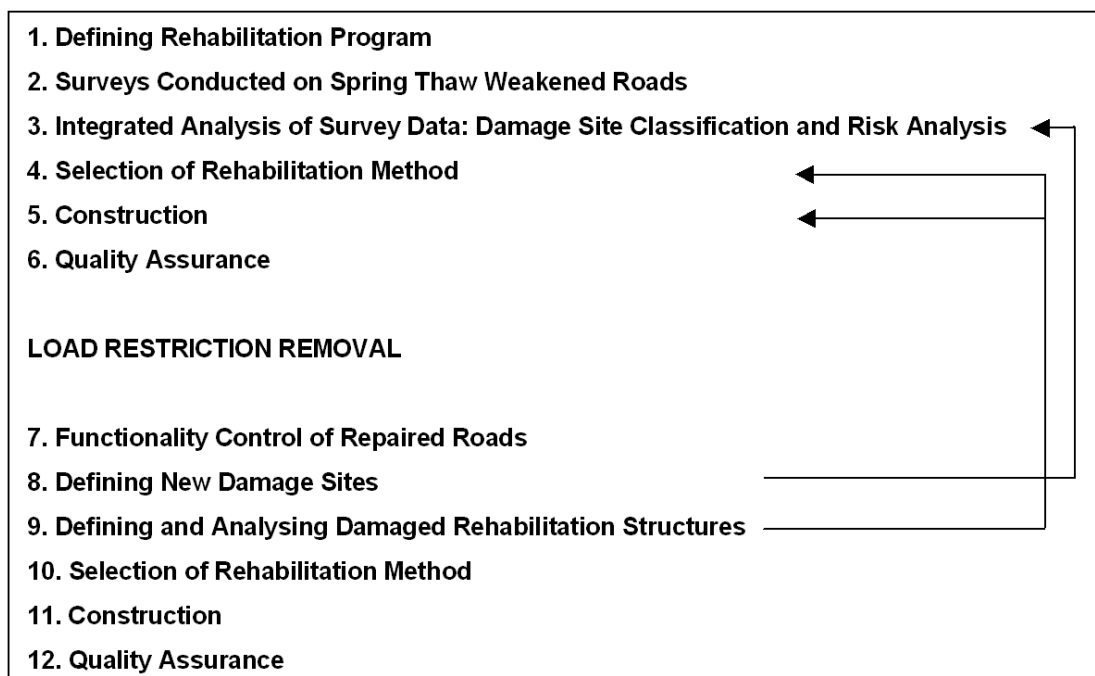
**Tabel 2.2. Klassificeringssystem for områder skadet af svækkelse grundet forårstøbrud.**

UNDERGRUNDS JORDARTER	TOPOGRAFI	SKADERNES SVÆRHEDSGRAD OG HYPPIGHED	SKADES KLASSE
moræne	skrånende terræn	Mindre	A.I
		Middelsvære	A.II
		Svære	A.III
	fladt og lige terræn	Mindre	B.I
		Middelsvære	B.II
		Svære	B.III
	tuer, knoldet	Mindre	C.I
		Middelsvære	C.II
		Svære	C.III
ler og silt	skrånende terræn	Mindre	D.I
		Middelsvære	D.II
		Svære	D.III
	fladt og lige terræn	Mindre	E.I
		Middelsvære	E.II
		Svære	E.III
	våd og lavt liggende dal	Mindre	F.I
		Middelsvære	F.II
		Svære	F.III
mose	hovedsageligt på fladt og lige eller våd og lavt liggende dal	Mindre	G.I
		Middelsvære	G.II
		Svære	G.III
grundfjeld	hovedsageligt skrånende terræn	Mindre	H.I
		Middelsvære	H.II
		Svære	H.III
andre tøbrudsproblemer som ikke er relateret til underbundens jordarter		Mindre	I.I
		Middelsvære	I.II
		Svære	I.III

## Kapitel 3. Rehabiliteringsprocessen

Det største problem i de fleste projekter, som involverer forstærkning af lavt trafikerede veje og/eller forbedringer af deres funktionelle tilstand, har været at de strukturelle løsninger, som har fundet anvendelse hovedsageligt er valgt på baggrund af den lokale vejingeniørs erfaringer. Dette har i mange tilfælde ført til anvendelsen af en foretrukken, enkel konstruktionsløsning for hvert enkelt problem, som er opstået på vejnettet, hvilket virker i nogle situationer og i andre ikke. Problemet er dog, at mekanismerne bag tødbrudsskaderne er komplekse og derfor har forskellige tødbrudsskadede vejstrækninger brug for forskellige rehabiliteringsløsninger. På grund af dette bør der altid allokeres tilstrækkelige ressourcer til at undersøge de bagvedliggende årsager til de beskadigede vejstrækninger.

Konstruktion og rehabilitering af tødbrudssvækkede vejstrækninger bør ses som en proces som varer 2 – 4 år. (se figur 3.1). Denne proces bør ikke slutte efter at de første rehabiliteringstiltag er gennemført og heller ikke efter gennemført kvalitetssikring. Rehabiliteringsprocessen bør forløbe med systematisk kontrol og overvågning af de rehabiliterede veje, samtidig med undersøgelser af nye skader og rehabiliteringstiltag.



*Figur 3.1. Design og rehabiliteringsprocessen for tødbrudssvækkede vejstrækninger.*

Som en del af rehabiliteringsprocessen er det vigtigt at vurdere risikoen for nedbrydningen af hver enkelt vejstrækning. Dette bør gøres for at kunne identificere de strækninger, hvor nedbrydningen ikke er sket tidspunktet, hvor undersøgelsen blev gennemført, men som kan have en højere risiko for nedbrydning efter at vægtrestriktionerne er blevet fjernet – hvis og når de fjernes. I denne risikoanalyse er vejen inddelt i særskilte vejstrækninger afhængigt af deres risikoklasse for nedbrydning. Et godt eksempel på en risikoanalyse gennemført på en vej er den som udførtes på B871 mellem Kinbrace og Syre i Skotland. Den genfindes i ROADEX II projektrapporten "Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions" (Saarenketo 2005).

Når rehabiliteringsprocessen som præsenteres i figur 3.1 gennemføres, er det vigtigt at tænke på at data, når de er indsamlet på vejnettet, også kan bruges i mange år og ikke kun til konstruktion og reparation af tøjbrudsskadede vejstrækninger, men også til at overvåge hvor godt de reparerede vejstrækninger holder. Pålidelige overvågningsdata er ekstremt vigtige for at lære hvordan man udpeger svage vejstrækninger, som vil blive ødelagt, kort tid efter en rehabilitering, når vægtbegrænsningerne igen er fjernet – således at de i fremtiden kan forstærkes under den første rehabiliteringsfase. Desuden kommer overvågningsdata som er indsamlet til at give værdifuld information om levetiden på de forskellige rehabiliteringstiltag og deres egnethed for forskellige skadesklasser.

## Kapitel 4. Undersøgelse og analyse af vejstrækninger som svækkes ved forårstøbrud

### 4.1 UNDERSØGELSESMETODER FOR LAVT TRAFIKEREDE VEJE

Det første skridt ved valget af en optimal strukturel løsning for en vejstrækning, er at indsamle tilstrækkelig pålidelig information om den eksisterende vej, dens tilstand og dens opbygning, og om de geologiske og afvandingsmæssige forhold i området. Til denne opgave kan flere metoder finde anvendelse, såsom Dynamic Cone Penetrometer testing (DCP), bæreevnmålinger, Ground Penetrating Radar (GPR), profilometer teknikker for information om sporkøring og ujævnheder, visuelle vurderinger vedrørende afvandings tilstand og prøvetagning fra såvels vejens opbygning som underbundens jord. Visuelle skadesregistreringer og andet referencemateriale, såsom videobilleder af vejen, kan også anvendes. Alle disse data bør samles på en sådan måde at deres eksakte position på vejen er kendt.

Tabel 4.1 viser egnede undersøgelsesmetoder for lavt trafikerede veje, de informationer de giver og det bedste tidspunkt for gennemførelsen af hver metode. Timingen af disse undersøgelser er meget vigtig for at kunne få pålidelige og repræsentative data. Yderligere detaljer vedrørende disse metoder kan findes i ROADX II projektrapporter, såsom "Dealing with Bearing Capacity Problems on Low Volume Roads Constructed on Peat" (Munro 2004), "Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions" (Saarenketo 2005) och "Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads" (Saarenketo og Aho 2005).

**Table 4.1: Undersøgelsesmetoder for lavt trafikerede veje**

UNDERSØGELSESMETODE	INFORMATION	UDFØRELSESTIDSPUNKT
Georadar, GPR	Dybden af frostens nedtrængning Islinser Vej strukturer – tykkelse og sammensætning Lokalisering af klippe og mose Lokalisering af frostfarlige jordarter / ujævne frosthævninger	Vinter – frossen jord
	Belægning og bærelags tykkelse Vejstrukturer – tykkelse og sammensætning Undergrunden materialeestimering og kvalitet Lokalisering af grundfjeld og mose	Sommer – ufrossen jord

Prøvetagning / borekerner	Materiale egenskaber – vejstruktur og underbund Estimering af underbundens beskaffenhed Belægningens og slidlagets tykkelser Vejstrukturer - tykkelse Reference for andre undersøgelsesmetoder	Sommer – ufrossen jord
Digital Video	Vejens og dens omgivers topografi Afvandingens funktionalitet Visuel evaluering af problemer	Den lyse tid, uden sne
Felt besøg	Lokalisering af tøbrudssvækkede strækninger Visuel evaluering af afvandingens tilstand	Forår – hvor det meste smeltevand er tilstede
Faldlod, FWD	Bæreevne Estimering af underbundens beskaffenhed Lokalisering af grundfjeld	Late summer and early autumn (August – September)
Dynamic Cone Penetrometer, DCP	Vejstrukturer – tykkelse Vejstrukturer – underbunden - forskydningsstyrke Dybden af frostens nedtrængning	Forår eller sommer
Accelerometer / Profilometer metoder	Asfalterede veje – sporkøring og ruhed	Sommer
	Grusveje – ujævne frosthævninger	Vinter
Databaser (om nogen) / Historik og opfølgingsdata Tøbrudsskader - Belægningsskade data	Lokalisering af vejstrækning er der lider under tøbrudssvækkelse Tøbrudsskader – sværhedsgrad og hyppighed Rehabiliteringsstrukturer – tykkelse, lokalisering, anvendte materialers kvalitet, holdbarhed	

Det vil naturligvis ikke altid være cost-effektivt at gøre brug af alle metoderne præsenteret i Tabel 4.1 og det vil være nødvendigt at være den/de mest egnede metode(r) til hvert enkelt sted. Efter undersøgelsen vil det næste skridt i rehabiliteringsprocessen være den integrerede undersøgelsesanalyse (kapitel 4.2) som ikke bare bruges til at udpege de strækninger, der lider af tøbrudssvækkelse, men også til at diagnosticere de bagvedliggende problemer. I kapitel 4.3 præsenteres en operativ metode til undersøgelse og analyse af tøbrudssvækkede veje. Modellen viser et eksempel på en kombination af undersøgelser, som skulle kunne anvendes under rehabiliteringsprocessen, men også de konklusioner som kan gøres.

Når man overvejer undersøgelses- og rehabiliteringstiltag på lavt trafikerede veje så skal man forstå at ingen af investeringerne er "engangsinvesteringer". Når data en gang er indsamlet på et vejnet, så kan det blive brugt i mange år og ikke kun på



konstruktion og vedligeholdelse af tøbrudsskadede vejstrækninger, men også i funktionskontrollen af reparerede veje. Pålidelige undersøgelser og opfølgende dataindsamling kan være ekstremt vigtige for at kunne finde ud af, hvordan man udpeger de svage vejstrækninger, som sandsynligvis vil få skader kort tid efter at vægtbegrænsningerne ophæves. Desuden kan opfølgende dataindsamling give værdifuld information om levetiden på forskellige forstærkningstiltag. Derigennem er de data som indsamles værdifulde for senere anvendelse.

## 4.2 INTEGRERET ANALYSE AF UNDERSØGELSESDATA

De indsamlede undersøgelsesdata kan nu bruges til at lave en risikoanalyse på de identificerede vejstrækninger. I risikoanalysen bør vejen inddeles i særskilte afsnit baseret på den integrerede analyse af undersøgelsesdata, samt på følgende nøgleelementer, som påvirker vejens levetid (se Saarenketo 2001):

- afvandingens tilstand,
- slidlagets / belægningens / andre bundne lags tilstand,
- vurdering af tilstanden af ubundne lag,
- udmattelse forårsaget af frostbevægelser i underbunden,
- skader i underbunden forårsaget af en meget svag underbund (silt, tørv), og
- lokale skader på den undersøgte vej, som sætninger, stenkister etc.

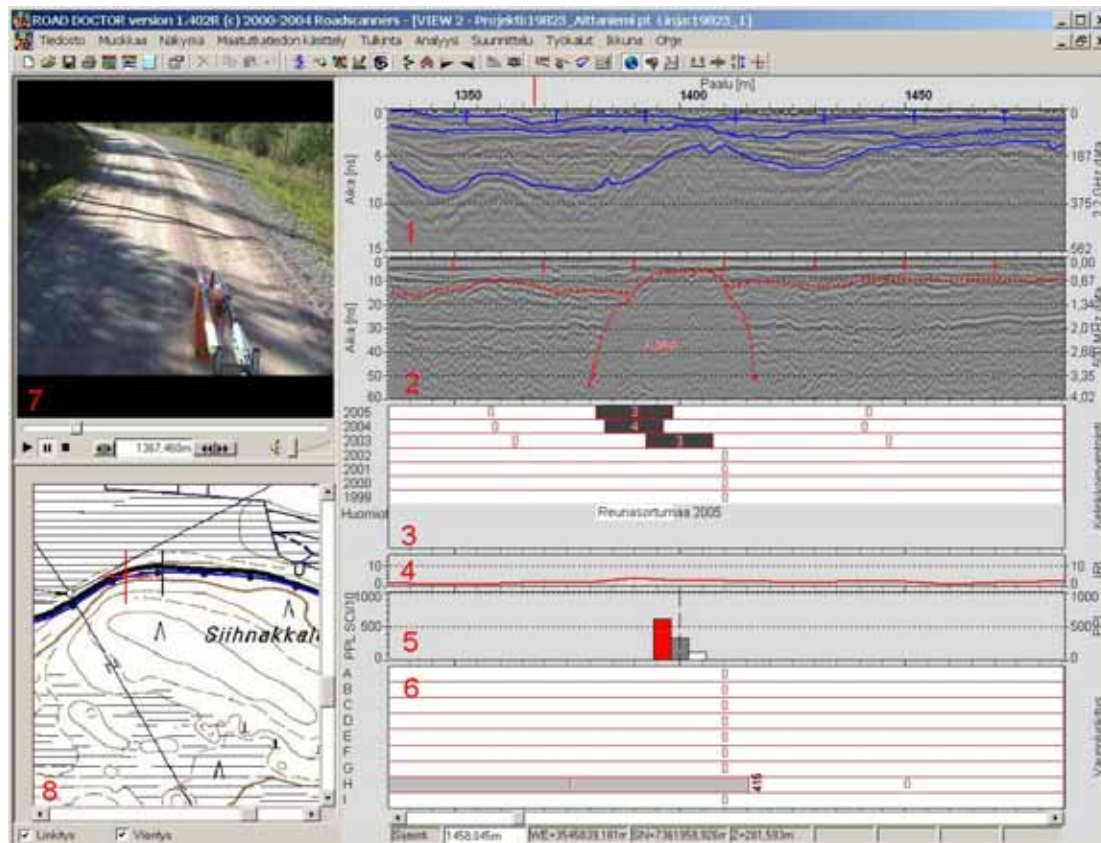
Ved at anvende disse kendetegn og risikoanalysen så kan problemafsnittende, og afsnittende, som potentielt kan give problemer i den nærmeste fremtid, udpeges. Disse afsnit kan så gives en detaljeret problemdiagnose for derved at kunne klassificere typen af strukturelle skader og deres årsager. Klassifikationssystemet præsenteret i kapitel 2.3 anbefales til dette.

Figur 4.1 viser et eksempel på en integreret analyse af undersøgelsesdata, hvor softwaren Road Doctor fra Roadscanners finder anvendelse. I det her tilfælde bestod undersøgelsesdata af følgende data:

- georadar, GPR (data 1 og 2)
- tøbrudsskader – historiske data (data 3)
- ujævnhedsdata målt med accelerometer (data 4)
- bæreevnmålinger med faldlod, FWD (data 5)
- digital video og GPS (data 7)
- grundkort (data 8).

Når man bruger den integrerede analyse kan de beskadigede områder klassificeres (data 6 i figur 4.1) ved at bruge klassificeringssystemet som er præsenteret i kapitel 2.3. Denne klassificering kan også anses for at være et grundlæggende diagnoseværktøj for typen af strukturelle skader og deres årsager. Når diagnosen er

gennemført kan data fra undersøgelsen af vejen og anden information anvendes til at vælge den bedst egnede forstærkningstiltag for hver enkelt type på skader i vejen og hvert enkelt vejafsnit. (Saarenketo 2001)



**Figur 4.1. Et eksempel på den integrerede analyse metode gennemført med Road Doctor - softwaren.**

Ved at kende den præcise position på skaderne og iværksætte rehabiliteringstiltag baseret på skadens årsager, kan unødigt anlægsarbejde og ukorrekte rehabiliteringstiltag blive undgået (Saarenketo 2001). Desuden kan en detaljeret risikoanalyse identificere de vejstrækninger som har en rimelig restlevetid og som ikke kræver opmærksomhed og derfor tillader at ressourcerne målrettes effektive tiltag på de vejstrækninger som har brug for reparationer. Forstærkningsmetoder for forårstøbrudsskadede veje er beskrevet i kapitel 5.

### 4.3 OPERATIV MODEL FOR UNDERSØGELSE AF VEJE DER ER SVÆKKEDE UNDER FORÅRSTØBRUD

Et eksempel på en typisk skridt for skridt procedure for at undersøge og analysere en vej for rehabiliteringstiltag præsenteres nedenfor. Skridtene som oplystes er fastlagt for at samle tilstrækkelig pålidelig og repræsentativ information om de kendetegn, som påvirker tøbrudssvækkelsen. Proceduren er passende både for grus- og

asfalterede veje. Ekstra skridt for yderligere undersøgelser kan føjes til om nødvendigt.

#### A. GPR Målinger – vinter

Om vinteren anbefales undersøgelse med georadar (GPR) på grusveje da GPR ikke altid er så effektiv om sommeren hvor støvbindende midler anvendes. Et system som anvender 400 – 500 MHz antenner ("ground coupled"), anvendes til at måle vejens forskellige lagtykkelser og eventuelle sammenblandinger af lag. GPR-data indsamlet på frossen jord kan også give information om hvor langt ned jorden er frosset, om islinser og i tilgift kan grundfjeld og blødbundsområder lokaliseres præcist. Normalt kan en langsgående GPR-profil give tilstrækkeligt med information for lavt trafikerede veje, men hvor flere data er nødvendige, kan flere profiler måles.

Feltmålinger af frosthævninger kan hurtigt identificere skader som hidrører fra tøbrudssvækkelse, men de kan også være ganske dyre at gennemføre. Digital video og GPS-data indsamlet samtidig med GPR-målingerne er billigere og et effektivt alternativ til målinger af frosthævninger (figur 4.2). Stederne hvor der er ujævn frosthævning kan omtrentligt bestemmes ved at bruge digitale videooptagelser om vinteren. Accelerometer- og profilometerteknik kan også anvendes såfremt mere nøjagtige data er nødvendige.



*Figur 4.2. Digital video og GPS installeret på en GPR opmålings bil.*

#### B. Sted og historie for problemafsnit

Dette afsnit handler om hvordan man udpeger vejstrækninger, som lider under tøbrudssvækkelse. Her medtages både nye skadede steder og tidligere reparerede steder, som stadig lider under tøbrudssvækkelse. En risikoanalyse bør også gennemføres af andre vejstrækninger, som ikke viser

nedbrydning, men som har en høj risiko for skader når vægtbegrænsninger fjernes.

Denne udpegning kan udføres ved at anvende historiske data, og/eller opfølgingsdata som er indsamlet på veje med problemer. Hvis sådanne databaser ikke er tilgængelige, anbefales det at problematiske vejafsnit overvåges visuelt i løbet af 1-2 år for at indsamle gode data. De GPR-data som indsamledes i trin A herover er også værdifulde for denne risikooanalyse. De mest værdifulde data for grusveje er observationer fra tøbrudsskader og for asfalterede veje er ujævnheds- og sporkøringsdata fra et profilometer. Hvis denne type overvågning ikke er mulig af tidsmæssige årsager, kan belægningsskader og deres placering og udvikling kortlægges gennem dataanalyse fra digital video og interviews af driftspersonale og brugere af vejen.

#### C. Integreret analyse af undersøgelsesdata

Efter identificering af problemstrækningerne kan den initiale diagnose (kapitel 2.3) og det første forslag til forstærkningsmetode gives. Beskrivelsen af den integrerede analyseteknik, som anvendes her er givet i kapitel 4.2. Det er vigtigt at den første diagnose med årsagerne til skaderne bliver gjort i denne fase således at resultaterne kan blive verificeret senere i felten.

#### D. Feltbesøg – forår

Forårs feltbesøg gennemføres for at verificere lokaliseringen af vejstrækningerne med problemer og identificere eventuelle nye afsnit, som lider af svækkelse ved tøbrud. Den første diagnose af problemerne kan også bekræftes og det første forslag til forstærkningsmetoder kontrolleres. Besøget i felten er planlægges bedst placeret i foråret, hvor de fleste grøfter er fulde af smeltevand og hvor vejen er svagest. Det er også det bedste tidspunkt at gennemføre analyser af afvandings tilstand såvel som at identificere strækningerne med rabatter med ringe bæreevne.

Tilstanden af vejenes afvanding bør kontrolleres visuelt både på de problematiske strækninger, men samtidig også i hele vejens udstrækning. Dette bør gøres da forbedringer på afvandingen vil forhindre, eller forsinke udviklingen af andre skader på vejen. GPR-data kan tilføre anvendelige information om afvandings tilstand som et supplement til den visuelle vurdering på det tidspunkt. Det er ofte værdifuldt at indsamle digital video under opholdet i felten så de visuelle data kan blive vurderet igen bagefter – om nødvendigt. Et to-kamera system med digital video kan bruges med et kamera der optager vejen og et der optager grøften.

### E. GPR Målinger – Sommer

Disse GPR målinger er gennemført i løbet af sommeren, hvor vejens konstruktion og underbund er fuldstændig ufrosne. En 1.0-2,2 GHz antenne anvendes til at finde tykkelsen på slidlag/belægning og underliggende lag (figur 4.3). "Sporkøring" (se Dawson og Kolisoja 2005) kan også blive klassificeret ved samme lejlighed ved hjælp af en 400 MHz antenne på over vejens tværsnit. Borekerner kan udtages for at kalibrere GPR-tolkningerne. Hvis problemet antages at hidrøre fra de ubundne materialer bør der gennføres passende laboratorieanalyser af materialekvalitet og fugtfølsomhed. Laboratorieanalyser kan også anvendes, for eksempel for at undersøge omoverfladens optøning og opblødning er afhængigt af slidlagets kvalitet. En parameter som har vist sig at være effektiv når man undersøger kvaliteten af ubundne lag i vejen er den dielektriske værdi. Anvendelse af og størrelsen på dielektriske værdier er beskrevet i ROADDEX II projekt rapporten "Material Treatment" (Kolisoja og Vuorimies 2005).



**Figur 4.3. GPR målebilen med 1 GHz horn antenner monteret på fronten.**

En analyse af slidlaget på grusveje kan også gennemføres med GPR-målinger.

### F. Bæreevne målinger – sensommer og tidligt forår

Bæreevne målinger på grusveje er oftest brugt til at bekræfte GPR-tolkningerne, bedømmelsen af underbundens jordtype og en vurdering af de ubundne vejkonstruktioner. Faldlodsmålinger (FWD, figur 4.4) er den bedste teknik at anvende hvis vejens problemer hidrører fra svage/dårlige forhold i underbunden. Et dynamisk cone penetrometer (DCP) kan også anvendes såfremt den maksimale kornstørrelse i stentilslaget ikke er for stor. FWD målinger kan, sammen med sporkøringstilstanden, give god information om

årsagen til bæreevneproblemer. Sporkøringen bør klassificeres i denne fase hvis den ikke har været klassificeret tidligere.



**Figur 4.4. KUAB faldlod. (Aho 2004)**

FWD-data kan, sammen med oplysninger om vejkonstruktionens lagtykkelser, importeret fra GPR undersøgelsesresultaterne, også og anvendes til at beregne bæreevne for asfalterede veje. Materialernes E-moduler bestemmes først ved af "back calculation software". Derefter kan traditionel dimensionering jævnfør Odemark anvendes for at give en første vurdering af vejkonstruktionens bæreevne. Dette kan bruges ved bedømmelsen af virkningerne af forstærkningstiltagene. Specielle indeks, så som Surface Curvature Index (SCI) og Base Curvature Index (BCI) kan også anvendes til at analysere bæreevnen.

Det må imidlertid påpeges, at når man vurderer risikoen for permanente deformationer at FWD data, som indsamles i løbet af de tørre måneder om sommeren, ofte kan give overdrevent optimistiske værdier af bæreevnen på grund af evnen til absorption. Generelt kan det siges, at hvis værdierne vedrørende bæreevnen er rimelige, så kan vejen stadigvæk have problemer med frost og permanente deformationer – men hvis disse målte parametre er dårlige, er vejen altid i en strukturel dårlig tilstand. Bæreevneværdierne er mest repeterbare og sammenlignelige, hvis dataindsamlingen er gennemført i sensommeren eller det tidlige efterår, hvor fugtindholdet er mere "normalt".

I denne afsluttende fase opdateres den grundlæggende diagnose af problemerne, som blev gennemført i skridt C ved hjælp af data indsamlet i løbet af skridt D–F. Data der er indsamlet ved undersøgelsen af vejen samt anden information, anvendes til at designe de mest egnede rehabiliteringstiltag for hver type skade på vejen på hvert enkelt vejstrækning. I denne fase er det anbefalet, at designstrategien for at undgå permanente deformationer som præsenteret i ROADDEX II rapporten "Permanent

Deformation" (Dawson og Kolisoja 2005). Lagtykkelser kan også bestemmes ved traditionel dimensionering ved hjælp af Odemark's formler.

Generelt er det vigtigt, at alle undersøgelses- og designdata og ligeledes kvalitetssikringsdata efter anlægsfasen er systematisk indsamlet og gemt for at blive anvendt til vurdering af holdbarheden af de reparerede veje. De gemte data kan også bruges til at analysere virkningerne af de gennemførte rehabiliteringstiltag og ligesom de er nyttige initiale data for fremtidige rehabiliteringsdesign. Det anbefales at data der skal gemmes til fremtidig brug er sammensat på en måde, der muliggør en umiddelbar bedømmelse.

## Kapitel 5. Forstærkningstiltag ved tøbrudsskader

### 5.1 GENERELT

Problemet med forstærkning ved tøbrudsskader er, som beskrevet i kapitel 3, at nye skader ofte opstår på nye steder, efter at de oprindelige tøbrudsskadede steder er blevet repareret, og nr den tunge trafik vender tilbage efter at vgtrestriktionerne er ophævet. Hvis man ikke er opmærksom på dette og tager sine forholdsregler, kan det give vejbrugerne et dårligt indtryk. Det er derfor vigtigt, at informere brugerne om at det pgeldende vejarbejde er en 2-4 årig rehabiliteringsproces, som skal forbedre hele vejen. Det betyder, at alle tiltag, såvel afvandingsforbedringer som andre vedligeholdelsestiltag nødvendigvis må udføres i hele vejens længde samtidig med rehabiliteringstiltagene. Yderligere overvågning af tøbrudsskader bør ikke stoppe efter denne første reparationsfase.

Risikoen for skader under forstærkningsarbejdet på grund af tung trafik, kan reduceres gennem god timing og udførelse. Ideelt set bør forstærkningsarbejdet i forbindelse med tøbrudsskader gennemføres om sommeren, nr vejstrukturen er tør og stærk nok til at tåle belastningerne fra anlægsarbejdet. Belastningen af vejen under rehabiliteringen kan reduceres ved at læsse bilerne i mindre grad og tillade vejen en tilstrækkelig hvileperiode mellem lastbilpassagerne. Teorien bag vejes hvileperioder diskuteres mere detaljeret i ROADEX II projekt rapporten "Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads" (Saarenketo og Aho 2005).

### 5.2 LIVSCYKLUSOMKOSTNINGER VED REHABILITEREDE KONSTRUKTIONER

Forstærkning af tøbrudsskadede strækninger skal kun gennemføres, hvis vejmyndighederne har tilstrækkelige ressourcer til at gennemføre tiltag, som har virkning på langt sigt. Der er begået store fejl, når vejstrækninger er blevet forstærket utilstrækkeligt. Aho (2004) har lavet beregninger af levetidsomkostningerne ved en standardreparationsmetode for grusveje. Resultaterne bekræftede, at der ikke findes nogen srskilt standardiseret økonomisk strukturel løsning på at reparere alle tøbrudsskader. Afhængigt af de gældende forhold på en tøbrudsskadede strækning vil levetiden på en standard opbygning være kortere og dermed vil livscyklusomkostningerne være højere.

Ifølge analyseresultaterne er de tyndeste strukturelle tiltag mest følsomme overfor livstidsvariationer. Hvis den nye struktur ikke er stærk nok i forhold til kommende tøbrudsskader, bliver konstruktionens levetid kortere og de rlige omkostninger øges hastigt. Denne afkortelse af levetiden er ikke så almindelig ved tykkere strukturer og



derfor bør tykkere strukturer (400 – 500 mm) foretrækkes, når man reparerer alvorlige tårbrudsskader.

Hvis der ikke er adgang til tilstrækkelige ressourcer til forstærkning af vejkonstruktionerne, er den mest effektive metode til at bekæmpe tårbrudsproblemet at forbedre afvandingsystemet og vedligeholde det godt. Forskellige afvandingsmetoder og deres livscyklusomkostninger er beskrevet mere detaljeret i ROADEX II projekt rapporten "Drainage on Low Volume Roads" (Berntsen og Saarenketo 2005) og yderligere i ROADEX III projektets afvandringsrapporter.

### 5.3 REHABILITERINGSTILTAG PÅ GRUSVEJE

Rehabilitering af grusveje og forstærkningsdesign er relativt ligetil, når årsagen til skaden er veldefineret. Valg af rehabiliteringsstruktur på grusveje er normalt baseret på de kendetegn, der er beskrevet i kapitel 2.3 og de mest almindeligt anvendte rehabiliteringsmetoder er vist i tabel 5.1. Skitser og reparationsmetoder for hver enkelt rehabiliteringsstruktur fremgår af "behandlingskort" som kan findes i Appendiks 1. Ved studier af disse konstruktioner bør man være opmærksom på, at det er grundlæggende løsninger og at specielle forhold ved hver enkelt skadet strækning bør medtænkes, når man udfører rehabiliteringen. Det er også vigtigt, ikke at glemme betydningen af et effektivt afvandingsystem for den rehabiliterede strukturs funktion. Afvandringsforbedringer bør altid udføres på samme tid eller endda før forstærkningstiltagene.

**Tabel 5.1. Arbejdsgangen ved rehabilitering af grusvejes overbygning.**

I BASIS STRUKTUREN
1. fjernelse af gammelt slidlag
2. homogenisering af ubundne lag 300 mm (hvis påkrævet)
3. geotekstil, filterdug
4. bærelag 200 – 300 mm
5. slidlag 100 mm
II FORSTÆRKNING MED JERNARMERINGSNET
1. fjernelse af gammelt slidlag
2. fjernelse af gamle materialer 100 – 150 mm (hvis påkrævet)
3. geotekstil, filterdug
4. bærelag 100 mm
5. forstærkning med jernarmeringsnet
6. bærelag 200 mm
7. slidlag 100 mm
III LØFT AF LÆNGDEPROFILET
1. fjernelse af gammelt slidlag
2. homogenisering af ubundne lag 300 mm (hvis påkrævet)
3. geotekstil, filterdug
4. bundsikring $\geq$ 200 mm
5. bærelag 200 mm
6. slidlag 100 mm

IV MATERIALEUDSKIFTNING
1. fjernelse af gammelt slidlag
2. fjernelse af gamle materialer $\geq 600$ mm
3. geotekstil, filterduk
4. bundsikring $\geq 300$ mm
5. bærelag 200 – 300 mm
6. slidlag 100 mm
V FORSTÆRKNING AF RABATTER
Adskillige metoder f.eks.
- materialeudskiftning på rabatter
- udvidelse af de inderste skrånninger
VI ANDRE STRUKTURER
Adskillige metoder f.eks.
- stabilisering
- frostisolering etc.

Den mest egnede rehabiliteringsmetode bør vælges efter at problemet er diagnosticeret. Egnetheden af rehabiliteringsmetoderne i forhold til forskellige skadesklasser er kort beskrevet i følgende tekst.

#### STRUKTURERNE: I. "BASIS STRUKTUREN" OG III. "LØFT AF LÆNGDEPROFILET"

Denne basisstruktur kan betragtes som en minimumsstruktur ved forstærkning af tøbrudssvækkede grusveje. Grundlæggende er strukturen egnet til at reparere tøbrudsskader i hver af skadesklasserne A-H i tabel 2.2. Under visse omstændigheder er der brug for tungere konstruktioner for at sikre en velfungerende vej. Eksempler på disse er:

- når problemer med tøbrudsskader er medium eller alvorlige (underklasserne II og III), og forbedring af bæreevnen ved anvendelse af basisstrukturen er utilstrækkelig
- når et antal medium og/eller alvorlige tøbrudsskader er identificerede på en vejstrækning, der passerer gennem en lavtliggende dal eller skaden er knyttet til et lavtliggende længdeprofil:
  - moræneundergrund, fladt og lige område (tabel 2.2, klasse B)
  - ler og/eller siltholdig underbund og fladt og lige område (table 2.2, klasse E)
  - ler og /eller siltholdig underbund, våd og lavtliggende dal (table 2.2, klasse F)
  - moseunderbund, fladt og lige område eller våd og lavtliggende dal (table 2.2, klasse G)

Tykkelsen af rehabiliteringsstrukturen kan bestemmes ved at bruge dimensioneringsstrategien som præsenteret i RODEX II projekt rapporten "Permanent Deformation" (Dawson and Kolisoja 2005). I tilfælde hvor skaderne

relaterer til vejens længdeprofil, udføres forstærkningen bedst ved at hæve centerlinien med en 500 – 600 mm tyk ny konstruktion som vist i forstærkningstiltag III. Denne tykkere konstruktion kan dog kun bruges, når det er muligt at hæve vejens længdeprofil og hvor breddeudvidelse er muligt.

### STRUKTUR: II "FORSTÆRKNING MED JERNARMERINGSNET"

I tilfælde af blød og/eller eftergivelig undergrund (table 2.2, klasserne E, F og G) bør risikoen for ujævne sætninger nøje vurderes, hvis tykke forstærkningsstrukturer planlægges anvendt. Ujævne sætninger kan begrænses ved at anvende struktur II (se tabel 5.1), hvor en del af det ubundne lags tykkelse er reduceret ved anvendelsen af jernarmeringsnet (figur 5.1). Armeringsnet fungerer også godt ved permanente deformationer og det reducerer også udvidelse af vejen på grund af udpresning af materialer under tøbrudsperioden.



*Figur 5.1. Indbygning af jernarmeringsnet. (K. Niva)*

Rehabiliteringsstrukturer som indeholder jernarmeringsnet anbefales ikke anvendt på skadede strækninger beliggende på skrånende terræn (table 2.2, klasserne A,D og H). De ujævne frosthævninger, som opstår disse steder, kan være årsag til at jernarmeringsnettet løftes op til vejens overflade. Jernarmeringsnet bør også undgås på steder, hvor stenkasser, rør og kabler krydser vejen, da der kan blive brug for fremtidig vedligeholdelse. Disse steder kan jernarmeringsnet forhindre fremtidig reparation.

### STRUKTUR: IV. "MATERIALEUDSKIFTNING"

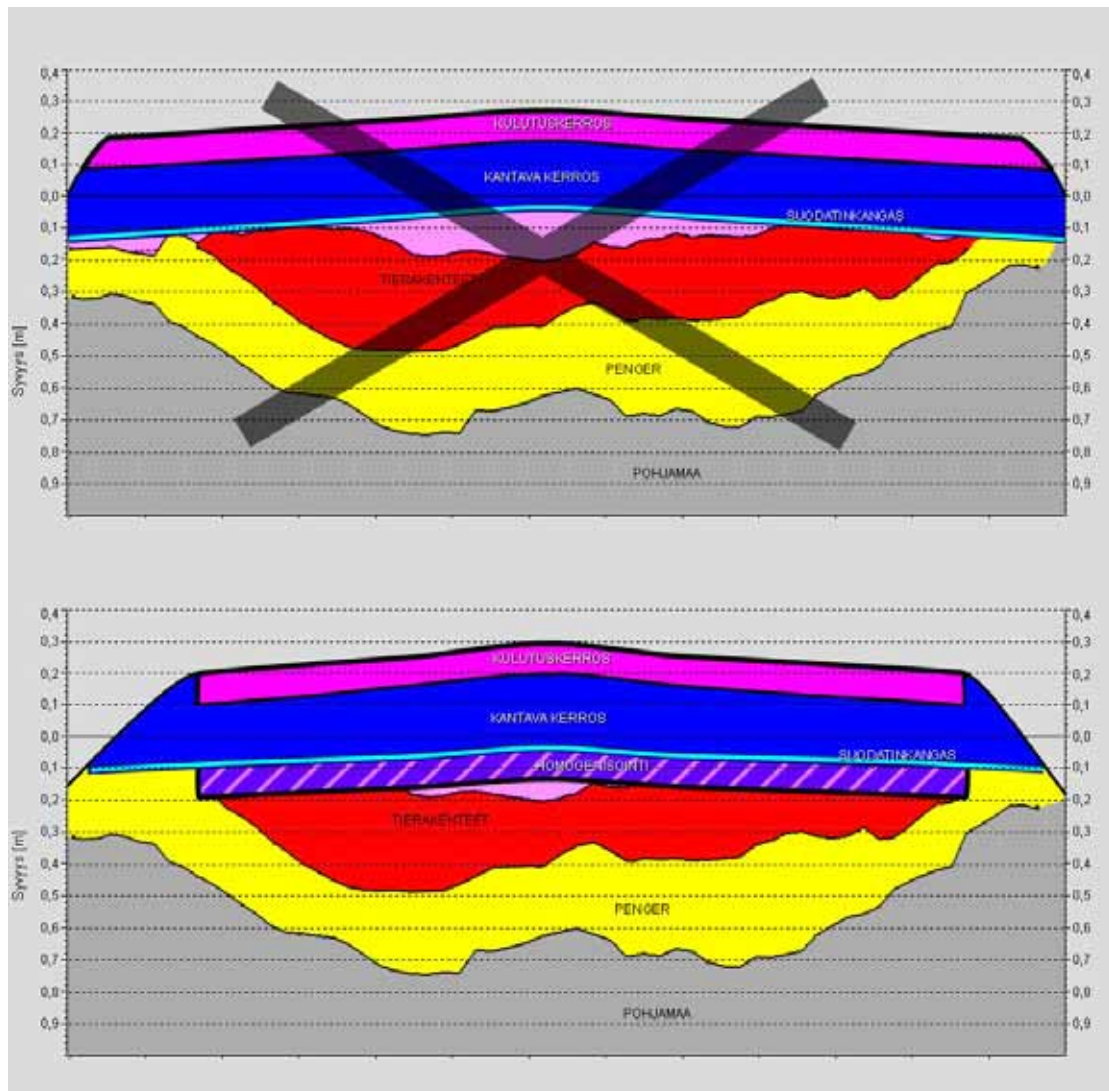
Når tøbrudsskader er omfattende, med vanskelige, ujævne frosthævninger, er den eneste måde at løse problemet ofte materialeudskiftning (tabel 5.1, struktur IV). Udskiftning af tykke materialeglag er dog sjældent en økonomisk fornuftig løsning på lavt trafikerede veje, selv om det kan være effektivt at udskifte materialer med frostsikre og vandgennemtrængelige materialer i de tilfælde, hvor grundfjeldet er at finde tæt på vejens overflade (tabel 2.2, klasse H.III).

## STRUKTUR: V. "FORSTÆRKNING AF RABATTER"

Når man analyserer strækninger med tøndbrudsskader, som er blevet repareret og atter skadet, er der en faktor som gentagne gange er blevet observeret som årsag til problemer. Denne faktor er tilfælde, hvor vejen er blevet forstærket over hele det breddeudvidede tværsnit. Disse breddeudvidede rabatter har næsten ingen opbygning med det resultat, at ujævne frosthævninger og tunge køretøjer, der kører på den "gode rabat", er årsag til skader. Egentlig kan vejstrækninger, hvor rabatterne lider af manglende bæreevne, inkluderes i alle skadesklasserne i tabel 2.2.

For at undgå sådanne situationer bør bredden af tværsnittet reduceres, når man udfører forstærkninger. Figur 5.2 viser et typisk mislykket tværsnit sammen med et tværsnit, der viser hvordan forstærkning bør gennemføres. Hvis det ikke er muligt at indsnævre vejen, bør en tykkere vejstruktur konstrueres på rabatterne. Et andet alternativ er at gennemføre materialeudskiftning på rabatterne, hvorved de tynde strukturer i overbygningen og underbunden er udgravet og udskiftet med tykkere vejstrukturer. I Sverige er udskiftning af materialer i rabatterne sandsynligvis den mest anvendte metode til forstærkning af rabatter.

Mange forskellige konstruktioner er blevet testet i et forsøg på at finde effektive løsninger på forstærkning af rabatter. Spændende nye forsøg er gennemført hvor man har brugt stålnet til forstærkning af rabatterne. I disse tilfælde er nettene blevet indbygget langs rabatterne for at undgå deformation af disse.



**Figur 5.2. Typisk mislykket tværsnit og tværsnit der viser hvordan forstærkning bør udføres**

## STRUKTUR: VI. "ANDRE STRUKTURER"

Denne kategori indeholder de forstærkningsmetoder, som endnu ikke anvendes så ofte ved reparation af tårbrudsskader på grusveje. Således indeholder struktur VI rehabiliteringsteknikker, som kun finder anvendelse i specielle tilfælde eller som stadig er under udvikling. Denne kategori inkluderer både slidlagsoprivning og strukturer indeholdende frostisolering, forstærkning med geotekstiler eller biprodukter fra industrien.

Slidlagsoprivning kan betragtes som et primært rehabiliteringstiltag i de tilfælde, hvor optøning af overfladen og deraf følgende svækkelse kan henføres til et tykt slidlag med et højt indhold af finkornet materiale. I disse tilfælde blandes nyt og grovere materiale sammen med de gamle slidlagsmaterialer i et forudbestemt

blandingsforhold. Denne metode til slidlagsoprivning kan kun anvendes til reparation af skader forårsaget af svækkelse som følge af optøning af overfladen.

Isolering mod frost kan være et effektivt forstærkningstiltag på våde og tøbrudsskadede strækninger beliggende på skråninger. Ved at anvende frostisolering kan grundvandet frit flyde under vejen og islinser som blokerer for vandet dannes derfor ikke af frosten. I sådanne tilfælde kan isolering mod frost også forhindre dannelsen af ujævne frosthævninger. (Saarenketo et al. 2002). Selv om det er dyrt, kan isolering mod frost, anses for en konkurrencedygtig rehabiliteringsmetode i de tilfælde hvor breaking out af grundfjeldet er alternativet.

## 5.4 REHABILITERINGSSTRUKTUR FOR ASFALTEREDE VEJE

### 5.4.1 Generelt

Forstærkningsstrategien for asfalterede veje med problemer, der kan henføres til svækkelse på grund af tøbrud, er en lige så ukompliceret proces som for grusveje. Alle løsninger for asfalterede veje er normalt mere udgiftstunge end for grusveje, og tykkelsen af belægningen har stor virkning på de forstærkningstiltag som kan anvendes. Af den grund er asfalterede veje i denne rapport blevet opdelt i to kategorier: veje hvor den samlede tykkelse af belægningen og de bundne bituminøse lagtykkelser er 20 – 100 mm i alt og veje hvor den samlede tykkelse af de bundne lag er mere end 100 mm. Gamle grusveje med en meget tynd overfladebehandling anses for at være særlige tilfælde hvor rehabiliteringsstrategien bør vurderes i hvert enkelt tilfælde ud fra behandlingsalternativerne for grusveje og asfalterede veje.

### 5.4.2 Veje med tynde belægninger – belægningstykkelse: 20 – 100 mm

Generelle løsninger og konstruktionsprocesser for forstærkning af asfalterede veje med tynde belægninger, som lider af tøbrudssvækkelse præsenteres i tabel 5.2. Det bør dog påpeges, at alle lag nævnt i tabellen skal komprimeres..

Den totale tykkelse af forstærkningstiltagene for asfalterede veje bør bestemmes i hvert enkelt tilfælde ved at anvende den strategi som præsenteres i ROADDEX II projekt rapporten "Permanent Deformation" (Dawson og Kolisoja 2005) eller eksempelvis ved at anvende den traditionelle dimensioneringsmetode f.eks. Odemark. "Behandlingskort" for forstærkningsmetoder for asfalterede veje præsenteres ikke i denne rapport, men reparationsmetoderne for hver struktur ligesom deres egenhed til reparation af forskellige tøbrudsskader er beskrevet i den følgende tekst.

**Tabel 5.2. Konstruktionsprocessen for rehabilitering af asfalterede vejstrukturer. Det beskrevne proces indeholder ikke komprimering, som altid bør gennemføres korrekt..**

<b>I. NEW BELÆGNING</b>
1.regulering og fræsning af den gamle belægning 2.ny belægning eller belægningsremix
<b>II. FORSTÆRKNING MED JERNARMERINGSNET ELLER GEOTEKSTILER</b>
1.fjernelse af gammel belægning / opbrækning af gammel belægning/ Opblanding af den gamle belægning med bærelaget 2.fjernelse af dårlig bundmateriale 100 – 150 mm (om nødvendigt) 3.genopretning/afretning 4.underbund 50 – 100 mm (groft materiale 50 – 100 mm for bedre sammenlåsning) 5.forstærkning med jernarmeringsnet / geotekstiler 6.underbund 200 mm (kan delvist være bundet) 7.ny belægning
<b>III. LØFT AF LÆNGDEPROFILET</b>
1.fjernelse af gammel belægning / opbrydning af gammel belægning / sammenblanding af gammel belægning med bærelaget 2.homogenisering 300 mm (om nødvendigt) 3.genopretning/afretning 4.underbund $\geq$ 200 mm 5.underbund 200 mm (can be partly bound) 6.ny belægning
<b>IV. MATERIALE UDSKIFTNING</b>
1.fjernelse af gamle strukturer $\geq$ 600 mm (ned til underbunden) 2.geotekstiler, filterdug 3.filter lag eller underbund $\geq$ 300 mm 4.bundsikringslag 200 – 300 mm (kan være delvist bundet) 5.ny belægning
<b>V. STABILISERING OG ANDRE BEHANDLINGSTEKNIKKER</b>
1.stabilisering af de øverste 80 – 200 mm af strukturens belægning 2.ny belægningt
<b>VI. HOMOGENISERING</b>
1.opblanding af gammel belægning med bundlaget 50 – 200 mm 2.opretning af vejens overflade (grader, tilføre nye bærelagsmaterialer) 3.ny belægning
<b>VII. KONVERTERING AF ASFALTVEJE TIL GRUSVEJE</b>
1. fjernelse af gammel belægning / opblanding af gammel belægning med bærelag 2. opretning af vejens overflade (grader, tilføre nye bærelagsmaterialer) 3. nyt slidlag
<b>VIII. ANDRE STRUCTURES</b>
adskillige metoder som <ul style="list-style-type: none"> <li>- frost isolering</li> <li>- opbrydning.</li> </ul>

### STRUKTUR I. "NY BELÆGNING"

En ny belægning er normalt et passende tiltag for at forstærke veje på strækninger, hvor der ikke er de store problemer med tøndbrudssvækkelse og hvor der er lille risiko for yderligere skader (ingen risiko eller lav risikoklasse og/eller bæreevneklassen er høj, se Roadex II rapporten "Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions" af Saarenketo 2005). Ny belægning kan normalt anvendes i hver vejklasse (A-H i tabel 2.2) forudsat der ikke er problemer med ujævne frosthævninger. I disse tilfælde afrettes den gamle belægning normalt gennem fræsning, så et korrekt tværfald opnås før den ny belægning udlægges.

### STRUKTUR II. "JERNARMERINGSNET"

Jernarmeringsnet har været brugt til at forebygge reflektionsrevner på asfalterede veje et antal år, men de seneste erfaringer fra felten viser, at jernarmerede konstruktioner også kan anvendes til at forhindre permanente deformationer på steder med tøndbrudsskader. Fordelene ved jernarmeringsforstærkning synes at være større på svagere underbund og det er derfor anbefalet at anvende dette på skadede steder klasserne E-G i tabel 2.2. Når man bruger strukturer med jernarmeringsnet enten på asfalterede veje eller grusveje, er det vigtigt at indbygge nettet tilstrækkeligt dybt (optimal dybde er 250 mm under overfladen) og sikre at vejens konstruktion ikke indeholder større stenblokke, som evt. kan skubbe nettet op til overfladen. Der er opstået fejl, hvor jernarmeringsnettet er blevet indbygget for tidligt på foråret, hvor underbunden ikke er helt optøet.

Det første trin i forstærkningen af en vej med en relativt tynd belægning gennem anvendelsen af stålnet er at fjerne, opbryde eller fræse og blande den gamle belægning og overfladebehandling og at homogenisere den øverste del af vejens struktur. Hvis belægningens overflade ikke må hæves, kan den øverste del af belægningen også fjernes i denne fase. Før man indbygger jernarmeringsnettet bør vejen afrettes til et passende tværfald ved brug af en grader og et groft knust materiale, kornstørrelse 50 – 100 mm (0-35 mm, 0-55mm) for at sikre en sammenlåsning med armeringsnettet (figur 5.3). Jernarmeringsnettet kan nu indbygges og bærelagsmaterialer kan lægges ovenpå og komprimeres. Bærelagets tykkelse er normalt designet til at være 200 – 400 mm afhængigt af tøndbrudsskadernes omfang.





**Figur 5.3. Groft knust materiale bør anvendes under jernarmeringsnettet for at sikre sammenlåsning. (T.Ruohomäki)**

### STRUKTUR III. "LØFT AF VEJENS LÆNGDEPROFIL"

I de tilfælde hvor tøbrudsskader skyldes et lavtliggende længdeprofil er enhver forstærkning bedst gennemført ved at løfte dette. Løft af længdeprofilet kan også overvejes, hvis vejens afvanding ikke kan forbedres. Disse tiltag forbedrer også vejens geometri og reducerer i stor udstrækning problemer med vintervedligeholdelsen, forudsat at linien ikke løftes så meget, at autoværn bliver nødvendigt.

Denne struktur fungerer bedst hvor problemerne kan henføres til skadesklasserne B og E-G (se tabel 2.2). Den kan også anvendes på andre klasser selv om tykkere strukturer kan være nødvendige hvis tøbrudsskaderne er alvorlige. Totaltykkelsen af de nye strukturer bør planlægges fra gang til gang gennem dimensionering af strukturen. Ved løft af længdeprofilet er udformningen af tværsnittet vigtigt for at være sikker på at de nye konstruktioner kan udføres indenfor vejarealet og således at vejens inderskråninger ikke bliver for stejle.

### STRUKTUR IV. "MATERIALEUDSKIFTNING"

Når tøbrudsskader er alvorlige og ujævn frosthævning er tilstede i den same vejstrækning, er den eneste løsning på problemet at fjerne de frostfarlige materialer og vejstrukturer og opbygge en ny vej. Materialeudskiftning er et dyrt tiltag fordi der skal bruges store mængder nye vejmaterialer og på lavt trafikerede veje må det derfor overvejes nøje at gøre dette. Det er dog i de fleste tilfælde den eneste metode til at reparere ujævne hævnings.

Materialeudskiftning med groft materiale kan fungere godt hvor der findes grundfjeld (klasse H.III) men ikke hvis grundfjeldet blokerer for grundvandsflowet. I sådanne tilfælde bør det også overvejes i grøfterne. Desuden kan en konstruktion som indeholder et frostisolerende lag være et andet effektivt valg (struktur VII I tabel 5.2).

## STRUKTUR V. "STABILISERING OG BEHANDLINGSTEKNIKKER"

Stabiliserings- og behandlingsteknikker kan være effective, til at forstærke en vej mod tøbrudssvækkelse, specielt hvis en stor del af den permanente deformation finder sted i den øverste del (0 – 250 mm) af belægningens struktur. Denne metode er et godt valg, hvis bærelaget består af en høj andel finkornet materiale og hvis det ikke er muligt at løfte vejens længdeprofil. Når man bruger denne struktur er det altid nødvendigt at tage prøver af og udføre laboratorietests af bærelaget for at bekræfte problemet og for at bestemme den rette type og det rette omfang af tilsætningsmidlerne. Når man designer stabilisering er det vigtigt at sikre, at det stabiliserede materiale ikke adsorberer vand. I våd tilstand, som i skadesklasserne B og E-G i tabel 2.2, bør tilsætningsmidler med hydrofobiske egenskaber anvendes.

Gjort korrekt vil en stabiliseret struktur stabilisere belastningsniveauet i de ubundne lag til et niveau hvor permanente deformationer ikke kan udvikles. Dog kan ujævne frosthævninger være årsag til funktionelle problemer som langsgående revnedannelser på stabiliserede veje. Af denne årsag bør stabiliseringen omhyggeligt overvåges hvis de skadede strækninger er beliggende på skrånende terræn eller på steder med grundfjeld (klasserne A,D og H i tabel 2.2).

Yderligere information om stabilisering og behandlingsteknikker kan findes i ROADEX II projekt rapporten "Material Treatment" (Kolisoja og Vuorimies 2005) og i ROADEX III project stabilization report.

## STRUKTUR VI. "HOMOGENISERING"

Hvis der er begrænsede ressourcer kan homogenisering af den øverste del af overbygningen og ny overfladebehandling eller ny koldblandet asfaltbelægning være en af de billigste metoder til at rehabilitere asfalterede veje som lider under tøbrudsskader. Grundlæggende kan homogenisering anvendes for alle skadesklasserne A-H vist i tabel 2.2 hvis belægningen ikke er tykkere end 100 mm.

Ved homogenisering blandes den eksisterende belægning først med bærelaget (figure 5.4). Fræsedybden er normalt 50 – 200 mm, eller dybere, men det bør ikke være så dybt, at det medfører at store sten eller stenblokke kommer nærmere overfladen. Efter homogeniseringen afrettes vejoverfladen til den optimale form ved brug af grader og det homogeniserede materiale komprimeres og et nyt slidlag udlægges. Denne metode er specielt god på veje med problemer med dybe sporkøringer, som ellers er vanskelige at reparere. Det er yderligere en fordel at vejens tværsnit også kan forbedres, så vandet ikke længere bliver beliggende på belægningen.



**Figur 5.4. Den eksisterende overfladebehandling fræses først ned i bærelaget. (T.Ruohomäki)**

Tilsætning af nyt bærelagsmateriale gør også det homogeniserede bærelag tykkere og forbedrer dets gradering. Dette har også fundet anvendelse på veje med større deformationsproblemer under tøbrud (underklasserne II og III i tabel 2.2.). Med denne teknik fræses den eksisterende belægning ind i det gamle bærelag og det nye bærelag udlægges ovenpå og en ny fræsning udføres inden afretning, komprimering og udlægning af nyt slidlag. Andre variationer af metoden foreskriver udlægning af nye bærelagsmaterialer ovenpå belægningen før homogeniseringsprocessen.

Homogenisering har været afprøvet i Finland på nogle grusvejsstrækninger med tøbrudsproblemer. I nogle tilfælde er der tilsat små mængder slagger ved homogeniseringsprocessen for at forbedre materialets kvalitet.

#### STRUKTUR VII. "KONVERTERING AF ASFALTEREDE VEJE TIL GRUSVEJE"

Hvis en vejstrækningens bituminøse belægning har haft vedvarende alvorlige problemer med slaghuller, krakeleringer og sporkøring og indførelsen af vægtrestriktioner ikke hjælper (eller hvis de ikke kan indføres), er den billigste metode til at reducere høje driftsomkostninger at konvertere vejen tilbage til en grusvej.

I løbet af de sidste år har disse tiltag været gennemført på et antal veje i Finland og Sverige, hvor der har manglet ressourcer til at gennemføre strukturelle forbedringer. I de første år fik man en hel del negative tilbagemeldinger fra lokalbefolkningen men førerne af de tunge køretøjer har vist en større forståelse for årsagerne til disse tiltag. Vejen ved Ängesby Percostationen i Sverige under ROADIX projektet er et godt eksempel på en vej hvor problemerne er reduceret som følge af tilbageførelsen til grusvej.

##### **5.4.3 Veje med tyk belægning – belægningstykkelse > 100 mm**

Normalt har lavt trafikerede veje i den nordlige periferi ikke tykke belægningslag med undtagelse af Skotland, hvor tykkelsen ofte er større end 100 mm for de

bitumenbundne strukturer. På disse veje følger vejmyndighederne generelt de samme principper som beskrevet ovenfor i afsnit 5.4.2 selvom de største problemer der skal overvindes i Skotland er de daglige frys-tår cykler, som allerede nævnt, sammen med et øget fugtindhold i undergrunden. Under disse omstændigheder vil det altid være nødvendigt agennemføre en general forbedring af vejens afvanding som led i forstærkningsprojektet.

Når man vælger en rehabiliteringsmetode for veje med en tyk bituminøs belægning må problemet først beskrives gennem en klassificering af belægningens skadestype.

Hvis vejen lider under skadestype 1, sporkøring forårsaget af dårlig kvalitet bærelag (se Dawson og Kolisoja 2005), og belægningen er 100 – 140 mm tyk, kunne den optimale rehabiliteringsløsning være at udlægge en tykkere belægning ovenpå den eksisterende asphalt. Resultaterne fra ROADDEX II projektet (Dawson og Kolisoja 2005) har vist at et 200 mm tykt belægningslag kan reducere belastningsniveauet til en grad hvor ingen permanente deformationer bør kunne finde sted. Hvis belægningen er i meget dårlig stand, kan et evt. bedre valg være homogenisering gennem nedfræsning af den eksisterende belægning i det ubundne bærelag.

Hvor belægningens tykkelse er 100 mm og dybe spor og/eller hurtig sporkøring kan antages at skyldes meget svag underground (dette kan bekræftes gennem FWD data eller tværsnitsopmålinger med GPR) er den økonomisk mest rentable metode at bortfræse de bituminøse lag for genanvendelse og om muligt udlægge et tykkere ubundet bærelag og en ny belægning. Et godt valg i disse tilfælde er et jernarmeringsnet, specielt hvis der er risiko for ujævne sætninger forårsaget af en alt for blød underbund. Gode erfaringer er opnået i Skotland med geogitre indbygget i de bituminøse lag og det er et anbefalet valg hvis de bituminøse lag er tykkere end 200 mm.

Somme tider kan belægningsskader i tykkere belægninger skyldes svære krakeleringer af de bituminøse lag på grund af dårlig afvanding under lagene (stripping). Dette kan give en forøgelse af det hydrauliske tryk i lagene under påvirkning af tung trafik under tårbrudsperioden. I sådanne tilfælde er eneste løsning af forbedre afvandingen, bortfræse de bituminøse lag, udlægge et vandgennemtrængeligt materiale på den forberedte overflade (macadam eller ubundet bærelag) og afslutte med en ny belægning.

Hvis belægningens skadestype hovedsageligt er langsgående revnedannelser med krakeleringer tæt ved vejkanterne kan disse problemer henføres til ujævne frosthævninger eller til sætninger i hele vejens tværsnit forårsaget af tårbrud. Hvis dette er tilfældet kan årsagen være dårlig afvanding på skrånende terræn og en dårligt udført breddeudvidelse af vejen. Den primære repareringsmetode er i disse tilfælde en kraftigt forbedret afvanding. Hvis revnedannelserne er tæt ved hjulsporet

bør belægningen fræses bort og de ubundne lag forstærkes med stålnet inden det hele afsluttes med nye asfaltlag præcis som før.

## Kapitel 6. Kvalitetssikring og funktionskontrol af rehabiliterede veje

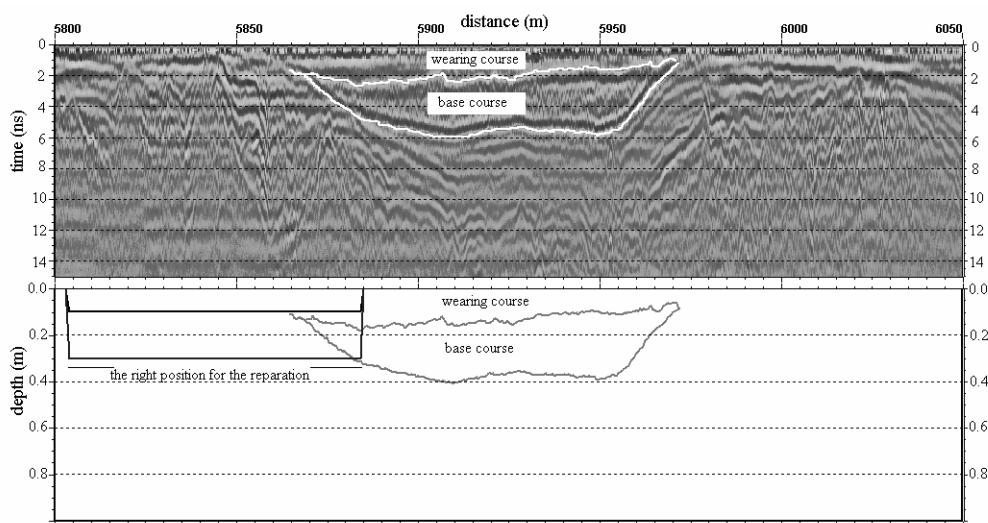
Forskning angående funktionen og livscyklusomkostningerne for reparerede grusvejskonstruktioner (Aho 2004) foreslår, at den væsentligste årsag til de mislykkede forstærkningsstrukturer var at de rehabiliterede konstruktioner ikke var bygget så tykke som designerne havde foreskrevet. Af denne grund er det anbefalet at der bør fokuseres på kvalitetssikring af udførelsesprocessen. I særdeleshed er det anbefalet at entreprenøren er forpligtet til at eftervise kvaliteten af forstærkningsarbejdet. Dette bør ikke bare bestå af kvalitetssikring af de materialer som anvendes, men også kvalitetssikring af tykkelsen på de udlagte lag, komprimeringen og den korrekte placering af forstærkningstiltagene.

Som et resultat af reducerede budgetter udføres forstærkningstiltag af tårbrudssvækkede veje kun på de dele af vejen som lider af tårbrudssvækkelse. Dette betyder at meget præcise stedbestemmelser af skaderne er nødvendige, så de strækninger af vejen der har en rimelig forventet restlevetid kan holdes udenfor projektet og investeringerne bare gennemføres de steder hvor der er behov for reparation. For denne typer af "præcisionsrehabilitering" er det nødvendigt at have en stedbestemmelse i de undersøgelser der gennemføres forud for rehabiliteringen og af de udførte rehabiliteringstiltag. Hvis dette ikke gøres kan man i værste fald udføre forstærkningstiltag på forkerte strækninger uden skader.

Foruden den korrekte stedbestemmelse af forstærkningstiltagene er det også nødvendigt at sikre tykkelsen af de udførte konstruktioner. Dette kan gøres ved helt enkelt at male tykkelsen i en søgegravning udgravet til formålet. Lagtykkelsen kan også verificeres gennem GPR malinger. Georadar har vist sig at være et udmærket værktøj til at måle de udlagte lags tykkelse ved at give et kontinuerligt profil af vejkroppen og, og på same tid sikre den korrekte placering af forstærkningstiltagene.

Komprimeringskontrol på grusvejsafsnit med tårbrudsproblemer er svære at udføre da den eksisterende konstruktion og underbunden normalt er svag. Men på asfalterede veje bør en komprimeringskontrol altid udføres for at undgå sporkøring. Densiteten bør verificeres ved at anvende de alment gældende metoder i hvert land. En kombination af GPR og FWD kan anbefales.

Figur 6.1 viser et udmærket eksempel på resultater opnået gennem anvendelse af GPR som kvalitetssikring af finske grusveje. Det kan let ses af de tolkede GPR data, at slidlaget og bærelaget er udlagt i tilstrækkelig tykkelse, men at lokaliseringen af rehabiliteringen har være ukorrekt.



**Figur 6.1. En forkert placeret udførelse af rehabiliteringstiltag påvist med GPR. (Pälli et al. 2005)**

Hvis nye skader optræder kort tid efter rehabilitering af reparerede steder, kan det skyldes at de anvendte materialer har været af dårlig kvalitet og særlig opmærksomhed bør rettes mod dette ved kvalitetssikringen. Nationale specifikationer for materialer, deres frostfarlighed og gradering, bør følges op ved udførelsen af forstærkningstiltagene. Det er også god praksis at bede entreprenøren om at eftervise de anvendte materialers kvalitet.

Alle afvigelser i stedbestemmelsen, lags tykkelse eller materialers kvalitet er vigtige at identificere så anledningen til eventuelle nye skader let kan konstateres. Entreprenører bør altid være tvunget til at reparere vejafsnit hvor mangler under udførelsen er påvist. Præcis dokumentation af udførte forstærkningstiltag, deres placering og konstruktion, er også en forudsætning for funktionskontrol af de rehabiliterede veje.

Som nævnt i kapitel 3 bør kvalitetssikring af forstærkningsprocessen følges op af en systematisk funktionskontrol af de rehabiliterede veje. Denne proces bør inkludere analyse og rehabilitering af eventuelle nye skader, således at man, når de indsamlede datamængder forøges fra opmåling og gennem opfølgningen, bedre er i stand til at forudsige tårbrudsskader, som opstår efter ophævelse af vægtrestriktioner. Funktionskontrol giver også værdifuld information vedrørende de rehabiliterede strukturers funktionstid og deres egnethed i forhold til forskellige skadesklasser.

## Kapitel 7. Referencer

Aho S. (2004). Sorateiden kelirikkokorjausten toimivuus ja elinkaarikustannukset. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. (English abstract)

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)

Aho S., Saarenketo T. and Kolisoja P. (2005b). Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen. Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito –tutkimusohjelma. Tiehallinnon selvityksiä 64/2005, Tiehallinto. Helsinki. (English abstract)

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

Dawson, A. and Kolisoja, P. 2005. Permanent deformation. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)

Kolisoja P. and Vuorimies N. (2005). Material Treatment. ROADEX II report. [www.roadex.org](http://www.roadex.org)

Launonen P. ja Turunen P. (1995). Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkelirikkoon. Tielaitoksen selvityksiä 20/1995. Kuopio. (in Finnish)

Niva, K. (2004). Finnish Road Administration, Lappi District. Photo.

Pälli A., Aho S. and Pesonen E. (2005). Ground Penetrating Radar as a Quality Assurance Method for Paven and Gravel Roads in Finland. 3<sup>rd</sup> International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar. May 2-3, 2005. Delft, The Netherlands.

Pennanen O. and Mäkelä O. (2003). Raakapuukuljetusten kelirikkohaittojen vähentäminen. Metsätehon Raportti 153, 19.8.2003. (in Finnish)

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

Ruohomäki, T (2004). Skanska. Photos.

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)



Saarenketo T. and Aho S. (2003). Kelirikkoteiden painorajoitusten yhtenäistäminen, Tiemestarikysely-tutkimuksen raportti. Roadscanners Oy. Rovaniemi, Tampere. (in Finnish).

Saarenketo T., Lähde A., Peltoniemi H. ja Rantanen T. (2002). Vaasan sorateiden korjaussuunnittelun kehittäminen. Tutkimusraportti. Roadscanners Oy. Rovaniemi. (in Finnish)

Saarenketo, T., 2001. GPR Based Road Analysis - a Cost Effective Tool for Road Rehabilitation Case History from Highway 21, Finland. In Proceeding of 20<sup>th</sup> ARRB Conference, Melbourne, Australia 19-21 March, 19 p.

Tielaitoksen selvityksiä 2/1993 (1993). Massanvaihto. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitos, Helsinki. (in Finnish)

White T.D. and Coree B.J. (1990). Threshold Pavement Thickness to Survive Spring Thaw. Third International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields Proceedings. Volume 1. Trondheim, Norway. 3-5 July 1990.

# Appendix 1

## BEHANDLINGS KORT FOR REHABILITERING AF GRUSVEJE

- I. Basis Struktur, BS
- II. Forstærkning med jernarmeringsnet, SRI
- III. Løft af længdeprofilet, RA
- IV. Materiale udskiftning, SRP

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

--

