

Finstoffbestemmelse av bergskjæringsmateriale

Forundersøkelse ved valg av sprengningsmetode (dyp- eller grunnsprengning)

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1122



Tittel

Finstoffbestemmelse av bergskjæringsmateriale

Undertittel

Forundersøkelse ved valg av sprengningsmetode (dyp- eller

Forfatter

Arnhild Ulvik

Avdeling

Vegutforming

Seksjon

Vegteknologi

Prosjektnummer

L10008

Rapportnummer

1122

Prosjektleder

Randi Eggen

Godkjent av

Joralf Aurstad og Jostein Aksnes

Emneord

Finstoffinnhold, bergskjæring, Los Angeles-metoden

Sammendrag

Finstoffinnhold for sprengte materialer er sammenlignet med laboratorieknust materiale og knust materiale etter utført Los Angeles-test. Finstoffinnholdet for sprengt materiale og nedknust materiale etter utført Los Angeles-test viser godt samsvar.

Det er også godt samsvar mellom partikler mindre enn 20 µm og 63 µm, som betyr at bergskjæringsmateriale ikke må relateres til telefarlighetsgrupper, men kun til finstoff.

Det foreslås å erstatte relasjonen til telefarlighetsklasser (kornstørrelser < 20 µm) for undergrunnsmaterialer av bergskjæring/steinfylling med grenseverdier basert på innholdet av finstoff (kornstørrelser < 63 µm) i N200.

Title

Determination of fines content of rock cut material

Subtitle

Preliminary investigation for the selection of blasting method

Author

Arnhild Ulvik

Department

Road Design

Section

Road Technology

Project number

L10008

Report number

1122

Project manager

Randi Eggen

Approved by

Joralf Aurstad og Jostein Aksnes

Key words

Fines, rock out, Los Angeles method

Summary

The fines content of blasted materials has been compared with laboratory crushed material and material crushed after the Los Angeles test has been carried out. The fines content of blasted material and material crushed after the Los Angeles test shows good correlation.

There is also good correlation between particles smaller than 20 µm and 63 µm, which means that rock cut material does not need to be related to frost susceptibility groups.

It is proposed to replace the relation to frost susceptibility classes (particles < 20 µm) for subgrade materials of rock cuts/rock fill with limit values based on the fines content (< 63 µm) in N200.

INNHold

1	Innledning	1
1.1	Regelverket for bergskjæringsmaterialer (N200 og Håndbok 018).....	1
1.2	Undergrunn som dimensjoneringsgrunnlag.....	2
1.3	Krav til finstoff i N200 Vegbygging for overbygningsmaterialer	3
1.4	Tidligere utførte undersøkelser ved laboratoriet i Bodø.....	5
2	Geologiske forundersøkelser	7
3	Laboratorieforsøk med dypsprenge masser	8
3.1	Forsøk med dypsprenge materialer	8
3.2	Innsamling av prøvemateriale	8
4	Gjennomføring av laboratorieanalyser	9
4.1	Tørking av materiale	9
4.2	Sikting av hel prøve med sprengt stein	9
4.3	Laboratorieknusing og sikting.....	10
4.4	Los Angeles-test med sikting av nedknust materiale	10
5	Resultater	11
5.1	Prøvestørrelser, største steinstørrelse og Los Angeles-verdi.....	11
5.2	Finstoffinnhold, korngradering og motstand mot nedknusing for dypsprenge materialer.....	11
5.3	Finstoffinnhold for dypsprenge, LA-knust og laboratorieknust materiale.....	15
6	Vurdering av resultatene	19
7	Konklusjon og videre arbeid	24
8	Referanser	25

FIGURER

Figur 1. Finstoff (< 63 μm) fra sikting mot finstoff fra slemmeanalyse (< 20 μm)	4
Figur 2. N200-krav til finstoff (< 63 μm) for bærelagsmaterialer med sortering 0/22.....	4
Figur 3. N200-krav til finstoff for frostsikringsmaterialer regnet av materiale < 22,4 mm.....	5
Figur 4. Finstoff (< 63 μm) etter utført LA-test mot LA-verdier	6
Figur 5. Sammenheng mellom materiale < 20 μm og 63 μm etter utført LA-test	6
Figur 6. Finstoffproduksjon for lab-knust og LA-knust materiale mot LA-verdier	7
Figur 7. Bilde av prøvemateriale fra Grong	9
Figur 8. Bilde av prøvemateriale fra Ranheim.....	9
Figur 9. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser	12
Figur 10. Los Angeles-verdier mot finstoffinnhold (f)	12
Figur 11. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser regnet av materialandel < 90 mm.....	13
Figur 12. Los Angeles-verdier mot finstoff regnet av materialandel < 90 mm (f_{90})	13
Figur 13. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser regnet av materialandel < 22,4 mm.....	14
Figur 14. Los Angeles-verdier mot finstoff regnet av materialandel < 22,4 mm ($f_{22,4}$)	14
Figur 15. Finstoff fra LA-knust og sprengt materiale mot finstoff fra lab-knust materiale.....	15
Figur 16. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Kristiansand	16
Figur 17. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Inderøy.....	16
Figur 18. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Ranheim.....	17
Figur 19. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Grong	17
Figur 20. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Vuddu nord	18
Figur 21. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Vuddu sør.....	18
Figur 22. Forslag til finstoffgrenser for sprengt materiale for kornstørrelser < 22,4 mm	23
Figur 23. Forslag til finstoffgrenser for LA-knust materiale for kornstørrelser < 14 mm.....	23

TABELLER

Tabell 1. Telefarlighetsklasser (fra N200).....	2
Tabell 2. Bæreevnegrupper (fra N200)	3
Tabell 3. Prøvestørrelser, største steinstørrelse og mekaniske analyser for prøvematerialene	11
Tabell 4. Finstoffinnhold (materialandel < 0,063 mm) for dypsprengte materialer	11
Tabell 5. Finstoffinnhold for dypsprengte, LA-knuste og laboratorieknuste materialer (i %)	15
Tabell 6. Forslag til tabell over bæreevnegrupper (N200)	22

1 Innledning

Et overordnet mål for vegnormalarbeidet er å klargjøre regler og veiledninger, og dermed oppnå et regelverk som er enklere å forstå og bygge etter.

For bergskjæringer (som underbygningsmateriale for veg) har regelverket vært noe uklart i de siste utgavene av N200. Samtidig har dimensjonering av veg (planstadiet) og krav om dokumentasjon av materialkvalitet for bergskjæringer ved bygging av veg (byggefase) hatt ulogisk rekkefølge. Det har også vært usikkerhet rundt hva som skal dokumenteres for bergskjæringsmaterialer, og med hvilke analysemetoder.

Sprengte bergskjæringsmaterialer inneholder gjerne steinstørrelser opp mot en halv meter. Øvre kornstørrelse for materialet er dimensjonerende for prøvemengdebehov, og for å få representative prøver av bergskjæringsmaterialer kreves det store prøvemengder. Trolig velger entreprenører å ikke verifisere på grunn av dette, og byggherre både unnlater å ta stikkprøver og etterspørre dokumentasjon. En annen årsak til manglende dokumentasjon kan også skyldes at det før 2014 ikke ble stilt særskilte krav til bergskjæringsmasser.

Det er behov for å finne en enklere og god nok måte for å dokumentere kvalitet for bergskjæringsmaterialer på. Materialkvaliteten bør dessuten foreligge før det både dimensjoneres og bygges. Det er hensiktsmessig å utføre slike analyser i tilknytning til andre obligatoriske forundersøkelser.

For å se nærmere på denne problemstillingen, er det gjort en undersøkelse av sprengte bergskjæringsmaterialer fra ulike byggeprosjekt. Laboratoriearbeidet er utført ved Statens vegvesens laboratorier i Trondheim og i Skien.

1.1 Regelverket for bergskjæringsmaterialer (N200 og Håndbok 018)

I utgavene av håndbok 018 Vegbygging fra 1999, 2005 og 2011 var vanlig praksis å dypsprengte vegskjæringer. Eneste kriterium var at minsteavstanden fra ferdig vegbane ned til fast berg skulle være større enn 0,75 m.

Ved utgaven av N200 i 2014 ble kravet for bergskjæringsmaterialer endret i forbindelse med at frostsikring av overbygning var i fokus etter teleskader på nybygde veger. Ved dypsprengning skulle berget nå bores og sprenges til et nivå under forsterkningslaget som *sikret drenering og avrenning*. Det skulle sikre at minsteavstanden fra ferdig vegbane ned til fast berg var større enn 1,75 m. Ved sprengning i *svake bergarter* skulle grunnsprengning utføres.

Videre i 2018- og 2021-utgaven av N200 ble det innført spesifikke finstoffkrav knyttet opp mot vannømfintlighet. Ordlyden ble endret til at det *i bergarter som ved forundersøkelser er klassifisert til ikke å bli vannømfintlige etter sprengning* skal det dypsprenges. Finstoffkravet ble satt identisk som for frostsikringsmaterialer ved at andelen finstoff mindre enn 0,063 mm skulle ligge mellom 1 og 7 %, *regnet av materiale mindre enn 90 mm*. Største tillatte stein skulle i tillegg ikke ha sidekant som oversteg 500 mm.

Det ble med dette innført en ulogisk rekkefølge på dokumentasjon, da de sprengte materialene først vil foreligge når vegprosjektene er i byggefase. For å kunne dimensjonere overbygningen i bergskjæringer vil analyseresultatene komme for sent. Samtidig vil det også være feil å kalle det forundersøkelser.

I og med at finstoffkravet til bergskjæringsmaterialer ble satt identisk med frostsikringmaterialer, vil det dypsprengte materialet fra bergskjæringer kanskje kunne bli oppfattet som overbygning i stedet for underbygning. Det stilles ikke spesifikke materialkrav til noen annen underbygning i veglinja, vegoverbygningen dimensjoneres ut fra bæreevnegruppe som grunnen har, om den så består av leire, sand eller myr. Hva vannømfintlig materiale innebærer er heller ikke tydeliggjort (prosent finstoff) i forhold til hva telefarlig materiale er.

I 2022-versjonen ble det gått bort fra vannømfintlighet, og over på begrepet telefarlighet for å samsvare med dimensjoneringsstabellene i N200. Men rekkefølgen på dokumentasjon i forhold til plan- og byggefasen forble uendret.

I revisjon av N200 i 2024 ble det foretatt ytterligere endringer basert på laboratorieforsøkene som denne rapporten omhandler. Geologiske forundersøkelser blir vektlagt med hensyn til å kunne bestemme sprengningsmetode før vegen dimensjoneres. Undersøkelsene utføres samtidig med ordinære geologiske forundersøkelser der materialkvalitet bestemmes mht. bruk i byggeprosjektet, men i tillegg bestemmes finstoffproduksjon etter en modifisert standardisert nedknusningsmetode. Denne er beskrevet i R210 som *metode 135 Finstoffbestemmelse av bergskjæringsmateriale*. Med dette blir rekkefølgen på dokumentasjonen logisk, samtidig som prøvemengde og -omfang reduseres til et minimum.

Fremdeles vil det være behov for noen justeringer for at krav til bergskjæringsmaterialer skal bli enda enklere å håndtere. Dette belyses nærmere i kapittel 6.

1.2 Undergrunn som dimensjoneringsgrunnlag

Ulike typer underbygning har forskjellig bæreevne, og dette må det tas hensyn til når vegoverbygningen dimensjoneres. Underbygningens bæreevne er bestemmende for hvor mektig en overbygning blir.

Det stilles ingen mekaniske krav til materialene i underbygningen, men det foreligger en jordartsklassifisering som grupperer materialer i telefarlighetsgrad etter innhold av finkornige partikler som silt og leire, se tabell 1. Innholdet av de aller fineste partiklene bestemmes ved hjelp av slemmeanalyse, mens partikler større enn 0,063 mm dokumenteres med sikting. Finstoffinnholdet (både partikler < 63 µm og < 20 µm) regnes av materialandel med kornstørrelser mindre enn 22,4 mm.

Telefarlighetsklassifiseringen benyttes også for knust eller sprengt berg.

Tabell 1. Telefarlighetsklasser (fra N200)

Telefarlighetsklasse	Masseprosent av materiale < 22,4 mm		
	< 2 µm	< 20 µm	< 200 µm
Ikke telefarlig, T1		< 3	
Litt telefarlig, T2		3 - 12	
Middels telefarlig, T3	> 40	> 12	< 50
Meget telefarlig, T4	< 40	> 12	> 50

Bergskjæringer det bygges veg på er å betrakte som underbygning. Skjæringene skal enten dypsprenges eller grunnsprenges avhengig av materialkvaliteten. Dypsprenging tilsier at berget bores og sprenges ned til et visst dyp, der massen blir liggende igjen. Ved grunnsprengning utføres samme operasjon, men massen fjernes ned til den sprengte sålen. Som nevnt i kapittel 1.1 har det vært litt

fram og tilbake med hensyn til kvalitetskrav og ordlyd, hvor «svake bergarter», «vannømfintlig materiale» og «telefarlig materiale» er benyttede parametere.

Tabell 2 viser bæreevnegrupper med forskjellige undergrunnsmaterialer. Bergskjæring som er dypsprengt og som ikke inneholder telefarlig materiale (T1) er klassifisert som bæreevnegruppe 1, mens dypsprengte masser med litt telefarlig materiale (T2) plasseres i bæreevnegruppe 3.

Bergskjæringsmaterialer som er middels telefarlige og meget telefarlige (telefarlighetsklasse T3 og T4) anses som uegnet som underbygning og kreves grunnsprengt og fjernet iht. krav 1.10.3.2-1 i N200, mens sand, grus og leire med bæreevnegruppe 5 og 6, som er middels telefarlig (T3) eller meget telefarlig (T4) aksepteres som undergrunn å bygge på.

Tabell 2. Bæreevnegrupper (fra N200)

Undergrunn	Bæreevnegruppe
Bergskjæring, steinfylling, T1	1
Grus, $C_u \geq 15$, T1	2
Bergskjæring, steinfylling, T2	3
Grus, $C_u < 15$, T1	
Sand, $C_u \geq 15$, T1	
Sand, $C_u < 15$, T1	4
Grus, sand, morene, T2	
Isolasjonslag av XPS, skumglass eller lettklinker	
Grus, sand, morene, T3	5
Leire, silt, morene, T4	6
Myr	7

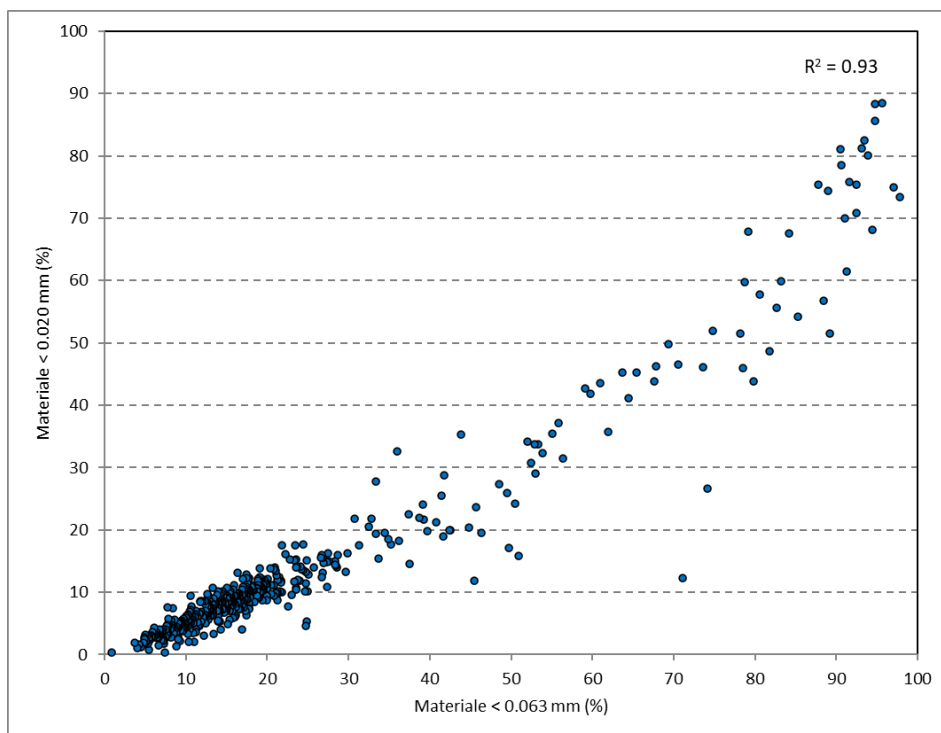
1.3 Krav til finstoff i N200 Vegbygging for overbygningsmaterialer

Til tross for at skjæringer og fyllinger av berg betegnes som underbygning, kan dypsprengte materialer også oppfattes som overbygning i form av frostsikring fordi det stilles krav til at materialet skal være i telefarlighetsklasse T1 eller T2.

For overbygningsmaterialer stilles det krav til maksimalt innhold av finstoff, dvs. kornstørrelser mindre enn 0,063 mm (63 μ m). For bærelagsmaterialer regnes finstoffandelen ut fra hele produktet (f.eks. sortering 0/32 og 0/45) i motsetning til for underbygningsmaterialer, der finstoffandelen beregnes ut fra andelen materiale mindre enn 22,4 mm, uavhengig av «sortering». For forsterknings- og forsterkningslagsmaterialer med øvre kornstørrelse > 90 mm (f.eks. 0/125 eller 0/300) beregnes finstofftallet ut fra materialandel < 90 mm.

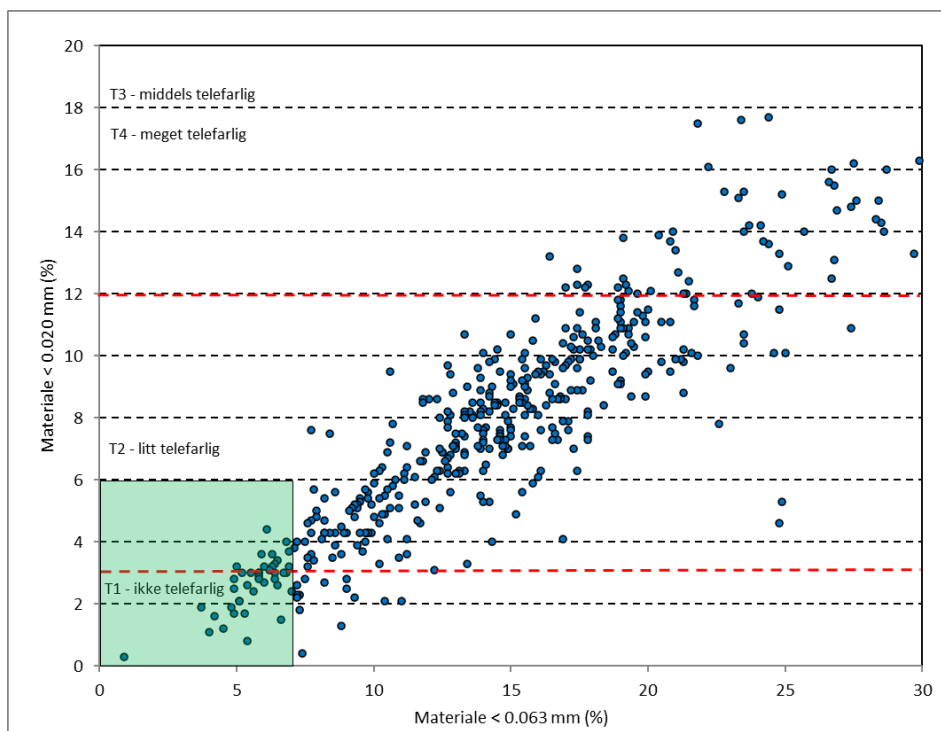
Fram til 2018 ble det stilt krav om at overbygningsmaterialer ikke skulle være telefarlige (T1), samtidig som at finstoffkrav skulle være oppfylt. Dette dobbeltkravet var unødvendig, da sammenhengen mellom finstoff (kornstørrelser mindre enn 63 μ m) og telefarlig materiale (kornstørrelser mindre enn 20 μ m) er svært god. I flere tilfeller viste det seg dessuten at det ene kravet «slo i hjel» det andre.

For et tilfeldig utvalg med oppgravingsprøver fra 2012 er analyseresultatene med finstoffbestemmelse fra slemmeanalyse og fra sikteanalyse sammenstilt i figur 1. Samvariasjonen er svært god.



Figur 1. Finstoff (< 63 µm) fra sikting mot finstoff fra slemmeanalyse (< 20 µm)

I figur 2 er et utvalg av analyseresultatene fra figur 1 vist med finstoffinnhold (< 63 µm) opp til 30 %, og (< 20 µm) opp til 20 %. På figuren er finstoffkrav (< 63 µm) for bærelagsmaterialer med sortering 0/22 markert med grønn boks, med verdien 7 %. Markering for ikke telefarlig materiale (T1) ved 3 % og litt telefarlig materiale (T2) ved 12 % er satt inn med røde horisontale stiplede linjer langs aksene for materiale med kornstørrelser mindre enn 20 µm, se tabell 1.

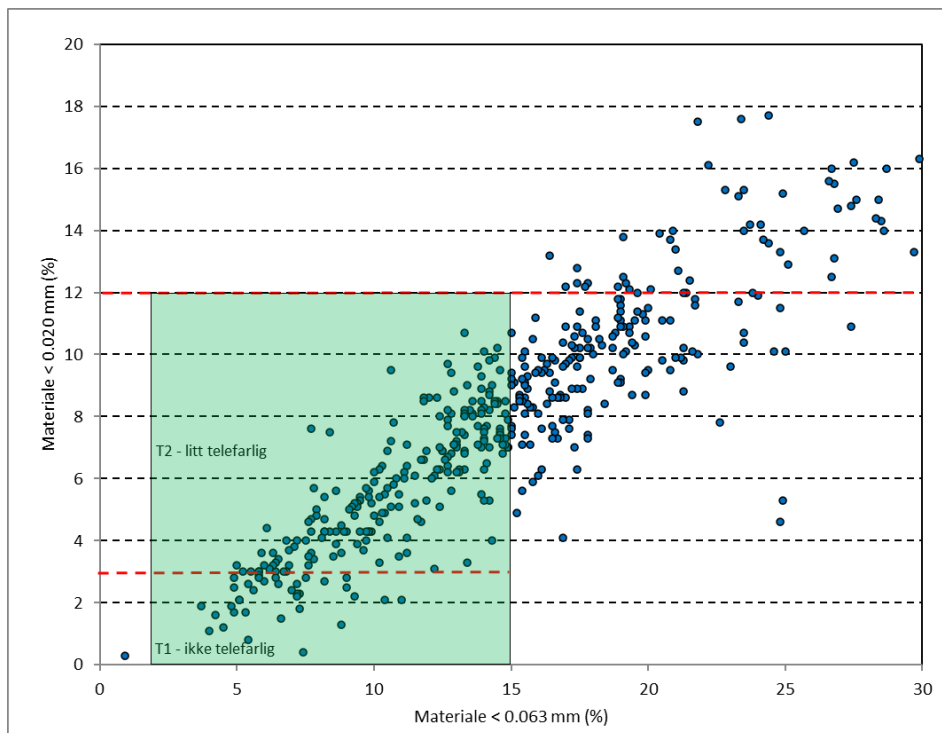


Figur 2. N200-krav til finstoff (< 63 µm) for bærelagsmaterialer med sortering 0/22

Et finstoffkrav (< 63 µm) mindre enn eller lik 7 % kan innebære at materialer som er definert som litt telefarlige må kunne aksepteres. Som figuren viser, havner en god del analyser med verdier mellom

3- 4,5 % materiale < 20 μm i feltet for «T2 – litt telefarlig» innenfor grønn boks. Likeledes må det forventes at det vil kunne opptre materialer som ikke er telefarlige, men som likevel har en høyere finstoffverdi (< 63 μm) enn 7 %. Figuren viser verdier helt opp til 11 %.

For frostsikringsmaterialer er det gunstig med et visst innhold av finstoff. Materialet kan gjerne være litt telefarlig. Kravet om 2-15 % finstoff regnet av materialandel mindre enn 22,4 mm er markert med grønn boks i figur 3. Tallmaterialet i figur 3 er det samme som i figur 2. For frostsikringsmaterialer med store kornstørrelser (0/90 – 0/300) skal finstoffandelen beregnes av materialandel mindre enn 90 mm, og kravet er satt til 1-7 % finstoff. Dette har vist seg å samsvare godt med kravet om 2-15 % regnet av materialandel < 22,4 mm.



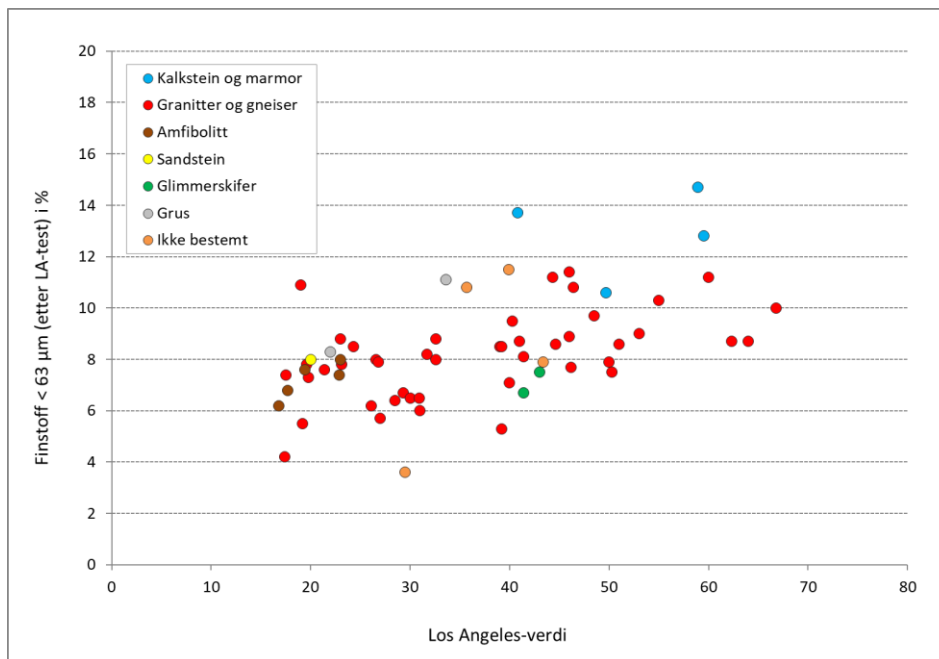
Figur 3. N200-krav til finstoff for frostsikringsmaterialer regnet av materiale < 22,4 mm

Materialer med finstoff (< 63 μm) lavere enn 15 % synes å harmonere godt overens med grenseverdien for litt telefarlig materiale (< 20 μm), med verdien 12 %, se tabell 1. Men motsatt, med innhold lavere enn 12 % (< 20 μm) viser finstoff (< 0,063 mm) å kunne gå opp til 27 %.

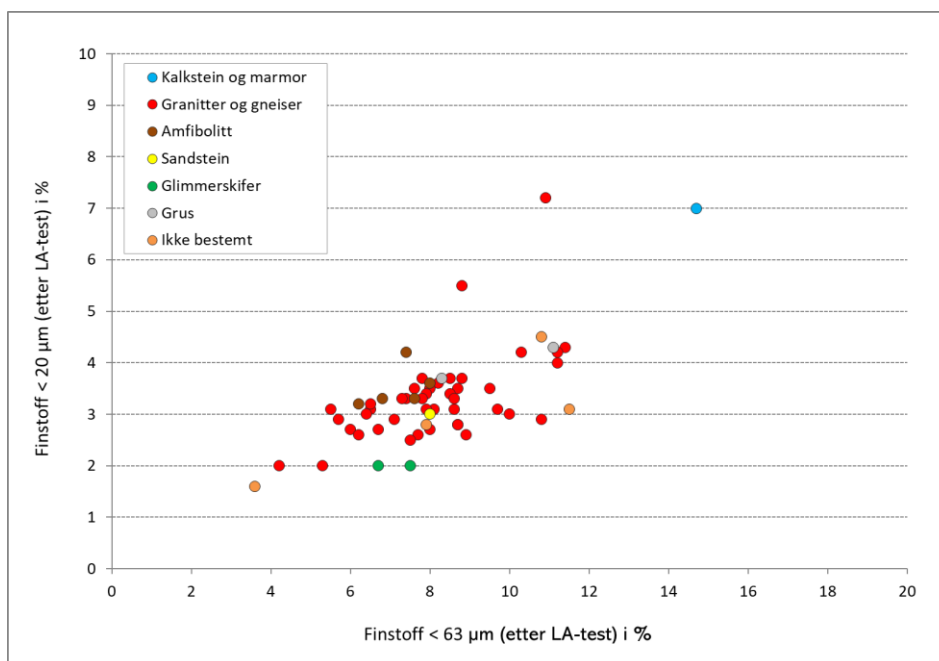
1.4 Tidligere utførte undersøkelser ved laboratoriet i Bodø

Laboratoriet til Statens vegvesen i Bodø utførte for en tid tilbake flere systematiske målinger av finstoffinnhold for nedknust restprodukt etter Los Angeles-test for ulike bergarter. Figur 4 viser Los Angeles-verdi mot produsert finstoff sortert på bergartsnavn. Trenden er at finstoffandelen øker med økende Los Angeles-verdi, men flere faktorer spiller inn, slik som kornstørrelse på bergarten, dannelsesmåte og mineralinnhold.

Det ble også utført slemmeanalyse på materialene. Sammenhengen mellom finstoff med kornstørrelser mindre enn 63 μm og kornstørrelser mindre enn 20 μm for de analyserte materialene er vist i figur 5.



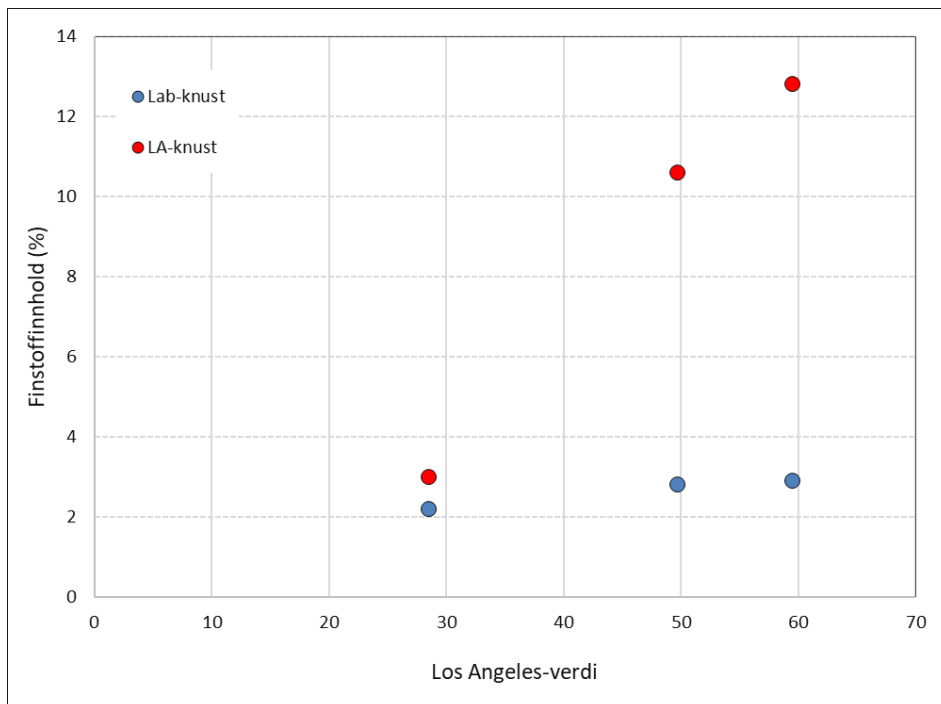
Figur 4. Finstoff (< 63 µm) etter utført LA-test mot LA-verdier



Figur 5. Sammenheng mellom materiale < 20 µm og 63 µm etter utført LA-test

For tre materialer med ulik Los Angeles-verdi ble det utført et separat forsøk der finstoffproduksjon fra laboratorieknusing inngikk. Først ble materialene laboratorieknust med påfølgende sikteanalyse for registrering av finstoffinnhold. Materialet med kornstørrelser fra 10-14 mm ble deretter analysert med Los Angeles, og det nedknuste produktet fra Los-Angelesanalysen ble siktet og finstoffinnholdet for materiale < 14 mm ble bestemt.

Figur 6 viser resultatene for de tre bergartsmaterialene. Basert på få analyser viser likevel trenden økende finstoffproduksjon for materiale med økende Los Angeles-verdi. Det kan synes som at det er en sammenheng mellom finstoffproduksjon fra nedknusing i Los Angeles-trommel og Los Angeles-verdien. For laboratorieknusing er finstoffproduksjonen derimot relativ lav.



Figur 6. Finstoffproduksjon for lab-knust og LA-knust materiale mot LA-verdier

2 Geologiske forundersøkelser

Når anleggsarbeidet i bergskjæringer er igangsatt, er det for sent å utføre «forundersøkelser» for å dimensjonere vegens overbygning. Ved planlegging av nye veger utføres det alltid forundersøkelser, både med hensyn til grunnforhold og geologi.

I N200 er det spesifisert at de geologiske forholdene skal undersøkes der det planlegges bergskjæringer. Det er i første rekke geoteknisk kategori som vurderes, men forundersøkelser og vurderinger skal også omfatte bestemmelse av steinkvalitet med tanke på mulighet for bruk av materialet i veglinja. For massebalansens skyld er det et mål å utnytte bergskjæringer under selve vegbyggingen.

Forundersøkelser for bestemmelse av mekanisk kvalitet for bergarter med metodene micro-Deval og Los Angeles er standard å utføre. Forundersøkelser av bergkvalitet utføres ikke nødvendigvis i planlagt trasé, men i nærliggende områder der samme kartlagte bergart opptrer, og hvor det er enkelt å samle inn prøvemateriale, f.eks. i eldre bergskjæringer langs eksisterende veg. De mekaniske analysene gir en pekepinn på om bergartsmaterialet vil være egnet som overbygningsmateriale ut fra fastsatte krav, men det gir ikke tilstrekkelig informasjon om finstoffproduksjon, telefarlighet eller vannømfintlighet for sprengt materiale.

Bergartsnavn kan være en indikator på finstoffproduksjon, se figur 4, men også bormønster og sprengeteknikk har innvirkning på «produktet» man sitter igjen med etter at salven har gått.

3 Laboratorieforsøk med dypsprengte masser

3.1 Forsøk med dypsprengte materialer

Resultatene fra de systematiske prøvingene med finstoffbestemmelse av Los-Angeles-knust og laboratrieknust materiale fra Bodø la grunnlag for utvidede undersøkelser med dypsprengte masser fra veganlegg.

Målsetningen var å sikte hele prøver med dypsprengt materiale som «fasit» på finstoffproduksjon. Prøvemengden er stor på grunn av store kornstørrelser i sprengtmassen, så forsøkene ble derfor begrenset med hensyn til antall «forekomster».

Ved å sammenligne finstoffandelen som oppnås med laboratrieknust materiale og med Los Angeles-tromlet materiale, var målet å finne en enkel laboratriemetode som kan være «god nok» for å indikere finstoffproduksjon som skjer ved boring og sprengning. Innledningsvis ble det også vurdert å utføre Los Angeles-metoden modifisert med f.eks. kortere eller lengre tromletid enn standarden tilsier, avhengig av hvor godt finstoffmengden skulle vise seg å «treffe».

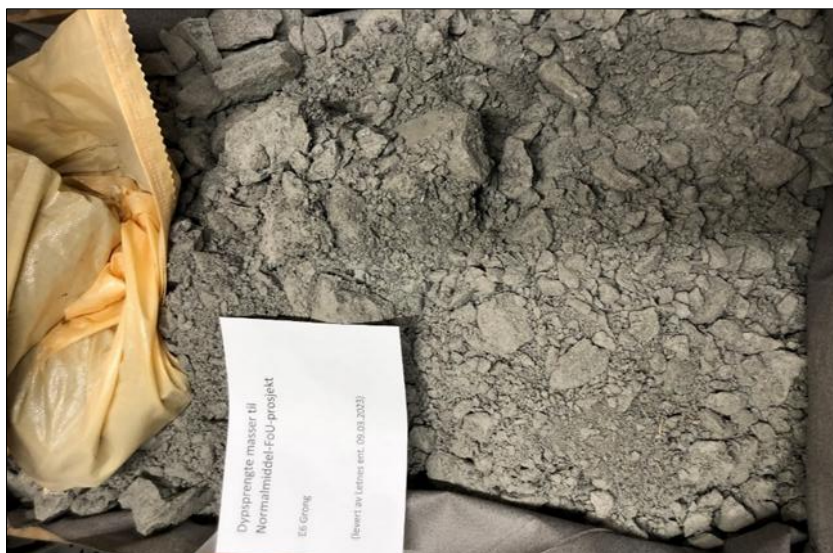
Dagens krav for når det skal utføres dypsprengning eller grunnsprengning i N200 henger sammen med materialets telefarlighetsklasse, tilknyttet dimensjoneringstabell for forsterkningslagsmasser og bæreevne. Telefarlighetsklasse bestemmes ved slemmeanalyse, og regnes av materialandel < 22,4 mm, jfr. tabell 1. Fordi sammenhengen mellom kornstørrelser mindre enn 20 µm og mindre enn < 63 µm (finstoff) er så god, har det ikke vært vektlagt å gjennomføre slemmeanalyse under disse forsøkene, jfr. figur 1.

3.2 Innsamling av prøvemateriale

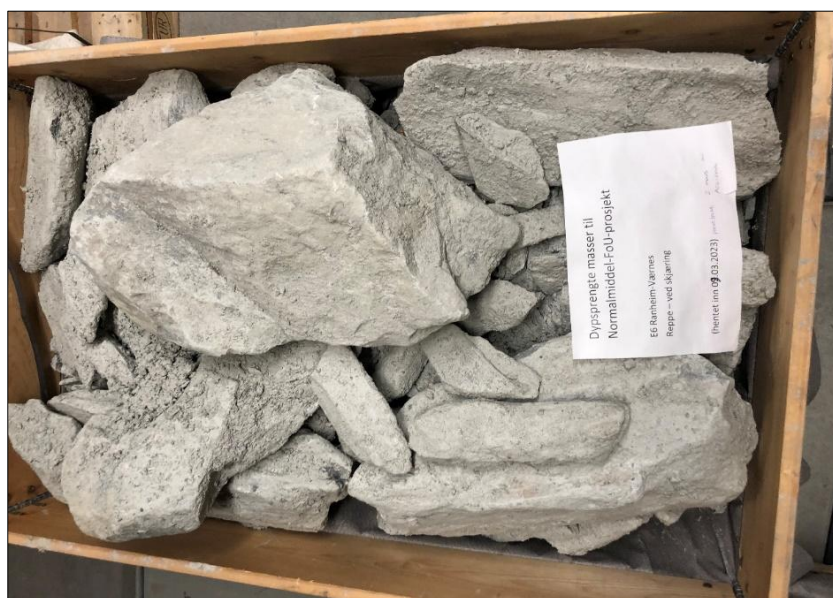
Innledningsvis ble flere vegprosjekter med pågående aktivitet kontaktet for å kartlegge muligheten for å skaffe sprengte bergskjæringsmaterialer, og totalt seks lokasjoner ble valgt ut.

Fire materialer ble hentet av laboratriepersonell i Trondheim, med god hjelp fra anleggene med prøvetaking med maskinelt utstyr og lasting av paller på bil. En prøve ble tatt av entreprenør og levert direkte til laboratriet, mens den siste ble hentet inn og analysert av personell ved laboratriet i Skien. Fem av prøvene kommer fra Trøndelag fylke, der to av de med ulike bergarter har opprinnelse fra E6 Kvithamar-Åsen (kalles for Vuddu nord og Vuddu sør videre), én prøve kommer fra E6 i Fjerdingen-Grøndalselv (benevnes Grong videre), én prøve fra E6 Ranheim-Værnes (benevnes Ranheim videre), og én fra fv. 755 i Inderøy kommune (benevnes Inderøy videre). Den sjettede prøven er fra rv. 41 ved Kristiansand (omtales som Kristiansand videre) i Agder fylke.

Prøvene ble ikke tatt gjennom hele «laget», men anses som relativt representative prøver. Innsamling av prøver ble utført senhøsten 2022 og våren 2023. Figur 7 og 8 viser spennet i kornstørrelser for to av prøvene.



Figur 7. Bilde av prøvemateriale fra Grong



Figur 8. Bilde av prøvemateriale fra Ranheim

4 Gjennomføring av laboratorieanalyser

4.1 Tørking av materiale

På grunn av plasskrevende prøvemengder og store kornstørrelser, ble materialene lufttørket i romtemperatur. De ble ikke vasket. De minste kornstørrelsene ble tørket i tørkeskap.

4.2 Sikting av hel prøve med sprengt stein

Steiner større enn 90 mm ble plukket ut for hånd og sortert. Materialet ble kontrollert med en sikt med 90 mm stor siktåpning. De største steinene for hvert materiale ble målt med tomrestokk. Alt materiale større enn 90 mm ble blitt slått sammen og veid.

Materiale mellom 63 og 90 mm ble siktet for hånd, mens alt mindre enn 63 mm ble håndtert av siktemaskin. Mengde materiale for hver siktstørrelse ble deretter veid, og kornfordelingskurve ble fremstilt. Minst 80 kg materiale for kornstørrelser < 90 mm ble siktet for å få et sammenlignings-

grunnlag mot frostsikringskrav i N200. Materialet som passerte 22,4 mm-sikten ble splittet ned til ca. 5 kg delprøve. Dette materialet ble vasket før sikting på 16 mm, 11,2 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,500 mm, 0,125 mm og 0,063 mm sikt. Masse som ble liggende på hver sikt ble summert og veid.

Finstoff (materiale $< 0,063$ mm) fra hel prøve (f), fra materialandel < 90 mm (f_{90}) og fra materialandel $< 22,4$ mm ($f_{22.4}$) ble beregnet for alle seks prøvematerialer. For ett av prøvematerialene ble det også utført slemmeanalyse i tillegg til sikting.

4.3 Laboratorieknusing og sikting

Ca. 30 kg knyttenevestore steiner fra hvert prøvemateriale ble blitt knust ned i laboratoriet i to trinn etter metode 102 i R210. Laboratorieknust materiale får normalt et knuseprodukt med kornstørrelser opp til ca. 22,4 mm. Det knuste materialet ble vasket, tørket og siktet, hvorpå finstoffinnholdet ble beregnet.

4.4 Los Angeles-test med sikting av nedknust materiale

Fra den laboratorieknuste massen ble kornstørrelser mellom 10-14 mm tatt ut for preparering av 5 kg prøvestørrelse for utførelse av Los Angeles, i henhold til standard.

Etter utført Los Angeles-test ble alt materialet (dvs. fra 0 til 14 mm) vasket og siktet for å få et best mulig sammenligningsgrunnlag mot de andre to variantene. Materialandel $< 1,6$ mm ble registrert som vanlig for å beregne Los Angeles-verdi. Materialandel $< 0,063$ mm ble bestemt, og angis som f_{14} .

5 Resultater

5.1 Prøvestørrelser, største steinstørrelse og Los Angeles-verdi

Prøvestørrelser for hvert materiale, og resultatene for målt største steinstørrelse og mekaniske analyseresultater er vist i tabell 3. Prøvevekten varierte fra ca. 230 kg til over 800 kg, og største steinstørrelse på de sprengte materialene ble målt til mellom 19 cm og 50 cm.

Los Angeles-verdien må betegnes som meget god for samtlige dypsprengte materialer. For eksempel oppfylles fastsatte krav som stilles for forsterkningslag og bærelag. Til og med som tilslag i asfaltdekker med høy trafikkbelastning ville fire av materialene ha tilfredsstilt Los Angeles-kravet, med verdi lavere enn eller lik 20.

Tabell 3. Prøvestørrelser, største steinstørrelse og mekaniske analyser for prøvematerialene

Materiale	Bergart	Prøvevekt (kg)	Største stein (mm)	LA	M _{DE}
Kristiansand	migmatitt	818,5	500	20	10
Inderøy	fyllitt	313,6	250	26	
Ranheim	gråvakke	525,3	390	27	
Grong	glimmergneis	257,2	190	19	
Vuddu nord	fyllitt/leirskifer	232,6	210	17	
Vuddu sør	metasandstein	462,8	220	18	

5.2 Finstoffinnhold, korngradering og motstand mot nedknusing for dypsprengte materialer

Finstoffinnholdet for de dypsprengte prøvematerialene er beregnet ut fra hel prøve (f), fra materialandel mindre enn 90 mm (f_{90}), fra materialandel mindre enn 22,4 mm ($f_{22,4}$) og fra materialandel mindre enn 16 mm (f_{16}), se kapittel 5.3. Resultatene er vist i tabell 4.

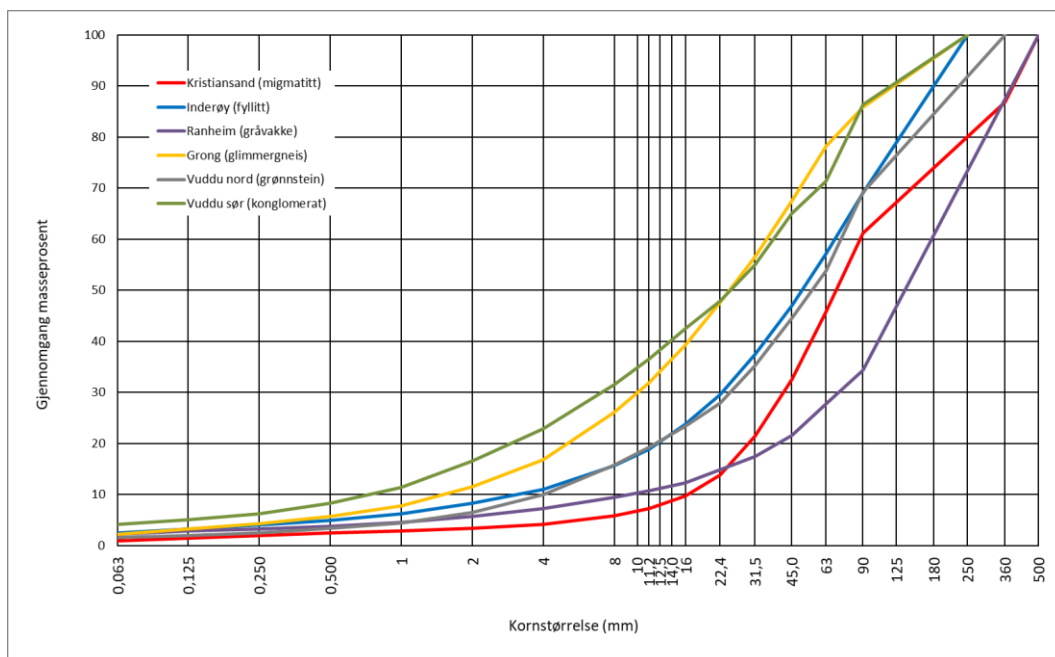
Tabell 4. Finstoffinnhold (materialandel < 0,063 mm) for dypsprengte materialer

Materiale	Bergart	f	f_{90}	$f_{22,4}$	f_{16}
Kristiansand	migmatitt	0,9	1,5	6,5	9,3
Inderøy	fyllitt	2,4	3,4	8,0	10,0
Ranheim	gråvakke	2,2	6,4	14,8	17,9
Grong	glimmergneis	2,2	2,5	4,6	5,6
Vuddu nord	fyllitt/leirskifer	1,5	2,1	5,3	6,3
Vuddu sør	metasandstein	4,1	4,7	8,5	9,6

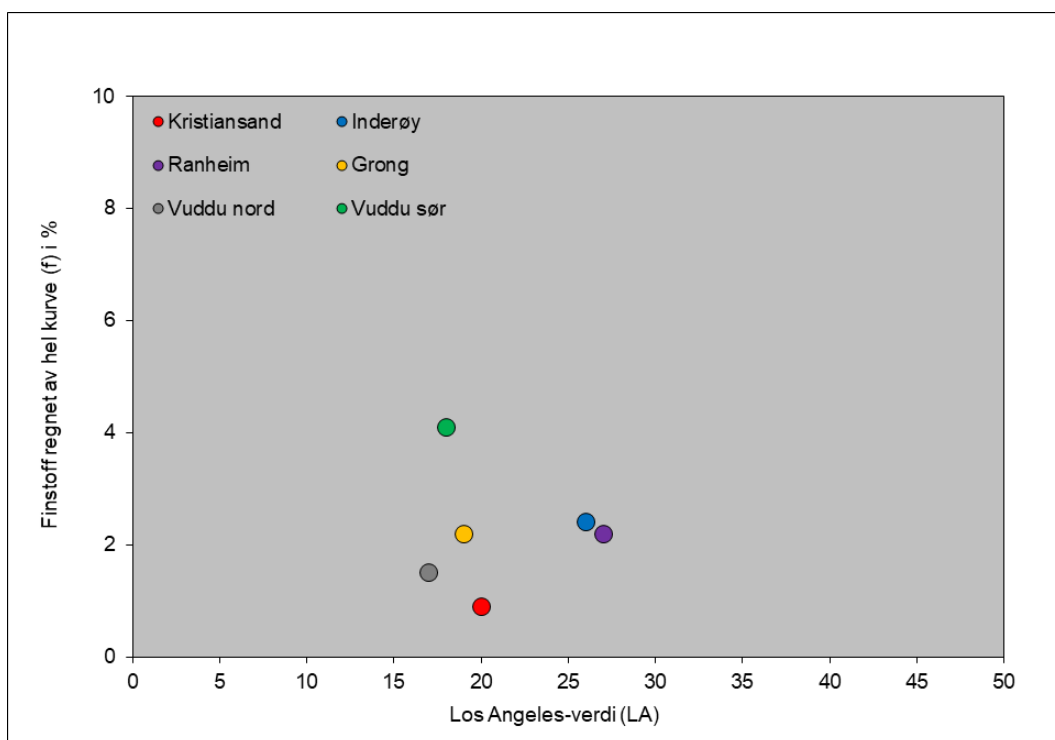
Finstoffinnholdet (f) for alle de seks sprengte materialene er lavt, med verdier mellom 0,9-4,1 % regnet av hele prøver. Korngraderingskurver for de seks prøvene er vist i figur 9.

Los Angeles er en metode som måler evnen til å motstå nedknusing. Analyseverdiene for Los Angeles er sammenholdt med finstoffanalysene fra de dypsprengte prøvene i figur 10. Det stilles ikke krav til mekanisk styrke for bergskjæringsmasser eller frostsikringsmaterialer.

Det er ikke mulig å se et tydelig mønster mellom Los Angeles-verdi og finstoffinnhold ut fra det spinkle tallmaterialet som ligger til grunn. Spennet i verdier er begrenset, og bergartene varierer i mineralinnhold, dannelsesmåte og korntørrelse.



Figur 9. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser

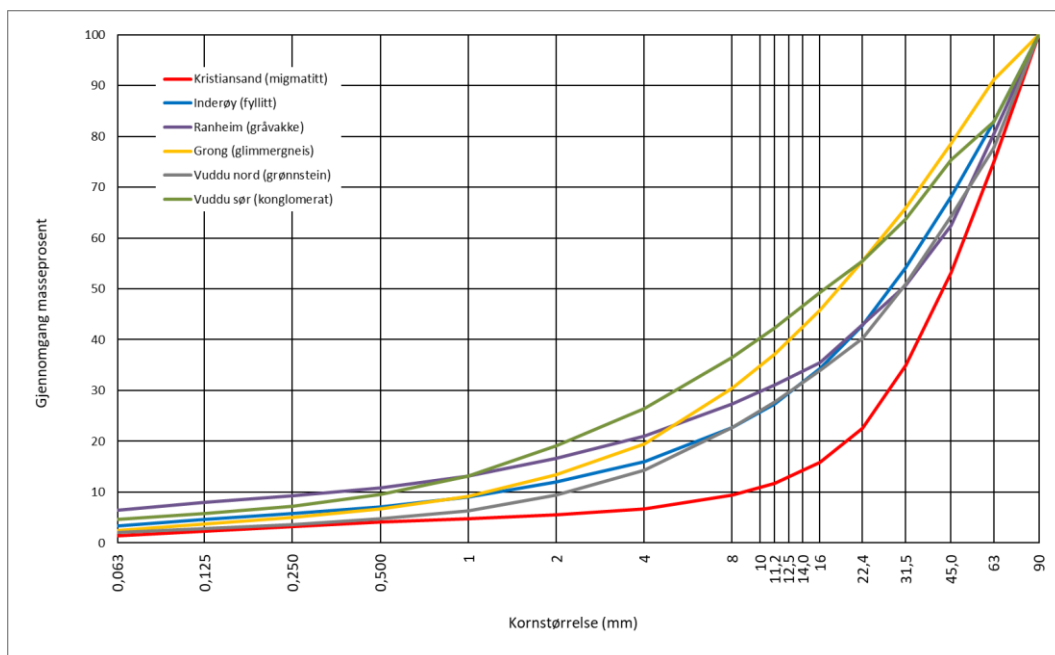


Figur 10. Los Angeles-verdier mot finstoffinnhold (f)

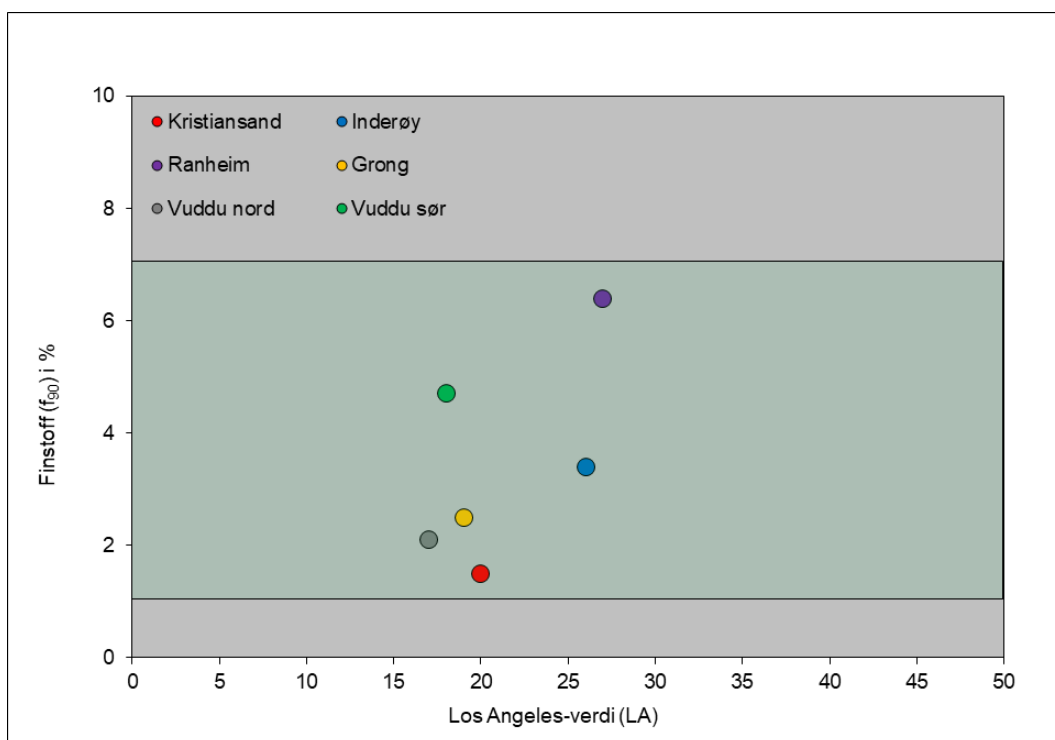
I figur 11 er de samme materialene vist med beregnet finstoff ut fra materialandel mindre enn 90 mm. Andelen materiale som har kornstørrelser mindre enn 90 mm varierer fra ca. 35 % for Ranheim til ca. 85 % for Grong og Vuddu sør, se figur 9.

Finstoffverdien (f_{90}) øker når beregningsgrunnlaget endres, dvs. når andelen av materialer med kornstørrelser < 90 mm legges til grunn. Verdiene for f_{90} ligger mellom 1,5 % og 6,4 %.

Finstoffanalysene er sammenholdt med Los Angeles-verdiene i figur 12, hvor også kravverdier for frostsikringsmaterialer er markert med grønn farge mellom verdiene 1 og 7. Det stilles ikke finstoffkrav (f_{90}) til dypsprengte materialer, men resultatene viser at alle prøvene ville ha oppfylt frostsikringskravet i N200.



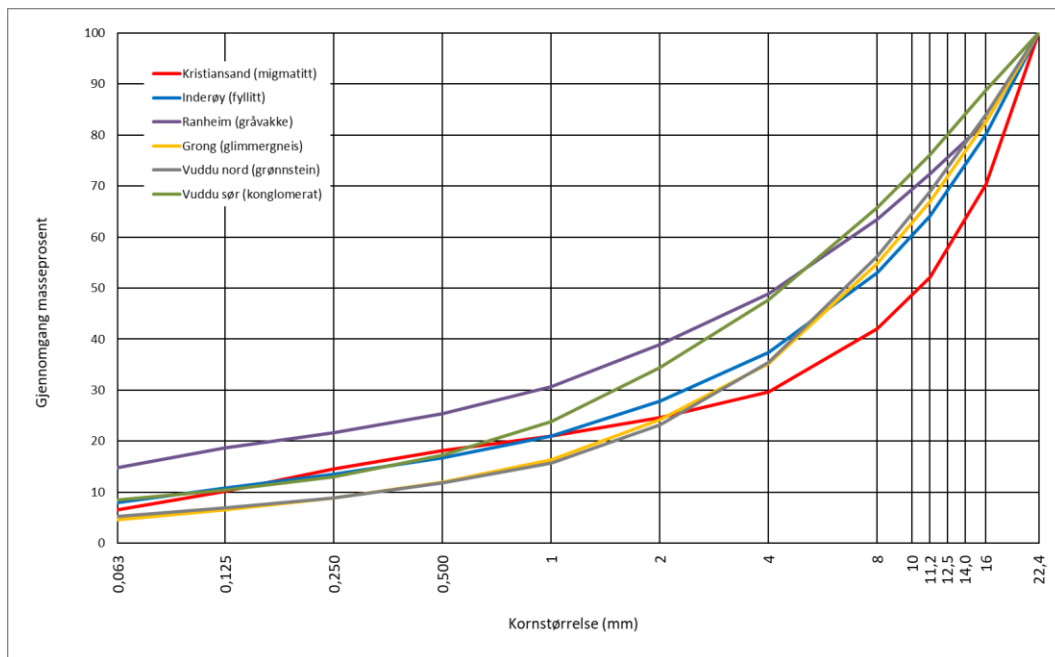
Figur 11. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser regnet av materialandel < 90 mm



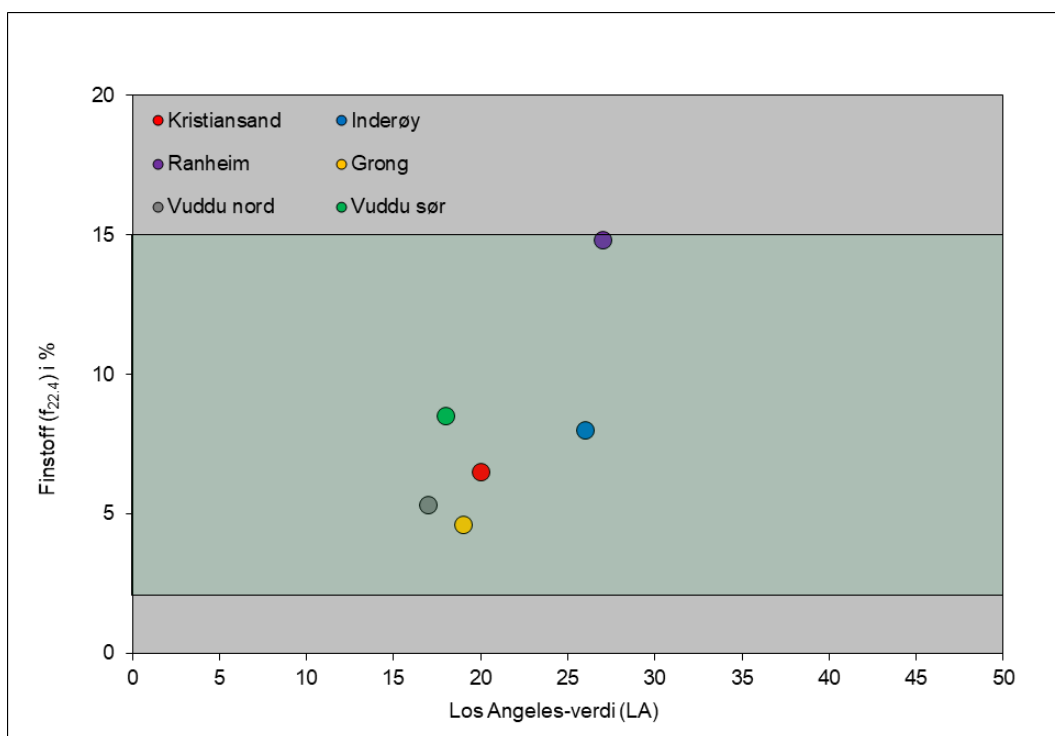
Figur 12. Los Angeles-verdier mot finstoff regnet av materialandel < 90 mm (f_{90})

I figur 13 er innholdet av finstoff beregnet ut fra materialandel mindre enn 22,4 mm. Finstoffverdien ($f_{22,4}$) øker ytterligere når andelen materiale med kornstørrelser mindre enn 22,4 mm legges til grunn. Tidligere (fram til 2021) var kravet til frostsikringsmaterialer i N200 basert på materialandel mindre enn 22,4 mm.

Finstoffanalysene for $f_{22,4}$ varierer fra 4,6 % til 14,8 % og er sammenholdt med Los Angeles-verdiene i figur 14, hvor tidligere kravverdier for frostsikringsmaterialer er markert med grønn farge mellom verdiene 2 og 15. Det stilles ikke finstoffkrav ($f_{22,4}$) til dypsprengte materialer, men resultatene viser at alle prøvene ville ha oppfylt det tidligere frostsikringskravet i N200.



Figur 13. Korngradering for seks dypsprengte bergmasser regnet av materialandel < 22,4 mm



Figur 14. Los Angeles-verdier mot finstoff regnet av materialandel < 22,4 mm ($f_{22,4}$)

Merk spesielt at materialet fra Ranheim med høyest andel med grovkornig materiale får høyest verdi for finstoffinnhold, $f_{22,4}$, til tross for at finstoffandelen regnet av hel prøve (f) er identisk med materiale fra Grong med verdien 2,2 %. Fordi andelen partikler mindre enn 22,4 mm for Grong-materialet utgjør ca. 45 % av den totale prøven, mot ca. 15 % for Ranheimsmaterialet, gir det store utslag i finstoffverdiene.

5.3 Finstoffinnhold for dypsprengt, LA-knust og laboratorieknust materiale

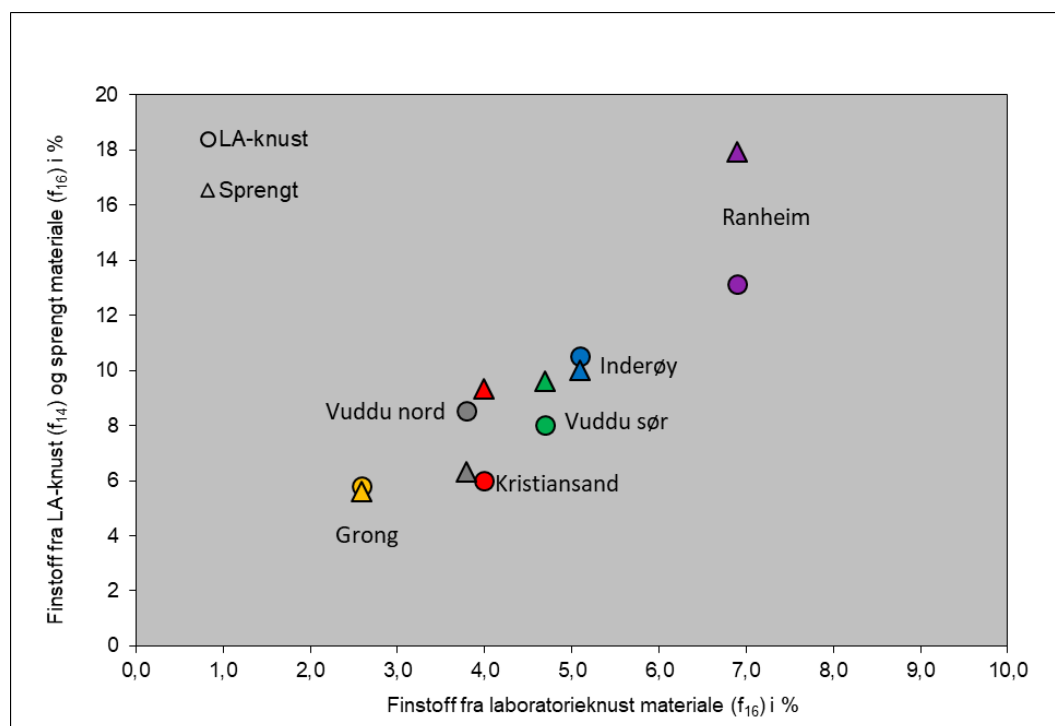
Da Los Angeles-testen utføres på 10-14 mm materiale, vil ingen korn bli større enn 14 mm etter at materialet er tromlet og knust, og finstoffandelen beregnes ut fra det, og benevnes som f_{14} LA-knust.

Ideelt sett burde det ha vært registrert prøvevekt for gjennomgang på sikt 14 mm for de sprengte og laboratorieknuste materialene. Nærmeste sikt som er brukt under sikting av laboratorieknust materiale og for den dypsprengte massen, er 16 mm. For at sammenligningsgrunnlaget skal bli så godt som mulig mellom nedknusningsmetodene, er det blitt foretatt en omregning av finstoffinnhold av materialandel mindre enn 16 mm for laboratorieknust og sprengt materiale. For sprengt materiale er det beregnet finstoffinnhold ut fra hele kurven (f), fra delmateriale mindre enn 90 mm (f_{90}) og fra delmateriale mindre enn 22,4 mm ($f_{22.4}$). I tillegg er det beregnet finstoffandel fra materialmengden mindre enn 16 mm (f_{16}), se tabell 4. Laboratorieknust materiale har gjerne kornstørrelser opp til ca. 22,4 mm, så foruten å registrere finstoffinnholdet til hele knuseprøven ($f = f_{22.4}$), er også finstoffandelen av materialandelen mindre enn 16 mm (f_{16}) beregnet.

Tallverdier for finstoff regnet av materialandel mindre enn 16 mm for sprengte (f_{16} sprengt) og laboratorieknuste (f_{16} lab-knust) materialer er vist sammen med finstoff for LA-knust materiale (f_{14} LA-knust) i tabell 5.

Tabell 5. Finstoffinnhold for dypsprengte, LA-knuste og laboratorieknuste materialer (i %)

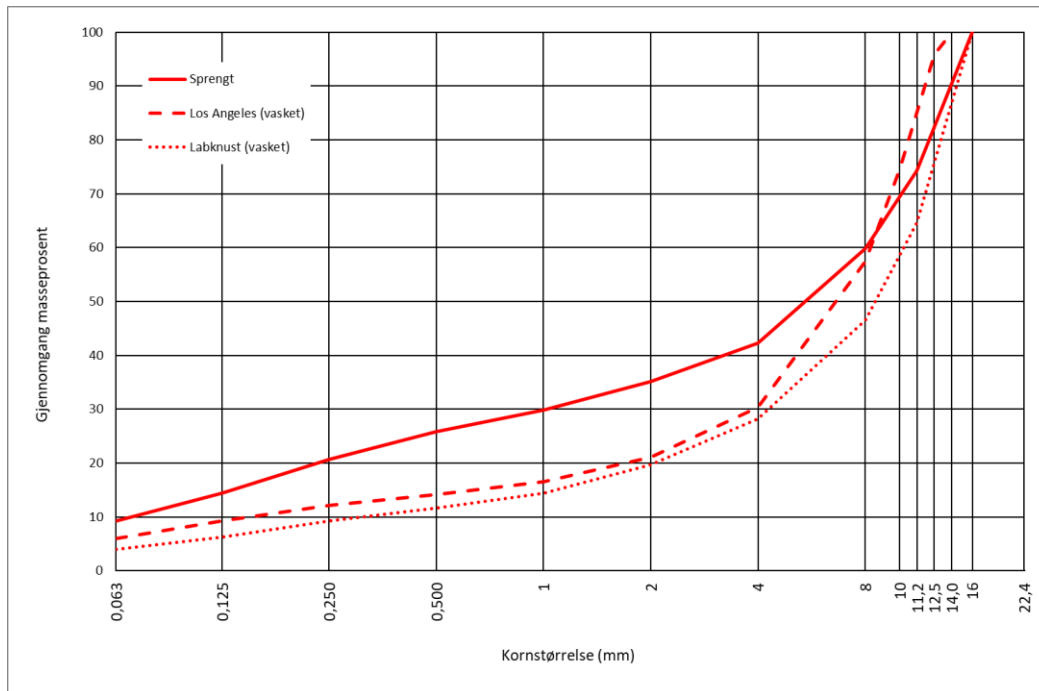
Materiale	Bergart	f_{16} sprengt	f_{14} LA-knust	f_{16} lab-knust
Kristiansand	migmatitt	9,3	6,0	4,0
Inderøy	fyllitt	10,0	10,5	5,1
Ranheim	gråvakke	17,9	13,1	6,9
Grong	glimmergneis	5,6	5,8	2,6
Vuddu nord	fyllitt/leirskifer	6,3	8,5	3,8
Vuddu sør	metasandstein	9,6	8,0	4,7



Figur 15. Finstoff fra LA-knust og sprengt materiale mot finstoff fra lab-knust materiale

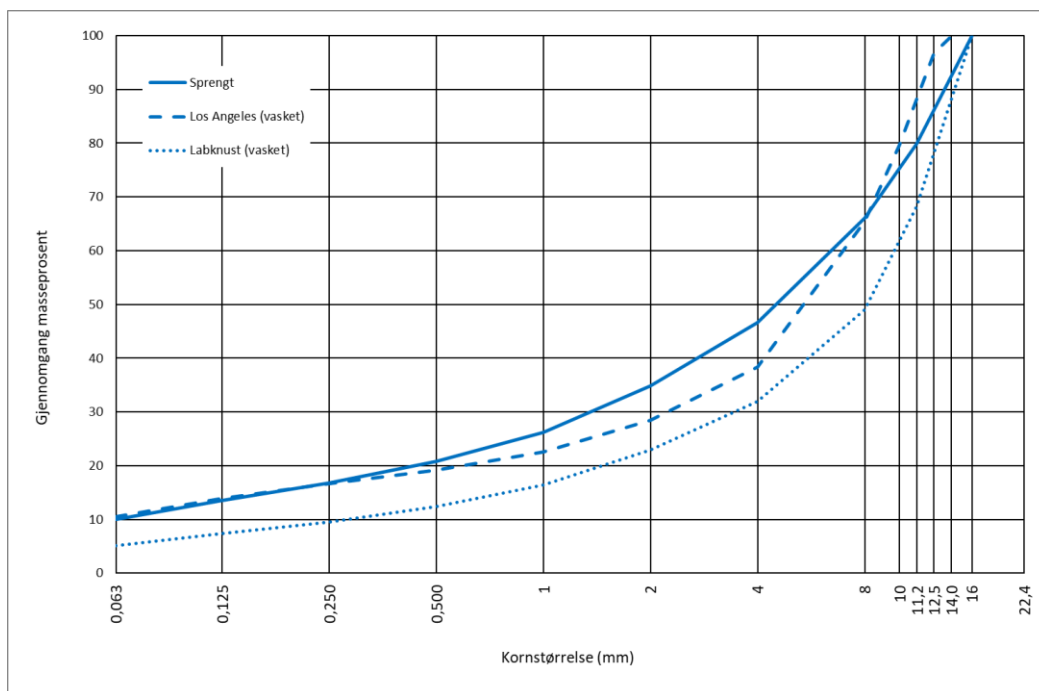
For alle prøvematerialene ligger finstoffandelen for laboratorieknust materiale lavere enn for dypsprengt masse. LA-knust materiale synes å sammenfalle bra med de sprengte massene. Sprengte og LA-knuste masser bytter på å ha høyeste verdi for prøvene. I figur 15 er resultatene fremstilt, med laboratorieknust materiale langs X-aksen og for LA-knust og sprengt materiale langs Y-aksen.

For hver enkelt prøve/forekomst er kornkurvene for laboratorieknust, LA-knust og sprengt materiale sammenstilt i figur 16-21.



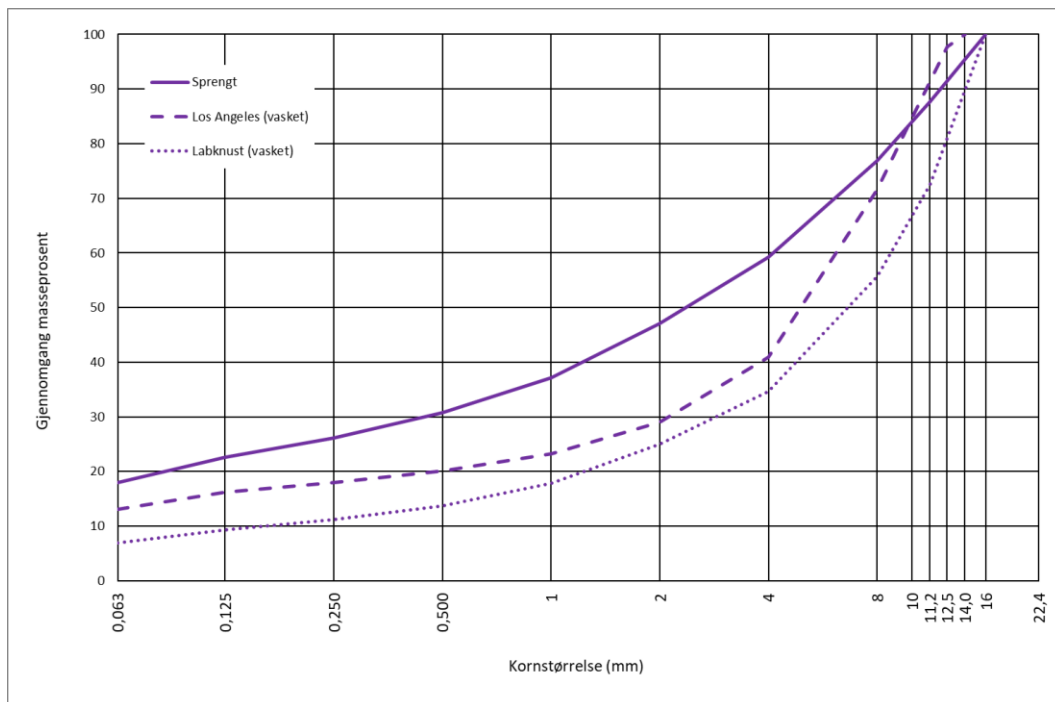
Figur 16. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Kristiansand

I figur 16 viser laboratorieknust materiale ca. 2 % lavere finstoffverdi enn LA-knust materiale. Finstoffinnholdet for sprengt materiale ligger ca. 3 % over LA-knust materiale igjen.



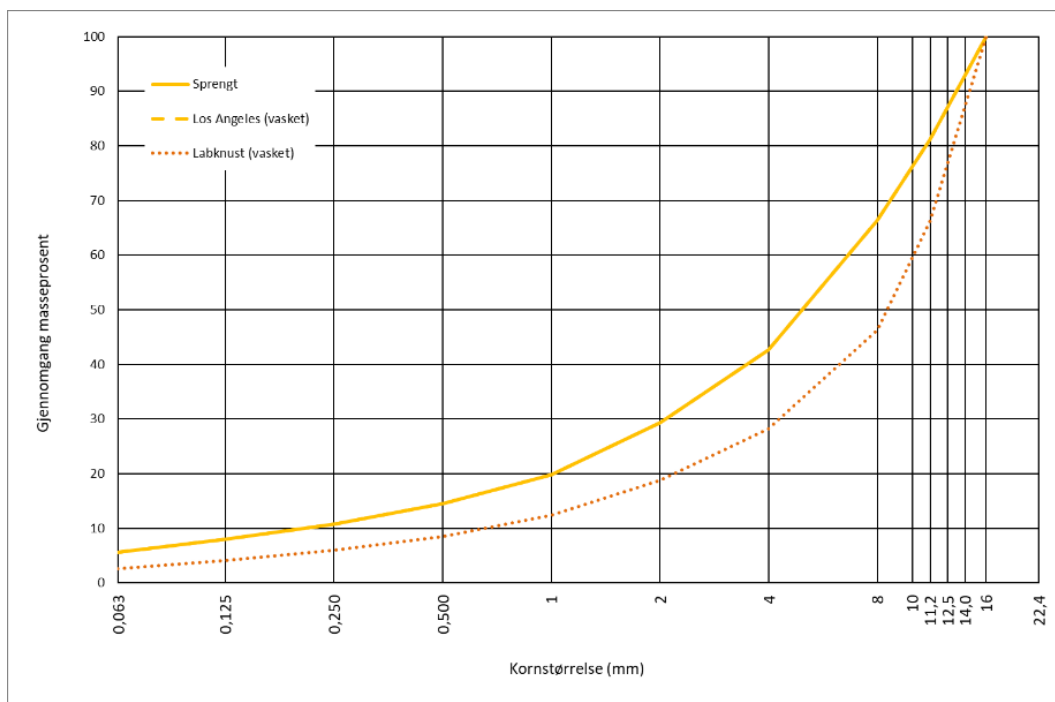
Figur 17. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Inderøy

Figur 17 viser at laboratorieknust materiale gir ca. 5 % lavere finstoffverdi enn LA-knust og sprengt materiale. Det er god sammenheng mellom LA-knust og sprengt materiale i nedre del av graderingen.



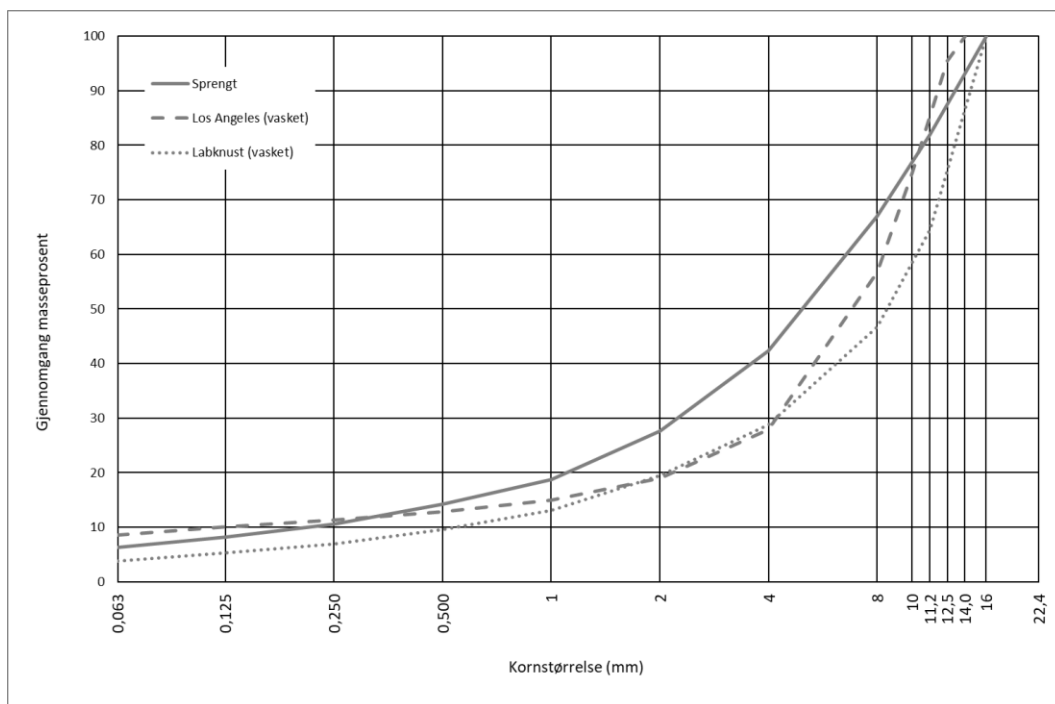
Figur 18. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Ranheim

Figur 18 viser litt større spredning mellom laboratorieknust, LA-knust og sprengt materiale. Laboratorieknust materiale gir ca. 6 % lavere finstoffverdi enn LA-knust materiale, og sprengt materiale ligger ca. 5 % over denne.



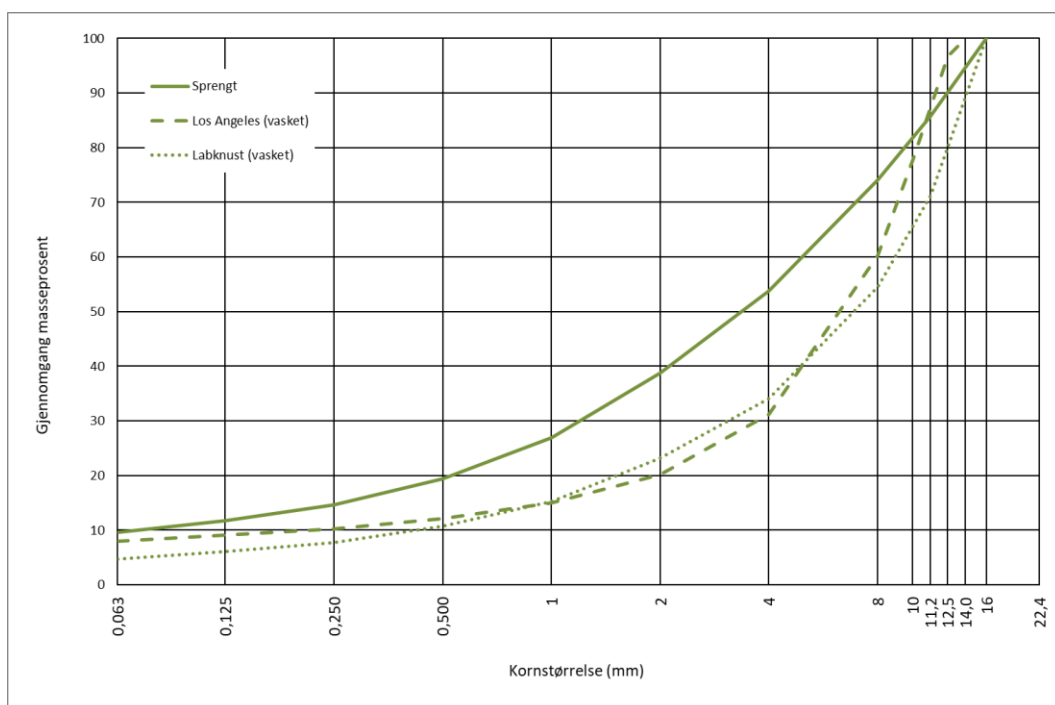
Figur 19. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Grong

Figur 19 viser at laboratorieknust materiale gir ca. 3 % lavere finstoffverdi enn LA-knust og sprengt materiale. Det er god sammenheng mellom LA-knust og sprengt materiale for hele graderingen.



Figur 20. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Vuddu nord

For materialet fra Vuddu nord er det høyest finstoffproduksjon for det LA-knuste materialet med 8,5 %, se figur 20. Laboratorieknust materiale gir 4-5 % lavere finstoffverdi og sprengt materiale havner midt imellom.



Figur 21. Korngradering for sprengt, LA-knust og lab-knust materiale fra Vuddu sør

For materialet fra Vuddu sør ligger verdien for finstoff lavest for laboratorieknust materiale, se figur 21. Det er lite som skiller det LA-knuste og dypsprengte materialet.

6 Vurdering av resultatene

Det er tatt utgangspunkt i at dypsprengte masser er fasit i dette prosjektet. Formålet har vært å komme fram til en enkel og «god nok» laboratoriemetode for finstoffbestemmelse av bergskjæringsmasser, som kan inngå i allerede pålagte geologiske forundersøkelser ved vegbygging. Å få dokumentasjon på bergskjæringsmaterialets kvalitet innledningsvis vil kunne gi en mer bærekraftig bruk av materialene, i tillegg til at planlegging og dimensjonering av veg kan gjennomføres i sin helhet når type sprengning (dypsprengning eller grunnsprengning) er bestemt.

Fordel med liten prøvemengde

Sprengt stein består av en blanding av kornstørrelser, alt fra støvpartikler til steiner opp til 50 cm. En representativ prøve vil med så store steiner kreve ca. 2,5 tonn med materiale for analyse.

Det sier seg selv at hvis man kan klare seg med en prøvemengde på ca. 30 kg, så vil dette kunne gi en stor gevinst, i tillegg til at informasjonen om et bergmateriale vil kunne foreligge på et tidlig stadium.

Bormønster

Ut fra sikteresultatene synes andelen finstoff som genereres fra sprengning å være relativt lav. Det vil variere avhengig av bergart, bormønster og sprengladning. Det er vanlig å bore med 76 mm krone med bormønster 2 x 2,5 meter (5 m²). Mønsteret settes i hovedsak ut fra en kombinasjon av bergets beskaffenhet, pallhøyde og økonomi. Mønsteret «strekkes» så langt som mulig ut fra forventet sprengning, men justeres ofte underveis.

Geologiske faktorer

Bergartsnavn kan være en indikator på finstoffproduksjon. Motstand mot nedknusing måles ved hjelp av Los Angeles-metoden, der høy verdi tilsier et svakt materiale, og en lav verdi indikerer et sterkt materiale som ikke knuses så lett ned. Det er liten variasjon i analyseverdi mellom de seks prøvene i studien, med et spenn i verdier fra 17 til 27. Det kan være en svakhet med undersøkelsen.

Alle materialene i studien er metamorfe (omdannede) bergarter. Prøvene fra Inderøy og Ranheim med sedimentært opphav (fyllitt og gråvakke) gir høyest LA-verdi (er svakest), mens metasandstein og fyllitt/leirskifer fra Vuddu gir lavest LA-verdi (er sterkest). Migmatitt (Kristiansand-materialet) og glimmergneis (Grong-materialet) kan ha magmatisk/vulkansk opprinnelse og gir gode verdier.

Mineralinnhold i en bergart eller kornstørrelsen på mineralkornene kan ha betydning for hvor mye finstoff som blir «produsert» ved boring og sprengning. Et høyt innhold av svake mineralkorn med glimmer og kalk i en bergart bidrar ofte til en anrikning av finstoff. Eksempel på bergarter som gjerne inneholder mye glimmer, er fyllitt, glimmerskifer og glimmerrik gneis.

Finstoff i sprengte materialer

Finstoffandelen i dypsprengte masser varierer for ett og samme materiale avhengig av hvordan beregninger foretas. Mest riktig vil være å regne finstoff (f) av hele «produktet», det er det som brukes direkte i vegbyggingen. Men det er ressurskrevende å dokumentere sprengte masser i sin helhet på grunn av store prøvestørrelser. Å regne finstoff ut fra materialandel mindre enn 90 mm (f₉₀) vil også måtte kreve en større øvelse ved prøvetaking. Det vil være nødvendig med en sikt med 90 mm store åpninger for å skille materialet. Med en høy andel materiale med kornstørrelser over 90 mm, vil det by på utfordringer å sitte igjen med en representativ prøve på ca. 80 kg (etter NS 3468). Det vil i tillegg være utfordrende å prøveta gjennom hele laget med sprengt bergskjæringsmasse hvis mektigheten er på 1,5 meter f.eks.

For kornstørrelser < 22,4 mm vil det være enda vanskeligere å prøveta en representativ prøve på 5 kg for finstoffbestemmelse (etter NS-EN 933-1), da størstedelen av sprengt materiale består av

kornstørrelser > 22,4 mm. Kornstørrelsesfordelingen har stor betydning for utregningen av finstoff. Består et sprengt materiale hovedsakelig av store kornstørrelser, vil finstoffandelen beregnes til å bli kunstig høy for materialandel mindre enn 22,4 mm, selv om den i utgangspunktet er lav for hele sorteringen.

Finstoff i laboratorieknuste og LA-testede materialer

Produktet fra knusing i laboratoriet består normalt av kornstørrelser opp til ca. 20 mm, og det gjelder for laboratorieknuste dypsprengte masser også. Knuseproduktet etter Los Angeles-test har kornstørrelser opp til 14 mm. For at materialene skal kunne sammenlignes på best mulig måte, er finstoffinnholdet fra laboratorieknusingen regnet om fra materiale som har gått gjennom 16 mm-sikten, og ikke fra hele prøven. Tilsvarende beregninger er gjort for de dypsprengte prøvene.

Laboratorieknust materiale produserer vesentlig mindre finstoff enn knuseproduktet fra Los Angeles-testen og fra sprengt stein. Det oppnås et relativt godt samsvar mellom LA-knust materiale og sprengt stein, noe som tyder på at finstoffproduksjonen fra Los Angeles-test tilsvarer finstoffmengden som produseres ved boring og sprengning. Laboratorieknusing synes ikke å gi materialet like tøff behandling som berg utsatt for sprengning.

Metode 135 i R210

På grunnlag av resultatene fra dette prosjektet, er finstoffbestemmelse på Los Angeles-knust materiale innført som obligatorisk metode ved geologiske forundersøkelser av bergskjæringer i revidert N200 fra 2024. Dette kan utføres parallelt med andre pålagte forundersøkelser, kun med minimal ekstra innsats i laboratoriet. Det er blitt utarbeidet egen metodebeskrivelse i R210 Laboratorieundersøkelser, metode nr. 135 Finstoffbestemmelse av bergskjæringsmateriale.

Telefarlighet og valg av sprengningsmetode

Om det skal utføres dypsprengning eller grunnsprengning henger per i dag sammen med materialets telefarlighetsklasse. Telefarlighetsklasse, type underbygning og dens bærende evne er knyttet til dimensjoneringsstabeller for forsterkningslagsmasser. For bergskjæringsmasse inngår kun telefarlighetsklasse T1 og telefarlighetsklasse T2 som alternativer i både underbygningstype med tilhørende bæreevne, samt i dimensjoneringsstabeller. Det synes noe merkelig at middels telefarlige (T3) bergskjæringsmaterialer ikke kan benyttes som underbygning, hvis man sammenligner med naturlig undergrunn som meget telefarlig leire (T4), silt, sand og grus. Det er vanlig å dimensjonere en tykkere overbygning med frostsikring pga. svakere bæreevne, se tabell 2. Det burde også ha vært mulig i sprengte skjæringer med noe svakere bergartsmateriale.

Telefarlighetsklasse bestemmes ved slemmeanalyse, og regnes av materialandel < 22,4 mm. Opprinnelig henger det sammen med jordartsklassifisering av naturlige løsmasser som underbygning, men klassifiseringen har på lik linje blitt overført til knuste materialer. Knust og/eller sprengt berg med «lange sorteringer» vil nødvendigvis ikke gi et riktig bilde av telefarlighet, da materiale med kornstørrelser over 22,4 mm ikke bidrar inn i beregningen. Innholdet av telefarlige kornstørrelser kan derfor bli kunstig høyt og gi et feil bilde av materialets telefarlighetspotensial.

Krav til finstoff for overbygning

For overbygningsmaterialer har man helt gått bort fra telefarlighetskrav i N200 fra 2018. Det er god sammenheng mellom finstoff (kornstørrelser < 0,063 mm) og telefarlig materiale (kornstørrelser < 0,020 mm). Det innebærer at finstoffinnhold bestemt ved sikting er tilstrekkelig. For frostsikringsmasser med sorteringer med største siktstørrelse over 90 mm stilles det krav til finstoffandel regnet av materialandel mindre enn 90 mm, med kravverdi 1-7 %. Verdiene harmoniserer godt med finstoffverdi mellom 2-15 % regnet av materialandel 22,4 mm. For frostsikringsmaterialer med øvre

siktstørrelse mindre enn eller lik 63 mm beregnes andelen finstoff i forhold til materialandelen mindre enn 22,4 mm.

Erstatte telefarlighet med finstoffbestemmelse

Da sprengte bergskjæringsmasser avviker vesentlig fra naturlige løsmasser (leire, silt, sand og grus) mht. kornstørrelsessammensetning, kan man spørre om det er riktig å likestille disse materialtypene i forhold til telefarlighetsbestemmelse. Også ut fra den gode sammenhengen som er påvist mellom kornstørrelser $< 0,063$ mm og kornstørrelser $< 0,020$ mm, bør det være mulig å gå bort fra telefarlighetsklassifisering, og heller bruke finstoff som måleparameter.

Dypsprengte bergskjæringer er normalt solide underbygningsmaterialer med god bæreevne. Det viktigste er å få ledet bort vann så det ikke blir stående i bunnen av frostsonen. I N200 fra 2014 ble det innført krav om at minsteavstand fra ferdig vegbane ned til fast berg skulle være minimum 1,75 m for å sikre god nok avstand ned til frost. Samtidig skulle bergsålen ha en helning på minimum 1:10, slik at vannet ledes bort.

Bergskjæringsmasser bør ikke behandles like strengt (eller strengere) som frostsikringsmaterialer. Dette prosjektet viser at sprengt masse inneholder relativt små mengder med finstoff (f), regnet av hele produktet. Andelen med kornstørrelser mindre enn 0,020 mm (telefarlighetskriterium) utgjør en enda mindre andel av den sprengte massen. Når det regnes om til finstoff fra materialandel $< 22,4$ mm ($f_{22,4}$) vil verdiene bli vesentlig høyere, uten at materialet nødvendigvis gir telehiv.

Ved å ta utgangspunkt i både telefarlighetsklassifisering og at finstoffinnholdet for sprengte masser generelt er lavt, kan toleransen for finstoff ($< 0,063$ mm) heves noe når den økes ved beregning av materialandel $< 22,4$ mm. Fordi den sprengte massen ikke er overbygning, vil det trolig være fornuftig å legge seg på en litt mer romslig inndeling enn for frostsikringsmaterialer, hvor innholdet finstoff helst skal ligge mellom 2-15 %.

Forslag til grenseverdier for finstoff for bergskjæringsmaterialer

Et forslag til inndeling basert på finstoffinnhold ($f_{22,4}$) er som følger: T1-materiale kan erstattes med krav om finstoffandel < 10 % regnet av materialandel 22,4 mm og T2-materiale foreslås erstattet med verdien < 20 % finstoff, se figur 22. Verdier høyere enn 20 % (tilsvarende T3) indikerer en stor finstoffproduksjon, noe som vil kunne innebære et behov for grunnsprengning eller at det tas hensyn til dette ved dimensjonering av overbygningen.

Finstoffresultatene for dypsprengte materialer i dette prosjektet er markert med gule punkter mot et tilfeldig utvalg med analyserte oppgravingsprøver i figur 22. Det er regnet av materialandel mindre enn 22,4 mm. Det er ikke utført slemmeanalyser i prosjektet, så verdier for kornstørrelser $< 0,020$ mm (Y-aksen) er beregnet ut fra erfaringsbasert samsvar mellom finstoffinnhold og telefarlig innhold, der de fineste partiklene utgjør ca. 60 % av andelen finstoff (0,063 mm).

Analyseresultater med LA-knust materiale fra denne undersøkelsen er satt inn i figur 23 som røde punkter for å vise hvor verdiene havner i forhold til foreslåtte grenseverdier. Både figur 22 med sprengte materialer (regnet av materialandel mindre enn 22,4 mm) og figur 23 med LA-knust materiale (regnet av materialandel mindre enn 14 mm) havner i telefarlighetsklasse T1 og T2.

Forslagene med skisserte grenseverdier basert på finstoffinnhold er også lagt inn i tabell 6. Telefarlighetsbestemmelse for naturlige løsmasser som undergrunn beholdes. Det foreslås å akseptere sprengte materialer i bergskjæringer med litt høyere finstoffinnhold (tilsvarende T3). Dette vil innebære krav om frostsikring. Sprengte materialer med verdier høyere enn 30 % (tilsvarende ca. T4) utelates brukt, har man slike masser vil det være ensbetydende med grunnsprengning.

Finstoffkravene til bergskjæringsmasser vil på denne måten ikke være like strenge som for frostsikringsmaterialer, samtidig som at de aller svakeste bergmassene vil kunne velges bort.

Finstoffkravene vil kunne fungere både for dypsprengte masser i sin helhet og for LA-knust materiale ved forundersøkelser.

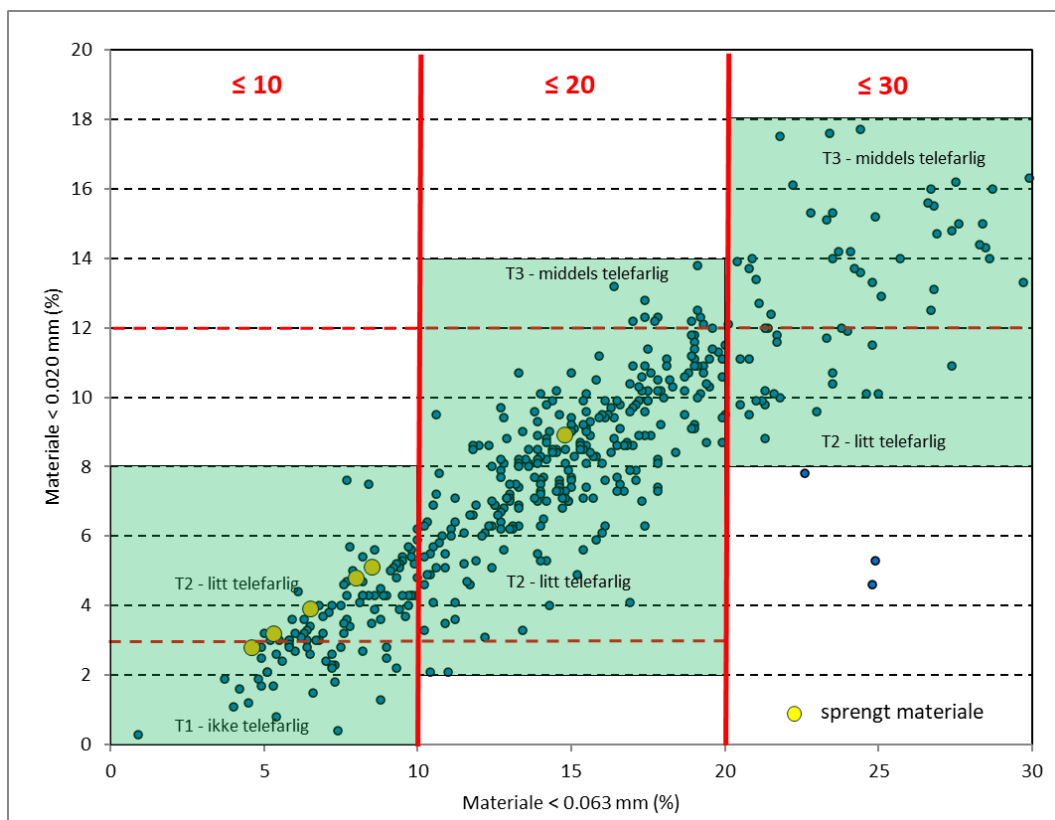
Tabell 6. Forslag til tabell over bæreevnegrupper (N200)

Undergrunn	Bæreevnegruppe
Bergskjæring, steinfylling, $f_{22,4} \leq 10 \%$	1
Grus, $C_u \geq 15$, T1	2
Bergskjæring, steinfylling, $f_{22,4} \leq 20 \%$	3
Grus, $C_u < 15$, T1	
Sand, $C_u \geq 15$, T1	
Sand, $C_u < 15$, T1	4
Grus, sand, morene, T2	
Isolasjonslag av XPS, skumglass eller lettklinker	
Bergskjæring, steinfylling, $f_{22,4} \leq 30 \%$	5
Grus, sand, morene, T3	5
Leire, silt, morene, T4	6
Myr	7

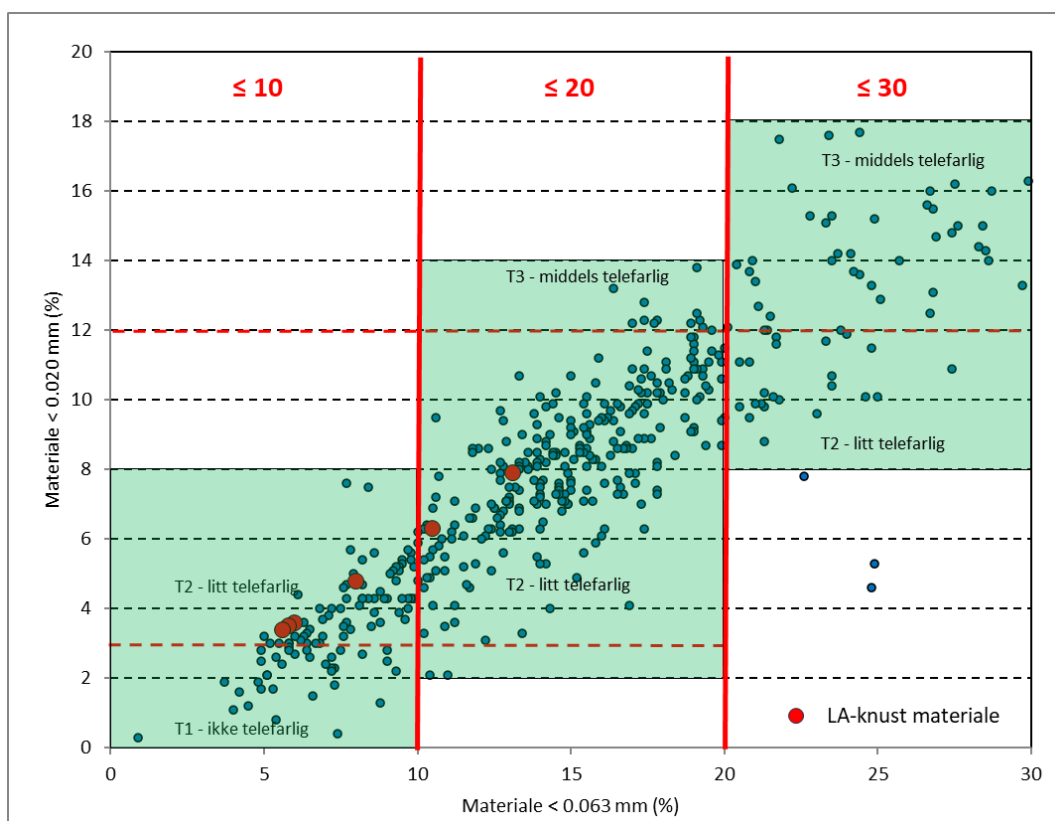
Hvis $f_{22,4} > 30 \%$, vil det kreve grunnsprengning og finrensk.

I dimensjoneringsstabeller erstattes bergskjæring, steinfylling, T1 med *bergskjæring, steinfylling* $f_{22,4} \leq 10 \%$ for bæreevnegruppe 1. Tilsvarende erstattes bergskjæring, steinfylling, T2 med *bergskjæring, steinfylling* $f_{22,4} \leq 20 \%$ for bæreevnegruppe 3. Det foreslås videre at *bergskjæring, steinfylling*, $f_{22,4} \leq 30 \%$ tas inn som et alternativ for underbygning med bæreevnegruppe 5, tilsvarende som for grus, sand og morene med telefarlighetsklasse middels telefarlig, T3. Hvis finstoffandelen er høyere enn 30 %, vil det utløse krav om grunnsprengning og finrensk av bergsålen.

Det vil måtte gjelde for veger med fast dekke, med grusdekker og med belegningsstein, gatestein og heller.



Figur 22. Forslag til finstoffgrenser for sprengt materiale for kornstørrelser < 22,4 mm



Figur 23. Forslag til finstoffgrenser for LA-knust materiale for kornstørrelser < 14 mm

7 Konklusjon og videre arbeid

Undersøkelsen med seks dypsprengte materialer viser god sammenheng mellom finstoffinnhold for sprengt materiale og Los Angeles-knust materiale. Dette indikerer at finstoff som produseres ved boring og sprengning i bergskjæringer kan likestilles med finstoff som produseres i Los Angeles-trommelen ved ordinære og pålagte forundersøkelser. Forundersøkelsen må kun utvides med en ekstra sikteoperasjon utover standard utførelse. Det er allerede blitt utarbeidet egen metodebeskrivelse i R210 Laboratorieundersøkelser, *metode 135 Finstoffbestemmelse av bergskjæringsmateriale*.

En enkel forundersøkelse av en mindre mengde bergmateriale kan gi tilstrekkelig, og god nok, informasjon til å kunne planlegge og dimensjonere vegoverbygningen i bergskjæringer ved at sprengningsmetode kan bestemmes.

I tillegg til god sammenheng mellom finstoff bestemt ved sikting (materiale < 0,063 mm) og telefarlighet bestemt ved slemmeanalyse (materiale < 0,020 mm) kan det for sprengte materialer gås helt bort fra telefarlighetsklassifisering. Det vil være en stor fordel å forenkle finstoffbestemmelsen for bergskjæringsmaterialer til ikke å være relatert til telefarlighet. Spesielt fordi spranget mellom kornstørrelser er stort, noe som medfører at telefarlighetsklasse ofte beregnes på feil grunnlag.

På grunnlag av funnene i prosjektet er det gjort endringer i N200 (2024) for å synliggjøre behov for utførelse av forundersøkelser mht. finstoffbestemmelse av bergskjæringsmasse (metode 135 i R210). Det sikrer en logisk rekkefølge på dokumentasjonen av materialkvalitet. Men resultatene fra metoden (finstoffinnhold) har per i dag ingen fullgod funksjon, så lenge alle bæreevnegruppene i N200 er relatert til telefarlighetsgrupper.

Det må jobbes videre med å fase ut telefarlighetsklassifisering av bergskjæringsmasser i enkelte krav, og heller erstatte disse med finstoffkrav basert på sikting. Ved å innføre litt romsligere finstoffkrav enn for frostsikringsmaterialer vil både frosttekniske egenskaper og bæreevne være ivaretatt.

Det foreslås nye finstoffgrenser basert på materialandel < 22,4 mm ($f_{22.4}$), som vil kunne gjelde både for sprengte materialer og LA-knust materiale. Grenseverdiene som er foreslått er $\leq 10\%$, $\leq 20\%$ og $\leq 30\%$ finstoff. I tillegg vil grenseverdi $> 30\%$ bety grunnsprengning og finsrensk av bergskjæringen.

Basert på disse grenseverdiene er det også foreslått å endre underbygningsmaterialets definisjon mot bæreevnegruppe for bergskjæringer ved at telefarlighetsklasse T1 og T2 erstattes. Det foreslås i tillegg å innlemme bergskjæringsmateriale med litt mer finstoff på lik linje med naturlige T3 løsmasser, tilhørende bæreevnegruppe 5, for ikke å være for rigid. Det kan jo bygges veg på svakere undergrunn enn dette hvis det frostsikres.

Mektigheten til dypsprengte bergmasser ble økt betraktelig i 2014, slik at eventuelt vann stående i sålen for det meste vil være i frostfritt område.

8 Referanser

- Statens vegvesen 1999: Håndbok 018 Vegbygging
- Statens vegvesen 2005: Håndbok 018 Vegbygging
- Statens vegvesen 2011: Håndbok 018 Vegbygging
- Statens vegvesen 2014: Håndbok 018 Vegbygging
- Statens vegvesen 2018: N200 Vegbygging
- Statens vegvesen 2021: N200 Vegbygging
- Statens vegvesen 2022: N200 Vegbygging
- Statens vegvesen 2024: N200 Vegbygging
- Statens vegvesen 2012: Rapport nr. 79. Telehiv på nye norske veger – hvorfor, og hva kan gjøres for å unngå dette?
- Statens vegvesen 2013: Rapport nr. 338. Frostsikring av norske veger. Grunnlag for revisjon av håndbok 018. Varige veger 2011-2014.
- Standard Norge: NS-EN 933-1: 2012. Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag. Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling. Sikteanalyse.
- Standard Norge: NS-EN 3468: 2019. Grove steinmaterialer til bruk i bygge- og anleggsarbeid. Spesifikasjon.
- Standard Norge: NS-EN 1097-2: 2020. Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag