



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 60 stp

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Knuseprosessens påvirkning på asfalttilslag og sammenhengen mellom kornform, mekaniske egenskaper og petrografi

Impact of the crushing process on asphalt
aggregate, and the relationship between grain
flakiness, mechanical properties and petrography

Anne Langeland Bratthammer

Lektorutdanning i Realfag

Sammendrag

Denne studien undersøker ulike produksjonsmuligheter av asfalttilslag for å bygge veier som er holdbare og miljøvennlige. Med stadig økende trafikkbelastning og klimaendringer blir det avgjørende å utvikle metoder som sikrer robuste veier som samtidig respekterer planetens begrensede ressurser. I denne oppgaven undersøkes produksjon av av tilslagsmateriale med og uten kubisatorbehandling, og sammenhengen mellom kulemølleverdi (A_N), flisighetsindeks (FI) og petrografi. Sammenhengen mellom A_N og FI er testet på materialer i ulike knusestrinn og for materiale av ulik kvalitet. Resultatene indikerer liten sammenheng mellom metodene, størst ved høy FI ellers ganske lav.

For å identifisere kubisatorens effekt er det testet ulike materialer fra Tau, Jelsa og Dirdal uten vertikalskaft-knuser (VSI), etter en runde i VSI og etter to runder i VSI. Resultatene viser at kubisatoren har stor effekt på materialet, størst i første ledd, mindre i andre. De petrografiske analysene kan identifisere mineralogiske strukturer og innhold som begrenser materialets ytelse. Oppsummert viser flisighet, kulemølle og petrografisk undersøkelse at det ikke er hensiktsmessig å over-bearbeide steinmaterialene for de materialene som er testet i denne oppgaven.

Samtidig indikerer resultatene fra ulike knusestadier at materialene blir kubisert i andre knusere, som kon-knuseren. Den er mer energieffektiv, produserer mindre finstoff og krever mindre vedlikehold sammenlignet med VSI-knuseren. Det ville derfor være fornuftig av pukkprodusentene å redusere VSI-bruken og heller benytte andre knusere for kubisering. For Tau-pukkverket kan det være en mulighet å erstatte VSI med en konknuser, eller oppgradere til en nyere MK1-knuser og fjerne VSI fra produksjonsprosessen. Dette vil sikre at Tau fortsatt produserer høykvalitets tilslagsmateriale samtidig som de optimaliserer ressursbruken.

Opgaven er skrevet i samarbeid med Norsk Stein, og er en del av forskningsprosjektet "Asfaltdekkers levetid".

Abstract

This study examines different options of production of asphalt aggregates to create durable and environmentally friendly roads. With increasing traffic loads and climate change, it becomes crucial to develop methods that ensure robust roads while respecting the planet's limited resources. This thesis explores how the production of aggregate material with and without VSI (Vertical Shaft Impactor) impacts the correlation between nordic abrasion (A_N) and flakiness index (FI). The relationship between A_N and FI is studied for materials at different crushing stages, and with varying quality. The results indicate low causality between the methods, highest at high FI.

To identify the effect of grinding on different materials, materials from Tau, Jelsa, and Dirdal were tested before VSI, after one round in VSI, and after two rounds in VSI. The results show that the crusher has a significant effect on the material, most in the first step, less in the second. Petrographic thin section analyses can identify mineralogical structures and content that limit the material's performance. In summary, flakiness, nordic abrasion, and petrographic examination indicate that it is not advisable to over-process aggregates.

Simultaneously, the results from different crushing stages indicate that the materials are rounded after other crushers than VSI, such as the cone crusher. It is more energy-efficient, produces less fine particles, and requires less maintenance compared to the VSI crusher. Therefore, it would be beneficial for aggregate producers to limit the use of VSI and instead utilize other crushers for shaping. For the Tau quarry, it may be an option to replace VSI with a cone crusher or upgrade to a newer MK1 crusher and remove VSI from the production process. This would ensure that Tau continues to produce high-quality aggregate material while considering resource use.

This thesis was written in collaboration with Norsk Stein, and is part of the research project "Asfaltdekkers levetid".

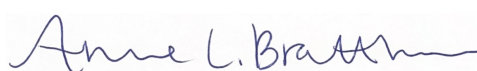
Forord

Denne masteren er skrevet som siste del av utdanningsløpet på lektorutdanning i realfag, master i geologi for NMBU. Tema og problemstillinger er resultatet av et samarbeid med Norsk Stein Tau, hvor jeg fikk verdifull veiledning til å finne et tema som interesserte meg. Formålet med oppgaven har vært å undersøke sammenhengen mellom mineralogi, rundingsgrad og mekaniske egenskaper for asfalttilslag. Samtidig er det undersøkt om knuseprosessen kan optimaliseres gjennom å kutte knusestrinn og på den måten ha bedre ressursutnyttelse og redusere utslipp. Selv om man ikke kan løse alle klimaproblemer, er det alltid mulig å bidra med noe.

Jeg har lært utrolig mye underveis som jeg skal ta med meg inn i arbeidslivet. Jeg har jobbet mye alene, både med skriving og på laboratoriet. Det har vært omfattende, lærerikt, tidvis frustrerende, men enormt selvutviklende. Nå gleder jeg meg til å komme inn i arbeidslivet hvor jeg kan jobbe mer sammen med andre, og jeg tar med meg masse ny lærdom og erfaring.

Jeg vil takke hovedveileder Mona Henriksen (NMBU) og veilederne innenfor fagfeltet Lillian Mathisen og Marit Fladvad (SINTEF). Takk for veldig god, nyttig og lærerik veiledning. Jeg vil også takke Norsk Stein som har gitt meg muligheten til dette, og som har gitt meg god veiledning underveis, takk Stig Kjetil Tengesdal, Henrik Skogland, Martin Gjesteland og Oscar Holmås. En spesiell takk til Heidrun Sande som har vært min mentor og rådgiver gjennom hele prosessen. Takk førsteamanuensis Jan Marten Huizenga for hjelp med tynnslipprøvene.

Til slutt vil jeg takke gjengen på lesesalen, den beste lektor-klassen, kjæresten min Sander, familie og venner. Ekstra takk til Sara Louise som har hjulpet med korrekturlesing. Takk alle for støtte og motivasjon, hadde ikke klart dette uten dere!



14.05.2024

Anne Langeland Bratthammer

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	Mål med oppgaven	1
1.2	Tilnærming	3
2	Bakgrunn	7
2.1	Områdebeskrivelse - Ryfylke	7
2.2	Tau - drift, steinbrudd, berggrunn	9
2.3	Jelsa - drift, steinbrudd, berggrunn	11
2.4	Dirdal - drift, steinbrudd, berggrunn	12
2.5	Forskningsprosjekt	13
2.6	Produksjon	15
2.7	Fjellmasser som ressurs	16
2.8	Knusere	18
2.9	Håndbok N200 - veibygging	20
2.10	Asfaltdekker	23
2.11	Svevestøv	28
2.12	Fremtidens pukk- og veiindustri	30
3	Materiale og metode	33
3.1	Materiale	33
3.1.1	Material til analyse av bergartenes påvirkning av kubisator	37
3.2	Forberedelser til laboratoriemetoder	39
3.2.1	Sikkerhet	39
3.2.2	Gjennomsnittsprøve	39
3.2.3	Vasking	41
3.3	Kornfordeling ved sikting	42

3.4	Motstand mot piggdekkslitasje - Kulemøllemetoden	45
3.5	Bestemmelse av kornform - Flisighetsindeks	48
3.6	Petrografi - Tynnslipmikroskopi	51
4	Resultater	53
4.1	Ulike knusetrinns påvirkning på Dura-splitt	53
4.1.1	Transport på transportbånd	57
4.1.2	Kornfordeling av finknuserne	58
4.2	En kubisators påvirkning på tre ulike bergarter	60
4.3	Petrografisk undersøkelse	62
4.3.1	Petrografiske resultater fra Tau	62
4.3.2	Petrografiske resultater fra Jelsa	64
4.3.3	Petrografiske resultater fra Dirdal	66
5	Diskusjon	69
5.1	Effekten av reduserte knusetrinns på kvalitet og levetid	69
5.1.1	Svakt og sterkt tilslag	70
5.1.2	Tilpasse knusingen	71
5.2	Kubisatorens effekt på ulikt materiale	74
5.3	Viktigheten av kubisator for tilslags motstand mot piggdekkslitasje og kornform	78
5.3.1	Sammenhengen mellom kulemølle og flisighetsindeks	79
5.4	Utfordringer - planlegging og gjennomføring	81
5.4.1	Prøveuttak, prøvemengde og prøvebehov	82
5.4.2	Feilkilder og begrensninger ved kulemølle-metoden	84
5.4.3	Feilkilder og begrensninger ved flisighetsindeks	87
5.5	Dekkelevetid	89
5.5.1	Distribusjon av masser	90
5.5.2	Veien videre - mot klimamålene	91
6	Konklusjon	93
7	Videre arbeid	94

A	Vedlegg	100
A.1	Maksimal vektbelastning for kvadratsikter	100
A.2	Arbeidsskjema for sikteanalyse	101
A.3	Prosjektbeskrivelse Asfaltdekkers levetid	102
A.4	Sikteanalyse for finknusere (med og uten VSI) på Tau	112
A.5	Kulemålleresultater fra Tau	114
A.6	Flisighetsindeks fra ulike knusetrinn på Tau	115
A.7	Kulemålleresultater fra Jøsenfjorden, Tau, Jelsa og Dirdal	119
A.8	Flisighetsindeks fra Tau, Jelsa og Dirdal (Jøsenfjorden)	121
A.9	Prosess-skisse Tau	124
B	Laboratorierapporter	125

Figurliste

1.1	Kart med pukverk og bergarter	4
1.2	FNs Bærekraftsmål	5
2.1	Kart over Sør-Norge og Rogaland	7
2.2	Berggrunnskart for Tau, Jelsa og Dirdal	8
2.3	Norsk Stein avdeling Tau	9
2.4	Dannelsen av Kaledoniene	10
2.5	Norsk Stein avdeling Jelsa	11
2.6	Norsk Stein avdeling Dirdal	12
2.7	Forenklet skisse av produksjonen på Tau	15
2.8	Form, angulæritet og tekstur	17
2.9	Prinsippskisser av ulike steinknuserne; kjeft, kon og VSI	18
2.10	Illustrasjon av en VSI	19
2.11	Prinsippskisse for mekaniske-empiriske dimensjonssystemer	22
2.12	Motoveien i Stavanger	26
2.13	Svevestøv partikkelstørrelse	28
2.14	Ressurspyramide for overskuddsmasser	30
3.1	Dronebilde over steinbruddet på Tau (foto: Norsk Stein Tau)	34
3.2	Dronebilde med markert område av salve	34
3.3	Bilder fra uttaksdag på Tau.	36
3.4	Bilder fra uttaksdag i Jøsenfjorden	38
3.5	Dura-splitt før og etter vask	41
3.6	Utstyr til sikteanalyse	43
3.7	Kulemøllemaskin	46
3.8	Materiale før og etter kulemølletest	48
3.9	Kornform og trafikkklaster	49
3.10	Prøvingssikter og stavsikter til flisighetsanalyse	50

3.11	Steiner til petrografisk undersøkelse	51
3.12	Mikroskopet som ble brukt til analyse av tynnslippepreparatene.	52
4.1	Kulemølleverdi for knusetrinn finknuserne på Tau	56
4.2	Flisighetsindeks for knusetrinn finknuserne på Tau	57
4.3	Graf som viser verdiene for A_N (%) og FI (%) for 10/16-fraksjon for normalproduksjon	57
4.4	Kumulative kurver for finknuserne med og uten VSI fra Tau.	58
4.5	Prosentandel finstoff suspendert fra prøver med og uten VSI.	59
4.6	Kulemølle-resultater fra Jøsenfjorden.	60
4.7	Flisighets-resultater for 11/16-fraksjonen fra Jøsenfjorden.	61
4.8	Bilde av steinen fra Tau som tynnslipene er laget av.	62
4.9	Petrografisk undersøkelse Tau 1 med markører	63
4.10	Bilde av steinen fra Jelsa som tynnslip J1 er laget av.	64
4.11	Bilde av steinen fra Jelsa som tynnslip J2 er laget av.	64
4.12	Petrografisk undersøkelse Jelsa 1	65
4.13	Petrografisk undersøkelse Jelsa 2	65
4.14	Bilde av steinenprøve 1 fra Dirdal som tynnslip D1 er laget av.	66
4.15	Petrografisk undersøkelse Dirdal 1	67
4.16	Petrografisk undersøkelse Dirdal 2	68
5.1	Plotdiagram med A_N og FI fra finknuserne på Tau.	70
5.2	Ulike scenario for Kon-knuser	72
5.3	Sporlitasje som funksjon av dekkealder med informasjon om de mekaniske testene for de respektive bergartene	75
5.4	Scatterplot av FI for hele kurven, og 10/16-fraksjonen for finknuserne på Tau.	79
5.5	Prøvene fra Tau på laboratoriet til testing.	82
5.6	Differansen mellom nedknusing og slitasje av materiale.	85
5.7	Scatterplot for FI 10/16 mm versus FI for hele kurven.	88
A.1	Arbeidsskjema for sikteanalyse (Statens vegvesen, 2016, s. 56)	101

Tabelliste

2.1	Krav til kulemølleverdi for steinmaterialer i varmproduserte asfaltdekker, oppsummert fra N200.	22
2.2	Krav til flisighetsindeks for bituminøse bærelag og asfaltdekker, oppsummert fra N200	23
2.3	Gjennomsnittlig dekkelevetid for ulike trafikklasser i Region øst	25
3.1	Splitteapparat	40
3.2	Prøvestørrelser	40
3.3	Prøvemengde til kulemølletest	47
3.4	Fraksjoner med korresponderende stavsikter	49
4.1	Kulemølle-resultater (%) for alle knusestrinn og standardavvik (σ) for finknuserne fra Tau.	54
4.2	Flisighetsindeks (%) for alle knusestrinn på Tau.	55
4.3	Flisighetsindeks for hele kurven (d/D) og for delfraksjonene 10/12 og 12/16	56
5.1	XRD-resultater Tau	76
5.2	Sammenligningstabell for mølle- og flisighetsresultater	80
5.3	Kulemølleresultater ved to ulike densitets-verdier (g/cm^3) for Dirdal-prøvene med x1 VSI og x2 VSI.	86
A.1	Maksimal vektbelastning for kvadratsikter	100
A.2	Sikteanalyse for finknuserne på Tau	112
A.3	Prosentvis fremstilling av kornfordeling fra finknuserne på Tau.	113
A.4	Kulemølleresultater fra finknuserne med og uten VSI fra Tau.	114
A.5	Kulemølleresultater for GK1, MK1, MK2, TB4, TB5 og TB6	114
A.6	Flisighetsindeks for GK1, MK1 og MK2.	115
A.7	Flisighetsindeks for prøvene TB4, TB5 og TB6.	116
A.8	Flisighetsindeks for FK1 og FK2, med og uten VSI (Tau).	117

A.9 Flisighetsindeks for FK3 og FK4, med og uten VSI (Tau).	118
A.10 Kulemålleresultater fra Tau uten VSI, VSI x1 og VSI x2.	119
A.11 Kulemålleresultater fra Jelsa uten VSI, VSI x1 og VSI x2.	119
A.12 Kulemålleresultater fra Dirdal uten VSI, VSI x1 og VSI x2	120
A.13 Flisighetsindeks for Tau-prøver i Jøsenfjorden.	121
A.14 Flisighetsindeks for Jelsa-prøver i Jøsenfjorden.	122
A.15 Flisighetsindeks for Dirdal-prøver i Jøsenfjorden.	123

Terminologi/forkortelser

Begrep Forklaring

Kubisere: Prosessen med å forme eller kutte steinen til kuber eller kubiske former.

Salve: Sprenging av et visst volum fast fjell

Finstoff: Materiale finere enn $63 \mu\text{m}$

Dura-splitt: Kallenavn på massene til Norsk Stein Tau

Tilslag: Granulært materiale som brukes i byggearbeid. Tilslag kan være naturlig, industrielt eller resirkulert (Standard Norge, 2008, s. 6).

Tilslags-størrelse: Betegnelse for tilslag ved hjelp av nedre (d) og øvre (D) siktestørrelse uttrykt som d/D (Standard Norge, 2008, s. 6).

Årsdøgntrafikk: Refererer til antall kjøretøy som passerer en gitt strekning av veien i løpet av ett år, gjennomsnittlig per døgn (ÅDT)

Konstant masse: Resultat av påfølgende veiinger men minst en times intervaller etter tørking ved $(110 \pm 5^\circ\text{C})$ og som ikke avviker med enn 0,1 % (Statens vegvesen, 2016, s. 50).

Hard stein I geologiens terminologi finnes det ikke et begrep for 'hard stein'. Da snakker man gjerne om relativ hardhet som kan beregnes ved Mohs hardhetskala ved kjent mineralogisk innhold. I veisammenheng, og for pukkindustrien kaller man likevel steinen 'hard' da den er slitesterk/motstandsdyktig mot abrasjon og forvitring. I denne oppgaven benyttes tidvis beskrivelsen 'hard' om stein, da menes slitesterk stein.

SVV: Statens vegvesen

VSI: Vertikalskaft-knuser, engelsk: Vertical shaft impact

KM: Kulemølle-test

TB: Transportbånd

Kapittel 1 - Introduksjon

Veibyggingen står overfor et stadig økende krav om bærekraft og effektivitet i møte med den voksende globaliseringen og urbaniseringen. I dagens veibygging står ingeniører overfor betydelige utfordringer og dilemmaer knyttet til materialvalg og ressursutnyttelse. Et avgjørende aspekt er bruken av asfalttilslag, som utgjør en nøkkelkomponent i veikonstruksjonen. Dette spiller en sentral rolle i vegkonstruksjonens levetid og ytelse. Gode veidekker og god fremkommelighet er svært viktig for trafikanter, og bidrar også til å minimere ulykker, tids- og kjøretøyskostnader. Denne masteroppgaven har som mål å utforske og optimalisere produksjonen av asfalttilslag for å oppnå høyest mulig grad av bærekraftig veibygging. Fremover vil det være nødvendig med en dypere forståelse av hvordan tilslagenes egenskaper påvirker bærekraft, holdbarhet og miljø.

1.1 Mål med oppgaven

Denne oppgaven undersøker betydningen av riktig valg og optimal bruk av asfalttilslag for å bygge veier som ikke bare er motstandsdyktige, men som også reduserer miljøavtrykk. Med stadig økende trafikkbelastning og klimaendringer blir det viktigere enn noen gang å utvikle metoder som sikrer robuste veier som samtidig respekterer planetens begrensede ressurser. Dette gjelder spesielt i Norge med sine utfordrende og varierende klimaforhold. Med hensyn til temperaturskifter, langvarige nedbørsperioder og sterk vind er det nødvendig å legge asfalt også når forholdene ikke er optimale (Bakløkk, 2017, s. 17). Gjennom studier av tilslagets mekaniske egenskaper, kan det være mulig å oppdage nye, effektive og mer optimale måter å utnytte steinmassene, fra produksjon til asfalttilslag.

Innenfor berg- og mineralfagfeltet er det allmenn enighet om at tilslagets form, tekstur og angularitet spiller en avgjørende rolle for produktets egenskaper. Denne masteroppgaven har som mål å undersøke korrelasjoner mellom tilslag i ulike produksjonstrinn for å evaluere nytten av hvert trinn isolert sett. Arbeidet i denne masteren inngår som en del

av et forskningsarbeidfinansiert gjennom RFF Rogaland (regionalt forskningsfond) med tittelen “Asfaltdekkers levetid“. Denne studien tar for seg deler av arbeidspakke H2, med forskningsspørsmålene 2.1 og 2.2 (vedlegg A.3, s. 5).

Forskingsspørsmål 2.1: Hvordan vil produksjonen av tilslag uten kubisering (Vertikalskaftknuser (VSI)) innvirke på kulemølleverdien og materialets kornform? For å teste dette skal Norsk Stein Tau produsere tilslag på sitt anlegg hvor materiale både passerer gjennom og ikke gjennom en VSI-knuser under produksjon. Det vil tas ut produksjonsprøver på bergarter fra Norsk Stein sine tre ulike brudd (Jelsa, Tau og Dirdal), hvor de mekaniske egenskapene til bergartene er ulike. Produksjonsprøvene vil deretter analyseres i laboratoriet til Norsk Stein Tau, for å stadfeste kornform og kulemølleverdi. Forskingsspørsmål 2.2: Hvilken sammenheng er det mellom resultater fra kulemølleverdi og flisighet? For å finne ut av dette skal det analyseres prøver av ulikt materiale, og ved ulike knusestrinn. Deretter ses det på sammenhengen mellom de ulike testresultatene for kulemølle og flisighet.

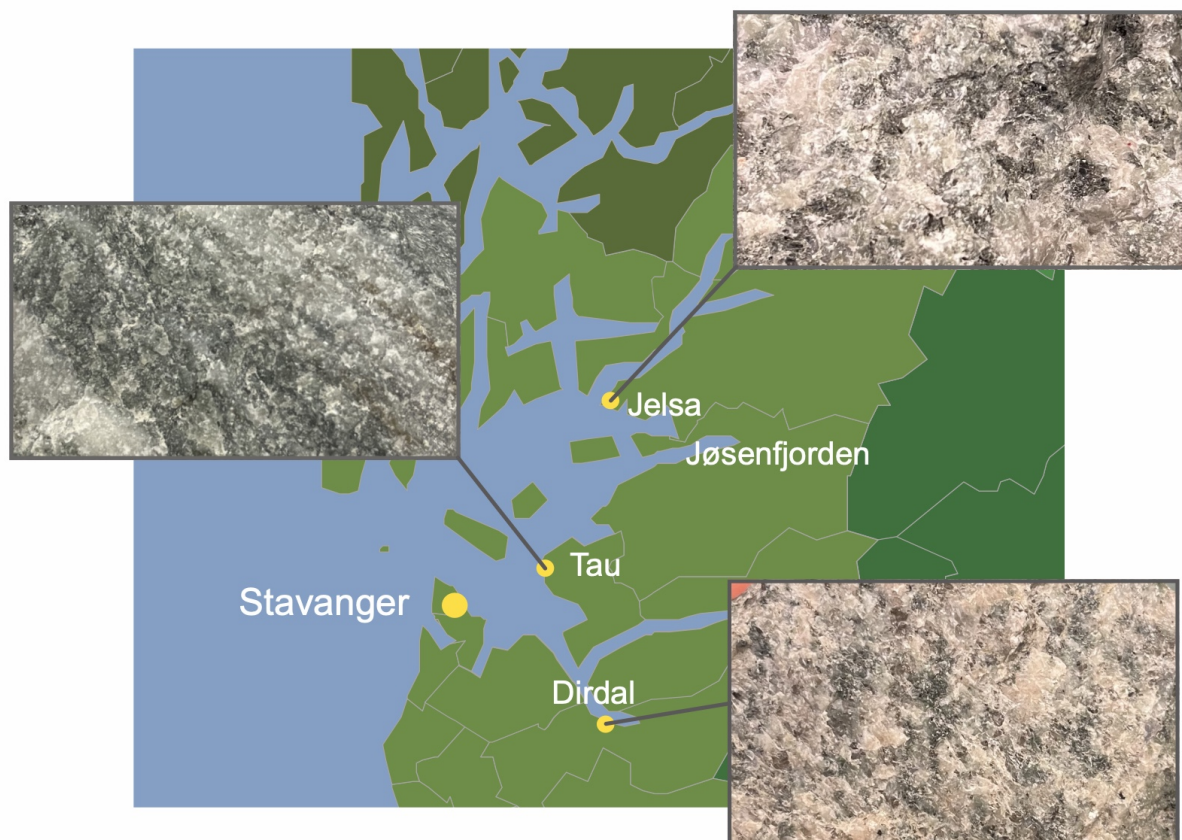
Denne studien har en hypotese som vurderer en differensiert tilnærming til kornformen, hvor tilslagsprodusenter kan demonstrere overholdelse av krav til kulemølleverdi på det endelige materialet. Ved å innføre differensierte krav til kornformen avhengig av tilslagets karakteristika, kan man potensielt oppnå en mer optimal balanse mellom energiforbruk, materialkvalitet og ressursutnyttelse i tilslagsproduksjon. Den grunnleggende hypotesen som skal testes er i hvilken grad kvaliteten og levetiden til tilslaget svekkes ved å redusere knusestrinn og derav et mer flisig materiale. Dersom forskningsresultatene viser at antall knusestrinn ikke har betydelig innvirkning på kvaliteten til tilslaget, kan det åpne for nye krav til bergarters tekniske egnethet i veikonstruksjon. Dette åpner for muligheten til å redefinere normer og standarder for tilslagsmaterialer, med fokus på en mer effektiv produksjonsprosess. I denne studien skal følgende forskningsspørsmål utforskes;

- Hvordan vil produksjonen av tilslag uten kubisering påvirke kulemølleverdien og materialets kornform?
- Hvilken sammenheng er det mellom resultater fra kulemølleverdi, flisighet og petrografisk undersøkelse?

1.2 Tilnærming

Forskningsprosedyren for denne studien er delt inn i to hovedfaser. Hensikten er å grundig analysere egenskapene til tilslagsmaterialer gjennom ulike produksjonsstadier og ved kubisatorbehandling. Dette gjøres for å se hvordan resultatene varierer basert på bergartsegenskaper. Den første fasen fokuserer på analyser av materialet ved hvert knusestrinn for pukkverket lokalisert på Tau (figur 1.1). Den kvantitative og kvalitative karakteristikken av tilslagsmaterialet ved hvert trinn vil bli nøye dokumentert for å oppnå innsikt i endringer i partikkelstørrelse, kornform og slitetotstand.

Den andre fasen av forskningen involverer transport av tilslagsmateriale fra pukkverkene på Tau, Jelsa og i Dirdal til en felles lokasjon i Jøsenfjorden (figur 1.1). I Jøsenfjorden vil tilslagsmaterialet bli utsatt for kubisatorbehandling ved hjelp av en VSI-knuser, i en og to omganger, som representerer forskjellige produksjons-scenarier. Deretter vil det kubiserte materialet fra hvert produksjonsscenario bli gjenstand for testing av materialets flisighet og kulemølleverdi. Dette trinnet er designet for å undersøke og sammenligne effekten av kubisering på ulike bergartsmaterialer, og vurdere variasjoner i responser basert på materialets opprinnelse. Her vil muligheten redusere av antall knusestrinn i produksjonen av asfalttilslag undersøkes, med fokus på potensielle fordeler i form av optimalisert produksjon, redusert ressursbruk, lavere utslipp og minsket restfraksjon i tilslagsproduksjonen.



Figur 1.1: Rogaland med markører for Stavanger by, Jøsenfjorden, og pukverkene på Tau, Jelsa og Dirdal med bilde av tilhørende bergarter.

Oppgavens motivasjon

For bedrifter som driver med berg-produksjon er det gunstig å kunne vise til innovasjon, bevissthet om bærekraftig anleggsvirksomhet og utvikling. Hovedpilaren i forskningsprosjektet forankres i bærekraftsmålene 9, 11 og 12 vedtatt av FN som del av 2023-agendaen. Målene fungerer som retningslinjer for å adressere utfordringer og konkrete mål. Dette er for å oppnå en mer rettferdig og bærekraftig fremtid (figur 1.2).



Figur 1.2: FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2024).

FNs bærekraftsmål nummer 9 “Industri, innovasjon og infrastruktur“, mål nummer 11 “Bærekraftige byer og samfunn“, og mål nummer 12 “Ansvarlig forbruk og produksjon“, representerer tre avgjørende søyler for en bærekraftig fremtid (figur 1.2). Mål nummer 9 retter oppmerksomheten mot behovet for robust infrastruktur og innovasjon for å støtte økonomisk vekst på en bærekraftig måte. Det oppmuntrer til utvikling av moderne produksjonsmetoder som tar hensyn til miljøet, samt fremme forskning og teknologisk utvikling for å møte samfunnets behov (FN-sambandet, 2024).

Mål nummer 11 oppfordrer til å skape bærekraftige byer og samfunn ved å fokusere på inklusivitet, sikkerhet og motstandsdyktighet. Dette innebærer utvikling av effektive transportsystemer, bærekraftig arealbruk, og fremme det offentlige rom og grønne områder (FN-sambandet, 2024). Det tar også sikte på å redusere de negative miljøvirkningene av byutvikling. Mål nummer 12 legger vekt på nødvendigheten av å endre forbruker- og produksjonsmønstre for å redusere den globale påvirkningen. Dette inkluderer oppfordringen til å effektivisere ressursbruken, minimere avfall, fremme gjenbruk og resirkulering, samt oppmuntre til produksjon av varer og tjenester som er bærekraftige gjennom hele livs- syklusen.

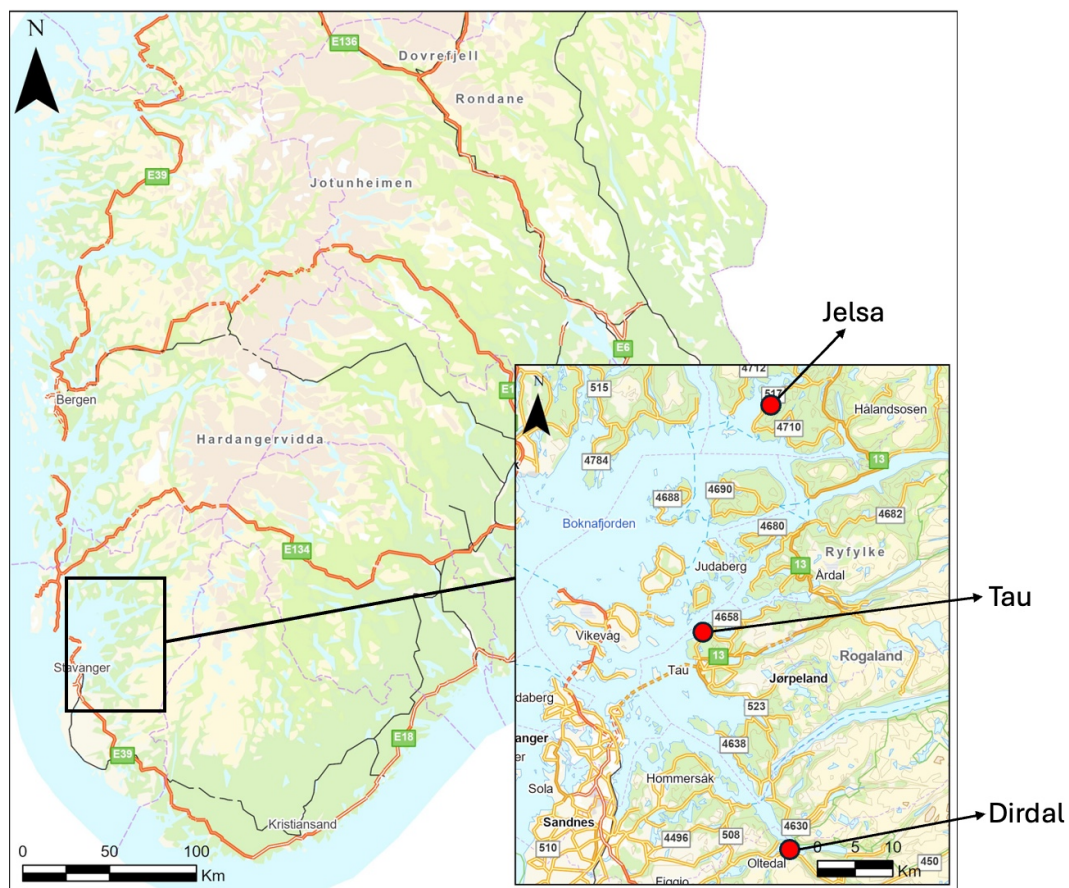
FNs bærekraftsmål representerer en felles global innsats for å adressere utfordringer

som fattigdom, ulikhet og klimaendringer innen 2030. Dette forsknings- og masterarbeidet søker å bidra til en bærekraftig fremtid for bergindustrien, til tross for dens anerkjente utfordringer knyttet til energiforbruk, finstoffproduksjon og utnyttelse av ikke-fornybare ressurser. Innenfor denne industrien eksisterer et betydelig potensial for utvikling, fremgang og innovasjon. Ressurser må forvaltes for å maksimere utnyttelsen av ikke-fornybare berg- og mineralressurser. Ved å følge FNs mål nummer 9, 11 og 12, kan man sikre at veibygging opprettholder høy kvalitet samtidig som livssyklus kostnader og miljøpåvirkninger reduseres.

Kapittel 2 - Bakgrunn

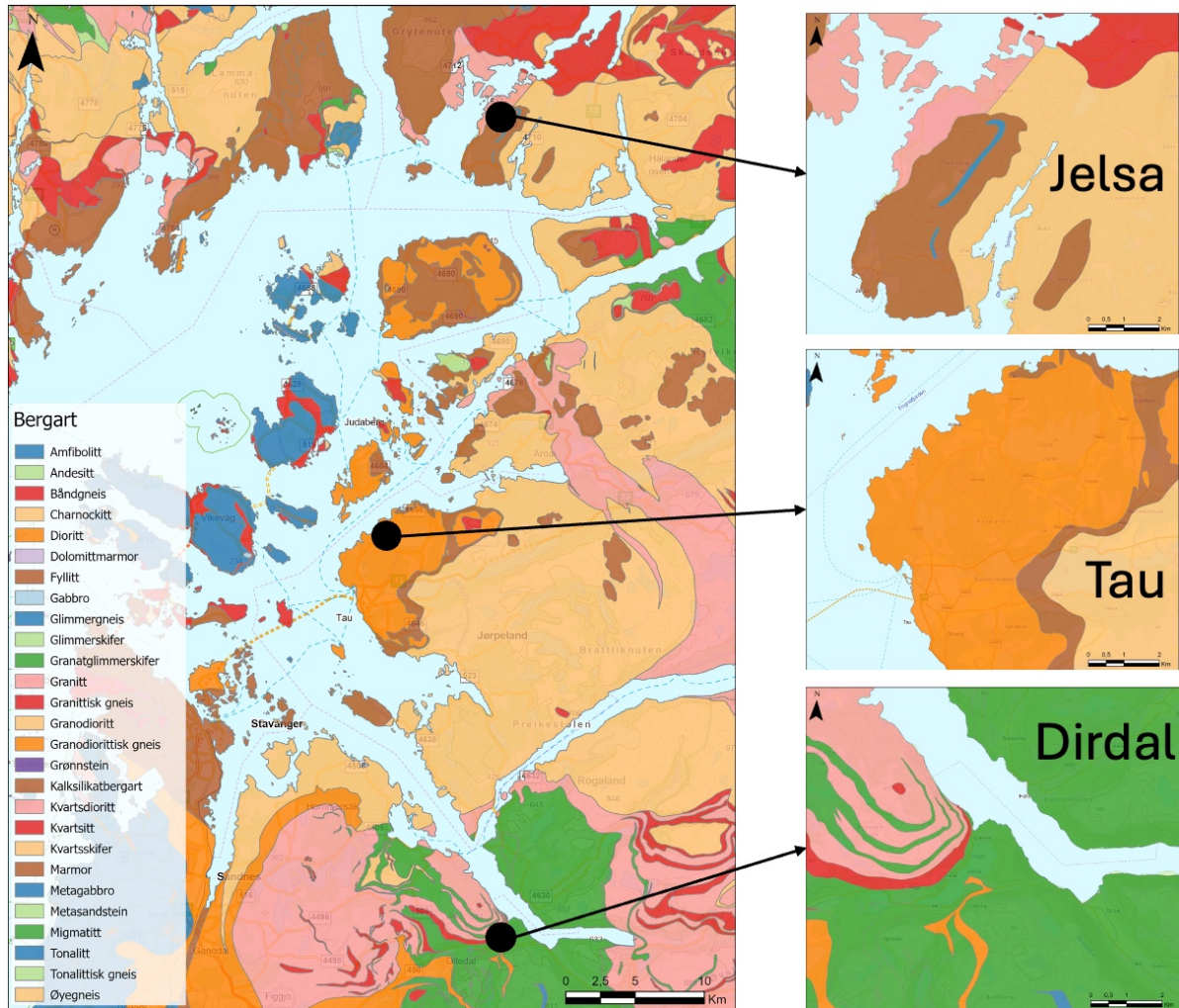
2.1 Områdebeskrivelse - Ryfylke

Rogaland er kjent for det dramatiske fjell- og fjordlandskapet med turistattraksjoner som *Prekestolen* og *Kjerag* i Lysefjorden. Dette er en region som tiltrekker seg turister fra hele verden grunnet den spektakulære naturen. I denne regionen er geologiske temaer høyt prioritert, inkludert sikkerheten på veier utsatt for ras og flom, landbruk, energi-produksjon og bergindustri. Et eksempel på en bedrift som utnytter disse ressursene er Norsk Stein som er en av Europas største stein- og pukkprodusenter.



Figur 2.1: Kart over Sør-Norge og Rogaland. Pukkverkene på Tau, Jelsa og Dirdal er markert med røde punkter (NGU, 2022).

Massene som skal analyseres i denne oppgaven kommer fra Norsk Stein sine steinbrudd på Tau, Jelsa og i Dirdal (figur 2.1), og har svært forskjellige bergartsegenskaper som utgangspunkt. Pukkverkene ligger fordelt i Rogaland fra Jelsa i indre Ryfylke, Tau i ytre Ryfylke og Dirdal i Gjesdal kommune, sør for Ryfylkeregionen (figur 2.1).



Figur 2.2: Geologisk berggrunnskart for Tau, Jelsa og Dirdal (NGU, 2022).

2.2 Tau - drift, steinbrudd, berggrunn

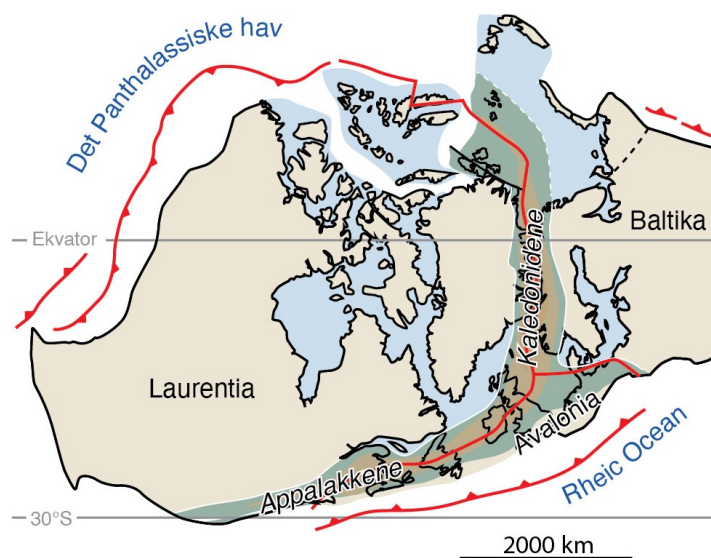
På Tau produserer Norsk Stein AS en slitesterk kvalitetsmasse klassifisert som bergarten kvartsdiotitt, kjent ved navnet *Dura-splitt* (figur 2.2). Den kjennetegnes av den lyse, grønnaktige, skimrende fargen (Norsk Stein, 2024). På slutten av 1980-tallet sto ‘Singel & Grus AS’, den daværende eieren, overfor en utfordring med å markedsføre, spesielt for eksportmarkedet av asfalttilslag, der Tyskland var det viktigste markedet. Derfor ble kallenavnet ‘Dura-splitt’ introdusert. Navnet er en kombinasjon av det engelske ordet ‘durability’ (varighet) og det tyske ordet ‘splitt’ (fraksjon).

På grunn av de gunstige egenskapene benyttes massene fra Tau hovedsaklig til asfalt- og jernbaneindustrien (Stema, 2024). Produktet finnes på flere av Norges mest trafikkerte veier og i store deler av Europa, særlig havnebyer langs Nordsjøen og Østersjøen (Næringslivsmagasinet, 2023, s. 30). I enkelte prosjekt har også fargen/lyshetsgraden vært utslagsgivende for kundens valg. Norsk Stein Tau er det tredje største steinbruddet i Norge, og i 2020 ble det produsert 3,150 millioner tonn, hvor om lag 40 % av produksjonen blir eksportert (figur 2.3). Den samlede forekomsten er anslått til 145 millioner tonn, der det allerede finnes uttaksrettigheter for 13 millioner tonn (Norsk Stein, 2024).



Figur 2.3: Norsk Stein avdeling Tau (Stema, 2024).

Steinbruddet på Tau ligger i en region med bergarter av magmatisk opprinnelse, som ble dannet for hundrevis av millioner år siden under den geologiske eonen proterozoi-kum. Formasjonen gjennomgikk omfattende metamorf forvandling under den kaledonske fjellkjededannelsen for 490-390 millioner år siden (Marker mfl., 2012). I løpet av denne perioden kolliderte to tektoniske plater, Baltica (Norge) og Laurentia (Grønland), i en øst-vest retning, som førte til lukkingen av det utstrakte Lapetus-havet og dannelse av fjellkjeder gjennom Grønland, de britiske øyer og Skandinavia (figur 2.4) (Bryhni & Fossen, 2023). Den kaledonske fjellkjededannelsen var en viktig geologisk hendelse i Jordens historie, og dens innvirkning i området rundt regionen er avgjørende for å forstå bergartssekvensene som finnes i steinbruddet.



Figur 2.4: Dannelsen av den kaledonske fjellkjeden da de før-kaledonske kontinentene Laurentia og Baltica kolliderte i tidlig Devon (Bryhni & Fossen, 2023).

Den spesifikke formasjonen der Tau steinbrudd opererer, beskrives av Norges geologiske undersøkelse (NGU) som fin- til middelskornet, hvit til lys grå tonalittisk til kvartsdiorittisk gneis (Marker mfl., 2012). Formasjonen er en del av den tektostratigrafiske gruppen Storheidekket. Bergarten beskrives som en relativt jevn granodioritt (foliert) båndet gneis, mylonittisk til protomylonittisk, med flere mafiske lag (gangbergarter)(figur 2.2)(Marker mfl., 2012).

2.3 Jelsa - drift, steinbrudd, berggrunn

Norsk Stein Jelsa er Europas største pukkverk med en årlig produksjon opp mot 12 millioner tonn steinmasser (figur 2.5) (Norsk Stein, 2024). Steinen på Jelsa gir en allsidig og høykvalitets granodioritt, materialene brukes i betong- og asfaltindustrien, jernbanebygging, hydraulisk ingeniørvirksomhet, veifundamenter, offshore-industrien og utallige andre bruksområder (Haugan, 2023, s. 3). I eksisterende steinbrudd er det mulig å ta ut ytterligere 150 millioner tonn. Et nytt uttaksområde er under planlegging, og samlet ressurs i det området er over 1,000 millioner tonn (Norsk Stein, 2024).



Figur 2.5: Norsk Stein avdeling Jelsa (Stema, 2024).

Grunnfjellet i Jelsa-området er datert eller antatt fra sen mesoproterozoisk tid, for omtrent 1050-1020 millioner år siden (Solli mfl., 2013). Området inneholder hovedsaklig størkningsbergarter og omdannede størkningsbergarter. I steinbruddet er det to dominerende bergarter; granodioritt med mylonittisk tekstur, og en lysegrå granitt/gneisgranitt med ulik deformasjonsgrad (Erichsen, 1999b, s. 4). I det eksisterende bruddområdet opptrer granitt, gneisgranitt og biotittgneis (figur 2.2). Mineralinnhold og densitet kan brukes som hjelpemiddel for å skille mellom de granittiske bergartene og den mylonittiske gneisen. Schmidt hammer målingene antyder at det er liten variasjon i de mekaniske egenskapene mellom de ulike bergartene og innbyrdes hver enkelt bergartstype som opptrer innenfor det nye området (Erichsen, 1999b, s. 15). Den spesifikke formasjonen der Jelsa steinbrudd opererer, beskrives av NGU som granitt til granodioritt, porfyrisk; rødlig grå, svakt til moderat foliert (Solli mfl., 2013).

2.4 Dirdal - drift, steinbrudd, berggrunn

Steinbruddet i Dirdal har vært aktivt siden 1976 i naturskjønne omgivelser (figur 2.6). Bruddet produseres årlig mellom 600 000 og 900 000 tonn masser. Dette tilsvarer omtrent 450 tonn i timen (Norsk Stein, 2024). Materiale produsert på Dirdal selges hovedsakelig til offshore-industrien hvor massene brukes primært til å legge under og dekke rørledninger, samt klargjøre underlaget for andre installasjoner. Det selges også produkter til veikonstruksjon. Det er estimert en ressurs i Dirdal-bruddet (per april 2021) 14 millioner tonn.



Figur 2.6: Norsk Stein sitt steinbrudd i Dirdal, Gjesdal kommune (Stema, 2024).

Steinbruddet i Dirdal ligger i et området med omdannede dypbergarter av dannelsesalder Mesoproterozoikum, Ektas for omtrent 1250-1200 millioner år siden. Dette området er under den tektoniske hovedinndelingen Svekonorwegisk orogen (Marker & Slagstad, 2018). Berggrunnen i Dirdal-området beskrives av NGU som omdannet granitt til granodioritt; grå, til dels ganske grovkornet, litt varierende typer, ortopyroksenførende, med perthittisk alkalifeltspat, med svak til velutviklet foliasjon (figur 2.2) (Marker & Slagstad, 2018).

2.5 Forskningsprosjekt

Asfaltdekkers levetid er et forsknings og utviklingsarbeid (FoU), med hovedmål om å definere sammenhenger mellom tilslag av høy kvalitet og asfaltdekkers egenskaper (vedlegg A.3, s. 4). Prosjektgruppen er satt sammen av medlemmer fra Norsk Stein AS, SINTEF og NCC Industry. Norsk Stein er eier og leder av prosjektet, med hovedansvar for å bidra med kompetanse og erfaring med produksjon av tilslag. NCC Industry er ledende i Norden som asfaltprodusent og bidrar med kompetanse innenfor fagfeltet asfalt. SINTEF bidrar med erfaring og kunnskap som FoU-organisasjon for å styrke kvalitet og utfall av forskningen (Forskningsprosjekt, vedlegg A.3, s.7).

