

Packning av obundet material i vägkonstruktioner

Fredrik Hellman

Förord

Detta projekt har finansierats av Trafikverket. Kontaktperson har varit Carl-Gösta Enocksson. Ett stort tack till Carl-Gösta Enocksson, Klas Hermelin (Trafikverket) och Håkan Carlsson (VTI) som har bidragit med korrekturläsning och kunskap. Även tack till Ingmar Nordfelt, Dynapac, Sten Petersson, Trafikverket, Bo Sävinger, NCC, och Gunilla Franzén, VTI, som haft värdefulla synpunkter på slutmanuset. Alla deltagare på workshopen tackas för deras deltagande och bidrag med kunskap.

Linköping mars 2011

Fredrik Hellman

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts 2011-01-18 av Carl-Gösta Enocksson, Trafikverket. Fredrik Hellman har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Projektledarens närmaste chef Gunilla Franzén, VTI, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2011-02-28.

Quality review

External peer review was performed on 18 January 2011 by Carl-Gösta Enocksson, the Swedish Transport Administration. Fredrik Hellman has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager Gunilla Franzén, VTI, examined and approved the report for publication on 28 February 2011.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary.....	7
1 Introduktion	9
2 Mätmetoder för packningskontroll i fält	10
2.1 Statisk plattbelastning	10
2.2 Yttäckande packningskontroll	11
2.3 Tung fallviktsdeflektometer	11
2.4 Lätt Fallvikt.....	12
2.5 Isotopmätare	13
2.6 Seismiska metoder	13
3 Packningsanvisningar för flexibla konstruktioner	15
4 Råd för genomförande av packning	20
5 Diskussion	22
5.1 Är dagens packningsanvisningar tillräckliga?	22
5.2 Var finns förbättringspotentialen när det gäller kontrollmetoder?	23
5.2.1 Kontrollmetoder i fält	23
5.2.2 Materialkontroll	24
5.3 Vilka är de största kunskapsbristerna?	24
5.3.1 Utbildning.....	24
5.3.2 Forskningsområden	25
5.4 Hur mycket kan vi vinna i livslängd/totalekonomi genom bättre packning?	25
6 Slutsatser	27
Referenser.....	28

Bilaga 1 Program för workshop

Packning av obundet material i vägkonstruktioner

av Fredrik Hellman
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Ett antal vägar har kort tid efter byggnation fått kvalitetsproblem. Problemen har bestått av tidigt uppkomna spår och sprickbildningar med ökade underhållskostnader som följd. Trots kraftiga konstruktioner utförda med krossat berg, har tillståndsutvecklingen varit ofördelaktig. Enligt Trafikverket gäller detta särskilt där undergrunden består av lösa vattenrika jordarter som silt och lera. Syftet med rapporten är att diskutera förbättringspotential och utveckling inom packningsområdet. För att samla information och erfarenheter har en workshop med branschrepresentanter med kunskap inom packningsområdet genomförts. Underlaget från workshopen och diskussioner med Trafikverket ligger till grund för innehållet i rapporten. I rapporten redovisas även generellt hur nuvarande packningsanvisningar är uppbyggda och hur de vanligaste metoderna som används för att mäta packningskvalité fungerar.

En övergripande slutsats som dras i rapporten är att det obundna grovkorniga material packas för lite när det byggs vägar i Sverige. Otillräcklig packning ger kvalitetsproblem och höga underhållskostnader.

För att råda bot på detta och förbättra packningskvalitén föreslås en ökning av antalet vältöverfarer i utförandeanvisningarna framförallt för bergunderbyggnader (bergbank och förstärkningslager). Vidare behöver kontroll och mätmetoder ses över i regelverket. Fallviktsmätningar (både tung och lätt) under byggnation kan ge viktig information då det är möjligt att göra fler mätpunkter än statisk plattbelastning. Även densitets- och fuktmätningar kan ge värdefull information.

Dokumentationen av genomförd packning behöver förbättras. Detta kan göras genom att utnyttja vältmätarna (YPK) på ett bättre sätt. YPK-värdet och antalet vältöverfarer kan presenteras överskådligt på en karta genom att använda tillgänglig GPS-data.

Det behövs ökad kunskap och medvetenhet på alla nivåer. En branschgemensam grundutbildning inom packningsområdet kan ge detta. Även återkommande workshops där experter inom branschen kan byta erfarenheter är bra i detta syfte.

Kunskapsnivån om materialegenskaper måste utvecklas då de styr hur bra packning kan utföras. Kunskapen är relativt låg idag på detta område och baseras främst på erfarenheter från naturmaterial (istidsavlagringar). Användandet av krossmaterial ställer andra krav då dessa material har andra egenskaper. Främst är det kornform, yttextur och fukthalt (vid packning) som skiljer, inverkan av dessa behöver undersökas mer noga.

Compaction of unbound materials in road constructions

by Fredrik Hellman

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

A number of roads have shortly after their construction had quality problems. The problems consisted of early rutting and cracking that result in increased maintenance costs. Despite heavy structures made of crushed rock, it has not been possible to avoid unfavourable quality development. According to the Swedish Transport Administration, these quality issues are particularly common if the subsoil consists of water-rich soils as silt and clay. The report aims to discuss the improvement and development of compaction of unbound materials in roads. In order to gather information and experience, a workshop was arranged with industry representatives with expertise in compaction. The basis for the contents in this report comes from the workshop and the discussions with the Swedish Transport Administration. The report also generally gives information about current Swedish compaction requirements and the most common methods to measure compaction quality.

An overall conclusion drawn in the report is that the unbound coarse-grained materials are packed too little when building roads in Sweden. This is apparently the reason for quality problems and high maintenance costs. To remedy this and improve the quality of compaction it is proposed to increase the number of passages of the compaction roller in the requirements of the Swedish Transport Administration. This is especially important for coarse unbound materials in the sub-base and subgrade.

Furthermore, the control and measuring methods need to be reviewed in the requirements. Falling weight deflectometer measurements (both heavy and light) during construction might provide important information about the compaction quality. These methods make it possible to do more measurements in several points than by the static plate load which is the standard method of today. Also density and moisture measurements can provide valuable information.

Documentation of the completed packaging needs to be improved. One suggestion is to use continuous compaction gauges in a better way. The compaction results and the number of roller passages can be presented clearly on a map by using available GPS technique.

There is a need for greater knowledge and awareness at all levels about compaction. An applied education in the field of compaction can provide this. Also periodic workshops where experts in the industry and Swedish Transport Administration can change experience are good for this purpose.

The level of knowledge about material properties must be developed as it controls how well the compaction can be performed. Knowledge is relatively low today in this area and it is mainly based on experiences from glacial deposits which have traditionally been used in Sweden for road constructions. Crushed aggregate materials have different material conditions as different particle shape, surface texture and moisture content. These properties need to be investigated in connection to compaction.

1 Introduktion

Ett antal vägar har kort tid efter byggnation fått kvalitetsproblem. Problemen har bestått av tidigt uppkomna spår och sprickbildningar med ökade underhållskostnader som följd. Trots kraftiga konstruktioner utförda med krossat berg, har tillståndsutvecklingen varit ofördelaktig. Enligt Trafikverket gäller detta särskilt där undergrunden består av lösa vattenrika jordarter som silt och lera.

En orsak till den ofördelaktiga tillståndsutvecklingen kan vara otillräckligt packningsarbete av de obundna lagren i överbyggnaden. Detta trots att Trafikverkets anvisningar har följts och resultatkontrollen blivit godkänd. Trafikverkets regelverk är ursprungligen framtaget med hjälp av erfarenheter från användning av naturmaterial. Idag används i huvudsak krossat berg som har andra packningsegenskaper beroende på t.ex. kornform och yttextur. Det är därför möjligt att Trafikverkets anvisningar (AMA och VVTBT) för packning behöver ses över för att anpassas till krossmaterial på ett bättre sätt. Det är också möjligt att dagens trafik ställer högre krav på kvalitén på vägkonstruktionerna.

Syftet med rapporten är att diskutera förbättringspotential och utveckling inom packningsområdet. För att samla information och erfarenheter har en workshop med branschrepresentanter med kunskap inom packningsområdet genomförts. Program och deltagarförteckning redovisas i bilaga 1. Underlaget från workshopen och diskussioner med Trafikverket ligger till grund för innehållet i rapporten. I rapporten redovisas även generellt hur nuvarande packningsanvisningar är uppbyggda och hur de vanligaste metoderna som används för att mäta packningskvalité fungerar.

Rapporten behandlar områdena:

- Lämpliga mätmetoder av packningsresultatet som har relevans för vägkonstruktionens prestanda
- Råd för genomförande av packningen av obundna vägmateriäl
- Diskussion om relevanta kravnivåer för packningsförfarande och kontroll.

2 Mätmetoder för packningskontroll i fält

De vanligaste metoderna som används idag för resultatkontroll av packningskvalité i vägar är, (1) statisk plattbelastning (VVMB, 1993) och (2) yttäckande packningskontroll (YPK). Andra metoder är fallviktsdeflektometer, lätt fallviktsapparat, Troxler (densitetsmätare) och seismiska metoder.

2.1 Statisk plattbelastning

Statisk plattbelastning (figur 1) bestämmer styvheten i materialet vilket ger ett indirekt mått på hur bra underliggande lager är packade. Metoden beskrivs i VVMB, 1993. En platta belastas med en kraft. Sättningsens storlek mäts, både den elastiska och plastiska deformationen bestäms. Två belastningscykler genomförs och belastningsmodulerna E_{v1} och E_{v2} beräknas. E_{v2} används som ett indirekt mått på bärighet och kvoten E_{v2}/E_{v1} ger en indikation på hur bra packat materialet är. De uppmätta E_{v2} värdena och E_{v2}/E_{v1} kvoterna ska klara kravnivåerna enligt VVTBT, 2009 (se tabell 3). Metoden har använts under många år och är idag den referensmetodik som andra metoder jämförs mot.

Metoden är enkel att genomföra. En nackdel är att metoden är relativt långsam och bara ger punktvärden. Metoden kan vara känslig för att man genomför den korrekt. Plattan måste ha bra kontakt mot underlaget över hela ytan, annars kommer resultatet att ge för låga E-moduler. Även mothållet måste vara stabilt och får inte ge vika. Bakkant på en större lastmaskin eller liknande brukar fungera bra (figur 1).



Figur 1 Mätning med utrustning för statisk plattbelastning. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.

2.2 Yttäckande packningskontroll

Informationen nedan är hämtade från Dynapac (<http://www.dynapac.com/>), Geodynamic informationsblad (<http://www.geodynamik.com>) och Briaud och Jeongbok (2003). Med YPK mäter man kontinuerligt bärighetstillståndet i marken när välten kör fram över ytan. Metoden mäter momentana responsen (styvheten) i underlaget och kan inte skilja på elastiska och plastiska egenskaper. Ett dimensionslöst packningsmätarvärde registreras. Man kan kalibrera värdet mot E-modul t.ex. E_{v2} . Packningsmätarvärdet påverkas av underlagets vattenkvot och materialets täthet (packningsgrad).

YPK mätare finns redan installerade på de flesta vältar. Tillsammans med ett GPS-system ger metoden en mycket god bild av hur bra packningen utförts i ett område (figur 2). Packningsresultatet kan illustreras och dokumenteras med kartor som visar packningsmätarvärden för varje kvadratmeter välten kör. Dessa kartor ger också föraren av välten ett bra hjälpmedel att veta när packningsjobbet är tillräckligt bra utfört. Om värdet ökar för varje överfart indikerar detta att man kan fortsätta att packa och att packningsgraden då ökar. Använder man sig av Trafikverkets regelverk med de två ytorna med lägst packmätarvärde så blir de röda och övriga gränser genereras relaterat till gränsen för rött. Det finns fler sätt att använda dessa dokumentationssystem på t.ex. antal överfarter, vibrerande eller statiska, hur förändringen av packmätarvärdet sedan senaste passagen med samma körriktning

Användandet av YPK mätare, i kombination med inställning av vältens amplitud och frekvens, har god utvecklingspotential att förbättra packning av obundna material. Man utvecklar ständigt tekniken. Rekommendationer och regelverk för vältning och användning av YPK mätare bör följa denna utveckling.



Figur 2 Bilden visar packningsmätarinformation (Dynapacsystem) från en modern vält kopplat till GPS-data. GPS har använts för positionering, relaterat till vägens referenslinje (oftast centrumlinje). Röda områden är sämst packade, därefter blir det gult, grönt, blått och blir det riktigt styvt blir det dubbelhopp och markerat med svart. Foto: Ingmar Nordfelt, Dynapac.

2.3 Tung fallviktsdeflektometer

Metoden beskrivs översiktligt i VVMB 112:1998. ”Fallviktsapparaten åstadkommer en belastning, genom att en vikt får falla på ett fjädersystem ovanpå en belastningsplatta, vilken överför masskraften till vägen. Kraftpulsens beror av viktens massa, fjädersystemets egenskaper, fallhöjden och väggroppens styvhet. Vägytans maximala deflektion under stöten registreras, dels i belastningscentrum, dels i flera punkter på valda avstånd från belastningscentrum.”

Metoden eftersträvar att likna lasten av ett passerande tungt fordon som belastar vägen. Vägkroppens bärighet kan beräknas. Upprepade undersökningar kan ge information om vägkroppens tillståndsutveckling över tid. Metoden kan också ge information om bärighetsförändringar relaterade till årstider och klimat. Det går bra att analysera både bundna och obundna lager. Noggrannheten är bra för bärighetsberäkningar. I en studie (Hon, 2010) där tung fallvikt utvärderats mot statisk plattbelastning kan man konstatera att ingen enkel korrelation existerar mellan de två metoderna. Detta är inte heller att förvänta när de två metoderna mäter enligt olika principer (statisk versus dynamisk) även belastningstid, belastningstyp, belastningsdjup och spänningsbild i olika berg- och jordmaterial är olika. Det är därför svårt att översätta gränsvärden mellan de två metoderna. Tyngden på fallvikten gör också att man får bra djupverkan och information från hela konstruktionen. Metoden kräver att utbildad personal utför och tolkar resultaten. Användning på grova material kan också ge upphov till felkällor. En fördel med metoden är att det går relativt snabbt att mäta och det är möjligt att mäta många punkter. Metoden används för att mäta bärighet och få olika typer av bärighetsmått. Den går även att användas för kontroll av packningsutförande genom att använda andra icke elastiska parametrar och information från flera givare, belastningsslag och belastningsnivåer.



Figur 3 Bilden visa en tung fallvikt som utför mätning. Foto: Håkan Carlsson, VTI.

2.4 Lätt Fallvikt

Lätt fallvikt används för packningskontroll (bärighet) av främst obundna material och jordarter. Erfarenheter av användandet av lätt fallvikt beskrivs i SGF notat 1:2004 och Forssblad (2000). Ett exempel på utrustning och produktinformation kan hittas på hemsidan HMP-LFG, <http://www.hmp-lfg.com/>. Metoden för lätt fallvikt har utvecklats

bland annat i Tyskland där den används rutinmässigt för packningskontroll. I SGF notat 1:2004 beskrivs metoden som snabb och enkel att utföra i fält. En 10 kg tung fallvikt släpps ner och stöten tas upp av en fjäderdämpad platta för att stötens belastning ska vara under längre tid (18 ms). Belastningen blir ca 7 kN. Belastningsplattan är normalt 300 mm i diameter.

Det finns ingen generellt gällande omräkningstabell mellan statisk plattbelastning och lätt fallvikt. I vissa fall kan ett samband mellan metoderna erhållas medan i andra fall är sambandet mer oklart. I VV 2009:121 kapitel 7 ges dock rekommenderade gränsvärden för bärighetskontroll med lätt fallvikt. Forssblad (2000) har även angivit sambandet $E_{vd} = 0,7 \text{ à } 1,2 * E_{v2}$ som ett generellt riktvärde för blandkorniga och finkorniga material och sambandet $E_{vd} \approx 0,5 * E_{v2}$ för grovkorniga material. Metoden har begränsad djupverkan pga. av fallviktens låga vikt och kan därför inte ge information om interaktion mellan lagren i hela konstruktionen (Hon, 2010). Metodens noggrannhet minskar vid höga bärighetsvärden som uppnås t.ex. på ett bärlager (SGF notat 1:2004). Metoden har utvecklingspotential då den är enkel att använda och snabb. Rätt använd på bärlager eller inte för grovkorniga material skulle den kunna ge bra information om kvalitén på det utförda packningsarbetet då man kan täcka ett stort område med många mätpunkter. Den används relativt sällan vid vägbyggen. Då den används görs detta oftast på terrass- och skyddslagarnivå. Man behöver utveckla metodiken och höja kompetensen för att användning av metoden ska förbättras.

2.5 Isotopmätare

Information om utrustning kan hittas på <http://www.troxlerlabs.com/>. Isotopmätare (ofta kallad Troxler) mäter densitet med hjälp av en sond som sticks ner i marken och sänder ut strålning. Dämpningen av intensitet när strålningen går i marken till en mätsond används för att beräkna densiteten. Principen är att densiteten är proportionerlig till minskningen av radioaktivitet. Även vatteninnehåll mäts. Vattenkvot, torrdensitet, porvolym och packningsgrad kan beräknas.

Metoden har använts bl.a. i en studie presenterad i SGF notat 1:2004 där en mätprocedur föreslås. Vattenkvotsbestämningar behövs för att bestämma porvolymen. I SGF notat 1:2004 föreslås att vattenkvoten bestäms genom torkning i ugn framför apparatens inbyggda mätare pga. att säkrare resultat erhålls. Studien (SGF notat 1:2004) visar att Troxler-metoden med redovisning av luftporhalt och densitet ger acceptabla värden för resultatkontroll av jordpackningsarbete. Metoden kan ge ett enklare och billigare provningsförfarande än instampningsprovning (modifierad Proctor) i laboratorie när det gäller lera och finkorniga material (SGF notat 1:2004). Ett exempel på tillämpning är att se om finkorniga material konsoliderar under liggiden. När marken är stenig eller när krossmaterial är grovkornigt kan det vara svårt att få ner mätsonden vilket försvårar användningen.

2.6 Seismiska metoder

Seismisk metod använder ljudvågor (t.ex. från hammare eller sprängning) som man sänder ut från en bestämd punkt. Geofoner på bestämda avstånd från ljudkällan registrerar tiden det tar för ljudvågorna att transporteras i materialet. Den seismiska våghastigheten i materialet kan sedan användas att beräkna styvhet. Det finns även teoretiska möjligheter att beräkna porositet och packningsgrad. Nils Rydén (PEAB/LTH) har

arbetat med seismiska metoder och presenterat lovande resultat (t.ex. Packningskontroll av obundna överbyggnadslager med seismiska metoder, Rydén, 2009).

Seismiska (och andra geofysiska) metoder är intressanta men behöver utvecklas mer för att användas praktiskt i det dagliga arbetet ute på vägbyggen. Utvärderingen kräver erfarenhet och stor kunskap.

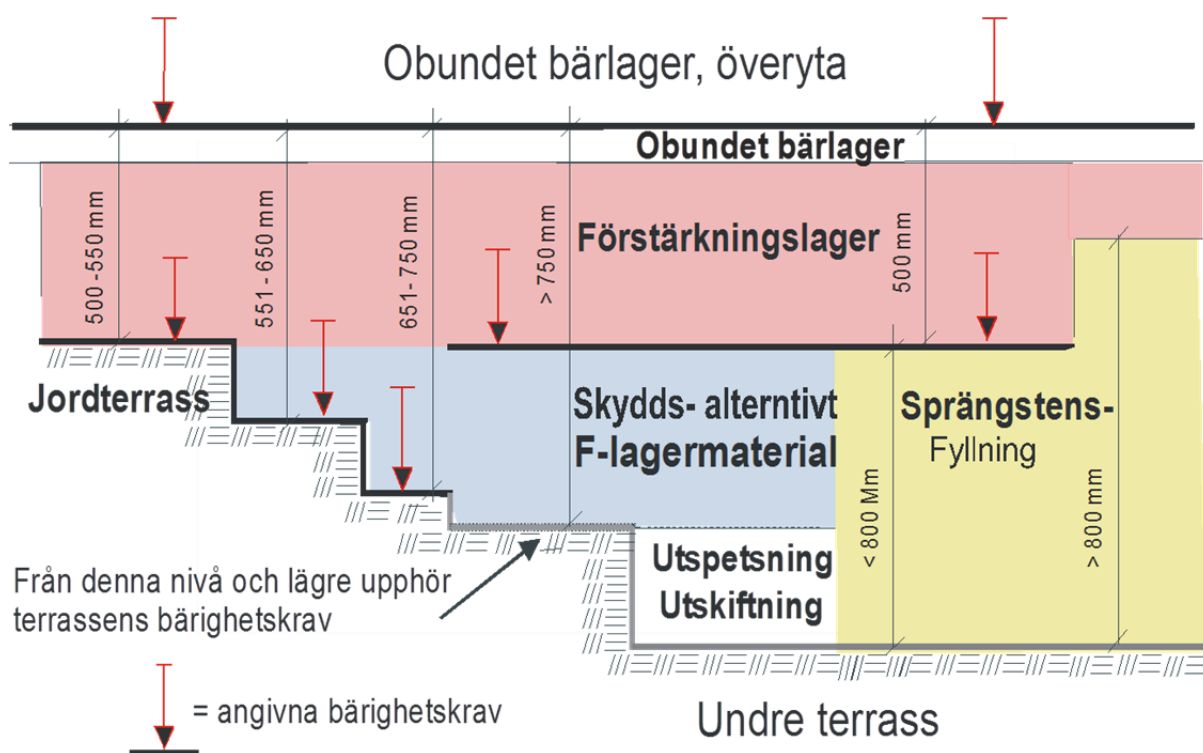
3 Packningsanvisningar för flexibla konstruktioner

Packningens kvalitet är viktig för vägens beständighet, livslängd, komfort och framtida underhållskostnader. Det är därför viktigt att packningsarbetet vid byggnation av vägar görs på ett riktigt sätt. För att ha kontroll på utförandet och kvaliteten på packningsarbetet har Trafikverket tagit fram anvisningar för utförande och resultatkontroll. För flexibla konstruktioner redovisas dessa kortfattat nedan. Andra konstruktioner som t.ex. styva konstruktioner diskuteras inte i denna rapport.

Banken eller skärningen som inkluderar lagren under terrassytan är fundamentet som ska bära vägens överbyggnad. Bergbankmaterial består av olika fyllningsmassor som ofta är sprängsten (se sprängstensfyllning, figur 4). Bra packad bank med hög bärighet är en förutsättning för att undvika sättningar och deformationer i överbyggnaden. Överbyggnaden inkluderar obundna förstärknings- och bärlager (figur 4) samt bundna asfaltlager. De obundna lagren har som uppgift att ta upp påkänningar från trafiklasterna och måste vara bra packade med hög stabilitet så att de bundna övre lagren inte deformeras. Två egenskaper är viktiga: (1) styvhet och (2) motstånd mot plastiska deformationer.

För att beställare (Trafikverket) ska veta den erhållna kvalitén på den byggda vägen utförs packningskontroll av styvhet och motstånd mot plastiska deformationer. Dessa kontroller kan utföras enligt olika principer. Upphandlingsförfarandet styr vilken kontrollmetod som ska väljas.

Trafikverkets krav och packningsanvisningar för obundna lager i vägkonstruktioner finns beskrivna i de tekniska kravbeskrivningarna AMA-07 och VVTBT-09 obundna lager. Resultatkontroll utförs på objekt med ÅDT > 2000 och med storlek som är större än 5 000 m². Vid underhålls- och förstärkningsarbeten kontrolleras oftast bara bärlager. Vid breddning då förstärkningsarbeten utförs kontrolleras ibland även terrassen. Packningsresultatet kontrolleras antingen genom stickprov eller genom urval av svaga punkter med YPK. Mätpunkter väljs då antingen statistiskt slumpvis utan YPK (yttäckande packningskontroll) eller utifrån resultat av YPK då de svagaste partierna väljs ut. Då YPK används kontrolleras färre mätpunkter. Även material och lagertjocklekar kontrolleras. Bärighetskontrollerna görs på olika nivåer i konstruktionen enligt figur 4 (röda pilar). Acceptanskriterierna för bärighet är sammanfattade i tabell 1 och 2. Kravnivåerna för bärighet är beskrivna i tabell 3. På övriga objekt som inte kräver kontroll av bärighet används utförandeanvisningar. Dessa är i dagens regelverk, när det gäller packningsarbete, knutna till antal vältöverfarer, linjelaster, lagertjocklekar och vattenkvot. Dessa krav är redovisade i tabell 4, 5, 6, 7 och 8.



Figur 4 Illustration av vilka nivåer och lager som bärlighetskraven gäller i en flexibel konstruktion.

Tabell 1 Sammanfattning av krav på utförande av kontroll av bärlighet vid nybyggnad, statistisk acceptanskontroll (VVTBT 09 tabell 13.1-1).

Kontrollobjekt	Terrass $\leq 5\ 000\ \text{m}^2$. Samtliga kontrollobjekt undersöks.
Stickprov	$n \geq 8$ eller $n \geq 5$ Stickprovsstorleken kan minskas till 5 om mätresultaten visar små variationer och inga kontrollobjekt underkänns. När ett kontrollobjekt underkänns skall stickprovsstorleken återgå till 8. Kontrollpunkterna skall vara valda och fördelade med stratifierat urval inom kontrollobjektet enligt VVMB 908.
Mätförfarande	Enligt VVMB 606.
Grovt fel	Enskild avvikelse, G_f
Mätvariabel	Deformationsmodulen, E_{v2} och E_{v1} , mätt i MPa.
Kriterievariabler	$x_{E_{v2}}$ = aritmetiska medelvärde av mätta E_{v2} - värden samt kvoten E_{v2}/E_{v1}

Tabell 2 Sammanfattning av krav på utförande av kontroll av bärighet vid nybyggnad, YPK (VVTBT 09 tabell 13.1-2).

Kontrollobjekt	Yta $\leq 5\,000\text{ m}^2$. Samtliga kontrollobjekt undersöks.
Stickprov	n = 2. Kontrollpunkternas koordinater väljs i de partier inom ytan som packningsmätaren har pekat ut som de svagaste, enligt förfarande beskrivet i VVMB 908. Stickprovsstorleken kan minskas till 1 om tidigare kontrollobjekt visar små variationer och inga kontrollobjekt underkänns. När ett kontrollobjekt underkänns ska stickprovsstorleken återgå till 2.
Mätförfarande	Enligt VVMB 606 och VVMB 603
Mätvariabel	Deformationsmodulen (E_{v2}), mätt i MPa.
Kriterievariabel	E_{v2}

Tabell 3 Sammanfattning av krav på bärighet, flexibel konstruktion vid nybyggnation (från VVTBT 09 tabell 13.1-3).

Acceptansintervall för flexibel konstruktion statistisk acceptanskontroll		
Jordterrass 500–550 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8 n=5	$x_{E_{v2}} \geq 40 + 0,96 s$ $x_{E_{v2}} \geq 40 + 0,83 s$ G_f om $x_i E_{v2} < 32\text{ MPa}$
551–650 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8 n=5	$x_{E_{v2}} \geq 30 + 0,96 s$ $x_{E_{v2}} \geq 30 + 0,83 s$ G_f om $x_i E_{v2} < 20\text{ MPa}$
651–750 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8 n=5	$x_{E_{v2}} \geq 20 + 0,96 s$ $x_{E_{v2}} \geq 20 + 0,83 s$ G_f om $x_i E_{v2} < 15\text{ MPa}$
Skyddslager >250mm	n=8 n=5	$x_{E_{v2}} \geq 40 + 0,96 \cdot s$ $x_{E_{v2}} \geq 40 + 0,83 \cdot s$ <i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> Om $E_{v2} \leq 40\text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$ Om $E_{v2} > 40\text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,063 \cdot E_{v2}$ Antal godkända kontrollpunkter ska vara minst 7 av 8 respektive minst 4 av 5. G_f om $x_i < 32\text{ MPa}$

Acceptansintervall för flexibel konstruktion statistisk acceptanskontroll		
Bärlager eller Översta obundna lagret	n=8 n=5	$x_{E_{v2}} \geq 140 + 0,96 \cdot s$ $x_{E_{v2}} \geq 140 + 0,83 \cdot s$ <i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> Om $E_{v2} \leq 140$ MPa : $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,8$ Om $E_{v2} > 140$ MPa: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,013 \cdot E_{v2}$ Antal godkända kontrollpunkter ska vara minst 7 av 8 respektive minst 4 av 5. G_f om $x_i < 125$ MPa
Acceptansintervall för flexibel konstruktion YPK		
Jordterrass 500–550 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial 551–650 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial 651–750 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial		<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> $E_{v2} \geq 32$ Samtliga kontrollpunkter ska vara godkända. <i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> $E_{v2} \geq 20$ Samtliga kontrollpunkter ska vara godkända. <i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> $E_{v2} \geq 15$ Samtliga kontrollpunkter ska vara godkända.
Skyddslager >250mm		<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> $E_{v2} \geq 32$ och $E_{v2}/E_{v1} \leq 1,5 + 0,078 \cdot E_{v2}$ Samtliga kontrollpunkter ska vara godkända.
Bärlager eller översta obundna lagret		<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i> $E_{v2} \geq 125$ $E_{v2}/E_{v1} \leq 1,5 + 0,0136 \cdot E_{v2}$ Samtliga kontrollpunkter ska vara godkända.

Tabell 4 Största tillåtna lagertjocklek vid packning av bärlager (enligt AMA 07, tabell DCB/3).

Vält	Vattenkvot \geq Optimal vattenkvot minus 1,5 %		Vattenkvot $<$ Optimal vattenkvot minus 1,5 %	
	6 överfarter	8 överfarter	6 överfarter	10 överfarter
linje-last				
> 15 kN/m	0,08 m	0,15 m	–	0,10 m
> 25 kN/m	0,20 m	0,25 m	0,10 m	0,13 m
> 35 kN/m	0,25 m	0,30 m	0,12 m	0,15 m

Tabell 5 Största tillåtna lagertjocklek vid packning av förstärkningslager (enligt AMA 07, tabeller DCB/2).

Vält	Vattenkvot > 3,5%		Vattenkvot < 3,5% eller ej bestämd	
	6 överfarter	8 överfarter	6 överfarter	10 överfarter
linjelast				
> 15 kN/m	0,25 m	0,30 m	–	–
> 25 kN/m	0,40 m	0,45 m	–	0,20 m
> 35 kN/m	0,50 m	0,55 m	0,25 m	0,30 m
> 45 kN/m	0,55 m	0,60 m	0,30 m	0,35 m
> 55 kN/m	0,60 m	0,65 m	0,35 m	0,40 m

Tabell 6 Största tillåtna lagertjocklek efter packning av bergbank/lätt bergbank för väg (materialtyp 1 och 3A) enligt AMA 07, sammanfattning av tabell CE/3 och CE/6.

Packningsredskap	Störst lagertjocklek (m)			Minst antal överfarter (st.)
	Fyllningsmaterial för väg	Fyllningsmaterial för väg kategori A		
Vibrerande envalsvält, statisk linjelast:				
Materialtyp (Tabell 8)	1 och 3A	1	3A	
min 15 kN/m (2 ton)	–			–
min 30 kN/m (6 ton)	1,00	1,00	0,55	6
min 45 kN/m (10 ton)	2,00	1,50	0,75	6
min 60 kN/m (15 ton)	3,00	2,00	0,90	6

Tabell 7 Packningskrav för tätning och avjämning kategori A av bergsterrass för väg, plan od enligt AMA 07 CEE.111.

Vibrerande envalsvält, statisk linjelast:	Krav lagertjocklek	Minst antal överfarter (st.)
min 30 kN/m (6 ton)	Inget krav	4
min 30 kN/m (6 ton)	>200 mm	6

Tabell 8 Fyllningsmaterial för byggande av väg och bro, AMA 07, utdrag från tabell CE/1.

Materialtyp	Benämning, krav	Exempel
1	Bergtyp 1 (kulkvarn <18) finjordshalt (0,063/63 <10 vikt-%)	sprängsten av glimmerfattig granit, gnejs, kvartsit diabas porfyr eller andra hårda bergarter med hög slitstyrka
	Bergtyp 2 (kulkvarn <30) Finjordshalt (0,063/63 <10 vikt-%)	Sprängsten av granit, gnejs med måttlig hållfasthet och slitstyrka samt andra bergarter som tex kalksten
3A	Bergtyp 3 (kulkvarn >30) Finjordshalt (0,063/63 <15 vikt-%)	Sprängsten av bergarter med hög glimmerhalt, lerskiffer, kalksten och annat berg ej klassificerat berg

4 Råd för genomförande av packning

Här diskuteras huvudsakligen det praktiska utförandet av packningen med vält. Materialegenskaperna och de yttre förutsättningarna är dock avgörande för hur bra packningen kan utföras. Några av de viktigaste förutsättningarna som man måste ha kontroll på är:

- Undergrundens beskaffenhet (t.ex. geologi, berggrund, jordarter)
- Egenskaper på överbyggnadsmaterial (t.ex. korngradering, fukthalt, kornform, mekaniska egenskaper, petrologi, mineralogi)
- Konstruktion och praktiskt utförande (t.ex., packningsarbete, materialhantering, liggtider, separation, väder, tjäle).

Packning av obundna material sker med vältar av olika typer. Vältens uppgift är att kompaktera materialet och utnyttja materialets potential utan att krossa ner det. För att packa materialet optimalt måste materialet vara fuktigt. Om materialet är för torrt måste materialet fuktas innan packning. Den optimala fuktkvoten för ett visst material kan bestämmas genom modifierad Proctor. Man skiljer på tre olika metoder för kompaktering (Dynapac, 2000):

1. statisk packning
2. vibrationspackning (vibrationsvält)
3. stötpackning (HEIC vält, fallviktspackning).

Vid statisk packning använder man vältens egentyngd (linjelast) för att packa materialet. Vältens tyngd och hastighet blir avgörande faktorer. Vid vibrationspackning genereras ett antal snabba slag med bestämd amplitud och frekvens mot underlaget vilket förbättrar packningen med vältens egentyngd. De flesta vältar som används vid vägbyggnation utnyttjar vibrationspackning. En hög amplitud behövs vid kompaktion av tjocka lager och i början av packningsarbetet. Vid slutet av packningen behövs en lägre amplitud för att undvika att välten hoppar och att material luckras upp i de övre delarna av vägkonstruktionen. De modernaste vältarna har automatisk reglering av amplitud och frekvens för att uppnå maximal packning. Generellt ger hög linjelast, låg amplitud, låg hastighet, många överfarter och packning i tunna lager bäst packning (Ingmar Nordfält och Bo Johansson, presentationer på workshopen). Det är också viktigt att finkorniga material med hög vattenkvot får tillräcklig liggtid (tjälfri) för att undvika framtida sättningar (enligt AMA-07). Det är också känt att krossmaterial med kantiga korn kräver mer packningsarbete än naturmaterial med rundade partiklar (Wiman, 2006). I många fall är Trafikverkets krav på 6–8 överfarter för lite för att få en tillräcklig täthet. Ytpackningskontroll (YPK) är ett bra hjälpmedel för vältföraren att veta när tillräckligt packningsarbete är utfört, speciellt när den är kopplad till GPS-baserad information.

HEIC-vält är en speciell vält som skapar kraftig stötpackning med trekantiga valsar. Informationen nedan är hämtad från en presentation av Rune Fredriksson och Fredrik Lekarp på workshopen. HEIC-välten (Landpac 14–15 ton vikt) ger en packning som har djupverkan på flera meter, vilket gör det möjligt att kompaktera 1–2 m tjocka lager av fyllningsmassor. Vanliga vibrationsvältar (vikt ca 13 ton, linjelast >45 kN/m) har mindre djupverkan än HEIC-välten och dess packningseffekt avtar efter ca 0,3–0,4 m djup. HEIC-välten används för djupverkande packning och förstärkning av befintlig mark, väg och deponi. Välten kan använda GPS-baserad ytpackningskontroll (YPK), vilket

gör det enkelt att kontrollera packningsresultatet under körning. Den kraftiga packningsenergin gör att den kan krossa betongtrummor, skada brofästen och byggnader.

Ett bra användningsområde för HEIC-vältar är packning av tjocka underbyggnadsmassor. Den översta ytan bör dock packas med traditionell vibrationsvält med låg amplitud (hög amplitud luckrar upp ytan) för att få en bra och jämn yta då HEIC-välten luckrar upp det översta 0,2–0,3 m.

5 Diskussion

Den troligaste orsaken till att man de senaste åren haft problem med tidigt uppkomna spår- och sprickbildningar på en del nybyggda vägar antas åtminstone delvis bero på packningen av vägmaterial under byggnationen. För att diskutera dessa problem har Trafikverket bjudit in representanter från olika entreprenörer, vältillverkare och VTI till en workshop i Göteborg 16 februari 2010. Nedanstående frågor diskuterades:

- Är dagens packningsanvisningar tillräckliga när det gäller utförandeanvisning och resultatkontroll?
- Var finns förbättringspotentialen när det gäller kontrollmetoder och utförande?
- Vilka är de största kunskapsbristerna när det gäller packning i branschen?
- Hur mycket kan vi vinna i livslängd och totalekonomi genom bättre packning?

En sammanfattning av diskussionerna och ytterligare diskussioner med sakkunniga inom VTI och Trafikverket (Carl-Gösta Enocksson och Klas Hermelin) presenteras nedan.

5.1 Är dagens packningsanvisningar tillräckliga?

De krav och anvisningar som Trafikverket ställer i AMA och övriga vägverksdokument har stor inverkan på kvalitén på den uppförda vägen. Om nivåerna på kraven är för lågt ställda kommer vägen att naturligtvis få kortare livslängd och i slutändan högre underhållsbehov. Å andra sidan för högt ställda krav ger en onödigt dyr konstruktion. Det gäller att hitta rätt balans mellan kravnivå och vägens kvalitet. Ett problem är att det är svårt att veta var nivån för tillräckligt bra packning är. Det finns inget bra mätvärde som definierar optimalt packningsresultat och då är det svårt att ställa ”rätt” krav. Vi mäter täthet (densitet) och bärighet (E-modul) och kopplar det till packning. Ofta sker detta på några få slumpmässigt utvalda punkter med statisk plattbelastning. Det finns en risk att områden med dålig packning missas. Dagens anvisningar ger inte en bra yttäckande kontroll av packningsarbetet.

Utförandeanvisningar för packning av underbyggnad och bank är bristfälligt utformade. Ofta läggs tjocka lager (se tabell 6) av material med stort D_{\max} (t.ex. 0–300 material) med låga krav på packning (6 vältöverfarer). Det är troligt att packningen av underbyggnaden har stor inverkan på konstruktionens livslängd. Om omlagringar sker i bergunderbyggnaden kan rörelser spridas uppåt och ge defekter på vägytan.

Enligt AMA 07 får osorterad sprängstensfyllning kategori A användas upp till 1,5 m under färdig väg. Sorterad sprängsten får användas närmare färdig vägyta och till viss del ersätta förstärkningslagret. Kraven på packning och kvalitet på fyllningsmassorna är lägre än på förstärkningslager som annars måste användas. Om kraven på packning jämförs i tabell 5 och 6 ser man att lagren i fyllningsmassorna kan läggas i betydligt tjockare skikt än förstärkningslagret. Samtidigt krävs det bara 6 överfarer med välten. På samma tjocklek av ett förstärkningslager kommer många fler överfarer med välten att krävas. Detta gör att man kan förvänta sig att packningen blir bättre i ett förstärkningslager. Det borde undersökas med försök hur stor inverkan denna skillnad i krav på packning har på kvalitén och tendensen för spårbildning. Flera undersökningar visar att packningen inte är tillräcklig efter 6–8 överfarer (t.ex. Sundblad och Widén, 2007; Olsson, 2005). Enligt dessa studier kan det finnas mycket att vinna bärighetsmässigt och packningsmässigt på att öka antalet vältöverfarer. En höjning av dagens 6–8 vältöver-

farter till 12–14 skulle sannolikt ge ett förbättrat motstånd mot spårbildning. Generellt gäller att regelverket och dess krav måste ses över när det gäller packning. De krav (tabell 7) som gäller för packning av tätnings- och avjämningslager i AMA 07 (CEE 111) verkar inte praktiseras i praktiken. Om dessa krav praktiseras mer allmänt skulle det innebära en ökning av antalet vältöverfarter med 4–6 (st.) vilket skulle förbättra packningen avsevärt. Det kan även finnas stor potential i att undersöka och utveckla metoderna för packning av underbyggnad och i förlängningen förbättra utförandeanvisningarna främst för bergunderbyggnad.

5.2 Var finns förbättringspotentialen när det gäller kontrollmetoder?

Ett förbättrat och mer kontrollerat packningsarbete skulle sannolikt ge en kvalitetshöjning vid byggande och renoveringar av vägar. En marginell kostnadsökning skulle då innebära en betydande ekonomisk besparing i form av minskade underhållskostnader. Förbättringspotentialen ligger inom områdena konstruktion (diskuteras inte här), packningsutförande (se paragraf 4), kontrollmetoder och material.

5.2.1 Kontrollmetoder i fält

Utvecklingen på maskinsidan har resulterat i moderna vältar där packningsarbetet kan anpassas till rådande omständigheter med automatiska system (inställning av amplitud och frekvens) i högre grad än tidigare. Däremot saknas lättillgänglig information kring hur vältarna skall användas, för att vägkonstruktionen ska få en så optimal packning som möjligt utifrån de krav som kan ställas. Det finns givetvis fortsatt utvecklingspotential av vältar med förbättringar främst inom området med YPK-systemen, t.ex. bättre användargränssnitt, bättre dokumentation, bättre mätnoggrannhet, mätning av E-modul, vattenkvot, porositet m.m. Vältmätarna bör i framtiden kunna mäta fler parametrar med högre precision. Denna utveckling ligger främst hos välttillverkarna medan kraven på bättre system ligger hos beställare och entreprenörer. Ett exempel på användning är att med GPS och karta visa att man gjort rätt antal överfarter med välten och att packningsarbetet blivit bra. De flesta vältar har en GPS-funktion idag. Ett krav man bör kunna ställa i packningsanvisningarna är att antalet överfarter och YPK-värden på en yta dokumenteras. Det finns problem att lösa som t.ex. kalibrering av vältmätare, mottagning av GPS-signaler och att undergrunden inverkar på resultaten. Fördelen med ett GPS-baserat system är att man kan följa upp packningsutförandet bättre när man får yttäckande packningskontroll. Det sätter tydligare fokus på att packa bra. Det ger vältföraren en bra indikation om när arbetet anses färdigt, vilket underlättar jobbet.

Andra lovande metoder som gör att man snabbare kan få bättre kontroll på packningsutförandet och täcka stora ytor är lätt och tung fallvikt. Dessa kan användas som komplement till statisk plattbelastning. Båda dessa metoder har utvecklingspotential.

När det gäller packningsarbetet så är det viktigt att dokumentera utförande och material. Systemen för dokumentation hos främst beställare kan förbättras. En databas för dokumentation av material, konstruktion, utförande och underhåll kan på sikt förbättra förståelsen om varför problem uppstår. Databasen bör vara nationell och inte på regionnivå.

Idag finns flera mät- och kontrollmetoder för utförd packning, bl.a. vältbundna packningsmätare och fältmätare som exempelvis statisk plattbelastning. Ändå saknas lättanvända, bra och tydliga mätmetoder med mått och gränsvärden som kan användas för att värdera materialets ”täthet/densitet” samt för intelligent ”aktiv design”. Arbeta med

utveckling av mätmetoder och utvärdering av dessa ger värdefull kunskap för att sätta rätt kravnivå.

5.2.2 Materialkontroll

Kunskapsnivån om materialegenskaper måste utvecklas då de styr hur bra packning kan utföras. Kunskapen är relativt låg idag på detta område och baseras främst på erfarenheter på naturmaterial. Användandet av krossmaterial ställer helt andra krav då förutsättningarna är annorlunda.

Fuktigheten i material påverkar packningsresultatet. Detta gäller mest finkorniga material och i mindre omfattning grovkorniga välldränerade lager. Man bör mäta fuktigheten i materialen lagervis i nära anslutning till packningen för att försäkra sig om att fuktkvoten är optimal för packning. Ett problem med att mäta densiteten och fukt på material för varje lager i både underbyggnad och överbyggnad som man lägger ut, är att det blir mycket prover till laboratoriet. Ett problem med krossmaterialen är att de är torra från processen i tåkten. Naturgrusmaterial har en naturlig fukthalt från tåkten. För att utföra ett bra packningsarbete på bergkross behöver man normalt tillföra fukt. Fukthalten har två funktioner: Den första är att hålla ihop materialet under transporter och hantering så att separation inte inträffar. Den andra är att underlätta packningsarbetet så att de mindre kornen passar in i hålrummen mellan de större. Materialens fukthalt behöver således kontrolleras bättre. Man behöver ha kontroll på fukthalt och materialkvalité under hela processen från tåkt, upplag, transport till utläggning för att undvika problem. Idag är det mycket lågt ställda krav på fukthalt och andra materialegenskaper i material som ska användas till förstärkningslager och fyllningsmassor.

5.3 Vilka är de största kunskapsbristerna?

Det finns också behov av utbildning för att öka förståelsen för packning på vägbyggena. Det behövs också riktade forskningssatsningar för att kunna förbättra utförandet av packningsarbetet, utveckla mätmetoderna och metodiken samt sätta rätt kravnivåer.

5.3.1 Utbildning

Det är uppenbart att utbildning och diskussion om packningsfrågor sätter fokus på problemen. Det finns en förbättringspotential i att öka den allmänna kunskapen om packning hos de som jobbar med att bygga vägar. Utbildning av vältförare och byggpersoneal kan göra dessa personer medvetna om frågorna och mer engagerade i att förbättra utförandet. Återkommande workshops för branscheexperter sätter fokus på packningen. Där kan exempelvis problem, goda exempel, teknikutveckling och erfarenheter diskuteras. Kunskapen ökar och sprids i branschen vilket förbättrar utförandet.

Det finns också olika filosofier och arbetssätt för utförande och byggnation från beställare inom Trafikverket i olika regioner i landet. Orsaken till detta kan vara att det är olika regionala förutsättningar, t.ex. klimat och geologi. Det kan också vara kopplat till personer. Man kan utnyttja erfarenheter och kunskap från olika delar av landet genom att ha gemensamma utbildningar och workshops där frågorna belyses.

5.3.2 Forskningsområden

Att definiera specifika kunskapsbrister på packningsområdet är svårt. Många faktorer samverkar och påverkar packningsresultatet i en kedja av händelser i byggprocessen. Det räcker med att en länk i kedjan är svagare så kommer slutresultatet bli sämre. Det är möjligt att kunskapen om hela processen är en kunskapsbrist. Kunskapen om hur man packar rätt under ideala förhållanden är relativt god. Däremot är kunskapen inte så bra om konsekvenserna av att man frångår ideala förhållanden. Var går exempelvis gränserna för hur mycket man kan avvika? Att analysera de mest kritiska momenten för packningsresultatet i varje delmoment i byggprocessen borde kunna vara ett första steg att få ett helhetsgrepp och förbättra packningen.

Det finns ett behov av att undersöka orsakerna till en tidigt uppkommen spårbildning på ett bättre sätt. Detta kan göras genom accelererade provningar med HVS-utrustning på kontrollsträckor där olika typer av konstruktioner och material provas. Detta kan vara ett bra sätt att utvärdera nya kravnivåer på packning. Det finns också behov av att utvärdera olika typer kontrollmetoder för packning som tidigare diskuterats i kapitel 5.2. Det finns även behov av utveckling av mer standardiserad metodik så att jämförelser av mätdata underlättas. Det är också viktigt att följa upp utfört packningsarbete mot vägen tillståndsutveckling för återkoppling av kunskap om packningens effekt

Kunskapen om hur olika materialegenskaper påverkar packningen behöver undersökas bättre. Det är intressant att undersöka kombinationer av egenskaper och hur dessa samverkar, t.ex. korngradering, kornform, bergart, mineralogi, mikrosprickor, kornfogar och mekaniska egenskaper. Två egenskaper som samverkar och sannolikt har stor inverkan på packningsegenskaperna är korngradering och kornform. De mekaniska egenskaperna mot nerkrossning är starkt kopplade till bergart, mikrosprickor, kornfogar och mineralogi. Dessa påverkar också packningsegenskaperna. En ökad kunskap om dessa materialegenskaper ger förutsättningar att bedöma vilka materialkombinationer som ska undvikas och vilka som fungerar på olika ställen i vägkonstruktionerna. En början till att öka dessa kunskaper är att skapa en materialdatabas av den typ som man använder i tillverkningsindustrin att följa upp kvalitén på sina produkter. Att följa upp tillståndsutvecklingen i en databas med kunskap om hela byggprocessen har stora fördelar. Slutresultatet är att man har kunskap hur man ska packa olika typer av material för att uppnå den mest kostnadseffektiva packningen med hänsyn till beständighet, underhållskostnad och byggkostnad.

5.4 Hur mycket kan vi vinna i livslängd/totalekonomi genom bättre packning?

Det finns mycket att vinna på att packa bättre. Om man uppskattar att en vält kostar mellan 10–40 öre per m^2 och överfart beroende på timkostnad, välthastighet och typ av vält. Om vi antar en kostnad på 20 öre/ per m^2 och vältöverfart. Om packningen fördubblas mot regelverket (6–8 överfarter) så innebär detta ca 1,5 kr/ m^2 i extra kostnader vid utförandet. Årskostnad för slitlager ligger för en välbyggd motorväg på runt 5 kr/ m^2 och är för K1 (höger körfält). Om man slår ut det på hela den belagda vägytan blir det något lägre. Detta innebär att ett års ökad livslängd genom ökad kompaktering (minskad spårbildning) ger ca 3–5 kr/ m^2 lägre kostnad. Utöver detta innebär denna minskade spårbildning även en minskad risk för en allt för tidig sprickbildning, som i sig ger ännu högre framtida kostnader genom behov av tidigarelagd förstärknings- och underhållsarbete (dvs. fräsning + nytt bindlager – ABb – samt slitlager).

Sammantaget innebär detta att en utökad packning på framförallt grov bergkross med ytterligare upp till ca 15 överfarter ($< 3 \text{ kr/m}^2$) i de allra flest fall betalar sig inom 10–15 år. Att utöka packningsarbetet med det dubbla mot dagens rekommendation bör rimligen innebära en klart lönsam åtgärd.”

6 Slutsatser

En slutsats är att det obundna grovkorniga material troligen packas för lite när det byggs vägar i Sverige. Den otillräckliga packningen ger kvalitetsproblem och höga underhållskostnader. För att förbättra packningskvalitén föreslås här som ett första steg att:

- Trafikverket skärper kraven för packning. En ökning av antalet vältöverfarter i utförandeanvisningarna framförallt i bergunderbyggnader (bergbank och förstärkningslager) kommer att förbättra kvalitén. Övriga regelverk och kravnivåer som berör packning behöver också ses över
- Dokumentationen av genomförd packning måste förbättras. Ett förslag är att utnyttja vältmätarna (YPK) på ett bättre sätt. YPK-värdet och antalet vältöverfarter som fås presenteras överskådligt genom GPS på en karta. Med GPS kan också antalet genomförda överfarter kontrolleras
- Det behövs ökad kunskap och medvetenhet på alla nivåer. En branschgemensam grundutbildning inom packningsområdet kan ge detta. Även återkommande workshops där experter inom branschen kan byta erfarenheter är bra i detta syfte
- Kontroll- och mätmetoder behöver ses över i regelverket. Fallviktsmätningar under byggnation kan ge viktig information då det är möjligt att göra fler mät-punkter än statisk plattbelastning. Även densitets- och fuktmätningar kan ge värdefull information
- Kunskapsnivån om materialegenskaper måste utvecklas då de styr hur bra packning kan utföras. Kunskapen är relativt låg idag på detta område och baseras främst på erfarenheter på naturmaterial. Användandet av krossmaterial ställer helt andra krav då förutsättningarna är annorlunda. Främst är det kornform, yttextur och fukthalt (vid packning) som skiljer, inverkan av dessa behöver undersökas mer noga.

Referenser

AMA anläggning 07–Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. Svensk byggtjänst. 2008. www.byggtjanst.se. 742 sidor.

Briaud Jean-Louis och Jeongbok Seo 2003. Intelligent compaction: Overview and research needs. December, 2003 Texas A&M University. download at: http://www.intelligentcompaction.com/downloads/PapersReports/Texas_Briaud_IC%20Report_200409.pdf

Dynapac. Dokumentationssystem jordpackning (nerladdad dokument juni 2010) <http://www.dynapac.com>

Dynapac 2000. Compaction and paving, theory and practice. Dynapac Svedala Industri AB, Sweden 2000.

Forssblad, L: Packning – Handbok om packning av jord- och bergmaterial. Svensk Byggtjänst, 2000.

Geodynamik. Dokumentation för yttäckande packningskontroll CDS-012-051S/0010 (nerladdat dokument juni 2010) <http://www.geodynamik.com>

Hon, Philip, 2010. Utvärdering av kontrollmetoder för obundna granulära material. Institutionen för teknik och samhälle Lunds Tekniska Högskola. Master thesis 2010:198.

NVF utskott 31.1986. Packning av obundna jordmaterial Vägens uppbyggnad. Holgersson Åke, Dinesen PG, Björsten Lars, Olafsson Björn, Haustveit Torkjell. Rapport nr 8: 1986.

Nordfelt Ingmar. 2008. Packning och yttäckande packningskontroll i framtiden. Transportforum 2008.

Olsson Andreas, 2005. Mätning av bärighetstillväxt vid varierande packningsinsatser på fördelningslager och förstärkningslager i en överbyggnad. Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Examensarbete 2005:85.

Rydén Nils, 2009. Packningskontroll av obundna överbyggnadslager med seismiska metoder Transportforum 2009.

SGF notat 1:2004. Arbetsgrupp: Berggren Bo, Bengtsson Jim, Forssblad Lars, Hagert Christer, Hermelin Klas, Nordfelt Ingmar, Sandström Åke och Svenningsson Peter. 2004. Packning och packningskontroll av blandkorniga och finkornig jord. SGF Svenska Geotekniska Föreningen Notat 1:2004.

Sundblad Johan och Widén Per. 2007. Bärighet på väg via förbättrad packning – fullskaleförsök med lättklinker som underbyggnad. Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad Institutionen för bygg- och miljöteknik. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. 2007:33.

VVMB 1993. Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning. Metodbeskrivning 606:1993, Trafikverket (Vägverket) publikation 1993:19.

VVMB 1994. Yttäckande packningskontroll. Metodbeskrivning 603:1994 Trafikverket (Vägverket) publikation 1994:76.

VVMB 112:1998.

VVTBT 2009. Obundna lager. Trafikverket (Vägverket) publikation 2009:117.

VVAMA 2009 Anläggning 09 rev 1. Trafikverket (Vägverket) publikation 2009:147.

Wiman, Leif G. 2006. Accelerated load testing of pavements – HVS-Nordic tests at VTI Sweden 2003–2004. VTI rapport 544A, 46sidor. VTI, Linköping

Program för workshop

Tid: Tisdagen den 16 februari 2010

Plats: Göteborg Vägverket, Kruthusgatan 17, vån 6 i lokalen ”Rondellen”

Från **09:30** Fika

10:00-10:20 Inledning/bakgrund (Fredrik Hellman VTI, Carl-Gösta Enocksson Trafikverket)

10:20-11:00 Regelverk och normer idag (Klas Hermelin, Trafikverket)

11:00-12:00 Exempel på dagens tillämpning av packning och packningskontroll (Bo Johansson, NCC, Rune Fredriksson, SVEVIA,)

12:00-13:00 Lunch

13:00-13:30 Forts av exempel på dagens tillämpningar

13:30-14:00 Teknisk utveckling på vältar och packningskontroll (Ingmar Nordfelt, DYNAPAC)

14:00-14:20 Fika

14:20-15:30 Diskussion och inlägg på ställda frågor samt utvecklingsbehov (entreprenörrepresentanter och beställare)

15:30-16:00 Sammanfattning (Fredrik Hellman, Carl-Gösta Enocksson)

Deltagarförteckning

Efternamn	Förnamn	Företag
Bengtsson	Jim	Skanska
Enocksson	Carl-Gösta	Trafikverket
Erlingsson	Sigurdur	VTI
Fredriksson	Rune	Svevia
Hellman	Fredrik	VTI
Hermelin	Klas	Trafikverket
Hon	Philip	LTH
Huvstig	Anders	Trafikverket
Johansson	Bo	NCC
Lenngren	Anders	Svevia
Ljungqvist	Per	Geomiljö Väst AB Lab
Nordfelt	Ingmar	Dynapac
Olin	Anders	Svevia
Rydén	Nils	Peab/LTH
Sävinger	Bo	NCC
Wiman	Leif	VTI

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovsningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

