

Glimmer i bergmaterial för vägbyggnation

En kunskapsöversikt

Fredrik Hellman

Förord

Projektet ”Glimmer i obundna material – förstudie” har finansierats av Trafikverket. Handläggare på Trafikverket har varit Urban Åkesson, även Klas Hermelin har deltagit i projektmöten och gett synpunkter på innehållet. Resultaten i detta projekt är tänkt att användas till fortsatta undersökningar på området glimmer.

Linköping augusti 2013

Fredrik Hellman
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts 20 augusti 2013 av Urban Åkesson, Trafikverket. Fredrik Hellman har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 22 augusti 2013. Projektledarens närmaste chef, Björn Kalman har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 10 september 2013.

Quality review

External peer review was performed on 20 August 2013 by Urban Åkesson, the Swedish Transport Administration. Fredrik Hellman has made alterations to the final manuscript of the report 22 August 2013. The research director of the project manager, Björn Kalman, examined and approved the report for publication on 10 September 2013.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Introduktion	9
2 Glimmer i bergmaterial för vägbyggnation	10
2.1 Glimmer i obundna lager.....	10
2.2 Glimmer i asfalt.....	12
3 Krav på glimmermängd i ballast.....	14
3.1 Ballast för Obundna lager	14
3.2 Ballast för Asfalt.....	15
4 Slutsatser	18
4.1 Fortsatta undersökningar	18
Referenser.....	19

Glimmer i bergmaterial för vägbyggnation. En kunskapsöversikt

av Fredrik Hellman

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

Trafikverkets krav på glimmerhalt behöver ses över, då de inte tar hänsyn till ett antal faktorer som till exempel bergart, typ av glimmer, använd kornkurva och klimat.

Syftet med denna rapport är att sammanställa det aktuella kunskapsläget kring glimmer i obundna lager. Information om glimmer i asfalt finns med för att det finns information som kan vara relevant även för obundna lager. Målet är att utifrån denna rapport identifiera kunskapsluckor och definiera områden där ökad förståelse behövs om varför och på vilket sätt glimmer kan vara skadligt i obundna lager i vägkonstruktioner.

Skador kopplade till glimmer och även andra ballastrelaterade egenskaper kan vara svåra att förstå orsaken till eftersom det ofta är flera faktorer som samverkar och ger upphov till skador. Två viktiga faktorer när det gäller skador på vägar orsakade av höga glimmermängder som kan identifieras från litteratur och erfarenheter är:

1. Fukt – hög glimmer i kombination med fukt ger högre risk för skador som sämre bärighet och sämre spårdjupsutveckling
2. Tjälkskador – hög glimmermängd försämrar tjältåligheten och ökar risken för skador

Det kan tydligt identifieras att det behövs både laboratorieförsök och uppföljning av vägsträckor för att kunna sätta mer nyanserade krav på glimmer i obundna ballastmaterial för vägbyggnation.

Mica in rock material for road construction. A knowledge overview

by Fredrik Hellman

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping, Sweden

Summary

The Swedish Transport Administration requirements on the mica content needs to be reviewed, since they do not take into account a number of factors such as rock type, type of mica, used grain curve and climate factors.

The purpose of this report is to compile the current state of knowledge on mica in unbound layers. Information about mica in asphalt is included because it contains information that may be relevant also for the unbound layers. The goal with this report is to identify knowledge gaps and define areas where greater understanding is needed about why and how mica minerals can be harmful in unbound layers in road construction.

Damages associated with mica and other ballast-related properties can be difficult to understand because there are often multiple factors that interact and cause damage. Two important factors when it comes to road damages caused by high amounts of mica have been identified from literature and experience:

1. Moisture - high mica in combination with moisture produces higher risk of damages related to low bearing capacity and fast rutting development
2. Frost damage - high mica decrease frost resistance and increase the risk of road damages

It can clearly be identified that more research is needed, including both laboratory experiments and monitoring of road sections, in order to find more relevant requirement demands on mica content in unbound aggregates for road construction.

1 Introduktion

Vägverket införde 2002 krav på glimmerhalt i obundna bärlager, dessa krav finns idag beskrivna i Trafikverkets regelverk TRVKB 10. För att bärlager skall vara godkänt får halten av fri glimmer i fraktionen 0,125–0,250 inte överstiga 50 %. Om bärlagret ska trafikeras av byggtrafik är mängden begränsad till 30 %. Bakgrunden var att vägverket i flera fall hittade samband mellan uppnådd bärighet på färdig bärlageryta i byggskedet och hög glimmerhalt i det obundna bärlagermaterialet. Glimmerkraven har kommit till baserat på ett antal vägobjekt där man märkt att om glimmerhalten var mer än 70 % så blev det ofta skador och beständighetsproblem. Vid mängder mellan 30–50 % gjordes bedömningen att det ofta att det oftast inte blev skador (personlig information av Klas Hermelin, Trafikverket). Därför satte Trafikverket gränserna på 30 respektive 50 %. I praktiken är det 30 % som gäller eftersom bärlagret nästan alltid belastas av byggtrafik efter att det är utlagt.

Efterhand har det framkommit att Trafikverkets krav på glimmerhalt behöver ses över, då de inte tar hänsyn till ett antal faktorer som t.ex. bergart, typ av glimmer, använd kornkurva och klimat.

Syftet med denna rapport är att sammanställa det aktuella kunskapsläget kring glimmer i obundna lager. Information om glimmer i asfalt finns med för att det finns information som kan vara relevant även för obundna lager. Målet är att utifrån denna rapport identifiera kunskapsluckor och definiera områden där ökad förståelse behövs om varför och på vilket sätt glimmer kan vara skadligt i obundna lager i vägkonstruktioner.

2 Glimmer i bergmaterial för vägbyggnation

Glimmer är ett vanligt mineral i den svenska berggrunden och kan på vissa platser finnas i höga halter. Glimmer är ett s.k. skiktasilikat som lätt spaltar upp i en riktning i tunna elastiska flak. Två vanliga glimmermineral är biotit och muskovit som ingår i skiktasilikatgruppen (mica-group på engelska). Normalt brukar även klorit räknas som ett glimmermineral i tekniska sammanhang även om det inte är ett glimmermineral utan tillhör klorit-gruppen (chlorite-group). Anledningen är att klorit har liknande egenskaper och ofta är sammanvuxna med glimmermineralen. Generellt är ballast som innehåller mycket glimmer ansedda som dåliga bergmaterial för användning som byggnads-material. Nedan sammanfattas information om glimmerproblematiken för ballast i obundna lager och asfalt som hittats i litteraturen. Det är mest svenska erfarenheter som hittats.

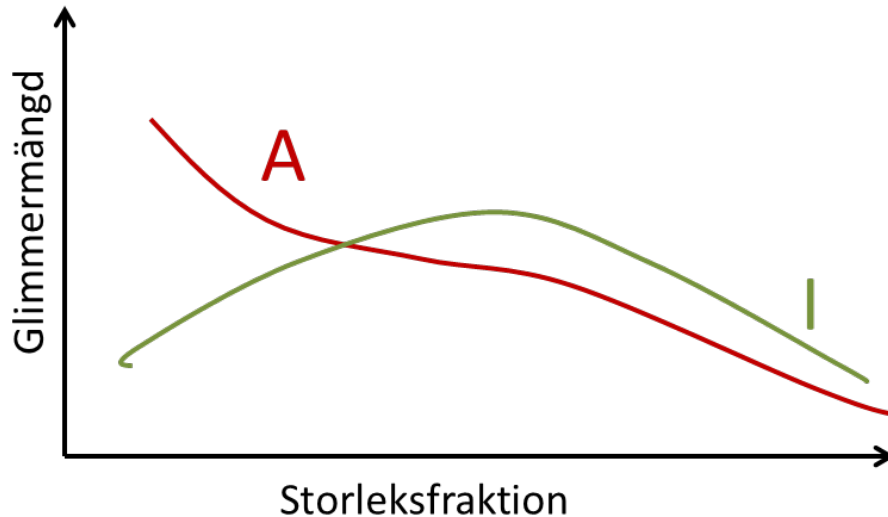
2.1 Glimmer i obundna lager

Obundna lager (bär- och förstärkningslager) med mycket glimmer får generellt försämrad beständighet (t.ex. Kondelchuk & Miskovsky 2009; Höboda 1987; Loorents & Kondelchuk 2009; Nieminen och Uusinoka, 1986). Främst anses vatten i kombination med glimmerrika material orsaka problem med bärighet och stabilitet (Uthus 2006; Ekblad 2007). Ekblad (2007) visar med triaxialförsök att ökad mängd glimmer och fukt har en stor inverkan på styvhetsmodulen. Ökad glimmermängd i fraktionerna < 4 mm ger en försämrad styvhetsmodul. Även andra undersökningar som t.ex. Höboda och Bünsow (1974) och Harris et al (1984) visar på liknande resultat från labbtester.

Kondelchuk (2008) visar att höga fria glimmerhalter (>30 %) i finfraktionen har större förmåga att absorbera vatten än prover med mindre mängd glimmer (<20 %). Resultaten visar att glimmer ökar förmågan att hålla kvar fukt i obundna lager. Detta kan uppenbarligen vara skadligt för beständigheten (bärighet, tjäle m.m.). Tidiga iakttagelser (Rengmark, 1947) visar att bärighetsproblem på grusvägar kan kopplas till höga glimmermängder. Orsaken tolkades att vara glimmermineralens förmåga att binda vatten. Höboda och Bünsow (1974) menar att friktionen mellan glimmermineral och andra skiktmineral minskar då de är fuktiga relativt andra mer kompakta mineral.

Statisk laboratoriepackning genom kompression visar att glimmerrika jordar ger upphov till fjädrande egenskaper och parallellorienterade glimmermineral (Tate och Larew, 1963). Dynamisk packning gav i samma studie högre bärighet och sämre mineralorientering. Glimmermineralens kornform och elastiska egenskaper är troligen orsaken till resultaten.

Vid krossning av glimmerrika bergarter bildas en egenfiller där glimmermineralen anrikas (Loorents & Kondelchuk 2009; Loorents, et al 2007; Lagerblad 2005; Miskovsky 2004). Loorents et al (2007) visar att det är en generell ökning av fri glimmer mot de finare fraktionerna. Denna studie visar att en topp återfinns i fraktionerna mellan 0,25–0,5 mm för att sedan åter öka i fraktionerna <0,063 mm vid krossning av grovkorniga granitiska bergarter. Lagerblad konstaterar en stadig ökning mot finare fraktioner med en topp i fraktionen 0,125–0,25 mm. Det är sannolikt att bergartstyp och dess mikrostruktur i kombination med krossningsteknik påverkar hur anrikningen av glimmer slutligen kommer att se ut. Kondelchuk (2008) har identifierat att anrikningen följer två trender ”I-isotrop” och ”A-anisotrop” (Figur 1).



Figur 1. Princip för anrikning av glimmer i krossat bergmaterial, A-anisotrop och I-isotrop (modifierad efter Kondelchuk, 2008)

Vatten ökar sin volym med 9 % i fryst tillstånd. Detta gör att jordar som innehåller vatten kommer att vara tjälfarliga. I princip är jord med hög kapillaritet mer tjälfarliga och har större tjällyftning då de kan suga upp vatten och transportera detta till tjälfronten. De mest tjälfarliga jordarna är siltjordar, som kapillärt kan suga upp vatten flera meter. Lerjordar har ännu högre kapillaritet än silt men dess porer är så små att uppsugningshastigheten begränsas och de kan inte transportera vatten i tillräcklig mängd för att skapa stora tjällyft. Detta gör att tjällyftningsförmågan är begränsad relativt silt. De har dock fortfarande en relativt hög tjällyftningsförmåga. Tjälskador på vägar med höga glimmermängder i bärlager är vanliga kanske p.g.a. av att glimmer ökar kapillariteten och kapillärsugningshastigheten. Konrad och Lemieux (2005) visar i laborietester att mängden lermineral har betydelse för tjälfarligheten i bär- och förstärkningslager. Labbförsök av Novikov (2008) på bärlagermaterial med varierande mängd fri glimmer i finfraktionerna (0,063–1 mm) visar att tjällyftningen ökar med ökande glimmermängder. De visar också att ökad mängd glimmer ger en ökad kapillaritet och transport av vatten. Vidare påpekar Novikov (2008) att påverkan av kapillaritet och sugförmåga börjar vid storleksfraktioner på fri glimmer som är mindre än 0,5–1 mm. Liknande iakttagelser har gjorts av Selmer-Ohlsen (1971). Lambe et al. (1969) visar att ljus glimmer är ett av de tjälfarligaste mineralen i praktiska tjällyftningsförsök. Andra faktorer som kan ha stor betydelse för tjällyftningen är också packning, storleksgradering kornstorlek på materialet.