Prosjektet forventes å gi stor samfunnsøkonomisk nytteverdi. Gjennom bedre utnyttelse av steinmasser av høy kvalitet til produksjon av asfaltdekker, vil man kunne sikre økt levetid på veinettet. Dette vil komme samfunnet til gode gjennom blant annet reduserte klimagassutslipp og reduserte kostnader. Gjennom økt levetid, og dermed også økt intervall mellom hver gang det må asfalteres, kan man forvente ytterligere reduksjon. Det kan derfor antas at man ved bruk av asfaltdekker med lengre levetid vil kunne få mer vei for pengene. Dette vil komme samfunnet til gode ved å øke både bygging av nye veier, men ikke minst bidra til å redusere etterslepet av drift og vedlikehold på det norske veinettet. For den enkelte vil også en økning i intervallet mellom hver reasfaltering resultere i sjeldnere stenging av veien (vedlegg A.3, s. 9).

Prosjektet har som mål å dokumentere at man ved bruk av steinmasser med høy kvalitet kan legge tynnere asfaltdekker (vedlegg C, s. 2). I dette ligger det store besparelser, både i volum av steinmasser samt et lavere CO_2 -utslipp. Dette innebærer at man vil kunne legge flere kilometer med ny asfalt, sammenlignet med ordinære tykkelse på asfaltdekket. Tynnere dekker forventes derfor å gi store besparelser i nåtid. Dersom man kan dokumentere at levetiden blir lengre, slik at man kan øke intervallet mellom hver reasfaltering, vil besparelsene øke ytterligere.

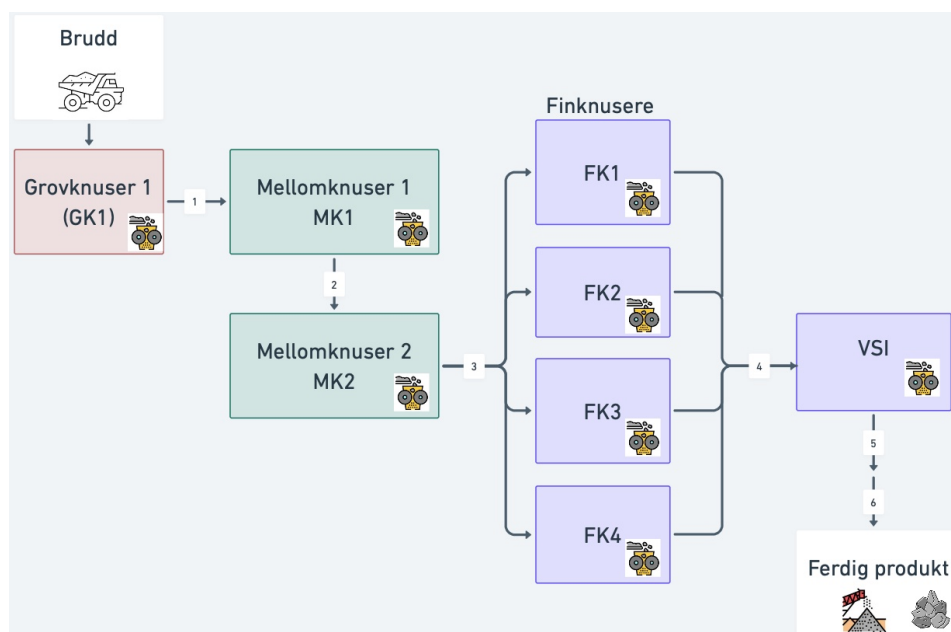
Forskningsprosjektets utvidede tittel er “Betydningen av tilslag for levetiden til asfaltdekker”. Prosjektet skal utfordre bransjens oppfattelse av hva som er “god nok” masse, og

se nærmere på hvordan det er best å utnytte steinmasser av høy kvalitet til produksjonen av asfaltdekker. Dette blir gjort for å sikre lengst mulig levetid på veinettet, med redusert klimagassutslipp som den største effekten. Prosjektets hovedmål er å undersøke sammenhengen mellom tilslag av høy kvalitet og asfaltdekkers egenskaper. På denne måten kan kunnskap om veinettet og ikke-fornybare ressurser forvaltes best mulig. Forskningsprosjektet er delt inn i fire arbeidspakker; H1 Kartlegging av asfalttilslag og faktorer som påvirker levetid, H2 Produksjon av tilslag, H3 Dimensjonering av dekketykkelse og H4 Levetidskoeffisient (vedlegg A.3, s. 5). Denne oppgaven er en del av arbeidspakke H2.

2.6 Produksjon

For å analysere materialets endring gjennom knuseprosessen skal de testes ved kulemølletest og flisighetsindeks ved ulike knusestrinn. Ut fra grovknuseren kommer det steinmateriale fra finstoff til store blokker, i påfølgende knusere (mellomverket) er funksjonen å redusere materialtes størrelse, før materialet knuses ytterligere for å bedre kvalitet slik at det oppfyller krav etter behov. Produksjonsprosessen kan kort oppsummeres i fire trinn;

- Boring og sprenging
- Opplasting og transport til knuser
- Gjennom grovknuseren og videre i prosessanlegg (knusing, sikting og vasking)
- Ferdige produkt til kundene på lager



Figur 2.7: Forenklet skisse av produksjonsanlegget på Tau, en illustrasjon på hvordan sprengte steinmaterialer fra brudd behandles og transporteres for analyse i denne masteroppgaven.

Produksjonsanlegget på Tau kan oppsummeres i denne enkle skissen (figur 2.7). Anlegget er delt inn i tre deler; grov-, mellom- og finverk. I grovverk (GK1) kommer materiale rett fra brudd, og det er derfor nødvendig å redusere størrelsen for å kunne behandle materiale videre. MK1 og MK2 er knuserne i mellomverket (grønn i figur 2.7), og resterende knusere hører til finverket (lilla i figur 2.7). Barmac er er type VSI-knuser fra leverandøren Metso, og den som er i produksjonen på Tau.

2.7 Fjellmasser som ressurs

Styrken til fjellmasser avhenger hovedsakelig av egenskapene til det jomfruelige fjellmaterialet og eventuelle svakhetssoner. På grunn av dette kan man allerede før sprenging vurdere berggrunnen, og anta deres egenskaper som tilslag (Ozturk mfl., 2014, s. 471).

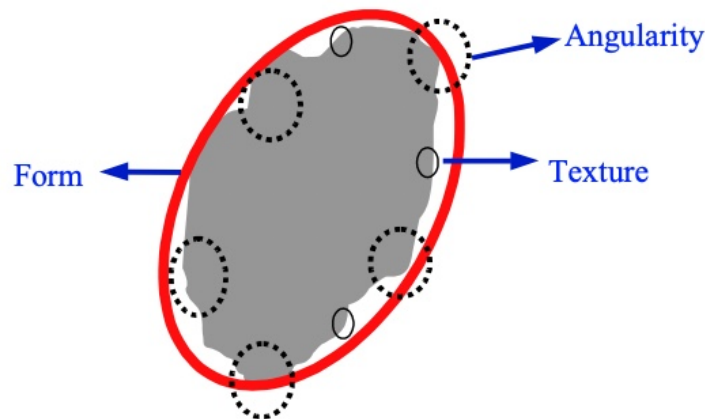
Tekstur

Bergartens tekstur defineres som graden av krystallinitet, og påvirkes av hvordan mineralkorn og matriks er bundet sammen (Ozturk mfl., 2014, s. 471). Nesten alle mekaniske og fysiske egenskaper avhenger av hvordan kornene og matriksen er relatert til hverandre. Mineralkornenes geometriske egenskaper kan bedømmes fra et tynnslip av bergarten (Ozturk mfl., 2014, s. 471). Følgende egenskaper har blitt brukt til å kvantifisere bergartens tekstur: kornform, kornstørrelse, kornstørrelse-forholdet, korn- og matriksforholdene og effekt av mineralinnholdet (Ozturk mfl., 2014, s. 473).

For eksempel legger C. A. Ozturk (2014) frem forskning som viser at kvartsinnholdet i en bergart har god korrelasjon med bergartens styrke. Samtidig trekkes det frem andre studier som viser til at denne korrelasjonen ikke alltid stemmer grunnet bergets natur. Det legges frem 50 år med forskning på at mineraler som kvarts, feltspat, glimmer og så videre, påvirker bergets styrke som følge av tekstur, innhold og struktur. Likevel har ikke forholdet mellom mineralinnhold og styrke blitt kvantifisert til dags dato (Ozturk mfl., 2014, s. 473). Andre egenskaper i berget kan være årsaken til feilkildene i denne kvantifiseringen, blant annet materialets partikkeloverflate.

Partikkeloverflate-struktur

De morfologiske egenskapene til grove steinmaterialer, som angulærhet og overflatestruktur, har blitt anerkjent som kritiske faktorer som påvirker ytelsen til steinmaterialer (Nålsund, 2014, s. 17). Disse termene er illustrert i figur 2.8. Samme prinsipp finnes også i steinmaterialenes mineralogi. Partikkeloverflatestruktur er avgjørende for hvordan mineralene er bundet sammen, og påvirker derfor også bergmaterialets egenskaper, som svakhetspunkter og sprøhet.



Figur 2.8: Viktige morfologiske egenskaper for steinmasser og mineraler; form, angulærhet og tekstur (Al Rousan, 2004, s. 7).

Mineralogi og hardhet

Bergarts egenskaper avhenger av flere faktorer, som fordeling av mineralpartikkelens kornstørrelse, og mengden ulike mineraler. Bergartens hardhet er ikke lett å anslå da den avhenger av flere faktorer som mineralsammensetningen og størrelsen på de ulike mineralkornene. For å bestemme en bergarts hardhet kan man anslagsvis beregne med forholdet mellom mineralhardhet og mineralinnhold gjennom veid hardhet. Relativ hardhet beregnes prosentvis ut fra mineralinnhold i bergarten ved Mohs hardhetsskala (Erichsen, 1999a, s. 14).

Mikrosprekker

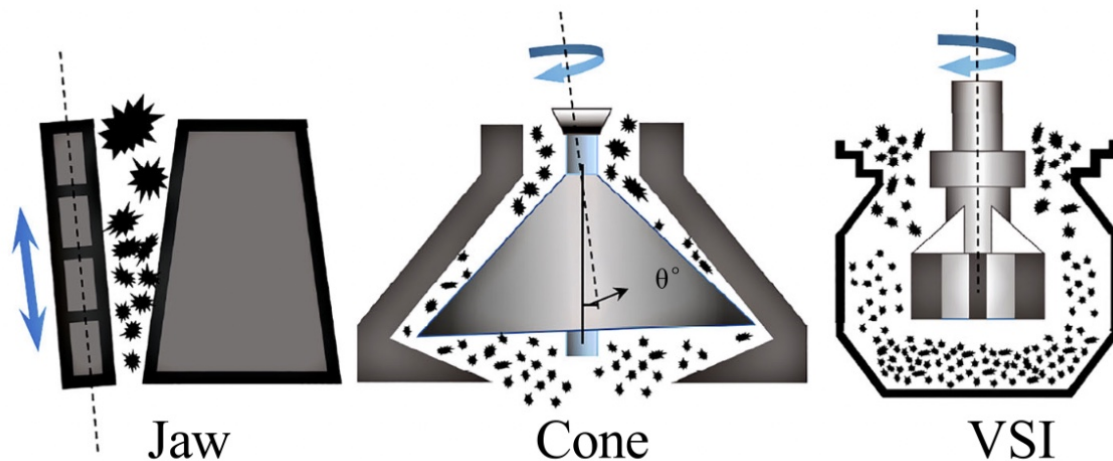
Mikrosprekker er en av de egenskapene som identifiseres ved hjelp av tynnslip. Mikrosprekkene er hulrom mellom mineralene og muliggjør tilgang for vann til bergarten. Et lavt antall sprekker resulterer i lav vannabsorpsjon, mens et høyt antall sprekker fører til høy vannabsorpsjon (Nålsund & Haugen, 2019, s. 6). Mikrosprekker spiller en vesentlig rolle i steinmaterialers mekaniske og fysiske egenskaper, da de skaper mekaniske svakhetspunkter langs bruddflater som kan utvikle seg under påvirkning av spenning, med betydelige endringer i styrkeegenskapene som følge (Nålsund, 2014, s. 17).

Når bergarter blir impregnert med fluorescerende epoksy under vakuumbestand, er tynnslip-teknikken egnet for å visualisere forekomsten av mikrosprekker i bergarten. Hulrom opp-

trer i form av sprekker, porer og massiv porøsitet. Mikrosprekkene fungerer som svakhetsplaner og bruddanvisere, men det foreligger begrensede bevis for en tydelig sammenheng mellom omfanget av mikrosprekker og den mekaniske styrken (Nålsund & Haugen, 2019, s. 6). Den typiske breddeområdet for mikrosprekker i friske og sterke bergarter varierer vanligvis mellom 0,005 og 0,010 mm. Denne informasjonen kan gi indikasjoner på bergartens mekaniske styrke og frostforvittrings-motstand. Generelt sett inneholder magmatiske og metamorfe bergarter svært få brudd og sprekker (Nålsund, 2014, s. 17).

2.8 Knusere

I knuseprosess blir det brukt ulike knusere for å optimalisere materialenes egenskaper etter behov, deriblant spindel-, kjeft-, kon og VSI-knusere. De ulike knuserne gir ulike egenskaper blant annet størrelse og kornform. Visse knuserne har i oppgave å redusere partikkelstørrelsen, dette er kjeft-, spindel- og delvis konknuser. Disse knuserne brukes vanligvis som primærknusere på middels/hard stein. Disse knuserne brukes derimot ikke i sammenheng med formbehandling (kubisering) av tilslaget. Som navnet antyder, reduserer kjeftknuseren materialet mellom en fast og en bevegelig kjeve som knuser materialet i kollisjon med partiklene som vist i figur 2.9 (Metso, 2024).



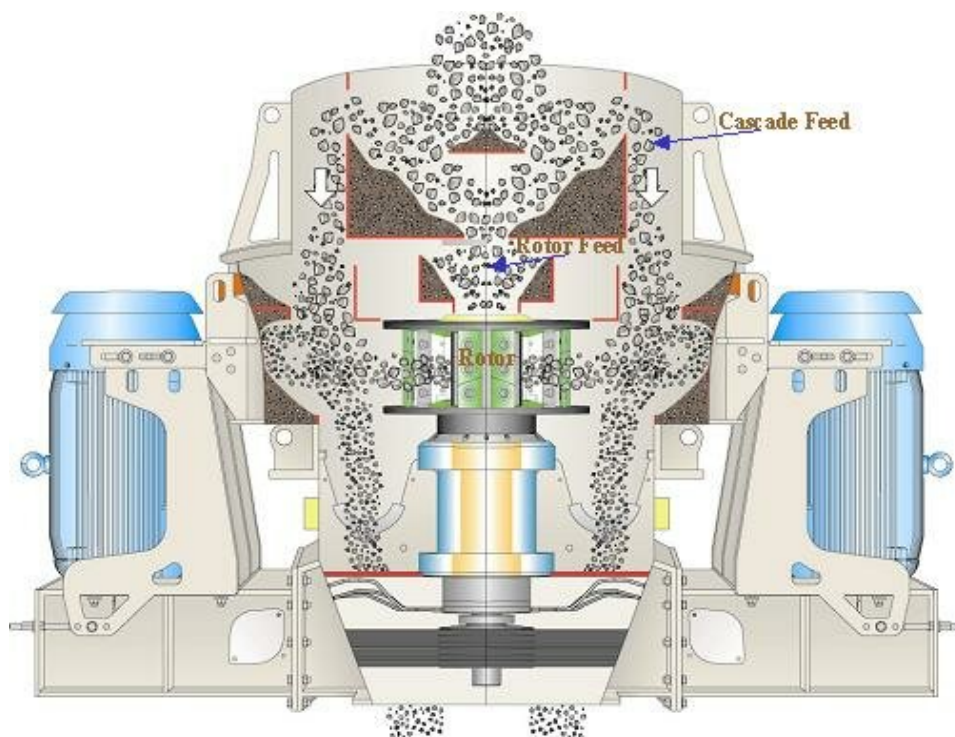
Figur 2.9: Ulike steinknuserne, prinsippskisser; kjeftknuser (t.v.), konknuser (i midten) og VSI (t.h.) (Metso, 2024).

Spindelknuseren er også en primærknuser, og fungerer i praksis med samme prinsipp som en konknuser (figur 2.9). Grunnen til at spindelknuser brukes som primærknuser, er at

den har lavere energiforbruk enn konknuseren. Konknuseren kommer ofte som andreledd for å påføre massene kompresjon- og friksjonskrefter for å redusere partikkelstørrelsen. Steinmassene mates vanligvis fra sidene av konknuseren, og partiklene knuses mellom den stasjonære veggen og den roterende overflaten på kjeglen (fra engelsk: Cone) av den eksentriske akselen (figur 2.9). På denne måten svikter tilslaget langs bruddflaten på grunn av kraften som forårsakes av friksjonen som oppstår. Produktet blir i konknuseren utsatt for kompresjonskrefter under knusingen, og er derfor flate og angulære etter knusing (Wang mfl., 2021, s. 1616).

Sammenlignet med spindelknuseren har likevel konknuseren en kubiserende effekt på materialet. Derfor er det hensiktsmessig å bruke konknuser og ikke bare spindelknuser. Om man ønsker høyest mulig kubisering ved bruk av konknuseren, bør det tilføres materialer slik at kammeret er fullest mulig til enhver tid (Metso, 2024).

For å kort oppsummere; spindelknuseren reduserer størrelse uten å øke materialets kvalitet (kubisere), mens konknuseren også kubiserer materialet. Spindelknuseren bruker mindre energi enn konknuseren, derfor brukes spindel primært, og kon sekundært på Norsk Stein sine pukverk.



Figur 2.10: Illustrasjon av VSI-knuser (Esen & Benzer, 2007, s. 2).

VSI-knuseren skiller seg fra de andre knuserne da denne kan fungere både som primær- og sekundærknuser for å formbehandle massene (Wang mfl., 2021, s. 1616). I VSI-knuseren påføres ikke massene kompresjonskrefter, som de blir gjort i både kjeft-, spindel- og konknuserne. Individuelle partikler blir utsatt for en “stein på stein“-kjedereaksjon av knusing og sliping. En strøm av materiale kan kontrollert tilføres knusekammeret. Dette øker antallet partikler der inne og forbedrer dermed energioverføringen (Esen & Benzer, 2007, s. 3). Rotasjonen i VSI-knusekammeret påfører sentrifugalakselerasjon til partiklene, og stimulerer kollisjoner mellom dem. På den måten bryter steinene gjennom og kolliderer med den roterende hammerstangen og de innvendige stasjonære veggene i kammeret (figur 2.10). Slik skapes en dynamisk sprekkforplantninger av høyhastighetsstøt, som forårsaker skade på tilslag raskere enn i de andre knuserne.

På denne måten kan svake mineralerpartikler på overflaten av massen knuses bort, noe som genererer kubiserte steinmasser med større motstandsdyktighet. Under denne prosessen produseres det også mye finstoff (Wang mfl., 2021, s. 1616). Denne knuseren brukes ofte i produksjonens siste ledd for å øke materialets slitestand, og er den knuseren som har høyest energiforbruk.

2.9 Håndbok N200 - veibygging

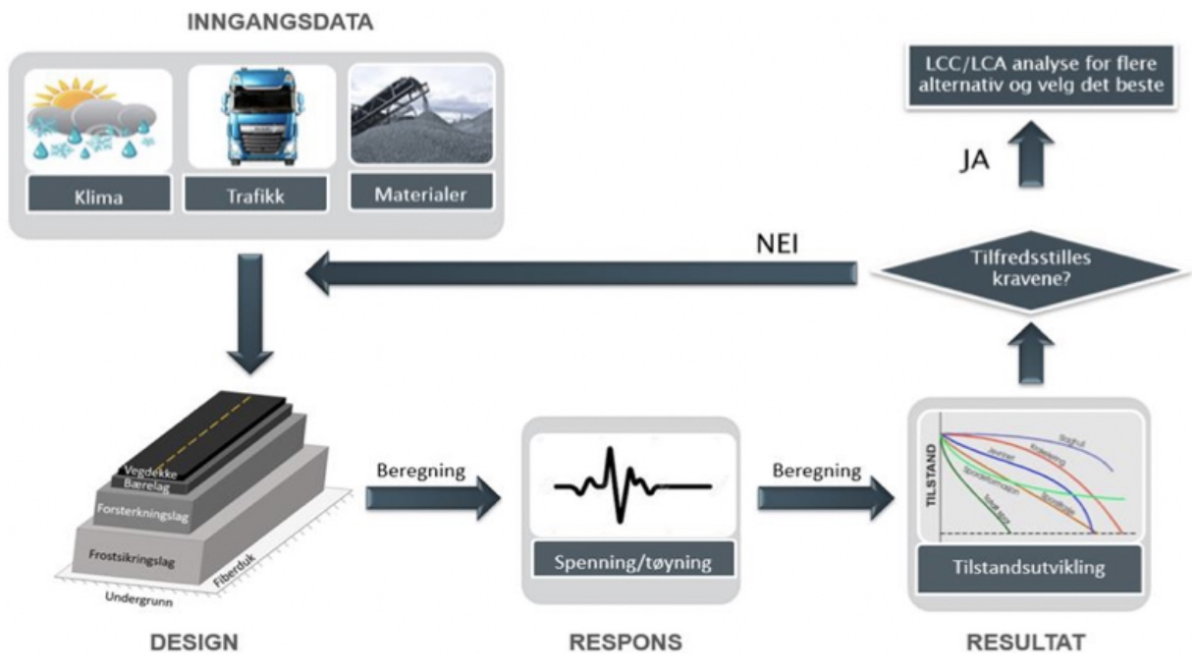
N200 stiller tekniske- og funksjonelle krav for veibygging på offentlig veinett for å ivareta veiens funksjon. Tekniske krav relaterer seg til parametere som er enkle å måle, og som ivaretar en spesifikk funksjon (Statens vegvesen, 2022). Funksjonskrav omfatter for eksempel levetid, tilstandsutvikling eller bruksegenskaper, og er som regel utformet som overordnede krav hvor detaljene er satt som tekniske krav. Standarden er erfaringsbasert, og gir detaljerte krav til materialer og dimensjoner bygget på analyse av tidligere veiprojekter supplert med felt- og laboratorieforsøk samt teoretiske betraktninger (Lysbakken mfl., 2021, s. 5).

Det norske dimensjonssystemet i Håndbok N200 er basert på teoretiske beregninger som gjør systemet anvendbart for ulike forutsetninger med hensyn til de empiriske di-

mensjonssystemene. De empiriske dimensjoneringsystemene er basert på variabler, og kan derfor tilpasses ulike forhold i veikonstruksjonen. Dette er følgende hovedvariablene; klimatilpassing, trafikk, grunnforhold, veibyggingsmaterialer og konstruksjonen (Aurstad mfl., 2016, s. 82).

Formålet med dimensjonering av veioverbygningen er å komme frem til en overbygning og utforming som gjør at veien tåler trafikk- og klimabelastningene den blir utsatt for med tilstrekkelig funksjon (Aurstad mfl., 2016, s. 75). Disse funksjonene skal opprettholdes gjennom hele veikonstruksjonens dimensjonsperiode på en optimal teknisk og økonomisk måte. Veikonstruksjonen skal fordele trafikklaset til undergrunnen for å unngå deformasjoner. Konstruksjonen skal ha tilstrekkelig bæreevne tross årsvariasjonene. Veien skal utfylle kravene om jevnhet og friksjon, derfor må det tas hensyn til drenering av overflatevann (Aurstad mfl., 2016, s. 75).

Dimensjoneringsprinsippene for veioverbygning deles inn i to hovedgrupper; empirisk (erfaringsbasert) og mekanistisk-empirisk (ME) (analytisk). Den empiriske tilnærmingen baserer seg på erfaring, og den mekanistisk-empiriske tilnærmingen baserer seg på en ingeniørfaglig dimensjonsprosess. Hvor optimaliserte valg av lagtykkelser og materialer beregnes ut ifra tøyninger, spenninger og skadeutvikling som oppstår under trafikkbelastning (Saba, 2019, s. 1). Beregningene blir gjort ved bruk av mekanistiske prinsipper, og brukes i empiriske tilstandsutviklingsmodeller for å beregne forventet skadeutvikling over tid. I figur 2.11 viser en prinsippskisse for ME-dimensjoneringsystemer (Saba, 2019, s. 1).



Figur 2.11: Prinsippskisse for mekanistiske-empiriske dimensjonssystemer (Saba, 2019, s. 1).

Dimensjoneringen gjennomføres gjentatte ganger, der skadeutvikling, som for eksempel spordybde eller oppsprekking, vurderes i forhold til grenseverdiene, som for eksempel maksimal tillatt spordybde (Saba, 2019, s. 2). Hvis man beregner resultater som ikke tilfredsstillende kravene, gjentas prosessen ved å endre konstruksjonen, eksempelvis lagtykkelser eller materialtyper, og beregner med de nye verdiene for å se om de tilfredsstillende kravene. Gjentas prosessen genereres det alternativer for konstruksjon som kan vurderes optimale i henhold til livsløpskostnader og miljøeffekter (Saba, 2019, s. 2).

N200 baseres på en kombinasjon av empiriske- og ME-dimensjonsprinsipper. N200 fremlegger ulike krav for verdier på tilslag som skal brukes i dekker og andre deler av konstruksjonen, blant annet til kulemølle (tabell 2.1) og flisigheten (tabell 2.2).

Tabell 2.1: Krav til kulemølleverdi for steinmaterialer i varmproduserte asfaltdekker, oppsummert fra N200 tabell 4.10.3.1-4 (Statens vegvesen, 2022).

	ÅDT			
	≤ 1500	1500-3000	3000-15000	> 15000
Slitelag	≤ 19	≤ 14	≤ 10	≤ 7
Bindelag	≤ 19	≤ 14	≤ 14	≤ 10

Tabell 2.2: Krav til flisighetsindeks for bituminøse bærelag og asfaltdekker, oppsummert fra N200 tabell 4.10.3.1-1 (Statens vegvesen, 2022).

	ÅDT	
	< 15000	> 15000
Flisighetssindeks	≤ 25	≤ 20

2.10 Asfaltdekker

Veidekkets hovedfunksjon er å gi trafikantene en jevn, god og sikker overflate å ferdes på, samt beskytte underliggende lag fra nedbør og vann på avveie (Aurstad mfl., 2016, s. 131). Veidekkets egenskaper avhenger av ulike tekniske, økonomiske og miljømessige parametere. Det finnes ulike asfaltdekker tilpasset ulik trafikkbelastning, klima, aktuell veikonstruksjon og andre omgivelser. Asfaltdekker består av (95 %) steinmaterialer, og et råoljebasert bindemiddel (resterende prosentande), i tillegg kan det være aktuelt med ulike tilsetningsstoffer (Aurstad mfl., 2016, s. 131). Bindemiddelet har viskoelastiske egenskaper som gjør at asfaltdekkene innen visse temperaturgrenser er fleksible, som gjør at dekket tåler bevegelse uten å sprekke opp.

Bindemiddelet som benyttes i asfaltdekker er de tyngste komponentene i råolje - bitumen. Bitumen består i hovedsak av store, tunge hydrokarbonmolekyler (90-95 %), resterende deler (5-10 %) består av nitrogen, oksygen, svovel, samt sporstoffer av metaller (Aurstad mfl., 2016, s. 132). Bindemiddel må ha tre essensielle egenskaper for optimalt asfaltdekke; vedheft, viskositet og holdbarhet. Vedheft er bindemiddelets 'lim-effekt', altså hvor godt det klarer å lime tilslagsmaterialet sammen. Viskositet er bindemiddelets konsistens. Dette er en avgjørende egenskap i sammenheng med produksjon og legging av asfalt, og for at veidekket skal tåle temperaturendringer for å unngå oppsprekking. Hvilket bindemiddel man ønsker å bruke er derfor avhengig av lokale trafikk- og klimaforhold, da man ønsker stive bindemidler på sommeren, og myke om vinteren (Aurstad mfl., 2016, s. 134).

Det er også viktig å bruke et bindemiddel som bevarer de funksjonelle egenskapene og

sikrer god holdbarhet over tid. Et veidekke utsettes for fysiske og kjemiske endringer, og sammen med temperaturvariasjoner og spenninger under trafikkbelastning vil det skje en endring i bindemiddelegenskapene over tid. Dette er en prosess som kalles aldring. Aldringsprosessen deles inn i to deler; korttidsaldring og langtidsaldring. Korttidsaldring er endringer som skjer under selve produksjonsprosessen. I dette stadiet er asfalten varm, har rikelig tilgang på oksygen, og det skjer en fordampingsprosess av de letteste bestanddelene i bindemiddelet. Dette resulterer i at bindemiddelet blir stivere (Aurstad mfl., 2016, s. 134).

Aldringsprosessen som fortsatter etter at asfaltdekket er lagt ut på veien, er langtidsaldringen. Asfaltdekket eksponeres for lys, luft, fukt og temperatursvinginger som gjøre at bindemiddelet mister viskositet og blir langsomt stivere (Aurstad mfl., 2016, s. 135). Håndbok N200 stiller krav til asfaltmassen og dekket, og derav også de aktuelle bitumøse bindemidlene. N200 stiller ulike krav til de forskjellige bindemidler, og henviser til ulike metoder som evaluerer bindemidlene etter de stilte kravene (Aurstad mfl., 2016, s. 138).

Reasfaltering av vei

Det er kartlagt hvilke faktorer som påvirker kvaliteten, og hva som bør gjøres for å øke dekkets levetid. I forskningsprosjektet "Varige veier" ble det pekt ut fire områder som er de aller viktigste: homogenitet, komprimering, skjøter og klebing til underlaget (Bakløkk, 2017, s. 5). Teoretisk sett skal asfaltdekker ha en forventet levetid på 20-25 år om piggdekkslitasjen er marginal og materialvalg, utførelse og oppbygging av dekkekonstruksjonen er gjort riktig. Fra studier viser de imidlertid til at den gjennomsnittlige levetiden for ulike dekker og trafikklasser i Region øst bare er 13,5 år (tabell 2.3) (Bakløkk, 2017, s. 20).

Differansen for potensiell og reell levetid kan skyldes flere forhold. Det antas likevel at utførelsen har den aller største betydningen for asfaltdekkenes levetid (Bakløkk, 2017, s. 20). Det påpekes også at de høytrafikkerte veiene har hatt behov for hyppig reasfaltering grunnet piggdekkslitasje i Norge. For vurdering av dekkefornyelse gjøres det fortløpende vurdering på alle Riks- og Europaveier. Avgjørelsene om strekninger skal

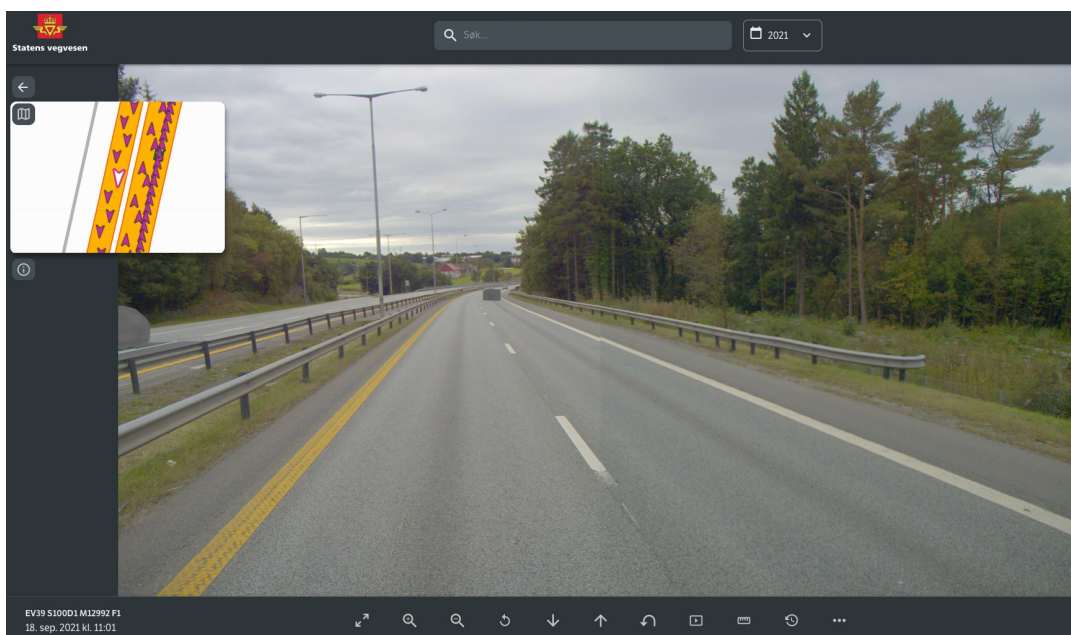
Tabell 2.3: Gjennomsnittlig dekkelevetid for ulike trafikkklasser i Region øst (Bakløkk, 2017, s. 20).

ÅDT	Dekkelevetid
0-1500	14
1500-3000	14
3000-5000	11
5000-10000	9
10000-20000	7
> 20000	6

dekkefornyes gjøres ut i fra flere faktorer (Andersen, 2024):

- ÅDT opp mot sporslitasje (måledata på spor)
- Krakeleringer/uttørking av dekker
- Dekkeskader/ujevnheter
- Kommende veiprosjekter
- Annet arbeid; utskifting av stikkrenner, rekkverker, graving av kabler osv.
- Økonomi

Når det gjelder spesifikt for motorveien i Stavanger (figur 2.12), som er lagt med tilslag fra Norsk Stein Tau, tas vurderingen om dekkefornying hovedsaklig basert på spormålinger. I og med at motorveien har en årsdøgntrafikk (ÅDT) på rundt 40 000 til 55 000 skal det ikke være spor over 20 mm på 90 % av målingene. Sist gang det meste av motorveien ble asfaltert var i 2016, fra Auglend til Stangeland. Da valgte SVV å øke tykkelsen på asfalten fra 90 kg/m^2 til 110 kg/m^2 . Den nominelle steinstørrelsen ble økt fra 11 mm til 16 mm, og den ble tilsatt polymermodifisert bitumen (PMB). Asfalttypen som ble lagt er Ska (skjelettasfalt). For Ska-masser (ÅDT = > 1500) skal hardheten på steinen tilsvare kulemølleverdi (A_N) 7 eller bedre (tabell 2.1). Per dags dato regnes veiens tilstand som god og det er ikke behov for reasfaltering (Andersen, 2024).



Figur 2.12: Motorveien (E39) i Stavanger 18.09.2021 retning Sandes, like før avkjørselen mot Hinna/Madla (Statens vegvesen, 2021).

Polymermodifisert bindemiddel

Siden 2008 har bruken av polymermodifisert bindemiddel (PMB) i asfalt hatt stor økning (Lysbakken mfl., 2021, s. 36). Endringer i trafikken som at man bruker mindre piggdekk, og at belastningen fra tungtrafikken har økt, gjør at deformasjon av asfalt har fått større betydning. Polymertilsetning i bindemidlet bidrar til økt deformasjonsmotstand og redusert spordannelse. På områder med høy belastning, eksempelvis rundkjøringer, har polymermodifisert asfalt vist seg å være klart forbedret enn dekker med ordinært bindemiddel (Bakløkk, 2017, s. 36).

Tilstandsutvikling for asfaltdekker med PMB dokumenteres av utvalgte dekker i Region øst og sør ved hjelp av spormålinger og laboratorieundersøkelser (Bakløkk, 2017, s. 37). For teststrekningene på E18 i Vestfold inneholder 4 av 7 forsøksdekker PMB. Langtidsutviklingen evalueres jevnlig etter at dekkene ble etablert i 2002.

Rapporten *Feltforsøk med polymer-modifisert bindemiddel* oppsummerer resultatene fra arbeidet (Saba, 2013). Målingene viser en vesentlig forbedring av tilstandsutviklingen med bruk av modifisert bindemiddel, og Ab 16 med PMB har omtrent 40 % mindre spor enn tilsvarende dekker uten PMB (Bakløkk, 2017, s. 37). Piggdekkslitasjen domierte sporutviklingen, og bruken av PMB forbedret slitasjemotstanden. I *Varige vegers*

delaktivitet om bindemidler har målet vært å anvende bedre prøvingsmetoder og spesifikasjoner, til hjelp ved valg og bedømmelse av kvalitet på bindemidler, med vekt på polymermodifisert bitumen. For å nå målet er det gjennomført et litteraturstudium på nye PMB-spesifikasjoner og prøvingsmetoder i utlandet (Bakløkk, 2017, s. 37).

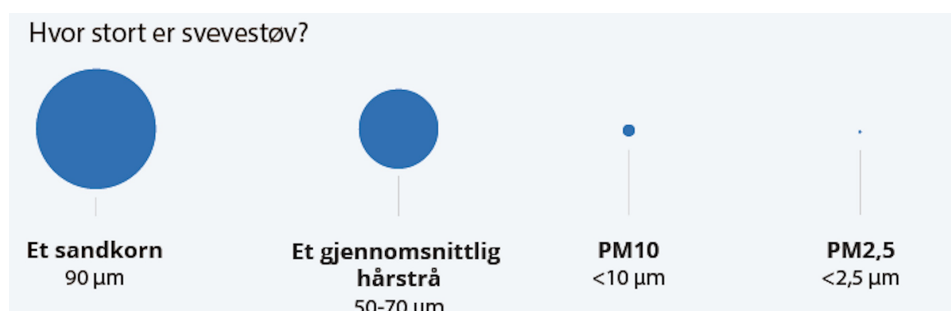
Bindemiddeltesting med nye og tradisjonelle målemetoder er gjennomført på sentrallaboratoriet i Trondheim. Resultatene fra dette er sammenlignet med sporutvikling for dekker der tilsvarende bindemidler er benyttet (Bakløkk, 2017, s. 37). Disse undersøkelsene er rapportert i rapporten “Polymermodifisert bitumen – Egenskaper og krav“ (Jørgensen mfl., 2016). 14 PMB-prøver fra asfalteringsjobber gjort i perioden fra 2009 til 2012 er analysert. Veistrekningene som de aktuelle PMB-prøvene stammet fra, ble fulgt opp på sporutvikling med data fra “Vegdatabanken“. Etter 4–6 års brukstid viser de fleste dekkene med PMB en klar nedgang i årlig sporutvikling sammenlignet med foregående asfaltdekker, der det var benyttet ordinær bitumen med stivhetsgrad 70/100 (Bakløkk, 2017, s. 37).

Alle PMB-bindemidlene tilfredsstilte det amerikanske PMB-kravet for ‘høy trafikk’, 13 tilfredsstilte kravet for ‘veldig høy trafikk’, og 10 tilfredsstilte kravet for ‘ekstremt høy trafikk’. En PMB tilfredsstilte ikke kravet til spenning (Bakløkk, 2017, s. 37). For norske krav er Bitumenspesifikasjonene NS-EN 12591:2009 gjeldene, og PMB-spesifikasjonene NS-EN 14023:2010 (Jørgensen mfl., 2016, s. 4). Standardene er implementert i norske bindemiddelspesifikasjoner gjennom håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, 2022).

2.11 Svevestøv

Luftforurensning er det miljøproblemet i Norge som har størst betydning for menneskers helse (Miljødirektoratet, 2020, s. 2). Svevestøv er mikroskopiske partikler i luften som kan trenge inn i luftveiene og forårsake luftveissykdommer. Samtidig kan svevestøv bidra til klimaendringer ved å påvirke atmosfærens strålingsbalanse.

Svevestøv dannes hovedsaklig fra trafikk og vedfyring, i tillegg vil en del av forurensningen være transportert fra andre områder (Låg mfl., 2004, s. 6). I veitunneler kan svevestøvet oppleves belastende i form av redusert sikt. Utførte målinger viser at opp til hele 90 % kan spores til veidekke-slitasje (Låg mfl., 2004, s. 6). Produksjon av veislitasjegererert svevestøv avhenger av ulike faktorer som piggdekktype, trafikkmengde, gateutforming, gaterengjøring, kjøretøystype, kjørehastighet, klima, kjøreforhold, salting og fuktighet i veibanen, kvaliteten på veidekke og tilslagsmateriale (Låg mfl., 2004, s. 6).



Figur 2.13: Visualisering av størrelsen på svevestøvparkikler (Miljødirektoratet, 2020, s. 12).

Svevestøv-karakteristika avhenger av partiklenes størrelsesfraksjoner. De vanligste fraksjonene av “Partikulært material” er $< 10 \mu\text{m}$ (PM10), PM2,5 og PM0,1 (figur 2.13). Forbrenningspartikler finnes stort sett i fraksjonen PM2,5 eller mindre, mens mineralpartikler er hovedsaklig større enn PM2,5. I rapporten “Grenseverdier for svevestøv” ble det lagt frem forslag om reviderte grenseverdier for PM10 og PM2,5 (Miljødirektoratet, 2020, s. 4). Forslagene var som følger:

- **PM10:** Årsmiddel: 20 mikrogram per kubikkmeter – ned fra dagens $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **PM10:** Antall tillatte overskridelser av døgnmiddel på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$: 25 – ned fra dagens $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- **PM2,5:** Årsmiddel: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – ned fra dagens $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

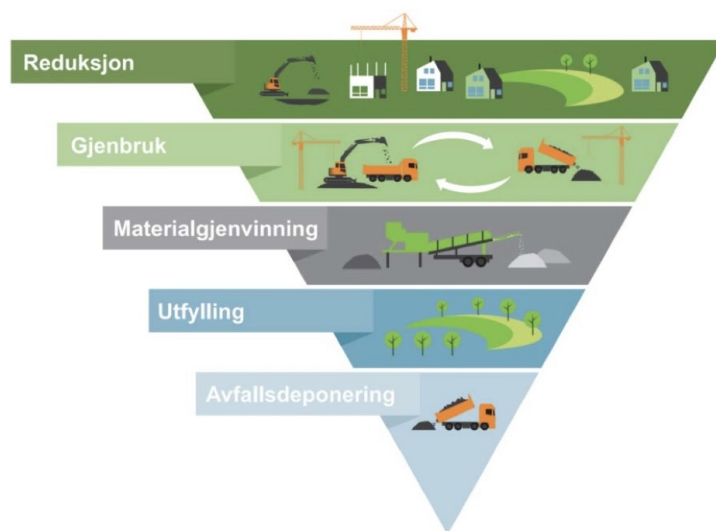
Regjeringen endret grenseverdiene i tråd med anbefalingen fra Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Folkehelseinstituttet og Metrologisk institutt. Endringene trådte til fra 1. januar 2022 (Regjeringen, 2021). Regjeringen la også frem aktuelle tiltak mot luftforurensning som miljøfartsgrenser, bedre vasking av veier og tunneltak for å fjerne støv, økt andel piggfrie dekk og mer utskifting fra eldre til nye vedfyringsovner.

I rapporten “Veidekker - svevestøv og helse“ blir det påpekt at steinmateriale i asfalten bidrar til mesteparten av partiklene ved veislitasje, og at denne faktoren varierer betydelig etter sammensetning av mineraler (Låg mfl., 2004, s. 6). Det må også legges til at i produksjonsprosessen av pukkprodukter er arbeidere utsatt for høye konsentrasjoner svevestøv i arbeidsmiljøet. I denne sammenheng er det også avgjørende hvilke type mineralpartikler som eksponeres. Forskningsresultater viser til utvikling av ulike lungesykdommer i sammenheng med eksponering av asbest og kvarts (Låg mfl., 2004, s. 7). I alle tre bergartene som forskes på i denne oppgaven; granodioritt, kvartsdioritt og gneis, forekommer det høye konsentrasjoner av kvarts, og derfor potensielt respirabelt krystallinsk silika (SiO_2).

Gjennom analyse av steinmateriale som skal brukes i asfalt, vil man potensielt kunne bidra med økning av kvaliteten på veinettet. God veiinfrastruktur, preget av jevnt og solid veidekke, begrenser generering av svevestøv fra veibanen, og reduserer slitasjen på kjøretøyene. På godt vedlikeholdte veier er mindre partikulært materiale tilgjengelig for oppvirvling i luften, spesielt under kjøretøybevegelse. Samtidig understreker dette behovet for bærekraftig veiutvikling, og implementering av teknologiske løsninger som reduserer negative miljøpåvirkninger fra veitrafikken.

2.12 Fremtidens pukk- og veiindustri

For å nå FNs klimamål må pukk og veiindustrien forberede seg på flere områder. En av de store endringene vil være å endre holdningene rundt gjen- og overskuddsmasser. Gjennom å definere overskuddsmasser som avfall skapes en barriere knyttet til håndtering og utnyttelse av massene. Økt utnyttelse av overskuddsmasser er et viktig prinsipp i ressurspyramiden og sirkulær økonomi (figur 2.14) (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 15).



Figur 2.14: Ressurspyramide for overskuddsmasser (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 15).

For å få til dette innebærer det at alle prosjekter bør gjøre vurderinger knyttet til reduksjon, gjenbruk, materialgjenvinning og utfylling, og hvor avfallsdeponering bør være siste alternativ (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 15). Dette krever betydelig planlegging, ikke bare i enkeltprosjekter, men også i henhold til hvilke prosjekter man skal satse på i flere år frem i tid. For å oppnå dette er man avhengig av å implementere nye digitale, teknologiske hjelpemidler, som kan eksempelvis bidra med å lage digitale modeller for prosjektene. Et eksempel er digitale tvillinger som kan simulere veiprojekter og teste tilslag av ulik kvalitet med ulik dekketykkelse.

Gjennom nasjonale strategier for utnyttelse av materialressurser ville kunne muliggjøre prioritering av masser basert på kvalitet og behov. Introduisering av en prismessig vurdering etter kvalitet kan potensielt stimulere til økt bruk av høykvalitetsmaterialer i veibyggingen, og dermed fremme et mer bærekraftig valg. For å distribuere materialene

best mulig bør det lages en felles plan. Da kan for eksempel tilslag av høy kvalitet prioriteres i området hvor piggdekk-andelen er høyere, og det vil være mulig å differensiere krav etter geografisk plassering og tilgjengelighet.

Selv om langtransport av steinmasser gir store utslipp, vil man kunne effektivisere og kanskje redusere behovet gjennom god planlegging. Samtidig kan differensiering avhengig av tilgjengelig materiale (geologi), gjøre at man i flere tilfeller kan bruke kortreist stein. Muligens kan dette være kortreist kvalitetsstein, i stedet for å kjøpe kvalitetsstein som er tilgjengelig lengre unna.

SINTEF ønsker å øke kunnskapen knyttet til bærekraftig veibygging gjennom å se nærmere på ulike typer masser som benyttes (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 4). I Norge benyttes det opp mot 50 tonn stein per meter vei i en to-feltsvei, og 50 % av alt byggeråstoff (pukk og grus) som produseres i Norge benyttes i veianlegg. Massehåndtering og tilgang til masser med “riktig“ kvalitet er derfor en av de største utfordringene (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 4). Forskningsprosjektet “Kortreist stein“ ble gjennomført i perioden 2016-2019. Prosjektet fokuserte på masser fra infrastrukturprosjekter, hovedsakelig tunnelprosjekter, hvor målet var å bruke massene til ulike formål framfor å legge dem på deponi (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 6).

EU har som mål å gjenbruke 80 % av alt bygge- og riveavfall innen 2025. Materialer som betong, asfalt, pukk, grus og jord er en del av dette volumet, og per dags dato har Norge et gjenbruk av denne typen avfall på ca. 40 % (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 16). Norge har god tilgang på jomfruelige masser av høy kvalitet, som også kan være en av årsakene til at det er lav andel gjenbruksmasser (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 17). Det må også nevnes at Norge fortsatt driver med nybygging av vei, i motsetning til andre land som i større grad er “ferdige“ med veiutbygging og hovedsaklig drifter vedlikehold på eksisterende veinett. Dette kan muligens være en forklaring på høyere andel gjenbruk av steinmaterialer (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 17).

Økt bruk av lokale masser, og økt ressursutnyttelse er avgjørende for å kunne nå målet om en sirkulær økonomi, samt øke levetiden på våre ikke-fornybare ressurser gjennom å

redusere det årlige uttaket (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 18). Det må samtidig påpekes at bruk av overskuddsmasser er viktig, men at dette ikke skal gå på bekostning av veiens kvalitet og levetid. Målet med bruk og ombruk er ikke bruken i seg selv, men å sørge for bedre ressursutnyttelse og fornuftig bruk av de massene man har tilgjengelig (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 18).

I Inga Rises masteroppgave (2020) er hovedtemaet miljøpåvirkning fra omfyllingsmasser. Oppgaven hennes oppsummeres i tre hovedpunkter; (1) færre knusestrinn gir reduserte CO_2 -utslipp, (2) transportavstander har lineært økende miljøpåvirkning og (3) økende miljøpåvirkning ved økende leggedyp (I. Rise, 2020). Punkt 1 er svært relevant for problemstillingen i denne oppgaven. Reduserte knusestrinn viser tidvis at det ikke har så stor effekt på det testede materialet. På den måten kan man spare både CO_2 -utslipp, energi og ressurser i produksjonen. Uten å ha nærmere undersøkt denne faktoren, så kan man anta at dette også vil være med på å effektivisere ressursbruken også, ved å produsere mindre overskuddsmasser ved førstegangsbruk.

Punkt to tar opp et viktig tema; miljøpåvirkning av transportavstander. Transportsektoren står for om lag en tredjedel av klimagassutslippene i Norge, og betydelige utslippskutt skal derfor inngå i sektoren de kommende årene (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 16). Prosjektet *Kortreist stein* viste at det er mye å hente på å benytte lokale masser, gjennom blant annet redusert transport, redusert miljøpåvirkning, bedre økonomi i prosjektet, bedre masseutnyttelse og redusert bruk av ikke-fornybare ressurser (T. Rise & Lysbakken, 2023, s. 7). Dette er tiltak som går innunder FNs bærekraftsmål nummer 9: industri, innovasjon og infrastruktur og 12: Ansvarlig forbruk og produksjon.

Kapittel 3 - Materiale og metode

Metodene som blir brukt i denne oppgaven skal gjenspeile tilslaget og asfaltdekkets motstand mot piggdekkslitasje, og tilslaget kornform. Kulemøllemetoden utføres på tilslagsmateriale 11/16 mm, mens flisighetsmetoden utføres på kornfraksjoner 0/32 mm. Tynnslip er gjennomført for å se på materialets mineralogi.

3.1 Materiale

Analysene som er gjennomført er i hovedsak todelte: (1) Sammenligne ulike knusestrinn i produksjonen på Tau, (2) sammenligne hvordan tre ulike bergarter påvirkes av kubisator (VSI). Analyser blir gjort på stikkprøver, som vil si at ikke hele produksjonen analyseres, men en representativ fraksjon. En feilkilde vil være om prøven faktisk er representativ.

For å få ut prøver til testing må det blant annet skje en stopp i produksjonen på Tau. Dette er for å være trygg på at det er samme materiale som prøvetas og sammenlignes gjennom alle knusestrinnene (figur 3.1 og 3.2). Bergarten kan ha varierende egenskaper i ulike deler av bruddet, og for å unngå slike variasjoner er det valgt å bruke en og samme salve i analysene. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i at den mekaniske styrken ikke endres for ulike kornstørrelser. Massene skal analyseres i ulike knusestrinn for å ha et sammenligningsgrunnlag for videre diskusjon.



Figur 3.1: Dronebilde over steinbruddet på Tau (foto: Norsk Stein Tau)



Figur 3.2: Dronebilde med markør på 130-pallen (salve 130022) fra steinbruddet på Tau (foto: Norsk Stein Tau).

Kjøreplan uttaksdag - Tau

For å sikre at innkjørt masse til anlegget var fra samme salve, ble det bestemt en dag hvor produksjonen skulle stoppes. Da ble masser som allerede var i produksjonsanlegget ferdigstilt, slik at anlegget var tomt for material. Natt til onsdag 15. november 2023, ble det sikret at det ikke ble kjørt inn ny masse fra bruddet, slik at kl.09:30 kunne det bli kjørt inn masser fra salve 130022. Knuserne var kalibrerte i forkant av uttaksdagen. Produksjonen ble kjørt med 450 tonn/time, og tatt ut mellom 10-20 kg prøvematerialet fra hver knuser.

GK1 er den eneste knuseren i grovverket. Når prøvemateriale er tatt ut etter denne, sendes prøven videre i mellomverket som består av to knusere; MK1 og MK2. I figur 3.3 tas det ut prøver etter MK1 (figur 3.3a), MK2 (figur 3.3b), og deretter ble resterende material sendt videre til finverket. Fra grov- og mellomverket er det ikke tatt ut fraksjoner større enn 31,5, i realiteten er kornfordelingen grovest ved start og blir finere ut i knuseverke. Disse knuserne har derfor mindre representative kornfordeling enn knuserne i finverket.

Det tas ut prøvemateriale etter hver knuser i finverket i to paralleller; en med og uten VSI. På den måten kan man sammenligne resultatene for å se knuserens effekt på materiale. Fra hver knuser hentes det ut en prøvestørrelse på to bøtter med spade (figur 3.3). Ved normaldrift kjøres småknuserne (FK1, FK2, FK3 og FK4) samtidig, massene blandes, og går gjennom VSI samlet. På uttaksdagen er kun en av knuserne i drift om gangen, slik at de kan analyseres hver for seg før og etter VSI. Gjennom knuseverket har partiklene i massen en reduserende størrelse, som man kan se om man sammenligner bildene fra mellomverket (figur 3.3a og figur 3.3b) med bildene fra finverket (figur 3.3c og figur 3.3d).



(a) Prøve fra knuser 1 (MK1) i mellomverk, fra bånd 2.



(b) Prøve fra knuser 2 (MK2) i mellomverk, fra bånd 3.



(c) Prøve fra knuser 1 i finverket (FK1), tatt fra bånd 4.



(d) Prøve knust i småknuser 2 (FK2) og kubiisert i VSI (finverk), tatt fra bånd 4.

Figur 3.3: Bilder fra uttaksdag på Tau.

3.1.1 Material til analyse av bergartenes påvirkning av kubisator

For å se på kvalitet og sammenligne ulike bergarter i ulike knusere ble 0/32 mm-prøver fra Tau, Jelsa og Dirdal testet. Det var på forhånd avtalt at prøvene skulle tas ut fra sprenging, knuses i grovknuser, og sikte til 0/32 mm. Dette var for å sikre at prøvene skulle ha likest mulig utgangspunkt. For Jelsa-prøvene var det ikke mulig, så 0/16 er kun knust i grovknuser, mens 16/32-fraksjonen også har vært gjennom en mellomknuser. Det har likevel mindre betydning for denne oppgaven, da prøvene ikke skal sammenlignes med hverandre.

Det er tiltenkt å kategorisere prøvene i tre analytiske grupper, (1) prøver som ikke har gjennomgått kubisering, (2) prøver som har blitt kubisert én gang, og (3) prøver som har blitt kubisert to ganger. Dette muliggjorde å vurdere hvilken effekt kubiseringen har i det første trinnet, eller om kubisatoren gir konsekvent forbedringer ved gjentatt bruk.

Kjøreplan Tau-, Jelsa- og Dirdalprøver til sammenligning

En lastebil kjørte fra Dirdal, videre til Tau, deretter til Jelsa for å hente prøvematerialer. Lastebilen leverte materialet til Jøsenfjorden slik at det kunne sendes gjennom VSI i to omganger. For Tau, Jelsa og Dirdal var det 13 tonn hver materiale. Testingen ble gjennomført på knuseverket i Jøsenfjorden da knuseverket her er et mobil-verk, og derfor kan knusere isoleres fra resterende knuseverk. På den måten ble prøver hentet ut før og etter hver VSI uten å blandes med annet materiale. I figur 3.4a og 3.4b tar det prøver fra Dirdal før det sendes gjennom VSI. I figur 3.4c fylles skuffen med materialet fra transportbåndet (TB) etter VSI, og i figur 3.4d tas prøven med spade fra skuffen.



(a) Prøve fra lasteplan før VSI i Jøsenfjorden



(b) Prøve fra lasteplan før VSI i Jøsenfjorden



(c) Massen transporteres fra VSI, via transportbånd, ned i en skuff hvor prøven tas.



(d) Prøvetaking fra skuff i Jøsenfjorden

Figur 3.4: Bilder fra uttaksdag i Jøsenfjorden

3.2 Forberedelser til laboratoriemetoder

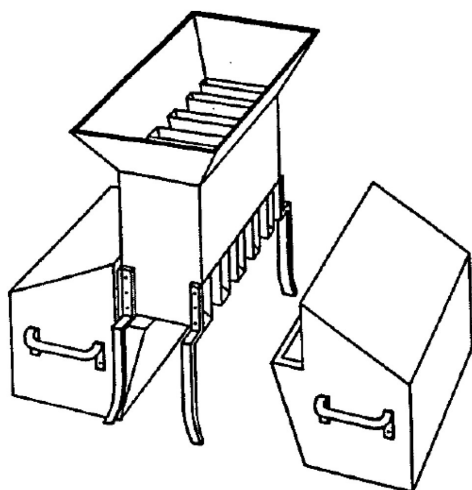
3.2.1 Sikkerhet

Laboratorier er en risikofylt arbeidsplass som krever planlagte tiltak for å beskytte arbeidstaker eller student (Arbeidstilsynet, 2024, s. 1). På et steinlaboratorie står man ovenfor utfordringer som tunge løft, varme objekter, høye støynivåer og svevestøv, hvilket krever nøye hensyn. Derfor er det krav om adekvat beskyttelsesutstyr og en bevisst tilnærming til utførelsen av ulike oppgaver, som for eksempel håndtering av tunge gjenstander. Laboratoriarbeidet som er gjort i denne studien, ble gjort på Norsk Stein sitt laboratorium. Nødvendig verneutstyr for deltakelse på laboratoriet er vernesko, vernebriller, arbeidstøy, hørselsvern, hansker og støvmaske. Skal man ut et pukkverk-anlegg må man også ha hjelm.

3.2.2 Gjennomsnittsprøve

Hensikt

Metoden benyttes for å fremskaffe en representativ delprøve ut fra en større forekomst (Statens vegvesen, 2016, s. 8). Standarden som er gjeldene for metoden er NS-EN 932-2 (Standard Norge, 1999). Når prøvematerialet er større en det som er hensiktsmessig å undersøke, skal det tas ut en gjennomsnittsprøve ved splitting. Ønsket prøvemengde er vist i tabell 3.2. Metoden nyttes for uttak av gjennomsnittsprøver for alle jordarttyper og knust materiale mindre enn 31,5 mm.



Tabell 3.1: Splitteapparat som brukes for å dele materialet i to like deler (Statens vegvesen, 2016, s. 9).

Tabell 3.2: Prøvestørrelser for laboratorieundersøkelser (Statens vegvesen, 2016, s. 53).

Øvre størrelse (mm)	Minimum vekt (kg)
31,5	10
22,4	5
16,0	2,6
11,2	1,4
8,0	0,6
5,6	0,6
$\leq 4,0$	0,2

Fremgangsmåte

Ofte har man mer prøvemateriale enn det som trengs til en spesifikk metode. Derfor må prøven splittes, slik at massen som analyseres er representativ for hele prøven. For denne oppgaven er dette gjort for for metodene sikteanalyse og flisighetsindeks.

Ved å tømme prøvematerialet over i splitte-apparatet (figur 3.1), deles prøven i to like store deler deler på hver side av apparatet. Dette gjentas om nødvendig i flere omganger ned til passende stor prøveporsjon (tabell 3.2). Det er en fordel om materialet er fuktig ved splitting, da det unngår tap av finstoff i form av støv (Statens vegvesen, 2016, s. 8). Etter splitting og oppveing legges prøven i tørkeskap med temperatur på $110 \pm 5^\circ\text{C}$ til konstant masse. Dermed er prøven effektivt delt, representativ for prøvemateriale og klar for videre behandling.

3.2.3 Vasking

Prøvene vaskes for å suspendere bort mest mulig finstoff. Finstoff kan binde seg til de større partiklene og vil derfor være en potensiell feilkilde i andre analyser.



Figur 3.5: Før (øverst) og etter (under) vask av 11/16 mm Dura-splitt.

Fremgangsmåte

Start med å veie prøven før vasking, slik at suspensjon av $63 \mu\text{m}$ kan beregnes i etterkant. For vasking helles prøven over i vaskesikt. Om prøvemateriale overstrider maksimal vektbelastning for en sikt (vedlegg A.2) kan det benyttes beskyttelsessikt. Deretter skylles prøven med vann slik at mest mulig $63 \mu\text{m}$ er går gjennom vaskesikten. Prøven helles tilbake til beholder, legges i tørkeskap til konstant masse og kan veies. Vektdifferansen representerer finstoff suspendert ved vasking.

Avhengig av metode man skal bruke kan man endre sikt ved vasking. Til kulemølle-testen hvor testmateriale er størrelsesfraksjon 11/16 mm, kan man ha en vaskesikt på 11 mm (figur 3.5). For flisighetsindeks eller kornfordeling benyttes en $63\ \mu\text{m}$, men man kan legge en sikt med større og mer robuste masker over for å beskytte maskene i $63\ \mu\text{m}$ -sikten.

3.3 Kornfordeling ved sikting

Hensikt

For å bestemme korngradering av tilslag slik at de er klargjort for salg eller videre analyse må prøvene prepareres ved å siktes. Metoden brukes for å bekrefte produksjonens nøyaktighet når de ulike størrelsene blandes til ulike formål. Som leverandør av ulike blandinger er det viktig at kunden får den korrekte størrelsen for sitt formål. Gjeldende standard for metoden er NS-EN 933-1:2012 (Standard Norge, 2012a).

Fremgangsmåte

Prøven skal være tørr før sikteanalyse slik at ikke fuktighet veies og tolkes som finstoff. Om du skal sikte en prøve med finstoff skal den veies før vasking (M_1), ved vasking skylles finstoffet ($> 63\ \mu\text{m}$) bort. Om prøven ikke inneholder finstoff er det ikke nødvendig å veie før vasking.

Vask prøven slik det er beskrevet i underavsnitt *3.2.3 Vasking*. Hell den vaskede prøven over i en beholder, og tørk prøven i tørkeskap. Om prøven ikke er helt tørr vil man risikere at partikler klumper seg sammen. Prøven skal i praksis være fri for finstoff da dette ble suspendert i vaskingen. Ettersom vaskingen ikke fjerner all finstoff, brukes også $63\ \mu\text{m}$ -sikt ved sikting. Avkjøl prøven etter at den har vært i tørkeskap, vei prøven, og noter massen (M_2). Mengden materiale i bunnpanne og $63\ \mu\text{m}$ -sikt kan indikere nøyaktighet ved vasking.

Sørg for at siktene er plassert fra minst maskeåpning (bunn) til størst (øverst), hell prøvebeholderens innhold i i siktene og sett siktesettet med prøven i maskinen (figur 3.6). Siktemaskingen tar omlag 10 minutter. Når maskingen er ferdig mål opp de ulike fraksjonene, og fyll inn resultatet i skjema (vedlegg A.2). Summen av de ulike fraksjonene

utgjør total masse (M_3). Tallene fremstilles i en kumulativ kurve.



Figur 3.6: Siktemaskin og siktesett til sikteanalyse. Foto: Heidrun Sande

For å kontrollere massetap i prosessen kan man sammenligne innveid tørr masse (M_2) med separat veid masse etter sikting (M_3). For å kontrollsikre resultatene skal M_3 ikke utgjøre en større differanse enn 1 % av M_2 . Om differansen overstider dette, skal siktingen gjentas med ny prøve (Statens vegvesen, 2016, s. 55). For å beregne dette benyttes formel (Statens vegvesen, 2016, s. 55):

$$\frac{M_2 - M_3}{M_2} \cdot 100 \neq >1\% \quad (3.1)$$

hvor:

M_2 = Tørr masse etter vasking (etter suspensjon av partikler $>63\mu\text{m}$)

M_3 = Summert delfraksjoner etter sikting

Hver sikterest, R_1, R_2, \dots, R_n , beregnes ut fra total prøvemengde, summeres og fremstilles ved prosentverdi. For prøver uten finstoff oppgis delfraksjoner ned til $63\mu\text{m}$ med følgende formel:

$$X_i = \frac{R_i}{M_2} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Om man ønsker å inkludere finstoff i den kumulative kurven, benyttes følgende formel:

$$F = \frac{M_1 - M_2 + BP}{M_1} \cdot 100 \quad (3.3)$$

hvor:

M_1 = Total tørr masse

BP = Siktet materiale i bunnpotte

X_i = Prosentverdi for hver fraksjon

R_i = Masse (gram) for hver delfraksjon

F = Finstoff

3.4 Motstand mot piggdekkslitasje - Kulemøllemetoden

Hensikt

I de nordiske landene skyldes den største nedbrytmekanismen for asfaltdekker bruk av piggdekk (Ulvik, 2020, s. 31). Derfor er det utviklet en metode med navn nordisk abrasjonstest eller kulemøllemetode. I noen norske byer er det innført piggdekkavgift for å redusere piggdekkslitasjen på veiene. En større andel piggfrie vinterdekk har ført til mindre slitasje, og mer slitesterke asfaltdekker, samt reduserte støynivåer for disse områdene (Statens vegvesen, 2022). Tross piggdekkavgift, og dermed redusert antall biler med piggdekk, er fortsatt piggdekk en vesentlig årsak til spordannelse i disse områdene. På veier med høy hastighet og stor trafikkmengde er piggdekkslitasjen høyest (Statens vegvesen, 2022). Derfor er det tilført krav til piggdekkslitasje for tilslagsmateriale i Håndbok N200. Kulemøllemetoden er ment for å simulere piggdekkslitasjen steinmaterialet utsettes for som asfaltdekke på de nordiske veiene. Metoden bestemmer tilslagsmaterialets evne til å motstå piggdekkslitasje (Ulvik, 2020, s. 7).

Prøvemengde-behovet (M_1) avgjøres av materialets densitet, og må prepareres i forkant av metoden ved å sikte prøven med siktestørrelsene; 11.2, 14 og 16 mm. Etter gjennomføring måles vekttapet (M_2) som kan fortelle noe om materialets motstandsevne mot abrasiv slitasje. Resultatene presenteres i en kumulativ kurve, og beregnes til et forholdstall ut ifra massetap (finstoff produsert) med denne formelen (Statens vegvesen, 2016, s. 71):

$$A_N = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.4)$$

hvor:

A_N = Kulemølleverdien: mengde bortslitt masse i %

M_1 = masse i gram til tørr prøve før test

M_2 = masse i gram, etter test, av prøvemateriale > 2 mm

Krav for metoden og resultater stilles i gjeldende standard som per dags dato er NS-EN 1097-9:2014 (Standard Norge, 2014). I henhold til standarden skal kulemølletesten utføres med minst to paralleller. Dersom differansen mellom parallellene er større enn 7 % av gjennomsnittet mellom de, blir det gjort ytterligere prøver. For knusetrinn GK1, MK1 og MK2 er testmateriale av større størrelsesorden, og det blir kun gjennomført kulemølle som utgangspunkt, denne testen har større usikkerhetsestimater enn de andre resultatene. Om parallellene har et avvik mer enn 10 %, skal analysen utføres på nytt med nytt materiale (Statens vegvesen, 2016, s. 72), og nytt gjennomsnitt berignes for alle parallellene, med formel (4 paralleller) (Statens vegvesen, 2016, s. 72):

$$A_N = \frac{A_{N_1} + A_{N_2} + A_{N_3} + A_{N_4}}{4} \quad (3.5)$$

Deretter beregnes standardavviket, σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(A_{N_1} - A_N)^2 + (A_{N_2} - A_N)^2 + (A_{N_3} - A_N)^2 + (A_{N_4} - A_N)^2}{4}} \quad (3.6)$$



Figur 3.7: Kulemøllemaskin som brukes i metoden med stålkuler oppi. Foto: Heidrun Sande

Fremgangsmåte

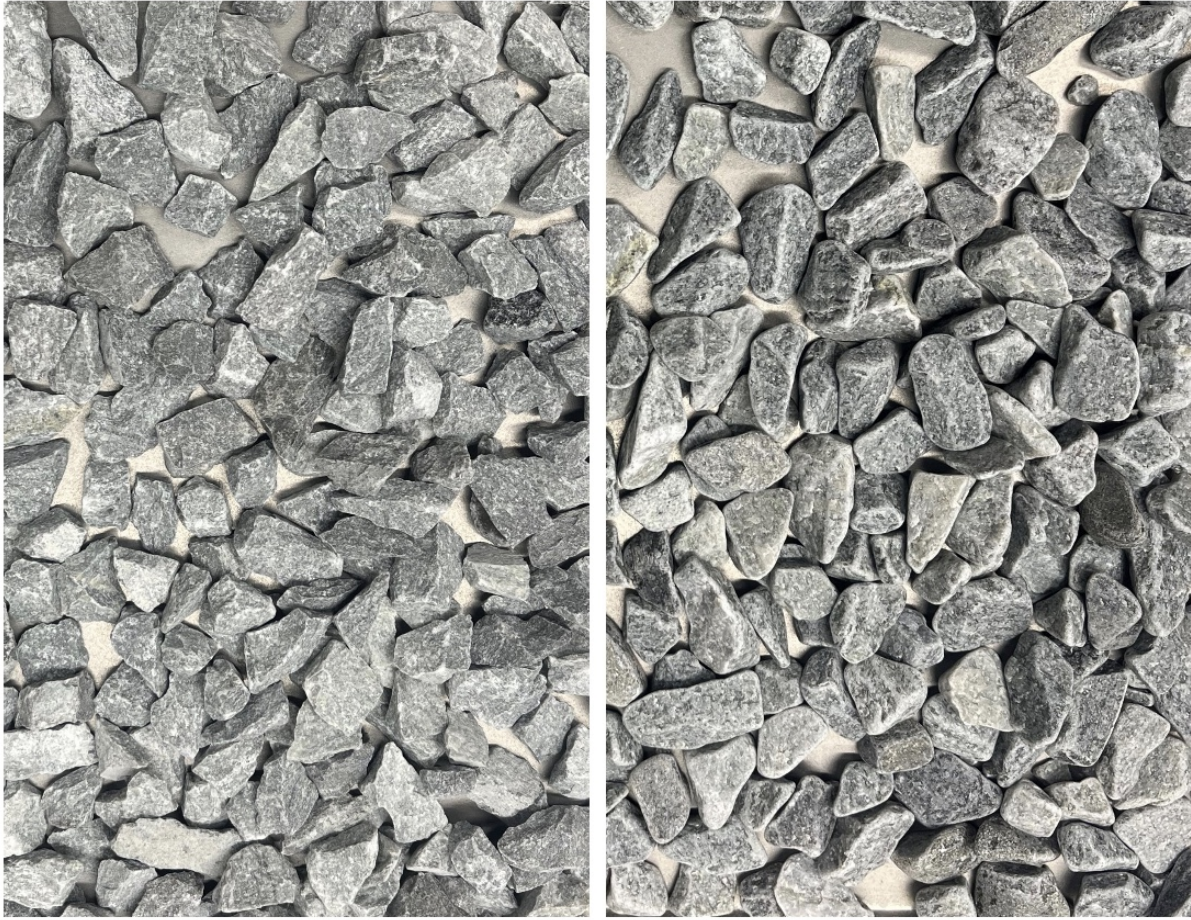
Før metoden kan gjennomføres må materialet densitet-analyseres, i henhold til NS-EN 1097-6. Først etter densiteten er kjent kan man bestemme prøvemengde for kulemøllemetoden. Verdiene i tabell 3.3 er fra densitetsanalyser som blir gjennomført en gang i halvåret av et tredjepartslaboratorium. Det er disse verdiene som brukes for prøvemengde til kulemølletest. For Tau og Dirdal er dette *Dr. Moll*, og for Jelsa er dette *Asphalt-labor*.

Vask prøven med en 11,2 mm-sikt for å fjerne innholdet som er av mindre fraksjon. Sikt deretter prøvematerialet på med 11, 14 og 16 mm-sikter. Proporsjoner to testparalleller etter materialets densitet.

Tabell 3.3: Prøvemengde til kulemølle (g) avhengig av densitet (g/cm^3) og fraksjon (mm) (Statens vegvesen, 2016, s. 73). Feilmarginen er ± 5 g.

Sted	Densitet (g/cm^3)	11,2-14,0 (mm)	14,0-16,0 (mm)	M_1 (g)
Tau	2,77	679,4	365,5	1045,3
Jelsa	2,77	679,4	365,5	1045,3
Dirdal	2,82	691,7	372,5	1064,2

Den ferdigmålte prøven legges sammen med 2 L vann og 7 kg stålkuler i kulemøllemaskinen (figur 3.7). Start maskinen, den skal gå 5400 omdreininger, som tilsvarer omtrent en time. Etter dette tas prøven ut av maskinen. For å fjerne stålkulene brukes en magnet, deretter skylles prøven med 2 mm-sikt for å suspendere fraksjoner < 2 mm. Tørk prøven i tørkeskap, mål opp vekt (M_2) og beregn kulemølleverdien (A_N). Figur 3.8 er det bilde av materiale før og etter kulemølle-test, materialet er mindre flisig etter testen.

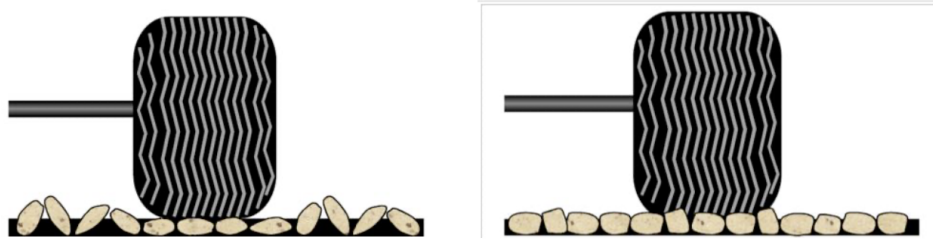


Figur 3.8: Materiale (dura-splitt) før og etter kulemølletest.

3.5 Bestemmelse av kornform - Flisighetsindeks

Hensikt

Hensikten med denne undersøkelsen er å bestemme materialtes kornform, og derav egenskap i veikonstruksjonen. Kornform har stor innvirkning på de materialtekniske egenskapene, og knyttes derfor i direkte korrelasjon med materialets sliteevne (Aurstad mfl., 2016, s. 152). Flisighet er forholdet mellom kornets bredde og tykkelse. Ideelt for veibyging anses kubisk materiale, da langstrakte partikler kan ha uheldige effekter i asfaltdekker (Aurstad mfl., 2016, s. 110). Eksempelvis kan langstrakte partikler ha en tendens til å svekke den langsiktige holdbareheten gjennom å forårsake at dekket brytes opp og får deformasjoner (Aurstad mfl., 2016, s. 110), vist i figur 3.9.



Figur 3.9: Kornform og trafikklaster (Aurstad mfl., 2016, s. 110).

For denne metoden følges kravene i Norsk Standard NS-EN 933-3:2012, “Flisighetssindeks - Prøvmingsmetode for geometriske egenkaper til tilslag” (Standard Norge, 2012b).

Tabell 3.4: Fraksjoner med korresponderende stavsikter (Standard Norge, 2012b, s. 5).

Fraksjon	Stavsiktens
d/D (mm)	spaltebredde (mm)
31,5/40	20
25/31,5	16
20/25	12,5
16/20	10
12,5/16	8
10/12,5	6,3
8/10	5
6,3/8	4
5/6,3	3,15
4/5	2,5



Figur 3.10: Prøvingssikter (venstre) og stavsikter (høyre) til flisighetsanalyse. Foto: Heidrun Sande

Fremgangsmåte

Bestemmelse av kornform skjer ut fra to sikteoperasjoner (figur 3.6). Først siktes en splittet, oppveid og vasket prøve på kvadratiske platesikter, deretter siktes hver fraksjon på korresponderende stavsikter som er angitt i NS-EN 933-3 (tabell 3.4) (Aurstad mfl., 2016; Standard Norge, 2012b, s. 110). Flisighetsindeks for en fraksjon prosent gjennomgang på fraksjonens tilhørende stavsikt (figur 3.10). Flisighetsindeks for en prøve beregnes ut fra sum av prosent gjennom stavsiktene av hele prøvens totale masse, som vist i formelen under (Statens vegvesen, 2016, s. 75).

Hvor:

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.7)$$

FI = Flisighetsindeks

M_2 = Summen av masser i gram som passerer stavsikta

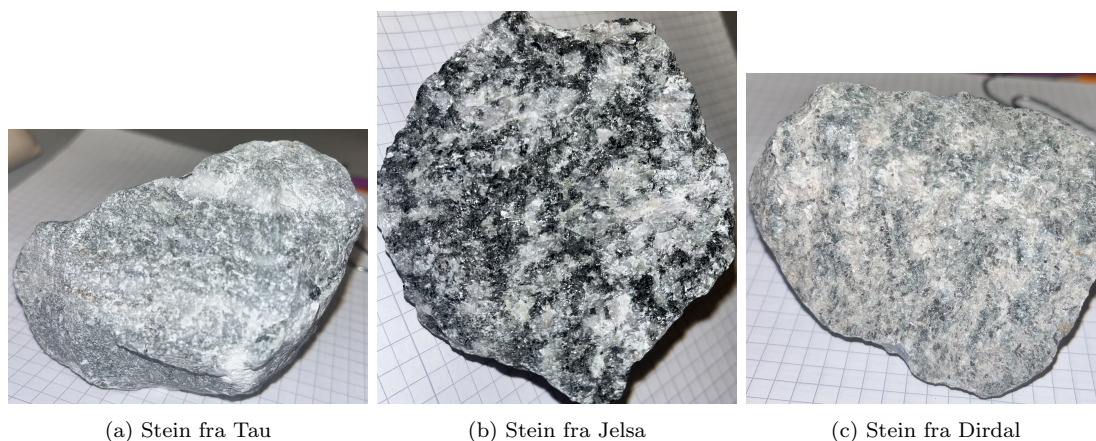
M_1 = Prøvens totale masse i gram

3.6 Petrografi - Tynnslipmikroskopi

Hensikt

For å bestemme steinmaterialets brukbarhet til ulike formål inngår klassifisering av bergarten. Det er hensiktsmessig å ha kunnskap om de ulike petrografiske klassifikasjonssystemene for generell geologisk kartlegging av materialforekomsten og vedrørende stabilitet, drift og vedlikehold av vei.

For veiformål er det viktig å ha kjennskap til bergartens mekaniske styrke som kan identifiseres ved kunnskap om materialets gjennomsnittlige mineralkornstørrelse og fordeling, innhold og orientering (foliasjon) av glimmerkorn, tilstedeværelse av mikrosprekker, innhold av bløte mineraler og utformningen av kontaktflaten mellom mineralkorn (mineraltekstur) (Nålsund & Haugen, 2019, s. 5). Den store svakheten for analysen er at det ikke er funnet gode korrelasjoner for parameterne nevnt ovenfor, og regresjonskoeffisienten har derfor en tendens til å være ganske lav. I denne konteksten fungerer tynnslipanalysen primært som en støttefunksjon for evalueringen av bergartenes kvalitetsegenskaper ved å forklare og underbygge andre resultater.



Figur 3.11: Steinene fra Tau, Jelsa og Dirdal som er prøvemateriale til petrografisk undersøkelse.

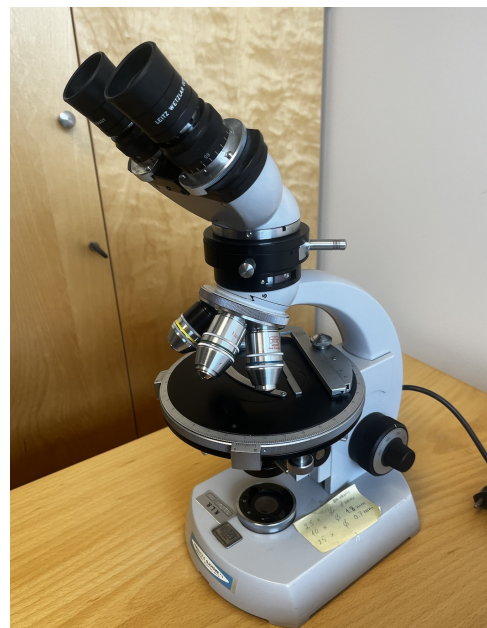
Tynnslipanalyse av bergarter kan være et nyttig hjelpemiddel for å evaluere målte bergartsegenskaper, både med tanke på vei- og jernbane-, betong- og ingeniørgeologiske formål (Nålsund & Haugen, 2019, s. 5). For veibygging er det ønskelig å begrense svake mineraler som for eksempel glimmer, kalk og kloritt for å ha minst mulig slitasje og deformasjon i veikonstruksjonen. En viktig faktor er at steinen som analyseres er representativ

for et større område, derfor er det hensiktsmessig å teste steiner som har homogene og isotrope egeneskaper. Dette må tas i betraktning i analysen av tynnslipprøvene.

Det er utført petrografisk analyse av 6 polerte tynnslip, to fra hver destinasjon Tau, Jelsa og Dirdal (figur 3.11). På grunn av tidsmessige og økonomiske begrensninger innenfor rammene av masteroppgaven, er det ikke mulig å kvantifisere analysen, og følgelig vil resultatene ikke oppnå statistisk signifikans. Merk at denne metoden gir kun veiledende (semikvantitative) verdier for innhold av hovedelementene. For analysens formål i denne oppgaven antas det imidlertid at prøvene er representative. Selv om man er kjent med heterogenitet i bergartene. Prøvene som er valgt ut for tynnslip er forsøkt utvalgt med hensyn til å oppnå best mulig representativitet. Metoden er en forenklet metode for å beskrive visuell bedømmelsen for å bestemme bergart og mineraltyper.

Fremgangsmåte

For tynnslipanalyse ble det levert steiner fra Tau, Jelsa og Dirdal til universitetet i Oslo hvor senioringeniør Salahaldin Akhavan ved institutt for geofag produsert tynnslip-preparater. Tynnslipene har en tykkelse på 20-30 μm . Analysene er blitt gjort av førsteamanuensis Jan Marten Huizenga ved fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. For denne analysen ble det brukt 2 mm-linse (figur 3.12), og bilder ble tatt med mobilkamera.



Figur 3.12: Mikroskopet som ble brukt til analyse av tynnslippreparatene.

Kapittel 4 - Resultater

Under dette kapitlet presenteres en sammenfatning av resultater fra laboratoriet og petrografisk undersøkelse. Laboratorierapportene er lagt som vedlegg.

4.1 Ulike knusetrinns påvirkning på Dura-splitt

Fra de ulike knusetrinnene på Tau er det testet sikteanalyse, flisighetsindeks og kulemølle-test. For sikteanalysene er prøvestørrelsene mellom 2,8 og 6,0 kg. For flisighet er prøvestørrelsen mellom 2,6 og 7,4 kg. Tabell 4.1 viser kulemølledata, og tabell 4.2 viser flisighetsindeks. Trinnene markert i rødt representerer prøver som har blitt tatt ut før og etter VSI for den bestemte knuseren. Dette er materialet som kan analyseres for denne delen av oppgaven. Resultatene fra GK1, MK1 og MK2 er utgangsmaterialet etter nedknusing, og TB4, TB5 og TB6 er ferdigvare til referanse-verdier. Materialet fra MK1 er også en blanding av materiale fra samme salve som resten av prøvematerialet (salvenummer = 130022) og en annen salve fra Tau. Dette er blitt gjort da det ikke var nok prøvemateriale til alle analysene, og kan dermed også forklare de høye verdiene.

Ved normal produksjon fordeles massene i finknuserne avhengig av størrelsesfraksjon, og blandes på transportbåndet. Ferdigvare-prøvene er tatt fra TB4 (figur 2.7). TB4 er etter finknuserne, TB5 er etter VSI, og TB6 er etter en lengre transportetappe videre fra TB5. Prøvene TB5 og TB6 er likt produsert, men TB6 har i tillegg en transportetappe som potensielt har en kubiserende effekt.

Tabell 4.1: Kulemølle-resultater (%) for alle knusertrinn og standardavvik (σ) for finknuserne fra Tau.

Knusertrinn	Uten VSI	σ	Med VSI	σ
GK1	9,88			
MK1	15,94			
MK2	9,76			
FK1	6,51	0,031	5,92	0,196
FK2	7,04	0,018	5,91	0,055
FK3	7,82	0,184	6,58	0,263
FK4	7,55	0,220	6,67	0,037
TB4			6,96	
TB5			6,07	
TB6			5,72	

Resultatene i tabellen 4.1 viser effekten av å bruke VSI på masser etter finknuserne. De ulike finknuserne viser få variasjoner ved bruk av VSI. Alle finknuserne (rød) viser en lavere verdi for både kulemølle og flisighet etter kubisator. Alle prøver etter VSI viser en kulemølleverdi < 7 , som representerer det strengeste kravet for kulemølleverdi for asfalttilslag i Norge (tabell 2.1).

Om standardavviket (σ) er større enn 9 %, skal det utføres en følgende beregning for å se om ekstremverdier skal forkastes (Standard Norge, 2014, s. 9) . I dette tilfellet er ingen av σ større enn 0,263 %, og Dixon´s test trenger derfor ikke å beregnes (tabell 4.1).

MK1 viser de høyeste verdiene for både kulemølle (tabell 4.1) og flisighet (tabell 4.2). Dette kan skyldes kvaliteten på knuseren, MK1 er en gammel, slitt knuser. Norsk Stein Tau sier at dette er årsaken til resultatene.

Tabell 4.2: Flisighetsindeks (%) for alle knusetrinn på Tau.

Knusetrinn	Hele kurven		10/16-fraksjon	
	Uten VSI	Med VSI	uten VSI	med VSI
GK1	25,7		25,4	
MK1	42,3		47,8	
MK2	27,7		29,7	
FK1	7,1	5,0	9,1	4,7
FK2	14,6	8,9	10,7	7,1
FK3	13,0	11,4	10,8	9,3
FK4	8,5	5,4	7,9	4,9
TB4		9,5		9,3
TB5		6,9		6,2
TB6		5,8		6,7

Tabell 4.2 viser de samme prøvene, men for materialets flisighetsindeks. For disse resultatene viser VSI også her en forbedring ved alle knusere. For asfalttilslag er det strengeste kravet til materialets flisighet < 20 (tabell 2.2). Disse prøvene viser alle resultater etter mellomverket (MK2) godkjente verdier til asfalttilslag. For både A_N og FI har verdiene gått opp fra GB1 til MK1 (tabell 4.1 og 4.2). Knusetrinnene MK2 og GK1 viser tilnærmet like verdier for både KM og FI.

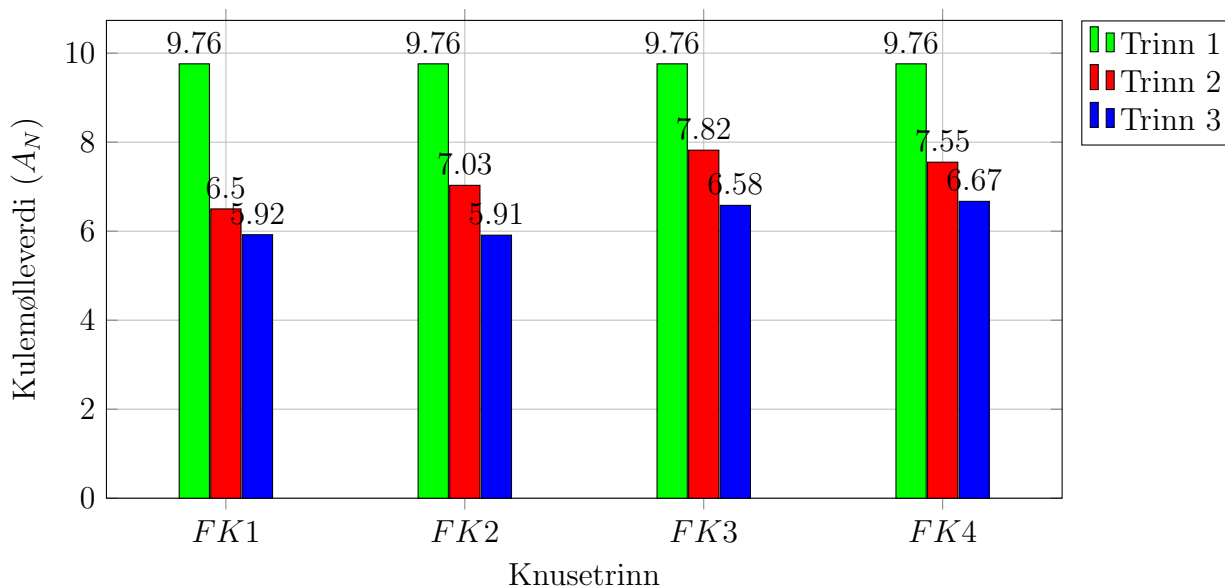
Det må tas i betraktning at ved vanlig drift kjøres knuser FK1-FK4 parallelt, og massene fra de fire finknuserene blandes på transportbåndet. Materialet som analyseres her har kun vært gjennom en av finknuserene. Det er verdien fra utgangsmaterialet i mellomverket (MK2) som må sammenlignes med finknuserne (FK1-FK4), slik det er presentert i figur 4.1 for kulemølle og figur 4.2 for flisighetsindeks. Variasjonene mellom finknuserne er ikke særlig stor, og kan skyldes årsaker som slitasje på knusere og fyllingsgrad i knuseren.

Ettersom kulemølle- og flisighetsmetodene skal ses i sammenheng er det regnet på FI for delfraksjonen 10/16 mm som er samme fraksjon som benyttes i KM-metoden. I tabell 4.3 er det utregning av FI for delfraksjonene 10/12 og 12/16 mm.

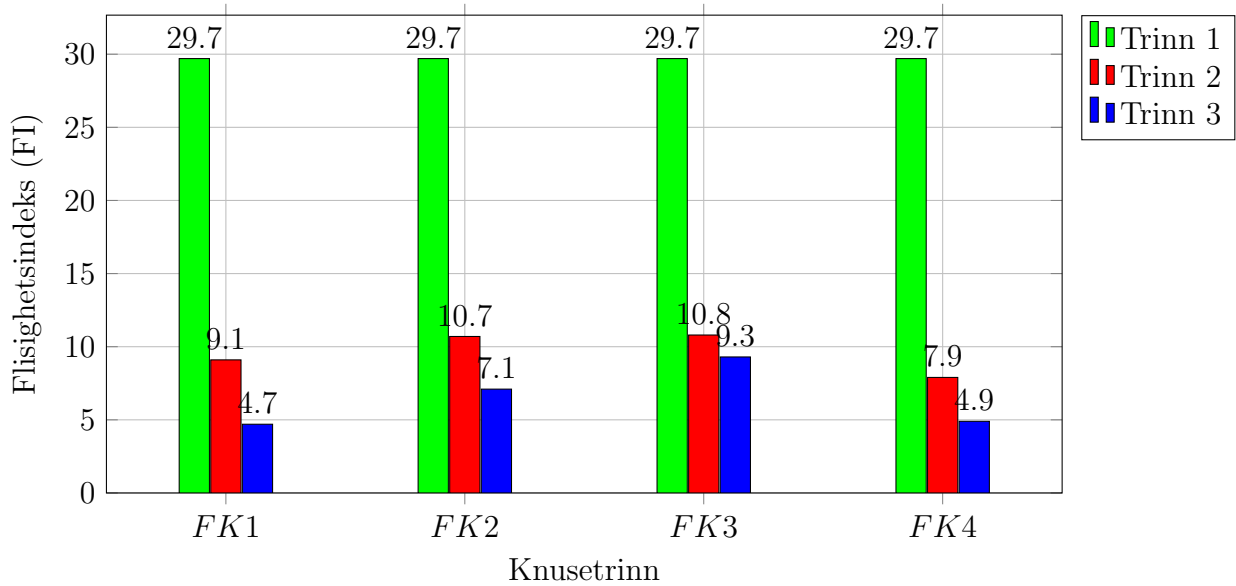
Tabell 4.3: Flisighetsindeks (%) for hele kurven (d/D) og for delfraksjonene 10/12 og 12/16 mm for finknuserne med og uten VSI fra Tau. M_1 er den totale mengden 10/16 mm-materiale, M_2 er materialet som gått gjennom stavsiktene.

Knuser	M_1	M_2	FI 10/16	FI d/D
FK1 uten VSI	1217,5	110,5	9,1	7,1
FK1 med VSI	1098,0	51,6	4,7	5,0
FK2 uten VSI	874,5	93,3	10,7	14,6
FK2 med VSI	953,8	68,0	7,1	8,9
FK3 uten VSI	1693,6	183,1	10,8	13,0
FK3 med VSI	1382,8	128,3	9,3	11,4
FK4 uten VSI	1816,0	143,9	7,9	8,5
FK4 med VSI	1096,1	68,3	4,9	5,4

I figurene 4.1 og 4.2 er Trinn 1 resultatene fra MK2, Trinn 2 er for den bestemte knuseren uten VSI, og Trinn 3 er for den samme knuseren med VSI. Prosess for massen er; MK2 til finknuser til VSI. For både figur 4.1 og 4.2 er trenden mellom trinn 1, 2 og 3 den samme.



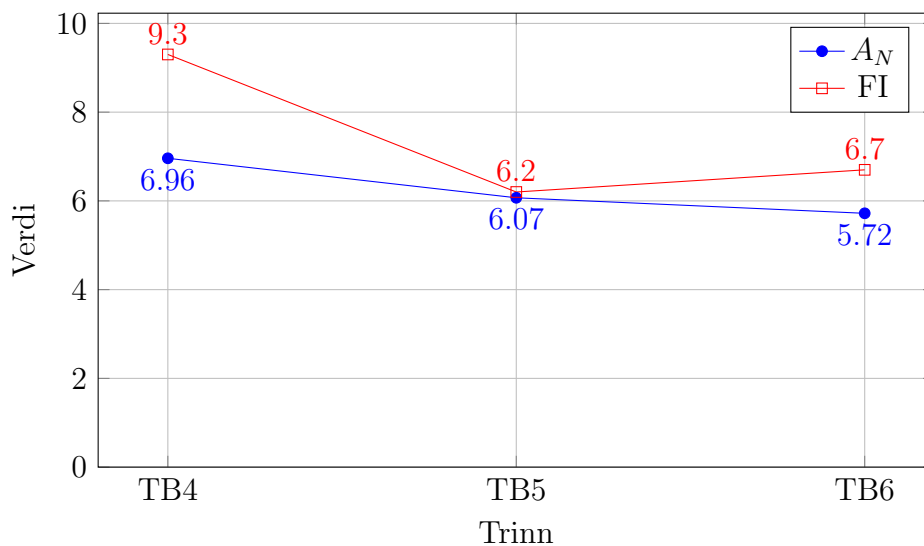
Figur 4.1: Kulemølleverdi (%) for finknuserne på Tau.



Figur 4.2: Flisighetsindeks (%) (10/16-fraksjon) for finknuserne fra Tau.

4.1.1 Transport på transportbånd

For å se om transportbåndene har en kubiserende effekt, kan man se på ferdigmassenes utvikling etter finknuserne og VSI. I figur 4.3 er en fremstilling av flisighetsindeks og kuleløleverdi for disse trinnene i produksjonen på Tau. Mellom trinn TB4 og TB5 har massen vært gjennom VSI, mellom TB5 og TB6 har massen kun vært på transportbånd.

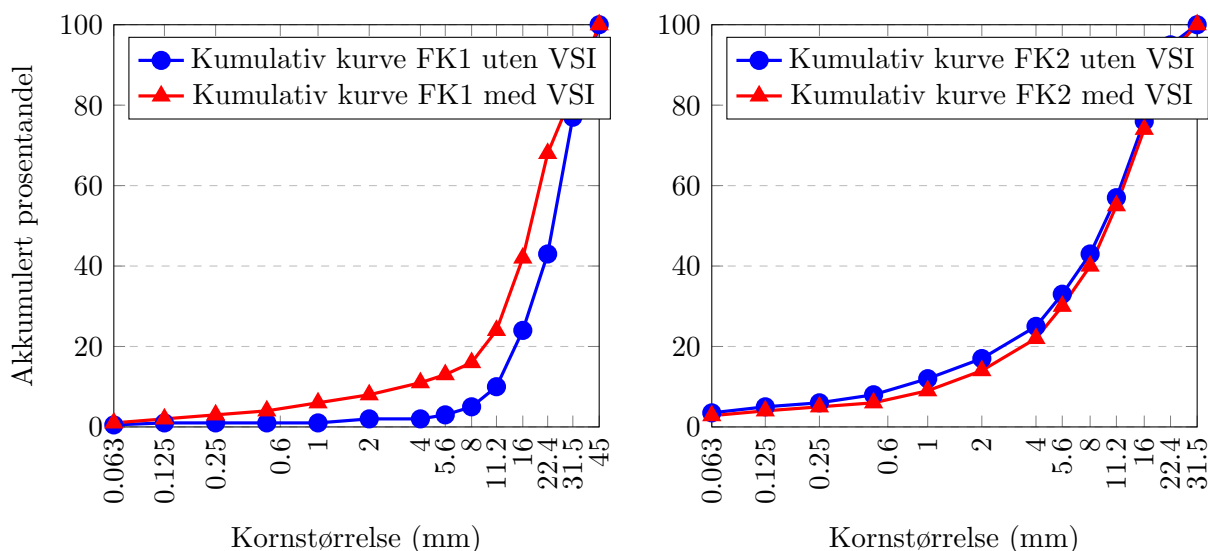


Figur 4.3: Graf som viser verdiene for A_N (%) og FI (%) for 10/16-fraksjon for hvert trinn TB4, TB5 og TB6 som representerer normalproduksjon på Tau.

Resultatene i figur 4.3 viser en utvikling mellom TB5 og TB6. Dette trenger likevell ikke tyde på at transportetappene i anlegget er årsaken til dette, da tallene er innenfor metodens variabilitet.

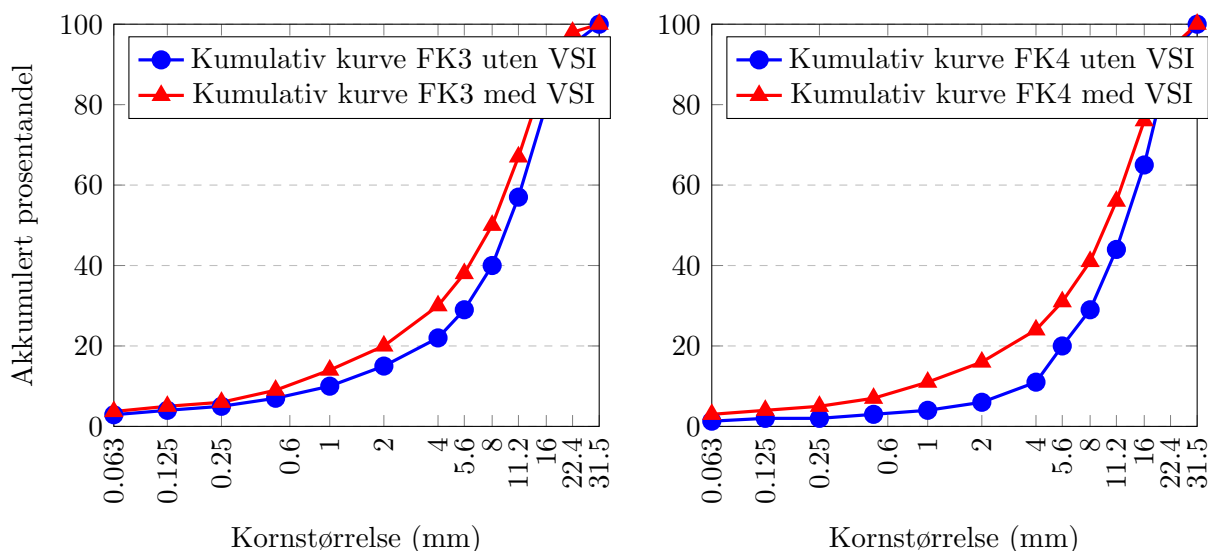
4.1.2 Kornfordeling av finknuserne

Det er interessant å studere kornfordelingskurvene før og etter VSI for å se hvordan kubisatoren påvirker kornfordelingen. I figur 4.4 er det presentert kumulative kornfordelingskurver av materialet før og etter VSI.



(a) Kumulative kurver for FK1-prøver uten og med VSI-behandling

(b) Kumulative kurver for FK2-prøver uten og med VSI-behandling



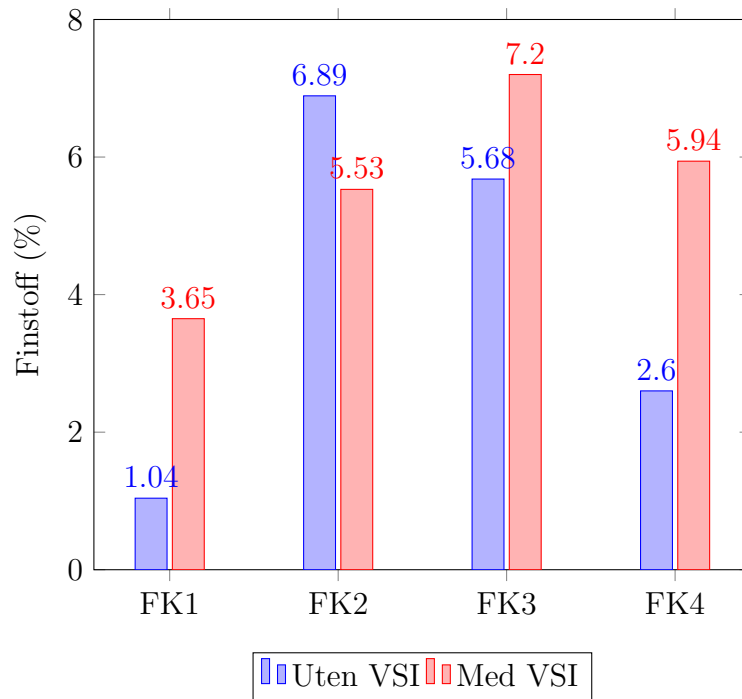
(c) Kumulative kurver for FK3-prøver med og uten VSI-behandling

(d) Kumulative kurver for FK4-prøver uten og med VSI-behandling

Figur 4.4: Kumulative kurver for finknuserne med (rød) og uten VSI (blå) fra Tau.

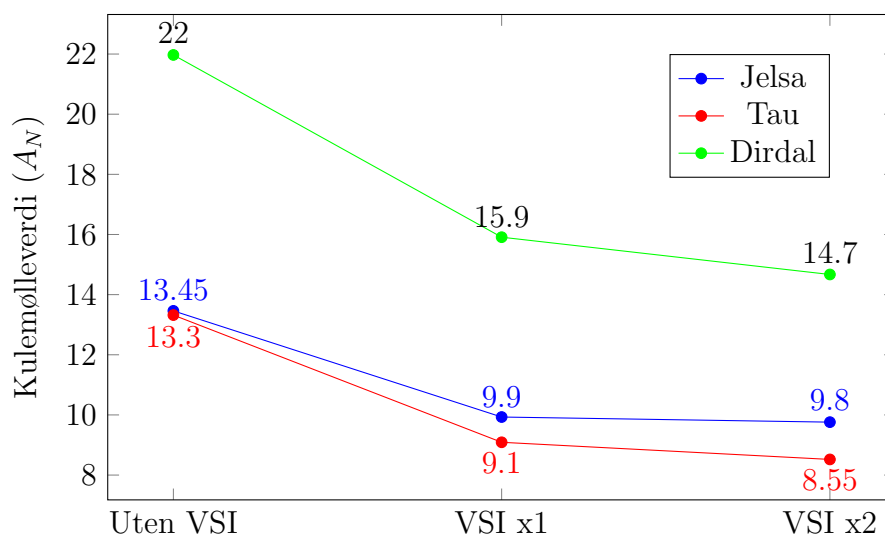
I figur 4.4 ligger den røde grafen, som representerer FK1 uten VSI litt over den blå, foruten 4.4b (FK2). Resultatet er som forventet når en masse gjennomgår kubisering,

hvor kanter og utstikkere slipes for å få et mer kubisk materiale. For finstoffet er det ikke stor forskjell mellom prøvene; med og uten VSI. Finstoff-innholdet for en prøve er totalen som vaskes bort, og det som går gjennom $< 0,063$ mm-sikt ved sikteanalyse. I figur 4.5 er verdiene for finknuserne. For alle prøvene, med unntak av FK2 er finstoff suspendert ved vasking større med VSI enn uten.



Figur 4.5: Prosentandel finstoff suspendert fra prøver med og uten VSI for hvert knuser i finverket på Tau.

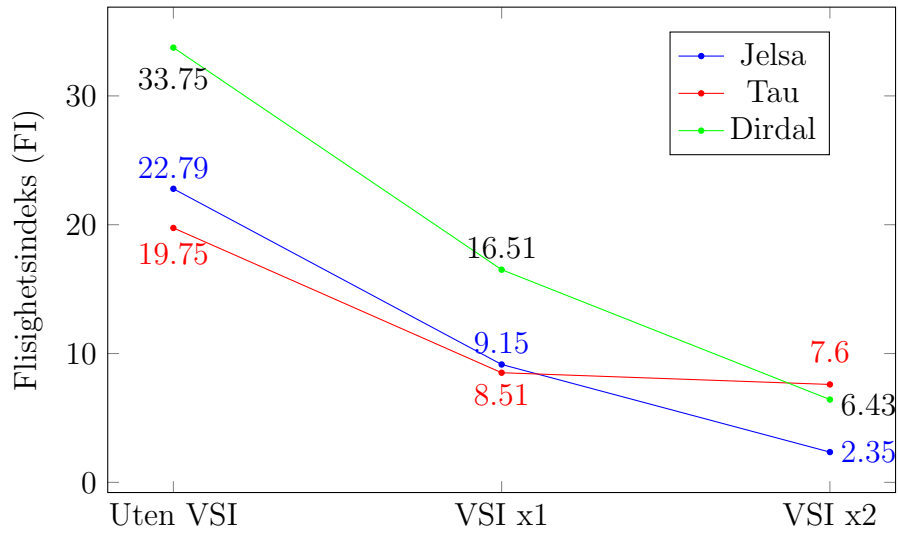
4.2 En kubisators påvirkning på tre ulike bergarter



Figur 4.6: Kulemlølle-resultater fra Jøsenfjorden.

I figur 4.6 presenteres kulemlølleverdiene for 0/32 mm-prøver fra stedene Tau, Jelsa og Dirdal før de ble behandlet gjennom VSI i to omganger. Observasjonene indikerer at kulemløllen oppnår betydelig effektivitet ved første gjennomkjøring gjennom kubisatoren for alle tre prøvene. Imidlertid registreres det en nedgang i effekt ved andre gjennomkjøring gjennom kubisatoren, som antyder en avtagende ytelse.

Jelsa og Tau har mer lignende kulemlølleverdier for de ulike VSI-scenarioene, mens Dirdal viser høyere verdier i alle tilfeller. I figur 4.7 er samme prøvers flisighetsindeks presentert, her ligger Dirdals resultater nærmere Tau og Jelsa tross den høye kulemlølleverdiene i figur 4.6. Som tyder på at Dirdal ikke har et veldig flisig materiale, men likevel viser en svakere kulemlølle. For materialets flisighet ser det ut til at effekten er nokså lik, litt redusert, effekt på materialet ved andre gjennomkjøring i VSI.



Figur 4.7: Flisighets-resultater for 11/16-fraksjonen fra Jøsenfjorden.

Det er ikke avgjørende for analysen, men kan kommenteres at Jelsa-prøvene er ferdigprodusert 0/32 mm, og ligger derfor på en lavere A_N og FI enn antatt. Dette begrunnes i at Jelsa ikke fikk levert 0/32 mm, som ikke var ferdigvare.

4.3 Petrografisk undersøkelse

Tynnslip-bildene og beskrivelsene er valgt for å demonstrere detaljer som er avgjørende for bergartsbestemmelse. Preparater ble produsert og polert til en tykkelse på 20-30 μm . Det er to prøver fra hver lokalitet Tau (T1, T2), Jelsa (J1, J2) og Dirdal (D1, D2).

4.3.1 Petrografiske resultater fra Tau



Figur 4.8: Bilde av steinen fra Tau (Dura-splitt) som tynnslipene T1 og T2 er laget av.

Denne steinen viser en finkornet ($< 1 \text{ mm}$), lys-grå farge med grønt skjær (figur 4.8). Prøven viser tydelig et høyt kvartsinnhold, og det er ingen synlig foliasjon eller orientering. Tatt i betraktning at andre prøver fra Tau, viser foliasjon, for eksempel den som er vist i figur 3.11.

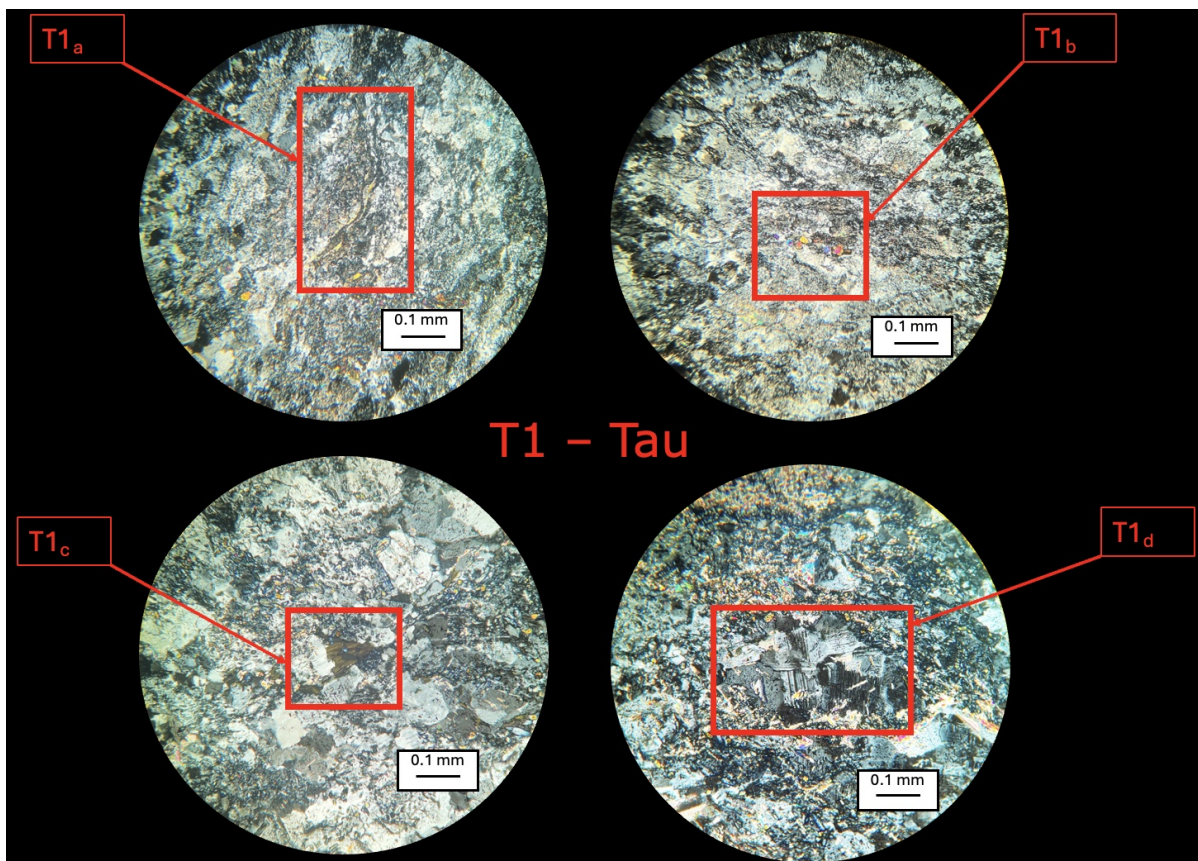
T1 - Tau

Det meste av mineralmassen som er synlig i tynnslipene fra Tau steinbrudd består av kvarts- og feltspatkorn (fig 4.9). Mange korn er store nok til å observeres med vanlig mikroskopi, men flertallet av kvarts- og feltspatkornene eksisterer som en fin bakgrunns-matriks.

Feltspatene viser to distinkte spaltningsplan, med mange korn som viser tvilling (se markør $T1_d$ i figur 4.9). Tynnslipene fra Tau steinbrudd demonstrerer en fin bakgrunns-

matriks av feltspat. Mange av feltspatkornene kan identifiseres som plagioklas på grunn av den distinkte tvillingorienteringen observert i tynnsnittet (markør $T1_d$). Kwarts- og feltspatmineraler utgjør omtrent 80-90% av mineralinnholdet i tynnsnipene.

Bergarten bestemmes til å være mylonittisk på grunn av den øye-aktige mineralteksturen (se markør $T1_b$ i figur 4.9). Annet innhold kan oppsummeres med noe kalsitt, en del epidot (se små fargerike mineraler i $T1_1$ i figur 4.9), noe muskovitt, noe (ikke mye) kloritt (se noe brunt i $T1_c$ i figur 4.9). Mineralkornene er av fin-mineralstørrelse. Markør $T1_a$ (figur 4.9) viser en mikrosprekke i mineralstrukturen.

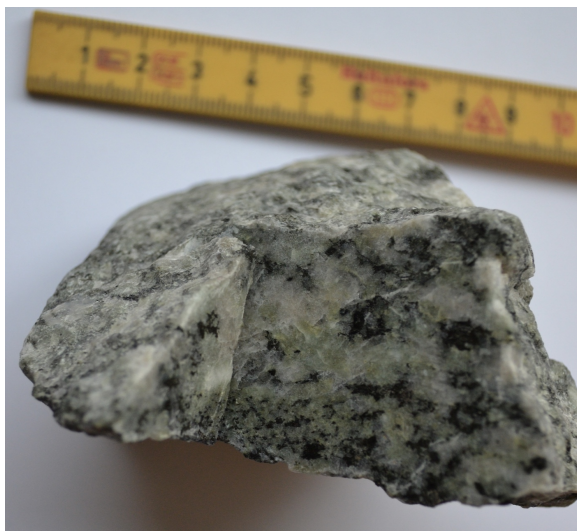


Figur 4.9: Petrografisk undersøkelse Tau 1 - Fire mikroskopiske tynnslip-bilder av prøve fra Tau med markører; $T1_a$: sprekk, $T1_b$: epidot, $T1_c$: kloritt, $T1_d$: plagioklas (tvilling).

T2 - Tau

I denne prøven er det ikke mylonittisk tekstur, selv om det er blitt tatt tynnslip av samme stein. Det indikerer at den mylonittiske tekturen er lokal, og kan dermed variere. T2-prøven er ganske lik T1, men det ser ut som T2 har litt grovere mineralkorn, litt mer kloritt, og det finnes ikke noe kalsitt.

4.3.2 Petrogratiske resultater fra Jelsa



Figur 4.10: Bilde av steinen fra Jelsa som tynnslip J1 er laget av.

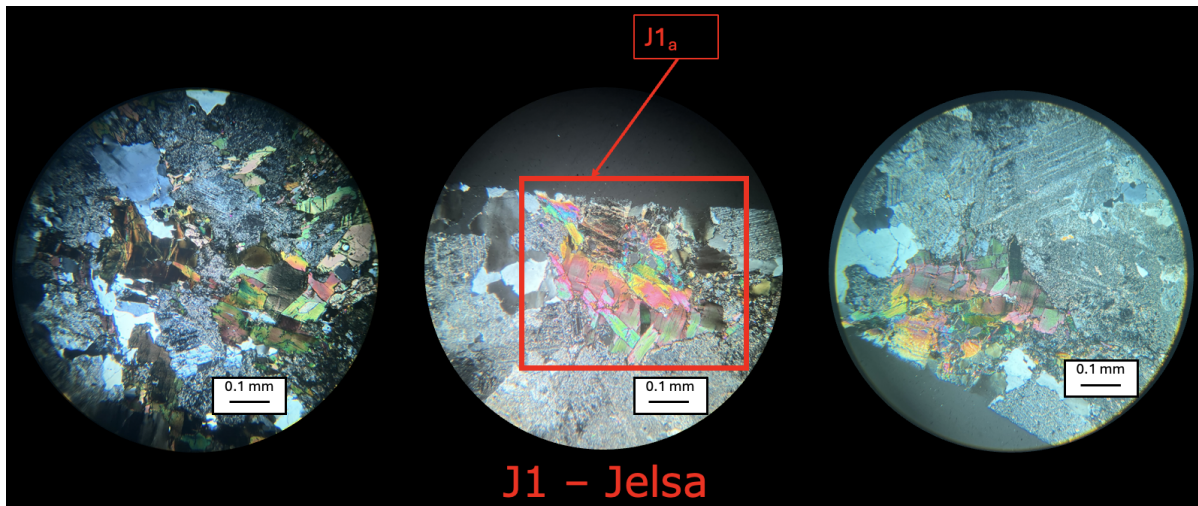


Figur 4.11: Bilde av steinen fra Jelsa som tynnslip J2 er laget av.

Steinprøve 1 fra Jelsa viser en lys grå stein, med grovkornede mørke, grønne og lyse-rosa mineraler. Denne prøven viser også synlige kvartspartikler, og ingen foliasjon (figur 4.10). Steinprøve 2 fra Jelsa er en mørkere, finkornet prøve (figur 4.11). I denne prøven kan det ikke identifiseres mineraler med det blotte øye, foruten noen få synlige kvartsmineraler.

J1 - Jelsa

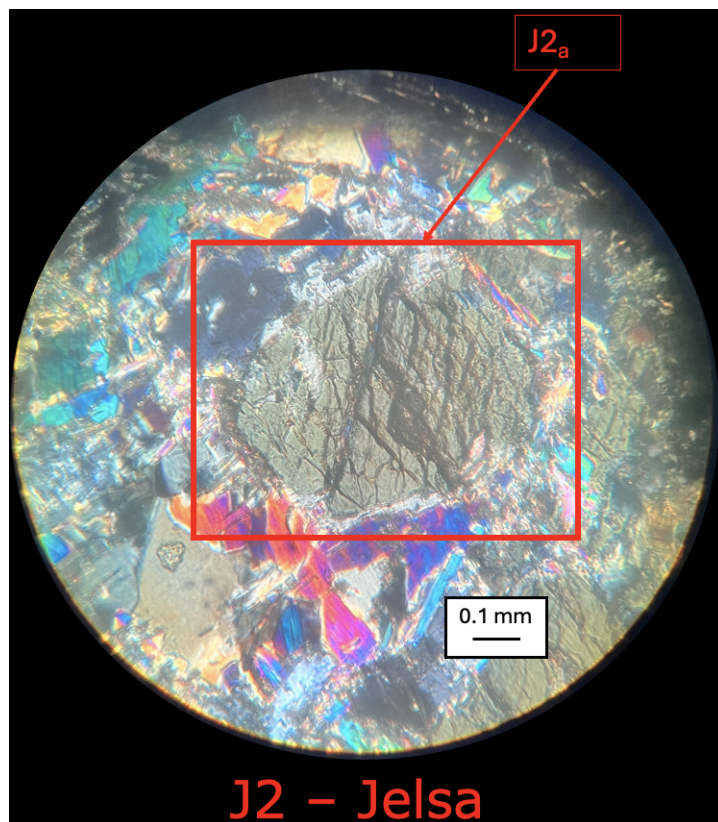
I denne prøven er mineralkornene medium til store, blant annet store biotitt-mineraler ($J1_a$ i figur 4.12). For å kunne bestemme at dette er en granodioritt må prøven inneholde amfibol, og et høyere innhold av plagioklas. Prøven inneholder et høyt innhold plagioklas, men ingen amfibol, derfor blir det vanskelig å bestemme om dette er en granitt eller en granodioritt. Under mikroskopet kan du se små muskovittkrystaller av plagioklas, noe som tyder på hydrotermisk omdannelse.



Figur 4.12: Petrografisk undersøkelse Jelsa 1 - Tre mikroskopiske tynnslip-bilder av prøve fra Jelsa med markøren; $J1_a$; Biotitt.

J2 - Jelsa

Amfibol i J2 er en klar indikasjon på at bergarten er granodioritt, men den har et mindre innhold felsiske mineraler. I figur 4.13 ser man ett tydelig hornblende-mineral, som er et klino-amfibol. Det er også litt klorid i denne prøven.



Figur 4.13: Petrografisk undersøkelse Jelsa 2 - Et mikroskopisk tynnslip-bilde av prøve fra Jelsa med markøren; $J2_a$; Hornblende-amfibol.

4.3.3 Petrografiske resultater fra Dirdal

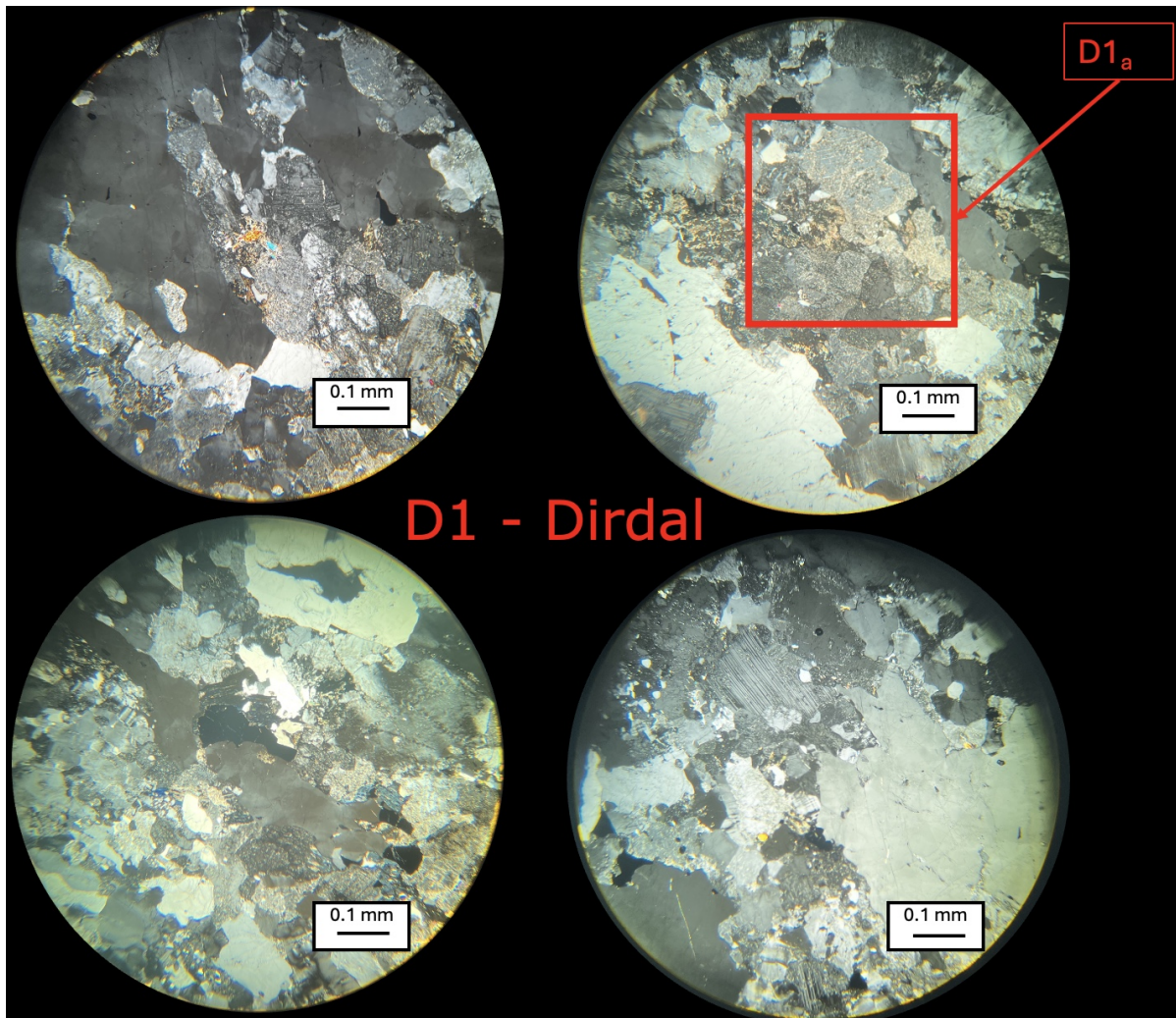


Steinprøve 1 fra Dirdal viser en mediumkornet, lys stein med vekslende rosa og grønne mineraler som gir den et grålig-utseende (figur 4.14). Prøven viser ikke synlig foliasjon. Steinprøve 2 fra Dirdal har litt mindre partikler enn i prøve 1, utenom dette er de veldig like.

Figur 4.14: Bilde av steinenprøve 1 fra Dirdal som tynnslip D1 er laget av.

D1 - Dirdal

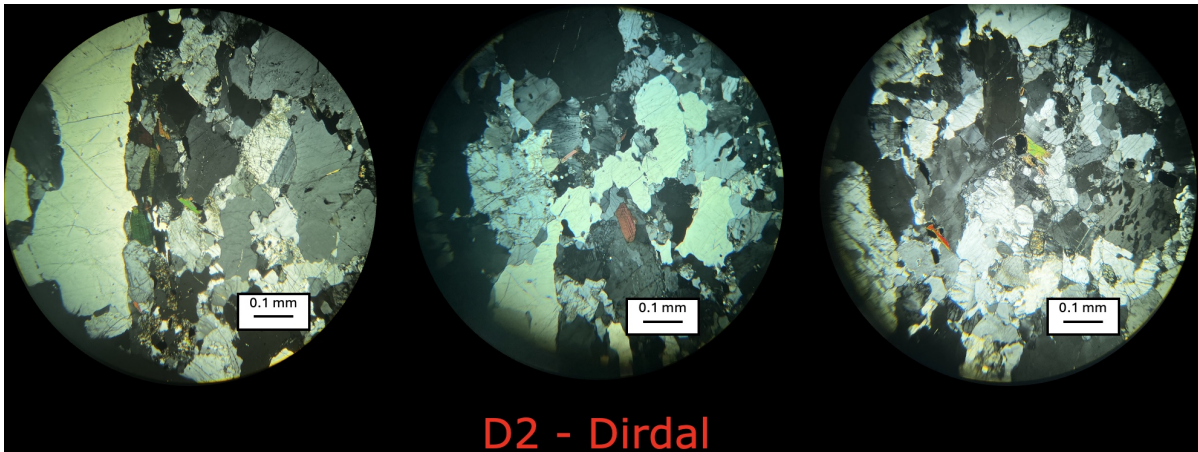
Grovt sett bestemmes det til at mineralkornstørrelsen er stor. D1 inneholder også en god del kloritt, kvarts, plagioklas og feltspat. I figur 4.15 er det fire mikroskopbilder fra D1. Markør $D1_a$ er et eksempel fra denne prøven hvor det er relativt mye alterasjon. Dette er en form for kjemisk eller metasomatisk nedbrytning av mineralet.



Figur 4.15: Petrografisk undersøkelse Dirdal 1 - Fire mikroskopiske tynnslip-bilder av prøve fra Dirdal med markøren; $D1_a$ Alterasjon.

D2 - Dirdal

I D2 er det mindre variasjon i mineralkorn-størrelsene, og mindre alterasjon enn det er i prøve D1. Utenom dette er prøvene nokså like. Det som er den største forskjellen fra Tau og Jelsa til Dirdal-stenen er at mineralstørrelsen i Dirdal sin stein har en større variasjon i størrelse (figur 4.16). Jelsa og Tau har jevnere størrelse. Det som gjorde at Dirdal-tynnslipene skilte seg fra Tau og Jelsa er at det i mye større grad var en blanding av store og små mineralkorn. Denne teksturen kan være årsaken til at denne bergarten viser dårligere kulemølleverdier enn de andre. For alle tre bergartene er det høyt innhold kvarts, av typen alfa.



Figur 4.16: Petrografisk undersøkelse Dirdal 2 - Tre mikroskopiske tynnslip-bilder av prøve fra Dirdal.

Kapittel 5 - Diskusjon

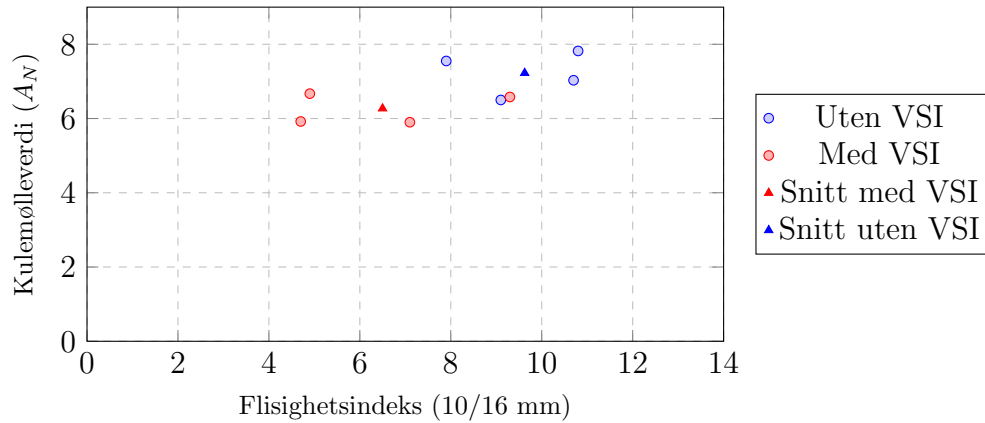
I dette kapitlet analyseres og drøftes resultatene fra laboratoriearbeidet i lys av eksisterende teori, metodiske overveielser og potensielle bidrag til produksjonen av asfalttilslag. To sentrale forskningsspørsmål vil bli utforsket i denne diskusjonen:

- Hvordan vil produksjonen av tilslag uten kubisering påvirke kulemølleverdien og materialets kornform?
- Hvilken sammenheng er det mellom resultater fra kulemølleverdi, flisighet og petrografisk undersøkelse?

5.1 Effekten av reduserte knusetrinn på kvalitet og levetid

Resultatene fra Tau indikerer at VSI har en effekt på massenes kornform og motstand mot slitasje. Samtidig har utvikling også skjedd i andre knusetrinn, altså er det en mulighet for å erstatte VSI med en god konknuser. Resultatene fra finknuserne uten VSI på Tau viser for prøven A_N -verdier mellom 6,51-8,82. Forbedringen fra mellomverket til første trinn i finverket er da på en gjennomsnittlig 26 % forbedring. Fra dette knusetrinnet til etter VSI er det gjennomsnittlig forbedring på 12 %.

Det samme gjelder flisighetsverdiene. Fra mellomverket til finknuserne er det en forbedring på 67,6 %, og fra finknuserne til etter VSI har FI ytterligere sunket gjennomsnittlig med 32,5 %. Etter VSI har prøvene fått en forbedret FI-verdi på 78,1 % fra MK2. For kulemølleverdien har den i samme prosess blitt forbedret med 35,8 %. I figur 5.1 er verdiene for A_N og FI ved de to knusetrinnene illustrert.



Figur 5.1: Plotdiagram med A_N og FI fra finknuserne på Tau, uten (blå) VSI og med (rød) VSI.

Det strengeste A_N -kravet som stilles i håndbok N200 er ≤ 7 og for flisighet er det strengeste kravet ≤ 20 . For FI-resultatene er det ingen av prøvene som viser ≥ 20 etter MK2 på Tau, eller etter VSI fra Jøsenfjorden. For alle prøver som viser $A_N < 7$ er flisigheten godt under kravet på ≤ 20 . Om man ser bort i fra andre funksjoner som kornform har i veidekket, kan man etter parameterne i denne studien stille seg skeptisk til at det stilles både krav til kulemølleverdi og flisighet. Det må legges til at dette gjelder for bergarten på Tau, som er av høy kvalitet. Det er mulig resultatene hadde vært annerledes om det ble studert svakere masser.

5.1.1 Svakt og sterkt tilslag

Sammenhengen mellom kulemølleverdi og flisighet avtar når flisighetsverdiene er lavere (figur 4.6 og 4.7). Med andre ord, jo mer kubisk materialet er, desto mindre sensitiv er kulemølleverdien for små forskjeller i flisigheten. Dette kan man se både for prøvene på Tau og fra Jøsenfjorden.

Dette skyldes trolig bergartenes fysiske og kjemiske egenskaper. Materialet har begrensninger grunnet tekstur og mineralinnhold, og vil nå en grense for mekaniske egenskaper. I masteroppgaven til Stefán Benediktsson (2015) ble det studert effekten av kornform på mekaniske egenskaper på tilslagsmateriale. Benediktsson skriver at micro-Deval-verdiene generelt ikke er følsomme for variasjoner i FI, verken for høye eller lave ekstremverdier (Benediktsson, 2015, s. 70). Dette samsvarer med resultatene i denne oppgaven, hvor kulemølle og FI sammenlignes.

5.1.2 Tilpasse knusingen

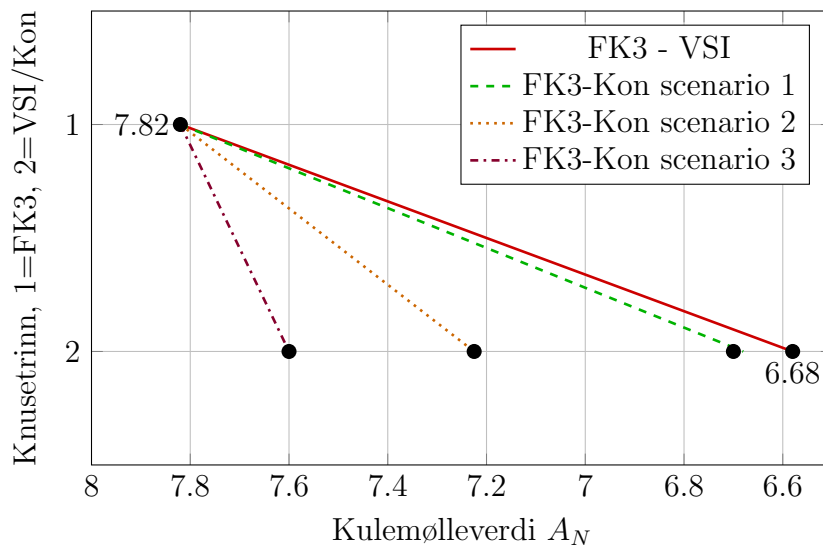
Ved normalproduksjon er det variasjon av materialet som kommer inn i knuseverket avhengig av variasjoner i bruddet. Finknuserne er tilpasset ulike størrelsesfraksjoner, derfor mates de med ulike fraksjoner fra transportbånd 3. Dette kan være en av årsakene til at finknuserne gir ulike resultater. Mineralsammensetningen avgjør steinens kvaliteter, og kan variere for ulike størrelser avhengig av mineralfordeling og kornstørrelse. Mulig ulike bergarter er mest optimale for en gitt størrelsefraksjon avhengig av mineralogi. Det hadde vært interessant å studere ulike fraksjoner og teste de hver for seg med mekaniske tester. Mulig dette allerede er gjort for micro-Deval, da dette er en metode som kan teste flere størrelsesfraksjoner.

Det mest optimale er at pukkprodusentene selv regulerer knuseprosessen. Da kan knuseverkene bestemme hvor i prosessen, og for hvilken delfraksjon, det er størst behov for VSI. Produsentene kan da bruke VSI på visse deler av massene og ikke på alle. På den måten kan totalmassen fylle kravene fra SVV uten å bearbeide massene mer enn nødvendig. Førsteinstrykket er at pukkprodusenter har fokuset på å produsere god stein som er innenfor kravene til SVV. Det kan være at flere pukkprodusenter har en fordel av å kutte knusestrinn, men fortsatt levere god nok stein. Dette kan jo være et fokusområde fremover om man ønsker å redusere utslipp og ressurser i produksjonsprosessen.

I Erichsens rapport blir det lagt frem resultater som viser at så lenge flisigheten er tilnærmet lik for alle fraksjonsstørrelser vil mekaniske testmetoder utført på ulike sortering gi noenlunde samme resultat (Erichsen, 2013, s. 29). På grunn av dette konkluderes det med at dagens krav til flisighet ikke er tilfredsstillende, spesielt hvis man skal sikre god kvalitet på de materialtekniske egenskapene for alle fraksjonsstørrelser som inngår i en asfaltresept (Erichsen, 2013, s. 29). Flisighetsindeksen for en masse med bred sortering, eksempelvis 0/32 mm, kan bli godkjent etter dagens prosedyre hvor det beregnes som et gjennomsnitt av delfraksjonene til tross for at enkelte delfraksjoner har dårlig flisighet. Det må i tillegg stilles krav til de enkelte delfraksjonene som benyttes ved bestemmelse av flisighetsindeks for en sortering (Erichsen, 2013, s. 29).

Verdiene i figur 4.1, og tabell 4.2 viser at utviklingen av tilslaget produktet uten VSI også kan være kvalifisert for asfalttilslag på trafikkerte veier. Ut i fra disse resultater har alle følgende knusestrinn etter MK2, uten VSI, innfridd flisighetskrav for alle veiklasser inkludert ÅDT > 15000 hvor kravet er ≤ 20 (tabell 2.2). For kule mølle kan man se i tabell 4.1 at FK1 og FK2 viser best resultat, og innfrir kravet på 7 for veier med ÅDT > 15000, mens FK3 og FK4 ligger mellom 7-8 som betyr at de er kvalifisert for alle veidekker utenom ÅDT > 15000. Likevel er det vanskelig å påstå at VSI-knuseren kan kuttes totalt, da det viser god effekt, og at ikke alle bergarter er like. For å sammenligne dette med de økonomiske- og vedlikeholds-aspektene ved bruk av VSI så må det bli sett nøyere på i en større forskning.

Prøvematerialet som ble testet med VSI er det samme ble testet med uten VSI. I etterkant av arbeidet skulle man gjerne ha kjørt det samme materialet gjennom en ekstra konknuser, altså konknuser to ganger, for å se hvilke resultater dette hadde gitt sammenlignet med VSI-prøvene. I figur 5.2 er knusestrinn FK3 brukt som eksempel. Her er resultatene uten VSI 7,82 og med VSI 6,68. Om man hadde sendt materialet uten VSI gjennom en konknuser i stedet for VSI, hadde man da fått et tall midt mellom 7,85 og 6,6, eller hadde resultatene ligget nærmere et av de? Ville massen ha innfridd møllekravet på < 7? Da vil man kunne argumentere for å erstatte VSI med en konknuser.



Figur 5.2: Ulike scenario for kule møllesresultatene for knusestrinn FK3 om man hadde erstattet kubisator (VSI) med en konknuser.

Kubiserende effekt av transportbånd

Resultatene i figur 4.3 er mest for å legge frem en hypotese om muligheten for dette aspektet av produksjonen. Mellom TB4 og TB5 er VSI-knuseren, derfor er ikke TB4 relevant i denne sammenhengen. Mellom TB5 og TB6 er det også en liten forskjell i resultatene, men denne er innenfor metodens variabilitet.

Materialet som brukes som eksempel i figur 4.3 er ferdigvare for Norsk Stein Tau, og av god kvalitet. Målet for ferdigvare bør være at det skal mye til for å endre materialets kornform, da materiale skal være motstandsdyktig mot slitasje. Det hadde vært interessant å testet dette på materiale med dårligere utgangspunkt, for å se hvorvidt denne faktoren påvirker egenskapene til materiale.

Kornfordelingskurver og finstoff

I figur 4.5 ser man at det er en endring i finstoff-innhold før og etter VSI. Underveis i arbeidet på laboratoriet var det både synlig og merkbar forskjell i finstoff, for prøver uten og med VSI. Resultatene i figur 4.5 viser likevell mindre differanse enn forventet, noe som kan skyldes prøveuttak. Metoden som ble brukt for prøveuttak var spade på transportbånd til to bøtter var fylt opp. Det som burde blitt gjort var å fjerne alt materiale fra transportbåndet innen en viss lengde, eksempelvis en meter. Da hadde man også fått riktig finstoff-mengde i prøvene. Verdiene som blir fremstilt her er derfor ikke representative i den grad man skulle ønske.

Spesielt prøve FK2 som viser i den kumulative kurven at massen med VSI er finere enn uten (figur 4.4b) og samtidig i 4.5 at det er høyere innhold finstoff fra prøven uten enn med. Om det hadde vært mer tid til laboratoriearbeid, burde det blitt tatt nye kornfordelingsanalyser for K3 med og uten VSI. Foruten denne kan de andre finknuserne (FK1, FK3 og FK4) vise at massen har blitt finere med VSI, som er forventet.

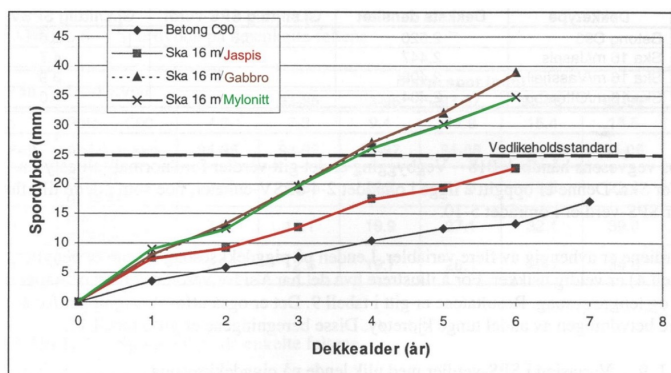
5.2 Kubisatorens effekt på ulikt materiale

Basert på resultatene fra Del 1, ser det ut til at flisighetens innvirkning på materialets kulemølleverdi avtar når flisigheten reduseres. Dette mønsteret støttes av observasjonene i figur 4.6 for kulemølle og de tilsvarende flisighetsverdiene i figur 4.7. Overgangen fra “VSI x1” til “VSI x2” viser begrenset forbedring i materialets kulemølleverdi, samtidig som det registreres betydelig reduksjon i materialets flisighet. Knuserne viser i trinn 2 at de har hatt stor innvirkning på materialets mølle- og flisighetsverdi (figur 4.6). Dette sammenfaller med tidligere funn og indikerer at flisighetens innvirkning på kulemølleverdien reduseres etter et visst punkt. Det er interessante funn for videre forskning på optimalisering av knuseprosess og strategi for knusing.

Noe som derimot er litt overraskende med resultatene i figur 4.6 er formlikheten mellom grafene. Denne observerte parallelliteten kan indikere at kubisatoren har en relativt ensartet effekt på forskjellige typer materiale, hvertfall for de tre som er testet her.

Bergartenes betydning

Det bør stilles krav til maks andel svake mineraler i bergarter eventuelt også i mørtelfasen (< 4 mm) for masser som benyttes i veidekke (Erichsen, 2013, s. 29). Kravene til ulike bergarter er underkritisk, noe som skaper varierende produksjonsutgangspunkt for tilslagsprodusentene. Dette fører til at det for tiden er mest lønnsomt å produsere lavkvalitets-stein i Norge. En bergart med høy slitestyrke vil også være motstandsdyktig mot knusing. Selv om lavkvalitetsmateriale kan bearbeides for å oppfylle kravene for N200-standard, er det uklart hvordan materialets egenskaper vil utvikle seg over tid. Bergarter med svært ulike egenskaper kan likvæll produseres til å ha en lik kulemølle, for eksempel $A_N = 7$. Kulemølleverdien kan likevæll ikke si noe om langtidseffekten til tilslagsmassen i veidekket. Derfor er det underlig at bergartens egenskaper ikke vies mer oppmerksomhet. Mineralogiske analyser kan forklare prøveresultater for bergarter i mange tilfeller, er det ofte de mekaniske testene som gir endelige svar.



Bergart	S_8	LA	Abr	Sa	A_N
Jaspis	40,6	14	0,26	1,7	3,3
Gabbro	34,8	15	0,42	2,4	13,7
Mylonitt	33,1	11	0,33	1,9	5,9

S_8 - Sprøhetstall, LA - Los Angeles-verdi, Abr - abrasjonsverdi, Sa - slitasjemotstand og A_N - mølleverdi (data fra Pukkk databasen)

Figur 5.3: Sporslitasje som funksjon av dekkealder med informasjonstabell om de mekaniske testene som er blitt gjort for de respektive bergartene (Erichsen, 2013, s. 30).

Enkelte bergarter kan betraktes som anisotrope, for eksempel ved en markert retningsorientering (foliasjon). Dette kan påvirke de materialtekniske egenskapene betydelig i negativ retning (Erichsen, 2013, s. 30). Tynnslipanalysene fra Tau viser mylonittisk struktur, så kanskje de ikke er like slitesterke i veidekket som de mekaniske testene vil antyde (figur 4.9). Det er uvisst om trommeltestene gir tilstrekkelig informasjon om bergartenes svakheter. I figur 5.3 kan man se at det ikke viser en merkbar forskjell i spordybden mellom bergartene gabbro og mylonitt til tross for at mylonitten spesielt med hensyn til slitasjeegenskapene er langt bedre kvalitetsmessig (Erichsen, 2013, s. 30).

Mylonitten har en markert retningsorientering som kan være årsaken til at slitasjen i veidekket er på samme nivå som gabbro (Erichsen, 2013, s. 30). Nærmere studie av bor-kjerner fra et veidekke (E6-Omkjøringsveien) der både jaspis og mylonitt inngår som tilslag viser at mylonitten 'sprekker opp'. Punktlast-test kan være en aktuell testmetode for avsløre anisotrope bergarter ved å måle normalt på og planparallelt med retningsorienteringen. I tillegg vil tynnslipanalyse tilslagsmateriale gi informasjon om markert blant annet retningsorientering og mikrosprekker, som kan ha betydning for de materialtekniske egenskapene.

Forenklet petrografisk beskrivelse av tynnslip er en måte å undersøke mulige sammenhenger mellom bergartenes egenskaper og mekaniske tester. Tynnslipene fra Tau, Jelsa og Dirdal består alle av felsiske bergarter med høyt kvartsinnhold. Kvarts er et slitesterkt mineral som nesten ikke forvitrer i naturen. Tynnslipresultatene viser at Tau-stenen har en finmasket mineralstørrelse, Jelsa grov-/medium og Dirdal har middels kornstørrelse på

mineralene. Den mest fremtredende forskjellen mellom bergartene er at Dirdal-bergarten viser større heterogenitet i kornstørrelse, som potensielt kan være årsaken til eventuelle svakhetpunkter. I tillegg vil større mineralpartikler vanligvis medføre svakere bindinger mellom mineralene. Dette kan forklare hvorfor Tau-bergarten fremstår som den mest robuste blant de ulike alternativene.

I Nålsunds doktorgradsavhandling ble det utført røntgendiffraksjon (XRD) på diverse steinprøver, inkludert prøver fra Tau-steinbruddet (Nålsund, 2014, s. 28). For tynnslip-analysen er resultatene fra Tau-steinen stor likhet med denne XRD-analysen. Bergarten ble klassifisert som mylonitt, og densitets-testing viste en verdi på $2,77 \text{ g/cm}^3$, i overensstemmelse med Norsk Stein. Partikkelstørrelsen på testmaterialet varierte gjennomsnittlig fra 0,2 til 3 mm, som tilsvarer fin- til middelskornet mineralstørrelse. Resultantene er i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Nålsunds XRD-resultater fra steinbruddet på Tau (%) (Nålsund, 2014, s. 28).

Mineral	%
Kvarts	29
Plagioklas feltspat	30
Alkali felspat	4
Muskovitt	17
Kloritt	20
Karbonat	3
Partikkelstørrelse	0,2-3 mm
Densitet	$2,77 \text{ g/cm}^3$
Bergart	Mylonitt (kataklasitt)

På Tau viser steinen i små variasjoner, som fører til forskjellige klassifiseringer, fra tonalittisk gneis til kvartsdioritt, meta-granodioritt, migmatitt og mylonittisk gneis. Til tross for disse variasjonene, har disse bergartene hovedsakelig lignende egenskaper. Heterogeniteten i bergarten medfører at enkelte områder i steinbruddet inneholder stein med ulik sprøhet enn for andre områder. For en pukprodusent er det derfor viktig å ta hensyn til denne heterogeniteten når man bestemmer hvilken type stein som skal brukes til ulike

prosjekter. Dette aspektet av beslutningsprosessen er av stor betydning. Dette er også grunnen til at det er viktig å teste produktet både jevnlig og ofte, da variasjonene kan ha en stor betydning for massens kvalitet.

I pukkdatabasen til NGU er det gjort tynnslip fra alle tre pukkkverkene til Norsk Stein. På Tau er det to prøver, en er bestemt til mylonitt og en dacitt (NGU, 2024c). For Jelsa er det gjort 9 tynnslip som er bestemt til granodioritt (7 stykk), en trondheimitt og en gneisgranitt (NGU, 2024b). For Dirdal er det gjort tynnslip på to prøver; en gneis og en gneisgranitt (NGU, 2024a). Disse tynnslipene stemmer overens med egne tynnslip-analyser. Mineralinnhold og densitets-analyse kan brukes som hjelpemiddel for å skille mellom de ulike bergartene (Erichsen, 1999b, s. 4). Imidlertid kan usikkerheten knyttet til klassifiseringen skyldes utfordrende og subjektive vurderinger.

For å oppsummere tynnslipanalysen, viser resultatene en viss grad av overensstemmelse med forventningene og tidligere analyser. Når man analyserer detaljerte data uten kvantitative målinger, kan små avvik ha en større innvirkning enn realiteten. Derfor er det nødvendig å være oppmerksom på dette når man tolker resultatene. Store avvik i resultater skyldes enten feilkilder ved analysemetoden, eller ved laboratoriet, men kan også inntreffe med inhomogent testmateriale. Mindre avvik må alltid kunne forventes å forekomme (Ulvik, 2020, s. 5). Tross små variasjoner og få tester, ser resultatene ut til å være representative og gi et godt inntrykk av hvilke stein man jobber med på de ulike pukkkverkene.

Det kan argumenteres for at det bør stilles spesifikke krav til bergartenes mineralogi og tekstur i veioverbyggingen. Ved å innføre slike krav kan pukkk-produzentene spare energi og ressurser ved å redusere behovet for omfattende knusing i produksjonsprosessen, samt minimere behovet for omfattende testing. Dette kan skape incentiver for produksjon av høykvalitetsstein, da det vil være mer kostnadseffektivt å levere materialer som allerede tilfredsstillende de ønskede kravene. Resultatet kan være mindre overskuddsmasser, og en mer effektiv utnyttelse av de tilgjengelige ressurser.

Petrografisk undersøkelse er en generell beskrivelse gjort av en person. Dette kan føre

til variasjon i resultatene avhengig av den enkeltes tolkning, erfaring og kompetanse. I tillegg er også denne metoden gjort på et heterogent materiale som i stor grad avhenger av prøvens representativitet. For at man skal gå en god forståelse av en bergart bør man kvantifisere antall tynnslip, og i denne studien er det kun gjennomført to prøver fra hver lokalitet. Det er også blitt gjort en vurdering om at materialet det er laget tynnslip-preparater av er representative, som også er en subjektiv vurdering.

5.3 Viktigheten av kubisator for tilslags motstand mot piggdekkslitasje og kornform

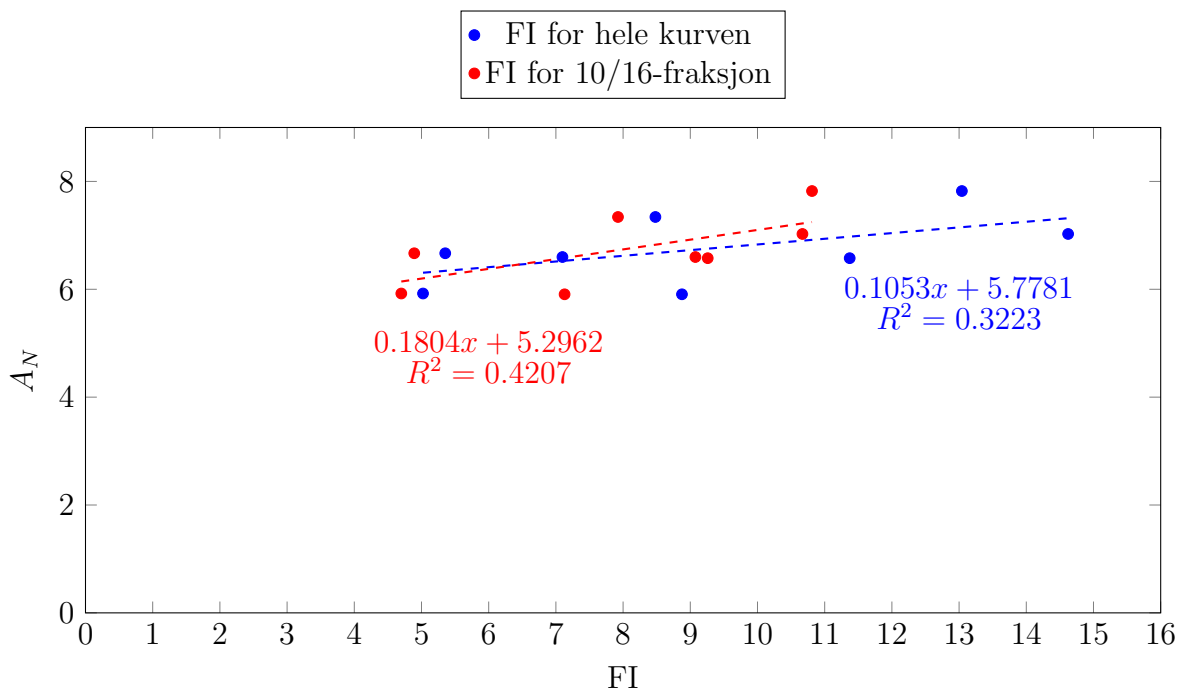
Resultatene fra Tau og Jøsenfjorden kan begge si noe om effekten av kubisator på de tre bergartene som er studert. Det er ingen tvil om at kubisatoren har stor innvirkning på materialet, både mekaniske styrke målt ved kulemølle og materialets kornform. Samtidig kan man se at andre knusere, fra Tau Konknuser, også har forbedrende effekt. Da kan man jo stille seg spørsmålet om det er mulig å erstatte kubisatoren med en annen kubiserende knuser som produserer mindre finstoff, bruker mindre energi og krever mindre vedlikehold.

Uten kubisator vil fortsatt Tau-stein være svært nær de høyeste kravene for asfalttilslag (figur 4.1 og 4.2). Før denne studien var det ikke fullt klart forstått poenget med å redusere produksjonen; bør man ikke alltid strebe etter optimal kvalitet? Studien har vært lærerik. Blant annet indikerer forskningen at en reduksjon i produksjonen kan potensielt føre til økt energieffektivitet og en reduksjon i de totale utslippene, spesielt dersom kvaliteten forbedres til det punktet hvor materialene nærmer seg “overkvalifisert“ for sitt bruk

Det må legges til at i denne studien er det kun undersøkt tre bergarter som alle er av relativ god kvalitet. Resultatene kan vise noe helt annet om man ser på svakere masser. Differensen i mølle- og flisighetsresultater for Tau stein er svært ulik for den som ble undersøkt i del 1 (Tau) og i del 2 (Jøsenfjorden). For eksempel ligger alle A_N -verdiene i figur 4.1 under 8 etter MK2 fra Tau, mens i figur 4.6 er A_N etter VSI (x1) 9,1. Variasjonene beviser at materialet er heterogent, og ulike masser i samme pukverk kan ha svært ulike forutsetninger. Dette viser også viktigheten av å teste materialet underveis

i produksjonsprosessen. Uavhengig av bergart, kan pukkprodusentene derfor kartlegge massene underveis i produksjon og regulere mengden knusetrinn etter laboratorieresultatene, spesielt for bruk av kubikator og ved retur av masser.

5.3.1 Sammenhengen mellom kulemølle og flisighetsindeks



Figur 5.4: Scatterplot av FI for hele kurven, og for 10/16-fraksjonen uten avrunding mot A_N for finknuserne med og uten VSI på Tau.

Om man sammenligner resultatene fra KM og FI i figur 5.4 kan man konstantere at det er en sammenheng, men at denne er svært lav. Likevel skulle man gjerne hatt flere kvantitative analyser for å se mer korrekt sammenheng. For $\dot{A}DT > 15000$ er krav for kulemølleverdi 7 (tabell 2.1) er alle disse innenfor KM-kravet. For flisighet er krav på samme vei ($\dot{A}DT > 15000$) $FI < 20$ (ref. tabell 2.2). Da kan man stille seg spørsmålet; hvorfor stilles det både krav til kulemølleverdi og flisighet. Når man beviselig kan si at når A_N er god nok, viser resultatene i arbeidet med denne masteren at 100 % av flisighets-verdiene også er innenfor kravene i Håndbok N200.

Tabell 5.2: Sammenligningstabell for mølle- og flisighetsresultater (10/16-fraksjon). Verdiene er hentet fra tabell 4.2 og 4.1 fra prøvene etter VSI.

Knuser	Uten VSI		Med VSI	
	A_N	FI	A_N	FI
FK1	6,50	9,1	5,92	4,7
FK2	7,03	10,7	5,91	7,1
FK3	7,82	10,8	6,58	9,3
FK4	7,55	7,9	6,67	4,9

I egne resultater er 100 % av FI-resultatene godt innenfor kravet på > 20 når A_N er < 7 (tabell 5.2). Om dette scenariet gjelder for flere bergarter, kan det være et potensial for å se på endring av kravene. For eksempel ved å kun stille krav til kulemølleverdi (A_N), og kutte kravet til flisighet (FI). Hvertfall om man kun ser på piggdekkslitasje isolert sett, og ser bort ifra andre aspekt ved flisigheten for materialet.

Å kutte kravet til flisighet har nok ikke stor effekt på produksjonen, men kan potensielt effektivisere salg, testing og bruk. Samtidig kan man risikere å få tilfeller hvor A_N er innenfor kravet og ikke FI-verdien er innafor etter dagens krav. Da kan man likevel se fordelene i god A_N , og at materialet er flisig, som for eksempel at det kan være fordelaktig for legging av asfaltdekkene. Det er blitt sagt at flisige materialer generelt er enklere å kompaktere, siden kornene kan innordne seg parallelt med hverandre, det er ikke funnet noe litteratur som bekrefter det.

Er det uheldig å regulere seg i retning hvor tilslag kun produseres til å være “god nok“ og ikke “best mulig“? Eller er det best optimalisere hver kubikkmeter/tonn av steinen ved å kutte trinn i produksjonen som bedrer kvalitet, som også vil redusere driftskostnader?

Videre kunne det være hensiktsmessig å analysere sammenhengen mellom eksisterende krav til materialeegenskaper med sikte på å identifisere og eventuelt fjerne unødvendige krav. Samtidig må det trekkes inn at man ikke ønsker å lage “godt nok“-produkt, men “bedre enn kravene“-produkter med lang holdbarhet, men da vil det være relevant å diskutere om ulike krav stilles for de ulike bergartene, slik at ikke det vil være en konkurranse-hensiktsmessig fordel å produsere lav-kvalitetsstein. God stein bør ha en

konkurransfordel, enten om de får mer betaling for sitt produkt eller får lavere krav, eller benyttes i mer spesifikke formål, for eksempel på de veiene med høyest ÅDT.

Kravene til asfalttilslag er skrevet som minimumsgrenseverdier, og alt materiale som oppfyller kravene regnes som likeverdi. Kvalitet bedre enn minimumskravet blir ikke premiert, selv om det kan bidra til økt dekkelevetid. Dette er blant temaene vi vil jobbe med i prosjektet "Asfaltdekkers levetid".

5.4 utfordringer - planlegging og gjennomføring

Planleggingen

Det kunne vært en fordel å tatt sikteanalyse for alle prøvene før og etter KM. Da kunne det blitt gjort en analyse tilsvarende det Benediktsson gjorde i sin masteroppgave, og sett på endring i hele prøvens kornstørrelse og ikke bare for partiklene $< 1,4$ mm. For prøvene i Jøsenfjorden ble det ikke tatt sikteanalyse i det hele tatt, da man ikke hadde noen konkrete ønsker for de resultatene.

I etterkant er det lett å tenke at dette kunne forbedret resultatene både for kulemølletesten, men også for å se på finstoff-endringene. Hadde man hatt samme kunnskap da planleggingen skjedde, ville nok spesielt gjennomføring og prøveuttak blitt gjort annerledes. Samtidig var det viktig å begrense arbeidsmengden i studien.

Gjennomføringen

Samme problem er gjeldende for gjennomføringen. Da prøvene ble tatt ut i starten av arbeidet var det litt uklart hvilke metoder materialene skulle brukes til. Arbeidsoppgavene ble fordelt, og ingen stilte spørsmål til hvordan prøveuttaket skjedde. Etersom knuseverket på Tau ble stoppet for prøveuttak til denne studien, var det greit å bli ferdig raskest mulig. Hadde det vært litt mer gjennomtenkt ville nok prøveuttaket blitt gjort på en litt annerledes måte.

Det samme gjelder prøvemengde, som vist i figur 5.5 ble materialet oppbevart i bøtter. For hvert knusestrinn ble det fylt opp to bøtter. Underveis i arbeidet var det ønske om å

gjøre flere paralleller med testing, eller andre metoder (eksempelvis densitet, micro-Deval eller Los Angeles), men da var det ikke nok prøvemateriale. Samtidig har det nok vært en fordel å begrense mulighetene også.

5.4.1 Prøveuttak, prøvemengde og prøvebehov

I denne oppgaven er det prøveuttak, prøvemengde og prøvebehov som er den aller største kilden til feil og mangler. I figur 3.3 kan man se hvilke forhold prøvene bra tatt ut under, med bøtte og spade. I figur 5.5 kan man se hvordan prøvene oppbevares etter de er hentet inn fra knuseverket.

For å få en korrekt prøve burde man målt opp en viss lengde på TB, eksempelvis en meter, og tatt ut hele prøven innfor denne meteren. Da ville man fått med alt fra de minste partiklene til de største, på den måten er kornfordelingskurven representativ. Det ble ikke gjort her, bøttene ble fullt opp av prøvemateriale med en spade uten å forsikre seg om representativitet og spesielt de fineste partiklene lå igjen på TB. For kulemølle-testen har ikke dette betydning da man likevel sikter ut ønskede kornfraksjoner, men for flisighet og sikteanalyse er dette et avgjørende element.



Figur 5.5: Prøvene fra Tau på laboratoriet til testing.

Prøveuttak og nye tester fra Tau

Da prøvene skulle lages av materialet på Tau var det ikke nok 11/16-materiale fra GK1 til å gjennomføre KM, og for MK2 var det kun nok til å gjennomføre en KM-test. For GK1 ble dette løst med at man blandet det 11/16-materiale man hadde fra salven, med materiale fra en annen salve. Det var ikke optimalt, men ble likvel besluttet som et bedre alternativ enn å lab-knuse materialet man hadde. Det er vanskelig å kunne si noe om hva som er best å gjøre i en slik situasjon, uansett vil resultatene være svært usikre.

For MK2 ble det kun gjennomført en test, med håp om at den var representativ for knusetrinnet. Det er ikke optimalt å sammenligne A_N -resultatene fra finknuserne med denne verdien ettersom det ikke er gjennomført parallell. Om resultatene hadde vært på plass tidligere ville det blitt også prioritert å gjøre en ny sikteanalyse for FK2 for å se om resultatene faktisk stemmer, og at prøven ikke har slitt finere etter VSI, og at det inneholder mer finstoff før VSI enn etter (figur 4.4b og 4.5).

Resultatene fra Jøsenfjorden

For 0/32-prøven "Tau før VSI" ble de første parallellene for KM ganske ulike; $A_N = 12,33$ og $13,91$. Derfor ble det gjennomført en ny parallell som fikk mye jevnere resultater, som lå mellom de to første verdiene ($A_N = 13,2$ og $13,44$). Når dette var blitt gjort var det ikke mere prøvemateriale igjen. Dette var en begrensing for arbeide, og om man da gjerne skulle tatt nye prøver ville man ikke hatt muligheten til det. For prøvene etter VSI, ble materialet siktet i knuseverket slik at prøvestørrelsen var 8/32 mm, da hadde man mer materiale i de riktige fraksjonen, så det var ikke et problem med de.

Om man sammenligner resultatene for Tau-prøver i del 1 (Tau) og del 2 (Jøsenfjorden) er det store forskjeller i resultatene. Dette skyldes salven prøven er tatt ut fra. Materialet i denne salven selges ikke til veisammenheng, men offshore. I tillegg er massen mobilknust, som har litt samme effekt på massene som MK1 har (tabell 4.1) . Derfor er det forventet at resultatene gir dårligere kulemølle og flisighet.

Likevel kan man se i figur 4.6 at kubisatoren alene ikke klarer å redusere A_N med mer enn 26,4 %, sammenlignet med den gjennomsnittlige forbedringen fra MK2-finknuser hvor denne verdien er 26,0 % som er ganske likt. I Jøsenfjorden ble flisigheten forbedret med 56,9 % fra før til etter første runde i VSI, med på Tau ble flisigheten forbedret med 69,4 %. Det skal sies at FI på Tau var mye høyere (29,7) etter MK2, mens før VSI i Jøsenfjorden var det 19,75. Disse materialene er jo ikke like, eller har hatt samme knuseprosess, men likevel en interessevekker om kon-knuseren kan erstattes med VSI.

Det kommer også frem i figur 4.6 at materialet når materialene er tilnærmet ferdigproduserte vil ikke A_N eller flisigheten kunne forbedres så veldig mye mer. Man kan ikke forvente en forbedring i samme grad som tidligere i produksjonen. Dette kan man også se for alle prøvene etter VSI fra Tau i tabell 4.1.

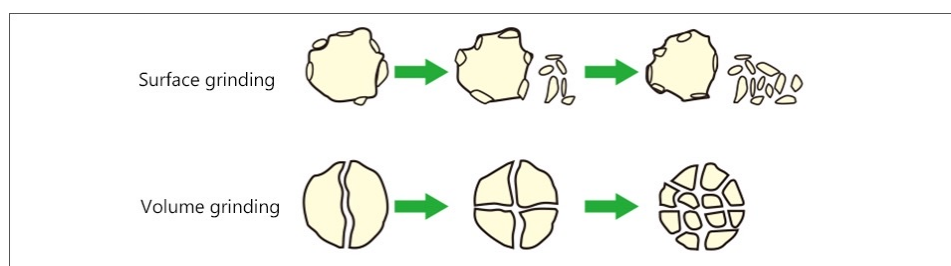
I figur 4.7 kommer det frem at et hardere materiale er mer slitesterkt også i produksjonen. Det skal mer til for å få Tau-prøven til å kubiseres enn Dirdal og Jelsa. Det kunne vært interessant å test hvor mange runder i VSI Tau-prøven skulle hatt for å få en FI-verdi på det samme som Jelsa-prøven etter x2 VSI ($FI = 2,35$). Dette er også noe som kommer frem i produksjonen. For eksempel, når Tau har ferdigvare 11/16, tåler massen ekstremt mye. Jelsa derimot tar flere hensyn med sin ferdigvare, som at de unngår mest mulig omlastning for å slippe at massen knuses opp og får økt flisighet.

5.4.2 Feilkilder og bregrensinger ved kule mølle-metoden

Kule mølle er en metode som simulerer piggdekkslitasje ved å utsette materialet for belastninger som ligner på det det faktisk vil oppleve på de nordiske veiene. For å få et resultat på dette benyttes finstoffmengden ($< 1,6$ mm) produsert ved metoden. Dette er en enkel måte å definere materialets mekaniske styrke. Om man skal ha bedre verdier på materialets motstand kunne man kanskje også sett på andre faktorer som endringen av sikteanalyse etter metoden. Dette er en av begrensingene Benediktsson (2015) legger frem i sin masteroppgave. I masteroppgaven benyttes andre metoder for å måle produksjon av finstoff for å indikere materialets mekaniske styrke (micro-Deval og Los Angeles). Benediktsson påpeker av finstoff ikke alltid er en god indikator for materialenes nedbrytningsmekanisme, og kan i noen tilfeller ignorere økt nedbrytning av material grovere enn

2 mm (Benediktsson, 2015, s. 73). Dette er en begrensning ved resultatene til metoden.

Det er mulig at det kan være en forskjell mellom svake og sterke bergarter når man skiller mellom generell redusert størrelse på hele prøven og kun på partiklene $< 1,6$ mm. Om man ser for seg samme prosess som i knusere, kanskje det er mulig å trekke paralleller til mekaniske tester. Det hadde vært interessant å teste om svake partikler i større grad knuser, mens hardere masser i større grad kubiseres (figur 5.6). Da kan man jo tenke seg at det spesielt for svakere masser er viktig å også registrere endringen av hele kornfordelingskurven. Feilkilder som dette får også frem viktigheten med å korrelere metodene til andre metoder, gjerne også når tilslaget er i et asfaltdekke, eksempelvis prall-test.



Figur 5.6: Differansen mellom nedknusing (nederst) og slitasje (øverst) av materiale (Thinkymixer, 2019).

På et mer generelt plan vil det alltid være et variasjonsområde ved metoder som blir gjort på anisotrope materialer. Ringanalyser er tester som blir gjort for å teste en metodes pålitelighet (Ulvik, 2020, s. 5). Flere laboratorier deltar på likest mulige vilkår, med likt måleapparat, samme prøvemateriale og analysene utføres så likt som mulig etter standard prosedyrer. Ulike operatører utfører testene, men det er viktig at det er den som vanligvis utøver metoden(e), også gjør det i ringanalysen. Store avvik i resultater kan skyldes feil ved analysemetoden eller ved laboratoriet, eller i visse tilfeller ved inhomogent testmateriale (Ulvik, 2020, s. 5).

I ringanalysen for kulemlølle kom det fram at materialer med kulemlølleverdi i intervallet 5-10 hadde variasjon i analyseresultat mellom de 13 deltagende laboratoriene på 1,5 enheter (Ulvik, 2020, s. 10). Dette viser at variasjonen fra 6,50 til 7,82 (1,32 enheter) for trinn 2 og fra 5,91 til 6,67 (0,76 enheter) for trinn 3 er innenfor det man kan forvente for testmetoden (figur 4.1).

I denne oppgaven er det sett på samme materiale, og laboratoriearbeide er utført av samme person, på den måten minimerer variasjonsparameterne. Likevel har testmateriale vært gjennom ulike knusere som også har en variasjon som avhenger av for eksempel slitasje på knuser eller fyllingsgrad. Derfor blir det ikke gjort sammenligning av finknuserne på Tau, kun variasjonen mellom resultatene med og uten VSI for hver enkeltknuser.

Menneskelig svikt kan også være en feilkilde ved metoden. Det kan dreie seg om en feil avlesing av vekt, overbelastning av sikter, at man minster materiale på gulvet under behandlingen eller at partikler ligger igjen mellom stålkulene. Om vekten er stående under avtrekkskap vil man også se endring i verdi avhengig om avtrekket er på eller av. Avtrekket kan medføre at prøvens vekt kan variere med et halvt gram (Ulvik, 2020, s. 9).

For kulemlø-test har materialets densitet innvirkning på prøvemengde-behovet i henhold til NS-EN 1097-6 *Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon*. I arbeidet til denne masteren er det likevel blitt brukt standard verdier for Tau, Jelsa og Dirdal for å redusere arbeidsmengde på laboratoriet. Dette er derfor en av feilkildene som kan forekomme i oppgaven. For Tau og Jelsa er det tatt utgangspunkt i densitet $2,77 \text{ g/cm}^3$, og for Dirdal $2,82 \text{ g/cm}^3$ (tabell 3.3).

A_N	2,77	2,82
VSI x1	15,15	15,91
VSI x2	13,91	14,67

Tabell 5.3: Kulemløresultater ved to ulike densitets-verdier (g/cm^3) for Dirdal-prøvene med x1 VSI og x2 VSI.

For Dirdal-prøvene “VSI x1” og “VSI x2” ble det i første omgang gjort en feil, og densitet $2,77 \text{ g/cm}^3$ ble brukt for prøvemengde. I tabell 5.3 er A_N -verdiene for de to parallelene ved de ulike densitetsverdiene, den er en liten forskjell mellom prøvene, men ikke veldig stor.

For å sikre gode resultater skal kulemlø-testing skje i to paralleller. Mandels test er en statistisk metode for å beregne om det forekommer nevneverdige forskjeller mellom parallelene som er testet for hver materialtype (Ulvik, 2020, s. 12). Viser analyseresul-

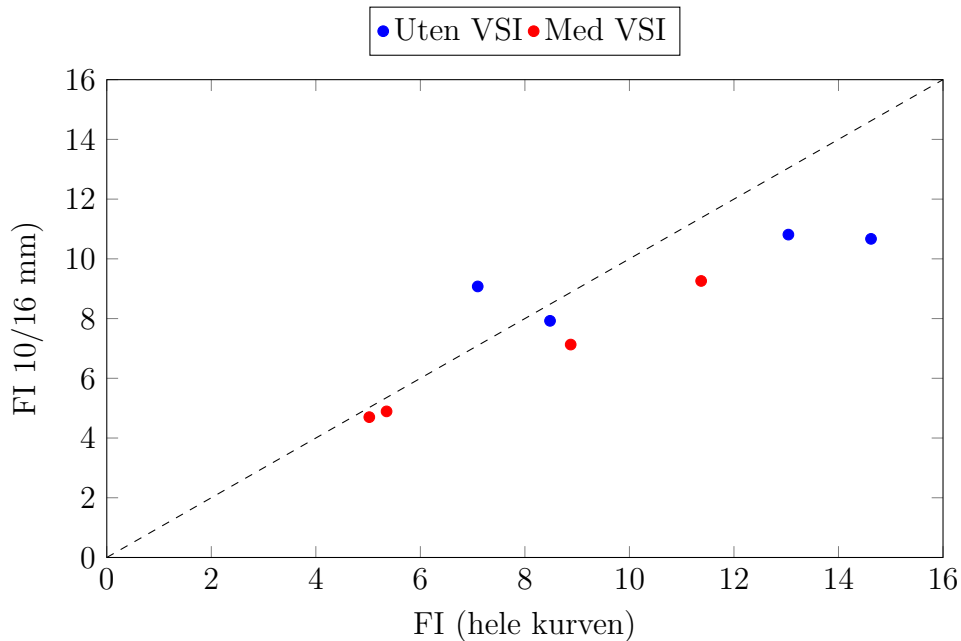
tatene i parallellene for en bestemt prøve avvik mer enn 10 % fra middelveiden, skal parallellen etter standarden utføres på nytt (Standard Norge, 2014, s. 9).

5.4.3 Feilkilder og begrensninger ved flisighetsindeks

For å komme frem til et materialets flisighetsverdi skal prøven først siktes på kvadratsikter, og deretter sikte delfraksjonene på stavsiktene. I denne studien har alle prøvene blitt siktet mekanisk med siktemasking på kvadratsiktene og manuelt i stavsiktene. Dette åpner for feilkilder, det kan variere hvor kraftig man orker å riste på siktene og hvor lenge man orker å holde på.

For at resultatene skal vurderes likt må metoden være utført på samme materiale og med samme fremgangsmåte. I denne studien er alle flisighetsanalysene gjennomført av samme person, med samme fremgangsmøte, men kornfordelingskurvene er ulike for ulike prøver. De største partiklene har på grunn av stor prosentandel stor innvirkning på materialets flisighetsindeks. Etersom flisigheten skal ses i sammenheng med kulemølleverdi kan det være lurt å se på prøvens 11/16-fraksjon slik at man sammenligner likt mot likt.

Dette kommer ikke uten problemer, for krav om prøvestørrelse i henhold til standarden (tabell 3.2) er 10 kg for prøver hvor den største fraksjonen er 31,5 mm. Dette er i utgangspunktet ikke blitt gjort riktig for prøvene i denne oppgaven. Det som er blitt gjort er at 2,6 kg er blitt brukt som en minsteverdi. Figur 5.7 er en illustrativ fremstilling på tabellverdiene i tabell 4.3 hvor FI for delfraksjonen 10/16 mm og for hele fraksjonen ses i sammenheng med hverandre. I tabell 4.3 er M_1 for liten prøvestørrelse for en prøve med største fraksjon 11/16 mm som burde vært minst 2,6 kg. Samtidig vet man at flisighetsindeksen for hele kornfraksjonen også for har lite prøvemateriale enn kravet i standarden.



Figur 5.7: Scatterplot for FI 10/16 mm versus FI for hele kurven, den stiplede linjen illustrerer $X=Y$.

I figur 5.7 ligger de fleste punktene under linjen, noe som viser at flisigheten generelt er litt lavere for 10/16-fraksjonen sammenlignet med hele kurven. Spennet i flisighet blir mindre når du ser på 10/16 mm sammenlignet med hele kurven, noe som trolig vil gjøre det vanskeligere å se sammenheng med kulemålerresultatene.

Figur 5.4 viser sammenhengen faktisk er svakt bedre for 10/16-fraksjonen. Uansett er sammenhengen ganske svak når korrelasjonskoeffisienten (R^2) ligger mellom 0,32-0,43, når den egentlig burde ligge nærmest mulig 1,0. En mulig forklaring er at det er analysert et materiale, og at det er veldig sterkt. Så variasjonene i både kulemåler og flisighet er lave, som det tross alt burde være ettersom det er en sammenligning av fire knusere på samme knusetrinn.

Når man sammenligner flisigheten for hele kurven, 8/16- og 10/16-fraksjonene, er det tydelig at kornform varierer innenfor sammensetningen (vedlegg A.6). Dette vil påvirke total kvaliteten for materialet i en asfaltblanding. Et høyt innhold av flisig materiale i finsorteringene kan også være årsaken til dårlig bearbeidet asfalt (Erichsen mfl., 2010, s. 20). Derfor bør det innføres FI-krav til delfraksjonene som inngår i tilslagsmassen i en asfaltresept (Erichsen mfl., 2010, s. 20).

5.5 Dekkelevetid

Dekkelevetiden på de norske veiene er mye knyttet til spordannelse som kommer fra deformasjon i asfalten og underlaget eller fra piggdekkslitasje (Aurstad mfl., 2016, s. 169). Ved testing av korrelasjon mellom kornstørrelse og mekaniske egenskaper ble det fastslått at kulemølleverdien ikke endres med kornstørrelsen, spesielt mellom 11,2/16 og 8/11-fraksjonene (Erichsen mfl., 2010, s. 20). Samtidig viser resultatene i artikkelen at en bieffekt av å redusere kornstørrelsen er økt slitasje av dekket, som igjen kan resultere i økt støvproblem (Erichsen mfl., 2010, s. 4). Bjørn Ingvald Andersen fra SVV skrev i en e-post til meg at da de reasfalterte veiene mellom Auglend og Stangeland i 2016 var en av endringene å gå fra 11,2 mm til 16 mm i den nominelle steinfraksjonen (Andersen, 2024).

Slitestykken til et asfaltdekke er dels avhengig av steinens egenskaper, dels av mørtelens egenskaper og dels av samvirke mellom disse (Aurstad mfl., 2016, s. 166). Klimaforhold vil også virke inn. I tillegg til slitasjemotstand har også størrelsen på steinmaterialene i dekket betydning for piggdekkslitasjen. Store steiner slås ikke så lett i stykker som mindre. En 16 mm-stein har typisk en slitasjemotstand som er omtrent dobbelt så stor som en 11 mm-stein (Aurstad mfl., 2016, s. 168).

Når slitestykken til asfalten avhenger av flere variabler, kan det være urasjonelt å gjennomføre omfattende bearbeiding av tilslagsmassene. De ulike variablene har individuelle begrensninger som sammen resulterer i en samlet begrensning. Som følge av dette kan det hevdes at det ikke er nødvendig å anvende "for god" masse til formål som veikonstruksjon. Dette reiser spørsmålet om det er fordelaktig å satse på "god nok" masse i stedet. Ved å fokusere på "god nok" er det lettere å fokusere på om- og gjenbruk av masser, i tillegg kunne spare ressursser i pukkindustrien, hvertfall for pukk-produsenter med kvalitetsstein som Norsk Stein Tau.

Statens vegvesen har pågående prosjekter med utlagte asfaltdekker på prøvestrekninger hvor lokalt og langtransportert tilslag benyttes (Ulvik, 2024). Det lokale tilslaget oppfyller ikke kravet til kulemølle ut fra ÅDT på vegstrekningene. Det blir målt sporslitasje

jevnlig over en lengre tidsperiode, der resultatene vil kunne gi et viktig bidrag inn mot en eventuell justering av kulemøllekravet ut fra et bærekraftperspektiv (transportavstand og tilgang på sterke bergarter). Også andre faktorer vil bli tatt med i betraktning, slik som piggdekkandel (levetid på dekket) og friksjonsegenskaper (trafikksikkerhet). Det foreligger ingen rapport per nå, men arbeidet danner et viktig grunnlag for å vurdere kulemøllekravene i neste revisjon av N200 (Ulvik, 2024). Når disse rapportene blir lagt frem vil man kunne se om det er avgjørende å forholde seg til bergartenes egenskaper, i større grad enn det vektlegges i dagens standard. Da kan man kanskje også lettere planlegge distribuering av massene etter kvalitet og transportavstander, og lage gode regnestykker for dette. Da er det kanskje også bedre å lage modeller som kan sette ting i et større bilde hvor for eksempel tungtransportens nedbryting av eksisterende veidekke tas i betraktning.

5.5.1 Distribusjon av masser

Fremmover trengs det gode strategier for bruk av masser, både for gjenbruksmasser, kortreiste masser og høykvalitets-masser. For at alle disse skal utnyttes best mulig, kan det tenkes at det bør stilles ulike krav. Ofte har veiprojekter store begrensninger i budsjett, da kan for eksempel støtteordninger rettet mot kortreist stein utkonkurrere jomfruelige kvalitetsprodukter på markedet. Dette kan være besparende for enkeltprosjekter, men potensielt mer kostbart i lengden.

Om man skal sette steinen på Tau i en slik sammenheng, må det diskuteres to aspekt. Det ene er kvaliteten. Materialet som dette er gode nok til både førstegangs-, andregangsbruk, men kanskje også i enda flere ledd av gjen- og ombruk. Da vil da være en fordel å produsere materialet av best mulig kvalitet. Kanskje det som mangler er en strategi for høykvalitetsmateriale, og en plan for gjenbruk av disse. Dette kunne vært en måte å stille krav til denne type masse, som er strengere enn de eksisterende kravene, og da kunne man kanskje også forhandlet pris slik at produsentene av høykvalitets-stein får betalt for bearbeidingen av steinen. Samtidig vil det ha en viktig signaleffekt for bruk av gjenbruksmasser.

Dette er en måte å utnytte de beste steinmaterialene som finnes, ikke bare i Norge men på

verdensbasis. Samtidig er det det andre aspektet, 'er det hensiktsmessig'? Om veidekket uansett ikke får lengre levetid på grunn av andre variabler i veioverbyggingen. Hva er egentlig best å gjøre, produsere 'best mulig' masser som kan gjenbrukes, eller minimere driftskostnadene og produsere 'god nok' masse? Om dekkelevetiden er lik for disse må det større, mer komplekse regnestykker til for å si hva som er best utnyttelse av ressurser.

Dette er spørsmål videre forskning kan svare på, om man får testet ulike dekker med ulikt materiale. Potensielt har også fremtiden nye parametere for veibyging, for eksempel at man ønsker å prioritere lyse steinmasser i asfalten i solrike områder for å redusere solstråle-absorpsjonen. Alt dette kan være med på å endre måten steinmasser distribueres.

5.5.2 Veien videre - mot klimamålene

Det er naturlig å tenke at den beste måten å nå klimamålene på, er å bruke mindre ressurser på bygging og vedlikehold av veinettet. Det må tas i betraktning at slitasje av kjøretøy er en faktor for det totale klimaregnestykket. Samtidig vil kontinuerlig arbeid med drift og vedlikehold av veiinfrastruktur være sentralt for trafikksikkerheten (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 9). Regjeringen vil fortsette å bygge ny infrastruktur, men vil snu utviklingen der veier og annen kritisk transportinfrastruktur ikke fornyes i takt med vedlikeholdsbehovet. Vedlikeholdsetterslepet øker risikoen for ulykker, reduserer fremkommelighet og skaper uforutsigbarhet (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 5). Økt sårbarhet som følge av klimaendringer må møtes med en mer motstandsdyktig infrastruktur (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 10). Økonomisk vekst, behov for økte ressurser på andre samfunnsområder, tilgang på tilstrekkelig arbeidskraft og riktig kompetanse, tilgang på ren energi, uforutsette effekter av klimaendringer og arealkonflikter er blant de mest sentrale risikofaktorene (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 11).

For å nå klimamålene og FNs bærekraftsmål er det flere aspekt av veibygingen som må videreutvikles. Trolig vil utviklingen foregå så fort at man ikke vet hva flere av disse aspektene er per dags dato. Uansett vil det lønne seg å ha kunnskaper om bergartene det jobbes med, i henhold til langsiktig slitasje og gjenbruk. De mekaniske testene og kornform er jo egenskaper materialet har i nåtid, men utvikling og prognoser over tid

vil være viktigere om man ønsker å bruke materialene i flere ledd slik at man kan ha en god plan, og på den måten optimalisere nytteverdien av gjenbruksmaterialer.

En mer digitalisert og datadrevet transportsektor bidrar til å understøtte transportsystemenes funksjon, og gir en mer effektiv utnyttelse av både den fysiske infrastrukturen og transporttilbudet. For å hente ut mulighetene som teknologiutviklingen gir, kreves det en helhetlig politikk hvor det jobbes med tiltak på ulike områder og hvor myndigheter, næringsliv- og forskningsmiljøer samarbeider tett. (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 19).

Økonomisk vekst gir økt transport av gods som følge av økt etterspørsel av varer, og økt persontransport blant annet fordi økte inntekter muliggjør flere og lengre reiser. Samtidig har lavere transportkostnader, eksempelvis som følge av mer effektiv transport, bidratt til økonomisk vekst ved at det har blitt større og mer velfungerende markeder for varer og arbeidskraft (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 21). Regjeringen legger fram disse påstandene, men ønsker samtidig å ha både dyr strøm, drivstoff og bompenger. For næringslivs- og teknologiutvikling er dette begrensende faktorer. Samtidig er det viktig at regjeringen setter inn tiltak som reduserer klimaavtrykket, og presser næringslivet til å tenkte nytt.

Norge vil etter prognosene ha en befolkningsvekst de neste tiårene. Det må derfor tas hensyn til at en større befolkning også vil ha økt behov for persontransport. Behovet for god transport øker også. En større befolkning vil konsumere flere varer, og økt behov for varer vil dermed øke behovet for transport av varer. utvikling og sammensetning av befolkning er følgelig viktige faktorer for å beregne fremtidens transportbehov (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 21). Samtidig vil en større andel av befolkningen enn tidligere være utenfor yrkesaktiv alder. Dette kan isolert sett innebære at presset på transportsystemet i rushtidsperiodene ikke vil øke så mye som tidligere (Samferdselsdepartementet, 2024, s. 22). Andre endringer av trafikkmønstre må også legges til grunne. Eksempelvis vil kjøretøyene i større grad bli elektrifiserte. El-bilenes gjennomsnittlige egenvekt ligger cirka 250 kg over bensin- og diesebilene (Stuestøl & Nilsen, 2023). Man må dermed se for seg at konsekvensene av dette er økt slitasje på veinettet.

Kapittel 6 - Konklusjon

I studien er det påvist lite sammenheng mellom tilslagsmaterialets kornform (FI) og kulemølleverdi (A_N). Effekten flisigheten har på A_N minskes når FI-verdien reduseres for alle de testede bergartene, og A_N vil ved et visst punkt jevne seg ut. Trolig skyldes dette bergartens mineraltekniske egenskaper, blant annet svakhetspunkter som ble konstantert i tynnslip-analysen. Dette kan indikere at hver bergart har et bestemt krysningspunkt, eller en grense for hvor mye kvaliteten kan forbedres. Det er derfor et viktig grunnlag å ha god kjennskap til de mineralfysiologiske egenskapene til materialene, også for å unngå over-bearbeiding av materialene.

Færre knusestrinn reduserer CO_2 -utslipp, og er besparende i relasjon til økonomi, energiforbruk, slitasje på maskineri og tidsoptimaliserte. Fra dette perspektivet er “god nok” optimal masse til bruk i asfalt. Ved å redusere knusestrinn vil man også redusere finstoffproduksjon, som kan være fordelaktig for arbeidsmiljøet på knuseverkene, og ikke minst medføre mindre avfallsmasser.

For å oppfylle kravene til bærekraft og effektivitet i pukk- og veiindustrien, er det fortsatt nødvendig med forskning og innovasjon for å redusere energiforbruket, samtidig som produktiviteten og produktkvaliteten forbedres. Denne tilnærmingen er i tråd med FNs bærekraftsmål og vil bidra til en mer innovativ, effektiv og ansvarlig bransje.

Kapittel 7 - Videre arbeid

For massene på Tau er det interessant å teste hvordan de reagerer om man hadde erstattet VSI med en konknuser. Da måtte det ha blitt gjort tester i forkant, som for eksempel teste finstoffinnhold før og etter VSI, og før og etter den alternative konknuseren. Det hadde også vært interessant å teste materiale uten MK1, både med og uten VSI. Da kunne man ha observert om det hadde vært mer effektivt å ha sluttet å ta i bruk denne knuseren. Hovedmålet med dette knusettrinnet er størrelsesreduksjon, men for å teste MK1 kunne man eventuelt sendt massene en gang i retur i MK2 for å se om det er noe forskjell.

Det hadde også vært interessant å gjenta prosessen i Jøsenfjorden, men for en konknuser. Om det ville det vært en markant forskjell mellom materialene, kunne det også blitt gjort målinger av strømforbruk for å se hvor mye mer man kan spare på å bruke kon i stedet for VSI.

For videre arbeid i forskningsprosjektet er det interessant å se sammenhengen mellom tilslag og ytelsen til asfaltdekket. For eksempel kan det være verdifullt å undersøke slitasje på veidekker for materialer av ulik kvalitet som er produsert slik at de har lik kulemølleverdi, ulik flisighet. Det kan også være interessant å se korrelasjonen mellom kulemølleverdien og flisighet for andre egenskaper ved veidekket, slik som rullemotstand, støvproduksjon og poleringsmotstand.

Det er nyttig å utvide forskningen kvantitativt for å inkludere flere typer bergarter og for å kunne gjennomføre statistiske analyser. Det kan være mulig at man kan definere et bruddpunkt hvor FI sin påvirkning på A_N ikke lenger bør tas i betraktning. Muligens kan også dette beregnes gjennom bergartens relative hardhet. I tillegg ville det vært en fordel å kunne utvide arbeide med flere analyser. Analysene kunne eksempelvis inkludert Los Angeles, micro-Deval, wheel track og prall-test, for å se et mer fullverdig overblikk over sammenhengene.

Bibliografi

- Al Rousan, T. M. (2004). *Characterization of aggregate shape properties using a computer automated system*. Texas A&M University. <https://www.proquest.com/openview/6e5d14311044fb789a3e65ef7e736343/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Andersen, B. I. (2024). Personlig kommunikasjon (mailkorrespondande).
- Arbeidstilsynet. (2024). Laboratoriarbeid. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/laboratoriarbeid/pageAsPdf?showAsImage=true>
- Aurstad, J., mfl. (2016). Lærebok Vegteknologi - Statens vegvesens rapporter. (nr. 626). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2673186>
- Bakløkk, L. J. (2017). Varige veger: Sluttrapport: Etatsprogrammet Varige veger 2011-2015. (nr. 598). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2672964/SVV%20rapport%20598%20Varige%20veger.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benediktsson, S. (2015). *Effects of particle shape on mechanical properties of aggregates* [Masteroppgave, NTNU].
- Bryhni, I., & Fossen, H. (2023). Den kaledonske fjellkjeden. Hentet 19. mars 2024, fra https://snl.no/Den_kaledonske_fjellkjeden
- Erichsen, E. (1999a). Bergarters poleringsegenskaper uttrykt ved polished stone value (PSV). <https://www.ngu.no/filearchive/91/poleringsegenskaper.pdf>
- Erichsen, E. (1999b). Pukkundersøkelser av forekomsten Berakvam i Suldal kommune. https://openarchive.ngu.no/ngu-xmlui/bitstream/handle/11250/2665459/99_087.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Erichsen, E. (2013). Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer - Varige veger 2011-2014. (nr. 121). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2654472/Vurdering%20av%20testmetoder%20for%20tilslagsmaterialer%20varige%20veger%202011-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Erichsen, E., Ulvik, A., Fossan, B., Tangstad, R., & Vongraven, H. (2010). Miljøvennlige vegdekker-Materialtekniske egenskaper for ulike testfraksjoner. (nr. 2010.065). https://www.ngu.no/upload/publikasjoner/Rapporter/2010/2010_065.pdf
- Esen, S., & Benzer, H. (2007). The Improvement of Mill Throughput Using Barmac Pregrinding Technology at Cement Plants. *Mining Congress of Turkey*, 79. https://www.researchgate.net/profile/Sedat-Esen/publication/287913308_The_improvement_of_mill_throughput_using_Barmac_pregrinding_technology_at_cement_plants/links/5b0204f04585154aeb060c5c/The-improvement-of-mill-throughput-using-Barmac-pregrinding-technology-at-cement-plants.pdf
- FN-sambandet. (2024). FNs bærekraftsmål. Hentet 1. februar 2024, fra <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- Haugan, H. (2023). Crushed Rock from Jelsa Quarry - Norsk Stein [Environmental Product Declaration]. Hentet 18. mars 2024, fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/1343681-1693832252/EPDer/Byggevarer/Naturstein/4059_Upd_61640706-9d44-420b-bda8-119e26b4c0ab.pdf
- Jørgensen, T., Hovin, W., & Saba, R. G. (2016). Polymermodifisert bitumen: Egenskaper og krav. Etatsprogrammet Varige veier 2011-2014.
- Lysbakken, K. R., Rise, T., & Hoff, I. (2021). Funksjonsbasert N200–Krav til ubundne materialer i bære-og forsterkningslag. (nr. 2021:01012). <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2834595/Rapport%2bFunksjonsbasert%2bN200%2bVegbygging..pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Låg, M., Myran, T., Refsnes, M. A., Schwarze, P. E., & Øvrevik, J. (2004). Veidekker: Svevestøv og helse. (nr. 2004:4). <https://fhi.brage.unit.no/fhi-xmlui/bitstream/handle/11250/2711803/rapport-20044-veidekker-svevestov-og-helse-pdf.pdf?sequence=2>
- Marker, M., & Slagstad, T. (2018). Berggrunnskart Høle 1212-1 M 1: 50 000. <https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/B50/Hole.pdf>
- Marker, M., Slagstad, T., Schiellerup, H., Solli, A., & Lutro, O. (2012). Berggrunnskart JØRPELAND 1213 II, M 1:50 000. <https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/B50/jorpeland.pdf>
- Metso. (2024). Different types of crushers are optimal for distinct crushing needs. Hentet 18. mars 2024, fra <https://www.metso.com/aggregates/products/crushers/>

- Miljødirektoratet, F. M., Statens vegvesen Vegdirektoratet. (2020). Granseverdier for svevestøv - Forslag til reviderte grenseverdier for PM10 og PM2,5. (M-1669). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1669/m1669.pdf>
- NGU. (2022). Berggrunn N250. <https://register.geonorge.no/register/versjoner/produktark/norges-geologiske-unders%C3%B8kelse/berggrunnn250>
- NGU. (2024a). Analyseresultater for pukkområdet Dirdal pukverk - Database:pukkdatabasen. Hentet 17. april 2024, fra https://geo.ngu.no/api/faktaark/grus_pukk/visAnalyserOmr.php?objid=103927
- NGU. (2024b). Analyseresultater for pukkområdet Norsk stein - Database:pukkdatabasen. Hentet 17. april 2024, fra https://geo.ngu.no/api/faktaark/grus_pukk/visPukkOmr.php?objid=104138
- NGU. (2024c). Analyseresultater for pukkområdet Tau 1 - Database:pukkdatabasen. Hentet 17. april 2024, fra https://geo.ngu.no/api/faktaark/grus_pukk/visAnalyserOmr.php?objid=103999
- Norsk Stein. (2024). Norsk stein - Våre lokasjoner. Hentet 18. mars 2024, fra <https://www.norsk-stein.no/no/lokasjoner>
- Næringslivsmagasinet. (2023). Næringslivsmagasinet - Rosenkilden. 29(4). Hentet 18. mars 2024, fra <https://www.naeringsforeningen.no/magasin/2023-04/index.html>
- Nålsund, R. (2014). Railway ballast characteristics, selection criterion and performance.
- Nålsund, R., & Haugen, M. K. (2019). Bruk av tynnslipanalyser sett opp mot andre undersøkelser av steinmaterialer. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3020099/016-notat-bruk-av-tynnslipanalyse-v3.0-endelig.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ozturk, C., Nasuf, E., & Kahraman, S. (2014). Estimation of rock strength from quantitative assessment of rock texture. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(6), 471–480. <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v114n6/13.pdf>
- Regjeringen. (2021). Strengere krav mot luftforurensning. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/strengere-krav-mot-luftforurensning/id2892887/>
- Rise, I. (2020). *Miljøpåverknad frå omfyllingsmassar i røyrgrofter* [Masteroppgave, Norwegian University of Life Sciences, Ås]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2726508>

- Rise, T., & Lysbakken, K. R. (2023). Prosjektnotat - bærekraftig vegbygging. (102027856). Hentet 23. april 2024, fra <https://nvnorden.org/wp-content/uploads/2023/08/B%C3%A6rekraftig-vegbygging.pdf>
- Saba, R. G. (2013). Feltforsøk med polymermodifisert bindemiddel-Varige veger 2011-2014. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2557790>
- Saba, R. G. (2019). Analytisk dimensjonering av vegkonstruksjoner: Evaluering og valg av system for norske forhold. (nr. 524). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2632480/Analytisk%20dimensjonering%20av%20vegkonstruksjoner%20SVV%20rapport%20524.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Samferdselsdepartementet. (2024). Melding til stortinget 14 (2023-2024) - Nasjonal transportplan 2025-2036. Hentet 22. april 2024, fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/aace20cf5a9e468ea97fd51638c42407/no/pdfs/stm202320240014000dddpdfs.pdf>
- Solli, A., Slagstad, T., & Marker, M. (2013). Berggrunnskart Vindafjord 1213-1, M 1: 50 000. <https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/B50/vindafjord.pdf>
- Standard Norge. (1999). NS-EN 932-2:1999 Prøvmetoder for generelle egenskaper for tilslag - Del 2: Metoder for deling av laboratorieprøver. (NS-EN 932-2:1999). <https://handle.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=604285>
- Standard Norge. (2008). Tilslag for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veger, flyplasser, og andre trafikkarealer NS-EN 13043:2002+NA:2008. (NS-EN 13043:2002+NA:2008). <https://online.standard.no/nb/ns-en-13043-2002na-2008>
- Standard Norge. (2012a). NS-EN 933-1:2012 Prøvmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornstørrelsefordeling. sikteanalyse. (NS-EN 933-1). <https://online.standard.no/nb/ns-en-933-1-2012>
- Standard Norge. (2012b). NS-EN 933-3:2012 Prøvmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform. Flisighetsindeks. (NS-EN 933-3). <https://online.standard.no/nb/ns-en-933-3-2012>
- Standard Norge. (2014). NS-EN 1097-9:2014 prøvmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggedekkskitasje - Nordisk metode. (NS-EN 1097:2014). <https://online.standard.no/nb/ns-en-1097-9-2014>

- Statens vegvesen. (2016). Laboratorieundersøkelser - Rettningslinje Håndbok 210. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-laboratorieundersokelser-2016.pdf>
- Statens vegvesen. (2021). Vegbilder. https://vegbilder.atlas.vegvesen.no/?lat=58.92223473&lng=5.70646023&view=image&zoom=16&imageId=Vegbilder_2021.2021-09-18T09.15.00.457215_EV00039_S100D1_m13296&year=2021
- Statens vegvesen. (2022). Statens vegvesens Håndbok N200 Vegbygging. <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859942/nb>
- Stema, M. (2024). *Stenbrudd*. <https://www.mibau-stema.com/dk/stenbrud/2016-03-13-19-12-13>
- Stuestøl, K., & Nilsen, T. A. (2023). NAF OM NYTTELAST: Elbilene har et problem med vekten. Hentet 23. april 2024, fra <https://www.naf.no/elbil/bruke-elbil/lavnyttelast>
- Thinkymixer. (2019). Pulverization 1: Definition and purpose. Hentet 5. januar 2024, fra <https://www.thinkymixer.com/en-us/library/glossary/pulverization-1-definition-and-purpose/>
- Ulvik, A. (2020). Ringanalyse for kulemølle. (nr. 692). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2686279/Rapport%20692%20Ringanalyse%20for%20kulem%C3%B8lle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ulvik, A. (2024). Personlig kommunikasjon (mailkorrespondande).
- Wang, C., Wang, H., Oeser, M., & Mohd Hasan, M. R. (2021). Investigation on the morphological and mineralogical properties of coarse aggregates under VSI crushing operation. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(12), 1611–1624.


A - Vedlegg

A.1 Maksimal vektbelastning for kvadratsikter

Tabell A.1: Maksimal vektbelastning for kvadratsikter med diameter 200 mm og 300 mm (Statens vegvesen, 2016, s. 54).

Sikt (d) (mm)	Ø200 mm (g)	Ø300 mm (g)
90	1490	3353
63	1247	2805
45	1054	2371
32	882	1984
22	743	1673
16	628	1414
11	526	1183
8	444	1000
4	314	707
2	222	500
1	157	353
0,500	111	250
0,250	79	177
0,125	56	125
0,063	39	89

A.2 Arbeidsskjema for sikteanalyse

 Statens vegvesen		<h3>SIKTEANALYSE</h3> <p>Arbeidsskjema</p>			Dato: Signatur:
Sikteanalyse NS-EN 933-1 Materialtype: Prøvested:			Prøvenummer: Dato uttatt: Signatur:		
Prøvens tørre masse før analyse $M_1 = \dots\dots\dots$ g Prøvens tørre masse etter vasking: $M_2 = \dots\dots\dots$ g					
Fraksjon d_i/D_i (mm)	Sikt (mm)	Total vekt på sikt (R_i) (g)	Andel av prøven $X_i = (R_i/M_1) \cdot 100$ (%)	Kumulativ verdi (%)	
>90	90				
63/90	63				
45/63	45				
31,5/45	31,5				
22,4/31,5	22,4				
16/22,4	16				
11,2/16	11,2				
8/11,2	8				
4/8	4				
2/4	2				
1/2	1				
0,500/1	0,500				
0,250/0,500	0,250				
0,125/0,250	0,125				
0,063/0,125	0,063				
Bunn (P)	<0,063	P =			
		$\Sigma R_i =$	$\Sigma X_i =$		
Sum siktet materiale:		$\Sigma R_i + P =$			
Hvis $\frac{M_2 - (\Sigma R_i + P)}{M_2} \cdot 100 < 1\%$ må analysen utføres på nytt.			$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$ $f =$ $f_{22.4} = \frac{P}{R_{22.4}} \cdot 100$ $f_{22.4} =$		
Statens vegvesen stiller krav til finstoff regnet ut fra øvre kornstørrelse 22.4 mm i enkelte tilfeller. Materiale < 22,4 mm betegnes $R_{22.4}$ og er summen av bunnpanne (P) og delsummer av R_i opp til og med R_{16} .					

Figur A.1: Arbeidsskjema for sikteanalyse (Statens vegvesen, 2016, s. 56)

A.3 Prosjektbeskrivelse Asfaltdekkers levetid



Asfaltdekkers Levetid

- Betydningen av tilslag for levetiden til asfaltdekker

1 Bakgrunn, utfordringer og behov

Forskning og utvikling innenfor vegkonstruksjon, asfaltdekker og tilslag har de siste årene vært preget av et utvidet fokus på sirkulærøkonomi, gjenbruk og generelt bedre ressursutnyttelse enn hva som tidligere har vært normal praksis i bransjen [1]. Det har vært et økt fokus på hvordan man skal kunne få en bedre utnyttelse av for eksempel tunnelmasser og andre stedlige masser. Bedre ressursutnyttelse og bruk av overskuddsmasser er et fokus som bransjen absolutt bør utfordres videre på. Både for å bedre kunne ta vare på de ressursene vi har tilgjengelige, samt redusere transport og dermed unødvendige klimautslipp og kostnader.

Forskningen rundt sirkulærøkonomi og bruk av lokale steinmasser med kortere transportavstand har også vært rettet mot bruk av steinmasser som typisk ikke er av en slik kvalitet som forbindes med høyverdige tilslag [2]. Uttrykk som «godt nok» i omtale av valg av tilslag, henviser til et ønske om å ikke velge steinmasser av en høy kvalitet til et formål hvor et tilslag av lavere kvalitet er tilstrekkelig, særlig dersom dette muliggjør en generelt bedre ressursutnyttelse. Bruk av høyverdige tilslag er ofte forbundet med økte kostnader, lengre transportavstander og en høyere kostnad for produktene.

Hva som er «godt nok» og tilstrekkelig i denne sammenheng avhenger ofte av hvilket perspektiv man ser det fra. For en entreprenør kan «godt nok» være det materialet som tilfredsstiller egenskapskravene kontrakten stiller til laveste omkostninger. For byggherre kan «godt nok» være det som gir mest veg for pengene. For brukere av vegnettet kan «godt nok» være det som gir mest behagelig og sikker kjøreopplevelse. Sett fra et miljøperspektiv kan «godt nok» være det som gir lengst levetid, lavest klimagassutslipp i et livsløp og best utnyttelse av ressursene, som tross alt ikke er fornybare.

Dette prosjektet vil utfordre bransjens oppfattelse av hva som er «godt nok» og se nærmere på hvordan vi best kan utnytte steinmasser av høy kvalitet til produksjon av asfaltdekker, for å sikre en lengst mulig levetid på vegnettet med redusert klimagassutslipp som den største effekten.

Kvaliteten på tilslaget henger sammen med den forventede levetiden til en vegkonstruksjon. I et klima- og miljøperspektiv, hvor man skal vurdere ressursutnyttelse og klimagassutslipp i valg av tilslag til en vegkonstruksjon, vil det være nyttig å kunne se det i forhold til forventet levetid. Da vil man kunne gjøre en bedre vurdering av hvorvidt det er lønnsomt for miljøet å velge et tilslag av høy kvalitet med lengre transportveg kontra et tilslag av lavere kvalitet, men med kortere transportveg. **Økt kunnskap om sammenheng mellom forventet levetid til et asfaltdekke og tilslagets egenskaper vil bidra til et bedre grunnlag for vurdering av hva som er «godt nok» i valg av tilslag.** Særlig i en tid hvor klimagassutslipp og miljøeffekter vektles i stadig større grad i valg av metoder og ressurser til vegkonstruksjon.

Gjennom dette prosjektet ønsker vi å bidra med forskning og innovasjon rettet mot sammenhengen mellom tilslag av høy kvalitet og asfaltdekkers egenskaper. Dette vil gi både industrien og myndighetene et bedre grunnlag for å bedømme relevante faktorer som er avgjørende for å øke levetiden på vegnettet, samt hvordan de ikke-fornybare ressursene kan forvaltes på best mulig måte. Ved å øke levetiden på vegnettet vil samfunnet kunne spare betydelige ressurser, i tillegg til å redusere miljø- og klimabelastningene knyttet til både vegbygging, samt drift og vedlikehold av vegnettet. Hovedfokus i prosjektet vil være å analysere og vurdere hvilke fordeler bruk av høyverdig tilslag har for levetiden, og hvordan dette henger sammen med egenskapene til et asfaltdekke.

2 Forskning og innovasjon

2.1 Innovasjonen

Prosjektet vil basere seg på både kvantitative og kvalitative forskningsstrategier for å identifisere hvordan man best mulig kan utnytte steinmasser av høy kvalitet til produksjon av asfaltdekker. Ambisjonen til prosjektet er å bidra til ny kunnskap om hvordan ulike typer steinmaterialer påvirker asfaltdekkers levetid, og som en følge av dette også bidra til reduserte klimagassutslipp.

Innovasjonsideen er todelt; 1) kan man ved å bruke steinmasser med høy kvalitet redusere dekketykkelsen slik at man reduserer kostnader og klimagassutslipp ved hver reasfaltering? Og 2) kan man ved å bruke steinmasser med høy kvalitet øke levetiden på asfaltdekker slik at tidsintervallet mellom hver reasfaltering kan økes sammenlignet med i dag?

Dagens krav til tilslagsmaterialer og asfaltdekker er definert i SVVs håndbøker, hvor håndbok N200 Vegbygging [3] er den mest sentrale. Kravene varierer ut fra type veg og trafikkmengde. Prosjektet har som mål å dokumentere at man ved bruk av steinmasser med høy kvalitet kan legge tynnere asfaltdekker. I dette ligger det store besparelser, både i volum av steinmasser samt et lavere CO₂-utslipp. Dette innebærer også at man da vil kunne legge flere kilometer med ny asfalt, sammenlignet med ordinær tykkelse på asfaltdekket. Tynnere dekker forventes derfor å gi store besparelser i nåtid. Dersom man i tillegg kan dokumentere at levetiden blir lengre, slik at man kan øke tidsintervallet mellom hver reasfaltering, vil besparelsene øke ytterligere.

For å komme med et eksempel kan vi tenke oss et strekke av en motorveg på 1 km som er 23 meter bred. Normalt legges et slitelag av asfaltdekke SKA16 [3] 5 cm tykt. Da vil man trenge ca. 1700 tonn med asfalt til 1 km med motorveg. Ved bruk av et høyverdige tilslag, kan man potensielt endre slitelaget til en SKA11. Det vil da være mulig å redusere tykkelsen på slitelaget med 2 cm. Dette utgjør en reduksjon på ca. 690 tonn med asfaltmasser, noe som tilsvarer 23 lastebillass, på 30 tonn hver, per km med veg.

For å sette dette i en mer konkret kontekst kan vi se på Ryfast. Hadde Ryfast (ca. 14 km lang) blitt asfaltert med et 2 cm tynnere slitelag, ville det ført til en reduksjon av forbrukte asfaltmasser på rundt 9650 tonn, noe som tilsvarer omtrent 322 lastebillass asfalt. Lastebiler nå til dgas har et CO₂ utslipp på ca. 1kg/km [4]. Med en tenkt transportavstand på 4 mil tilsvarer dette en reduksjon av utslipp med rundt 12 880 kg med CO₂.

En stor andel av asfaltkontrakter fokuserer på at produksjon og utlegging av asfalt gjøres på en mest mulig skånsom måte for miljøet. Derfor benyttes i stor grad miljøvekting i utvelgelsen. Både pukk- og asfaltbransjen jobber systematisk med å redusere CO₂-utslipp for å bli best mulig. Gjennom dette prosjektet vil vi utforske mulighetene for å redusere utslipp gjennom optimalisering i knusetrinn, foredlingsprosess og produksjon. Det vil gi mer kilometer nyasfaltert veg for samme kostnad, reduserer etterslep, gi vesentlig redusert klimagassutslipp i tillegg til å gi en mer bærekraftig forvaltning.

Fra tidligere forskning vet bransjen en god del om sammenhengen mellom resultat fra ulike tester som måler mekanisk styrke og egenskaper [5]. Dette kan være tester som kulemølltest [6] (Nordic Abrasion Test) eller Prall, og hvordan resultater ofte henger sammen med motstand mot slitasje fra piggdekk. Typisk har et tilslag som får gode resultater fra en kulemølltest normalt sett også bedre utsikter til å motstå slitasje fra piggdekk, som igjen gir økt levetid til slitelaget til et vegdekke. Dette er forskning som ble prioritert i en tid hvor andelen piggdekk økte hurtig og valg av tilslag til asfaltdekker ikke var basert på den samme graden av kunnskap som vi har i dag. Den forskningen og utviklingen som ble gjort da, førte til at man kunne forlenge levetiden til vegnettet betydelig.

Dette har igjen spart samfunnet for betydelige kostnader, ressursbruk og ikke minst vært en fordel for klima og miljø. Piggdekkbruk er fremdeles en årsak til at asfaltdekker slites hurtigere, og valg av tilslag av høy kvalitet er fremdeles det som motvirker denne slitasjen best. Men bruk av høyverdige

tilslag produsert på bergarter vi vet har gode mekaniske egenskaper, har trolig også en positiv effekt på levetiden av asfaltdekket, ut over det å kunne motstå piggdekkslitasje. I tillegg vil bruk av bergarter med høy mekanisk styrke og med evne til å motstå slitasje og deformasjon over tid, trolig kunne benyttes og tilvirkes på andre måter enn bergarter som ikke håndterer høy belastning like godt.

Norsk Stein sitt brudd på Tau har tilgang på en bergart som har vist seg å være unik med tanke på de egenskaper som forbindes med høy kvalitet. Dette gjelder særlig testresultater fra mekaniske egenskapstester slik som kulemølletest. Forskning og innovasjon knyttet til best mulig bruk av denne ressursen kan trolig føre til kunnskap som er særdeles fordelaktig for samfunnet vårt. Geologiske ressurser som sand, pukk og grus er ikke-fornybare, og spesielt forekomster med høy kvalitet bør foredles og benyttes på best mulig vis for å øke levetiden, både til forekomsten selv, men også til vegnettet.

NCC Industry har et godt etablert produksjonsanlegg for asfalt som nærmeste nabo til Norsk Stein på Tau, hvor også transport med bruk av skip er mulig. Alt ligger dermed til rette for at asfalt og tilslagsproduksjon i Rogaland ved Norsk Stein og NCC Industry sine anlegg i Strand kommune kan etableres som fremst i bransjen og landet innenfor bærekraftige og mer klimavennlige løsninger for kommende generasjoner.

Tildeling av asfaltkontrakter har de siste årene blitt vektet mer og mer med hensyn til påvirkning på klima og miljø. Gjennom utstrakt bruk av EPD¹ har bransjen nå fått etablert en felles mal for å kommunisere hvilket miljøavtrykk de ulike produktene har i en livsløpsyklus. Hvor lang levetid man forventer av de ulike produktene vil da være essensielt for å kunne gjøre en helhetlig vurdering av hvilket produkt som vil være best for klima og miljø. Per dags dato har man tatt i bruk vekting av EPD og klimaavtrykk ved tildeling av asfaltkontrakter, men dessverre er ikke kunnskapen om forventet levetid til de ulike asfaltdekker og tilslagsvalg god nok. Dermed vil man slik det er nå risikere å kunne gjøre valg basert på misvisende informasjon.

For eksempel kan det være slik at en asfaltkontrakt nå tildeles en entreprenør som har et lavere CO₂-utslipp per utlagte tonn asfalt, fordi transportavstanden til hvor asfaltdekket skal legges er kortere enn hva konkurrentene kan tilby. Det som dessverre ikke vektet i like stor grad er forventet levetid til asfaltdekket som skal legges, basert på kvaliteten av tilslaget som benyttes. Det kan for eksempel være at en konkurrerende entreprenør, med lengre transportveg vil kunne legge et asfaltdekke som har en betydelig lengre levetid enn sammenlignet med entreprenøren med kortere transportveg. Dette betyr at i et livsløpsperspektiv, vil de økte klimautslippene ved lengre transport være verdt bryet, fordi asfalten eksempelvis kan ligge i 7 år kontra 4 år.

2.2 FoU-aktivitetene

Det finnes tidligere gjennomført forskning knyttet til ulike typer vegdekker, eksempelvis gjennom SVVs etatsprosjekt Miljøvennlige vegdekker (2004-2008). Hovedfokus i dette prosjektet var optimalisering av vegdekkenes miljøegenskaper for å bidra til reduksjon av støy- og støvplager fra vegtrafikk. Her ble det blant annet konkludert med at det er vanskelig å utvikle vegdekker med vesentlig høyere slitestyrke enn det som allerede finnes, uten at dette går ut over andre viktige egenskaper slik som friksjon og deformasjonsmotstand. Derimot er det mulig å opprettholde slitestyrke på mer støysvake dekkealternativer gjennom krav til materialkvalitet og sammensetning [7]. Det finnes også tidligere gjennomførte undersøkelser knyttet til dekkelevetid, eksempelvis fra Region øst. Her er analysene basert på metodikk som tar i bruk prognosene for dekkelevetid som framkommer i SVVs system PMS [8].

I SVVs etatsprogram Varige veger (2011-2015) ble det påpekt av vegdekker og vegfundament er hovedelementene som utgjør store deler av kostandene knyttet til bygging og vedlikehold av veger.

¹ Environmental Product Declaration.

Det påpekes også at det foreligger et stort behov for utvikling og faglig oppdatering innenfor dette området, og at behovet for forbedringer og besparelser er stort [9].

Ifølge Lærebok i Vegteknologi [10] har levetiden på asfaltdekker økt betydelig de siste årene, fra 1990 til 2010. Det er antydning at levetiden har økt med ca. 80%, men det påpekes at det fulle potensialet ikke er tatt ut. Videre er det beskrevet at et asfaltdekke på en "vanlig riksveg" bør kunne ha en levetid på nærmere 20 år, men dette er ikke mulig med dagens kunnskap og teknologi.

Selv med mye kunnskap fra tidligere, kjenner ikke prosjektdeltagerne til at det tidligere er utført forskning knyttet til ulike kvaliteter på tilslag og deres betydning for kvalitet og levetid på asfaltdekker.

Prosjektet vil bygge ny kompetanse og kunnskap gjennom industrisamarbeid mellom Norsk Stein og NCC Industry og med SINTEF som FoU-parter, med mål om å utfordre gjeldende regelverk og hvordan man best kan utnytte steinmasser av høy kvalitet til produksjon av asfaltdekker. Samarbeidet vil bidra til å øke verdiskapningen i regionen, samt danne grunnlaget for kunnskapsutveksling og ny forståelse som bidrar til mer bærekraftig bruk av ikke-fornybare ressurser. I tillegg vil det danne grunnlag for produksjon av asfaltdekker som gir vesentlig lavere klimaavtrykk enn dagens asfaltdekker.

2.3 FoU-mål

Hovedmålet i prosjektet er å definere sammenhenger mellom tilslag av høy kvalitet og asfaltdekkers egenskaper. Dette vil gi både industrien og beslutningstakere et bedre grunnlag for å kunne bedømme hvilke faktorer som er viktige for å øke levetid på det norske vegnettet. Man vil da også kunne vurdere om det er lønnsomt for samfunnet fra et ressurs-, miljø- og økonomisk perspektiv å transportere tilslag av høy kvalitet til asfaltproduksjon eller om man bør benytte lokalt produsert tilslag av lavere kvalitet. Dette vil også gi nyttig kunnskap om hvordan både vegnettet og de ikke-fornybare ressursene bør forvaltes på best mulig måte. For å nå denne målsetningen må følgende delmål (DM) løses:

- DM1: Kartlegge hvilke faktorer som pr. i dag benyttes for å vurdere levetid for et asfaltdekke.
- DM2: Kartlegge ulike materialers påvirkning på asfaltens levetid.
- DM3: Undersøke hvorvidt tilslag kan produseres mindre energikrevende uten at det går på bekostning av levetid og ønskede egenskaper for et asfaltdekke.
- DM4: Undersøke om man ved bruk av høyverdig tilslag (AN<7) kan dimensjonere for tynnere asfaltdekker uten at det går på bekostning av levetid og ønskede egenskaper for et asfaltdekke.
- DM5: Utarbeide kunnskapsbasert informasjon og anvendbare råd for dimensjonering av levetid for asfaltdekker samt gi innspill til revisjon av aktuelle standarder, håndbøker etc.
- DM6: Utarbeide anbefaling av koeffisient eller faktor som kan benyttes for å bedre anslå forventet levetid for et slitelag av asfaltdekke basert på tilslaget som er benyttet.

Levetiden til et asfaltdekke er sammensatt og påvirkes av flere faktorer, som trafikkmengde, underlag, utleggsteknikk, hvilket tilslaget som er benyttet og ulike typer bindemiddel for å nevne noen av de mest sentrale. Prosjektet vil ikke kunne svare ut alle disse faktorene, men vil måtte konsentrere sin forskning mot det øvre lag av vegkonstruksjonen. Slitelaget vil derfor være fokusområdet i prosjektet.

2.4 Forskningsspørsmål og metode

Arbeidspakke H1 Kartlegging av asfalttilslag og faktorer som påvirker levetid
<p>Delmål: DM1, DM2. Milepæl: M1-1, M1-2</p> <p>Forskningsspørsmål 1.1: Hvordan er krav til asfalttilslag definert? Metode/løsningsforslag 1.1: Undersøke og sammenfatte hvilke krav som stilles til asfalttilslag i Norge.</p> <p>Forskningsspørsmål 1.2: Hvilke krav stilles til asfalttilslag i andre land, og hvilke likheter og ulikheter finnes? Metode/løsningsforslag 1.2: Undersøke og sammenfatte krav og erfaringer fra ulike land, med hovedvekt på Norden.</p> <p>Forskningsspørsmål 1.3: Kan sterkere materialer gi lengre levetid på asfaltdekket? Metode/løsningsforslag 1.2: Basert på erfaringer fra ulike land, vurdere om det finnes erfaringer knyttet til ulike typer materialer og levetid. Undersøke hvilke egenskaper som er viktige, eksempelvis rullemotstand, støv, PSV.</p>
Arbeidspakke H2 Produksjon av tilslag
<p>Delmål: D3 og D5. Milepæl: M2-1, M2-2, M2-3</p> <p>Forskningsspørsmål 2.1: Hvordan vil produksjon av tilslag uten kubisering (dvs. uten bruk av en VSI/ Barnac) innvirke på kulemølleverdien og kornformen? Metode/løsningsforslag/ 2.1: Produsere tilslag på Norsk Stein sitt anlegg hvor tilslaget både passerer gjennom og ikke gjennom en VSI under produksjon. Det vil gjennomføres produksjonsprøver på bergarter fra Norsk Stein sine tre ulike brudd (Jelsa, Tau og Dirdal), hvor de mekaniske egenskapene til bergartene er ulike. Produksjonsprøvene vil deretter analyseres i laboratoriet til Norsk Stein Tau og stadfeste kornform og kulemølleverdi. Prøvene vil tas av fraksjonene i størrelse 8/11 mm og 11/16 mm.</p> <p>Forskningsspørsmål 2.2: Hvilken sammenheng er det mellom resultater fra kulemølleverdi og flisighet? Metode/løsningsforslag 2.2: Analysere prøver og se på sammenheng mellom testresultat fra kulemølletest og flisighet på prøver av tilslag produsert i pkt 2.1.</p> <p>Forskningsspørsmål 2.3: Hvilken sammenheng er det mellom prall test, flisighet og mølleverdi? Metode/løsningsforslag 2.3: Gjennomføre prall tester av ulike kjerneprøver av asfalt produsert på tilslag med de ulike mølleverdier og egenskaper fra pkt. 2.1.</p> <p>Forskningsspørsmål 2.4: Er kulemølleresultater direkte knyttet til forventet levetid til et asfaltdekke eller er det bergarten mer enn kornform og størrelse som påvirker levetiden? Metode/løsningsforslag 2.4: Undersøke om et mer flisig tilslag gir like eller bedre resultat på en prall test, sammenlignet med et tilslag som er kubisert, hvor begge er produsert på samme bergart.</p>
Arbeidspakke H3 Dimensjonering av dekketykkelse
<p>Delmål: D4 og D5. Milepæl: M3-1, M3-2, M3-3, M3-4</p> <p>Forskningsspørsmål 3.1: Har vi god nok kjennskap til tilslagene egenskaper? Metode/løsningsforslag 3.1: Kartlegge tilslagets egenskaper som mølleverdi, flisighetsindeks, kornkurve, vedheftsegenskaper. Vurdere resultater og utarbeide resepter.</p> <p>Forskningsspørsmål 3.2: Hvilke slitasjeegenskaper er det på de forskjellige tykkelsene? Metode/løsningsforslag 3.2: Labtesting på massesammensetning og tilslagets egenskaper. Prall test skal gi grunnlag for vurdering av testresultat og eventuell endring i sammensetning. Det vil i tillegg gjøres nærmere vurderinger av vedheftsegenskaper og lastfordelingskoeffisient samt spordannelse (weel track).</p> <p>Forskningsspørsmål 3.3: Vil det være utfordringer med å legge tynnere dekker? Får vi kompaktert optimalt? Metode/løsningsforslag 3.3: Uttak av borprøver i felt for analyse på lab. Bruk av andre typer testutstyr slik som PQI, Isotop</p> <p>Forskningsspørsmål 3.4: Hvordan skal vi dokumentere effekter og egenskaper på utviklingen? Metode/løsningsforslag 3.4: Måling og analyse fra veg, slik som prall-test, Weel track analyse og sporutvikling med utstyr fra VTI.</p>
Arbeidspakke H4 Levetidskoeffisient
<p>Delmål: DM6. Milepæl: M4-1</p> <p>Forskningsspørsmål 4.1: Kan man basert på testresultat fra de ulike mekaniske egenskapstestene brukt på tilslag og asfaltdekker, definere en faktor som er kvantifiserbar og anvendelig for å bedre stadfeste forventet levetid til et slitelag av asfaltdekke? Metode/løsningsforslag 4.1: Analyser av funn i arbeidspakkene 2 og 3 vil sammenfattes.</p>

3 Gjennomføring

3.1 Milepæler i FoU-prosjektet

En beskrivelse av prosjektets arbeidspakker (hovedaktiviteter) er gitt i Tabell 1. Det vises til Tabell 2 for en oversikt over prosjektets milepæler og tidsplan.

Tabell 1: Prosjektets arbeidspakker (hovedaktiviteter).

Arbeidspakke H1 Kartlegging av asfalttilslag og faktorer som påvirker levetid			
Arbeidspakkeleder	Torun Rise (SINTEF)	Delmål: DM1, DM2	Kategori: Industriell
Nøkkelpersoner	Heidrun Sande, Stig Kjetil Tengesdal (Norsk Stein), Knut Li og Helga Ros Fridgeirsdottir (NCC Industry).		
<p>Arbeidspakken vil med bakgrunn iblant annet en litteraturstudie og kartlegging av dagens praksis både nasjonalt og internasjonalt søke å dokumentere forskningsfronten knyttet til ulike typer asfalttilslag og gjenbrukspotensiale. Hovedfokus vil være knyttet til kvalitet på masser, i hovedsak mekanisk styrke, og krav som stilles blant annet i SVVs håndbøker [3]. Arbeidet vil også omfatte noe laboratoriearbeid knyttet til undersøkelser av ulike typer tilslag og muligheter for gjenbruk samt eventuelle kvalitetsendringer ved gjenbruk av ulike typer asfalttilslag.</p>			
<p>Leveranser og resultater: a) Notat med oppsummering av utførte laboratorieundersøkelser, b) Rapport som beskriver dagens forskningsfront knyttet til asfalttilslag, levetid og gjenbrukspotensiale.</p>			
<p>Milepæler: M1-1, M1-2</p>			
Arbeidspakke H2 Produksjon av tilslag			
Arbeidspakkeleder	Stig Kjetil Tengesdal (Norsk Stein)	Delmål: DM3, DM5	Kategori: Industriell
Nøkkelpersoner	Heidrun Sande, Henrik Skogland (Norsk Stein), Knut Li og Helga Ros Fridgeirsdottir (NCC Industry), Anne Bratthammer (Mastergrad student NMBU), Torun Rise og Marit Fladvad (SINTEF)		
<p>Arbeidspakken vil gjennom laboratorieprøver og analyser av ulike produksjonsmetoder undersøke hvordan tilslag produsert med mer prosessering (<i>kubisering</i>) og tilslag med mindre behandling påvirker de mekaniske egenskapene til tilslaget. Videre vil arbeidspakken også se på sammenhenger mellom testresultat fra ulike mekaniske egenskapstester, for å undersøke hvorvidt det er bergartens iboende mekaniske egenskaper som er av høyest betydning for mekanisk styrke, eller om det skyldes kornform og størrelse, og hvordan dette eventuelt påvirker hverandre. Videre vil arbeidspakken undersøke hvorvidt typisk gode resultat fra egenskapstester av tilslag korrelerer med resultat fra egenskapstester av asfalt. Egenskapstester og analyser som vil benyttes er primært kullmøletest (Nordic Abrasion Test), Prall test, wheel track og flisighetsindeks. Arbeidspakken skal undersøke hvorvidt et tilslag produsert fra en bergart med gode mekaniske egenskaper vil kunne ha lengre forventet levetid enn et tilslag produsert fra en bergart med mindre gode mekaniske egenskaper [6], men som er prosessert og behandlet mer.</p>			
<p>Leveranse og resultater: a) Notat med oppsummering av utførte laboratorieundersøkelser og funn, b) Rapport som beskriver sammenheng mellom produksjonsmetode av tilslag, mekaniske egenskaper og forventet levetid for tilslaget.</p>			
<p>Milepæler: M2-1, M2-2</p>			
Arbeidspakke H3 Dimensjonering av dekketykkelse			
Arbeidspakkeleder	Helga Ros Fridgeirsdottir (NCC Industry)	Delmål: DM4, DM5	Kategori: Industriell
Nøkkelpersoner	Marit Fladvad (SINTEF), Knut Li, Espen Sagbakken, Morten Roede (NCC Industry), Heidrun Sande og Stig Kjetil Tengesdal (Norsk Stein)		
<p>Vårt ønske er å styrke kunnskapen på levetidsberegning av asfalten vi produserer. Vi ønsker å lage asfalttyper som er bærekraftige. I denne arbeidspakken vil vi analysere nærmere om vi kan beholde god sporutvikling dersom vi reduserer lagtykkelsen på asfaltdekke. Arbeidspakken vil også analysere hvilken påvirkning mølleverdi og flisighetsverdi har på tynndekke for sporutviklingen.</p> <p>Redusert lagtykkelse på asfaltdekke kontra tradisjonell lagtykkelse antas å ha positiv effekt. Dette vil gi mer kilometer nyasfaltert veg for samme kostnad, vesentlig redusert klimagassutslipp og det gir en mer bærekraftig forvaltning. For å dokumentere dette nærmere skal det gjennomføres forsøk i laboratoriet og ute i felt med tradisjonell lagtykkelse og felt med tynnere lagtykkelse for å analysere sammenhenger og utvikling av ulike dekketykkelser. På lab gjennomgås alt av forarbeid for kartlegging av hva som påvirker i positiv retning med tanke på holdbarhet og levetid. Det som gir best resultat fra tester i laboratoriet kjøres i fullskala ute i felt for å verifisere forsøksresultatene i laboratoriet.</p>			
<p>Leveranse og resultater: a) Kartlegge egenskaper og utarbeidet resepter for test på laboratorium, b) kjøre laboratorietester på resepter og avgjøre hvilke som skal legges i felt/på veg, c) produsere asfalt i fabrikk og legge ut forsøksfelt, prøvetaking og analyse av resultater.</p>			
<p>Milepæler: M3-1, M3-2, M3-3, M3-4</p>			
Arbeidspakke H4 Levetidskoeffisient			
Arbeidspakkeleder	Marit Fladvad (SINTEF)	Delmål: DM 6	Kategori: Industriell
Nøkkelpersoner	Torun Rise (SINTEF), Knut Li og Helga Ros Fridgeirsdottir (NCC Industry), Heidrun Sande og Stig Kjetil Tengesdal (Norsk Stein)		
<p>Arbeidspakken vil basert på funn gjort i arbeidspakkene H2 og H3 søke å utforme en tabell/ matrise hvor forventet levetid til et slitelag av et asfaltdekke basert på tilslagets og asfaltdekkets testresultat fra egenskapstester kan leses av. Målet er å utarbeide en kvantifiserbar faktor som kan inkluderes i beregning av levetid. Dette vil være et omfattende arbeid, og prosjektets omfang alene er ikke nok til å redegjøre for alle faktorene som er med på å determinere levetiden til et asfaltdekke. Arbeidspakken tar sikte på å redegjøre for prosjektets funn og anbefale hvordan dette best kan benyttes i videre arbeid. Det vil trolig være nødvendig med et videre samarbeid med andre aktører slik som SVV, Nye Veier og Veiteknisk Institutt for å komme videre i etterkant av prosjektet.</p>			
<p>Leveranser og resultater: Endelig mål for prosjektet og hensikten med arbeidspakken er å levere empiri som kan benyttes til å videreutvikle de standarder og normer vi per dags dato benytter for å bedømme levetid til et asfaltdekke.</p>			
<p>Milepæler: M4-1</p>			

Tabell 2: Prosjektets hovedaktiviteter og milepæler.

H/M	Hovedaktivitet (H) / Milepæl (M)	2023		2024				2025	
		3	4	1	2	3	4	1	2
H1	Kartlegging av asfalttilslag og gjenbrukspotensiale								
M1-1	Gjennomføre og dokumenterte laboratorieundersøkelser								
M1-2	Utarbeide rapport som beskriver erfaringer og forskningsfront knyttet til ulike tilslag i asfaltdekker.								
H2	Produksjon av tilslag								
M2-1	Gjennomføre mekaniske egenskapstester i laboratorie av ulike tilslag med ulik produksjonsmetode								
M2-2	Gjennomføre mekaniske egenskapstester i laboratorie av asfaltdekker produsert med de ulike tilslag som er testet i M2-1.								
M2-3	Utarbeide rapport som oppsummerer funn fra de ulike undersøkelsene.								
H3	Dimensjonering av dekketykkelse								
M3-1	Utarbeide arbeidsresepter som skal legges til grunn for testing.								
M3-2	Sjekk ut i laboratoriet slitasegenskaper de forskjellige reseptene har på de forskjellige tykkelsene.								
M3-3	Få testet i felt så en får verifisert de testresultater laboratoriet viste.								
M3-4	Utarbeide dokumentasjon på resultater fra prosjekt.								
H4	Levetidskoeffisient								
M4-1	Sammenstille funn fra arbeidspakkene H1-3 og anbefale videre arbeid								
M4-4	Presentere resultater for bransjen								

3.2 Prosjektleder, organisering og forankring

Prosjektgruppen er satt sammen av medlemmer fra Norsk Stein, NCC Industry og SINTEF. Norsk Stein eier og leder prosjektet, men prosjektet i all hovedsak bli drevet som et partnerskap mellom NCC Industry, Norsk Stein og SINTEF.

Henrik Skogland (*Salgs og Produksjons Koordinator og Bærekraftsleder*, Norsk Stein) vil være prosjektleder for prosjektet. Skogland vil sørge for den daglige driften i prosjektet samt følge opp at prosjektet holder oppsatt plan for fremdrift og oppfyller delmålene. Eventuelle endringer i organisasjonen underveis i prosjektet vil måtte vurderes for hvert tilfelle, men alle parter forplikter seg til å sørge for at tilstrekkelig kapasitet og kompetanse stilles til prosjektets disposisjon for hele prosjektets varighet. For hver hovedaktivitet (arbeidspakke) er det utnevnt en arbeidspakkeleder med kompetanse innenfor den aktuelle tematikken.

De ulike delmålene og framdriftsplanen for prosjektet baserer seg på at alle av gruppens medlemmer må bidra med forskning og kunnskap fra sitt fagfelt for at prosjektet skal oppnå sine mål. Norsk Stein bidrar med sin kompetanse og erfaring med produksjon av tilslag, NCC Industry bidrar med sin kompetanse innenfor fagfeltet asfalt og SINTEF vil bidra med erfaring og kunnskap som FoU-organisasjon for å styrke kvaliteten og utfallet av prosjektet.

Det vil kunne være aktuelt å samarbeide ytterligere med universitet og høyskoler. Særlig studenter fra NTNU er tett tilknyttet SINTEF og vil potensielt kunne bidra inn i prosjektet med gradsoppgaver. Det er allerede en student fra Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) som skal bidra til gjennomføringen av arbeidspakke H2 gjennom sin masteroppgave. Dette er planlagt gjennomført uavhengig av innstillingen til prosjektets søknad, av hensyn til studentens og NMBU sin forutsigbarhet.

3.3 Etikk og samfunnsansvar

Det forventes ingen større etiske problemstillinger i prosjektgjennomføringen. Partnerne i prosjektet har etiske retningslinjer som er i tråd med norske forskningsetiske retningslinjer.

4 Virkninger og effekter

4.1 Verdiskapingspotensial

Prosjektet vil gi styrket forretningsvirksomhet, økt konkurransekraft og utvidet samarbeid innen tilslags- og asfaltproduksjon i Rogaland, med mål om en mer bærekraftig asfaltbransje. Det overordnede verdiskapingspotensialet ligger i økt levetid og bedre ressursutnyttelse. Dette innebærer bedre kvalitet og økt levetid på det norske vegnettet, og dermed også mer veg for pengene. Det gir mer kilometer nyasfaltert veg for samme kostnad, reduserer etterslep, vesentlig redusert klimagassutslipp i tillegg til en mer bærekraftig forvaltning.

Prosjektet forventes også å kunne ha ringvirkninger til markeder og industri utenfor Norges grenser. Norsk Stein er Europas største produsent av tilslag og eksporterer allerede betydelige volum til det europeiske markedet. NCC Industry er ledende i Norden som asfaltprodusent. I et helhetlig perspektiv vil trolig de positive klimaeffektene dette prosjektet har til hensikt å belyse kunne få et enda større utbytte overført til vegnettet i Europa.

Norsk Stein vil gjennom dette prosjektet kunne styrke sin posisjon som tilslagsprodusent ytterligere i det nasjonale markedet, men også kunne anvende resultater fra denne forskningen til å nå enda bredere ut i det internasjonale markedet, særlig til markeder tilknyttet Østersjøen og Nordsjøen. Prosjektet vil bidra til å heve kompetansen og kunnskapen i Norsk Stein innenfor produksjon av tilslag, men også øke forståelsen av asfaltindustriens krav og behov vedrørende tilslag. Norsk Stein sitt anlegg på Tau skal fornyes og større investeringer er planlagt. Resultater fra dette prosjektet vil kunne benyttes til å påvirke hvordan et nytt produksjonsanlegg skal utformes. Potensielt vil resultatene kunne medføre at Norsk Stein kan redusere energiforbruket knyttet til produksjon og samtidig kunne levere et produkt som vil bidra til å øke levetiden til vegnettet i Norge. I tillegg vil Norsk Stein bidra til at vår særegne ressurs ved vårt produksjonsanlegg på Tau forvaltes og utnyttes best mulig for kommende generasjoner.

NCC ønsker å styrke sin kunnskap på levetidsberegning av asfalten de produserer, gjennom ønsket om å lage asfalttyper som er bærekraftige. I prosjektet skal det undersøkes nærmere om det er mulig å beholde en god sporutvikling selv om lagtykkelsen på et asfaltdekke reduseres. Det skal også gjøres nærmere vurderinger av hvilken påvirkning mølleverdi og flisighetsverdi har på tynndekke for sporutviklingen. Redusert lagtykkelse på asfaltdekke kontra tradisjonell lagtykkelse antas å ha positiv effekt. Det gir mer kilometer nyasfaltert veg for samme kostnad, reduserer etterslep, vesentlig redusert klimagassutslipp og det gir en mer bærekraftig forvaltning. Dette skal undersøkes nærmere og dokumenteres gjennom prosjektet.

SINTEF er et ledende forskningsinstitutt for bærekraft og grønn omstilling i det bygde samfunn, og prosjektet vil forsterke SINTEFs nasjonale posisjon i dette bildet. Verdiskapningen i prosjektet vil også ligge i økt bransjenettverk, økt konkurranseevne med tanke på ny, nasjonal og internasjonal forskning og kunnskapsutvikling samt styrket internt samarbeid på tvers av fag i egen organisasjon. Prosjektet vil overordnet være et viktig bidrag i SINTEF sin visjon – Vi utvikler fremtidens løsninger for det bygde samfunn.

4.2 Samfunnsøkonomisk nytteverdi

Prosjektet forventes å gi stor samfunnsøkonomisk nytteverdi. Gjennom bedre utnyttelse av steinmasser av høy kvalitet til produksjon av asfaltdekker vil man kunne sikre økt levetid på vegnettet. Dette vil komme samfunnet til gode gjennom blant annet reduserte klimagassutslipp og reduserte kostnader. Gjennom økt levetid og dermed også økt intervall mellom hver gang det må asfalteres kan man forvente ytterligere reduksjoner. Det kan derfor antas at man ved bruk av asfaltdekker med lengre levetid vil kunne få mer veg for pengene. Dette vil komme samfunnet til gode ved å kunne øke både bygging av nye veger, men ikke minst bidra til å redusere etterslepet

av drift og vedlikehold på det norske vegnettet. For den enkelte vil også en økning i intervallet mellom hver reasfaltering resultere i sjeldnere stengning av vegen.

Prosjektet vil ha stort fokus på formidling av prosjektets resultater, og det vil bli lagt til rette for at resultatene og kompetansen som utvikles i prosjektet skal komme andre enn prosjektdeltagerne til gode. Dette omfatter blant annet utarbeidelse av anbefalinger knyttet til en koeffisient eller faktor som kan benyttes for å bedre anslå forventet levetid for et slitelag av asfaltdekker basert på tilslaget som er benyttet (prosjektets delmål 6). Dette vil være innspill til dagens krav og beskrivelser, med mål om at kunnskapen fra prosjektet vil være med på å endre måten vi benytter ulike typer masser i asfaltproduksjon i Norge. Prosjektets resultater forventes derfor å komme både markeds- og beslutningstakere til nytte. Med bakgrunn i dette mener vi at prosjektet vil være med å bidra til det grønne skiftet, samt gi økt verdiskapning i regionen.

Prosjektet forventes i tillegg å bidra til å oppfylle flere av FNs bærekraftsmål, hvor de mest relevante er følgende;

- FNs mål nr. 9: Industri, innovasjon og infrastruktur. Dette målet har fokus på den underliggende strukturen som å være til plass for at et samfunn skal fungere og bidra til en bærekraftig utvikling. Dette omfatter eksempelvis transportinfrastruktur.
- FNs mål nr. 11: Bærekraftige byer og lokalsamfunn. Dette målet fokuserer blant annet på trygge, tilgjengelige og bærekraftige transportsystemer og reduksjon av negativ påvirkning på miljøet med særlig vekt på luftkvalitet og avfallshåndtering.
- FNs mål nr. 12: Ansvarlig forbruk og produksjon. I dette målet påpekes nødvendigheten og behovet for å sikre bærekraftig forbruk og produksjon, noe som omfatter å gjøre mer med mindre ressurser og redusere ressursbruken. I dette ligger også et mål om at verden innen 2030 skal oppnå bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser.

4.3 Regional relevans og samfunnsnytte

Norge har som mål å realisere en grønn økonomisk vekst gjennom nye forretningsmuligheter. En slik vekst skal bidra til økt konkurransevne og verdiskapning for norsk industri, bl.a. med lavere miljøbelastning. Realiseringen og effektene av prosjektet gir mer kilometer nyasfaltert veg for samme kostnad, reduserer etterslep, vesentlig redusert klimagassutslipp og det gir en mer bærekraftig forvaltning. Av Norges 24 klima- og miljømål [11] er flere knyttet til tematikken om omhandles i dette prosjektet, eksempelvis økt materialgjenvinning, at Norge under Parisavtalen har forpliktet seg til å redusere utslippene av klimagasser med minst 55% i 2030 sammenlignet med nivået i 1990, at Norge skal være klimanøytralt i 2030 og at Norge har lovfestet et mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050.

I Regionalplan for klimaomstilling i Rogaland, forslag til planprogram [12] er det foreslått totalt seks deltemaer i planarbeidet, eksempelvis redusere direkte utslipp og sirkulær ressursbruk. Dette er temaområder som vil være viktige for at det både regionalt og nasjonalt vil være mulig å nå målene om reduserte klimagassutslipp. Det er avgjørende å lykkes med klimaomstillingen, for å sikre et godt samfunn for kommende generasjoner. For at dette skal bli mulig, vil det være nødvendig med et bredt og godt samarbeid mellom alle aktører i Rogaland slik at alle drar i samme retning.

Prosjektet forventes å ha stor relevans og samfunnsnytte for regionen, som følge av bedre ressursutnyttelse og økt levetid på asfaltdekkene. Dette omfatter blant annet redusert uttak og dermed økt levetid på ikke-fornybare ressurser og reduserte klimagassutslipp i forbindelse med produksjon og utlegging av asfalt. I et mer langsiktig perspektiv vil man også kunne oppnå reduserte kostnader og klimagassutslipp gjennom økt levetid på asfaltdekker som igjen øker intervallet mellom hver gang det må reasfalteres. Dette vil også redusere omfanget av anleggsarbeider, noe som vil medføre sjeldnere behov for reasfaltering og midlertidig stengte veger i forbindelse med dette. Kunnskapen fra prosjektet planlegges delt med bransjen, både regionalt og nasjonalt. Et av prosjektets delmål er at kunnskap og erfaringer fra prosjektet vil danne grunnlag for anbefalinger for revisjon av aktuelle standarder og håndbøker.

4.4 Plan for realisering av innovasjonen

Gjennom et tett samarbeid mellom partnerne i prosjektet ønsker man å etablere ny kunnskap om sammenheng mellom tilslagets egenskaper og asfaltdekkers levetid. Prosjektet har som mål å etablere erfaringsgrunnlag som viser betydningen av tilslagets egenskaper på asfaltdekkets levetid. Videre vil prosjektet bringe frem kunnskap om denne betydningen slik at dette kan vektes i en vurdering av hvilket tilslag som bør benyttes i et klima- og miljøperspektiv. For at dette skal kunne realiseres, vil det være nødvendig å få kartlagt levetid og miljøfotavtrykk for "ny asfalt" med lang levetid. En viktig del av arbeidet vil også omfatte utarbeidelse av en koeffisient eller faktor som kan benyttes for å anslå forventet levetid for et slitelag av asfaltdekke basert på tilslaget som er benyttet. I dette ligger også utarbeidelse av kunnskapsbasert informasjon og anvendbare råd for dimensjonering av levetid på asfaltdekker, som vil være verdifulle innspill til revisjon av ulike standarder og håndbøker.

Etablering av kunnskap og et "nytt" produkt med dokumentert lengre levetid en "normale" asfaltdekker forventes å ha et betydelig marked, i første omgang lokalt og regionalt. På sikt forventes dette også å kunne bli av nasjonal betydning. Dersom man lykkes med denne innovasjonen, vil det i løpet av de neste årene kunne bidra direkte til flere årsverk, både hos de involverte bedriftene samt øvrige aktører i bransjen.

Det foreligger enkelte risikoelementer i forbindelse med prosjektet. Dette er eksempelvis knyttet til laboratorietesting, slik som uttak av prøver og selve gjennomføring av testene hvor ulike feilkilder kan forekomme. For å redusere denne risikoen planlegges det ringprøving, det vil si at samme prøvemateriale testes ved flere laboratorier. Prosjektet vil også følge ringanalysen som er planlagt gjennomført av NAMet (Metodegruppen i Norsk Asfaltforening), hvor alle laboratorier med utstyr for testing av prall test og wheel track deltar. Også dette vil være med på å redusere risikoen knyttet til laboratorieresultatene som framkommer i prosjektet. Det foreligger også en risiko for at prosjektet ikke vil finne egnede prøvestrekninger for uttesting i felt. I tillegg foreligger det mulige feilkilder i at underliggende lag i vegkonstruksjonen ikke er stabil nok eller er av en slik kvalitet at dette vil være med på å gi et feil bilde av sporutviklingen i asfaltdekket. Denne risikoen søkes redusert gjennom valg av prøvestrekning.

5 Referanser

- [1] Alnæs, L.I., XX (2019). Kortreist stein – Produksjon og bruk av overskuddsmasser. Beste praksis og vegen videre. SINTEF.
- [2] Kortreist stein (2019). www.kortreiststein.no.
- [3] Statens vegvesen Vegdirektoratet (2022). Håndbok N200 Vegbygging.
- [4] SSB (2016). Drivstofforbruk og utslipp per kjørt kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper. <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>
- [5] Horvli, I. og Værnes, E. (2006). SIV – Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker. Oppsummeringsrapport. SINTEF.
- [6] Standard Norge (2008). NS-EN 13043:2002+NA:2008: Tilslag for asfalt.
- [7] Evensen, R. og Aksnes, J. (2008). Miljøvennlige vegdekker: sluttrapport. Teknologivdelingen nr. 2562. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/193584>, 2008.
- [8] Sund, E. (2006). Dekkelevetid Region øst. Teknologirapport nr. 2603. SVV.
- [9] Bakløkk, L. J. (2017). Varige veger, sluttrapport: Etatsprogrammet Varige veger 2011-2015. Statens vegvesens rapporter nr. 598.
- [10] Aurstad, J. et al. (2016). Lærebok Vegteknologi, Statens vegvesens rapporter nr. 626.
- [11] Miljøstatus (internett 2023). Norges 24 klima- og miljømål. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/miljomaal/>.
- [12] Rogaland fylkeskommune (2023). Regionalplan for klimaomstilling i Rogaland, Forslag til planprogram.

A.4 Sikteanalyse for finknuserne (med og uten VSI) på Tau

Tabell A.2: Sikteanalyse for finknuserne på Tau

Fraksjon	FK1		FK2		FK3		FK4	
	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
M1	2803,2	3210,0	5989,6	5781,5	5914,8	5160,3	3732,5	5155,1
M2	2789,5	3153,2	5789,7	5626,3	5752,5	4979,0	3686,0	5005,9
Finstoff	29,1	117,2	412,4	319,8	335,9	371,7	96,9	306,1
31,5	642,3	534,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22,4	942,1	482,3	284,2	410,4	289,5	103,7	289,4	300,7
16	541,6	832,7	1133,5	1103,9	911,4	509,8	1041,9	926,4
11,2	398,0	597,6	1139,6	1076,2	1336,4	1085,3	821,2	1054,0
8	139,9	235,8	864,9	858,6	1020,3	871,4	566,4	769,0
5,6	51,4	107,0	612,0	613,3	628,6	624,0	365,8	489,0
4	23,2	79,0	452,2	446,6	414,4	432,4	328,9	375,5
2	20,7	92,9	500,7	487,6	442,3	524,2	203,7	434,9
1	5,4	53,7	312,6	261,1	285,4	295,9	83,3	264,2
0,5	12,8	54,2	197,9	154,6	178,3	253,9	47,2	165,3
0,25	4,2	27,3	128,2	89,3	108,2	126,4	24,8	100,9
0.125	3,6	31,7	87,0	64,6	71,8	82,9	17,4	68,1
SUM	2803,9	3208,6	5989,5	5781,8	5914,2	5159,9	3855,3	5155,6
Differanse	-0,7	1,4	0,1	-0,3	0,6	0,4	-122,8	-0,5

Tabell A.3: Prosentvis (kumulativ) fremstilling av kornfordeling fra finknuserne på Tau.

Fraksjon	FK1		FK2		FK3		FK4	
	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
M2	99,51 %	98,23%	96,66%	97,32%	97,26%	96,49%	98,75%	97,11%
Finstoff	1,04%	3,65%	6,89%	5,53%	5,68%	7,20%	2,60%	5,94%
45	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
31,5	77,09%	83,33%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
22,4	43,49%	68,30%	95,26%	92,90%	95,11%	97,99%	92,49%	94,17
16	24,18%	42,35%	76,33%	73,81%	79,69%	88,11%	68,47%	76,20%
11,2	9,98%	23,72%	57,30%	55,20%	57,10%	67,08%	44,17%	55,75%
8	4,99%	16,37%	42,86%	40,35%	39,85%	50,19%	29,48%	40,84%
5,6	3,16%	13,04%	32,65%	29,74%	29,22%	38,10%	19,99%	31,35%
4	2,33%	10,58%	25,10%	22,01%	22,21%	29,72%	11,46%	24,07%
2	1,59%	7,68%	16,74%	13,58%	14,73%	19,56%	6,17%	15,64%
1	1,40%	6,01%	11,52%	9,06%	9,91%	13,82%	4,01%	10,51%
0,5	0,95%	4,32%	8,21%	6,39%	6,89%	8,90%	2,79%	7,30%
0,25	0,80%	3,47%	6,07%	4,85%	5,06%	6,45%	2,15%	5,35%
0.125	0,67%	2,48%	4,62%	3,73%	3,85%	4,85%	1,69%	4,03%

A.5 Kulemølleresultater fra Tau

Tabell A.4: Kulemølleresultater fra finknuserne med og uten VSI fra Tau.

		FK1		FK2		FK3		FK4	
		Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
	Vekt inn	1045,0	1045,2	1045,5	1045,5	1045,2	1045,6	1045,5	1045,6
Parallell 1	> 2 mm etter test	976,8	981,6	972,2	983,3	961,9	974,6	968,4	976,2
	A_{N1}	6,53 %	6,08 %	7,01 %	5,95 %	7,97 %	6,79 %	7,37 %	6,64 %
	Vekt inn	1045,2	1045,4	4045,4	1045,2	1045,1	1045,1	1045,5	1045,0
Parallell 2	> 2 mm etter test	977,5	985,2	971,8	983,9	964,9	978,6	964,7	975,0
	A_{N2}	6,48 %	5,76 %	7,04 %	5,86 %	7,67 %	6,36 %	7,73 %	6,70 %
Felles	A_N	6,50 %	5,92 %	7,03 %	5,91 %	7,82 %	6,58 %	7,55 %	6,67 %

Tabell A.5: Kulemølleresultater for GK1, MK1, MK2, TB4, TB5 og TB6 fra Tau med og uten VSI.

		GK1	MK1	MK2	TB4	TB6	TB5
		Uten	Uten	Uten	Med	Med	Med
	Vekt inn	1045,2	1045,8	1045,5	1045,1	1045,4	1045,6
Parallell 1	> 2 mm etter test	940,2	879,1	943,5	971,8	987,8	980,6
	A_{N1}	10,05 %	15,94 %	9,76 %	7,01 %	5,51 %	6,22 %
	Vekt inn	1045,3	1045,7		1045,6	1045,1	1045,5
Parallell 2	> 2 mm etter test	943,8	879,0		973,3	983,1	983,5
	A_{N2}	9,71 %	15,94 %		6,91	5,93 %	5,93 %
Felles	A_N	9,88 %	15,94 %	9,76 %	6,96 %	5,72 %	6,07 %

A.6 Flisighetsindeks fra ulike knusetrinn på Tau

Tabell A.6: Flisighetsindeks for GK1, MK1 og MK2 (Tau), alle disse prøvene er uten VSI.

Vekt prøve Kassert fraksjon	GK1		MK1		MK2	
	3761,6		4556,5		2987,3	
	1334,6		249,4		536,4	
40/50	0,0	0,0	290,0	157,0	0,0	0,0
32/40	0,0	0,0	594,5	226,1	247,3	115,7
25/32	0,0	0,0	839,4	361,5	466,2	88,8
20/25	81,4	23,1	739,1	248,4	382,1	49,6
16/20	422,6	90,5	538,8	156,5	273,8	64,0
12/16	500,8	123,2	383,0	204,5	291,5	90,5
10/12	357,4	94,8	321,5	131,9	239,5	67,4
8/10	293,7	75,9	244,2	131,1	203,9	78,1
6/8	276,0	80,3	153,3	96,2	138,4	47,3
5/6	254,1	68,2	117,5	62,1	109,3	38,9
4/5	241,0	68,0	85,8	47,1	98,9	39,0
SUM	2427,0	624,0	4307,1	1822,4	2450,9	679,3
FI (hele kurven)		25,7 %		42,3 %		27,7 %
FI (8/16mm)		25,5 %		49,3%		32,1 %
FI (10/16 mm)		25,4 %		47,8 %		29,7 %

Tabell A.7: Flisighetsindeks for TB4, TB5 og TB6 (Tau), alle disse prøvene er med VSI.

Vekt prøve	TB6		TB5		TB4	
	2642,0		4030,2		7391,3	
Kassert fraksjon	1,2		515,1		923,7	
40/50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32/40	0,0	0,0	123,9	0,0	353,1	104,9
25/32	0,0	0,0	159,9	21,4	368,7	47,6
20/25	0,0	0,0	375,0	23,3	648,5	35,0
16/20	392,8	5,7	836,9	13,9	1712,2	78,5
12/16	1487,9	109,4	787,6	32,1	1198,5	94,3
10/12	690,8	35,9	443,1	44,3	789,3	90,5
8/10	67,4	2,3	282,9	35,4	526,3	71,1
6/8	1,9	0,0	200,6	24,6	326,2	61,7
5/6	0,0	0,0	174,7	19,3	305,9	51,5
4/5	0,0	0,0	130,5	20,8	238,9	52,4
SUM	2640,8	153,3	3391,2	235,1	6114,5	582,6
FI (hele kurven)		5,8 %		6,9 %		9,5 %
FI (8/16mm)		6,6 %		7,4 %		10,2 %
FI (10/16 mm)		6,7 %		6,2 %		9,3 %

Tabell A.8: Flisighetsindeks for FK1 og FK2, med og uten VSI (Tau).

	FK1				FK2			
	Uten		Med		Uten		Med	
Vekt prøve	4193,2		4755,1		3282		3750,7	
Kassert fraksjon	201,6		496,5		685,3		711,1	
40/50	82,5	0,0	142,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32/40	581,8	0,0	504,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25/32	566,3	21,8	684,8	37,0	87,7	26,2	84,5	28,9
20/25	172,4	0,0	570,3	39,7	292,2	0,0	293,1	24,7
16/20	907,8	49,5	789,2	15,5	399,8	61,7	757,7	29,5
12/16	762,1	68,4	672,1	35,1	476,0	38,6	482,7	20,2
10/12	455,4	42,1	425,9	16,5	398,5	54,7	471,1	47,8
8/10	203,0	32,0	180,0	17,9	361,8	63,0	301,5	27,2
6/8	113,5	27,5	101,1	18,4	223,5	57,6	241,6	36,4
5/6	84,6	20,7	98,9	18,3	194,0	40,5	222,8	27,2
4/5	62,2	21,3	89,5	15,5	163,2	37,4	184,6	27,9
SUM	3991,6	293,3	4258,6	213,9	2596,7	379,7	3039,6	269,8
FI (hele kurven)	7,1%		5,0%		14,6%		8,9%	
FI (8/16mm)	10,0%		5,4%		12,6%		7,6%	
FI (10/16 mm)	9,1%		4,7%		10,7%		7,1%	

Tabell A.9: Flisighetsindeks for FK3 og FK4, med og uten VSI (Tau).

	FK3				FK4			
	Uten		Med		Uten		Med	
Vekt prøve	4510,4		4271,3		6045,7		4969,9	
Kassert fraksjon	777,7		934,2		861,1		811,8	
40/50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32/40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25/32	61,9	35,6	26,7	26,7	143,6	22,3	27,6	0,0
20/25	116,5	11,1	125,0	28,4	512,9	13,9	415,7	0,0
16/20	669,2	50,3	464,2	48,2	1089,6	59,1	962,0	40,9
12/16	967,2	94,2	765,9	62,4	1016,9	76,1	749,9	27,0
10/12	726,4	88,9	616,9	65,9	799,1	67,8	646,2	41,3
8/10	485,8	75,5	486,1	45,7	610,6	53,8	489,8	29,9
6/8	308,6	50,0	334,9	39,2	405,8	59,9	337,6	32,8
5/6	220,4	44,1	291,1	32,4	335,7	45,9	292,9	26,7
4/5	176,7	37,1	226,3	30,6	270,4	40,9	236,4	24,0
SUM	3732,7	486,8	3337,1	379,5	5184,6	439,7	4158,1	222,6
FI (hele kurven)	13,0 %		11,4 %		8,5 %		5,4 %	
FI (8/16mm)	11,9 %		9,3 %		8,1 %		5,2 %	
FI (10/16 mm)	10,8 %		9,3 %		7,9 %		4,9 %	

A.7 Kulemølleresultater fra Jøsenfjorden, Tau, Jelsa og Dirdal

Tabell A.10: Kulemølleresultater fra Tau uten VSI, med VSI x1 og med VSI x2 (Jøsenfjorden). Densitet = $2,770g/cm^3$

		Uten	x1	x2
Parallell 1	Vekt inn	1045,6	1045,5	1045,4
	> 2 mm etter test	905,1	952,7	957,8
	A_{N1}	13,44 %	8,88 %	8,38 %
Parallell 2	Vekt inn	1045,6	1045,7	1045,6
	> 2 mm etter test	907,5	948,4	955,0
	A_{N2}	13,21 %	9,30 %	8,67 %
Felles	A_N	13,32 %	9,09 %	8,52 %

Tabell A.11: Kulemølleresultater fra Jelsa uten VSI, med VSI x1 og med VSI x2 (Jøsenfjorden). Densitet = $2,770g/cm^3$

		Uten	x1	x2
Parallell 1	Vekt inn	1045,6	1045,2	1045,1
	> 2 mm etter test	904,3	938,3	943,1
	A_{N1}	13,51 %	10,23 %	9,76 %
Parallell 2	Vekt inn	1045,0	1045,1	1045,4
	> 2 mm etter test	905,0	944,4	943,3
	A_{N2}	13,40 %	9,64 %	9,77 %
Felles	A_N	13,46 %	9,93 %	9,76 %

Tabell A.12: Kulemålleresultater fra Dirdal uten VSI, med VSI x1 og med VSI x2 (Jøsenfjorden).
 Densitet = $2,82g/cm^3$

		Uten	x1	x2
Parallell 1	Vekt inn	1064,2	1064,4	1064,4
	> 2 mm etter test	833,4	895,4	911,4
	A_{N1}	21,69 %	15,88 %	14,37 %
Parallell 2	Vekt inn	1064,2	1064,5	1064,2
	> 2 mm etter test	827,3	894,8	904,9
	A_{N2}	22,26 %	15,94 %	14,97 %
Felles	A_N	21,97 %	15,91 %	14,67 %

A.8 Flisighetsindeks fra Tau, Jelsa og Dirdal (Jøsenfjorden)

Tabell A.13: Flisighetsindeks for Tau-prøver i Jøsenfjorden.

TAU	Uten VSI		VSI x1		VSI x2	
Vekt prøve	3593,0		2831,0		2960,7	
Kassert fraksjon	907,1		302,9		111,7	
40/50	0,0	0,0	95,3	95,3	0,0	0,0
31,5/40	100,9	0,0	61,7	61,7	79,0	0,0
25/32	344,9	68,1	117,5	0	180,3	0,0
20/25	195,2	62,8	240,2	10,3	270,9	0,0
16/20	409,4	101,5	460,5	29,2	355,9	44,0
12/16	346,8	60,1	505,6	33,7	613,4	53,5
10/12	327,5	73,1	417,7	44,9	747,7	49,9
8/10	295,5	66,4	405,9	38,7	548,5	34,6
6/8	241,3	61,9	159,2	14,8	46,8	2,5
5/6	225,2	55,5	45,3	4,3	4,1	0,2
4/5	199,7	46,3	19,3	1,8	2,0	0,1
SUM	2686,4	595,7	2528,2	334,7	2848,6	184,8
FI (hele kurven)	22,17 %		13,24 %		6,49 %	
FI (8/16mm)	20,58 %		8,82 %		7,23 %	
FI (10/16 mm)	19,75 %		8,51 %		7,60 %	

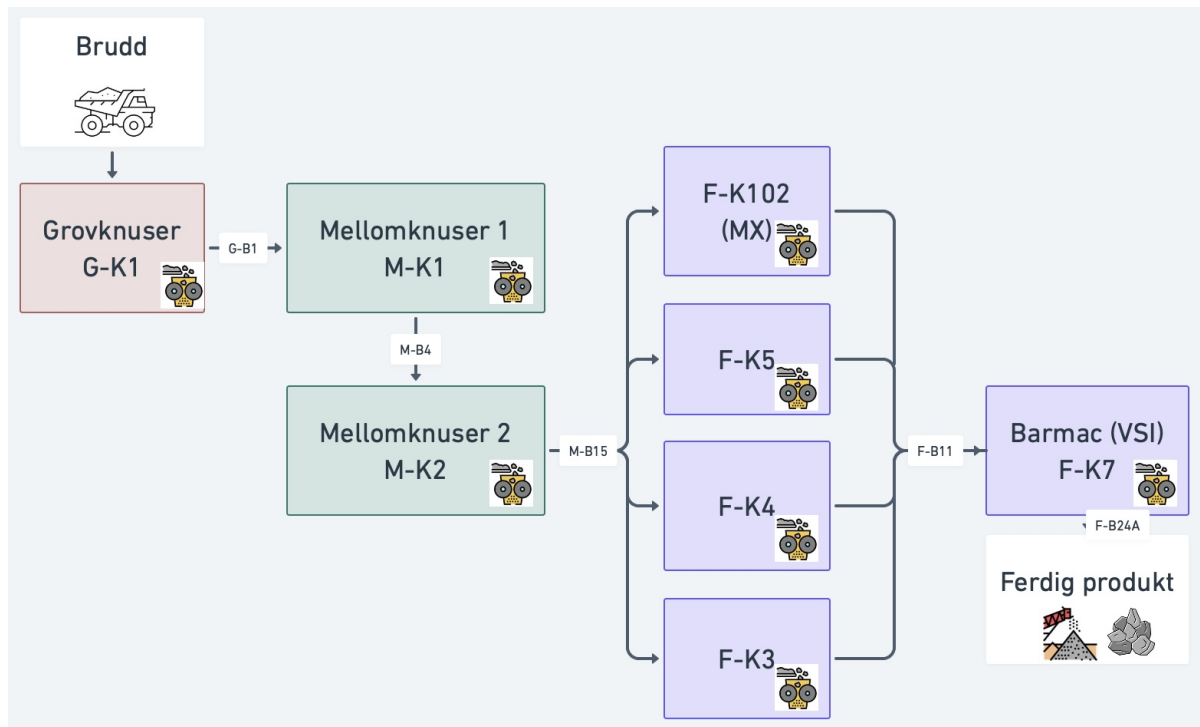
Tabell A.14: Flisighetsindeks for Jelsa-prøver i Jøsenfjorden.

JELSA	Uten VSI		VSI x1		VSI x2	
Vekt prøve	3696,4		2831,0		3327,3	
Kassert fraksjon	1300,1		302,9		29,9	
31,5/40	60,9	0,0	107,6	0,0	275,7	0,0
25/32	256,3	0,0	445,7	85,4	316,4	0,0
20/25	261,8	0,0	675,7	27,8	439,9	14,0
16/20	283,1	9,2	685,3	23,2	781,5	0,0
12/16	330,8	72,0	645,0	58,4	627,0	16,0
10/12	297,0	71,1	669,5	61,9	469,2	9,8
8/10	271,4	61,3	555,4	43,8	367,4	9,7
6/8	219,8	48,2	63,2	3,8	13,8	0,1
5/6	227,2	47,2	7,3	0,5	3,2	0,3
4/5	188,7	40,8	6,0	0,1	2,2	0,1
SUM	2397	349,8	3860,7	304,9	3296,3	49,95
FI (hele kurven)	14,59 %		7,90 %		1,52 %	
FI (8/16mm)	22,73 %		8,78 %		2,43 %	
FI 10/16 mm)	22,79 %		9,15%		2,35 %	

Tabell A.15: Flisighetsindeks for Dirdal-prøver i Jøsenfjorden.

DIRDAL	Uten VSI		VSI x1		VSI x2	
Vekt prøve	3715,7		2898,1		4010,4	
Kassert fraksjon	1246,4		201,7		158,6	
31,5/40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25/32	327,6	20,3	310,7	19,4	182,4	0,0
20/25	319,9	60,0	186,4	40,6	637,1	33,5
16/20	379,2	101,1	398,9	67,5	706,4	44,4
12/16	319,8	120,9	463,4	81,2	832,3	53,4
10/12	315,5	93,7	524,3	81,9	877,3	56,5
8/10	259,4	81,7	598,8	78,9	554,7	21,9
6/8	196,5	56,9	179,2	17,8	52,5	0,2
5/6	185,8	54,4	25,8	0,8	6,9	0,2
4/5	165,1	44,2	8,1	0,4	3,9	0,1
SUM	2468,8	633,2	2695,6	388,5	3853,2	210,2
FI (hele kurven)	25,65 %		14,41 %		5,46 %	
FI (8/16mm)	33,12 %		15,25 %		5,82 %	
FI 10/16 mm)	33,75 %		16,51 %		6,43 %	

A.9 Prosess-skisse Tau



Skisse av produksjonsanlegget på Tau, en illustrasjon på hvordan sprengte steinmaterialer fra brudd behandles for analyse i denne masteroppgaven med Norsk Steins egne navn på knusere og transportbånd.

B - Laboratorierapporter

Grovknuser 1



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 05.01.2024
 Vasking og sikting
 Tørsikting

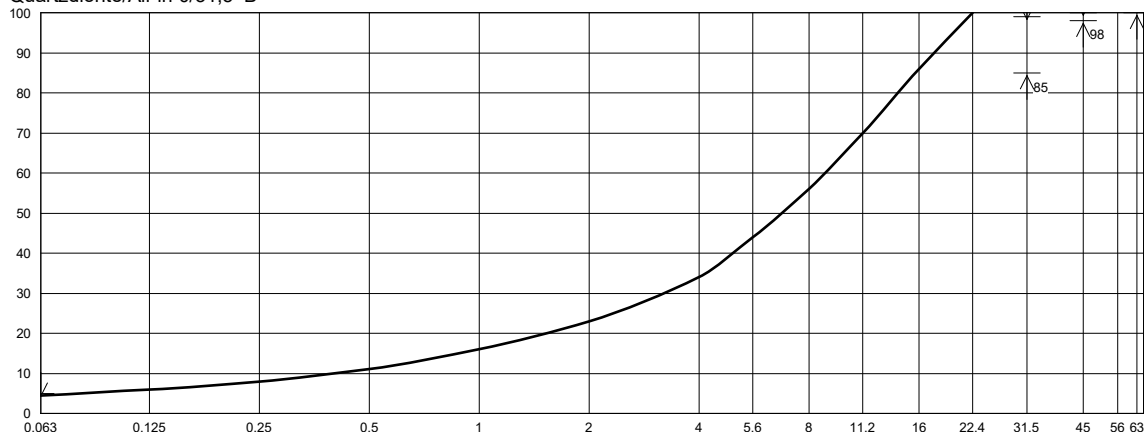
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 05.01.2024

Total tørr masse M_1 = 3924,3
 Tørr masse etter vasking M_2 = 3758,9
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ = 165,4
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,5

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5				99,6	85,0	99,0
22,4			100	84,2		
16	563,9	14	86	61,2		
11,2	619,0	16	70	42,5		
8	547,8	14	56	37,1		
5,6	467,3	12	44	31,4		
4	379,1	10	34	26,2		
2	434,2	11	23	19,0		
1	292,5	7	16	13,2		
0,5	192,0	5	11	9,6		
0,25	120,7	3	8	7,2		
0,125	78,6	2	6	5,8		
< 0,063	< 52,6	< 1,5	< 4,5	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	175,4	4,5				
Sum	3923,1	100,0	0,0	< 1% Prosentsats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 05.01.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 05.01.2024

Vekt prøve: 3761,6

Kasserte fraksjonen 1335,0

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40	0,0	0
50/63		31,5	0,0	0
40/50		25	0,0	0
32/40		20	0,0	0
25/32		16	0,0	0
20/25	81,4	12,5	23,1	28
16/20	422,6	10	90,5	21
12/16	500,8	8	123,2	25
10/12	357,4	6,3	94,8	27
8/10	293,7	5	75,9	26
6/8	276,0	4	80,3	29
5/6	254,1	3,15	68,2	27
4/5	241,0	2,5	68,0	28
SUM =	2427,0	SUM =	624,0	

FI = 26

05.01.2024

C. Duncan



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 05.01.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 05.01.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,2	Vekt prøve 2:	1045,3	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	940,2	943,8	943,8	-	-	-	-
A_{N1}	10,0	A_{N2}	9,7	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	9,85	* 0,07 =	0,99	≥ 0,30 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	9,85	* 0,06 =	0,89	≥ 0,21 ?	ja		
A_N	9,85			std.av.			

05.01.2024

C. Duncan

Mellomsknuser 1



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 01.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Duncan
Dato utført 01.03.2024

Vekt prøve: 4556,5

Kasserte fraksjonen 249,4

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50	290,0	25	157,0	54
32/40	594,5	20	226,1	38
25/32	839,4	16	361,5	43
20/25	739,1	12,5	248,4	34
16/20	538,8	10	156,5	29
12/16	383,0	8	204,5	53
10/12	321,5	6,3	131,9	41
8/10	244,2	5	131,1	54
6/8	153,3	4	96,2	63
5/6	117,5	3,15	62,1	53
4/5	85,8	2,5	47,1	55
SUM =	4307,1	SUM =	1822,4	

FI = 42

Motstand mot piggdekkslitasje



Test:	NS-EN 1097-9		Laboratorium:	Tau	
Identifikasjon av prøven:	MK 1	Master Anne	Operatør:	Anne	
Dato mottatt/uttatt:	29.02.24		Dato utført:	29.02.2024	
Densitet:	2,770	g/cm ³			
Vekt prøve 1:	1045,8	g	Vekt prøve 2:	1045,7	g
Sikteåpning	Vekt		Sikteåpning	Vekt	
(mm)	(g)		(mm)	(g)	
14			14		
8			8		
2	879,1		2	879	
A_{N1} =	15,9		A_{N2} =	15,9	
A_N =	15,9				
Avvik resultat	Krav < 7% av snitt				
Dato:	29.02.2024				
Signatur	_____				

Mellomsknuser 2



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

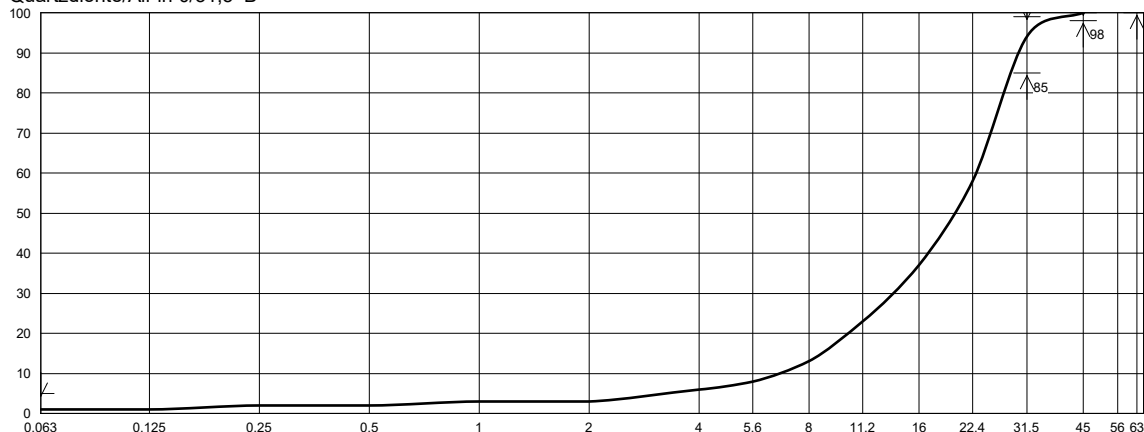
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 2348,7
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 2328,8
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 19,9
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45			100	100,0	98,0	100,0
31,5	150,5	6	94	99,6	85,0	99,0
22,4	837,9	36	58	84,2		
16	483,1	21	37	61,2		
11,2	344,8	14	23	42,5		
8	234,7	10	13	37,1		
5,6	106,7	5	8	31,4		
4	61,8	2	6	26,2		
2	53,5	3	3	19,0		
1	12,7	0	3	13,2		
0,5	24,5	1	2	9,6		
0,25	5,6	0	2	7,2		
0,125	7,1	1	1	5,8		
< 0,063	< 6,3	< 0,0	< 1,0	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	22,9	1,0				
Sum	2352,1	100,0	-0,1	< 1% Prosentsats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 2987,3

Kasserte fraksjonen 536,5

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	247,3	20	115,7	47
25/32	466,2	16	88,8	19
20/25	382,1	12,5	49,6	13
16/20	273,8	10	64,0	23
12/16	291,5	8	90,5	31
10/12	239,5	6,3	67,4	28
8/10	203,9	5	78,1	38
6/8	138,4	4	47,3	34
5/6	109,3	3,15	38,9	36
4/5	98,9	2,5	39,0	39
SUM =	2450,9	SUM =	679,3	

FI = 28



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,5	Vekt prøve 2:	0,0	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	943,5	0,0	0,0	-	-	-	-
A_{N1}	9,8	A_{N2}	0,0	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	9,80	* 0,07 =	0,98	≥ 0,00 ?	nej		
(∑ A_{Ni})/i	9,80	* 0,06 =	0,88	≥ 0,00 ?	nej		
A_N	9,80						

Finknuser 1 med VSI

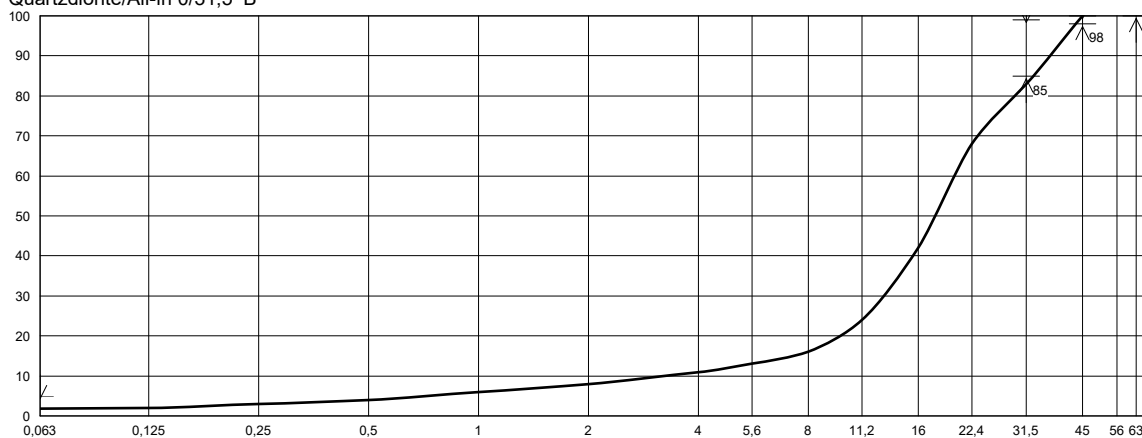


Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	Norsk-Stein "Tau"
Identifikasjon av prøven	0/31,5 mm K3 Etter kubesator Band fb24a	Operatør	Gundersen
Dato mottatt/uttatt	01.02.2024	Dato utført	01.02.2024
Metod (angi)	<input checked="" type="checkbox"/> Vasking og sikting <input type="checkbox"/> Tørsikting		

Total tørr masse M_1 = 3210,0
 Tørr masse etter vasking M_2 = 3153,2
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ = 56,8
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45			100	100,0	98,0	100,0
31,5	534,8	17	83	99,6	85,0	99,0
22,4	482,3	15	68	84,2		
16	832,7	26	42	61,2		
11,2	597,6	18	24	42,5		
8	235,8	8	16	37,1		
5,6	107,0	3	13	31,4		
4	79,0	2	11	26,2		
2	92,9	3	8	19,0		
1	53,7	2	6	13,2		
0,5	54,2	2	4	9,6		
0,25	27,3	1	3	7,2		
0,125	31,7	1	2	5,8		
< 0,063	< 19,2	< 0,1	< 1,9	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	60,4	1,9				
Sum	3208,6	100,0	0,0	< 1% Prosentatsats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



01.02.2024 Dato	J. Gundersen Signatur
--------------------	--------------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm K3 etter kubesator Band fb24a
Dato mottatt/uttatt 01.02.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Gundersen
Dato utført 01.02.2024

Vekt prøve: 4755,1

Kasserte fraksjonen 496,4

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50	142,4	25	0,0	0
32/40	504,4	20	0,0	0
25/32	684,8	16	37,0	5
20/25	570,3	12,5	39,7	7
16/20	789,2	10	15,5	2
12/16	672,1	8	35,1	5
10/12	425,9	6,3	16,5	4
8/10	180,0	5	17,9	10
6/8	101,1	4	18,4	18
5/6	98,9	3,15	18,3	19
4/5	89,5	2,5	15,5	17
SUM =	4258,6	SUM =	213,9	

FI = 5

01.02.2024

J. Gundersen



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm K3 etter kubesator Band fb24a
 Dato mottatt/uttatt 01.02.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Gundersen
 Dato utført 01.02.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,2	Vekt prøve 2:	1045,4	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	981,6	985,2	985,2	-	-	-	-
A_{N1} =	6,1	A_{N2} =	5,8	A_{N3} =		A_{N4} =	
(A_{N1}+A_{N2})/2 =	5,95	* 0,07 =	0,60	≥ 0,30 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i =	5,95	* 0,06 =	0,54	≥ 0,21 ?	ja		
A_N =	5,95						

01.02.2024

J. Gundersen

Finknuser 1 uten VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

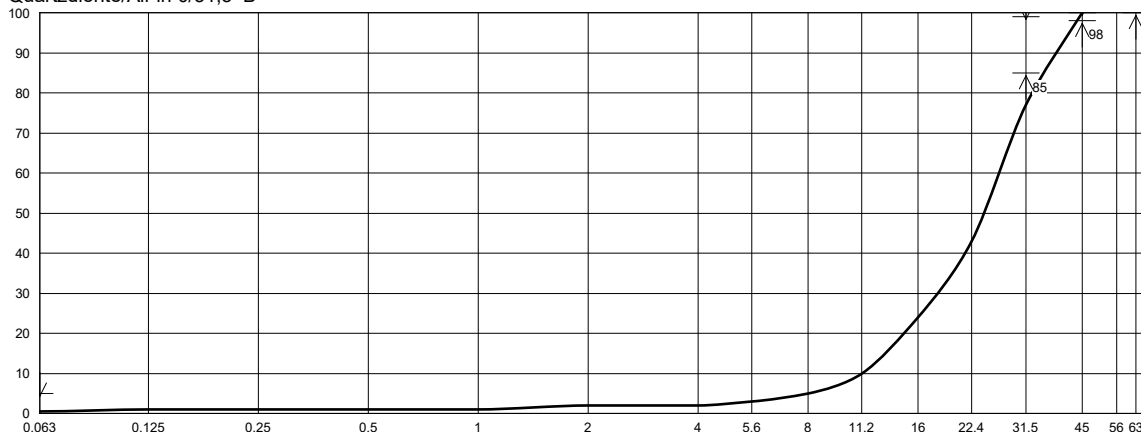
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 2803,2
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 2789,5
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 13,7
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45			100	100,0	98,0	100,0
31,5	642,3	23	77	99,6	85,0	99,0
22,4	942,1	34	43	84,2		
16	541,6	19	24	61,2		
11,2	398,0	14	10	42,5		
8	139,9	5	5	37,1		
5,6	51,4	2	3	31,4		
4	23,2	1	2	26,2		
2	20,7	0	2	19,0		
1	5,4	1	1	13,2		
0,5	12,8	0	1	9,6		
0,25	4,2	0	1	7,2		
0,125	3,6	0	1	5,8		
< 0,063	< 3,3	< 0,5	< 0,5	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	15,4	0,5				
Sum	2803,9	100,0	-0,0	< 1% Prosentsats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 4193,2

Kasserte fraksjonen 202,4

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50	82,5	25	0,0	0
32/40	581,8	20	0,0	0
25/32	566,3	16	21,8	4
20/25	172,4	12,5	0,0	0
16/20	907,8	10	49,5	5
12/16	762,1	8	68,4	9
10/12	455,4	6,3	42,1	9
8/10	203,0	5	32,0	16
6/8	113,5	4	27,5	24
5/6	84,6	3,15	20,7	24
4/5	62,2	2,5	21,3	34
SUM =	3991,6	SUM =	283,3	

FI = 7



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,0	Vekt prøve 2:	1045,2	Vekt prøve 3:	1045,5	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
2	976,8	977,5	974,5	974,5	974,5	-	-
A_{N1}	6,5	A_{N2}	6,5	A_{N3}	6,8	A_{N4}	

$(A_{N1} + A_{N2}) / 2 = 6,50$ * 0,07 = 0,65 $\geq 0,00$? ja
 forskjell
 $(\sum A_{Ni}) / i = 6,60$ * 0,06 = 0,59 $\geq 0,17$? ja
 std.av.
A_N = 6,60

Finknuser2 med VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

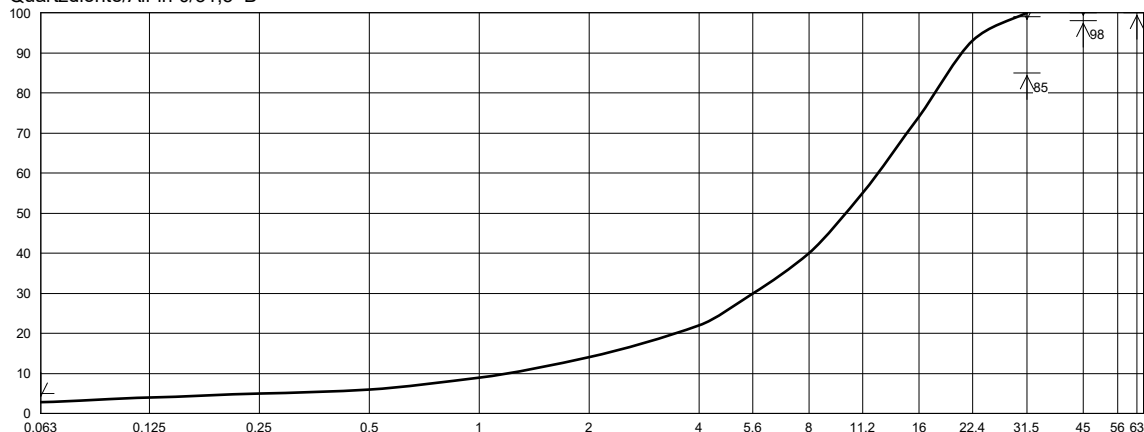
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 5781,5
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 5626,3
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 155,2
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	410,4	7	93	84,2		
16	1103,9	19	74	61,2		
11,2	1076,2	19	55	42,5		
8	858,6	15	40	37,1		
5,6	613,3	10	30	31,4		
4	446,6	8	22	26,2		
2	487,6	8	14	19,0		
1	261,1	5	9	13,2		
0,5	154,6	3	6	9,6		
0,25	89,3	1	5	7,2		
0,125	64,6	1	4	5,8		
< 0,063	< 51,0	< 1,2	< 2,8	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	164,6	2,8				
Sum	5781,8	100,0	-0,0	< 1% Prosentsats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 3750,7

Kasserte fraksjonen 711,1

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	84,5	16	28,9	34
20/25	293,1	12,5	24,7	8
16/20	757,7	10	29,5	4
12/16	482,7	8	20,2	4
10/12	471,1	6,3	47,8	10
8/10	301,5	5	27,2	9
6/8	241,6	4	36,4	15
5/6	222,8	3,15	27,2	12
4/5	184,6	2,5	27,9	15
SUM =	3039,6	SUM =	269,8	

FI = 9



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,5	Vekt prøve 2:	1045,2	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	983,3	983,9	983,9	-	-	-	-
A_{N1}	5,9	A_{N2}	5,9	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	5,90	* 0,07 =	0,59	≥ 0,00 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	5,90	* 0,06 =	0,53	≥ 0,00 ?	nej		
A_N	5,90			std.av.			

Finknuser 2 uten VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023

Vasking og sikting
 Tørsikting

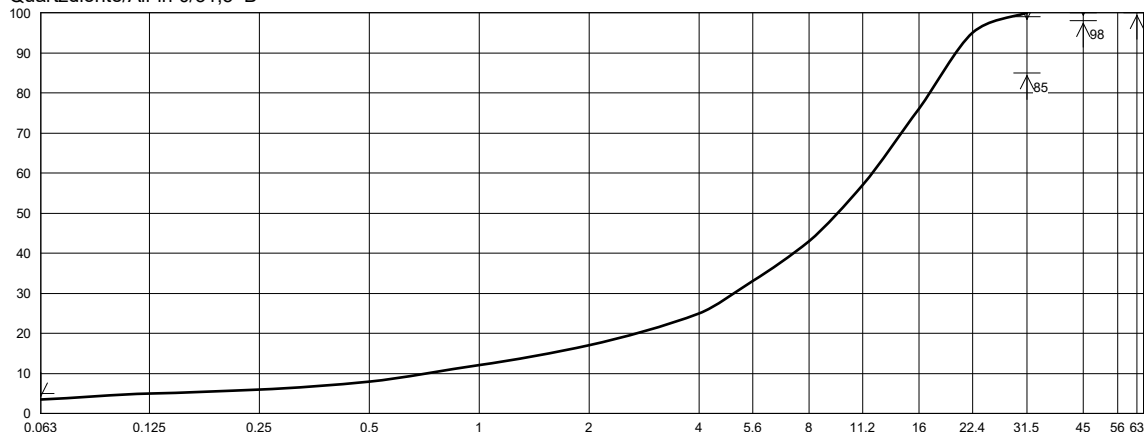
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 5989,6
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 5789,7
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 199,9
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	284,2	5	95	84,2		
16	1133,5	19	76	61,2		
11,2	1139,6	19	57	42,5		
8	864,9	14	43	37,1		
5,6	612,0	10	33	31,4		
4	452,2	8	25	26,2		
2	500,7	8	17	19,0		
1	312,6	5	12	13,2		
0,5	197,9	4	8	9,6		
0,25	128,2	2	6	7,2		
0,125	87,0	1	5	5,8		
< 0,063	< 64,2	< 1,5	< 3,5	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	212,5	3,5				
Sum	5989,5	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 3282,0

Kasserte fraksjonen 685,1

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	87,7	16	26,2	30
20/25	292,2	12,5	0,0	0
16/20	399,8	10	61,7	15
12/16	476,0	8	38,6	8
10/12	398,5	6,3	54,7	14
8/10	361,8	5	63,0	17
6/8	223,5	4	57,6	26
5/6	194,0	3,15	40,5	21
4/5	163,2	2,5	37,4	23
SUM =	2596,7	SUM =	379,7	

FI = 15



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,5	Vekt prøve 2:	1045,4	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	972,2	971,8	971,8	-	-	-	-
A_{N1}	7,0	A_{N2}	7,0	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	7,00	* 0,07 =	0,70	≥ 0,00 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	7,00	* 0,06 =	0,63	≥ 0,00 ?	nej		
A_N	7,00			std.av.			

Finknuser 3 med VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

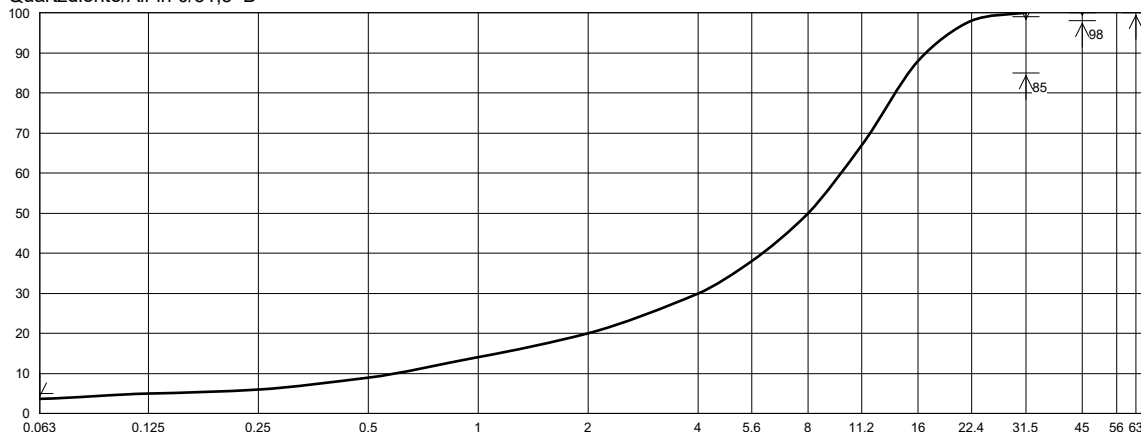
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse M_1 = 5160,3
 Tørr masse etter vasking M_2 = 4979,0
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ = 181,3
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	103,7	2	98	84,2		
16	509,8	10	88	61,2		
11,2	1085,3	21	67	42,5		
8	871,4	17	50	37,1		
5,6	624,0	12	38	31,4		
4	432,4	8	30	26,2		
2	524,2	10	20	19,0		
1	295,9	6	14	13,2		
0,5	253,9	5	9	9,6		
0,25	126,4	3	6	7,2		
0,125	82,9	1	5	5,8		
< 0,063	< 59,6	< 1,3	< 3,7	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	190,4	3,7				
Sum	5159,9	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 4271,3

Kasserte fraksjonen 934,3

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	26,7	16	26,7	100
20/25	125,0	12,5	28,4	23
16/20	464,2	10	48,2	10
12/16	765,9	8	62,4	8
10/12	616,9	6,3	65,9	11
8/10	486,1	5	45,7	9
6/8	334,9	4	39,2	12
5/6	291,1	3,15	32,4	11
4/5	226,3	2,5	30,6	14
SUM =	3337,1	SUM =	379,5	

FI = 11



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,6	Vekt prøve 2:	1045,1	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	974,6	978,6	978,6	-	-	-	-
A_{N1}	6,8	A_{N2}	6,4	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	6,60	* 0,07 =	0,66	≥ 0,40 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i	6,60	* 0,06 =	0,59	≥ 0,28 ?	ja		
A_N	6,60			std.av.			

Finknuser 3 uten VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

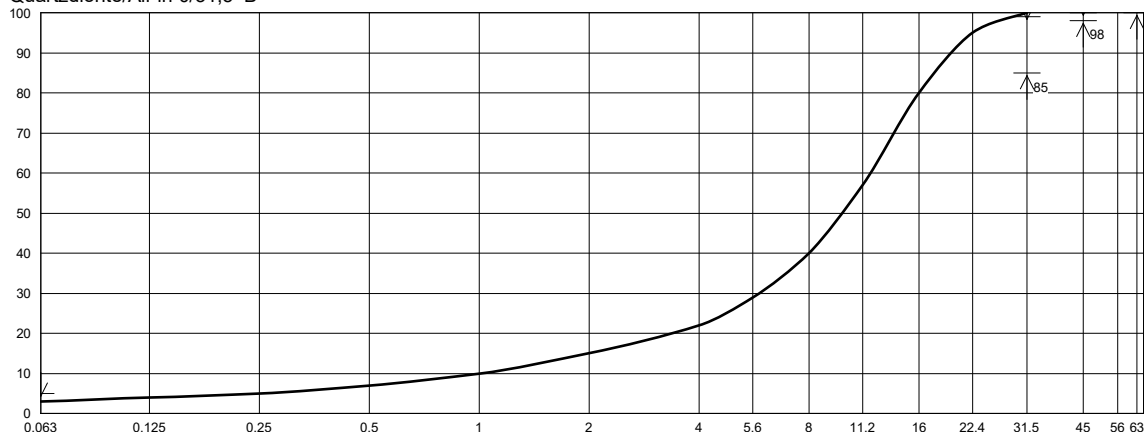
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 5914,8
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 5752,5
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 162,3
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	289,5	5	95	84,2		
16	911,4	15	80	61,2		
11,2	1336,4	23	57	42,5		
8	1020,3	17	40	37,1		
5,6	628,6	11	29	31,4		
4	414,4	7	22	26,2		
2	442,3	7	15	19,0		
1	285,4	5	10	13,2		
0,5	178,3	3	7	9,6		
0,25	108,2	2	5	7,2		
0,125	71,8	1	4	5,8		
< 0,063	< 54,0	< 1,1	< 2,9	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	173,6	2,9				
Sum	5914,2	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 4510,4

Kasserte fraksjonen 774,7

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	61,9	16	35,6	58
20/25	116,5	12,5	11,1	10
16/20	669,2	10	50,3	8
12/16	967,2	8	94,2	10
10/12	726,4	6,3	88,9	12
8/10	485,8	5	75,5	16
6/8	308,6	4	50,0	16
5/6	220,4	3,15	44,1	20
4/5	176,7	2,5	37,1	21
SUM =	3732,7	SUM =	486,8	

FI = 13



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,2	Vekt prøve 2:	1045,1	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	961,9	964,9	964,9	-	-	-	-
A_{N1} =	8,0	A_{N2} =	7,7	A_{N3} =		A_{N4} =	
(A_{N1}+A_{N2})/2 =	7,85	* 0,07 =	0,79	≥ 0,30 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i =	7,85	* 0,06 =	0,71	≥ 0,21 ?	ja		
A_N =	7,85			std.av.			

Finknuser 4 med VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

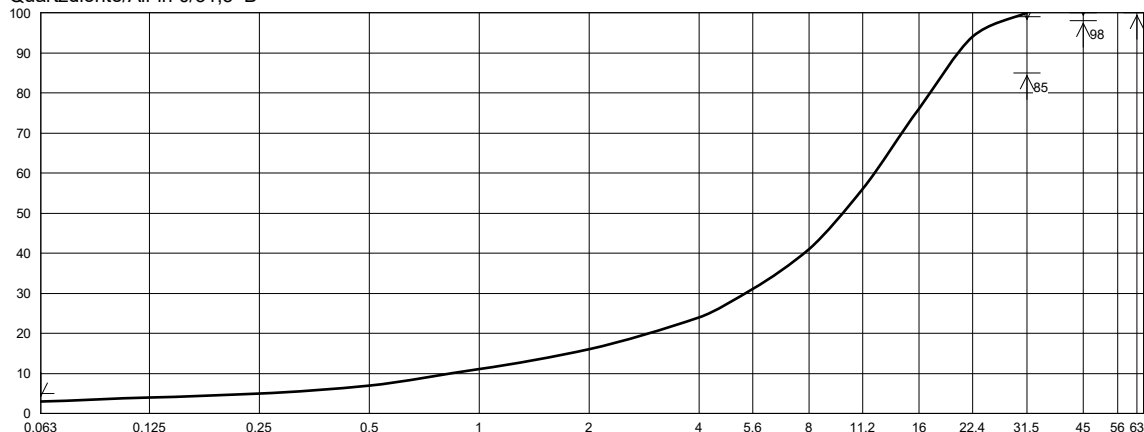
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse M_1 = 5155,1
 Tørr masse etter vasking M_2 = 5005,9
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ = 149,2
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	300,7	6	94	84,2		
16	926,4	18	76	61,2		
11,2	1054,0	20	56	42,5		
8	769,0	15	41	37,1		
5,6	489,0	10	31	31,4		
4	375,5	7	24	26,2		
2	434,9	8	16	19,0		
1	264,2	5	11	13,2		
0,5	165,3	4	7	9,6		
0,25	100,9	2	5	7,2		
0,125	68,1	1	4	5,8		
< 0,063	< 50,7	< 1,0	< 3,0	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	156,9	3,0				
Sum	5155,6	100,0	-0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 4969,9

Kasserte fraksjonen 812,9

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	27,6	16	0,0	0
20/25	415,7	12,5	0,0	0
16/20	962,0	10	40,9	4
12/16	749,9	8	27,0	4
10/12	646,2	6,3	41,3	6
8/10	489,8	5	29,9	6
6/8	337,6	4	32,8	10
5/6	292,9	3,15	26,7	9
4/5	236,4	2,5	24,0	10
SUM =	4158,1	SUM =	222,6	

FI = 5



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,6	Vekt prøve 2:	1045,0	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	976,2	975,0	975,0	-	-	-	-
A_{N1}	6,6	A_{N2}	6,7	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	6,65	* 0,07 =	0,67	≥ 0,10 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i	6,65	* 0,06 =	0,60	≥ 0,07 ?	ja		
A_N	6,65			std.av.			

Finknuser 4 uten VSI



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

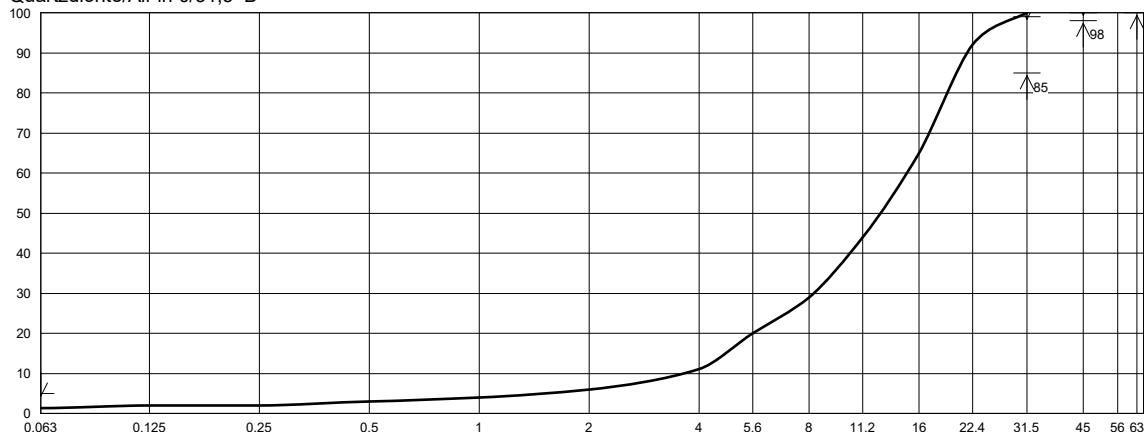
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse $M_1 =$ 3732,5
 Tørr masse etter vasking $M_2 =$ 3686,0
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$ 46,5
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5			100	99,6	85,0	99,0
22,4	289,4	8	92	84,2		
16	1041,9	27	65	61,2		
11,2	821,2	21	44	42,5		
8	566,4	15	29	37,1		
5,6	365,8	9	20	31,4		
4	328,9	9	11	26,2		
2	203,7	5	6	19,0		
1	83,3	2	4	13,2		
0,5	47,2	1	3	9,6		
0,25	24,8	1	2	7,2		
0,125	17,4	0	2	5,8		
< 0,063	< 14,0	< 0,7	< 1,3	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	51,3	1,3				
Sum	3855,3	100,0	-3,3	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 6045,7

Kasserte fraksjonen 862,0

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	143,6	16	22,3	16
20/25	512,9	12,5	13,9	3
16/20	1089,6	10	59,1	5
12/16	1016,9	8	76,1	7
10/12	799,1	6,3	67,8	8
8/10	610,6	5	53,8	9
6/8	405,8	4	59,9	15
5/6	335,7	3,15	45,9	14
4/5	270,4	2,5	40,9	15
SUM =	5184,6	SUM =	439,7	

FI = 8



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,5	Vekt prøve 2:	1045,5	Vekt prøve 3:	1045,0	Vekt prøve 4:	1045,1
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	968,4	964,7	973,8	962,6			
A_{N1} =	7,4	A_{N2} =	7,7	A_{N3} =	6,8	A_{N4} =	7,9
(A_{N1}+A_{N2})/2 =	7,55	* 0,07 =	0,76	≥ 0,30 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i =	7,45	* 0,06 =	0,67	≥ 0,48 ?	ja		
A_N =	7,45			std.av.			

Normalproduksjon 11/16 med VSI, hentet i startet



Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	Norsk-Stein "Tau"
Identifikasjon av prøven	0/31,5 mm B	Operatør	Langeland
Dato mottatt/uttatt	15.11.2023	Dato utført	15.11.2023
Metod (angi)	<input checked="" type="checkbox"/> Vasking og sikting <input type="checkbox"/> Tørsikting		

Total tørr masse $M_1 =$

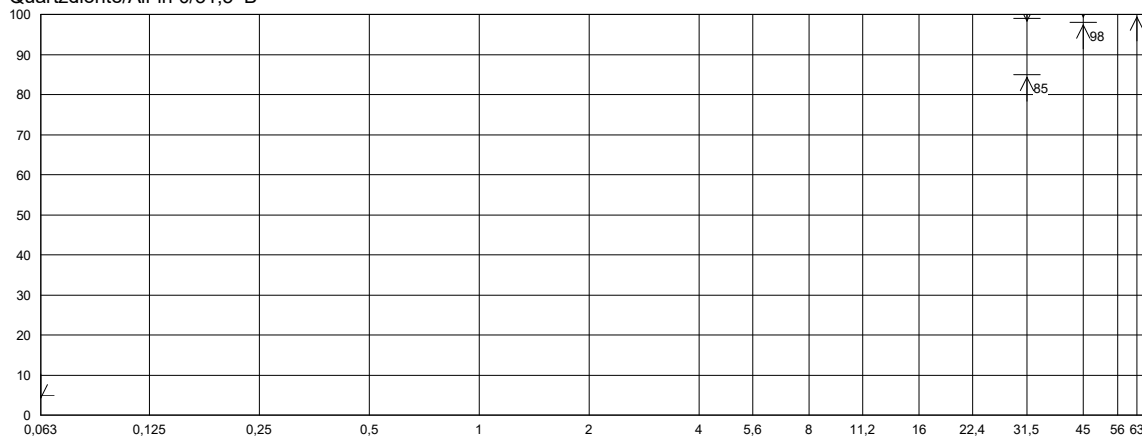
Tørr masse etter vasking $M_2 =$

Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2 =$

Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45				100,0	98,0	100,0
31,5				99,6	85,0	99,0
22,4				84,2		
16				61,2		
11,2				42,5		
8				37,1		
5,6				31,4		
4				26,2		
2				19,0		
1				13,2		
0,5				9,6		
0,25				7,2		
0,125				5,8		
< 0,063				< 4,6	< 0,0	< 5,0

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 2642,0

Kasserte fraksjonen 1,5

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32		16		
20/25		12,5		
16/20	392,8	10	5,7	1
12/16	1487,9	8	109,4	7
10/12	690,8	6,3	35,9	5
8/10	67,4	5	2,3	3
6/8	1,9	4	0,0	0
5/6	0,0	3,15	0,0	0
4/5	0,0	2,5	0,0	0
SUM =	2640,8	SUM =	153,3	

FI = 6



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1: 1045,4		Vekt prøve 2: 1045,1		Vekt prøve 3: 1045,0		Vekt prøve 4: 1045,3	
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	987,8	983,1	982,7	982,7	980,5	980,5	980,5
A_{N1}	5,5	A_{N2}	5,9	A_{N3}	6,0	A_{N4}	6,2
(A_{N1}+A_{N2})/2	5,70	* 0,07 =	0,57	≥ 0,40 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	5,90	* 0,06 =	0,53	≥ 0,29 ?	ja		
A_N	5,90			std.av.			

Normalproduksjon 11/16 med VSI, hentet ved enden



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 11,2/16 mm
 05.01.2024
 Vasking og sikting
 Tørsikting

Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Gundersen
 05.01.2024

Total tørr masse M_1 =

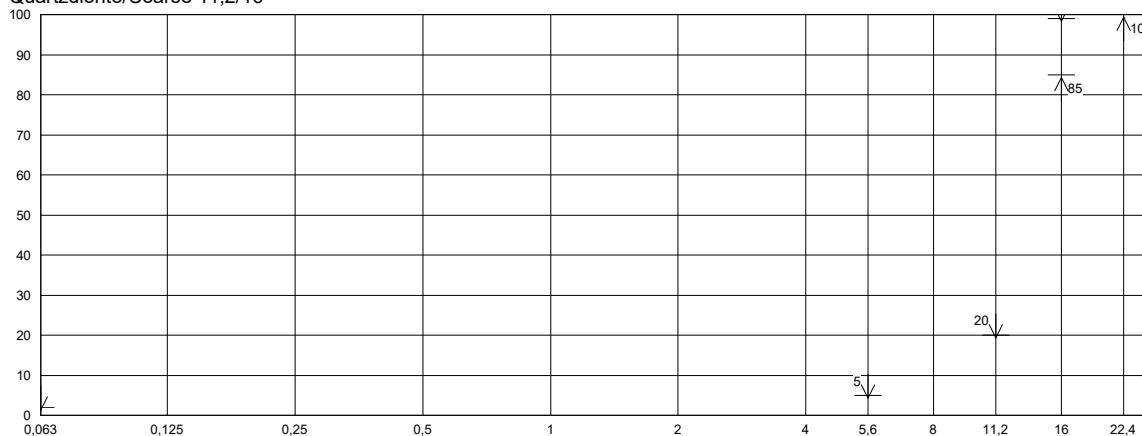
Tørr masse etter vasking M_2 =

Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ =

Vanninnhold (%) NS 1097-5 =

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
22,4				100,0	100,0	
16				90,0	85,0	99,0
11,2				13,0		20,0
8				2,0		
5,6				1,5		5,0
4				1,5		
2				1,5		
1				1,5		
0,5				1,5		
0,25				1,5		
0,125				1,5		
< 0,063				< 1,5	<	< 2,0

Quartzdiorite/Coarse 11,2/16



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 05.01.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Gundersen
 Dato utført 05.01.2024

Vekt prøve: 4030,2

Kasserte fraksjonen 516,2

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	123,9	20	0,0	0
25/32	159,9	16	21,4	13
20/25	375,0	12,5	23,3	6
16/20	836,9	10	13,9	2
12/16	787,6	8	32,1	4
10/12	443,1	6,3	44,3	10
8/10	282,9	5	35,4	13
6/8	200,6	4	24,6	12
5/6	174,7	3,15	19,3	11
4/5	130,5	2,5	20,8	16
SUM =	3515,1	SUM =	235,1	

FI = 7



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 05.01.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Gundersen
 Dato utført 05.01.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,6	Vekt prøve 2:	1045,5	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	980,6	983,5	983,5	-	-	-	-
A_{N1}	6,2	A_{N2}	5,9	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	6,05	* 0,07 =	0,61	≥ 0,30 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	6,05	* 0,06 =	0,54	≥ 0,21 ?	ja		
A_N	6,05			std.av.			

05.01.2024

C. Duncan

Normalproduksjon småknusere



Test
 Identifikasjon av prøven
 Dato mottatt/uttatt
 Metod (angi)

NS-EN 933-1
 0/31,5 mm B
 15.11.2023
 Vasking og sikting
 Tørsikting

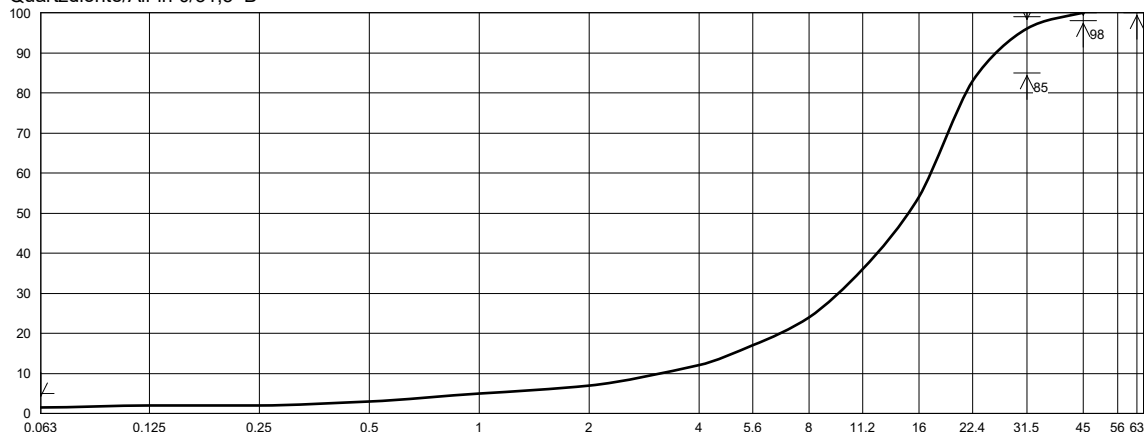
Laboratorium
 Operatør
 Dato utført

Norsk-Stein "Tau"
 Langeland
 15.11.2023

Total tørr masse M_1 = 7068,8
 Tørr masse etter vasking M_2 = 6973,9
 Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ = 94,9
 Vanninnhold (%) NS 1097-5 = 0,1

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
63					100,0	
45			100	100,0	98,0	100,0
31,5	263,5	4	96	99,6	85,0	99,0
22,4	931,3	13	83	84,2		
16	2028,0	29	54	61,2		
11,2	1313,2	18	36	42,5		
8	850,2	12	24	37,1		
5,6	504,6	7	17	31,4		
4	322,7	5	12	26,2		
2	338,3	5	7	19,0		
1	175,6	2	5	13,2		
0,5	107,7	2	3	9,6		
0,25	59,2	1	2	7,2		
0,125	39,9	0	2	5,8		
< 0,063	< 30,7	< 0,5	< 1,5	< 4,6	< 0,0	< 5,0
< 0,063	103,4	1,5				
Sum	7068,3	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Quartzdiorite/All-in 0/31,5 B



05.01.2024 Dato	C. Duncan Signatur
--------------------	-----------------------



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 0/31,5 mm B
Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 15.11.2023

Vekt prøve: 7391,3

Kasserte fraksjonen 924,9

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	353,1	20	104,9	30
25/32	368,7	16	47,6	13
20/25	648,5	12,5	35,0	5
16/20	1712,2	10	78,5	5
12/16	1198,5	8	94,3	8
10/12	789,3	6,3	90,5	11
8/10	526,3	5	71,1	14
6/8	326,2	4	61,7	19
5/6	305,9	3,15	51,5	17
4/5	238,9	2,5	52,4	22
SUM =	6467,6	SUM =	687,5	

FI = 11



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 0/31,5 mm B
 Dato mottatt/uttatt 15.11.2023

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 15.11.2023

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,1	Vekt prøve 2:	1045,6	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	971,8	973,3	973,3	-	-	-	-
A_{N1}	7,0	A_{N2}	6,9	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	6,95	* 0,07 =	0,70	≥ 0,10 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i	6,95	* 0,06 =	0,63	≥ 0,07 ?	ja		
A_N	6,95			std.av.			

Tau uten VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 3593,0

Kasserte fraksjonen 907,1

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	100,9	20	0,0	0
25/32	344,9	16	68,1	20
20/25	195,2	12,5	62,8	32
16/20	409,4	10	101,5	25
12/16	346,8	8	60,1	17
10/12	327,5	6,3	73,1	22
8/10	295,5	5	66,4	22
6/8	241,3	4	61,9	26
5/6	225,2	3,15	55,5	25
4/5	199,7	2,5	46,3	23
SUM =	2686,4	SUM =	595,7	

FI = 22



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,6	Vekt prøve 2:	1045,6	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	907,5	905,1	905,1	-	-	-	-
A_{N1} =	13,2	A_{N2} =	13,4	A_{N3} =		A_{N4} =	
(A_{N1}+A_{N2})/2 =	13,30	* 0,07 =	1,33	≥ 0,20 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i =	13,30	* 0,06 =	1,20	≥ 0,14 ?	ja		
A_N =	13,30			std.av.			

06.03.2024

C. Duncan

Tau med x1 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Duncan
Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 2831,0

Kasserte fraksjonen 302,9

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50	95,3	25	95,3	100
32/40	61,7	20	61,7	100
25/32	117,5	16	0,0	0
20/25	240,2	12,5	10,3	4
16/20	460,5	10	29,2	6
12/16	505,6	8	33,7	7
10/12	417,7	6,3	44,9	11
8/10	405,9	5	38,7	10
6/8	159,2	4	14,8	9
5/6	45,3	3,15	4,3	9
4/5	19,3	2,5	1,8	9
SUM =	2528,2	SUM =	334,7	

FI = 13



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,5	Vekt prøve 2:	1045,7	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	952,7	948,4	948,4	-	-	-	-
A_{N1}	8,9	A_{N2}	9,3	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	9,10	* 0,07 =	0,91	≥ 0,40 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	9,10	* 0,06 =	0,82	≥ 0,28 ?	ja		
A_N	9,10			std.av.			

06.03.2024

C. Duncan

Tau med x2 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Duncan
Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 2960,7

Kasserte fraksjonen 111,7

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	79,0	20	0,0	0
25/32	180,3	16	0,0	0
20/25	270,9	12,5	0,0	0
16/20	355,9	10	44,0	12
12/16	613,4	8	53,5	9
10/12	747,7	6,3	49,9	7
8/10	548,5	5	34,6	6
6/8	46,8	4	2,5	5
5/6	4,1	3,15	0,2	5
4/5	2,0	2,5	0,1	5
SUM =	2848,6	SUM =	184,8	

FI = 6



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,4	Vekt prøve 2:	1045,6	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	957,8	955,0	955,0	-	-	-	-
A_{N1}	8,4	A_{N2}	8,7	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	8,55	* 0,07 =	0,86	≥ 0,30 ?	ja		
(∑A_{Ni})/i	8,55	* 0,06 =	0,77	≥ 0,21 ?	ja		
A_N	8,55			std.av.			

06.03.2024

C. Duncan

Jelsa uten VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Duncan
Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 3696,4

Kasserte fraksjonen 1300,1

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	60,9	20	0,0	0
25/32	256,3	16	0,0	0
20/25	261,8	12,5	0,0	0
16/20	283,1	10	9,2	3
12/16	330,8	8	72,0	22
10/12	297,0	6,3	71,1	24
8/10	271,4	5	61,3	23
6/8	219,8	4	48,2	22
5/6	227,2	3,15	47,2	21
4/5	188,7	2,5	40,8	22
SUM =	2397,0	SUM =	349,8	

FI = 15



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,6	Vekt prøve 2:	1045,0	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	904,3	905,0	905,0	-	-	-	-
A_{N1}	13,5	A_{N2}	13,4	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	13,45	* 0,07 =	1,35	≥ 0,10 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	13,45	* 0,06 =	1,21	≥ 0,07 ?	ja		
A_N	13,45			std.av.			

06.03.2024

C. Duncan

Jelsa med x1 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Duncan
Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 3990,4

Kasserte fraksjonen 129,3

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	107,6	20	0,0	0
25/32	445,7	16	85,4	19
20/25	675,7	12,5	27,8	4
16/20	685,3	10	23,2	3
12/16	645,0	8	58,4	9
10/12	669,5	6,3	61,9	9
8/10	555,4	5	43,8	8
6/8	63,2	4	3,8	6
5/6	7,3	3,15	0,5	7
4/5	6,0	2,5	0,1	2
SUM =	3860,7	SUM =	304,9	

FI = 8



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Duncan
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,2	Vekt prøve 2:	1045,1	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	938,3	944,4	944,4	-	-	-	-
A_{N1}	10,2	A_{N2}	9,6	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	9,90	* 0,07 =	0,99	≥ 0,60 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	9,90	* 0,06 =	0,89	≥ 0,42 ?	ja		
A_N	9,90			std.av.			

06.03.2024

C. Duncan

Jelsa med x2 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 06.03.2024

Vekt prøve: 3327,3

Kasserte fraksjonen 29,9

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40	275,7	20	0,0	0
25/32	316,4	16	0,0	0
20/25	439,9	12,5	14,0	3
16/20	781,5	10	0,0	0
12/16	627,0	8	16,0	3
10/12	469,2	6,3	9,8	2
8/10	367,4	5	9,7	3
6/8	13,8	4	0,1	1
5/6	3,2	3,15	0,3	9
4/5	2,2	2,5	0,1	5
SUM =	3296,3	SUM =	50,0	

FI = 2



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 06.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 06.03.2024

Densitet: 2,770 g/cm³

Vekt prøve 1:	1045,1	Vekt prøve 2:	1045,4	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	943,1	943,3	943,3	-	-	-	-
A_{N1}	9,8	A_{N2}	9,8	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	9,80	* 0,07 =	0,98	≥ 0,00 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	9,80	* 0,06 =	0,88	≥ 0,00 ?	nej		
A_N	9,80			std.av.			

Jelsa uten VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 07.03.2024

Vekt prøve: 3715,7

Kasserte fraksjonen 1246,4

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	327,6	16	20,3	6
20/25	319,9	12,5	60,0	19
16/20	379,2	10	101,1	27
12/16	319,8	8	120,9	38
10/12	315,5	6,3	93,7	30
8/10	259,4	5	81,7	31
6/8	196,5	4	56,9	29
5/6	185,8	3,15	54,4	29
4/5	165,1	2,5	44,2	27
SUM =	2468,8	SUM =	633,2	

FI = 26



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 07.03.2024

Densitet: 2,820 g/cm³

Vekt prøve 1:	1064,2	Vekt prøve 2:	1064,2	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	833,4	827,3	827,3	-	-	-	-
A_{N1} =	21,7	A_{N2} =	22,3	A_{N3} =		A_{N4} =	
(A_{N1}+A_{N2})/2 =	22,00	* 0,07 =	2,20	≥ 0,60 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i =	22,00	* 0,06 =	1,98	≥ 0,42 ?	ja		
A_N =	22,00						

07.03.2024

C. Duncan

Dirdal med x1 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 07.03.2024

Vekt prøve: 2898,1

Kasserte fraksjonen 201,7

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	310,7	16	19,4	6
20/25	186,4	12,5	40,6	22
16/20	398,9	10	67,5	17
12/16	463,4	8	81,2	18
10/12	524,3	6,3	81,9	16
8/10	598,8	5	78,9	13
6/8	179,2	4	17,8	10
5/6	25,8	3,15	0,8	3
4/5	8,1	2,5	0,4	5
SUM =	2695,6	SUM =	388,5	

FI = 14



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 07.03.2024

Densitet: 2,820 g/cm³

Vekt prøve 1:	1064,4	Vekt prøve 2:	1064,5	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	895,4	894,8	894,8	-	-	-	-
A_{N1}	15,9	A_{N2}	15,9	A_{N3}		A_{N4}	

$(A_{N1} + A_{N2}) / 2 = 15,90$ * 0,07 = 1,59 $\geq 0,00 ?$ **ja**
 forskjell
 $(\sum A_{Ni}) / i = 15,90$ * 0,06 = 1,43 $\geq 0,00 ?$ **nej**
 std.av.
A_N = 15,90

Dirdal med x2 VSI (Jøsenfjorden)



Test NS-EN 933-3
Ident. av prøven 11,2/16 mm
Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
Operatør Langeland
Dato utført 07.03.2024

Vekt prøve: 4010,4

Kasserte fraksjonen 158,6

Sikting på prøvingssikter		Sikting på stavsikter		
Fraksjon	Masse fraksjonen d/D	Spalteåpning	Masse gjennom sikt	FI delfraksjon
mm	g	mm	g	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
32/40		20		
25/32	182,4	16	0,0	0
20/25	637,1	12,5	33,5	5
16/20	706,4	10	44,4	6
12/16	832,3	8	53,4	6
10/12	877,3	6,3	56,5	6
8/10	554,7	5	21,9	4
6/8	52,2	4	0,2	0
5/6	6,9	3,15	0,2	3
4/5	3,9	2,5	0,1	3
SUM =	3853,2	SUM =	210,2	

FI = 5



Test NS-EN 1097-9
 Ident. av prøven 11,2/16 mm
 Dato mottatt/uttatt 07.03.2024

Laboratorium Norsk-Stein "Tau"
 Operatør Langeland
 Dato utført 07.03.2024

Densitet: 2,820 g/cm³

Vekt prøve 1:	1064,4	Vekt prøve 2:	1064,2	Vekt prøve 3:	-	Vekt prøve 4:	-
Sikteåpning (mm)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)	Vekt (g)
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
2	911,4	904,9	904,9	-	-	-	-
A_{N1}	14,4	A_{N2}	15,0	A_{N3}		A_{N4}	
(A_{N1}+A_{N2})/2	14,70	* 0,07 =	1,47	≥ 0,60 ?	ja		
(∑ A_{Ni})/i	14,70	* 0,06 =	1,32	≥ 0,42 ?	ja		
A_N	14,70			std.av.			



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway