

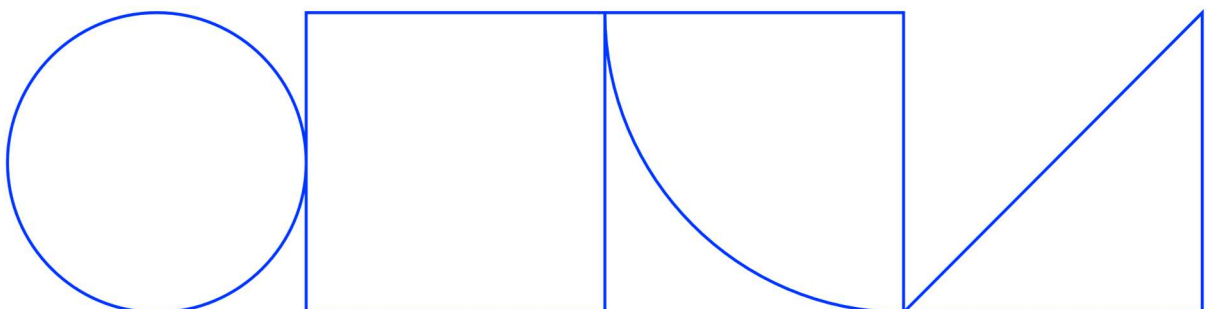
Grusslitlager och stödremsa med filler från asfalttillverkning

Håkan Arvidsson, Peter Martinsson
VTI, Swerock AB

2025-01-31

SWEROCK

vti



Förord

Detta har varit ett projekt som har undersökt möjligheten att förbättra bristfälliga material till gruslitlager (och stödremsa) med överskottsfiller från asfalttillverkning.

Detta projekt har finansierats av Trafikverket, SBUF, Swerock (Peab) och VTI.

Håkan Arvidsson, VTI, och Peter Martinsson, Swerock, är projektledare, utförare och huvudförfattare.

Linus Brander, Swerock, har bidragit med petrografi och geologiska beskrivningar.

Dessutom har Jerker Carlström, Swerock och Marcus Johansson, Peab, haft betydande roller.

Kontaktperson från Trafikverket var initialt Maria Arm, en roll som sedan övertogs av Roger Nilsson.

Vi har tagit hjälp av kollegor på våra väglaboratorier på VTI och Peabasfalt samt för geotekniska analyser av SGIs jordlab. VTIs personal på enheten för Drift och underhåll har utfört mätningar med mätbil (RST).

Foton som publiceras i denna rapport har tagits av författarna.

Tack alla som bidragit till projektet, såväl nämnda som onämnda.

Januari 2025

Håkan Arvidsson & Peter Martinsson

Sammanfattning

Denna rapport undersöker problematiken kring materialegenskaper hos grusslitage, som numera huvudsakligen tillverkas av material från bergtäkter istället för morän och grustäkter. Denna förändring har bidragit till att 70–80 % av de levererade materialen inte uppfyller Trafikverkets kravspecifikationer, främst på grund av brist på finmaterial och lera. Finmaterial är avgörande för att säkerställa stabilitet, täthet, bundenhet och motstånd mot yt-uppmjukning hos grusslitage och stödremor.

Ett överskott av filler, uppstår vid produktion av asfaltmassor. Detta överskott hanteras vanligtvis genom deponering eller blandning i grova sorteringar. För att främja hållbart byggande och resurseffektivitet föreslås att överskottsfillern används för att kompensera för den låga finmaterialhalten i bergkross till grusslitage.

Projektets syfte är att undersöka hur funktionen hos grusslitage förändras med olika inblandningsnivåer av överskottsfiller från asfaltverk. Målet är att bidra med kunskap för revidering befintliga krav om resultaten visar på tillräcklig eller förbättrad funktion. Dessutom ska projektet leda till en kostnadseffektiv produktionsmetod för inblandning av filler, säkerställa jämn variation av fillerhalt och homogeniserade produkter.

Metodiken innefattar laboratoriestudier och fältförsök. Flera bergtäkter med olika mineralogisk sammansättning valdes för att öka validiteten av resultaten. Målet var att proportionera material för att uppfylla Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning för grusslitage. Packningsegenskaper, bärighet och täthet testades enligt standardiserade metoder.

Laboratoriestudier visade att undersökta grusslitagematerial utan inblandning av filler inte uppfyller Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning. Däremot kunde vissa grusslitagematerial, genom inblandning av filler, justeras så att de uppfyllde de ställda kraven.

Packningsegenskaperna visade att den optimala vattenkvoten var omvänt proportionell mot finmaterialhalten. Bärighetsmätningar visade att grusslitagematerial utan fillerinblandning generellt hade högst bärighetsvärde. Permeabilitetsmätningar visade att inblandning av filler minskade materialens genomsläpplighet, vilket innebär ett bättre motstånd mot vatteninträngning och yt-uppmjukning.

En produktionsmetod utvecklades för att hantera filler med befintlig produktionsutrustning i bergtäkter. Metoden innefattar inblandning av fuktig filler i material i storleksfraktionen 0/150 med hjullastare, följt av krossning och siktnings till 0/16 storlek. Fullskaleförsök visade att den ökade andelen fillerfraktion i den färdiga 0/16-produkten var proportionell mot den inblandade mängden filler. Vidare påvisades att produktionsmetoden gav ett väl homogeniserat grusslitagematerial.

Fältstudier genomfördes på väg 2227 i Dalsland där olika materialblandningar användes för grusning av teststräckor. Tillståndsbedömningar visade att sträckorna generellt var i bra skick efter ett års drift. Mätningar med mätbil visade att ingen signifikant skillnad kunde observeras avseende löst grus eller ojämnheter mellan sträckorna med olika fillerhalt. Slutbesiktningen visade att sträckorna med filler hade en något bättre bunden yta och färre potthål.

Innehåll

1. Introduktion.....	5
1.1. Syfte.....	5
2. Metodik.....	7
2.1. Val av försöksmaterial	7
2.2. Laboriestudie	7
2.3. Petrografisk sammansättning	7
2.4. Proportionering.....	8
2.5. Kornstorleksfördelning.....	8
2.6. Packningsförsök – modifierad Proctor.	8
2.7. Bärighet med CBR.	8
2.8. Täthet.....	9
2.9. Produktion.....	9
2.10. Fältstudie	10
2.11. Val av teststräcka	10
2.12. Utförande	11
2.13. Uppföljning	11
3. Resultat	13
3.1. Laboriestudie	13
3.2. Materialbeskrivning, petrografi.....	13
3.3. Kornstorleksfördelning.....	14
3.4. Packningsegenskaper	17
3.5. Bärighetsegenskaper.....	17
3.6. Permeabilitet	18
3.7. Produktion.....	19
3.8. Åtgärder för att begränsa partikelemissioner från filler.....	19
3.9. Produktionsmetod	19
3.10. Fältstudie	23
3.11. Provtagning av befintliga material.....	23
3.12. Anläggning av teststräckor	26
3.13. Tillståndsbedömningar	27
4. Slutsatser	39
4.1. Produktionsmetod	39
4.2. Laboriestudier	39
4.3. Fältstudier	40

4.4.	Fortsatt arbete.....	41
5.	Litteratur/referenser	43
	Bilaga 1, Materialfoton	44
	Bilaga 2, Resultat lab.....	46

1. Introduktion

Det material vi använder till stödremсор och grusslitleger har inte den funktionalitet som det borde ha. Materialkraven på stödremсор och grusslitleger togs fram när de tillverkades från morän och grustäkter. Numera tillverkas stödremсор och grusslitleger huvudsakligen av material från bergtäkter. Detta material har inte samma funktionella egenskaper som de gamla materialen.

De viktigaste funktionerna för att ett material ska fungera som stödremсор och grusslitleger är att materialet har följande egenskaper:

- Stabilitet, motstånd mot brott och spårbildning
- God täthet (Permeabilitet)
- Bundenhet (damning, korrugering, potthål)
- Motstånd mot yt-uppmjukning

En inventering av de stödremсор som Trafikverket lägger ut i framför allt underhålsbelägningsprojekt har genomförts och det visade att 70-80 % av de levererade materialen inte uppfyller ställda krav på finmaterialhalt. Främsta orsaken är att materialet ofta tillverkas av berg med god nötningsresistens vilket ger för lite finmaterial och ingen lera. Det krävs vanligtvis en iblandning av finmaterial för att krossat berg ska uppfylla Trafikverkets kravspecifikation avseende finmaterialhalt. Finmaterialet ger täthet hos ett grusslitleger eller stödkant. Finmaterialet är viktigt för bundenheten hos materialet. Dvs förhindra löst grus på vägytan. Finmaterialet ger också ett grusslitleger fukthållande egenskaper som motverkar damning.

Vid produktion av asfaltmassor uppstår överskott av fyller där merparten av partiklarna är mindre än 0,063 mm. Detta överskott är svårt att hitta avsättning för. Överskottet av fyller kan från ett asfaltverk uppgå till 10 000 ton per år. Överskottet hanteras vanligtvis genom att det deponeras, används inom täktområdet eller blandas in i grova 0-sorteringar. Blandas fyller in i material till förstärkningslager kan detta leda till en försämring av funktionen hos lagret.

För ett mer hållbart byggande av anläggningsinfrastruktur behövs ett mer resurseffektivt nyttjande av detta överskott. Möjligheten att använda överskottet för att kompensera för den låga finmaterialhalten i bergkross till stödremсор och grusslitleger är en möjlighet som behöver utredas tekniskt. Inblandning av fyller görs inte idag. Bidragande orsak till detta är att fyller från asfaltverk i varierande grad innehåller partiklar större än 0,063 mm. Vilket gör det svårt att proportionera en produkt som överensstämmer med kraven för kornstorleksfördelning ställda på grusslitleger och stödremсор i Obundna lager för vägkonstruktioner, TDOK 2013:0530."

Hantering av fyller från bergmaterial är en vanlig del av produktionsprocesserna inom betong- och asfaltindustrin. För att hantera och dosera fyller används exempelvis transportskruvar, matare, blåssystem och fillersilos. Dessa system möjliggör en exakt dosering av torr fyller i slutprodukten. Hantering av torr fyller kräver slutna system för att minimera partikelemissioner.

En nackdel med den särskilda utrustningen för hantering och dosering av fyller är att den innebär betydande investeringar, vilket i slutändan påverkar kostnaden för slutprodukten. För att inblandning av fyller i grusslitleger ska vara ekonomiskt hållbar, behövs en metodik som kan utföras med befintlig utrustning i en bergtäkt eller med en minimal investering i ny produktionsutrustning. Metodiken måste också erbjuda tillräcklig precision i doseringen av fyller för att säkerställa att grusslitlegets kornstorleksfördelning ligger inom kravgränserna.

1.1. Syfte

Resultatet ska leda till kunskap om hur funktionen hos material till grusslitleger och stödremсор förändras med olika inblandningsnivåer av överskottsfyller från asfaltverk. Kunskapen kan

användas som underlag för att revidera befintliga krav i det fall resultatet visar på att tillräcklig eller förbättrad funktion erhålls genom inblandning. Leverantörer av ballast kan omsätta kunskapen till praktisk handling genom att nyttiggöra överskottet av finmaterial på ett bättre sätt. Projektet ska leda till kunskap om en kostnadseffektiv produktionsmetod för inblandning av filler. Metoden för inblandning ska säkerställa en tillräckligt jämn variation av fillerhalt och väl homogeniserade produkter.

Projektet förväntas leda till förbättrad funktion hos grusslitlager och stödremsor med avseende på trafiksäkerhet, framkomlighet, komfort och kostnader för drift och underhåll. Genom ett bättre nyttiggörande av överskott av filler från asfalttillverkning minskar också uttaget av jungfruligt berg. Projektet förväntas leda till samhällsnytta för väghållare och trafikanter. Samhällsnytta ges även genom hållbarare resursanvändning vid tillverkning av ballast och asfalt.

2. Metodik

Här beskrivs den metodik som använts i projektet. Det är beskrivningar för hur valdes lämplig produktionsmetod, de metoder och standarder som använts vid laboratoriestudierna och uppföljningen av fältförsök.

2.1. Val av försöksmaterial

För denna studie valdes bergmaterial som är representativt för den ballast som används vid tillverkning av asfaltmassor. Detta innebär material med god till mycket god beständighet mot nötning. För att öka validiteten av resultaten för olika typer av bergmaterial, valdes material från fyra täkter med olika mineralogisk sammansättning. Materialens mineralogiska sammansättning och egenskaper beskrivs i avsnitt Materialbeskrivning, petrografi. Gemensamt för samtliga material är att de används som ballast vid tillverkning av asfalt.

Fillern som användes i studien togs ut från asfaltverk efter tillverkning av asfaltmassor med samma bergmaterial som de undersökta täkterna. Detta säkerställer att fillern har samma ursprung som ballasten, vilket är av betydelse för att erhålla resultaten som är jämförbara och relevanta.

Proportioneringen av målkurvorna baserades på Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning för grusslitage, enligt specifikationen TDOK 2013:0530 för obundna lager i vägkonstruktioner. Målkurvorna valdes så att kornstorleksfördelningen låg mitt i eller över kraven för passerande mängd på 0,063 mm sikten. För sortering 0/16 utan inblandning förväntades den passerande mängden på 0,063 mm sikten vara under kravet för minsta passerande mängd. Dessa oblandade prover fungerade som referensmaterial för att visa levererat grusslitage material typiska egenskaper.

Proverna i denna rapport kommer att benämnas med bokstäverna A-D som kod för de olika täkterna. Benämning för blandningarna kommer att benämnas i förhållande till kravzonen; under, mitt eller ovan enligt följande:

- **0/16:** för ursprungligt material utan filleriblandning. Finmaterialhalt ca 6-7%.
- **Mitt:** för filleriblandat material som proportionerats att hamna mitt i mellan max.- och min.-kraven för grusslitage (gsl). Finmaterialhalt ca 11-12%.
- **Ovan:** för filleriblandat material som proportionerats att hamna ovan maxkraven för grusslitage. Finmaterialhalt ca 16-17%.

2.2. Laboratoriestudie

I laboratoriestudien har material av ursprunglig sortering och proportionerade material med högre finkornhalter använts. De har sedan testats med standardiserade metoder för kornstorleksfördelning, packningsegenskaper, bärighet och täthet.

2.3. Petrografisk sammansättning

Den petrografiska sammansättningen för respektive prov bedömdes efter en förenklad variant av SS-EN 932-3, med fokus på dominerande bergart(er). Ett prov av sortering 0/16 erhöles från vardera täkten; material <8 mm tvättades bort och fraktion 8–16 mm undersöktes okulärt med avseende på dominerande bergart(er) i respektive prov.

2.4. Proportionering

Vid val av metodik för proportionering av material till laboratoriestudien beaktades syftet att leverantörer av ballast kan omsätta kunskapen till praktisk handling genom att nyttiggöra överskottet av finmaterial på ett bättre sätt. Därför eftersträvades realistiska förhållanden vid produktion av grusslitlegermaterial. Att fraktionsvis proportionera en ideal kurva ansågs därför inte ligga i linje med syftet för denna studie. Detta eftersom blandning av flera sorteringar inte bedömdes vara praktiskt tillämpligt i en fullskalig produktion.

Med hjälp av kornstorleksfördelningen för de olika materialen beräknades recept för målkurvorna. Därefter blandades två sorteringar (filler och 0/16) enligt dessa beräknade recept. För att säkerställa homogenisering av blandningen roterades provet 50 varv i en LA-trumma.

2.5. Kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningen bestämdes med tvättning och mekanisk siktning enligt SS-EN 933-1. Kornstorleksfördelning beskriver hur stora korn det är i materialet och hur stor andel av materialet som är i ett visst storleksspann. Kornstorleksfördelningen har stor inverkan på ett grusslitlegers funktionella egenskaper.

2.6. Packningsförsök – modifierad Proctor.

Packningsegenskaper har bestämts enligt SS-EN 13286-2. Som input för packning av bärighets- och permeabilitetsförsök behövs optimal vattenkvot. Den vattenkvot man har vid den maximala torra skrymdensiteten efter en serie instampningsförsök ger den optimala vattenkvoten.

Packningscylinderns volym (för 0/16 mm) är 0,94 liter (diameter 100 mm, höjd 120 mm).

Modifierad Proctor innebär en packningsenergi på 2,7 MJ/m³ som regleras med 5 lager som packas med 25 slag per lager. Packningen sker med en stamp med diameter 50 mm, vikt 4,5 kg och fallhöjd 46 cm.

2.7. Bärighet med CBR.

Bärighetsmätning med CBR har bestämts enligt SS-EN 13286-47. Ett prov packas in enligt modifierad Proctor med optimal vattenkvot i en cylinder med diameter 150 mm och provhöjden 120 mm som ger volymen 2,1 liter. Provet belastas sedan med en stämpel/stamp (med diameter 50 mm) i centrum som trycks ned med hastigheten 1,27 mm/minut (Figur 1). Kraften som krävs för 2,5 mm respektive 5,0 mm nedsjunkning bestäms och sätts i relation till 13,2 kN (för 2,5 mm) respektive 20 kN för (5,0 mm). CBR-värdet är det högsta procentvärdet för dessa relationer. CBR står för California Bearing Ratio.



Figur 1. Foto på belastningsutrustning till vänster och provyta efter belastning efter CBR-försök.

2.8. Täthet

Permeabiliteten har bestämts i rörpermeameter enligt SS 027111. Provmaterialet har packats med optimal vattenkvot i en cylinder med en bottenplatta försedd med filtersten och kopplingsanordning för vattenslang. Efter avjämning av provets överdel, monteras en motsvarande toppplatta (med filter och koppling) på cylinderns överdel.

Vatten med en gradient (tryckskillnad) kopplas till provcylinderns över- respektive underdel och tillåts strömma genom provet. Vattenflödet bestäms genom att väga utströmmad mängd vatten och notera tiden mellan bestämningarna. Med hjälp av gradienten och flödet bestäms permeabiliteten.

Ju högre värde för permeabiliteten desto permeablare material, dvs. det är mer genomsläppligt, och omvänt ju lägre värde desto tätare är materialet. (*Resultat avrundas ofta till närmaste tiopotens t.ex. 10^{-6} m/s*)

2.9. Produktion

En workshop genomfördes vintern 2023 där de viktigaste aspekterna för produktionsmetoden diskuterades. Följande aspekter identifierades:

- Damningsproblematik från hantering av filler.
- Produktionskostnad.
- Hantera fuktig filler som lagrats utomhus.
- Kvalitet på färdig produkt – variation och homogenitet.

Vidare diskuterades en föreslagen principiell metodik för inblandning av filler baserat på de identifierade aspekterna. Metodiken utvecklades genom en intervju med platschef inom bergmaterialproduktion (Carlström, 2023) och antogs som en hypotes för att adressera de identifierade aspekterna i produktionsmetoden. Identifiering av lämpliga åtgärder för att minska damning genomfördes genom en litteraturstudie.

Produktionsmetodens förmåga att producera önskad produkt verifierades genom att jämföra beräknat utfall mot verkligt utfall vid fullskaliga försök på en av Swerocks produktionsanläggningar.

2.10. Fältstudie

Inför fältstudien behövde lämpliga teststräckor väljas ut. Här beskrivs även utförande och anläggning av teststräckorna samt hur uppföljningen gick till.

2.11. Val av teststräcka

För att resultatet av fältstudien ska ge en rättvisande bild av materialens funktionella egenskaper i en inbördes jämförelse eftersträvades delsträckor med likartade förutsättningarna. Följande förutsättningar beaktades vid val av placering av teststräckorna.

- Variationer i undergrunden
- Diken med bra geometri och funktion
- Vegetation/växtlighet som påverkar upptorkning av vägbanan
- Vindförhållanden
- Geometri (horisontella och vertikala kurvor)
- Trafikmängd
- Klimat (Utvärdering av materialets motstånd mot ytuppmjukning vid tjällossning)

Flera potentiella teststräckor i Dalsland besöktes. Vägsträckorna tillståndbedömdes okulärt avseende befintlig skadebild. Särskild beaktades att sträckan saknade skador som kunde härröras till andra faktorer än befintligt gruslitage såsom olämpligt undergrundsmaterial, bristande avrinning i vägdiken eller dränering av vägkroppen.

Efter utvärdering valdes väg 2227 mellan Brorsberg och Bolsänden (vid Bolet nära Åminskog).

Koordinaterna för denna sträcka är N:6529015, E:358059. Vägsträckningen framgår av Figur 2.

Vägens skyltade hastighet är 70 km/h. Trafikmängden på väg 2227 (ÅDT år 2012, mätpunkt 9230030) har uppmätts till 48 fordon per dygn, varav 3 tunga fordon. Vilket motsvarar en årlig trafik på 17520 fordon varav 1095 tunga fordon. Teststräckan ligger i klimatzon 2, enligt Trafikverkets tekniska kravspecifikation för vägar, TRVK Väg (Trafikverket, 2011). Klimatzon 2 valdes specifikt för att utvärdera motståndet mot ytuppmjukning och säkerställa en adekvat längd på tjällossningsperioden.



Figur 2, Kartskiss över teststräckornas läge (vid pilen).

2.12. Utförande

Den vanligaste användningen av grusslitlager är grusning, där nytt grusslitlagermaterial påförs och hyvlas på det befintliga lagret. Mindre vanligt är att det befintliga grusslitlagret hyvlas bort innan nytt material påförs (M. Johansson 2023). Metoden som valdes för denna studie var därför grusning av provsträckorna, för att öka kunskapen om materialens funktion vid den mest förekommande användningen.

Provsträckorna utformades med en längd på 75 meter. Materialmängden bestämdes till cirka 40 ton grusslitlagermaterial per provsträcka, och grustjockleken fastställdes till 5 cm. Detta motsvarar en bil med släp för varje materialvariant med normal grusvägsbredd.

2.13. Uppföljning

Uppföljning av teststräckorna har gjorts kontinuerligt av driftansvarig, med mätbil vår och höst (vid totalt tre tillfällen) samt som okulär slutbesiktning.

Mätbil

Tillståndet på teststräckorna mättes med VTIs mätbil. (TDOK 2014:0003 och Handbok i vägytemått) Mätbilen använder 17 lasrar som kontinuerligt mäter avståndet till vägytan. Andra givare används för att bestämma vägens lutning i längs- och tvärled. Grunddata från mätbilen används för att bestämma ett antal egenskaper hos vägytan. De egenskaper eller variabler från mätbilen som används i detta försök är tvärfall, textur och olika ojämnhetsmått. I Tabell 1 anges och förklaras olika variabler som kan vara lämpliga för grusväg.

Mätningar gjordes på våren år 1, strax efter att sträckorna anlagts, på hösten år 1 och sedan på våren år 2 i samband med den okulära slutbesiktningen.

Tabell 1. Olika egenskaper från mätbilens mätningar

MPD (makrotextur)	Beskriver egenskaper i slitlagret med våglängder mellan 0,5 mm och 50 mm Lämplig att använda för att detektera löst grus (högt värde-mycket löst grus) Mäts i tre spår längs vägen, i hjulspåren och mellan hjulspåren Referens: ABT med max stenstorlek 16 mm MPD = 0.65 mm till 0.90 mm
Megatexture	Beskriver egenskaper i slitlagret med våglängder mellan 50 mm och 500 mm Lämplig att använda för att detektera ojämnheter med kort utbredning, t.ex. potthål, korrugeringar m.m. (högt värde:-stora ojämnheter) Mäts i tre spår längs vägen, i hjulspåren och mellan hjulspåren Referens: en oskadad belagd väg, megatextur = 0,2 mm till 0,5 mm
IRI (International Roughness Index)	Registrerar vägens jämnhet för våglängder mellan 0,5 m till ca 30-50 m Lämplig att använda för att beskriva sträckan allmänna jämnhet (högt värde - ojämn väg) Mäts i två spår längs vägen, i hjulspåren Referens: motorvägsstandard (nyskick) 0,8 mm/m till 1,5 mm/m
Tvärfall	Cross slope, vägytans lutning relativt horisonten, 3 % rekommenderas för grusvägar Avgör möjligheten för vattenavrinning Negativt värde innebär att vägmitt är högre än vägren. Referens: byggnorm för grusväg ligger på > -3% på raksträcka

Okulär besiktning

Besiktningar av vägytan gjordes initialt och vid slutmätning. Vid slutmätning gjordes bedömning av löst grus, potthåll och andra skador (Mera grus under maskineriet 2015). Konditionen dokumenterades med foton.

Under testperioden kontrollerades vägen fortlöpande av Trafikverkets entreprenör med ansvar för drift och underhåll av vägen.

3. Resultat

I detta kapitel kommer de resultat som framkommit i projektet presenteras. Det är resultat från laboratorieprovning, produktionstekniken/metodiken och fältstudier.

Materialen som testats på laboratorium och i fält kommer från fyra olika täkter med helt eller delvis olika bergarter/petrografi. Vilka täkter som deltagit med material är inte relevant därför betecknas de med bokstavskod A-D, se även stycket: Val av försöksmaterial .

3.1. Laborariestudie

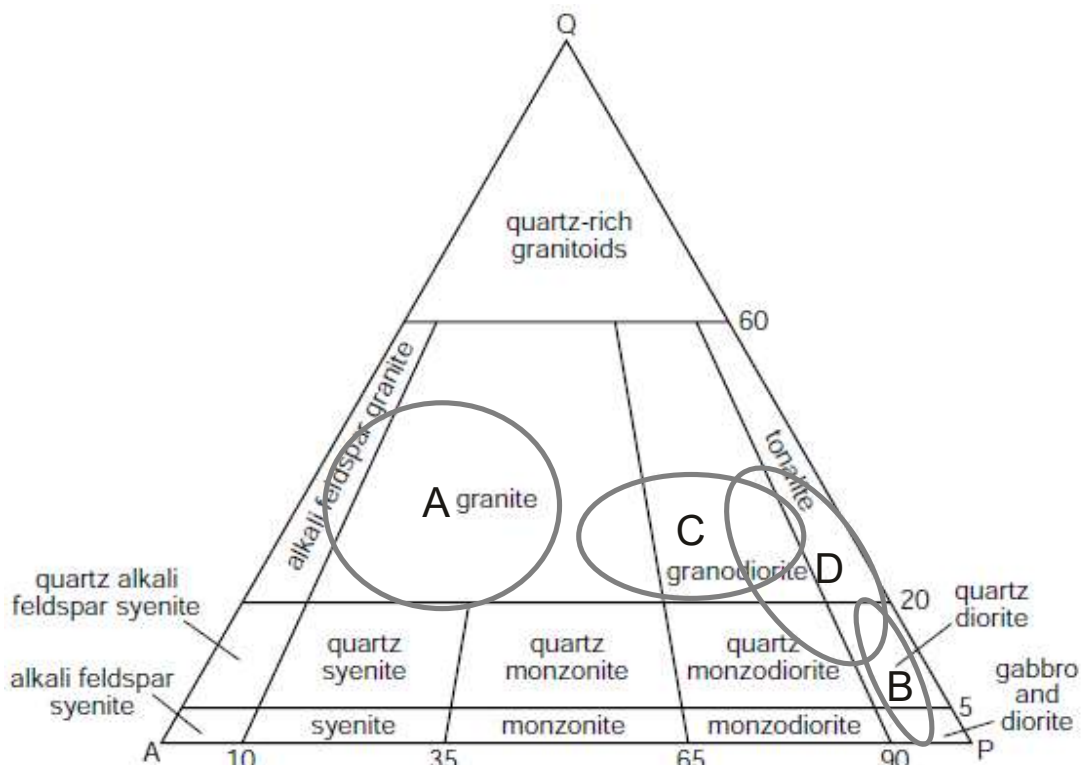
Här redovisas resultat från laboratorieprovning samt beskrivning av materialens petrografi.

3.2. Materialbeskrivning, petrografi

Den översiktliga petrografiska beskrivningen och andel fritt glimmer i fraktionen 0,125–0,250 mm redovisas i Tabell 2. Medelvärden från täktens produktionskontroll för sorteringen 0/32 redovisas också i Tabell 2, avseende nötningsegenskaper (Micro-Devalvärdet) och motståndskraft mot fragmentering (Los Angelesvärdet). I syfte att illustrera sammansättningsskillnaderna proverna emellan så har de grovt lagts in i ett QAP-diagram (Figur 3). Ett sådant diagram definierar olika magmatiska bergarter efter proportionerna kvarts, alkalifältspat och plagioklas. Även om proverna i detta projekt i regel består av flera olika bergarter, så har de lagts in enligt dominerande sådan. I Bilaga 1, Materialfoton, Figur 34 och Figur 35 finns foto från respektive prov.

Tabell 2 Översiktlig petrografisk beskrivning, nötningsegenskaper, motståndskraft mot fragmentering och fri glimmerhalt.

Täkt	Översiktlig beskrivning	Micro-Devalvärde	Los Angeles-värde	Andel fri glimmer (%)
A	Domineras av fria korn av kalifältspat, kvarts och plagioklas, som härrör från grovkornig pegmatit och/eller grovkornig granit . Underordnat finns grå till rödgrå, finkornig till fint medelkornig gnejs och svart amfibolit.	13	30	24
B	Domineras av svart, fin- till medelkornig amfibolit . Underordnat finns rödgrå, fint medelkornig gnejs och fria mineralkorn av fältspat och kvarts.	12	24	17
C	Ca 60% av provet består av grå, finkornig till fint medelkornig, gnejsig granitoid (sammansättning uppfattas ligga i spannet granit-granodiorit), ca 40 % utgörs av svart, finkornig till fint medelkornig amfibolit.	12	24	25
D	Domineras av grå/mörkgrå, fint medelkornig, relativt biotitrik gnejs , med sammansättningsspann uppskattat till granodiorit- tonalit -kvartsdiorit). Underordnat finns fria mineralkorn av plagioklas, kvarts, kalifältspat och muskovit.	7	24	25



Figur 3 QAP-diagram efter Streckeisen (1974), med de provmaterial som ingått i denna studie grovt och principiellt inlagda (exakta mineralhalter har inte bestämts). I Q-hörnet är det 100% kvarts, i A-hörnet 100% alkalifältspat och i P-hörnet 100% plagioklas. Täckernas dominerande bergart har lagts enligt ellipser/cirklar med respektive A, B, C och D. Notera att detta diagram används när kvarts och fältspater tillsammans utgör minst 10% av en bergart och då inte tar hänsyn till andra mineral i bergarten, tex pyroxen, amfibol, biotit och muskovit.

3.3. Kornstorleksfördelning

Figur 3 till 6 visar kornstorleksfördelningen för material och blandningar från undersökta bergtäkter. Varje figur visar för respektive bergtäkt kornstorleksfördelningen hos:

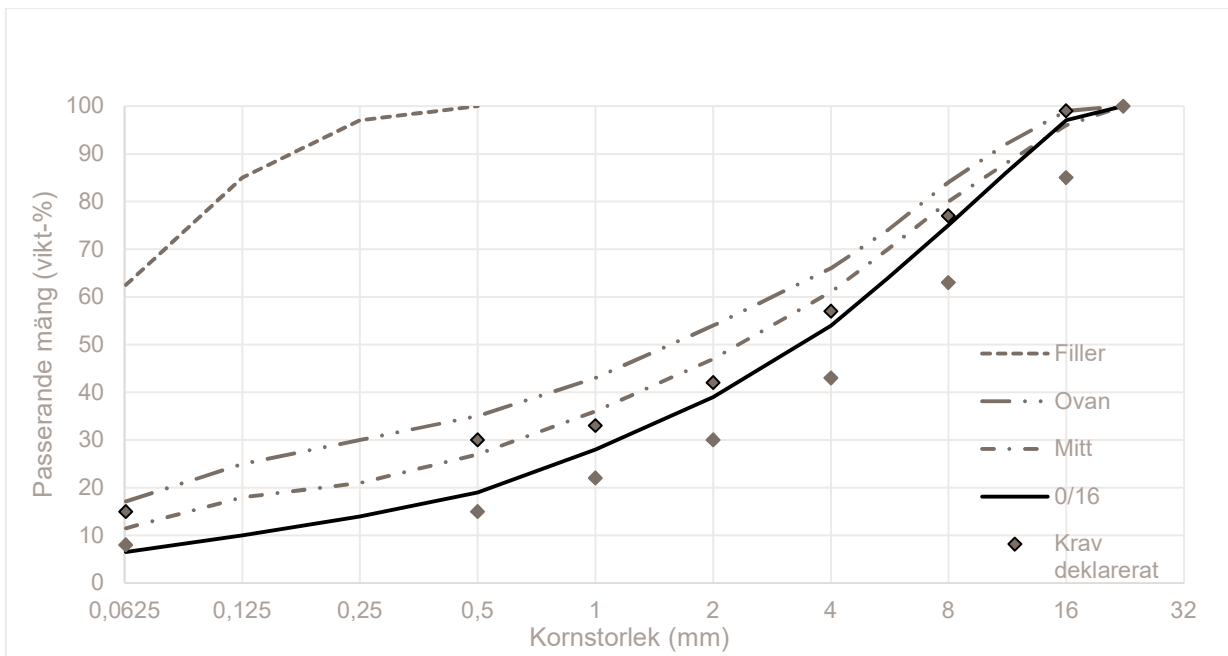
- Fillersortering
- 0/16 sortering utan inblandning av filler
- Blandning mitt (med inblandning av filler med målvärde motsvarande Trafikverkets krav på passerande mängd på 0,063 mm)
- Blandning ovan (med målvärde överstigande Trafikverkets krav på passerande mängd på 0,063 mm)

0/16-materialet har tagits direkt från produktionen, medan fillern har hämtats från asfaltverkets fillersilo. Fillern togs ut från asfaltverk efter tillverkning av asfaltmassor med samma bergmaterial som de undersökta täkterna. Filler med annat ursprung förekommer i varierande grad beroende på återvinningsgrad hos tillverkade asfaltmassor.

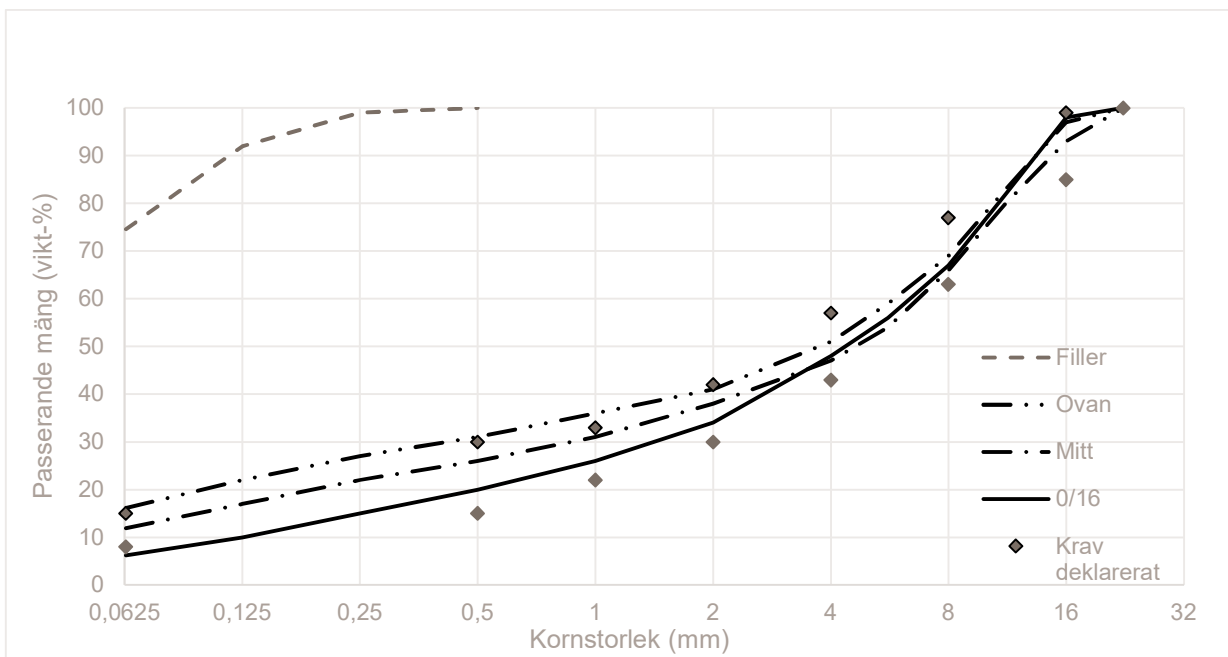
Samtliga 0/16-material utan inblandning av filler uppfyller inte Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning för grusslitlager, eftersom den passerande mängden på 0,063 mm sikten understiger 8 vikt-%, vilket är Trafikverkets minimikrav.

Se Tabell 4 för andel filler som blandats in i respektive 0/16-sortering. Inblandningsnivån "mitt" uppfyller Trafikverkets krav på deklarerat material i samtliga fall, förutom för Täkt A. En bidragande orsak till detta var att Täkt A:s 0/16-material utan inblandning hade en för stor andel partiklar som passerade på sikt 2 mm och uppåt, där kurvan låg mycket nära gränsvärdet, vilket

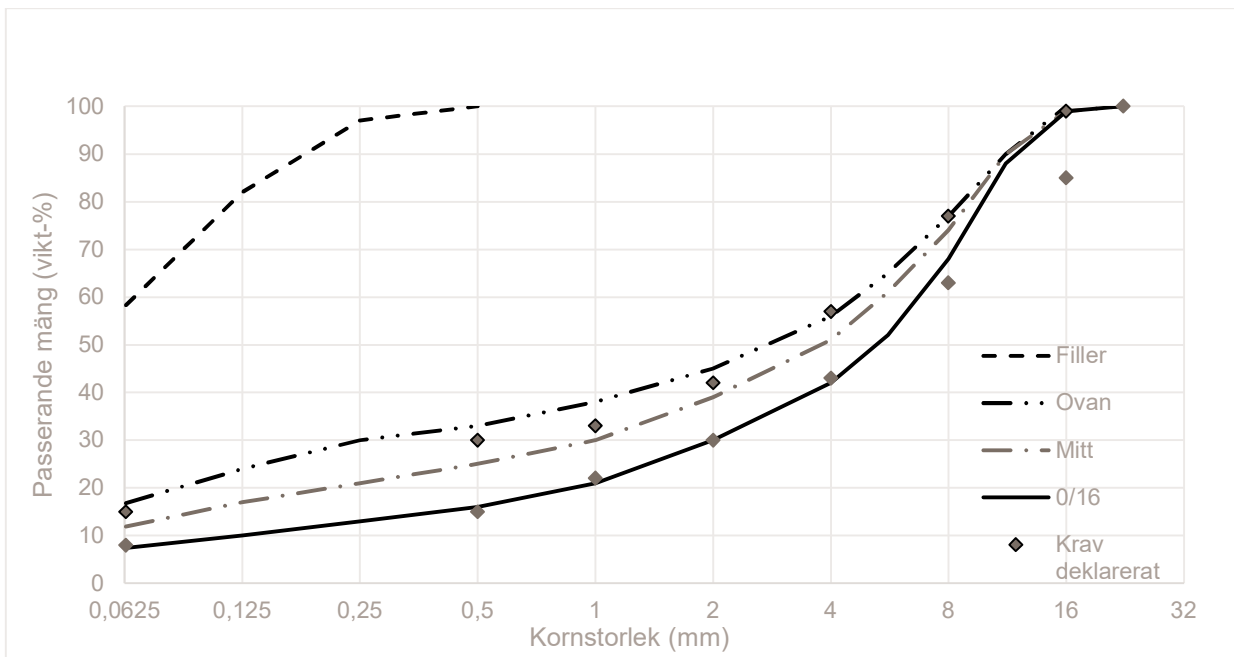
inte tillät ytterligare inblandning av filler utan att gränsvärdet överskreds på siktarna 2, 4 och 8 mm. Samtliga blandningar för material "ovan" hade en passerande mängd på 0,063 mm sikten som översteg Trafikverkets krav. Fillern från asfaltverken består av en betydande mängd partiklar i storleksintervallet 0,063-0,25 mm. Detta har resulterat i att kornstorleksfördelningarna för blandningarna mitt och ovan i vissa fall visar en tendens till pucklar vid 0,125 och 0,250 mm.



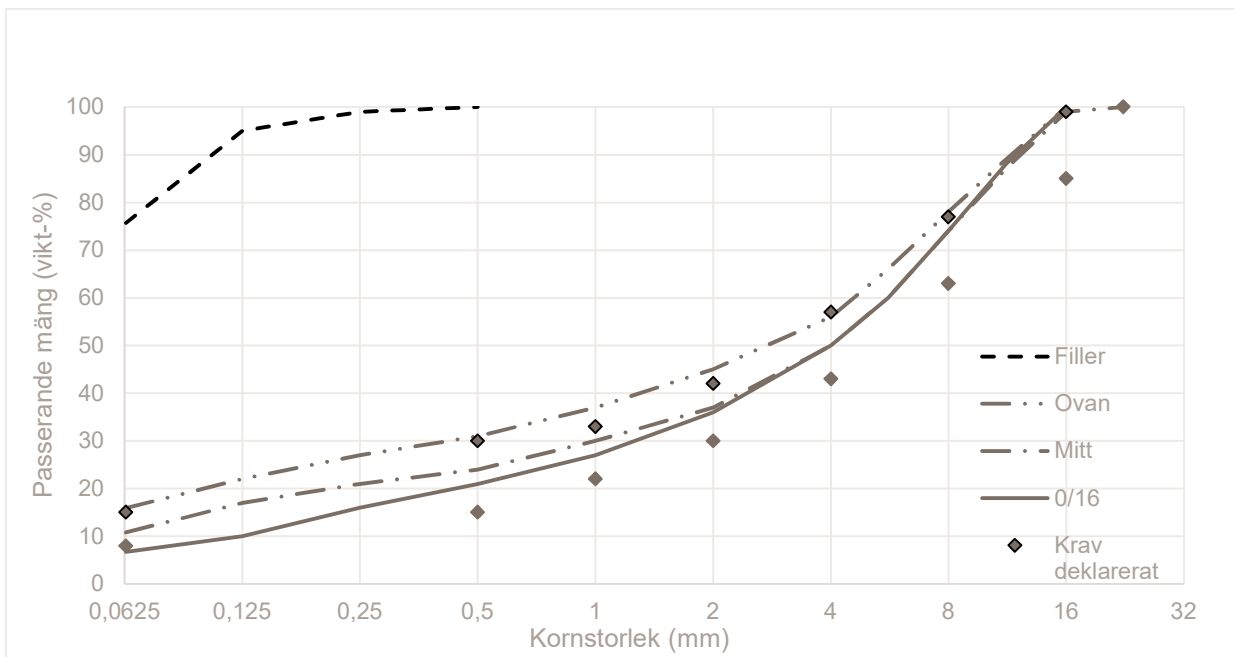
Figur 4. Tägt A (pegmatit och/eller grovk, granit). Kornstorleksfördelning hos filler från asfaltverk samt 0/16 utan inblandning av filler och med två olika inblandningsmängder av filler. Romberna anger Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning på grusslittlager, deklarerat material.



Figur 5 Tägt B (amfibolit). Kornstorleksfördelning hos filler från asfaltverk samt 0/16 utan inblandning av filler och med två olika inblandningsmängder av filler. Romberna anger Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning på grusslittlager, deklarerat material.



Figur 6 Täkt C (gnejsig granitoid). Kornstorleksfördelning hos filler från asfaltverk samt 0/16 utan inblandning av filler och med två olika inblandningsmängder av filler. Romberna anger Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning på gruslitterlager, deklarerat material.



Figur 7 Täkt D (gnejs (tonalit)). Kornstorleksfördelning hos filler från asfaltverk samt 0/16 utan inblandning av filler och med två olika inblandningsmängder av filler. Romberna anger Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning på gruslitterlager, deklarerat material.

3.4. Packningsegenskaper

Packningsegenskaper har bestämts med modifierad Proctor (se även metodkapitlet Packningsförsök – modifierad Proctor.) och redovisas som optimal vattenkvot och maximal torr skrymdensitet, se Tabell 3. (I Bilaga 2, Resultat lab. i Figur 36 och Figur 37 visas hur densiteten är beroende av fuktkvoten, i så kallade packningskurvor för respektive material.)

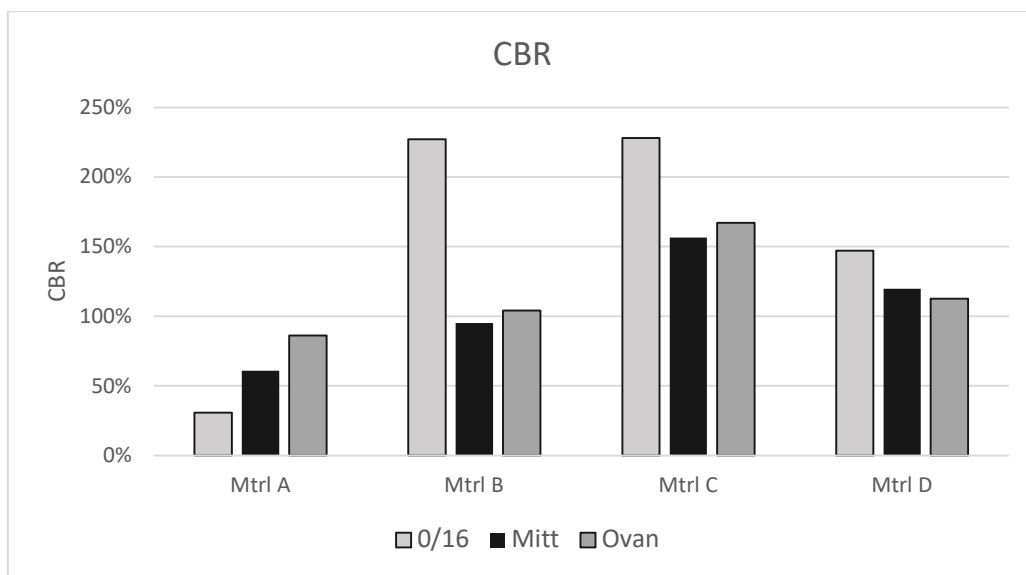
Den optimala vattenkvoten förefaller vara omvänt proportionell mot finmaterialhalten, ju lägre halt desto högre vattenkvot. Proverna utan inblandat fyller har de högsta optimala vattenkvoterna för varje material. Det kan bero på att det finns mer hålrum som kan innehålla vatten och samtidigt innehåller de nog tillräckligt mycket finmaterial för att hålla vattnet. Nivån på densiteterna beror bland annat på korndensiteten (som beror på mineralsammansättningen) men även på kornform och kornstorleksfördelningen. Material B och D har en minskad maximal skrymdensitet med ökad finkornhalt. För material A verkar finkornhalten inte påverka densiteten.

Tabell 3. Resultat för maximal torr skrymdensitet och optimal vattenkvot för de olika materialen och deras fillerinblandningar.

Material	Maximal torr skrymdensitet	Optimal vattenkvot
	Mg/m ³	%
Mtrl A 0/16 (pegmatit och/eller grovkornig granit)	2,16	9,4
Mtrl A mitt	2,18	7,5
Mtrl A ovan	2,17	6,7
Mtrl B 0/16 (amfibolit)	2,45	7,4
Mtrl B mitt	2,40	7,2
Mtrl B ovan	2,36	6,6
Mtrl C 0/16 (gnejsig granitoid)	2,19	7,7
Mtrl C mitt	2,31	6,0
Mtrl C ovan	2,28	5,4
Mtrl D 0/16 (gnejs (tonalit))	2,30	6,9
Mtrl D mitt	2,22	6,7
Mtrl D ovan	2,18	6,6

3.5. Bärighetsegenskaper

Bärighetsegenskaper har bestämts med CBR (se även Bärighet med CBR.) och redovisas i Figur 8 (och Tabell 12 i Bilaga 2, Resultat lab.). Generellt har originalmaterialen ("0/16"), de utan fillerinblandning, högst bärighetsvärde. Material A avviker dock från detta då blandningen med högst fillerinnehåll ("0/16 ovan") har bäst bärighet. Material A har generellt lägst bärighet, i medel knappt 60 %, oavsett halt av inblandat fyller. Material C uppvisar högst bärighet med medel-CBR drygt 180%. Material B, har medel-CBR ca 140%, och material D, har medel-CBR ca 130%.



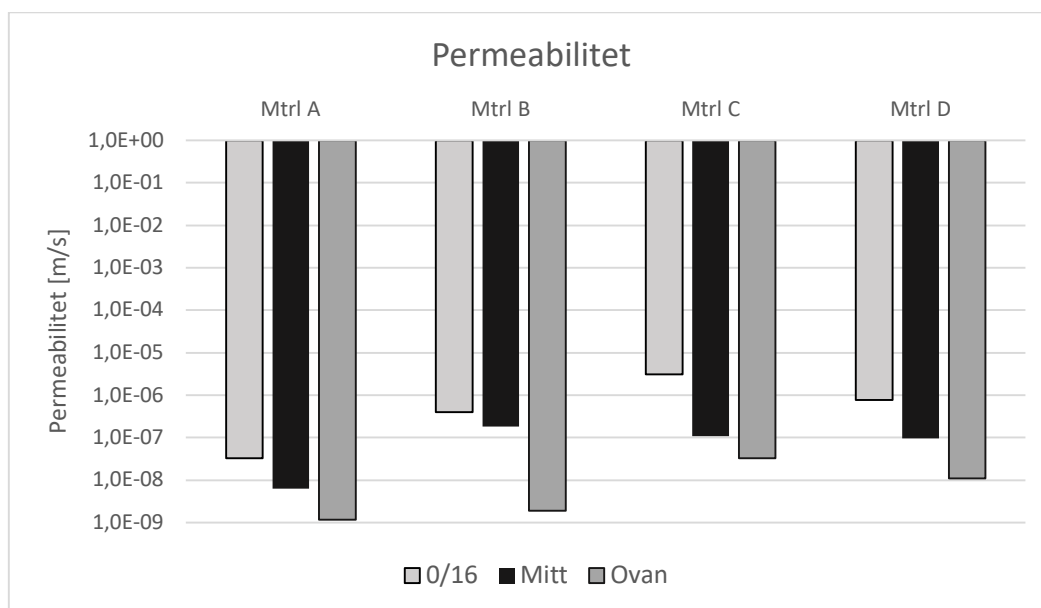
Figur 8. Resultat av bärighetsmätning med CBR på laboratoriet.

3.6. Permeabilitet

Tätheten, har bestämts som permeabilitet (se även Täthet). Permeabilitet redovisas i Figur 9 (och i Tabell 13 i Bilaga 2, Resultat lab.).

Mest genomsläppligt (permeabelt) är material C (med medelvärde ca 10^{-6} m/s) och tätast är material A (med medelvärde ca 10^{-8} m/s). Material B och D ligger däremellan (med medelvärden på drygt 10^{-7} m/s).

Fillerinnehållet (inblandningen) korrelerar bra med tätheten, ju högre finmaterialhalt desto tätare material. Det skiljer i princip en tio-potens i snitt för de olika blandningarna, 0/16 (utan fillerinblandning, ca 10^{-6}); mitt i (ca 10^{-7}) eller ovan (ca 10^{-8}) gränssonen för gruslitage.



Figur 9. Laboratorieresultat av täthet/permeabilitet (Y-axeln är logaritmisk).

3.7. Produktion

Detta kapitel behandlar åtgärder och metoder för att begränsa partikelemissioner från filler inom bergtäktsverksamhet. Kapitlet beskriver även en utvecklad produktionsmetod för att hantera filler i produktionsprocessen. Metoden är utformad för att vara praktiskt tillämpbar med befintlig utrustning och syftar till att hålla kostnaderna nere.

3.8. Åtgärder för att begränsa partikelemissioner från filler

Filler domineras av partiklar mindre 0,063 mm och är därför mycket damningsbenäget. För att metodiken ska vara praktiskt användbar i en verksamhet är det därför avgörande att partikelemissioner från tillsatt filler kan begränsas på ett sådant sätt att en god arbetsmiljö kan erhållas. Damning i bergtäkter sker diffust från ytor och upplag samt från punktkällor som krossning och siktnings.

Inom bergtäktsverksamhet kan de viktigaste damningskällorna delas upp i följande kategorier:

- Losshållning: borrar, sprängning och skutknackning
- Transporter: interna transporter samt transporter in och ut från området.
- Materialhantering: krossning, siktnings, lastning/lossning
- Passiv damning: upplag, deponier och öppna ytor

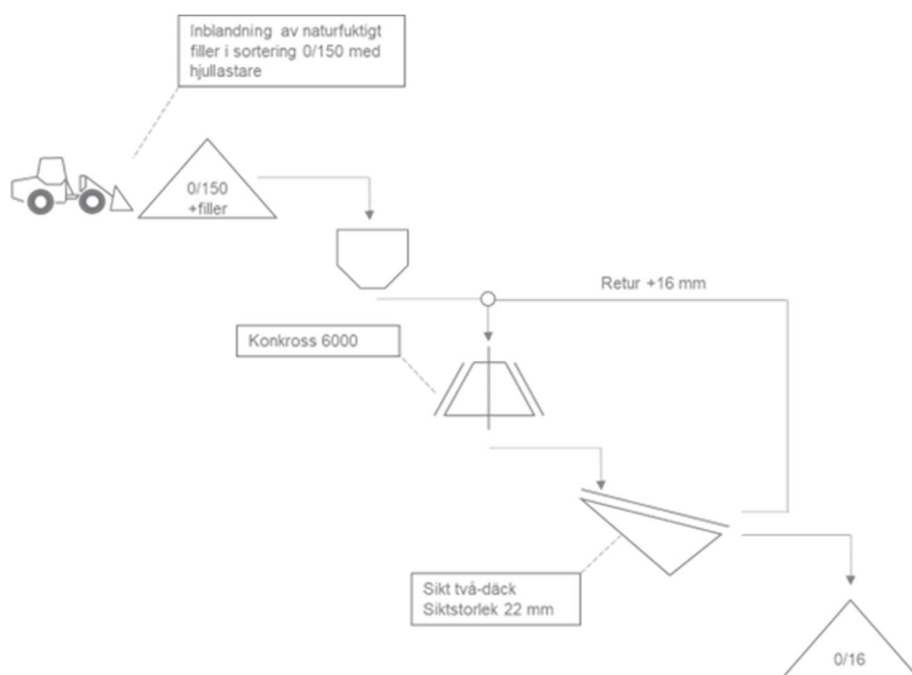
De damningskällorna som är intressanta att beakta inom ramen för detta projekt är den diffusa damningen från upplag med filler samt den extra damning tillsatt filler kan medföra vid krossning och siktnings.

Effekten av olika åtgärder avseende passiv damning från ytor och upplag har undersökts i SBUF-projektet Åtgärder avseende diffusa partikelemissioner från bygg- och industriprocesser. (M. Gustafsson, 2020). Detta är en åtgärd som är enkel att genomföra då dysor för vattenbegjutning ofta finns tillgängligt på bergtäkter. Vattenbegjutning av upplag sker också naturligt genom nederbörd. Åtgärdens effekt förklaras av att hög luftfuktighet eller regn kan leda till att det bildas en skorpa på materialupplag vilket binder dammet (M. Ishizuka, et. al.). Vattenbegjutning av upplag som metod för dammbindning kan antas vara särskild lämplig för hydrauliskt bundna finkorniga material som filler. Fuktig fyller bedömdes också ha en positiv effekt på damning vid krossning och siktnings. Sammantaget bedömdes vattenbegjutning av upplag vara den mest rationella metoden för att minska damning.

3.9. Produktionsmetod

Detta avsnitt beskriver den produktionsmetod som utvecklades i projektet. Produktionsmetoden är utformad för att kunna tillämpas med befintlig produktionsutrustning som finns tillgänglig på de flesta produktionsanläggningar. Målet är att ge låga trösklar för implementering samtidigt som kostnaden för kunden hålls på en rimlig nivå.

Följande beskriver den produktionsuppställning som användes specifikt för verifiering av metodiken och produktion av material till teststräckorna. Principen för metoden är utformad för att vara skalbar och kan anpassas till olika konfigurationer beroende på lokala förutsättningar och önskat utfall. Processen som användes vid försöken illustreras i Figur 10.



Figur 10. Schematisk illustration av den utvecklade produktionsmetoden för att öka andelen finmaterial i gruslitterlager. Metoden innefattar inblandning av filler i material i storleksfraktionen 0/150 med hjullastare, följt av ett processflöde som inkluderar användning allmänt förekommande utrustning vid bergmaterialproduktion.

Processen börjar med att ett första stegs krossat material (0/150) blandas med tillsatt filler. För att uppnå den önskade kornstorleksfördelningen har inblandning av fuktig filler skett med hjälp av en hjullastare, enligt ett beräknat recept. Fillern fördelades jämnt över ett upplag bestående av cirka 15 ton 0/150-material. Massan av de olika delmaterialen vägdes med hjälp av hjullastarens vågskopa enligt receptet. Därefter blandades materialet genom flera moment med hjullastarens skopa tills det bedömdes vara homogent. Detta produktionsmoment illustreras av Figur 11 som visar försök som genomfördes under torra förhållanden med temperatur runt 0°C. Damning upplevdes vid hanteringen av filler som försumbar, vilket också visuellt framgår av Figur 11.



Figur 11. Illustration av inblandning av fuktig filler i sortering 0/150. 1. Oblandat en-stegs krossat 0/150. 2. Filler från asfaltverk fördelades jämt över upplag av 0/150. 3. Homogenisering av materialet genom skopblandning. 4. Homogeniserat material för produktion av grusslitage.

Efter blandningen tömdes materialet i en ficka som matade en konkross (modell 6000). Konkrossen var inställd med minsta avstånd mellan mantel och kona (CSS) för att ge optimal sortering av materialet i storleken 0/16. Konkrossen matade sedan en tvådäckad sikt med separationssikten på 22 mm. Det material som inte passerade separationssikten gick i retur till konkrossen. Det material som passerade separationssikten blev slutprodukt med ökad fillerhalt.

För att beräkna receptet bestämdes kornstorleksfördelningen och fukthalt för de ingående materialen, filler och 0/150, på plats vid försöken. Dessa parametrar bestämdes för 0/150 efter produktion utan föregående inblandning av filler i sorteringen, samt för filler från asfaltverkets överskottsupplag som förvarats utomhus under en längre tid. Utifrån den önskade kornstorleksfördelningen i grusslitage, beräknades det önskade blandningsförhållandet mellan filler och sortering 0/16.

Hypotesen som testades var att den ökade andelen fillerfraktion i den färdiga 0/16-produkten skulle vara proportionell mot den inblandade mängden filler i det material (0/150) som krossen matades med. Det vill säga, att inblandat filler i det ingående materialet som krossen matas med inte skulle påverka krossens funktion i någon betydande grad. Vilket gör det möjligt att förutsäga och kontrollera slutprodukten kornstorleksfördelning genom beräkning av blandningsförhållandet.

För att verifiera denna hypotes användes en proportioneringsmetod som tog hänsyn till varje materials kornstorleksfördelning, justerat för fukthalt. Genom att justera blandningsförhållandet baserat på dessa parametrar, kunde en slutprodukt med den önskade kornstorleksfördelningen beräknas och erhållas.

Totalt genomfördes 6 fullskaleförsök vid två tillfällen. Försök 1-4 genomfördes i februari 2023 under periodvis nederbörd vid temperaturen ca 2 °C. Försök 5-6 utfördes i april 2023 under torra förhållanden vid temperaturen 0-2 °C. Försöken utfördes med material från täkt A och C. Den beräknade andelen tillsatt filler framgår av Tabell 4.

Tabell 4

Försök #	Täkt	Andel tillsatt filler
1	A	11 vikt-%
2	C	16 vikt-%
3	A	19 vikt-%
4	A	17 vikt-%
5	A	13 vikt-%
6	C	17 vikt-%

Resultat från fullskaleförsöken presenteras i Tabell 5. Material från försök 5 och 6 användes för grusning av teststräckor.

Tabell 5. Resultattabell kornstorleksfördelning för fullskaleförsök.

Försök #	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1	99	90	74	62	53	46	36	29	24	19	14	10
2	100	95	78	65	56	48	39	32	27	22	17	11
3	100	94	78	70	61	55	45	37	30	25	20	14
4	100	95	83	72	64	57	46	37	30	25	19	14
5	100	97	83	72	62	54	43	32	25	19	15	11
6	100	94	80	69	60	54	46	39	34	30	24	17

Verifiering av produktionsmetod

Tabell 6 presenterar en kvantitativ avvikelseanalys från fullskaleförsöken som utförts för att verifiera den utvecklade produktionsmetoden. Resultaten visar avvikelsen mellan beräknade recept och faktiska värden för produkt, vilket ger en indikation på metodens precision och tillförlitlighet i praktisk tillämpning. Medelavvikelsen visar den genomsnittliga skillnaden mellan de beräknade recepten och de faktiska värdena. En negativ medelavvikelse indikerar att de faktiska värdena tenderar att vara lägre än de beräknade, medan en positiv medelavvikelse indikerar att de faktiska värdena tenderar att vara högre.

Tabell 6. Resultattabell för avvikelseanalys i fullskaleförsök

Försök #	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1	-1	-4	-2	-2	0	0	0	0	0	-1	-1	-0,9
2	0	-1	7	5	4	3	1	-2	-4	-5	-5	-4,4
3	0	0	1	4	5	5	4	3	1	-1	0	-0,3
4	0	1	6	6	9	8	6	4	2	1	0	0,5
5	0	3	6	7	7	5	4	0	-2	-4	-3	-2,1
6	0	-1	3	4	4	4	4	2	1	1	1	0,1
Medelavvikelse	-0,2	-0,3	3,7	4,1	4,8	4,0	3,0	1,1	-0,1	-1,4	-1,5	-1,2

Okulär granskning av den färdiga 0/16 produkten visade för samtliga försök att ett väl homogeniserat material erhöles. Enstaka fillerklumpar observerades vid ett av försöken. Figur 12 visar Materialtagningssupplag och närbild på färdig produkt från försök 4.



Figur 12. Överst närbild på 0/16 material från försök 4. Nederst Materialtagningsupplag 0/16 från försök 4.

3.10. Fältstudie

Detta kapitel beskriver grusning och utvärderingen av teststräckor för att undersöka effekten av olika materialblandningar i grusslitage. Under anläggandet togs prover för att dokumentera de befintliga materialen i vägkroppen. Tillståndsbedömningar genomfördes både initialt och löpande för att utvärdera slitlagrens funktionalitet och jämnhet över tid. Resultaten från mätningar och okulära inspektioner sammanfattas för att ge en helhetsbild av teststräckornas prestanda och eventuella skador.

3.11. Provtagning av befintliga material

I samband med anläggandet av teststräckor togs prover ut för att dokumentera de befintliga materialen i undergrunden/väggkroppen, dessa material har bedömts okulärt, se Figur 13, Figur 14 och Tabell 7.



Figur 13. Provtagning provgrop 2.



Figur 14. Provtagning av befintliga material innan anläggning av teststräckor.



Figur 15. Provgrop 3 med olika lager.

Tabell 7. Provtagning av befintliga material i testväg. Okulär jordartsbedömning utförd av SGI.

Provgrop	Position	Sida	Djup, cm	Kommentar
1	Vid gränsen mellan sträcka 1 och 2	Vänster	Innerslänt	Väggkant och innerslänt ned till dikesbotten bestod i princip av samma material. <i>Terrass: Gråbrun LERA med sand- och grusinslag, rottrådar, rostfläckig</i>
2	Vid gränsen mellan sträcka 1 och 2	Höger	Innerslänt	Lera/lerigt. Väggkant och innerslänt ned till dikesbotten bestod i princip av samma material. <i>Terrass: Gråbrun LERA med rottrådar, rostfläckig</i>
3	Några få meter in på sträcka 4.	Höger	0-10	Inget prov. Grusslitalager
3	Några få meter in på sträcka 4.	Höger	10-20	Utgjordes sannolikt av gammalt grusslitalger. <i>Gråbrun grusig siltig SAND</i>
3	Några få meter in på sträcka 4.	Höger	20-24	Inget prov. Mörkt lager, sandigt.
3	Några få meter in på sträcka 4.	Höger	24-27	mörkt lager, <i>Brunsvart HUMUSJORD</i>
3	Några få meter in på sträcka 4.	Höger	27-	ljus material <i>Grå LERA, rostfläckig</i>

3.12. Anläggning av teststräckor

Grusningen utfördes i april 2023 efter tjällossning. Utförandet skedde genom att en lastbil först spred ut gruset över provsträckan på befintligt grusslitage genom att tippa flaket och anpassa farten till tömningshastigheten, för att erhålla ett jämnt lager med rätt tjocklek över hela sträckan. Därefter hyvlades vägen så att materialet justerades jämnt över vägens bredd. Grusning och hyvling illustreras av Figur 16. Provsträckornas början och slut markerades med markeringskäppar. Packning gjordes av efterföljande trafikering.

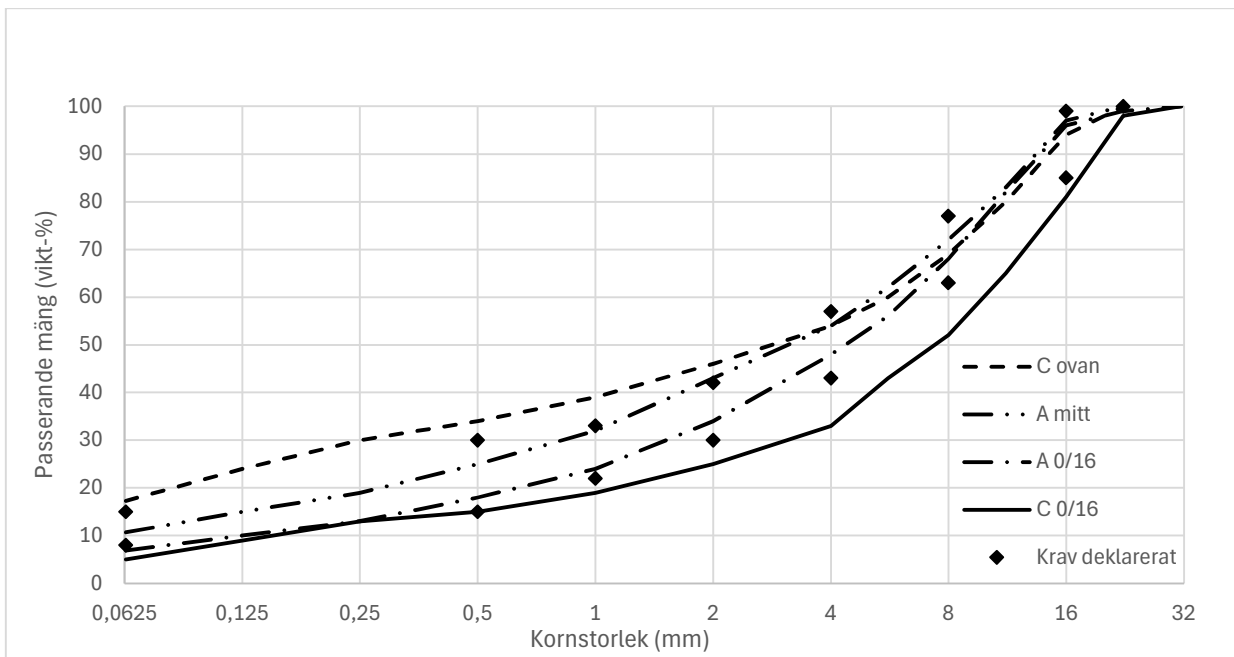


Figur 16 Grusning av teststräcka. Till vänster spridning av grus med tippflak. Till höger hyvling och fördelning av materialet.

Följande material användes för teststräckorna, och deras egenskaper beskrivs i avsnitt "Materialbeskrivning, petrografi":

- Sträcka 1, täkt A Ursprunglig, benämnd "A 0/16". Pegmatit/grovkornig granit.
- Sträcka 2, täkt A mitt i GSL-zon, benämnd "A mitt". Pegmatit/grovkornig granit. Material från försök 5 användes.
- Sträcka 3, täkt C Ursprunglig, benämnd "C 0/16". Gnejsig granitoid.
- Sträcka 4, täkt C ovan GSL-zon, benämnd "C ovan". Gnejsig granitoid. Material från försök 6 användes.

Materialens kornstorleksfördelning framgår av Figur 17. Andel tillsatt filler för "A mitt" och "C ovan" framgår av Tabell 4.



Figur 17 Kornstorleksfördelning hos det material som användes i teststräckorna. Romberna anger Trafikverkets krav på kornstorleksfördelning på gruslittlager, deklarerat material.

3.13. Tillståndsbedömningar

Vägens tillstånd har bedömts okulärt och med mätbil vid flera tillfällen.

Tillståndsbedömning initialt

Direkt efter att provsträckorna anlagts är de utan skador. Materialen är heller inte färdigpackade vilket kommer ske med trafikpackning. Generellt såg sträckorna bra ut initialt, Figur 18 och Figur 19. Sträcka 1 (material A 0/16) ser ut att vara något grusig med mindre fint material. Inget att kommentera för sträcka 2 och sträcka 3. Sträcka 4 (material C ovan) ser bra ut men vissa fillerklumpar har inte blandat sig fullständigt dock i liten omfattning, Figur 20. Gränserna mellan sträckorna är tydliga.



Figur 18. Sträcka 1 (A 0/16) och sträcka 2 (A mitt) efter anläggande av teststräckorna.



Figur 19 Sträcka 3 (C 0/16) och sträcka 4 (C ovan) efter anläggande av teststräckorna.



Figur 20. Enstaka fillerklumpar från sträcka 4.

Fortlöpande tillståndsbedömning

Detta avsnitt sammanfattar tillståndsutvecklingen på teststräckorna baserat på okulär besiktning av vägsträckorna. Besiktningarna av teststräckorna utfördes av Marcus Johansson (2024) vid flera tillfällen under perioden maj 2023 till april 2024.

Maj 2023, dag 22. Inledande besiktning tre veckor efter anläggande av teststräckor.

- A 0/16, pegmatit/grovkornig granit, (Teststräcka 1): Spårig med mycket löst material i kanterna och mitten.
- A mitt (Teststräcka 2): Löst material. Mer sammanbunden yta än sträcka A 0/16.
- C 0/16, gnejsig granitoid, (Teststräcka 3): Mindre mängd löst material. Hård och väl bunden yta.
- C ovan (Teststräcka 4): Hård och väl bunden yta. Ingen förekomst av hålor.

Februari 2024, dag 309. Besiktning efter snösmältning. Sandningssand observerades på teststräckorna. Sanden bedömdes inte ha en betydande påverkan hos funktionen hos grusslitlagret.

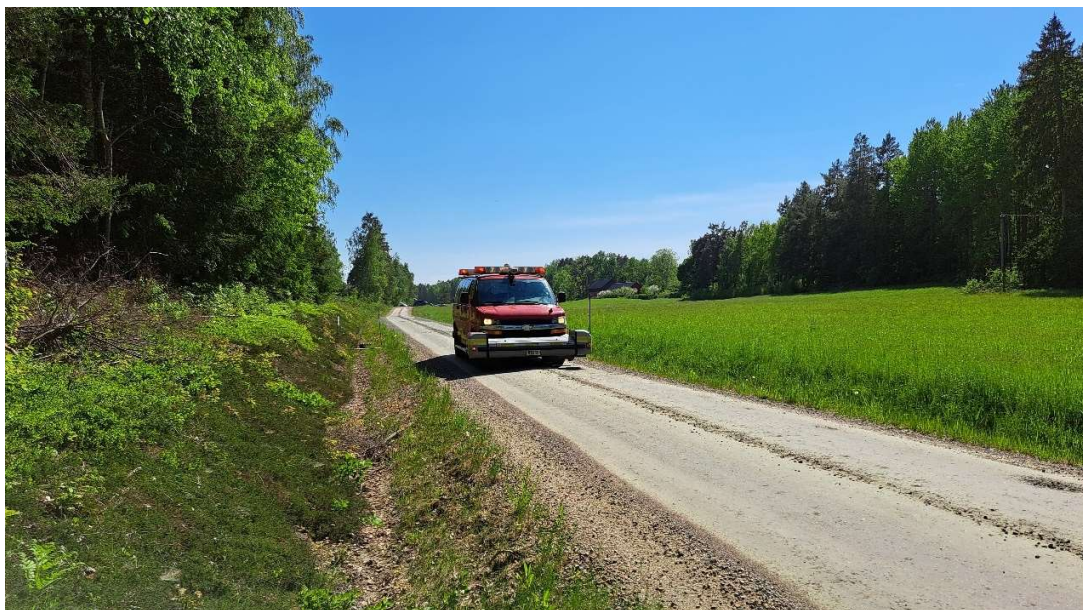
- A 0/16 (Teststräcka 1): Flera hålserier och djupa hål i slitlagret.
- A mitt (Teststräcka 2): En lång hålserie, i övrigt bra.
- C 0/16 (Teststräcka 3): Två hål. Hård och väl bunden yta.
- C ovan (Teststräcka 4): Inga hål. Hård och väl bunden yta.

Mars 2024, dag 333. Besiktning under tjällossningsperiod.

- C ovan (Teststräcka 4): Möjligen något kletig yta. Mindre märken efter däck. Inga betydande hål.

April 2024, dag 352. Avslutande besiktning efter ett års drift.

- A 0/16 (Teststräcka 1): Spårbildning, djupa potthålor, löst grus i kanterna.
- A mitt (Teststräcka 2): Hålserie troligen p.g.a. spårbildning, bra bundet material i hjulspåren, löst grus i kanterna.
- C 0/16 (Teststräcka 3): Enstaka hål. Hård och väl bunden yta.
- C ovan (Teststräcka 4): Enstaka hål, Hård och väl bunden yta. Ingen antydning till kletighet.



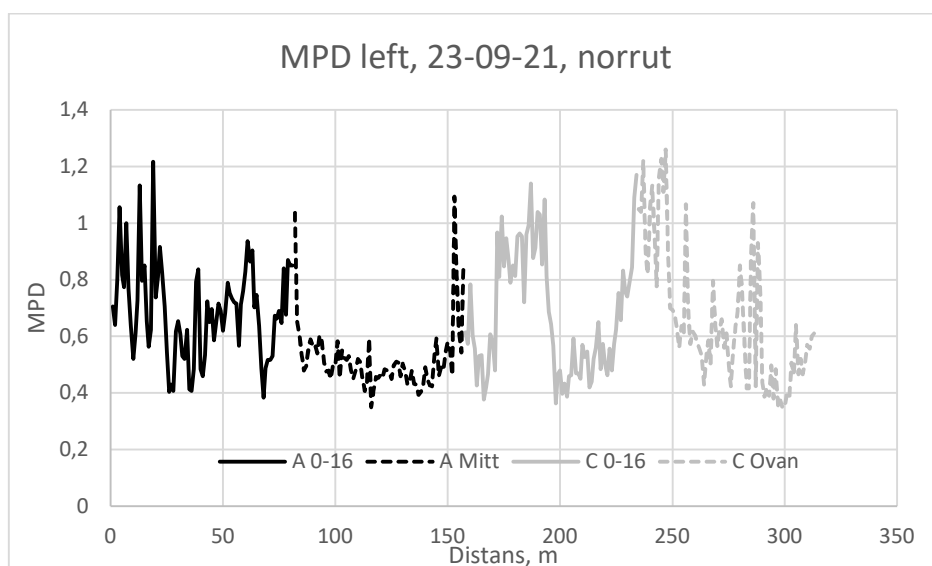
Figur 21. Mätning med mätbil på teststräckor.

Mätbil

Resultatet från mätbilen (Figur 21) beskriver texturen och jämnheten på provsträckornas slitlager. Resultaten av de olika parametrarna är beräknade som medelvärde för respektive sträckor. Första och sista 5 m på varje sträcka antas vara en övergångszon och är därför exkluderade från medelvärdena. Exempel på hur värdena varierar per meter visas i Figur 22.

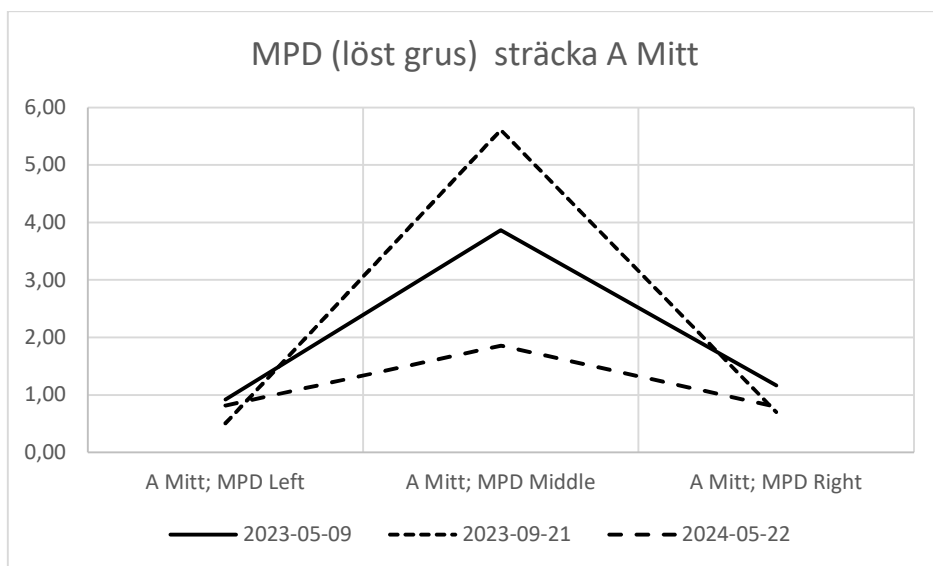
En grusväg är föränderlig på ett helt annat sätt än en belagd väg. Väder, och speciellt nederbörd, påverkar ytans beskaffenhet relativt mycket. Detta innebär att det kan vara svårt att jämföra tillståndet vid olika tidpunkter. En inbördes jämförelse vid samma mättillfälle ger en bättre och mer rättvis beskrivning av slitlagrens funktionalitet.

MPD-värdet som kan påvisa löst grus har snarlika värden för höger och vänster hjulspår men klart högre i vägmitt. Se exempel i Figur 23. Det finns en viss skillnad mellan sträckorna vid första mätningen men den jämnas sedan ut, Figur 24. Mest löst grus, i vägmitt, är det vid höstmätningen. Efter ett år, från anläggandet, har MPD-värdet sjunkit rejält, se Figur 25. Teoretiskt borde MPD-värdena vara högst vid första mättillfället när slitlagret nyligen är anlagt, för att sedan jämnas ut av trafiken. Normalt sladdas eller hyvlas vägen på våren samtidigt som den saltas för att återställa ytans skick efter vintern för att få ett beständigt ytskikt. En sådan åtgärd ger förhöjda värden för såväl MPD, megatextur och till viss mån IRI. Teststräckorna ska inte ha hyvlats eller sladdats efter vinter vid tidpunkten för slutmätning (Marcus Johansson 2024). Megatextur beskriver ojämnheter med kort utbredning, t.ex. potthål, korrugeringar m.m. (högt värde=stora ojämnheter). Det finns en viss skillnad mellan sträckorna vid första mätningen men den jämnas sedan ut, Figur 26. Detta är också logiskt så länge inga korrugeringar eller potthål uppstår. IRI-måttet används för att beskriva sträckans allmänna jämnhet (högt värde - ojämn väg). IRI-värden varierar något för höger och vänster hjulspår. I Figur 27 visas medelvärden från båda hjulspåren.

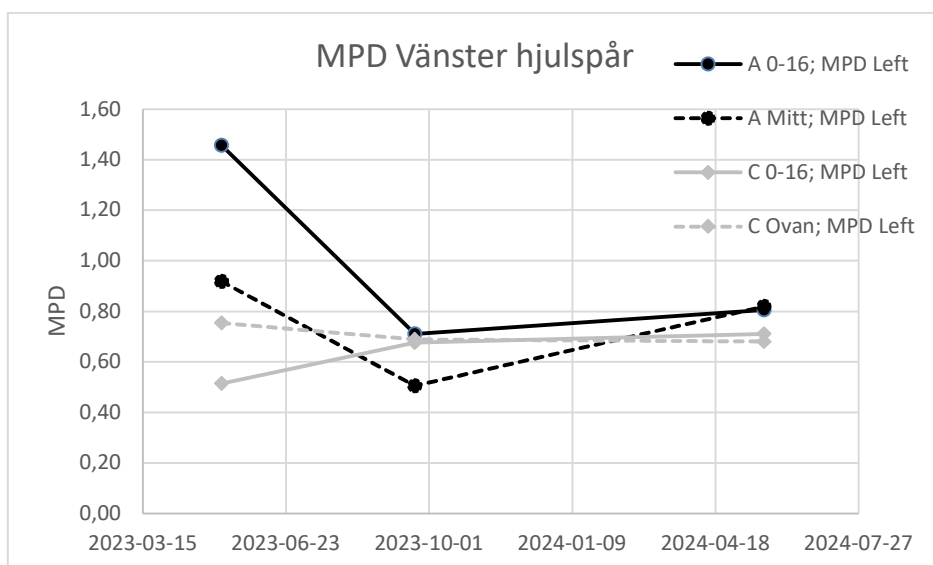


Figur 22. Exempel på hur MPD-värden kan variera utmed teststräckorna.

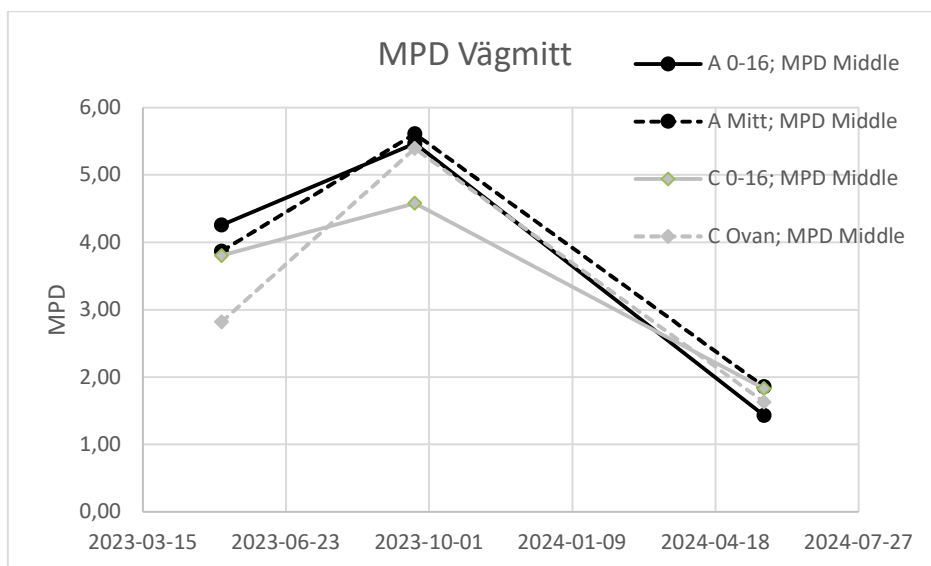
Figur 22 visar att sträckan A Mitt har ett parti med låga MPD-värden, här har ytan packats av trafiken, vilket upplevs som komfortabelt för trafikanten. Övriga ytor har partier med samma nivåer men det finns också partier med löst grus.



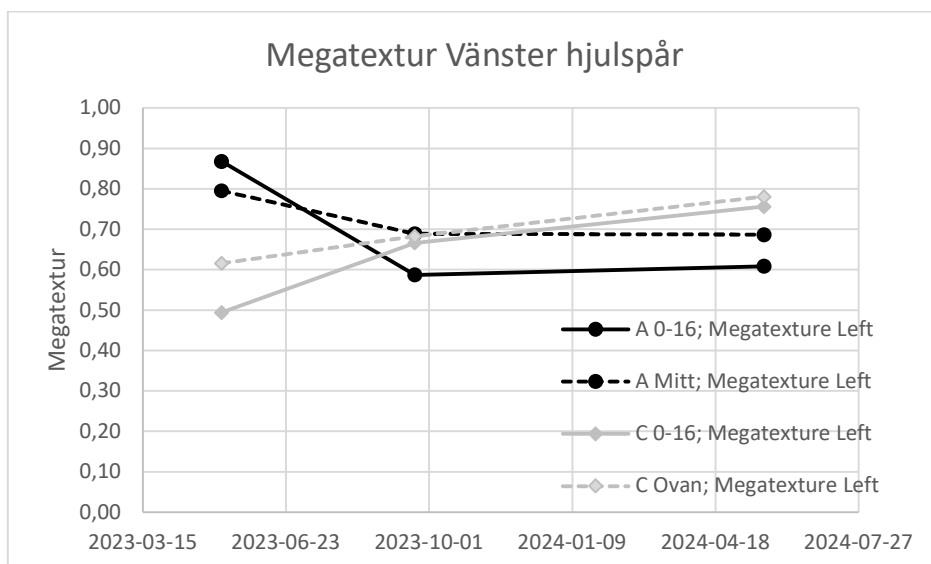
Figur 23. MPD-värden på sträckan med material A mitt i zonen för grusslitage.



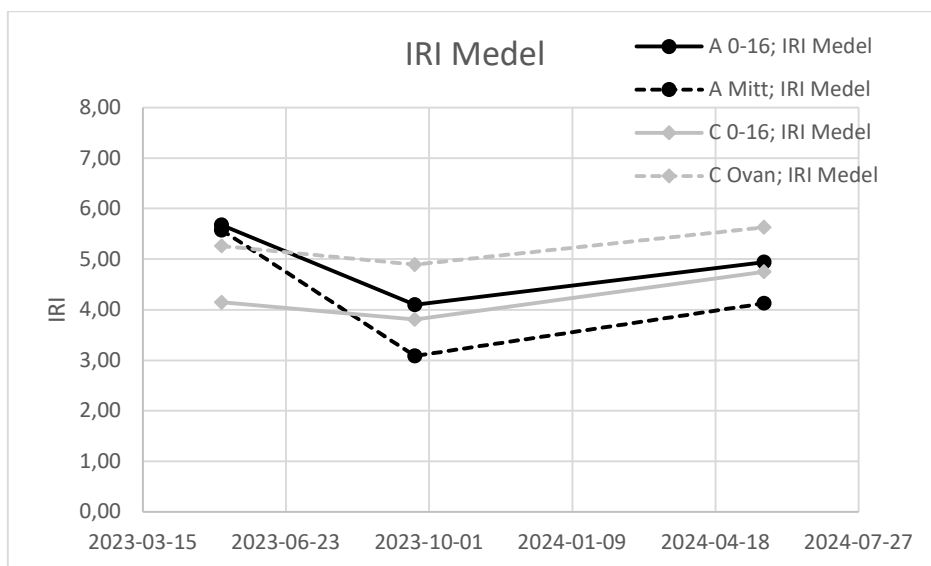
Figur 24. MPD-värdets variation för de olika måttillfällena för vänster hjulspår.



Figur 25. MPD-värdets variation för de olika måttillfällena för vägmitt.



Figur 26. Värderna för megatextur, olika måttillfällena, för respektive mätsträcka.



Figur 27. IRI värden som medel av höger och vänster hjulspår.

Diagrammen ovan (Figur 22 till Figur 27) visar att slitlagret inte riktigt hade stabiliserat sig vid första mättillfället, spridningen mellan de olika provsträckorna är generellt störst våren 2023. Jämnheten för de längre våglängderna (beskrivna av megatextur och IRI) har försämrats något till det senaste mättillfället våren 2024 i jämförelse med hösten 2023. För IRI-värdet är den inbördes skillnaden mellan provsträckorna densamma för mätningen hösten 2023 och våren 2024. MPD är den mest känsliga indikatorn för grusvägen, här spelar mycket detaljer in på resultatet, främst vårbruket och väderleken innan mätning (nederbörd). I hjulspåren är MPD-nivån relativt lika mellan höstens mätning 2023 och den på våren 2024. Sammanfattningsvis visar resultatet att,

- Ingen skillnad kan observeras från mätbilen avseende löst grus vid inblandning av filler. Material C har något jämnare ytstruktur än A.
- Ingen indikation på potthål och korrugeringar fångas av mätningarna, inga signifikanta skillnader kan heller inte urskiljas när filler används som inblandning i slitlagret. Material A är något jämnare än C.
- Den allmänna ojämnheten skiljer sig relativt mycket mellan provsträckorna. Det finns ingen systematik i skillnaderna som säger att funktionen med filler ger ett bättre eller sämre resultat.

Okulär slutbesiktning

Besiktning av teststräckor i maj 2024, efter drygt ett års bruk. Inga driftåtgärder är utförda under testperioden.

Sektion 0 m (noll) i södra änden (av sträcka 1). Höger och vänster gäller för norrgående färdriktning (ökande sektion).

Främst har skador beskrivits och karterats. Generellt är sträckorna i bra/hyfsat skick med normal mängd löst grus i vägkanter och i vägmitt. Det lösa gruset varierar något mellan sträckorna.

Sträcka 1 (material A 0/16, pegmatit/grovkornig granit): kommentarer och skador beskrivs i Tabell 8 och visas i Figur 28.

Det finns en trumma tvärs vägen strax efter anslutningsvägarna i början av sträckan.

Tabell 8. Sträcka 1, Material A 0/16 (under gsl-zonen), 0-75 m

Avstånd, m	Skador/kommentar
3-32	13 potthål i höger hjulspår
40	antydning till skador i vänster hjulspår
44	antydning till skador i vänster hjulspår.
44 m och framåt	tydligt med gult grus i väggkant
59-61	ytlig skada + 2 potthål i höger hjulspår.
66	antydning till skada i höger hjulspår.
68-	grövre skrovlig yta vänster hjulspår



Figur 28. Sträcka 1, material A 0/16. Till vänster potthål i höger hjulspår. Till höger "gult" grus i väggkant.

Kommentar från närboende: i början av sträcka 1 är det alltid potthål. Vilken av sträckorna som är bäst varierar.

Man kan anta att potthålen i början sträcka 1 beror (delvis) på att vatten följer anslutande väg från ovanliggande fastigheter.

Sträcka 2 (material A mitt): kommentarer och skador beskrivs i Tabell 9 och visas i Figur 29.

Tabell 9. Sträcka 2, Material A 0/16 + filler (mitt i gsl-zonen), 75-150 m

Avstånd, m	Skador/kommentar
75-85	höger skrovlig yta/skada fortsätter från sträcka 1.
75-90	vänster skrovlig yta/skada fortsätter från sträcka 1.
105-111	längsgående skada i vänster hjulspår
115-137	regelbundna potthål i höger hjulspår, minst 13 tydliga
145	ett potthål till höger



Figur 29. Stäcka 2, material A mitt. Ojämn yta/skada vid övergång från sträcka 1 (mtrl A 0/16).

Längs hela testvägen förekommer små regelbundna skador med 22 cm avstånd (troligen efter arbetsfordon?). Se Figur 30.

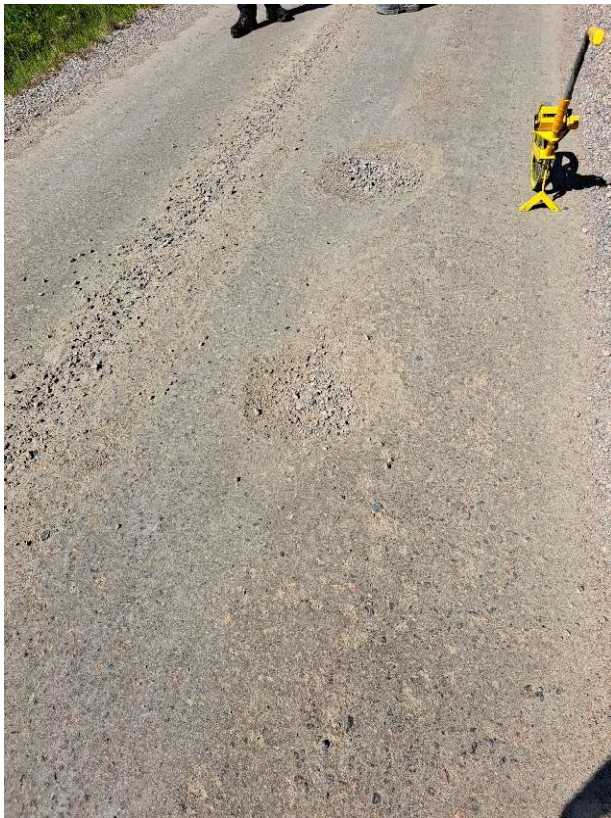


Figur 30. Regelbundna ojämnheter/små skador.

Sträcka 3 (material C 0/16, gnejsig granit): kommentarer och skador beskrivs i Tabell 10 och visas i Figur 31.

Tabell 10. Sträcka 3, Material C 0/16 (under gsl-zonen), 150-228 m

Avstånd, m	Skador/kommentar
152-154	2 potthål till höger.
159-161	yttlig skada till höger.
184	ett potthål höger.
184-202	mindre ojämnheter till vänster.
202	ett potthål.
224	trumma.
	Lite skador vänster före slutet.
228	slut.



Figur 31. Sträcka 3, material C 0/16. Två potthål i början på sträckan.

Sträcka 4 (material C ovan): kommentarer och skador beskrivs i Tabell 11 och visas i Figur 32.

Tabell 11. Sträcka 4, Material C 0/16 + filler (ovan gsl-zonen), 228-304 m

Avstånd, m	Skador/kommentar
234	ett potthål vänster,
254	ett potthål vänster.
262	vag antydning potthål höger.
278	potthål höger.
305	slut



Figur 32. Sträcka 4, material C ovan. Till vänster sedd från söder mot norr. Till höger sedd från norr mot söder.

4. Slutsatser

4.1. Produktionsmetod

Denna studie har utvecklat och verifierat en produktionsmetod för inblandning av överskottsfiller från asfaltverk i material till gruslittlager och stödremsa. Följande slutsatser kan dras baserat på resultaten från metodutvecklingen och fullskaleförsöken:

- En av de största utmaningarna med hantering av filler är damning, på grund av fillerns partikelstorlek ($<0,063$ mm). Genom att använda vattenbegjutning av upplag, som visade sig vara en effektiv metod för att minska damning, kunde en god arbetsmiljö säkerställas. Denna åtgärd är enkel att implementera med befintlig utrustning på de flesta produktionsanläggningar och visade sig effektiv för hydrauliskt bundna finkorniga material som filler.
- Verifieringen av produktionsmetoden visade på en tillräckligt jämn och en väl homogeniserad slutprodukt. Genom att använda en proportioneringsmetod som tog hänsyn till kornstorleksfördelning och fukthalt, kunde ett blandningsförhållande mellan filler och 0/16-material beräknas. Detta verifierades genom fullskaleförsök där avvikelserna mellan beräknade recept och faktiska värden på produkt var godtagbar. Resultaten visar på att det är möjligt att tillämpa metodiken för att producera ett material vars kornstorleksfördelning uppfyller kraven för kornstorleksfördelning ställda på gruslittlager och stödremsa i Obundna lager för vägkonstruktioner, TDOK 2013:0530.
- Den utvecklade metoden är utformad för att kunna tillämpas med befintlig produktionsutrustning, vilket innebär låga trösklar för implementering och rimliga produktionskostnader. Den är också skalbar och kan anpassas efter lokala förutsättningar och önskat utfall, vilket gör den flexibel och praktiskt genomförbar på de flesta produktionsplatser.

4.2. Laboratoriestudier

Packning

Samtliga material ger att ju högre finmaterialhalt (fillerinblandning) desto högre optimal vattenkvot. För originalsortering är den optimala vattenkvoten i spannet 7-9%. Med hög fillerinblandning ("Ovan-materialen") är den optimala vattenkvoten i intervallet 5-7%. Material A, C och D har en maximal torr skrymdensitet på ca $2,20 \text{ Mg/m}^3$ och material B har ca $2,40 \text{ Mg/m}^3$. Det finns inga tydliga trender för den maximala torra skrymdensiteten som kan bero på fillerinblandning.

Bärighet, CBR

Generellt så minskar bärigheten med ökad fillerinblandning. Det är en klar minskning för främst material B och C, som också har högt CBR-värde för 0/16 i originalsortering (utan filler). Material D har också avtagande bärighet med fillerhalten men inte lika starkt. Material A sticker ut med att ha ökande bärighet med ökad fillerinblandning. Material A har också klart lägst bärighetsvärden. Material C har högst bärighetsvärden.

Resultaten från CBR-provning av de undersökta materialen visar på tydliga skillnader i bärighet, vilket kan kopplas till deras mineralogiska sammansättning. Material A sticker ut genom att ha avsevärt sämre bärighet jämfört med material B, C och D. En hypotes som kan förklara detta är

att material A är grovkornigt (mineralkorn >5 mm), medan de andra materialen i studien domineras av bergarter som inte är mer än fint medelkorniga (<3 mm). Material A är relativt rik på kalifältspat, ett mineral som har en tendens att bilda större korn än kvarts och plagioklas i magmatiska och metamorfa processer, så förutom en generell grövre kornstorlek i material A så är kalifältspaten tom mycket grov.

Det är allmänt känt att material från vissa bergtäkter fungerar dåligt som grusslitlager och kräver betydligt mer underhållsåtgärder. Det är i sammanhanget intressant att material A har erfarenhetsmässigt visat sig fungera dåligt som grusslitlager med avseende på löst grus och potthåll. (Johansson, 2023).

Mineralogisk sammansättning och typen av lermineral påverkar grusslitlagrets funktion och bärighet (Viman/Höbeda, 1977). Även om denna rapport inte gör direkta kopplingar mellan ett bergmaterials mineralinnehåll och kornstorlek, och grusslitlagrets egenskaper, så finns flera studier som visat att grovkorniga kalifältspatdominerade bergarter lättare spricker och fragmenteras, än mer finkorniga dito dominerade av kvarts och/eller plagioklas (tex Kranz 1980; Tuğrul & Zarif 1999; Jacobsson & Brander, 2024).

Kornstorleksfördelningen hos materialet från Täkt A kan också vara en bidragande orsak till den sämre bärigheten. Täkt A har i jämförelse med övriga undersökta material, en mindre andel korn som är större än 2 mm (grus). Detta kan ha påverkat materialets förmåga att motstå deformation under belastning.

Täthet

Tätheten (dvs. låg permeabilitet) är en viktigare egenskap för grusslitlager, att inte släppa in vatten i väggkroppen, än att ha hög bärighet. Vad gäller tätheten så har samtliga material ökad täthet med ökad fillerinblandning. Material A är generellt mest tätt (10^{-8}) och material C är mest genomsläppligt (10^{-6}), materialen B och D ligger emellan (med 10^{-7} m/s).

Sandpuckel

Blandning med filler ger mer eller mindre tydligt en sandpuckel vid 0,125 mm eller 0,25 mm. För material A och C är puckeln tydligast men det verkar inte påverka bärighet eller permeabilitet, då dessa material har lägsta respektive högsta resultat för respektive egenskap. På provsträckorna observerades ej heller någon tendens till korrugering.

Val av material till provsträckor

Material från laboratoriestudien med generellt högst och lägst värden för bärighet och permeabilitet valdes ut till fältförsöken, material A (pegmatit/grovkornig granit) och C (gnejsig granitoid). Originalsortering (0/16) var med som referenssträcka för de båda materialen. Till testblandning för material A valdes fillerinblandning till mitt i grusslitlagerkravet (finmaterialhalt ca 12%). Till testblandning för material C valdes fillerinblandning till ovan kraven för grusslitlager (finmaterialhalt ca 17%).

4.3. Fältstudier

Generellt såg sträckorna bra ut **initialt**. Materialen var dock inte färdigpackade vilket kom att ske med kommande trafikpackning.

Mätbilen ger inte några tydliga skillnader mellan sträckorna. Sammanfattningsvis visar resultatet att:

- Ingen skillnad kan observeras från mätbilen avseende löst grus vid inblandning av filler. Material C har något jämnare ytstruktur än A.

- Ingen indikation på potthål och korrugeringar fångas av mätningarna, inga signifikanta skillnader kan heller inte urskiljas när filler används som inblandning i slitlagret. Material A är något jämnare än C.
- Den allmänna ojämnheten skiljer sig relativt mycket mellan provsträckorna. Det finns ingen systematik i skillnaderna som säger att funktionen med filler ger ett bättre eller sämre resultat.

Slutbesiktning

Generellt är sträckorna i bra/hyfsat skick med normal mängd löst grus i vägkanter och i vägmitt. Det lösa gruset varierar något mellan sträckorna. Sträcka 1 (material A 0/16) har en hel del potthål, främst i början, vilket kan bero på vatten som följer en anslutande väg från ovanliggande fastigheter. Skador och potthål minskar sedan succesivt utefter sträckorna.

Skadebilden har minskat, åtminstone något, för de sträckor som har fillerinblandningar jämfört med motsvarande referenssträcka. Det finns observationer som kan påvisa att stora fillerinblandningar kan orsaka ytuppmjukning (bli kladdig) vid kraftig nederbörd.

4.4. Fortsatt arbete

Detta är en studie med begränsat antal (två) material för storskaliga tester med fältförsök. Det kan därför vara intressant studera om blandningsförfarandet fungerar i fler täkter, med andra material, med efterföljande fältförsök.

För att få en bättre förståelse för hur bergarten påverkar bärigheten rekommenderas att utföra en mer detaljerad studie som omfattar flera olika material med varierande mineralogisk sammansättning, textur (t.ex. mineralkornstorlek) och struktur. Att klargöra detta samband mellan bergarten och funktionen hos grusslitlager är av betydelse för att bättre förstå hur tex mineralogisk sammansättning och kornstorlek kan påverka materialegenskaperna och utgöra grund för framtida kravställan.

Fortsatta försök/studier kan göras på blandningar/teststräckor med fler/andra finmaterialhalter.

Man kan också överväga att förlägga teststräckor på vägar med högre trafikklass (trafikbelastning). Ytterligare ett alternativ är att de placeras i andra klimat-/temperaturzoner.

Ett sätt att undersöka effekten av finmaterialhalten kan vara att göra tillståndsbedömning på befintliga grusvägar med kartläggning av skador och dra slutsatser därifrån.

Robusta vägmateriäl kommer sannolikt att få en allt större betydelse med tanke på att klimatförändringarna förväntas leda till en ökad frekvens och intensitet av extremväder, såsom kraftiga regn och översvämningar. För att utvärdera bärigheten hos materiäl till grusslitlager under varierande fuktighetsförhållanden rekommenderas fortsatta tester. Ett lämpligt tillvägagångssätt kan vara att utföra California Bearing Ratio (CBR) tester på vattenmättat materiäl. Dessa tester innebär att materialet genomblöts eller mätas med vatten innan testet utförs, vilket simulerar de mest ogynnsamma förhållandena som materialet kan utsättas för, såsom vid tjällossning, efter kraftiga regn eller vid högt grundvattenstånd.

Metodiken torde också fungera på andra sorteringar eller materiällager, till exempel materiäl till stödremsa och bärlager när finmaterialhalten är för låg jämfört med krav (och nivå för funktionella egenskaper). Detta kan vara intressant att undersöka på laboratorienivå och/eller storskaligt.



Figur 33. Inte i väntan på Godot men väl på nästa lass med grus. Foto från våren 2023.

Litteratur/referenser

Carlström, J, Swerock AB (2023) Personlig kommunikation

Johansson, M, Peab Anläggning AB (2023) Personlig kommunikation

Malin Gustafsson, Jenny Lindén, Gabriella Villamor Saucedo, SBUF Nr B 2390, Augusti 2020, Åtgärder avseende diffusa partikelemissioner från bygg- och industriprocesser

Ishizuka, M., M. Mikami, J. Leys, Y. Yamada, S. Heidenreich, Y. Shao, and G. H. McTainsh (2008), Effects of soilmoisture and dried raindroplet crust on saltation and dust emission, J. Geophys. Res., 113, D24212, doi:10.1029/2008JD009955.

Johansson, M. (2024). Besiktningar av teststräckor, maj 2023 - april 2024. Peab Anläggning AB.

Obundna lager för vägkonstruktioner TDOK 2013:0530 version 3.0. 2017-11-24 Trafikverkets kravdokument.

TRVK Väg projekteringskrav (Trafikverket, 2011) TRV 2011:072, TDOK 2011:264.

SS-EN 932-3:2022 Ballast - Generella egenskaper - Del 3: Petrografisk beskrivning, förenklad metod

SS-EN 933-1:2012 Ballast - Geometriska egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning - Siktning

SS-EN 13286-2:2010/AC:2013 Obundna och hydrauliskt bundna vägmateriäl - Del 2: Provningsmetod för laboriemässig bestämning av referensdensitet och vatteninnehåll - Proctorinstämning

SS-EN 13286-47:2021 Obundna och hydrauliskt bundna vägmateriäl - Del 47: Provningsmetod för bestämning av CBR-värde

SS 02 71 11, Geotekniska provningsmetoder - Bestämning av permeabilitet

Vägytemätning Mätstorheter, TDOK 2014:0003, Version 2.0, 2020-01-01. Trafikverkets kravdokument.

Handbok i vägytemått Jämnt hela vägen (trafikverket.se)

Mer grus under maskineriet, handbok för tillståndsbedömning och underhåll av grusvägar utgiven 2015 av SKL (numera SKR)

Viman/Höbeda VTI meddelande 147 (1979) Undersökning av laboriemetoder för bedömning av "bindjordkvalitet" hos grusslitlager

Kranz RL (1983) Microcracks in rocks: a review. Tectonophysics 100:449–480. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(83\)90198-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(83)90198-1)

Tuğrul A, Zarif IH (1999) Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng Geol 51(4):303–317. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4).

Jacobsson L & Brander L (2024) Tensile Fracture Initiation and Propagation of Granite and Gneiss at Wedge Splitting Tests: Part 2—Fracturing Studies Based on Digital Image Correlation

Bilaga 1, Materialfoton

Foton på respektive material i fraktion 8-16 mm visas i Figur 34 och Figur 35.



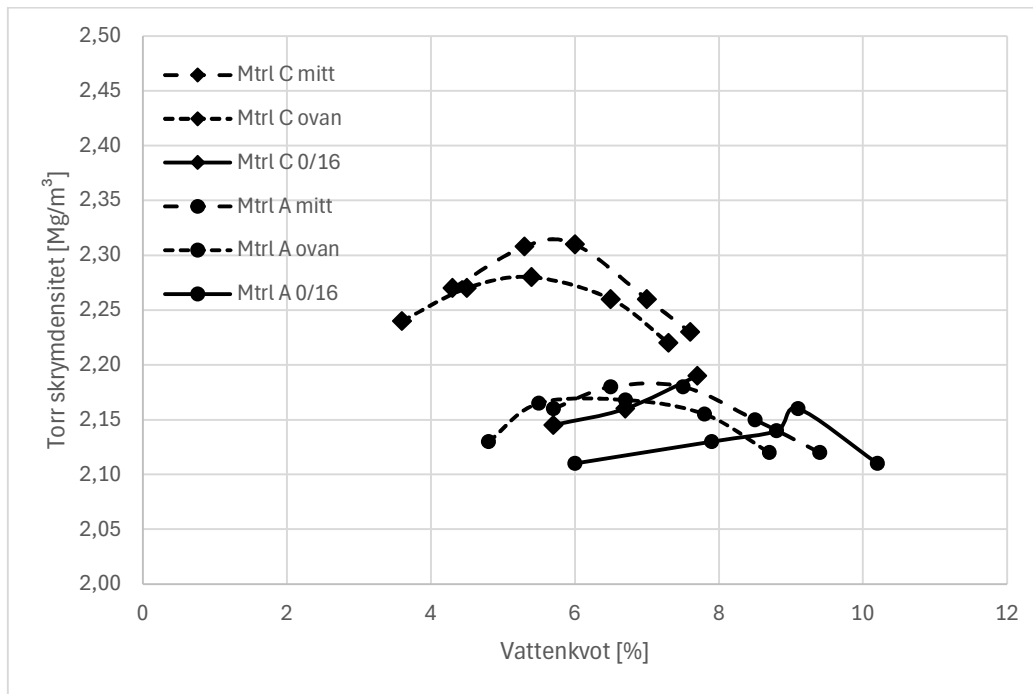
Figur 34 Fotografi av prov från material A (vänstra fotot) respektive material B (högra fotot).



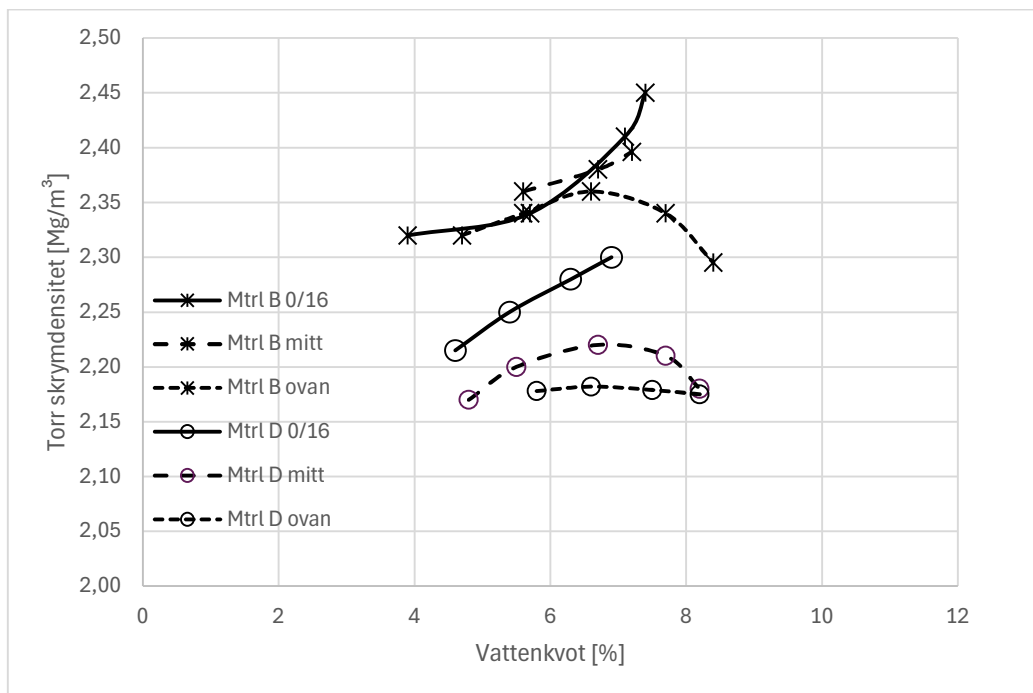
Figur 35 Fotografi av prov från material C (vänstra fotot) respektive material D (högra fotot).

Bilaga 2, Resultat lab.

Packningskurvor, modifierad Proctor



Figur 36. Packningskurvor från modifierad Proctor för material A och C. Dessa material valdes ut till fältförsöket.



Figur 37. Packningskurvor från modifierad Proctor för material B och D.

Resultattabell, CBR

Tabell 12. Resultat av bärighetsmätning med CBR på laboratoriet.

	CBR	CBR	CBR
Prov	max	2,5 mm	5,0 mm
Material A, 0/16, Ovan	86%	61%	86%
Material A, 0/16, Mitt	61%	43%	61%
Material A, 0/16	31%	21%	31%
Medel Material A	59%	41%	59%
Material B, 0/16, Ovan	104%	73%	104%
Material B, 0/16, Mitt	95%	61%	95%
Material B, 0/16	227%	155%	227%
Medel Material B	142%	96%	142%
Material C, 0/16, Ovan	167%	120%	167%
Material C, 0/16, Mitt	157%	109%	157%
Material C, 0/16	228%	169%	228%
Medel Material C	184%	133%	184%
Material D, 0/16, Ovan	113%	80%	113%
Material D, 0/16, Mitt	120%	79%	120%
Material D, 0/16	147%	114%	147%
Medel Material D	127%	91%	127%

Resultattabell, Permeabilitet

Tabell 13. Resultat av täthet/permeabilitet på laboratoriet.

	0/16	Mitt	Ovan	Medelvärde
	m/s	m/s	m/s	m/s
Material A	$3 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Material B	$4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Material C	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Material D	$8 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-7}$
Medel	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	