THIS PROJECT IS BEING PART-FINANCED BY
THE EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND

ROADEX III
NORTHERN PERIPHERY

Andrew Dawson, Pauli Kolisoja

SKÖTSEL AV SPÅRBILDNING PÅ LÅGTRAFIKERADE VÄGAR

Praktiskt sammandrag

Skötsel av spårbildning på lågtrafikerade vägar

PRAKTISKT SAMMANDRAG

Juli 2006

Andrew Dawson
Nottingham Centre for Pavement Engineering

Pauli Kolisoja
Tampere University of Technology

FÖRORD

Föreliggande rapport är ett praktiskt sammandrag av ROADEX II rapport 2005 avseende “Permanent Deformation”. Den syftar till att vara en arbetsmanual, som definierar varför spårbildning kan uppstå i lågtrafikerade vägöverbyggnader. Därmed syftar den till att ge råd till väghållare och teknisk personal om hjälpmedel för att undvika spårbildning på nybyggda eller rehabiliterade vägöverbyggnader genom design och om bedömning av sannolika framtida spårbildningar i befintliga överbyggnader.

Rapporten avser inte att ersätta några läroböcker eller handböcker och specifikationer som finns tillgängliga inom ämnesområdet, utan förhoppningen är att det sammanfattade materialet skall ge läsaren en större förståelse för ämnet och lösningarna och speciellt betydelsen av detta problem som ofta inte helt uppmärksammats.

Rapporten har skrivits av Andrew Dawson som arbetar på Nottingham Centre for Pavement Engineering vid University of Nottingham (UK) och av Pauli Kolisoja som arbetar vid Tampere University of Technology, Finland. Ron Munro har utfört den övergripande kontrollen som projektledare för ROADEX III Projektet. Mika Pyhähuhta från Laboratorio Uleåborg designade rapportens layout.

Författarna vill rikta ett tack till ROADEX III Styrgrupp för dess uppmuntran och vägledning vid detta arbete.

Copyright © 2006 Roadex III Project

Alla rättigheter reserverade.

ROADEX III ledande Partner: Vägverket, Region Norr, Box 809, SE-971 25 Luleå. Projekt co-ordinator: Mr. Krister Palo.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD **3**

1 INLEDNING **6**

2 SPÅRBILDNING **7**

2.1 ALLMÄNT **7**

2.2 TILLSTÅND 0 ..... **8**

2.3 TILLSTÅND 1 ..... **9**

2.4 TILLSTÅND 2 ..... **10**

2.5 TILLSTÅND 3 ..... **11**

2.6 KOMBINERADE TILLSTÅND **11**

3 OBUNDNA ÖVERBYGGNADSSLAGER **13**

4 KLIMATEFFEKTER **15**

4.1 REGNVÄDER **15**

4.2 TJÄLE **15**

5 LABORATORIE- OCH ANALYTISK STUDIE **17**

5.1 METODER ANVÄNDA I STUDIEN **17**

5.2 MATERIAL **18**

5.3 PROVNINGSMETODER **18**

5.4 PROVNINGSRESULTAT **18**

Styvhetsbeteende 19

Plastiskt beteende 19

5.5 ÖVERBYGGNADSANALYS **20**

5.6 RESULTAT FRÅN ÖVERBYGGNADSANALYSEN **20**

Observationer av spårbildning i stenmateriallager (Tillstånd 1) 21

Observationer av spårbildning i undergrunden (Tillstånd 2) 21

6 ETT FÖRENKLAT ANGREPPSSÄTT FÖR IMPLEMENTERING **22**

7 REHABILITERING AV ÖVERBYGGNAD 25

8 SLUTSATS 26

1 Inledning

I de studerade områdena i den Norra Periferin är obundna eller tunt förseglade vägytor mycket vanliga. Vanligen är dessa vägöverbyggnader konstruerade av ett, eller flera, lager av krossat stenmaterial utlagda på undergrunden (Figur 1.1). Ytan på dessa överbyggnader utgörs antingen av obundet lager eller av en tunn bituminös försegling i vilken stenar med likartad storlek vältas in. I båda fallen utgör de obundna lagren den huvudsakliga strukturella styrkan för överbyggnaden.

Figur 1.1 Vy från en tvärsektion av en tunt förseglad överbyggnad (Lagergränserna utmärkta med sprayfärg) (foto: med tillstånd av S Erlingsson)

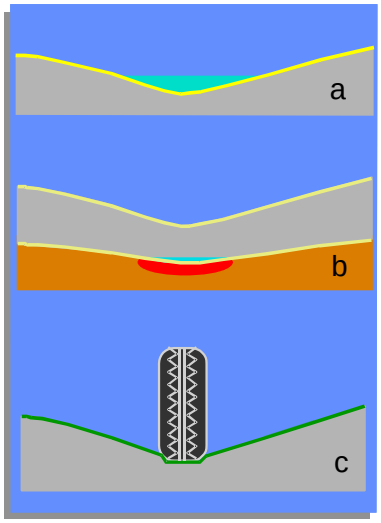
Packat stenmaterial är ett flexibelt material. Om det är för svagt, tenderar det att deformeras plastiskt, en aning plastisk deformation uppstår under varje hjulbelastning. Så småningom ackumuleras detta och framträder i överbyggnaden som spårbildning. Denna typ av beteende är en egenskap för varje lager. Spårbildningen ökar om den applicerade spänningsnivån, under bilhjulen, ökar.

Denna rapport inriktar sig på att förklara varför spårbildning uppstår, faktorerna som påverkar den, och hur den kan hanteras av väghållare och tekniker så att den blir mindre framträdande.

2 Spårbildning

2.1 ALLMÄNT

Spårbildning är mycket oönskad i en överbyggnad av ett flertal anledningar (se Figur 2.1). Spårbildning ger problem för trafikanter genom att öka förbrukningen av bränsle och risken för halka (på vatten eller på is) – exempel visas i Figur 2.2. Det ger också problem för ägaren då spår medverkar till att vatten sugs in i överbyggnaden i stället för att rinna av vägytan; och detta leder till snabb nedbrytning av överbyggnaden. Vatten som går in i överbyggnaden på detta sätt kan samlas i ett 'begravt' spår i undergrunden (se Figur 2.1) och/eller reducera bärigheten hos de granulära lagren. Den sistnämnda av dessa diskuteras vidare i denna rapport.



Figur 2.1. Orsaker till att spårbildning är oönskad:
(a=vatten i spår påverkar trafikering;
b=vatten som trängt in i lägre överbyggnadslager, mjukar upp dem
c=ökat däcksslitage)

Vidare kan spårbildning i de obundna lagren och/eller undergrundslagren leda till nedbrytning av de övre asfaltlagren (Figur 2.3). Med andra ord, spårbildning är vanligen inte likformig längs vägen vilket medför att ojämnheter uppstår som leder till besvärligheter för trafikanterna.

Mer friktion utvecklas emot sidan av däcket vilket leder till högre grad av bränsleförbrukning och däckslitage.

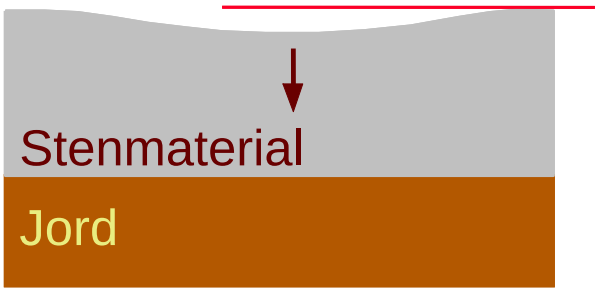
Figur 2.2.Vatten samlas i hjulspåret på en tunt förseglad väg.

Figur 2.3.Spårbildning i lägre lager leder till skador i asfaltlagren.

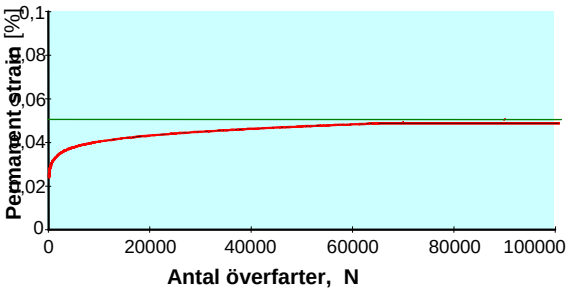
Spårbildning kan uppkomma av ett antal olika anledningar. I grund och botten är det fyra bidragande mekanismer, vilka här namnges som tillstånd 0, 1, 2, 3. I praktiken, skapas spårbildning ofta på grund av kombinationer av tillstånd i samarbete. Varje sådant tillstånd skall nu gås igenom.

2.2 TILLSTÅND 0

Packning av icke vattnade material i överbyggnaden kan vara en bidragande orsak till spårbildning (Figur 2.4). Normalt anses packning innan trafikering vara tillräcklig för att förhindra ytterligare packning under trafikeringen. Vidare är detta tillstånd självstabiliserande – d v s packning under trafikeringen hindrar vidare packning (Figur 2.5). Det gör också så att materialet blir styvare och därmed sprider lasten bättre. Bättre spridning av lasten leder till reducerat tryck på undergrunden, och reducerar därmed storleken och risken för spårbildning på den nivån.



Figur 2.4. Tillstånd 0 Spårbildning – packning av enbart obundna lager



Figur 2.5. Utveckling av permanent deformation i en krossad granodiorit

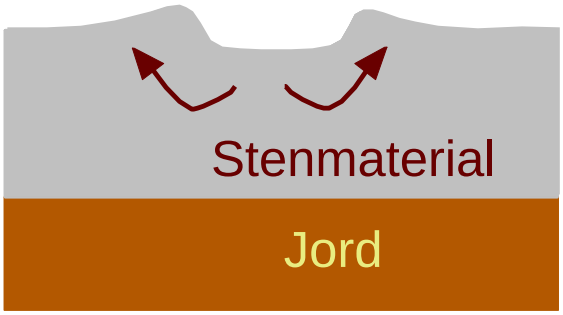
Spårbildning av denna visar sig som en begränsad fördjupning i originalytan (Figur 2.4). Materialet som påverkas är oftast nära hjulet. Av dessa anledningar är därför en spårbildning i begränsad omfattning vid detta tillstånd fördelaktig. God packning minimerar mängden av observerad spårbildning.

I regioner som påverkas av tjälnedträngning varje vinter, orsakar tjälen lyftning i kombination med fukt. De senaste resultaten har visat att tjällyftningen, fastän vanligtvis observerad i undergrunden, också kan finnas i de granulära lagren, speciellt där vatten tidigare har absorberats i en obunden överbyggnad. Denna lyftning leder till en uppluckring av de obundna lagren. Därför kan under våren, när det frusna stenmaterialet och undergrunden töar, packning åter bli möjlig som medför att spårbildning av tillstånd 0 utvecklas. De naturliga skillnaderna i undergrunden ger upphov till ojämna tjällyftningar längs överbyggnaden och, som en konsekvens, variationer i spårbildningar.

Brottdeformationer (diskuteras nedan som Tillstånd 1) kan associeras med detta tjällossningsfenomen eftersom det uppluckrade stenmaterialet blir signifikant svagare än i packat tillstånd. Detta kan leda till oacceptabelt stora spår efter ett antal år med tjällossning.

2.3 TILLSTÅND 1

I svagare granulära material, kan lokala brott nära hjulet inträffa. Detta ger upphov till lyftning direkt i anslutning till hjulbanan (Figur 2.6). Denna spårbildning är till mestadels en konsekvens av otillräcklig skjuvhållfasthet i stenmaterialet relativt nära överbyggnadens yta. Bevis från både fältförsök och teori har visat att de maximala skjuvrörelserna sker på ett djup av omkring 1/3-del av hjulbredden (eller bredden av hjulparet där parmonterade däck används) – d v s på ett djup av ≈15-20 cm. På överbyggnader med signifikanta trafik-vandringar (breda körbanor, vägar utan markeringar, vägar utan befintliga spår) kan djupet vara litet större. På överbyggnader som har ett betydande asfaltlager är det kritiska djupet troligen något djupare från vägytan än en tredjedel av hjulbredden beroende på effekterna av att asfaltbeläggningen ändrar spänningsfördelningen i överbyggnaden.



Figur 2.6. Tillstånd 1 Spårbildning från brottdeformation i de granulära lagren hos överbyggnaden, nära ytan.

Figur 2.7. Skotsk skogsbilväg som uppvisar Tillstånd 1 spårbildning. (foto: med tillstånd av W Tyrrell)

Figur 2.8. Närbild av spår från en överbyggnad på en Skotsk skogsbilväg. (foto: med tillstånd av W Tyrrell)

Figurerna 2.7 och 2.8 visar en skotsk överbyggnad som uppvisar denna typ av skada. Notera den karakteristiska höjningen hos vägrenen vilken är påtaglig i bilden. Invändigt kan en sådan överbyggnad se ut som i Figur 2.9. Här är den lokala skjuvning som orsakat ‘valkbildningen’ fullt synlig. Det finns ingen påtaglig deformation i

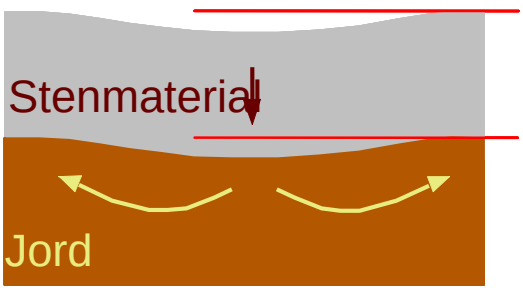
undergrunden (de gula linjerna har sprayats på för att förtydliga lagren i bilden).

I detta tillstånd borde det, i idealfallet, inte bli några deformationer på undergrundens yta. Denna typ av spårbildning observeras frekvent i det Nordiska området som påverkas av årstidsbunden tjäle. Där är det i många fall troligt, att det huvudsakliga bidraget till den ackumulerade spårbildningen när ett stenmaterial av otillräcklig kvalitet för en kort stund förlorar sin lastbärande förmåga, är när materialet töar på våren och innehåller ett vattenöverskott. För resterande delen av året är det troligt att samma material, ompackat (se Tillstånd 1 ovan) och dränerat, har helt adekvata prestanda.

Figur 2.9. Överbyggnaden från fig 2.7 & 2.8 visade i tvärsektion. (Lagergränserna utmärkta med sprayfärg) (foto: med tillstånd av W Tyrrell)

De enda botemedlen mot sådan spårbildning är att förbättra stenmaterialet eller genom att reducera däckens påverkande tryck. Behandling av undergrunden kommer inte att ha någon effekt på denna typ av spårbildning. Det granulära materialet kan förbättras genom packning (inom rimliga gränser), genom stabilisering, genom användning av geosyntetiska förstärkningar eller genom att förbättra tillstånden som styr detta beteende – t ex genom dränering. Den tidigare rapporten, av vilket detta dokument är ett praktiskt sammandrag, innehåller fler detaljer [se Dawson & Kolisoja, 2005]. Om inte något av dessa tillvägagångssätt är effektivt, måste kanske stenmaterialet bytas ut. Alternativt, kan lufttrycket i däcken sänkas.

2.4 TILLSTÅND 2



Figur 2.10. Tillstånd 2 spårbildning – Skjuvdeformation i undergrunden där det obundna lagret följer undergrunden.

Figur 2.11. Ett avancerat fall av Tillstånd 2 spårbildning funnen i en utgrävd överbyggnad med en mycket svag undergrund. (foto: tillstånd av W Tyrrell)

När kvaliteten på stenmaterialet är bättre, kan överbyggnaden som en helhet få ett spår. Figur 2.10 visar en idealiserad bild av en deformerad undergrund, medan det granulära lagret deformeras som helhet på den (d v s utan någon förtunning). Mönstret hos ytdeflektionen är ett brett spår med en lätt upphöjning på avstånd från hjulet (eftersom det är en förflyttning av jorden som orsakar den). Ett extremt exempel av denna typ av defekt kan ses i figur 2.11. I detta fall har vägytans spår upprepade gånger blivit ifyllda, men spårbildningen på undergrundens yta har fortsatt och de obundna överbyggnadslagren har följt med. Undergrunden måste ha tryckts uppåt mellan hjulspåren och på yttersidan – ett mycket komplicerat exempel på roterande skjuvningar i undergrunden, vilket visas med pilar i figur 2.10.

I regioner som påverkas av djup årstidsbunden tjäle, kan problemet med tjällossning, som diskuterades ovan, leda till Tillstånd 2 spårbildning av undergrunden. I sådana situationer kan stor Tillstånd 2 spårbildning bara ses under våren när undergrunden är uppmjukad under ett par veckor genom det vattenöverskott som följer av töandet.

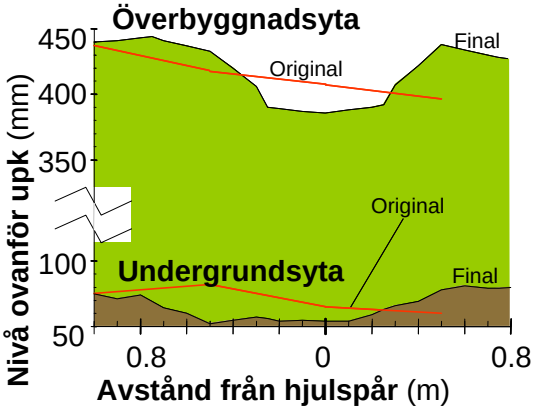
Lösningen på denna typ av spårbildning är att förbättra eller förtjocka lagret med stenmaterial så att hjullasterna sprids bättre. Då kommer påfrestningen på undergrunden att bli mindre. En annan metod är att begränsa höga axellaster (inte däckstrycken) eftersom de ger de största effekterna på trycket på djupet.

2.5 TILLSTÅND 3

Partikelskador (t ex vittring eller nötning, kanske av dubbade däck) kan vara en bidragande orsak till samma ytskador som ses i Tillstånd 0 spårbildning (Figur 2.4) fastän mekanismen naturligtvis är mycket annorlunda. Om ett överskott av finmaterial bildas kan porutrymmen i stenmaterialet täppas till och sedan kommer stenmaterialet att bli mer känsligt för fukt.

2.6 KOMBINERADE TILLSTÅND

I praktiken är spårbildning en kombination av mekanismerna som nämnts ovan. Data från några provvägar i Skottland visade, från uppgrävningar, både förtunning av granulära lager (Tillstånd 1) och nedtryckning av undergrunden



Figur 2.12. Spår observerade vid urgrävning

(Tillstånd 2) – se Figur 2.12. Den lokala lyftningen (eller ’valken’) nära hjulspåret är klart synlig liksom en reducerad deformation på undergrunden jämfört med ytans nertryckning.

Det förväntas, och i viss utsträckning observeras, att Tillstånd 1 kommer att vara mer påtagligt vid kanaliserad trafikering (t ex som är fallet med många skogsvägar) där spårbyte inte är möjligt för att pressa tillbaka och allmänt packa stenmaterial (Tillstånd 0). Omvänt förväntas Tillstånd 2 vara mer påtagligt under vandrande trafik medan Tillstånd 0 är mer troligt att ge ett bidrag i det här fallet eftersom den ”knådande aktionen” hos ett vandrande däck är mer effektiv för att uppnå packning.

3 Obundna överbyggnadsslager

De strukturella lagren hos de överbyggnader som avhandlas i denna rapport är nästan uteslutande utförda med packade, obundna material. De har sitt ursprung antingen från sedimentära eller glaciala sand- och grustäkter eller från bergtäkter (Figurerna 3.1 – 3.4) och är sedan helt eller delvis krossade. Oavsett ursprung innebär avstånden till etablerade kommersiella täkter ofta att det blir ett tryck på att använda lokala materialtäkter för att reducera kostnaderna. Under sådana omständigheter kan material som används vara mindre idealiska.

Figur 3.1. Glacialt grus uttaget från en grusås i Sverige.

Figur 3.2. Täkt med metamorft berg (gråvacka-lerskiffer) vid Balunton, Skottland. (foto: med tillstånd av W Tyrrell).

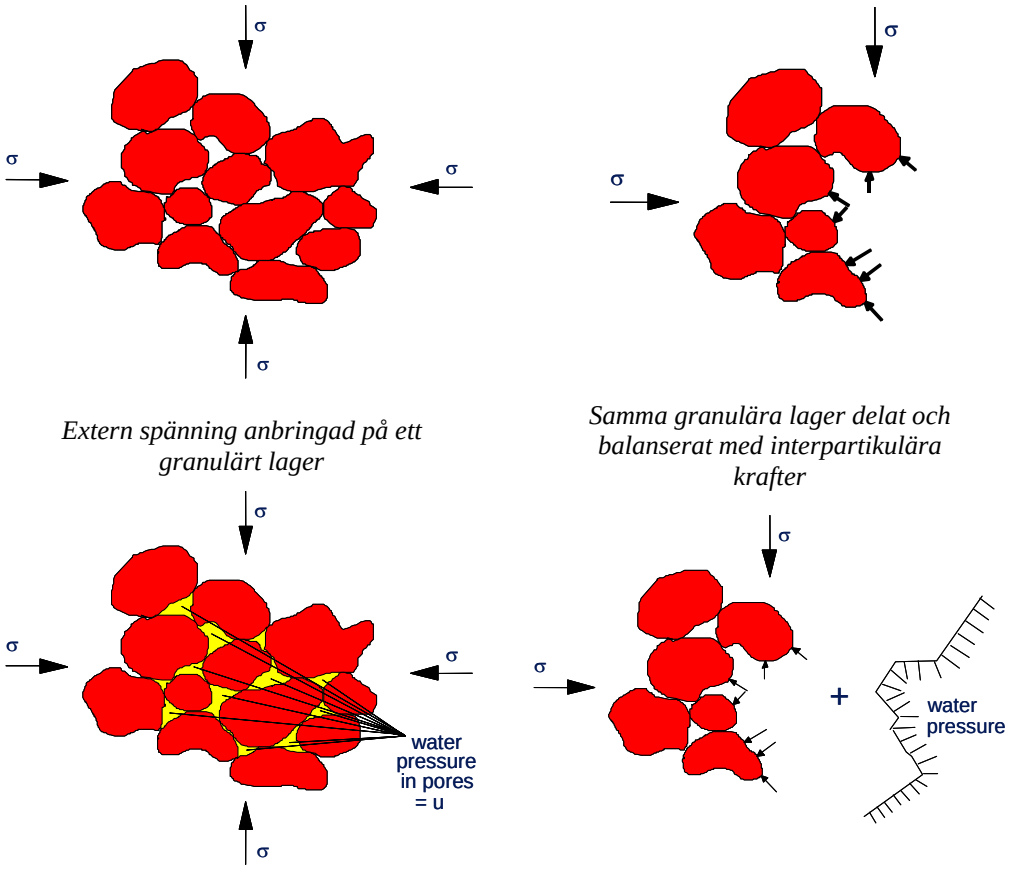
Figur 3.3. Sedimentärt grus efter partiell krossning

Figur 3.4. Partiellt krossat sedimentärt grus i en obunden överbyggnad.

Genom att stenmaterial är ett geotekniskt material lider det av samma begränsningar som andra jordarter – i synnerhet blir det försvagat av överskottsvatten i hålrummen mellan stenpartiklarna. Under trafikbelastning blir vattnet sammanpressat och detta portryck mellan stenmaterialpartiklarna går i motsatt riktning mot den spänning, som trycker samman stenarna (Figur 3.5).

Därmed blir inte spänningen mellan partiklarna så stor som den skulle kunna vara. I sin tur betyder det att den inter-partikulära friktionen är mindre är önskvärd innebärande att den inre friktionen och motståndet mot deformationer har reducerats från lämpliga nivåer. Vattnet i porerna kan praktiskt taget göra ett obundet material av bra kvalitet till ett dåligt.

Ett ytterligare bekymmer kommer från storleken av partiklarna, vilket som materialet består av. Om stenarna är stora tenderar porerna emellan dessa också att vara stora. Vatten avvattnas lätt i detta fall och, följaktligen, kommer motståndet mot spårbildning, även i moderat våta tillstånd, att vara ganska bra. Å andra sidan tenderar finkorniga material att hålla vatten (till och med suger in vatten i porerna på grund av kapillära effekter) och får då ofta dåliga prestanda vid våt väderlek, och särskilt under töperioden efter säsongsbunden tjäle.



Extern spänning anbringad på ett granulärt lager

Samma granulära lager delat och balanserat med interpartikulära krafter

Extern spänning anbringad på ett granulärt lager med vatten i porerna

Samma granulära lager delat och balanserat med internt vattentryck och mindre interpartikulära krafter

Figur 3.5. Betydelsen av lågt porvattentryck för att säkerställa bra interpartikulära spänningar och därmed, bra friktionsegenskaper.

4 Klimateffekter

I norra periferins område har klimatet en signifikant effekt ur de flesta aspekter på konstruktionen. Vägöverbyggnader är inga undantag från denna regel. Det finns i huvudsak två effekter att beakta:

4.1 REGNVÄDER

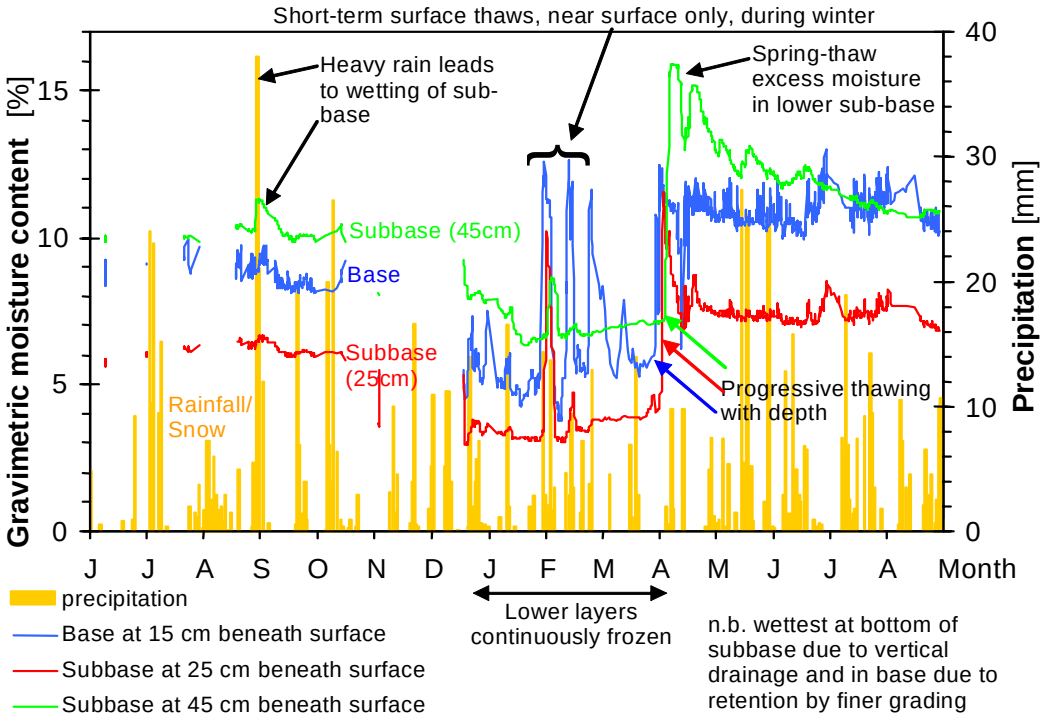
Regn tenderar att gå in i överbyggnaden. I finkorniga stenmaterial hjälper den kapillära sugeffekten till att dra in vatten i konstruktionen. Effekten kan vara lite mindre uttalad när ytan är förseglad med ett bituminöst lager, men dessa lager spricker lätt och släpper in vatten. Det är omöjligt att undvika detta problem helt och hållet, men bra tvärfall (>4 %) och en förseglad yta (eller en oförseglad yta med ett packat fint stenmaterial för att ge en partiell försegling) kommer alla att medverka till att begränsa inflödet av regnvatten. Att sköta dräneringen är också viktigt. De flesta överbyggnader är byggda med någon typ av dränering, kanske i form av ett sidodike. Begränsade budgetar betyder dock att underhåll kanske inte blir utfört, och med tiden kommer dräneringen inte att fungera som det var avsett. Det är, nästan helt säkert, en ”osynlig, glömd” aspekt på denna brist i pågående tillsyn. Det finns en separat Roadex II rapport [Berntsen et al, 2005] som handlar om dränering som diskuterar dessa aspekter mycket mera i detalj. Det finns också ett praktiskt sammandrag i samma serie som detta sammandrag [Aho & Saarenketo, 2006].

4.2 TJÄLE

Kallt väder kommer att orsaka att vattnet i överbyggnaden fryser. När tjälfronten rör sig neråt i överbyggnaden på grund av en lång, kall period, etableras sugning som suger vatten mot köldfronten. På så sätt samlas överskottsvatten i överbyggnaden som is. När töandet börjar på våren, tenderar vattnet att fastna i stenmaterialets porer och kan inte lämna dessa då överbyggnadens dräneringssystem förblir fruset. Återigen är ett möjligt botemedel ett grovt stenmaterial i vilket sugning inte utvecklas så lätt. I synnerhet kan ett grovt stenmateriallager på botten av de granulära lagren agera som en kapillärbrytare, som skär av tillflödet av vatten till tjälfronten som finns högre upp i dessa obundna lager.

I båda fallen är problemet överskottsvatten som orsakar att materialets inre friktion minskar (figur 3.5) och, följaktligen, att spårbildning uppstår snabbare och/eller mer svårartat.

Figur 4.1 visar temperatur, nederbörd och internt tillgänglig fukt i en överbyggnadskonstruktion. Effekten av frysning och den höga fuktigheten omedelbart efter en töperiod är uppenbar. Effekten av kraftiga regnskurar kan också ses i några temporära ökningar av överbyggnadens fuktighet. Den högre andelen finmaterial i förstärkningslagret kan också ses leda till högre fuktinnehåll rakt igenom och en större 'motsträvighet' att dränera efter en hög fukthalt uppstår.



Figur 4.1. Miljödata från en överbyggnadssektion över en period av 14 månader som visar fritt gravimetriskt fuktinnehåll, som indikerats av TDR sensorer, på tre djup, tillsammans med nederbörden. [COURAGE, 1999]

Figur 4.1 indikerar att, till och med på vintern, finns det litet ofruset vatten i överbyggnaden, så mycket som 5 %. Denna figur är nästan helt säkert inkorrekt och är en konsekvens av begränsningar i instrumenteringen och tolkningsteknikerna. I själva verket står ofruset porvatten antagligen för mindre än 0,5 % av jordvolymen.

5 Laboratorie- och analytisk studie

Målet med studien är att ge råd till väghållare och aktörer som arbetar med underhåll och tillämpningar av materialurval som kan ge som upphov till dåligt fungerande överbyggnader och som kan ge upphov till bättre prestanda. Siktet är inställt på ett enkelt sätt att utvärdera sannolikheten för omfattande permanent deformation så att väghållarna skall få ett tillvägagångssätt för att bedöma befintliga överbyggnader, för förstärkningsdesign, för dimensionering av allmänna lågtrafikerade och privata skogsvägsöverbyggnader och ett medel för att bestämma lämpliga belastningsgränser när överbyggnader är i dåligt skick.

För att uppnå detta bestämdes att tillgängliga data från ett urval av stenmaterial och många tidigare projekt skulle användas, och att komplettera detta med specifik provning av två stenmaterial som hade preparerats med olika kornstorlekar och fuktighetstillstånd. Resultatet användes för att räkna ut spänningstillstånden i överbyggnaden under typisk lastbilstrafik och detta gjorde det möjligt att uppskatta sannolikheten för spårbildning.

5.1 METODER ANVÄNDA I STUDIEN

Den huvudsakliga metoden använd i studien inkluderade:

- provning av stenmaterial för att finna deras respons på upprepad belastning,
- användning av de erhållna resultaten för att beräkna spänningarna i överbyggnaden byggd av dessa stenmaterial,
- härledning av de delar av överbyggnaden som skulle vara under ett tryck som sannolikt skulle orsaka plastiska (ej återgående) deformationer,
- beräkning av den andel av överbyggnaden som skulle deformeras under dessa påfrestningar, och därmed ge upphov till spårbildning,
- relatera resultaten från enkla bedömningsmetoder till resultaten från de provningar som utförts för att bedöma stenmaterialen i projektet. Detta användes som ett hjälpmedel för att bestämma spårbildningspotentialen hos vägöverbyggnaden eller i materialet i undergrunden utan att behöva tillgripa avancerade laboratorietester,
- forma generella slutsatser och råd från studien, speciellt formulering av en design- och bedömningsprocedur.

Det finns inte tillräckligt utrymme i den här rapporten för att presentera alla detaljerna i detta arbete. Dessutom skulle inkluderandet av denna information

sannolikt motverka syftet att ge en klar överblick. Av den anledningen är få detaljer medtagna i denna rapport och läsare hänvisas till upphovsrapporten [Dawson & Kolisoja, 2005] från vilken föreliggande rapport är ett praktiskt sammandrag om de önskar få veta fler detaljer om provningar och analyser.

5.2 MATERIAL

Två stenmaterial provades specifikt för syftet med detta projekt. Ett var ett metamorft stenmaterial av moderat kvalitet från Skottland och det andra var ett krossat grusmaterial av högre kvalitet från Norge. Dessutom har författarna tillfört data från ett flertal olika stenmaterial, från ett flertal länder, inklusive de som användes på platsen för klimatstationen för överbyggnadstillstånd (‘Percostation’) i norra Finland. Tillsammans täcker dessa data ett stort urval av geologiska ursprung, kornstorlek, stenkvalitet, form, etc. Majoriteten av materialen från vilka slutsatserna för denna rapport dragits kommer, har ett krossat bergursprung, men några stenmaterial av sand- och grustyp har också studerats. Stenmaterialen provades på en skala av fuktinnehåll och partikelstorlek medan några testades efter frysning och upptining.

5.3 PROVNINGSMETODER

Den mest vanliga provningsmetoden som användes var det triaxialtest med pulserande last som mäter utvecklingen av permanenta deformationer. Detta är en laboratorieapparat kapabel att simulera effekten av upprepad trafikbelastning av många tusen fordon på ett stenmaterial. Den kan åstadkomma denna simulering på bara några timmar. Stenmaterialet kan hållas under tryck- och fukttillstånd liknande de som uppkommer i vägen. Provningar utfördes på de olika stenmaterialen vid olika fukttillstånd, några efter frysning och upptining, och vid olika spänningsnivåer – varje lastpuls applicerades pulserande många gånger. Flera andra typer av provningar utfördes inkluderande brottstyrke- och modulprovningar (styvhet), siktningsprovningar, packningsstudier och dielektriska bedömningar (med Tubsugningsutrustning).

5.4 PROVNINGSRESULTAT

Från dessa provningar framgick att det dielektriska värdet kan ge en indirekt indikation på den mekaniska prestandan. Med ledning av studien föreslås att de dielektriska värdena bestäms (Saarenketo, et al. 1998) för att utesluta de sämsta obundna stenmaterialen från att användas vid vägbyggnad. Värden > 9 är sannolikt associerade med en ganska dålig resistens mot permanenta deformationer. Detta kan sannolikt leda till oacceptabla prestanda i områden med frys-tö cykler på vintern. Ett värde >16 är definitivt förenat med oacceptabelt dålig resistens mot permanenta deformationer i alla klimattillstånd.

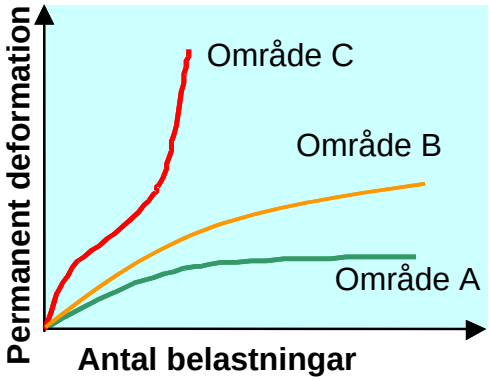
Styvhetsbeteende

Provningen visade en mycket klar förändring i det mekaniska beteendet vid tillskott av fina artiklar och extra fukt. Det konstaterades att stenmaterial med mer fina partiklar nådde ett mycket högre vatteninnehåll genom att de finare porerna mellan partiklarna kunde hålla mer vatten än som är möjligt i grövre blandningar.

När mer vatten tillsätts i provet, reduceras materialets styvhet. I praktiken betyder detta att finkornigare stenmaterial tenderar att vara våtare stenmaterial och att lager i överbyggnaden bestående av ett sådant stenmaterial inte sprider lasten så bra. I sin tur betyder detta att trycket på undergrunden kommer att bli större. Högre tryck på undergrunden kommer att leda till ökad spårbildning i undergrunden (Tillstånd 2 defekt som beskrivs i kapitel 2).

Plastiskt beteende

Under många cykler av upprepad belastning, som fallet är för en överbyggnad under trafikering, ackumuleras den plastiska deformationen stegvist växande. Figur 5.1 visar de typer av respons som registrerats. Område A-beteende är det önskvärda eftersom deformationen (visad i överbyggnaden som spårbildning) sker initialt men slutligen stannar av. Storleken av deformationen (spårbildningen) till vilken Område A-typ beteende slutligen stabiliserar sig är mycket beroende på mängden vatten i stenmaterialet.



Figur 5.1. Indikativt permanent deformationsbeteende

Analyser och erfarenhet av obundna överbyggnader visar att få, om några, stenmaterial kan ge Område A-beteende direkt under trafikering. Istället, är Område B-beteende troligt för en välfungerande oförseglad eller tunt förseglad överbyggnad. Område A-beteende kan uppnås under en tjockare asfaltbeläggning (t ex > 80 mm). Ingenjörens syfte med en oförseglad eller tunt förseglad beläggning bör därför vara, att uppnå Område B typ beteende, inte Område C vilken leder till snabb kollaps hos överbyggnaden. Dessutom behöver ingenjören behålla lutningen på Område B-linjen så flack som möjligt, och därigenom förlänga överbyggnadens livslängd.

Det konstaterades att proximiteten (närheten) till statiskt brott är det mycket viktig vid uppkomsten av plastisk deformation. När ett visst tryck upprepade gånger applicerades på ett prov med stenmaterial så drabbades provet av viss plastisk deformation. När ett prov med samma tillstånd av fuktighet och gradering utsattes för en högre pulserande pålagd trycknivå, så blev den plastiska deformationsnivån högre. Hastigheten som den plastiska deformationen ackumulerades med befanns

relatera ganska bra med närheten till påfört trycktillstånd till det trycktillstånd som behövs för att orsaka brott under en enstaka last.

Sammanfattningsvis kan det konstateras från de båda materialen som studerats i detalj i den här undersökningen, och från inhämtandet av tillgänglig information från andra källor, att mängden plastisk deformation i ett stenmaterial ökar:

- När stenmaterialet bli blötare,
- När aggregatet har frusit och sedan tinats upp.
- När det pålagda trycket kommer närmare det statiska brottryckstillståndet

I designsyfte, med utgångspunkt från de olika upptäckterna som nämnts ovan, skulle det vara klokt att försäkra sig om att det tryck som uppstår i någon del av stenmaterialet i överbyggnaden inte överskrider en viss andel av brottrycket. Tidigare forskare har föreslagit att det pålagda “deviator-” (eller skjuv-) trycket begränsas till 70 % av det som behövs för att inducera ett statiskt brott under, i övrigt, samma tillstånd. De data som kommit fram i denna studie bekräftar att detta, tveklöst kan vara en förnuftig slutsats. Materialen som provats i detta projekt indikerar dock att denna gräns bör sättas till endast 50-55 % när stenmaterialet är mycket vått och finmaterial förhindrar snabb dränering eller under tjällossningstillstånd, om mängden spårbildning skall hållas på en låg nivå. Resultaten från Tubsugningstestet är också användbara för att kunna avgöra om aggregatet kan antas vara ’vått/fint’ eller ’normalt’ (t ex skall 50-55 % tryckgräns gälla eller är det 70 % gräns). Resultaten förespråkar att ett dielektriskt värde på < 9 (ofta associerat med en hålrumsförhållande på > 0,33) definierar denna gräns.

5.5 ÖVERBYGGNADSANALYS

Resilientdata (modulvärden) som erhölls från testerna på laboratoriet användes i en datormodell för att prediktera spänningsnivåer i olika typer och tjocklekar i överbyggnader. Analyserna utfördes med varierande tjocklek på asfalten från nästan noll (1mm) till 200mm, men bara resultaten från de tunnare beläggningarna av asfalt är av verklig användning i detta projekt.

5.6 RESULTAT FRÅN ÖVERBYGGNADSANALYSEN

Från datoranalysen av överbyggnaderna är det möjligt att beräkna spänningarna inom dem. Beräkningarna är inte särskilt enkla eftersom stenmaterialet har ett modulvärde (styvhet) som är spänningsberoende och spänningen i sin tur beror, delvis, på modulen, så en iterativ analys behövs. När ett balanserat set av spänningar och moduler har hittats, kan den troliga hastigheten på uppbyggnaden av de plastiska deformationerna uppskattas i vilken punkt som helst hos stenmaterialet i överbyggnaden genom användning av data från pulserande lastprovning i triaxial-apparat.

Observationer av spårbildning i stenmateriallager (Tillstånd 1)

Beräkningarna visade att ett asfaltlager behöver vara större än en tröskeltjocklek (kanske >4 cm) för att uppnå en effektiv lastspridning och signifikant reducera spänningen i de lägre liggande obundna förstärkningslagren. I annat fall agerar det som en försegling men den är inte effektiv när det gäller att skydda stenmaterialet från höga tryck på grund av trafik.

Som förklarades i avsnitt 5.4 är närheten till det statiska brottrycket nära relaterat till den hastighet med vilken spårbildning utvecklas. Analyserna visade att stenmaterialet är närmast ett statiskt brott på ett djup av 10 eller 15 cm ner i överbyggnaden (respektive runt 9 och 15 cm ner i stenmaterialet). Så det är på detta djup som designern behöver sänka spänningsnivån, bort från brottlinjen, för att kunna reducera uppkomsten av spårbildning i de obundna lagren. Detta kan kanske uppnås genom att flytta brottlinjen (t ex genom att förbättra det obundna materialet genom, exempelvis, dränering eller stabilisering) eller genom att lägga på ett tjockt asfaltlager för att sänka stenmaterialets spänningstillstånd till en lägre nivå.

Som ett exempel användes detta synsätt på ett stenmaterial från Skottland. När det var i ett ganska torrt tillstånd med en moderat andel av fina partiklar, låg den maximala spänningsnivån mellan uppskattningsvis 65 % (2 cm asfalt) och 80 % (1 cm asfalt) av det som behövdes för att skapa ett statiskt brott. Platsobservationer för beteendet hos detta material avslöjar att det har tendenser att få spårbildning under trafik, särskilt vid våt väderlek. Med ledning av fälterfarenheten skulle ett kriterium på 75-80 % av den statiska brottsstyrkan kunna vara lämplig för detta material för att förhindra spårbildning. Detta ligger i linje med publicerade förhållandevärden från andra källor.

Observationer av spårbildning i undergrunden (Tillstånd 2)

När det obundna lagret görs tjockare, blir följden att trycket på undergrunden reduceras. Analyser utfördes med varierande tjocklek hos det obundna lagret och det uppkomna trycket på ovansidan av undergrunden beräknades för många av de olika stenmaterial som testades i laboratoriet. Resultaten visar, mycket tydligt, att reduktion av fukten och av andelen fina partiklar leder till stenmaterial som kan sprida trafiklasten mycket bättre, vilket minskar trycket på undergrunden. Beräkningarna talar också om för oss att tjockleken på de obundna lagren måste ökas med mellan 14 och 73 % av den tjocklek som behövs för ett ganska torrt, öppengraderat stenmaterial. En ökning av tjockleken med mellan 85 och 92 % beräknades vara nödvändig för ett stenmaterial som hade blivit fruset och sedan tinat. Stenmaterial med en högre andel finmaterial gav liknande krav på tjocklek som de som angavs för de våta stenmaterialen. Därför kan renare och torrare material användas i tunnare lager för att uppnå samma prestanda som för Tillstånd 2 (undergrund) spårbildning. Ibland kunde tjockleken nästan halveras och ändå uppnåddes samma spårbildningsprestanda.

6 Ett förenklat angreppssätt för implementering

Byggt på resultaten från laboratorieprovningarna, datoranalyserna, publicerade data och erfarenhet hos studieteamet, har en procedur utvecklats för att implementera resultaten. Således har en enkel procedur att använda utvecklats som försöker sammanföra den fundamentala förståelsen för materials beteende, spårutvecklingstillstånd och analyser av spänning på ett sätt som är praktiskt för ingenjörer i den Norra Periferin. Det inte särskilt troligt att sådana ingenjörer kommer att ha tid, eller budget, eller expertkunnande, eller tillgång till utrustning för att genomföra en sådan studie som genomfördes i detta projekt. Så den föreslagna proceduren relaterar till det angreppssätt som redovisades i Kapitel 5 med förenklade tekniker.

Figur 6.1 Tubsugningsmätaren

Känsligheten för fuktighet bör bestämmas genom att använda Tubsugningstestet (se Fig. 6.1) (fastän hålrumsförhållandet kan användas som en första uppskattning av dräneringsförmågan). Ett prov av stenmaterialet packas, blöts ner och får sedan torka. Om det dielektriska värdet från Tubsugningstestet är högt efter denna behandling, då är dålig prestanda att vänta. Graden av prestanda (bra eller dålig) kan bestämmas på följande sätt.

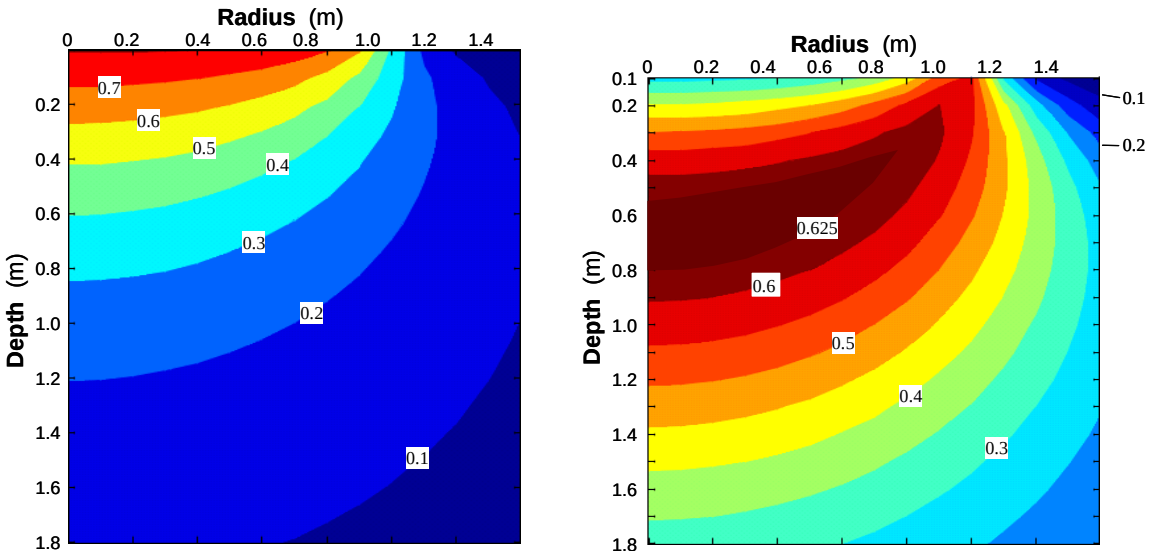


Figure 6.2. Spänningar (uttryckt som en fraktion av däckstrycket) under en belastad yta med 1m radie. Vänster = genomsnittlig spänning. Höger = deviatorspänning

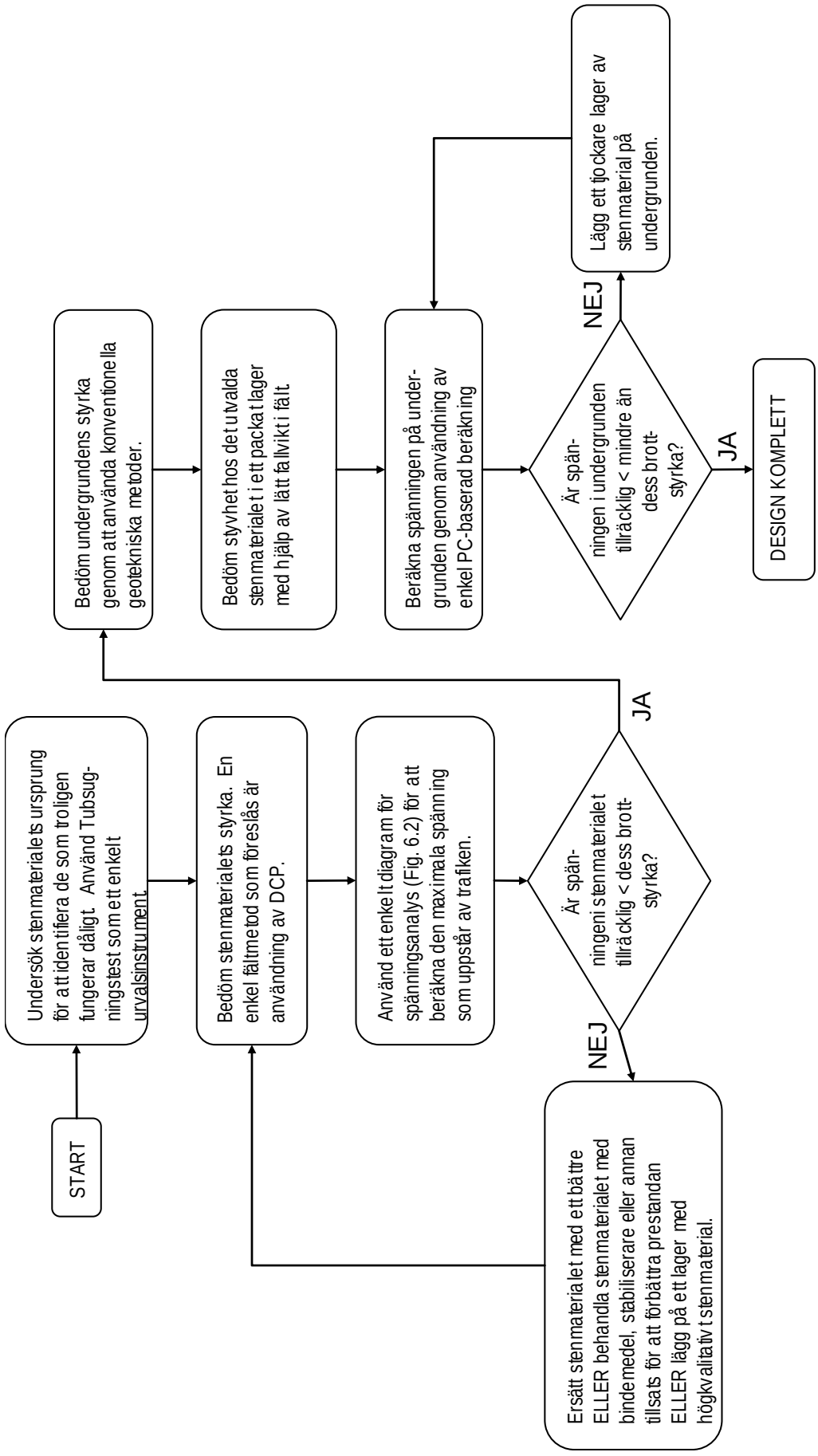
För att kunna veta vad spänningarna är i stenmateriallagren hos överbyggnaden, nära hjulet, tillhandahålls diagram med spänningar, som troligen uppstår i överbyggnaden, för att ersätta Finita Elementanalyser (Fig 6.2). Användningen av dessa diagram beskrivs mer i detalj i ursprungsrapporten från vilken detta dokument är ett praktiskt sammandrag [Dawson & Kolisoja, 2005]. Boussinesq's spänningsanalys är basen för diagrammen eftersom den analysen inte kräver att modulvärden (styvhet) för stenmaterialet är kända. Denna metod fungerar inte om det finns ett asfaltlager eftersom Boussinesq's synsätt förutsätter att det bara finns ett lager i överbyggnaden, men den approximerar den oförseglade överbyggnadens spänningar, vilket är ett mer kritiskt fall.

Figur 6.3 Dynamisk konpenetrometer (DCP))

För att bedöma styrkan hos stenmaterialet rekommenderas Dynamisk Konpenetrometer (DCP) (se Fig 6.3) som en enkel fältmetod som ger en snabb (men inte så exakt) mätning. Spänningen kan då jämföras med den tillgängliga styrkan och stenmaterialets lämplighet för användning i överbyggnaden kan avgöras.

Dessa steg används för bedömning av stenmaterialet och, om nödvändigt, för planering av förbättringar eller spänningsreduktion (t ex genom asfaltlager). För undergrunden kan trycket som appliceras beräknas genom användning av ett enkelt, allmänt tillgängligt program för PC som utför spänningsanalyser. Styrkan hos undergrunden kan mätas genom (t ex) vingborr för lerjordar. En jämförelse av de två värdena kan sedan användas för att öka på stenmateriallagret tills trycket på undergrunden är reducerat till en tolerabel nivå.

Hela proceduren att använda de metoder som just introducerats, summeras i ett flödesschema enligt Figur 6.4.



Figur 6.4 Summerande flödesplan som visar design-/bedömningsprocedur

7 Rehabilitering av överbyggnad

Många ingenjörer kommer att vara mer sysselsatta med underhåll och rehabilitering av sina existerande överbyggnader än nybyggnadsdesign. I princip, kan samma angreppssätt användas – bedömning av beläggningar i fält genom DCP (stenmaterial) och provning med vingborr (ler- och siltundergrunder) och prediktering av påföljande prestanda på samma sätt som tidigare. Om designens tjocklek är för tunn och spårbildning indikeras i undergrunden, kommer överläggning för att producera en nödvändig tjocklek att indikeras. Om kvaliteten hos stenmaterialet är för låg kan extra tjocklek av stenmaterialet placeras på ytan och metoden som just introducerats kan användas för att kolla att spänningen, som uppstår i det gamla, begravda stenmaterialet är acceptabel.

Tubsugningsprovning av stenmaterialet kan också utföras för att kontrollera fuktkänsligheten.

I allmänhet kommer det att vara nödvändigt för ingenjörer att försäkra sig om att ett representativt material är provtaget från vägen. Detta kommer inte nödvändigtvis att vara en enkel uppgift då separation av obundna överbyggnadsmaterial på grund av trafikering och omprofilering ofta kommer att ge varierande graderingar tvärs överbyggnaden medan tjäle, pumpning och spårbildningsstörning alla kan orsaka ojämn fördelning av finmaterial i djupled av överbyggnaden.

8 Slutsats

Undersökningen, laboratorieprovning, datoranalys och tolkning som presenteras här har som syfte att tillhandahålla en förenklad metod för överbyggnadsdesign till lågtrafikerade vägöverbyggnader i Norra Periferin som utgår från en sund teoretisk förståelse. Empiriska synsätt har stort värde, men hjälper inte till med att skapa förståelse för nyckelkoncepten, påverkan och responser. Därför, genom att kombinera den bästa teorin och empirin, försöker den ansats som beskrivs att ge ett praktiskt framsteg för den ingenjörsstab som ansvarar för lågtrafikerade vägar, som de som finns i norra Europa.

Det kvarstår fortfarande arbete att göra för att finjustera de parametervärden som förslagits här och i huvudrapporten för praktiskt bruk. Icke desto mindre är förhoppningen att de data som presenteras här kommer att ge uppmuntran till att bedöma material på de sätt som beskrivs och att matcha predikterade prestanda med verkliga prestanda. På så sätt bör långsiktiga fördelar uppstå om marginella material kan införlivas i vägbyggnad på huvudvägar med en större grad av säkerhet att de är på platser och under sådana laster och tillstånd som de kan tolerera utan att själva få signifikant spårbildning. På samma sätt bör fördelar på lång sikt uppkomma om dessa material kan användas på ett sätt som kommer att hjälpa till att förhindra spårbildning hos den underliggande undergrunden.