Hellman et al (VTI notat i tryck 2013), Arvidsson och Hellman (VTI notat i tryck 2013) och Arvidsson (2011) har visat att spårdjups utveckling på trafikerade obundna bärlager med mycket glimmer inte nödvändigtvis är sämre än glimmerfattiga. Testerna gjordes på 9 olika bergmaterial med olika mängd glimmer och mekaniska egenskaper (Los Angeles och Micro Deval). Spårdjupsutvecklingen mättes med HVS (Heavy Vehicle Simulator) i syfte att simulera nedbrytningen av bergmaterial av tung trafik under byggskedet. Testerna gjordes under förhållandevis torra förhållanden vilket kan förklara resultaten. Det är möjligt att höga glimmermängder ger upphov till dålig bärighet först när fuktigheten går över en viss nivå.

2.2 Glimmer i asfalt

Om glimmerrika bergarter används som ballast i en asfaltsbeläggning kan detta ge upphov till försämrade funktionsegenskaper som t.ex. dålig slitstyrka i slitlager (Hakim och Said, 2003; Höbeda, 2002; Höbeda 1969). Flakiga, ofta stängliga korn bildas vid krossning av bergarter där glimbern är orienterad och bildar sammanhängande skikt i moderbergarten. Dessa skikt bildar brottanvisningar och mineralet ger dessutom upphov till försvagad vidhäftning till bitumen eftersom det kan spalta upp mekaniskt i partikelytan (Höbeda, 2002). Användning av filler med hög andel fri glimmer ger helt nya förutsättningar för proportionering av asfaltmassan (Said et al, 2009; Hakim och Said, 2003). Detta beror på att glimmer har en betydligt större volym än filler (granitiskt ursprung) med låg glimmerhalt (Figur 2). Den specifika ytan ökar. Vid tillverkning av asfaltmassa måste man ta hänsyn till detta genom att öka bindemedelsmängden. Glimmer gör dessutom asfalten mer svårpackad p.g.a. av glimmerns flakiga kornform och elasticitet.



Figur 2. Bilden visar skillnad i volym mellan filler (granitiskt ursprung) och glimmer.

Flera undersökningar (t.ex. Hakim och Said, 2003; Höbeda 1988, Höbeda 2000; Barksdale et al 1992) visar att glimmer påverkar beständigheten på asfalt. Hakim och Said (2003) har gjort försök som visar att styvhetsmodulen efter vinterkonditionering (frys-tö) försämras vid så låga halter som 1 % glimmer. Det finns också en risk att glimmerrik ballast sönderfaller p.g.a. av termiska spänningar vid upphettning i asfaltverk (Höbeda 1988).

Vidhäftningen mellan glimmerkorn och bitumen är också dålig (Nieminen och Uusinoka, 1986). Speciellt dålig anses vidhäftningen till muskovitglimmer vara (Höbeda 2002).

Finandelen definieras normalt som material med kornstorlek mellan 0,063–2 mm. I detta intervall är det vanligt med fria glimmerkorn (d.v.s. kristaller som inte är del av

bergartsfragment). Fria glimmerkorn försvårar packning och kan ge upphov till sprickanvisningar. Glimmerns spaltbarhet och fjädrande egenskap är orsaken. Vid packning tenderar också kornen att orientera sig vinkelrät mot packningsriktningen d.v.s. parallellt med ytan. Detta kan ge upphov till svaghetsplan (skjuvplan) som i sin tur kan ge upphov till vågbildning och korrugeringar under trafiklast. Skador på väg U553 kunde kopplas till höga glimmermängder i asfalten (Jacobsson och Horwall, 1999).

I vissa fall har det observerats att glimmer har ansamlats och orienterat sig mellan olika asfaltslager med dålig vidhäftning som följd (Höboda 2002).

Ett stort problem är att glimmerhalten kan variera i stenmaterialet och därmed skapa problem genom att egenskaperna på massan förändras d.v.s. bitumenbehovet förändras med mängden glimmer i stenmaterialet. Hög andel glimmer i finandelen ökar den specifika ytan. Detta gör att bindemedelsbehovet totalt sett ökar. Ett annat problem är att glimmern har förmågan att lätt separeras och ansamlas ojämnt i ballastmaterialet. Detta kan hända vid transporter och hantering av ballast vid produktion av asfaltmassa. Då finns det risk att de färdiga asfaltslagren får partier med blödningar då glimmerhalten är låg och partier med för lite bindemedel (torr och styv massa) då glimmermängden är hög. För att motverka detta måste man ha god kontroll under hela produktionen och ha goda rutiner.

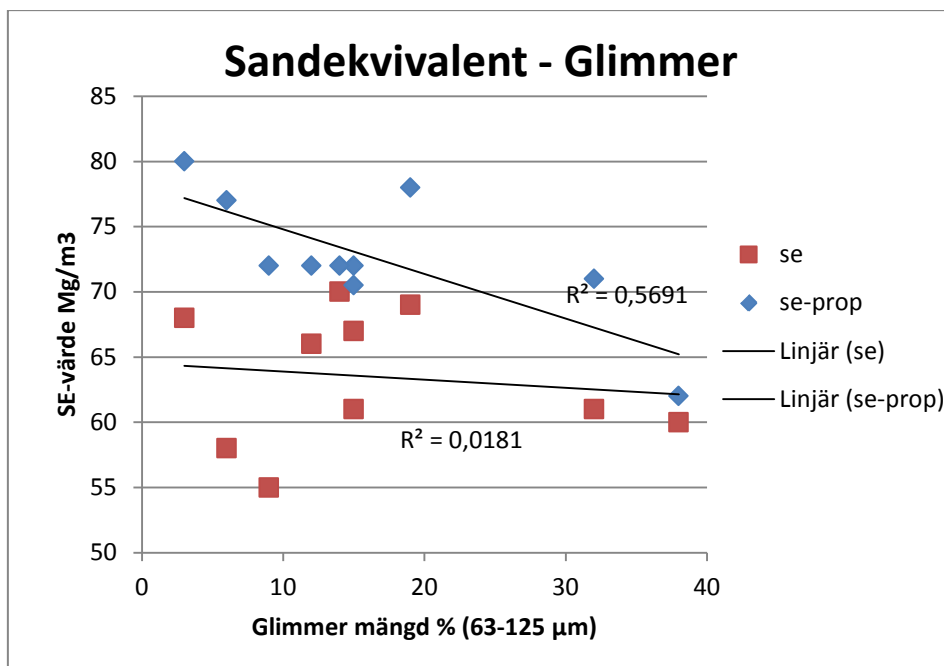
3 Krav på glimmermängd i ballast.

Nedan ges information om de krav som Trafikverket ställer på ballast när det gäller glimmer i obundna lager respektive asfaltlager.

3.1 Ballast för Obundna lager

De sämsta bergartsvarianterna döms i regel ut genom mekaniska tester som Los Angeles- och Mikrodevalprovning då glimmerrika bergarter ofta har sämre mekaniska egenskaper. De riskerar att inte klara kraven i Trafikverkets regelverk TRVKB 10 för levererat material för obundna lager (Tabell 1). Ibland stämmer inte detta då glimmermineralen kan ha en dämpande effekt under provningen och materialet klarar sig bra trots hög glimmerhalt. Vid användning som obundna lager finns ett krav på maximal mängd glimmer. Levererat bergmaterial till bärlager får maximalt innehålla 50 % glimmer bestämt enligt VVMB 613 på fraktion 0,125–0,25 mm. Om andelen fri glimmer är mellan 30 och 50 %, får bärlaget inte trafikeras av tung trafik. Glimmerhalten ska enligt TRVKB 10 bestämmas minst en gång per år men kan reduceras till ett prov vart femte år om andelen fri glimmerhalten ligger under 15 % vid tre på varandra följande provtagningar.

Det finns även ett krav på sandekvivalent test på finmaterial kvalitén i TRVKB 10 (Tabell 1). Om finmaterialhalten är större än 5,0 %, ska finmaterialkvaliteten deklarerats enligt SS-EN 13242 med sandekvivalentvärdet (SE) enligt SS-EN 933-8 och ska vara minst 35 för levererat bärlager och minst 30 för förstärkningslager. Metoden är relativt enkel att utföra och mäter förekomst av lermineral. SE-analysen sker på 0/2 mm material. Noggrannheten är tillräcklig för en indikation av förekomst av skadliga lermineral. Ett högre värde indikerar ett lägre lerinnehåll i finfraktionen. Höboda och Chytla (1999) menar att metoden inte bara ger utslag på skadliga lermineral utan även i viss omfattning kan ge utslag på finkornhalten. För att undvika detta har metoden (SS-EN 933-8) nyligen reviderats. Förändring ligger i att man proportionerar kornkurvan så att finmaterialandelen (<0,063 mm) är max 10 % av analyserat material. Förändringen gör att metoden blir mer känslig för kvalitén på finkornmaterialet. Enligt Kondelchuk och Miskovsky (2009) korrelerar proportionerat SE-värden linjärt med mängden glimmer i finfraktionen. Viman (2011) presenterar olika laboratorieanalyser av tio olika filler. Genom att plotta dessa SE-värden (både proportionerade och enligt gamla standarden) och uppmätta glimmermängder kan man konstatera att sambandet i Kondelchuk och Miskovsky (2009) kan verifieras (Figur 3). Det kan också konstateras att det inte finns några starka samband mellan glimmermängd och det gamla sättet att mäta SE. Övriga laboratorieanalyser presenterade av Viman (2011) är Kordensitet, Blåvärde, Rigden och Specifikyta (BET, Blain). Av dessa har Rigden ($R^2=0,49$) och specifikyta (blain $R^2=0,33$) visst samband med glimmermängden. Övriga visar på inga eller mycket svaga samband.



Figur 3. Korrelation mellan sandekvivalent och glimmermängd (data hämtat från Viman 2011).

3.2 Ballast för Asfalt

Det finns inget direkt krav på mängden glimmer i ballast för asfaltsanvändning. I gamla Vägverkets regelverk BYA 86 fanns ett krav på max 10 % glimmer för ballast till asfaltsanvändning. Detta krav avskaffades dock i senare regelverk från Trafikverket då det var svårt att enas om en metod som rättvist mäter glimmermängden i ballastmaterial. Även vetenskapen om att många etablerade täkter skulle underkännas spelade in. I Schweiz finns en norm från 1980 som begränsar glimmer i asfaltsbeläggningar (Tabell 2). Där gör man skillnad på grov och fin glimmer. Även klorit, talk och lerskiffer inkluderas. Den grövre har lägre toleranser. I asfalt för slitlager accepteras ingen glimmer över 3 mm och 2 % finkornig glimmer. I bindlager accepteras 2 % grovkornig (>3 mm) och 5 % finkornig glimmer.

Tabell 1 Trafikverkets krav på levererat material enligt TRVKB 10 obundna lager

	Belagd väg		
	Bärlager	Förstärkningslager	Skyddslager
Krossytegraden (SS-EN 933-5)	> 50 % brutna ytor ≤ 30 % rundade ytor	> 50 % brutna ytor ≤ 30 % rundade ytor	
Nötning (MDE MikroDeval, SS-EN 1097-1)	<20 (trafik) <25 (ej trafik)	<20 (trafik) <25 (ej trafik)	
Motstånd mot fragmentering (LA Los Angeles, SS-EN 1097-2)	<40		
Finmaterialkvalité (Sandekvivalent, SS-EN 933-8:2012)	>35 Om finmaterialhalten ≥ 5 %	>30 Om finmaterialhalten ≥ 5 %	
Packningsegenskaper (modifierad Proctor, SS-EN 13286-2)	Ja		
Petrografi (Förenklad petrografi SS-EN 932-3) och fri glimmer (VVMB613, fraktion 0,125–0,25 mm)	Beskrivning och Fri glimmer <30 %, <50 % (ej trafik)		
Organisk halt (SS-EN1744-1 och SS 027107)	Ja	Ja	Ja
Kornstorleks-fördelning (SS-EN 13285)	Finmaterial 0–0,063 mm < 7 %	Finmaterial 0-0,063 mm < 7%	Finmaterial 0-0,063 mm < 9 %

Tabell 2 Schweiziska krav på glimmermängd (från Höbeda 2002)

SN 670710 d

Tabella 1:
Zulässige Höchstmenge an petrographisch ungeeigneten Körnern

Tableau 3:
Teneurs maximales en éléments impropres du point de vue pétrographique

Petrographisch ungeeignete Körner Éléments impropres du point de vue pétrographique	Zulässige Höchstmengen im Gesamtgemisch Teneur maximale admissible par rapport à la totalité du mélange		
	Bituminöse Beläge Revêtement hydrocarboné Deckschichten Couche de roulement	Tragschichten Couche de support	Betonbeläge* Revêtement en béton*
a) Grobe Glimmerblätter > 3 mm [Masse-%] a) Plaquettes de mica grossières > 3 mm [% de la masse]	0	2	2
b) Feine Glimmerblättchen, Glimmer-, Chlorit-, Talk- und Tonschiefer [Masse-%] b) Paillettes de mica, schistes à mica et à chlorite, schistes talqueux et argileux [% de la masse]	2	5	5
c) Grobkristalliner Kalkspat, weiche Molassesandsteine, Mergelkalle, stark poröse sowie verwitterte, mürbe Körner [Masse-%] c) Calcite à gros cristaux, grès molassiques tendres, calcaires marneux, grains très poreux et très altérés [% de la masse]	6	10	6

* In Grenzfällen sind die Ergebnisse der Betonprüfung für die Eignung der Kiessande massgebend

* Aux limites, les résultats des essais sur béton sont déterminants

4 Slutsatser

Skador kopplade till glimmer och även andra ballastrelaterade egenskaper kan vara svåra att förstå orsaken till eftersom det ofta är flera faktorer som samverkar och ger upphov till skador. Därför behövs både laboratorieförsök och uppföljning av kända vägsträckor. Två viktiga faktorer när det gäller skador på vägar orsakade av höga glimmermängder som kan identifieras från litteratur och erfarenheter är:

1. Fukt – hög glimmer i kombination med fukt ger högre risk för skador som sämre bärighet och sämre spårdjupsutveckling
2. Tjälskador-hög glimmermängd försämrar tjältåligheten och ökar risken för skador

4.1 Fortsatta undersökningar

Genom att följa upp vägar med obundna lager och kända glimmermängder kan man få en god uppfattning om deras långtidsutveckling. Faktorer man kan följa upp är spårdjupsutveckling och underhållsbehov. PMS-V3 kan användas för att följa tillståndsutvecklingen och åtgärder som gjorts.

Vald kornkurva har sannolikt en stor betydelse för egenskaperna på obundna lager med stor mängd glimmer. Genom att göra laboratorieförsök kan man prova fuktens inverkan på olika kornkurvor och bestämd mängd glimmer. Bärighet och stabilitet kan provas med Triaxial-försök, spårdjupsutveckling kan provas med "Wheel Track" och glimmerns inverkan på tjältålighet kan provas med utrustning för test av tjällyftningsegenskaperna (VTI:s utrustning är dock trasig). En viktig fråga att utreda är om man kan acceptera material med höga glimmerhalter i vissa sammanhang.

Referenser

- Arvidsson, H. 2011. Jämförelse mellan Los Angeles-värde och nedbrytning från hjullast. VTI notat 4-2011 (www.vti.se/publikationer)
- Arvidsson, H. och Hellman, F. 2013. Jämförelse mellan mekaniska egenskaper och nedbrytning av hjullast, del 2. VTI notat 29-2013 (www.vti.se/publikationer)
- Barksdale, R. D, Pollare, C.O. Siegel, T. och Modeller, S. 1992. Evaluation of effects of aggregate on rutting and Fatigue of Asphalt. FHWA-GA-92-8812, Final report 1992.
- Ekblad J., och Isacson U. 2008 Influence of water and mica content on resilient properties of coarse granular materials, International Journal of Pavement Engineering, 9:3, 215-227
- Ekblad J., 2007 Influence of Water on Coarse Granular Road Material Properties, KTH, Stockholm, Sweden,
- Hakim, H. and Safwat, S., 2003. Glimmer i bitumenbundna beläggningar, VTI Notat 8-2003, VTI Linköping
- Harris, W.G., Parker, J.C. and Zelaszny, L.W., 1984 Effect of mica content on engineering properties of sand. Soil Sci. Soc. Am. J., 48(3), 50–505.
- Hellman, F., Appelquist K., Arvidsson, H., Brander L., 2013. Nedbrytning av obundna material genom hjullast från byggtrafik– HVS (Heavy Vehicle Simulator) och bergmaterialanalys VTI notat 28-2013. (www.vti.se/publikationer)
- Höboda, P. och Chytla J. 1999. Materialegenskaper på material som vållat problem. VTI notat 60-1999.
- Höboda, P. and Bünsow, L., 1974. Inverkan av glimmer på packnings och bärighetsegenskaper hos berggrus, Rapport Nr. 55-1974 VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
- Höboda, P 2002. Glimmerrika stenmaterial i asfaltbeläggning. Bilaga 1 i Hakim, H. and Safwat, S., 2003. Glimmer i bitumenbundna beläggningar, VTI Notat 8–2003, (www.vti.se/publikationer)
- Höboda, P., 1988. Inverkan av stenmaterialalets finandel på egenskaperna hos asfaltmassa – en litteraturstudie, VTI Notat V73-1988 .
- Höboda, P., 1969. Bergmaterial till vägbyggnad. Specialrapport 84.
- Höboda, P., 2000. Testing the durability of asphalt mixes for severe winter conditions. Proceedings of Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona.
- Jacobson, T, Hornwall, 1999. F: Skadeutredning – väg U553, Dingtuna. VTI Notat 42-1999.
- Kondelchuk, D. 2008. Studies of the Free Mica Properties and its Influence on the Quality of Road Constructions. Luleå University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering LICENTIATE THESIS. 2008:26.

- Kondelchuk, D. and Miskovsky K., 2009. Determination of the Test Methods Sensitive to Free Mica Content in Aggregate Fine Fractions. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 18:282–286
- Konrad, J.-M. & Lemieux, N. 2005. Influence of fines on frost heave characteristics of a well-graded base-course material. *Canadian geotechnical journal*, 42, 515-527.
- Lagerblad B (2005) Krossat berg som ballast till Betong, Slutrapport. MinBas projekt nr 2,2 Framtida betong–Delprojekt 2,23 Utnyttjande av alternativa typer av ballast i betong. MinBas Område 2, Rapport 2:19, Stockholm
- Lambe, T.W., Kaplar, C.W., Lambie, T.J. 1969. Effect of mineralogical composition of fines on frost susceptibility of soils. Corps of Engineers US Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Techn. Rep. 207.
- Loorents, K-J., Johansson, E. and Arvidsson, H., 2007. Free mica grains in crushed rock aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 441–447.
- Loorents K-J., Kondelchuk D., 2009. Trends of enrichment of free mica grains in crushed rock aggregates *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 68:89–96
- Nieminen, P., Uusinoka, R. 1986. Influence of quality of fine fractions on engineering geological properties of crushed aggregates, *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 33(1), Paris, April 1986, pp. 97-101(5)
- Novikov E. 2008. The behavior of mica-rich aggregates under the temperate climate conditions Luleå University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering LICENTIATE THESIS, 2008:25
- Miskovsky, K., 2004. Enrichment of fine mica originating from rock aggregate production and its influence on the mechanical properties of bituminous mixtures. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 13 (5).
- Rengmark, F. 1947. Om den mineralogiska sammansättningens betydelse för vägarnas bärighetsförhållanden. *Svenska Vägföreningens Tidskrift* nr 4, 1947.
- Said, S. F., Loorents, K-J and Hakim, H. 2009. Impact of mica content on water sensitivity of asphalt concrete. *International Journal of Pavement Engineering*, 10:1, 1-8
- Selmer-Ohlsen, R. 1971. Mineralogins betydning för kapillariteten. *Frost I Jord* H. 2, 1971.
- SS-EN 933-8:2012. Ballast Geometriska egenskaper-Del 8: Bestämning av finmaterial-Sandekvivalentprovning.
- Tate B.D. och Larew, H.G. 1963. Effect of structure on resilient rebound characteristics of soils in the piedmont province of Virginia. *Highway Research Record* nr 39, 1963.

TRVKB 10 Obundna lager Trafikverkets Krav Beskrivningstexter för
Obundna material i vägkonstruktioner TRV 2011:083 TDOK 2011:265
www.trafikverket.se

Uthus L., et al., 2006 A Study on the Influence of Water and Fines on the
Deformation Properties and Frost Heave of Unbound Aggregates, Cold
Regions Engineering, Norway

Viman L. 2011. Laboratorieanalyser av filler – Prover från täkter i norra
Norrland. VTI notat 24-2010.

VVMB 613 Bestämning av glimmerhalt i materialets finfraktion 613
2001:100

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.

