

Bruk av svakt tilslag i asfaltdekker

Jonas Olai Robertsen

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Inge Hoff, IBM

Medveileder: Bjørn Ove Lerfald, Veidekke

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Sammendrag

Overskuddsmasser fra norske vegbyggingsprosjekt blir ofte brukt i landfyllinger, eller deponert i fjorder, som følge av at de ikke er av tilstrekkelig kvalitet. Samtidig transporteres steinmaterialer fra brudd til byggeprosjektet, og bidrar til økte CO₂-utslipp. Lang og tung transport bidrar også til nedbrytningen av det eksisterende vegnett. Vegbyggingsprosjektene tar i bruk store mengder stein. Ettersom stein er en ikke-fornybar ressurs, er det ønskelig å utnytte overskuddsmassene på en optimal måte.

Denne oppgaven undersøker bruk av svakt tilslag i deler av graderingen i varm-blandede asfaltdekker. Dersom det viser seg mulig å utnytte svakt tilslag på denne måten, kan følgene være en større utnyttelse av overskuddsmasser på en høyverdig måte. Dette kan gi reduserte byggekostnader og mindre miljøpåvirkning i fremtidige vegbyggingsprosjekter.

Los Angeles-verdi, kulemølleverdi og flisighetsindeks har blitt målt på tilslaget. Prall- og Wheel Track-testen ble utført for å måle egenskapene til asfaltblandingen med tanke på piggdekkslitasje og permanente deformasjoner.

Resultatet fra Prall-testen viser relativt store forskjeller i motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje mellom blandingene. Svakt materiale i 100 % av tilslaget resulterte i 48 % økt slitasje, i forhold til 100 % slitesterkt tilslag. Svakt tilslag i 0/8-fraksjonen resulterte samtidig i en slitasje som var svært lik prøvene av 100 % sterkt tilslag. Denne blandingen tilfredstilte også krav til Prall-verdi satt av Statens Vegvesen, for ÅDT 10 000 og lavere.

Resultatet fra Wheel Track-testen var 11-12 % spordybde for alle prøver, i forhold til prøvetykkelsen. Dette indikerer at det kunne vært mulig å benytte det svake materialet i 100 % av tilslaget i et bindlag.

Forside: Et bilde av asfaltdekket på Dybdahls veg i Trondheim.

Abstract

Excess rock masses from Norwegian road construction are often dumped in fjords or used in landfills due to not meeting quality requirements. At the same time, rock material from quarries are transported to be used at the building site, adding CO₂ emissions to the project. Long and heavy transport also adds to the decomposition of the existing road network. Road construction consumes huge amounts of rock material. As rock is a non-renewable resource, we should strive to use these excess masses in an optimal way.

This study seeks to investigate the use of weak aggregate in parts of the aggregate grade for hot mix asphalt pavement. If it proves possible to utilize weak aggregate in this manner with satisfying quality, the implications are that more of surplus rock masses can be used in a high-grade production. This may result in lowered construction cost and reduced environmental impact in future road construction projects.

LA-abrasion, a Nordic style abrasion and flakiness test was performed on the aggregate. Prall and Wheel Track was carried out in order to evaluate the performance of the mix, considering rutting from studded tires and deformations.

Results from the Prall tests showed relatively large differences in resilience to wear between the mixes tested. Weak material in 100 % of the aggregate resulted in 48 % increased wear, relative to 100 % strong aggregate. Meanwhile, samples containing weak aggregate in the 0/8-fraction resulted in Prall values fairly similar to those of 100 % strong aggregate. The mix also met quality demands regarding Prall values for SMA put by the Norwegian Public Roads Administration (NPRA), for traffic volumes 10 000 or lower.

Results from the Wheel Track test was 11-12 % deformation for all mixes, relative to the sample thickness. This suggests that use of the weak aggregate in 100 % of the asphalt mix in a binding coarse may have been possible.

Forord

Denne masteroppgaven er siste del av utdanningsløpet på Bygg- og miljøteknikk, femårig program, ved NTNU, og er utført våren 2018. Valgt tema og problemstillinger er resultatet av egne ønsker, og et samarbeid med veildere. Formålet med oppgaven har vært å gjøre en studie av svakt tilslag i asfaltdekker. Dette har blitt gjort ved undersøkelser i laboratoriet, samt et litteraturstudie, med hovedfokus på laboratoriearbeid. Forfatter og veiledere er henholdsvis Jonas Olai Robertsen, Professor Inge Hoff og Professor II Bjørn Ove Lerfald.

Læring har også vært et mål. Laboratoriearbeidet har blitt opplevd som omfattende og krevende, og dermed også lærerikt. Det har vært mye nytt å sette seg inn i, og flere blindveier. Følelsen i etterkant er bedre oversikt og kjennskap til faget.

Jeg vil gjerne takke Professor Inge Hoff og Professor II Bjørn Ove Lerfald for stødig veiledning gjennom arbeidet. Videre vil jeg takke Ingeniør Bent Lervik og forsker Sara Anastasio for assistanse i laboratoriet, og Erling Hannaas for hjelp med skrivearbeidet. Takk til 'Kompetansesenteret Veidekke Industri' som har bidratt med materialer og instruksjoner. Til slutt vil jeg takke min familie og fan-klubb, som har heiet meg frem i årene ved universitetet. En spesiell takk til deg Ingunn. Din støtte og ditt humør har vært uvurderlig.



Trondheim 11.6.2018

Jonas Olai Robertsen

Innhold

Sammendrag	iii
Abstract	v
Forord	vii
Figurer	xiii
Tabeller	xv
1 Introduksjon	1
Forskningsspørsmål	2
2 Bakgrunnsstoff	3
2.1 Overbygningen	3
2.2 Asfalt	4
2.3 Dekke: Bind- og slitelag	5
2.4 Nedbrytningsmekanismer	6
2.4.1 Slitasje	7
2.4.2 Deformasjon	9
2.5 Tilslaget	10
2.6 Laborrietester	12
2.6.1 Los Angeles	12
2.6.2 Kulemølle	14
2.6.3 Micro-Deval	15

2.6.4	Knusningsgrad	16
2.6.5	Flisighetsindeks	16
2.6.6	Laboratorieknusing	18
2.6.7	Belegg på asfalttilslag	18
2.6.8	Tilslagsdensitet 4,0 –31,5 mm	18
2.6.9	XRD (røntgendiffraksjon)	19
2.6.10	Glimmertelling	20
2.6.11	Penetrasjon	20
2.6.12	Marshall slagkompaktering	21
2.6.13	Asfaltprøvens densitet	22
	Metode A	23
	Metode B	23
	Metode C	24
	Metode D	25
2.6.14	Asfaltprøvens hulrominnhold	26
2.6.15	Marshallproporsjonering	27
2.6.16	Prall	29
2.6.17	Wheel track	29
2.7	Kortreist stein	31
2.8	SIV - Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker (2001-2005)	32
3	Metode	35
3.1	Laboratorieprogram	36
3.1.1	Steinmaterialene	37
3.1.2	Bitumen	39
3.1.3	Bituminøst bundne materialer	39

4 Resultater	43
4.1 Beskrivelse av materialene	43
4.1.1 Svakt tilslag - Materiale 2	43
Los Angeles-verdi	43
Mølleverdi	44
Micro-Deval-verdi	45
Flisighetsindeks	45
XRD	46
Densitet	47
4.1.2 Sterkt tilslag - Materiale 1	47
Materialegenskaper	47
.	48
4.2 Bindemidlet	48
4.2.1 Penetrasjon	48
4.3 Beskrivelse av de bituminøse massene	48
4.3.1 A) 100 % svakt tilslag	48
Marshallproporsjonering	49
4.3.2 B) Svakt tilslag i 0/8-fraksjonen	51
4.3.3 C) Svakt tilslag i 8/11-fraksjonen	52
4.3.4 D) 100 % sterkt tilslag	53
4.4 Prall	54
4.4.1 Prøvedata	54
4.4.2 Resultater fra Prall	56
4.5 Wheel Track	57
4.5.1 Prøvedata	58
4.5.2 Resultater fra Wheel Track	58

5	Diskusjon	63
	Forskningsspørsmål	63
5.1	Tilslagsmaterialene	63
5.2	Prall	65
5.3	Wheel Track	66
5.4	Sammenstilling av resultater fra Prall og Wheel Track	67
5.5	Implikasjoner av resultatet	68
5.6	Begrensninger og videre arbeid	69
5.7	Feilkilder	71
6	Konklusjon	73
	Referanser	75
	Vedlegg	81

Figurer

2.1	Vegoverbygningens ulike lag	4
2.2	Luftforurensningens helseeffekter	8
2.3	Prinsipp for Los Angeles-metoden	13
2.4	Utstyr for kjøring av kulemølletesten	15
2.5	Flisighet og deformasjon	17
2.6	Penetrasjonstest	21
2.7	Marshall slagkompaktering	22
2.8	Densitetsmåling på Marshallklosser	26
2.9	Ferdig preparerte Marshallklosser	28
2.10	Utstyr for kjøring av Wheel Track-testen	30
3.1	Bilder av tilslagene	38
3.2	Saging av Marshallklosser til Prall	40
4.1	XRD-analyse av M2	46
4.2	Kurvetilpassing A	49
4.3	Resultat fra Marshallproporsjonering	50
4.4	Kurvetilpassing B	51
4.5	Kurvetilpassing C	52
4.6	Kurvetilpassing D	53
4.7	Resultater fra Prall	56

4.8	Bilde av Prallprøver etter test	57
4.9	Resultater fra Wheel Track	58
4.10	Sporutvikling: A-prøver	59
4.11	Sporutvikling: B-prøver	59
4.12	Sporutvikling: C-prøver	60
4.13	Sporutvikling: D-prøver	60
4.14	Bilde av Wheel Track-prøver etter test	61

Tabeller

4.1	Resultater fra Los Angeles-test på M2	44
4.2	Resultater fra kulemølletest på M2	44
4.3	Resultater fra micro-Deval-test på M2	45
4.4	Resultat flisighetsindeks for M2	46
4.5	Resultat fra måling av korndensitet på M2	47
4.6	Mekaniske egenskaper til M1	47
4.7	Resultater fra penetrasjonstest	48
4.8	Prøvedata for Prallprøver	55
4.9	Wheel Track-prøvenes hulrominnhold	58
5.1	Sammenstilling av materialegenskaper for M1 og M2, samt materialkrav for Ska i N200	64

Kapittel 1

Introduksjon

Tema for oppgaven er bruk av steinmaterialer til vegbygging. Steinmaterialer utgjør nær 100 % av materialet i en norsk veg, og 7-8 % av totalkostnaden. Samtidig er stein en ikke fornybar ressurs. Derfor er det viktig å utnytte denne ressursen godt, og unngå unødvendig svinn. Bruk av kortreist stein i vegprosjekter vil kunne bidra til en rasjonell bruk av denne råvaren.

Man kan se for seg store miljømessige og samfunnsøkonomiske gevinster ved å benytte lokale masser til vegbygging. Alternativet er ofte å benytte steinmaterialer fra steinbrudd med forekomst av tilfredsstillende kvalitet. Dette steinbruddet kan befinne seg langt fra vegprosjektet slik at massene må transporteres lengre. Ringvirkninger av dette er et større CO₂-avtrykk for prosjektet, økt tungtrafikk og dermed økt slitasje på eksisterende veger. I dag blir store mengder overskuddsmasser deponert i fjorder, eller brukt som utfyllingsmasser, fordi de ikke oppfyller de krav N200 stiller [1]. Dette kan være uheldig miljømessig, og i tillegg kan publikums innstilling til nye vegprosjekter bli skadelidende av at masser dumpes, samtidig som andre masser fraktes inn. De økonomiske konsekvensene er også viktige, da steinmaterialer utgjør store deler av kontraktsummen. Dersom overskuddsmasser kan benyttes slipper man å deponere disse, samt at man unngår

kostnader ved kjøp av ny stein.

Oppgaven skal inngå som en del av forskningsprosjektet ”Kortreist stein”. Forskningsprosjektet sikter på å benytte overskuddsmasser fra tunneldriving og vegskjæringer på en høyverdig måte. Hovedmålsetningen for masteroppgaven vil dermed være det samme. Det skal gjennom laboratorietester undersøkes om svake steinmaterialer kan benyttes i deler av tilslagsfraksjonen i et asfaltdekke, og likevel gi tilstrekkelig kvalitet med hensyn til piggdekkslitasje og deformasjon. Kvaliteten vurderes ved å sammenligne resultatene fra laboratorieundersøkelsene med krav til tilslag og dekker i håndbok N200 – Vegbygging [2].

Forskningsspørsmål

- Kan svak stein i deler av tilslaget resultere i et asfaltdekke med tilfredsstillende kvalitet med hensyn til piggdekkslitasje?
- Kan svak stein i deler av tilslaget resultere i et asfaltdekke med tilfredsstillende kvalitet med hensyn til deformasjon?

Kapittel 2

Bakgrunnsstoff

Dette kapitlet tar for seg relevant litteratur og teori om emnet.

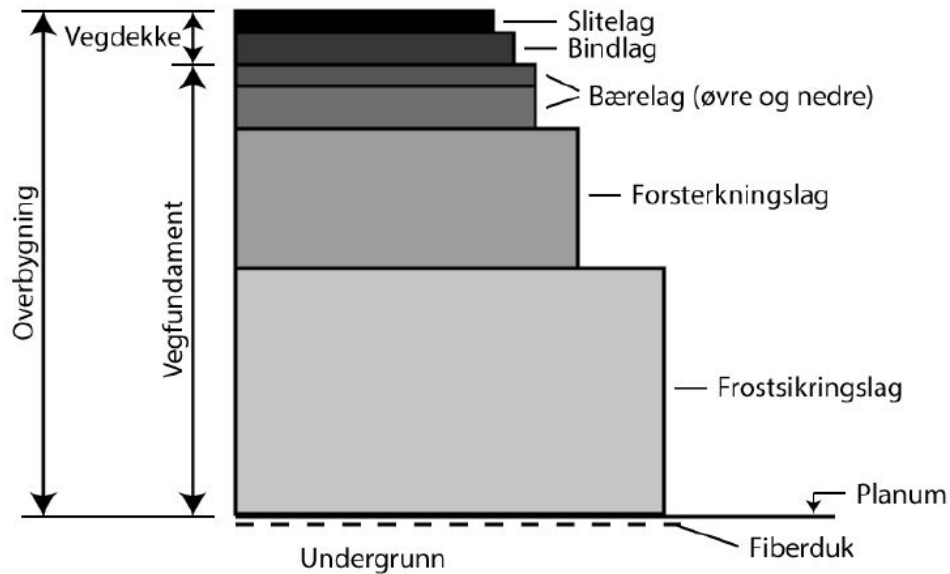
2.1 Overbygningen

Som nevnt i kapittel 1 er stein hovedmaterialet i en vegoppbygging. Dermed er kvaliteten og bestandigheten til vegen, avhengig av kvaliteten til steinmaterialet som benyttes. Alle lag i overbygningen er avgjørende for vegens funksjon. Overbygningen defineres som den del av vegen som er over traubunnen. En typisk overbygning i Norge består av frostsikringslag, filterlag eller fiberduk, forsterkningslag, bærelag og dekke. Dekket kan bestå av ett eller to lag, avhengig av blant annet dekketypen. Ved høy ÅDT¹ består dekket gjerne av både bindlag og slitelag, men ellers ofte bare av ett lag. Hovedfunksjonen til overbygningen er å fordele og overføre konsentrerte trafikkklaster til undergrunnen [2]. Likevel har lagene tildels ulike oppgaver de skal løse. Eksempelvis skal frostsikringslaget isolere slik at frosten ikke trenger ned i eventuelle telefarlige masser i underbygningen²,

¹Årsdøgntrafikk, forkortet ÅDT, er antall kjøretøy som passerer et snitt av vegen i løpet av ett år, delt på antall dager i et normalår.

²Underbygningen er den del av vegen som befinner seg under traubunnen. Kalles også undergrunnen.

mens dekket beskytter vegen mot vann og slitasje fra trafikkbelastninger. Figur 2.1 viser et eksempel på en mulig overbygning.



FIGUR 2.1: Vegoverbygningens ulike lag [3].

Det er naturlig å dele overbygningen inn i bundne- og ubundne materialer. De bundne materialene benyttes i de øvre lagene av vegen, i (øvre) bærelag og dekke. Ubundne materialer brukes i de nedre lagene av overbygningen: frostsikringslag og forsterkningslag, i tillegg til bærelaget som også kan være av ubunden stein. Derimot er det mer vanlig å benytte asfalt som bærelag i høytrafikkerte veger [2].

2.2 Asfalt

Bundne, eller bituminøst bundne materialer har fellesbetegnelsen asfalt. Asfalt kan være både kaldblandet og varmblandet. I det videre fokuseres det på varmblandet asfalt.

Asfalt består av tilslagsmateriale og et bindemiddel. Tilslaget utgjør 94-95 % av asfaltens totale masse, men bare 80-90 % av asfaltens totale volum [4]. Det

resterende volumet oppfylles av bindemiddel og hulrom. Hulrommet i asfalten er porer mellom tilslaget som ikke fylles av bitumen. Asfalt er det mest brukte materialet i dekke på norske veger. De mest brukte asfalttypene er skjelettasfalt (Ska), asfaltbetong (Ab), mykasfalt (Ma) og asfaltgrusbetong (Agb). Ska og Ab brukes typisk på høytrafikkerte veger, mens Ma og Agb er forbeholdt veger med lavere trafikkvolum, $\text{ÅDT} < 1500$ [5].

De mest anvendte bindemidlene er bitumen, myk bitumen og polymermodifisert bitumen [2]. Bitumen³ utvinnes ved raffinering av råolje, og er den tyngste komponenten fra raffineringen. Bindemidlet har som oppgave å binde tilslaget, og dermed gi asfalten stivhet og fleksibilitet. Ved lave temperaturer er bitumen stiv, og har elastiske egenskaper. Ved høye temperaturer endrer materialet karakter og blir visko-elastisk [6]. En konsekvens av dette er at deformasjoner lett kan oppstå ved høye temperaturer. Svært lave temperaturer er også problematisk da bitumen blir stiv og lettere sprekker opp. For lavtemperaturoppsprekking er bindemidlets egenskaper den avgjørende faktoren [7]. Valg av bitumen bør derfor gjøres på grunnlag av det klimaet den skal fungere i. Andre viktige forhold er trafikkmengde og ønsket levetid [8].

2.3 Dekke: Bind- og slitelag

Vegens dekke er i de fleste tilfeller et bituminøst bundet materiale, men dekker av andre materialer finnes også. På dagens norske veger med fast dekke, er det nesten utelukkende bituminøst bundne materialer som benyttes [3]. Internasjonalt er også betong et aktuelt dekkemateriale. Betong benyttes gjerne der klimaet er varmt og solrikt. Som tidligere nevnt fører høye temperaturer til at bindemidlet i asfalten blir mer visko-elastisk, og følgelig mindre motstandsdyktig mot defor-

³Bitumen er også et naturlig forekommende materiale. Det kan være snakk om store underjordiske sjøer, eller bergsprekker fylt av bitumen [6].

masjoner. Betong mister derimot ikke sin fasthet ved høye temperaturer. En annen fordel med dekker av betong er en bedre lasfordeling i forhold til dekker av asfalt. Betong er likevel lite brukt som dekke i Norge. En av grunnene til dette er at betong er utsatt for oppsprekking i forbindelse med telehiv [2]. Betongen er sprø og tåler dårlig strekkspenninger som da kan oppstå. Grusveger finnes også, og er mer vanlig her til lands. Grusveger slites raskt og er forbeholdt veger med lavt trafikkvolum ($\text{ÅDT} < 300$) [2]. Slitelaget kalles da gjerne topplag.

Denne oppgaven vil fokusere på Ska, som er dekketype av varmblandet asfalt. Denne dekketypen benyttes gjerne på veger med $\text{ÅDT} > 3000$, men kan brukes i alle trafikklasser. Dekker med Ska skal legges i to lag: et nedre bindlag, og slitelag på toppen. Ofte legges Ab i bindlaget og Ska som slitelag [3].

Generelt stilles det strengere krav til steinmaterialer i bundne materialer, enn for ubundne. Grunnen til dette er at de bundne materialene befinner seg høyt i overbygningen, og dermed blir utsatt for mer konsentrerte trafikklaste. De strengeste kravene stilles til slitelaget. Kravene stilles til bestanddelene og asfalten som helhet. Tilslaget skal tilfredstille krav om styrke, slitestyrke, kornfordeling, overflatetekstur og kornform med flere [4]. I tillegg til å motstå de mest konsentrerte lastene, må slitelaget også være motstandsdyktig mot slitasje fra trafikken. Samtidig konkluderer NCHRP⁴ med at det fortsatt er rom for videre undersøkelser og å justere dagens krav til tilslaget. Det refereres da til krav som angularitet, flate og stenglige korn, LA og micro-Deval [4].

2.4 Nedbrytningsmekanismer

Veger utsettes for ulike former for påkjenninger. Trafikk, klima og aldring av bitumen er viktige eksempler på faktorer som bryter ned vegen over tid [9]. Det

⁴ National Cooperative Highway Research Program er et forum for koordinering og samarbeid om forskning i USA.

skal i dette arbeidet fokuseres på slitasje og deformasjon; to sentrale mekanismer som bryter ned asfaltdekket.

2.4.1 Slitasje

Slitasje er resultatet av mekanisk kontakt mellom ulike materialer. Spesielt kan slitasjen være stor dersom det ene materialet er vesentlig hardere enn det andre. Når et asfaltdekke slites er det friksjonen mellom hjulene og vegen, samt slag fra piggene i piggdekk, som sliter bort materiale. Over tid vil dette føre til at det utvikles spor i dekket. Piggdekk sliter spesielt mye på asfalten. Piggdekksslitasje er først og fremst et problem for veger med ÅDT 3000 og høyere [2]. I tillegg til å redusere slitelagets levetid, er slitasjen også problematisk med tanke på miljøet. For landets største byer bidrar svevestøv fra piggdekksslitasje til helseskadelig luftkvalitet.

Svevestøv kan føre til en lang rekke helseeffekter bl.a. i luftveiene, via hjertekarsystemet og på arvematerialet. Sårbare befolkningsgrupper er: barn (spesielt spedbarn), personer med luftveissykdommer, personer med hjertekarsykdom, diabetikere og overvektige [10].

I følge folkehelseinstituttet fører svevestøv til 185 tidlige dødsfall i Oslo, hvert år [11]. En rapport utarbeidet av Statens Vegvesen og Bergen kommune konstanterer at partikler fra biltrafikken er den viktigste kilden til luftforurensing i byer og tettsteder [10]. Luftforurensningen fra trafikken kan komme av partikler fra blant annet drivstofforbrenning, støv fra bremses, anleggsvirksomhet, strøsand og piggdekksslitasje. Hvor mye av støvet som blir liggende i vegbanen påvirker også mengden suspendert støv i lufta. Støvet i vegbanen hvirvles opp av turbulensen fra passerende trafikk. I denne sammenheng påvirker også været luftkvaliteten. I tørre perioder kan luftkvaliteten være dårligere, da tørt støv lettere frigis til lufta.



FIGUR 2.2: Luftforurensning fra biltrafikken påvirker en rekke funksjoner i menneskekroppen [14].

Regnet kan også transportere bort støv fra vegbanen i form av avrenning [12]. Det som her er nevnt er luftforurensning i forbindelse med trafikk. Dersom også andre kilder til svevestøv inkluderes blir bildet enda mer komplisert. Eksempler på andre kilder er vedfyring og langtransportert forurensning [13].

Som en reaksjon på den dårlige luftkvaliteten har flere av de store byene innført en rekke tiltak. Eksempler er piggdekkgebyr, pant på piggdekk, og høye bomavgifter i perioder med dårlig luftkvalitet.

Videre stilles det relativt strenge krav til steintilslaget motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje. Denne egenskapen hos steinmaterialet undersøkes i laboratorium ved kule mølle- og micro-Devalmetoden. Disse er nærmere beskrevet i kapitler 2.6.2 og 2.6.3. Det er funnet god korrelasjon mellom resultater fra kule møllemetoden, og vegens motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje [2]. Prøver av bituminøst bundne materialer kan testes for piggdekkslitasje ved Prall-metoden beskrevet i kapittel 2.6.16.

2.4.2 Deformasjon

Permanente deformasjoner i slitelaget oppstår som følge av skjærpåkjenninger og trykk, forårsaket av trafikken. Tunge kjøretøy og saktegående trafikk er det største bidraget til deformasjoner [9]. Det er belastningen fra tungtrafikken (akselast og ringtrykk) som er avgjørende for permanente deformasjoner i de øverste lagene av veggen. Deformasjoner er gjerne størst inn mot kryss, og andre steder der trafikken bremses og akselererer. Bremsing og akselerasjon øker skjærspenningene mot underlag, og dermed også deformasjonene. Ettersom dekkematerialet har viskøse kvaliteter er også den lave hastigheten et poeng i seg selv. Lav hastighet fører til at dekket utsettes for spenninger over et større tidsrom, og bidrar til deformasjonsutviklingen. Den første tiden etter utlegging av dekket er også etterkompaktering en faktor som påvirker deformasjonen. Etterkompakteringen reduserer hulrominnholdet i asfalten. Både bindemiddel og tilslagsmaterialet påvirker utviklingen av permanente deformasjoner [7].

Deformasjoner kan også oppstå indirekte som en følge av svak binding av tilslaget. Studier gjennomført i forbindelse med forskningsprogrammet SHRP⁵ viser at de fysiokjemiske egenskapene til partikkeloverflata er viktigere enn bindemidlet for å oppnå vedheft. Videre ble det funnet at støv, eller belegg på overflata, bidrar til å bryte bindingen mellom bindemidlet og tilslaget [15]. Svakere binding gir tilslaget større mulighet til å forflytte seg i asfalten sånn at deformasjoner kan oppstå. Slik indirekte deformasjon er først og fremst et problem i forbindelse med vann som trenger inn mellom bindemidlet og tilslaget. Indirekte deformasjon kan også være steinslipp fra overflata som følge av svak binding.

⁵Strategic Highway Research Program

2.5 Tilslaget

Som nevnt over utgjør tilslaget opp mot 95 % av asfaltmassen. Det er derfor ikke overraskende at steinmaterialet også er svært viktig for asfaltens funksjonsevne.

En av tilslagets viktige egenskaper er graderingen. Korngradering er ”den prosentvise vektmengde av ulike kornstørrelser i granulære materialer (...)” [16]. En sammenfatting av studier gjort i NCHRP⁶ konkluderer med at graderingen påvirker nesten alle viktige egenskaper i en asfalt. Dette inkluderer stivhet, stabilitet, bestandighet, permeabilitet, bearbeidelighet, friksjon, og motstand mot utmatting og fuktskader [4]. Dermed er utvinningen av steinmaterialet også viktig, og ikke bare in-situ berg. Hvordan tunnelen drives og hvordan berget sprenge vil påvirke graderingen. Borhullenes plassering og ladning, sammen med bergets egenskaper, avgjør kornfordelingen til de sprenge massene. For tette hull og overladning resulterer i sprengningsmasser med mye finstoff. I motsatt tilfelle kan resultatet bli overvekt av store blokker [17]. I praksis er overvekt av finstoff et større problem for videre bruk av massene, enn for stor stein. Dette av den åpenbare grunnen at store steiner kan knuses ned til ønsket størrelse, mens finstoffet vanskelig kan produsere større korn. Utvinningen vil selvfølgelig ikke påvirke graderingskurven i selve dekket, da denne tilpasses, men en fordelaktig sprengning kan redusere mengden ikke-utnyttbart materiale.

Maksimal størrelse er også en sentral del av korngraderingen. Større maksimal tilslagsdiameter gir asfalt som er mer motstandsdyktig mot permanente deformasjoner og piggdekkslitasje [7].

Materialets LA-verdi er viktig fordi nedknusing av steinmaterialet under produksjon påvirker korngraderingen i blandingen [4]. LA-metoden er beskrevet i kapittel 2.6.1

Andre viktige egenskaper ved tilslaget som påvirker asfaltens egenskaper:

⁶National Cooperative Highway Research Program

- Kornform
- Angularitet
- Overflatetekstur og belegg
- Porøsitet og absorpsjon
- Motstandsdyktighet mot slitasje
- Mineralogi

Stein er et materiale med varierende egenskaper. Ulike dannelsesprosesser, omdannelse, mineralsammensetning og fysiske- og kjemiske forvitningsprosesser avgjør de mekaniske egenskapene til materialet. En forekomst av samme bergart kan være hard og uten sprekker, eller svak som følge av knusing. Knusingen skyldes gjerne tektoniske bevegelser i jordskorpa, men kan også oppstå i dalbunner med høyt overliggende fjell, som knuser berget med sin tyngde. De største løsmasseavsetningene i Norge er morene. Disse er dannet som følge av breerosjon og har blitt avsatt av breen selv, eller av elver, henholdsvis glasiale⁷ og glasifluviale⁸ avsetninger [17].

Morene og knusingssoner er eksempler på mekanisk forvitring. Kjemisk forvitring kan også påvirke bergets mekaniske egenskaper i stor grad. Den kjemiske forvitringen starter ved overflata og trenger ned gjennom berget i sprekker. I Norge er kjemisk forvitring mindre utbredt siden berget her relativt nylig ble erodert under den siste istida. Den kjemiske forvitringen har dermed ikke hatt tilstrekkelig tid til å påvirke berget i særlig grad. Noen tilfeller av sterk kjemisk forvitring finnes likevel. Et eksempel er tysfjordgranitt. Granitt er i uforvitret tilstand hard og impermeabel. Tysfjordgranitten er derimot svak og

⁷Glasiale avsetninger er løsmasser avsatt av isbreer.

⁸Glasifluviale avsetninger er løsmasser avsatt av breelver.

porøs som følge av at sementeringen rundt kornene er vasket vekk. Berget er så svakt at det kan graves ut med hendene [17].

I Norge har vi for det meste hardt fjell med moderat eller liten overdekning av løsmasser. Unntak er enkelte områder på Østlandet og i Finnmark, der løsmasseavsetningene er relativt massive. Likevel kan kvaliteten på bergmassen variere betydelig, selv innefor samme forekomst [18]. For bruk av steinmasser i asfaltdekker stilles det krav til steinmaterialets hardhet, kornform og motstandsdyktighet mot slitasje [2]. Det er derfor utviklet standardiserte laboratorieforsøk for å beskrive steinmaterialets mekaniske egenskaper.

2.6 Laborrietester

Under følger en gjennomgang av metoder som er aktuelle for arbeidet med masteroppgaven. Informasjonen om forsøkene er hentet fra Norsk Standard og Statens Vegvesen sin Håndbok R210 - Laboratorieundersøkelser [19].

2.6.1 Los Angeles

Los Angeles-metoden, forkortet LA-metoden, er en mye brukt test både i Norge og ellers i verden. Ledende eksperter på tilslagsteknologi i forskningsprogrammet SHRP rangerte LA-verdien som den fjerde mest viktige tilslagsparametren [4]. NCHRP gjennomførte en spørreundersøkelse der 96 % av statene i USA, og provinsene i Canada, svarte at Los Angeles-testen blir benyttet. Resultater fra testen antas å best beskrive nedkningen av tilslaget i forbindelse med transport, blanding og utlegging (produksjon). N200 stiller krav til LA-verdi for materialer som brukes til vegbygging. Metoden simulerer knusing forbundet med produksjon ved at steinmaterialet tromles tørt sammen med stålkuler. Inne i tromlen er det montert en hylle som løfter prøvematerialet og stålkuler. Det resulterende fallet

til bunnen av tromlen knuser steinmaterialet. LA-verdien finnes ved å bestemme andelen nedknust materiale etter tromling. Nedknust materiale defineres som det materialet med kornstørrelse mindre enn 1,6 mm. LA-verdien beregnes med formel 2.1.

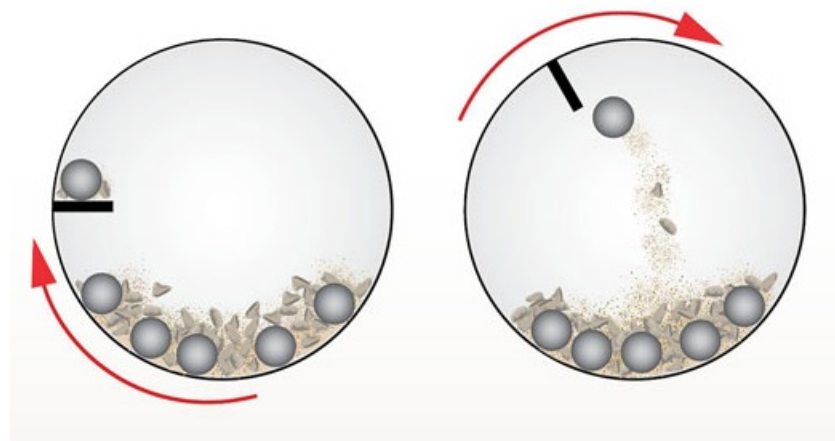
$$LA = \frac{(5000 - m)}{50} \quad (2.1)$$

hvor:

LA = Los Angeles-verdien: mengde nedknust masse i %

m = masse i gram, etter test, av materiale $> 1,6$ mm [2]

Håndbok N200 [2] stiller krav til maksimal LA-verdi for tilslag brukt i store deler av overbygningen. Testen kan i prinsippet utføres for ulike fraksjoner. I Norge utføres den på kornstørrelser 10 – 14 mm siden kravet stilles til denne [19]. Testen utføres i henhold til beskrivelser i NS-EN 1097-2:2010 [20].



FIGUR 2.3: Los Angeles metoden måler motstandsdyktighet mot nedknusing ved at stålkuler løftes og faller ned på tilslaget i bunnen av tromlen [21].

2.6.2 Kulemølle

Kulemøllemetoden brukes for å undersøke motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje for steinmaterialer. Testen går ut på å tromle steinmaterialet sammen med vann og stålkuler. Tromlen dreies en bestemt lengde tid og et bestemt antall rotasjoner før den stoppes og kulemølleverdien bestemmes. Kulemølleverdien ”er prosentvis innhold av materiale mindre enn 2,0 mm etter tromling (bortslitt masse)” [19]. Testen gjennomføres i minst to paralleller, og ellers etter beskrivelser i NS-EN 1097-9:2014 [22]. Kulemølleverdien for prøvematerialet er gjennomsnittet av kulemølleverdiene til hver parallell. Kulemølleverdien for hver parallell beregnes ved formel 2.2.

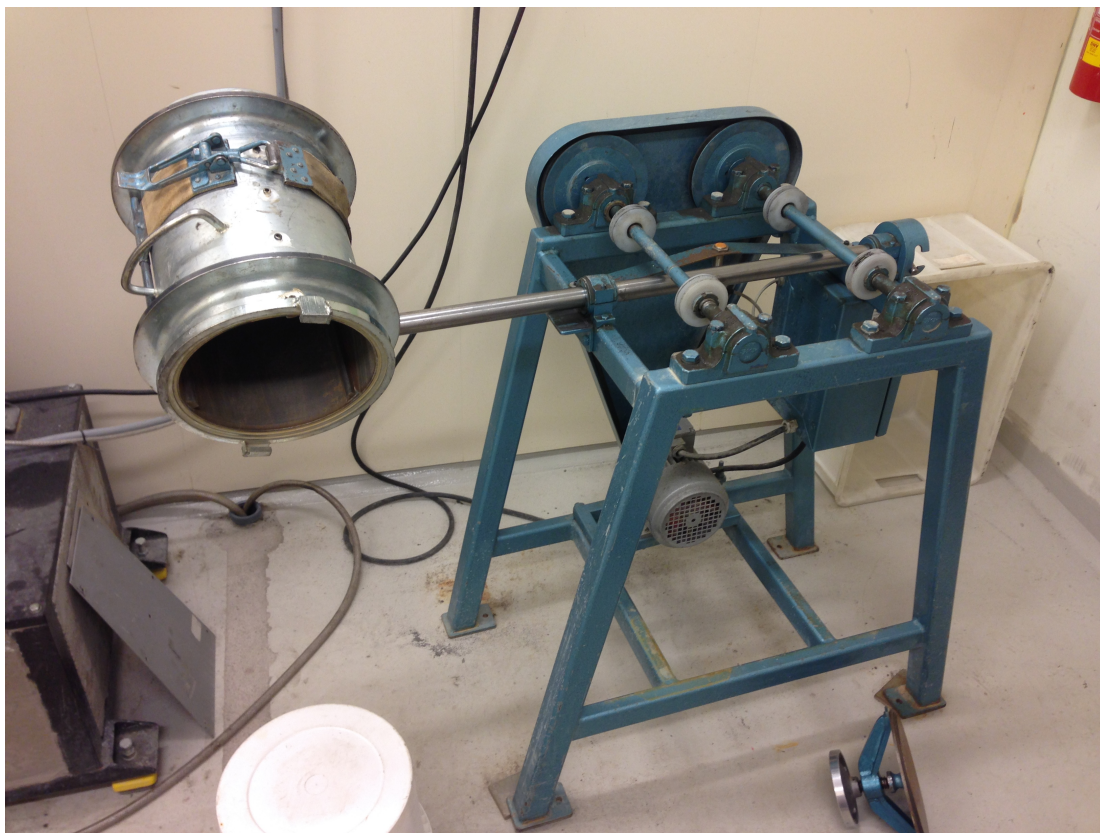
$$A_N = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (2.2)$$

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 > 2mm



FIGUR 2.4: Utstyr for kjøring av kulemølletesten.

2.6.3 Micro-Deval

Micro-Devalmetoden har som hensikt å indikere motstand mot slitasje for ubundne steinmaterialer. Testen utføres på grovt tilslag i fraksjon 10-14 mm, og i henhold til NS-EN 1097-1:2011 [23]. Prøvematerialet utsettes for slitasje ved at prøven tromles sammen med stålkuler og vann. Tromlen roteres ved (100 ± 5) rpm, og stoppes etter $12\,000 \pm 10$ omdreininger. Micro-Devalkoeffisienten beregnes som den masseprosent av prøven som etter slitasjen har en kornstørrelse mindre enn 1,6 mm. Prøven tas ut av tromlen og vaskes gjennom ei sikt med minste siktåpning 1,6 mm. Tilslag grovere enn 1,6 mm tørkes og veies til nærmeste gram. Micro-Devalkoeffisienten for hver prøve kan nå beregnes med formel 4.3. Det utføres minst to paralleller. Micro-Devalkoeffisient for

materialet er gjennomsnittet av disse [23].

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} \quad (2.3)$$

hvor:

M_{DE} = micro-Devalkoeffisienten: mengde bortslitt masse i %

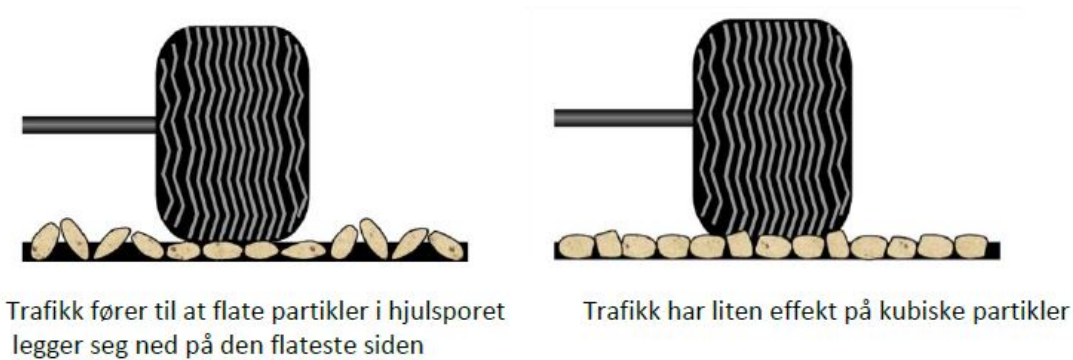
m = masse i gram, etter test, av prøvematerialet $> 1,6$ mm

2.6.4 Knusningsgrad

Knusningsgraden beskriver andelen knuste korn i grovt tilslag. Metoden baserer seg på visuell vurdering av hvert enkelt korn. Kornene deles inn i grupper ut fra kornoverflatas karakter: rundede og knuste korn. Knuste korn har ru overflater uten forvitring eller slitasje. Metoden benyttes på grus og grusblandet pukk. Knust berg har kun knuste korn og undersøkelsen er dermed overflødig i slike tilfeller [19]. Undersøkelsen utføres i henhold til NS-EN 933-5 [24].

2.6.5 Flisighetsindeks

Hensikten med denne undersøkelsen er å bestemme flisighetsindeksen til et materiale. Flisighet er definert som forholdet mellom et korns bredde og tykkelse [25]. Mens kubiske korn er ideelle for vegbygging, anses flisige materialer som ugunstige. Dette kommer blant annet av at flisige korn har økt mulighet til å pakke seg sammen, i forhold til kubiske korn. Over tid kan dette bidra til økte deformasjoner. Flisige materialer kan også føre til at dekket brytes opp under trafikkpåkjenningene [3]. Kornformens påvirkning på dekkets deformasjon er illustrert i figur 2.5.



FIGUR 2.5: Kornformen kan påvirke asfaltens holdbarhet [3].

Håndbok N200 [2] stiller derfor krav til flisigheten til materialer brukt i dekker og andre deler av konstruksjonen. Flisighetsindeksen for en fraksjon defineres i Håndbok R210 [19] som ”(...) prosent gjennomgang på fraksjonens tilhørende stavsikt”. Det vil si massen som passerer stavsikta delt på fraksjonens totale masse. Prøven siktes først over kvadratiske sikter. Deretter siktes hver fraksjon med stavsikt, med en bestemt spalteåpning i forhold til fraksjonen. Flisighetsindeksen for hele prøven er summen av alle masser som passerer stavsikta, delt på prøvens totale masse, og angis i prosent. Flisighetsindeksen for hele prøven beregnes etter formel 2.4. Undersøkelsen skal ellers gjennomføres etter retningslinjer i NS-EN 933-3:2012 [26].

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (2.4)$$

hvor:

FI = Flisighetsindeks

M_2 = Summen av masser i gram, som passerer stavsikta

M_1 = Prøvens totale masse i gram

2.6.6 Laboratorieknusing

Laboratorieknusing gjennomføres for å tilpasse steinmaterialets kornstørrelser til videre testing. Målet med knusingen er å produsere så mye materiale som mulig innenfor den fraksjonen som skal testes. En annen virkning av knusingen er en økning av kornenes angularitet og produksjon av finstoff [4, summary]. Det stilles ingen krav til gjennomføringen eller rapportering. Det er likevel viktig å opplyse om at materialet er laboratorieknust i rapporteringen av laboratorieundersøkelser som gjennomføres. Det bør også nevnes om knusingen har vært optimal eller ikke [19].

2.6.7 Belegg på asfalttilslag

Belegg på asfalttilslag defineres i Håndbok R210 [19] som et lag av finstoff på overflata til et steinkorn. Belegget hindrer direkte kontakt mellom bitumen og tilslaget slik at vedheften reduseres. Resultatet kan bli redusert levetid for slite-laget, og økt risiko for steinslipp. Undersøkelsen gjennomføres ved å utføre en visuell vurdering og børsting. Beleggmengden kvantifiseres ved å vaske prøven gjennom ei fin sikt, for deretter å finne en massedifferanse ved å veie prøven. Statens Vegvesen stiller ingen krav til mengde belegg på tilslag brukt i asfalt.

2.6.8 Tilslagsdensitet 4,0 – 31,5 mm

Metoden benyttes for å finne densiteten til et prøvemateriale i fraksjon 4,0 – 31,5 mm. Materiale som er finere enn 4,0 mm må testes separat. Det er den spesifikke densiteten som skal finnes, og defineres som "(...) den masse et bestemt volum av et materiale har i luft ved en bestemt temperatur i forhold til massen i vann med samme temperatur" [19]. Densiteten bestemmes ved måling

i pyknometer⁹. Testen skal gjennomføres i minst to paralleller, og i henhold til NS-EN 1097-6:2013 [28]. Formel 2.5 brukes til beregning av densiteten:

$$\rho_p = \left(\frac{(M_2 - M_0)}{V - \frac{(M_3 - M_2)}{\rho_w}} \right) \quad (2.5)$$

hvor:

M_0 = masse av pyknometer i gram

M_2 = masse av tørr prøve + pyknometer i gram

M_3 = masse prøve + pyknometer + vann

V = volum av pyknometer i ml

ρ_w = densiteten til vann ved den temperatur testen utføres [19]

2.6.9 XRD (røntgendiffraksjon)

”Prinsippet er basert på at refleksjon av en monokromatisk røntgenstråle som sendes inn på en krystallflate er avhengig av krystallens gitterstruktur” [29]. I en XRD-analyse utnyttes dette fenomenet for å identifisere mineraler, slik at mineralsammensetningen i tilslaget kan kartlegges. Blant annet er det interessant å vite glimmerinnholdet i tilslaget. Glimmer er et svakt mineral med stor spesifikk overflate, og er ufordelaktig i asfalt. Det høye overflatearealet gir glimmer stor absorberingsevne, slik at resultatet kan bli underskudd av bindemiddel, og der- til økt hulrom. I tillegg kan det være problematisk dersom glimmeret absorberer vann etter at asfalten er lagt, da dette kan bidra til påkjenninger gjennom fryse-

⁹”Pyknometer, glassflaske som brukes til å bestemme tettheten av væsker, pulvere og små legemer. Pyknometeret fylles til et bestemt volum ved at det lukkes med en innslepen glasspropp som har kapillær åpning med et innrisset merke” [27]. Brukes også i større skala for å bestemme densitet av tilslag.

og tineprosesser [30]. Høyt glimmerinnhold kan også resultere i et tilslag med lav slitasjemotstand [2].

2.6.10 Glimmertelling

En alternativ metode til XRD for å bestemme glimmerinnholdet i tilslaget, er å gjennomføre en glimkertelling. Forenklet går metoden ut på å gjenkjenne og telle antall glimmerkorn i fraksjon 0,125-0,250 mm under mikroskop.

2.6.11 Penetrasjon

Når bituminøse bindemidler benyttes er det ofte ønskelig å vite noe om fastheten, eller stivheten til bindemidlet. Bindemidlets stivhet er en viktig faktor som påvirker asfaltens deformasjonsegenskaper. Stort trafikkvolum og konsentrerte laster krever gjerne et stivt bindemiddel, for å unngå store deformasjoner i dekket. For lavtrafikkerte veier som er utsatt for ujevnt telehiv, eller kanskje dårlig bæreevne, kan et mykere bindemiddel være fornuftig. Det mindre stive bindemidlet kan tillate større deformasjoner før sprekker oppstår. Hvilken stivhet som velges bør også vurderes med tanke på det klima bindemidlet skal fungere i [2].

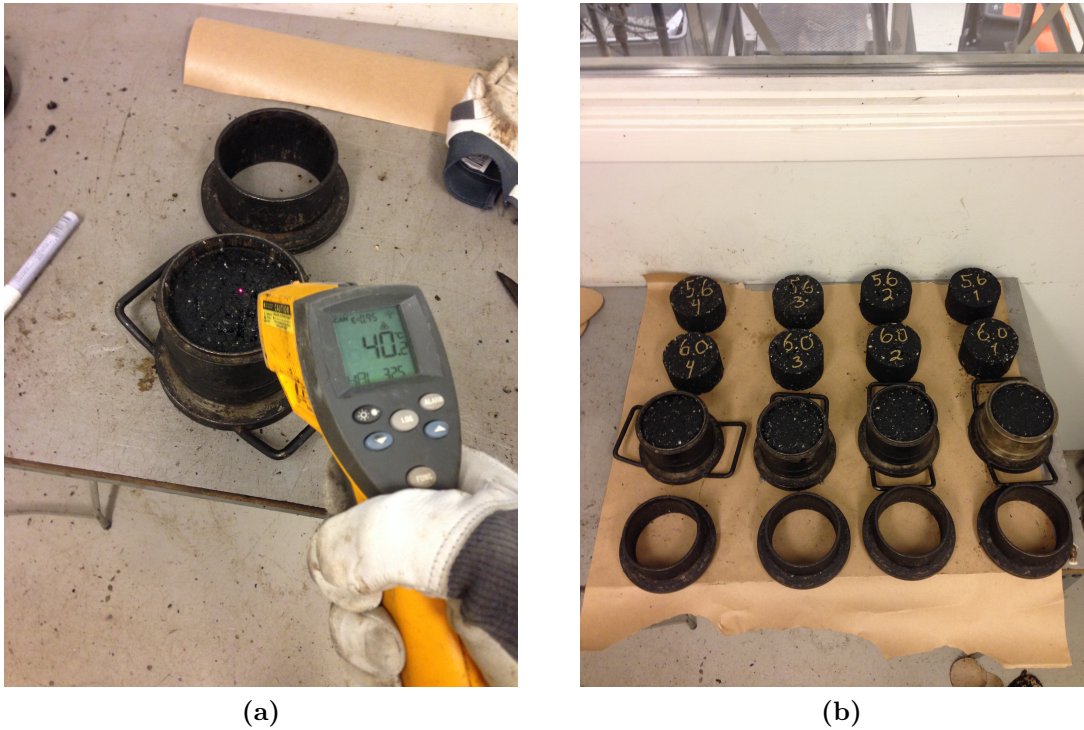
Bindemidlets stivhet kan måles ved å penetrere en bindemiddelprøve med ei nål. Håndbok R210 definerer penetrasjon som ”dybden en standardisert nål trenger ned i prøvematerialet ved en gitt temperatur, belastning og tid” [19, s. 186]. Nåla plasseres omtrent nøyaktig på overflata av prøven. Deretter tillates nåla å synke fritt i fem sekunder, under vekta av en bestemt masse. Til slutt kan penetrasjonen leses av måleutstyret, som måles i 0,1 mm. Testen skal bestå av tre gyldige målinger, og ellers gjennomføres i henhold til NS-EN 1426:2015 [31].



FIGUR 2.6: Bindemidlets stivhet kan bestemmes gjennom en penetrasjonstest.

2.6.12 Marshall slagkompaktering

Metodens hensikt er å produsere sylindriske klosser av bituminøs masse ved slagkompaktering. Den bituminøse massen helles i ei sylindrisk form og stamper et bestemt antall ganger. Deretter snus prøven, og samme antall stampinger påføres den andre sida. Antall stampinger varierer ut fra hva klossene skal brukes til. 50 stampinger er vanlig for å dokumentere hulrominnhold.



FIGUR 2.7: (a) Den ferdigstampede prøven avkjøles i forma, og presses så ut. (b) Ferdige Marshallklosser og prøver til avkjøling.

Etter kompakteringen avkjøles prøven i forma til 40 °C, før klossen presses ut. Klossene kan benyttes til å finne et passende bindemiddelinhold gjennom å utføre en Marshallproporsjonering [32]. Marshallproporsjoneringen er beskrevet i kapittel 2.6.15. På denne måten inngår metoden som et verktøy i forbindelse med å utarbeide asfaltresepter. Klossene kan også brukes til å gjennomføre Pralltesten, beskrevet i kapittel 2.6.16. [19]. Tillaging av prøvelegemer ved Marshall slagkompaktering gjennomføres etter beskrivelser i NS-EN 12697-30:2012 [32].

2.6.13 Asfaltprøvens densitet

Som metodens navn tilsier, er hensikten med undersøkelsen å bestemme asfaltprøvens densitet. Densiteten finnes ved å måle prøvens masse og volum.

Massen måles ved å veie prøven tørr i luft. Prøvens volum kan måles på flere måter. Metoden finnes derfor i fire forskjellige utgaver, der valget mellom de fire beror på prøvens beskaffenhet. Metoden skal gjennomføres etter beskrivelser i NS-EN 12697-6:2012 [33].

Metode A

Dersom prøven ikke har synlig åpne hulrom på overflata, kan densiteten bestemmes ved å veie prøven tørr i luft og nedsenket i vann. Veiingen i vann kan foretas så snart vannet i karet har roet seg. Formel 2.6 beregner prøvens densitet:

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_w \quad (2.6)$$

hvor:

ρ_{bdry} = prøvens densitet - veiing vått og tørt, i Mg/m³

m_1 = masse av tørr prøve i luft, i gram

m_2 = masse av prøve nedsenket i vann, i gram

ρ_w = vannets densitet ved den temperatur testen ble utført, i Mg/m³

Metode B

Denne metoden er egnet til prøver med en noe åpen overflate. Prøven veies tørr i luft, nedsenket i vann, og hydrostatisk overflatetørr. For denne metoden er det nødvendig at prøvene ligger en tid i vannet, før veiing i vann kan gjøres. Prøvene skal oppbevares i vannet minst en halv time, og maksimalt tre timer. Etter veiingene kan prøvens densitet beregnes etter formel 2.7.

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w \quad (2.7)$$

hvor:

ρ_{bssd} = prøvens densitet - hydrostatisk overflatetørr, i Mg/m³

m_1 = masse av tørr prøve i luft, i gram

m_2 = masse av prøve nedsenket i vann, i gram

m_3 = masse av hydrostatisk overflatetørr prøve i gram

ρ_w = vannets densitet ved den temperatur testen ble utført, i Mg/m³

Metode C

Metode C brukes for prøver som har en rimelig tett overflate. Metoden går ut på å forsegle prøven i voks, før volumet til prøven finnes ved veiing i vann. Overflata kan ikke være for åpen, siden voks da kan trenge inn i prøven. Prøven veies tørr i luft, voksforseglet i luft, og voksforseglet i vann. Derreter beregnes prøvens densitet etter formel 2.8.

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{(m_2 - m_3)/\rho_w - (m_2 - m_1)/\rho_{sm}} \quad (2.8)$$

hvor:

ρ_{bsea} = prøvens densitet - forseglet, i Mg/m³

m_1 = masse av tørr prøve i luft, i gram

m_2 = masse av tørr forseglet prøve i luft, i gram

m_3 = masse av forseglet prøve nedsenket i vann, i gram

ρ_w = vannets densitet ved den temperatur testen ble utført, i Mg/m³

ρ_{sm} = voksens densitet ved den temperatur testen ble utført, i Mg/m³

Metode D

Metode D benyttes for prøver med hulrom større enn 10 %, og gjennomgående porer. Prøvens masse måles ved å veie prøven tørr i luft, mens volumet bestemmes ved måling av prøvens dimensjoner. Lengder og høyder måles med skyvelære. Metoden forutsetter derfor prøver med regulær form. Formel 2.9 beregner prøvens densitet når prøven har sylindrisk form (Marshallkloss).

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\left(\frac{\pi}{4} \cdot h \cdot d^2\right)} \cdot 10^3 \quad (2.9)$$

hvor:

ρ_{bdim} = prøvens densitet - dimensjoner, i Mg/m³

m_1 = masse av tørr prøve i luft, i gram

h = prøvens høyde i millimeter

d = prøvens diameter i millimeter [33]



FIGUR 2.8: Marshallklosser til bestemmelse av densitet ved metode B.

2.6.14 Asfaltprøvens hulrominnhold

Denne metoden benyttes for å finne hulrominnholdet i ferdig kompaktert asfalt. Prøvelegemer kan være labproduserte, eller utskåret fra et vegdekke. Både bitumenfylt hulrom og luftfylte porer skal bestemmes. Resultatene benyttes gjerne som kriterium for om asfaltresepten er riktig komponert. Det synes å være konsensus i bransjen om at hulrominnholdet er en viktig parameter, som påvirker blant annet slitasje og deformasjonsutviklingen i asfalten. Beregningen av luftfylt hulrom gjennomføres med utgangspunkt i prøvens maksimale densitet og prøvens

faktiske densitet. Følgende formel fra håndbok R210 [19] benyttes:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100 \quad (2.10)$$

hvor:

V_m = innhold av luftfylt hulrom i %

ρ_m = maksimal densitet i Mg/m³

ρ_b = prøvens densitet i Mg/m³

Bestemmelse av det bitumenfylte hulrommet beregnes etter formel 2.11:

$$VFB = \frac{B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B}}{V_m + B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B}} \cdot 100 \quad (2.11)$$

hvor:

VFB = andel bitumenfylt hulrom i %

B = masseandel bindemiddel i prøvelegemet i %

ρ_b = prøvens densitet i Mg/m³

ρ_B = bindemidlets densitet i Mg/m³ ved 25 °C [19]

Metoden skal gjennomføres i henhold til instruksjer i NS-EN 12697-8(2003) [34].

2.6.15 Marshallproporsjonering

Formålet med Marshallproporsjoneringen er å tilpasse bindemiddelinholdet i en bituminøs masse, med hensyn til hulrominnhold, bitumenfylt hulrom, stabilitet, flyt og stivhet. Det første steget i proporsjoneringen er å bestemme graderingskurven, og hvilket bindemiddel som skal benyttes. Deretter tillages det Marshallklosser med varierende bindemiddelinhold, i steg på 0,4-0,5 prosentpoeng rundt

et forventet passende bindemiddelinnhold. Det lages minst fire parallelle prøver for tre ulike bindemiddelinnhold.



FIGUR 2.9: Ferdig preparerte prøver til proporsjoneringsformål, kompaktet med Marshall slagkompaktering.

Neste steg i proporsjoneringen er å bestemme prøvenes densitet. Metoden for måling av densitet er beskrevet i kapittel 2.6.13. Videre presses prøvene i ei Marshallpresse for å måle stabilitet og flyt. Marshallstabiliteten, eller korrigert stabilitet, finnes ved å gange med en korreksjonsfaktor som justerer stabiliteten for prøvens høyde i forhold til standardhøyden på 63,5 mm. Stivheten finnes fra forholdet mellom stabilitet og flyt. For å kunne beregne hulrominnhold og bitumenfylt hulrom, er det også nødvendig å vite prøvens maksimale densitet. Den maksimale densiteten kan være teoretisk (beregning), eller den kan måles (Rice density¹⁰). Beregningen av hulrominnhold og bitumenfylt hulrom er beskrevet i

¹⁰Rice density': metode utviklet av James Rice for måling av maksimal densitet [35].

kapittel 2.6.14.

Nå kan hulrom, bitumenfylt hulrom, stabilitet, flyt og stivhet, plottes mot bindemiddelinnhold. Fra kurvene kan det gjøres en vurdering rundt å optimalisere bindemiddelinnholdet. Fremgangsmåte og krav til metoden er beskrevet i NS-EN 12697-34:2012 [36].

2.6.16 Prall

Prallmetoden brukes for å teste asfaltens motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje. ”Metoden er funnet å korrelere med piggdekkslitasje på veg for massetyper med vegbitumen. Det er ikke gjort større undersøkelser for å etablere de samme sammenhengene for dekker med PMB¹¹ eller gummitilsetninger” [19].

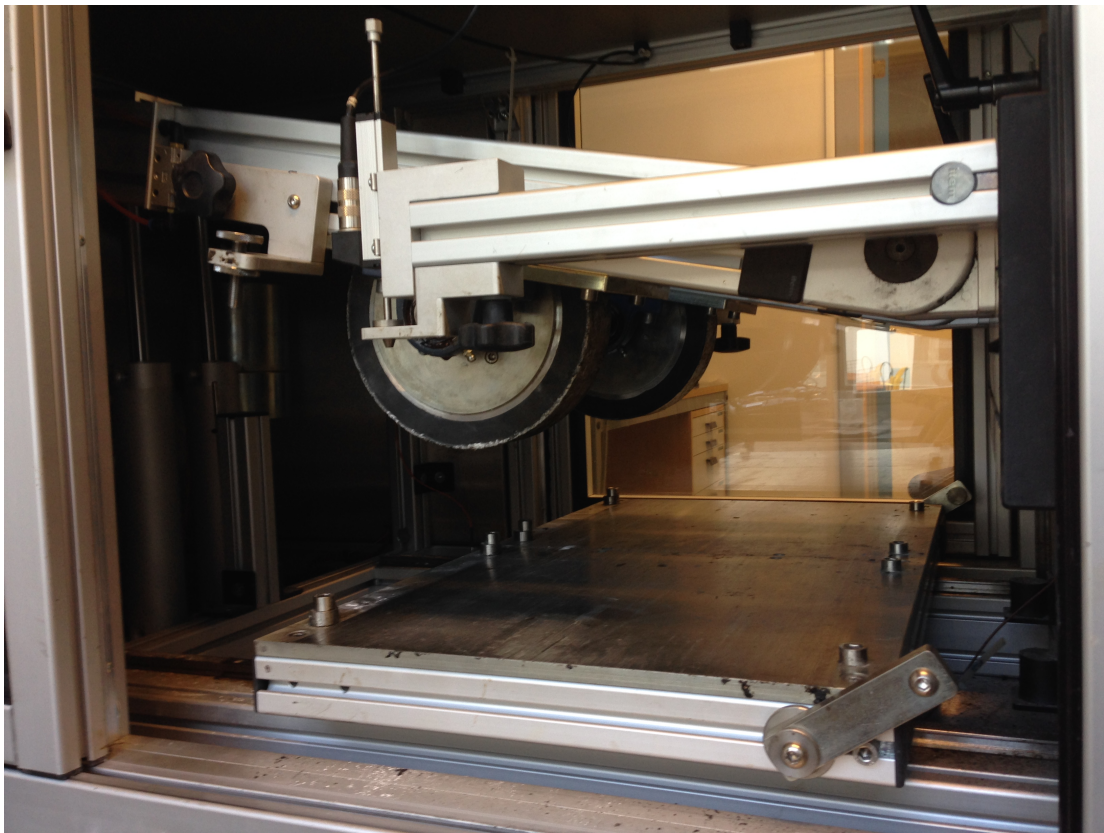
Prøvene som testes kan være laboratorieprodusert, eller skåret ut av asfaltdekket. I laboratoriet kompakteres asfalten ved Marshall slagkompaktering eller gyrator. Marshallmetoden for tillaging av prøver er nærmere beskrevet i kapittel 2.6.12. De kompakterte prøvene sages slik at de får en tykkelse på 30 mm, og testes på den sagde flata. Prøvene utsettes for slitasje ved å plassere prøven nedest i en sylinder, med 40 stålkuler på flata som vender opp. Sylindere ristest i 15 minutter, mens vann strømmer gjennom kammeret. Prallverdien er det volum i ml av prøven som er bortslitt etter 15 minutter [19]. Undersøkelsen gjennomføres i henhold til metode A i NS-EN 12697-16 [37].

2.6.17 Wheel track

Metoden har som hensikt å måle motstandsdyktighet mot permanente deformasjoner for bituminøst bundne materialer. Prøven testes for deformasjon ved at den blir utsatt for belastning. Belastningen består av gjentatte overkjøringer av et hjul. I Norge er det vanlig å gjennomføre testen med ’lite prøvingsutstyr’, ved

¹¹Polymermodifisert bitumen

50°C og i to paralleller. Testen stoppes etter 10 000 sykler, eller når spordybden når en maksimal verdi. Hva som er maksimal verdi varierer, og er definert i standarden. Hver sykel består av to overkjøringer med hjulet. Deformasjonen angis som ”prosentvis deformasjon i forhold til tykkelsen. I tillegg oppgis spordybde i mm og sporutviklingen i linært område som mm/1000 lastsykler” [19]. Tillaging av prøver gjøres som beskrevet i NS-EN 12697-33 [38]. Gjennomføringen av testen gjøres i henhold til beskrivelser NS-EN 12697-22 [39].



FIGUR 2.10: 'Lite prøvingsutstyr' for kjøring av Wheel Track-testen.

2.7 Kortreist stein

”Kortreist stein” er et forskningssamarbeid mellom ulike aktører i næringslivet, Statens Vegvesen og NTNU med fler. Denne masteroppgaven vil inngå som en del av dette forskningsprosjektet.

Bakgrunnen for forskningsprosjektet er den påbegynte utbyggingen av E-39. Ett av fire hovedmål med forskningen er ”mest mulig høyverdig og bærekraftig bruk av lokale bergmasser fra infrastrukturprosjekter” [1]. Det settes fokus på å benytte overskuddsmasser fra tunneldrift og vegskjæringer på en optimal måte. Bruken vil være høyverdig dersom materialene inngår i en del av veggen med så høye krav til tilslaget som mulig. I dag er det ikke uvanlig at slike overskuddsmasser dumpes, eller benyttes som utfylling i nye byggeområder [1]. Dette er ansett som lavverdige formål. Bergmasse er også en ikke fornybar ressurs, og bør i kraft av dette utnyttes optimalt.

En optimal bruk av stein som ressurs er interessant både med tanke på økonomi og miljø. Av miljøhensyn er det gunstig å benytte lokale bergmasser, da man unngår lang transport. Lang og tung transport er uheldig fordi dette bidrar til å øke CO₂-avtrykket til prosjektet. Tunge kjøretøy er også ansett som den viktigste nedbrytningsfaktoren for norske veger [9]. Kostnader og miljøpåkjenninger forbundet med nedbryting av det eksisterende vegnettet må derfor også med i regnskapet. Samtidig kan man ved å benytte overskuddsmassene fra linja, unngå å måtte dumpe disse.

Hva som er optimal bruk vil ikke alltid være like åpenbart, og er avhengig av flere forhold. Eksempelvis må det gjøres en avveining mellom å benytte lokal, kanskje svakere stein, mot stein fra en forekomst med gunstigere kvalitet. For et slitelag vil svakere stein i mange tilfeller gi en kortere levetid. Avveiningen ligger i å sammenligne kostnad og miljøpåvirkning. Statens Vegvesen trekker frem følgende to spørsmål som er viktige:

- ”Hva koster det å bruke steinmaterialer av høyere kvalitet?”
- ”Hvor mye koster det å oppnå bedre kvalitet fra et ”dårlig” utgangsmateriale?” [1].

Et ledd i å vurdere kostnaden ved å benytte masser fra linja er logistikk. Når man driver en tunnel er det ikke uvanlig å treffe uventede svakhetssoner og kvaliteten ellers kan være annerledes enn hva man skulle tro ut fra kartleggingen. Svakhetssoner inneholder ofte leire og vann. Disse massene fra tunneldrivingen kan være ubrukelige, og dermed gi ustabil tilgang på godt nok materiale. Dersom det er snakk om små mengder ubrukelig materiale kan en løsning være å ha godt materiale liggende i ”bakhånd”. Samtidig vil dette stille krav til oppbevaringsplass på eller i nærheten av anlegget. Særlig for bynære prosjekter kan oppbevaring være både vanskelig og dyrt.

2.8 SIV - Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker (2001-2005)

Laboratorieundersøkelsene for steintilslag omtalt i kapittel 2.6 gir innsikt i mange av tilslagets kvaliteter. Resultatene fra forsøkene er i mange tilfeller likevel bare indisier på hvordan asfalten som helhet vil fungere. NCHRP fant at det vanskelig lar seg gjøre å isolere effekten av tilsalgets ulike egenskaper fra korngraderingen og proporsjonering. ”Det er tilsynelatende slik at mangler ved én av tilslagets egenskaper relatert til sporslitasje, kan maskeres av andre støttende egenskaper” [4].

Et alternativ til rene laboratorieundersøkelser er undersøkelser i felt. Sintef gjennomførte mellom 2001 og 2005 en rekke undersøkelser på ulike forsøksfelt. Et av målene med forsøkene var å ”fastlegge nye kriterier og evaluere dagens krav til

steinmaterialer ved proporsjonering av asfaltdekker” [40].

I et feltforsøk i Nordland med forsøksstrekninger ble det testet to ulike dekke-sammensetninger. Den ene med sterkere og mer slitesterkt tilslag enn det andre. Måling med både ALFRED og Sintef sin målebjelke viste liten eller ingen forskjell i årlig sporutvikling for de to feltene. Det foreslås i rapporten følgende forklaring til den manglende forskjellen mellom sporslitasjen: ”Dette skyldes sannsynligvis at bare en del av steintilslaget (47 %) i asfaltresepten for felt 1 var erstattet med sterkere tilslag, samtidig som trafikkmengden var 25 % større på dette feltet [41].

Det samme forskningsprosjektet gjennomførte i tillegg ringbaneforsøk for å teste motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje. Her ble det også benyttet sterkt materiale i deler av fraksjonen. Dette er en sluttrapportens konklusjoner:

Bruk av slitesterkt tilslag i finfraksjonen / materialet < 4mm ga mark-ert større slitestyrke (20 % mindre slitasje ved bruk av en ekstremt sterk bergart i mørtelfasen i en resept med svakt tilslag; 50 % større slitasje ved bruk av svak bergart i mørtelfasen i en resept med opprinnelig sterkt tilslag i det aktuelle tilfellet) [41].

Dette kan indikere at finfraksjonen av tilslaget til en viss grad påvirker slitasjen. Den samme studien konkluderer samtidig med at en reduksjon av maksimal korndiameter fra 11 mm til 8 mm, førte til dobbelt så stor sporslitasje i ringbaneundersøkelsen. Videre var konklusjonen at slitasjen er sterkt avhengig av slitasjestyrken på materiale større enn 4 mm, og at en økning i mengde grovt tilslag i asfalten forbedret slitasjestyrken betydelig.

I 2016 utarbeidet Veiteknisk Institutt et teknisk notat der resultater fra Prall ble sammenstilt. Dataene ble hentet fra SINTEF sine testinger, gjennomført for Statens Vegvesen. Også denne rapporten kommer frem til at slitasjemotstanden i asfalten er avhengig av andelen steinmateriale større enn 4 mm. Det oppsummeres også at for masser med kule møllekrav større enn sju, kan PBM bidra til lavere

Prallverdier [42].

I lys av dette kan det kanskje være mulig å oppnå tilfredsstillende motstand mot slitasje, tross bruk av svakt materiale i deler av tilslaget. Kanskje spesielt dersom sterkt tilslag inngår i grovfraksjonen i en steinrik asfalt.

Kapittel 3

Metode

Som tidligere nevnt skal denne masteroppgaven inngå som en del av forskningsprosjektet 'Kortreist stein'. Prosjektet startet i 2016 og er pågående. "Kortreist stein" er nært knyttet til "Fergefri E-39". Behov og forhold i dette vegprosjektet vil dermed også få betydning for hva som testes, og valg av metode i denne undersøkelsen.

Trafikken på E-39 har økt mye de senere årene, og mer enn ellers i landet. Fergefrie strekninger vil øke trafikkmengden ytterligere. Erfaringer fra tidligere fergeavløsningsprosjekt er en relativt stor engangs trafikkvekst umiddelbart etter at strekningene blir fergefrie. Statens Vegvesen foreslår en engangs vekst på 30-40% som et konservativt anslag. I tillegg øker den årlige tilveksten. På sikt vil også fjerning av bompengene øke trafikken [43, Samfunn]. Med dette i betraktning vil det være fornuftig å dimensjonere de nye vegene for relativt store trafikkbelastninger.

Et annet aspekt som påvirker fokusområdet for undersøkelsen er målsetningen i "Kortreist stein": "å benytte masser fra tunneldrift og vegskjæringer på en så høyverdig måte som mulig" [1]. Med "høyverdig" må det her forstås at massene benyttes i en konstruksjonsdel med så strenge krav til kvalitet som mulig. Generelt

kan man si at det stilles flere og strengere krav høyt i vegkonstruksjonen. Strengest krav stilles det til slitelaget. I tillegg til at slitelaget utsettes for de mest konsentrerte trafikklastene, må det også være motstandsdyktig mot slitasje. Bruk av kortreist stein i slitelaget kan dermed sies å være den mest høyverdige bruken.

I denne undersøkelsen skal det ses på et dekke (binde- og slitelag) som ofte benyttes i Norge der slitasje og deformasjon er viktige parametre. Helt konkret Ska 11 med 70/100 bitumen (SMA¹ 11). Dette er en asfalt som er aktuell under byggingen av E39. Ska, eller skjelettasfalt, er en asfalttype som gjerne benyttes for relativt høy ÅDT. Stort sett benyttes massetypen på veger med ÅDT 5000 eller høyere [2]. Asfalten skal testes for piggdekkslitasje og permanente deformasjoner. For slitelaget vil nok slitasjen være viktigst når det ses på et dekke beregnet for stort trafikkvolum. Det er sannsynlig at slitasjen vil være større enn deformasjonsutviklingen. For bindelaget kan deformasjon være avgjørende for levetida. I tilfeller der bindelaget ligger en periode før slitelaget legges, kan piggdekkslitasje likevel være av interesse.

3.1 Laboratorieprogram

N200 [2] stiller krav både til delmaterialer og asfalten som helhet. Dette kapitlet tar for seg metoder benyttet for å undersøke delmaterialene og den produserte asfalten. Testmetodene nevnes kort, med referanse til aktuell standard. En mer utfyllende beskrivelse av undersøkelsene er gjort i kapittel 2.

Målet med studien har vært å undersøke hvordan blanding av svakt og sterkt tilslag påvirker asfaltens motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje og permanente deformasjoner. Blandingen ble gjort ved at deler av graderingskurven besto av svakt tilslag, mens sterkt tilslag inngikk i resterende fraksjoner. For å undersøke dette ble det produsert fire forskjellige asfaltblandinger:

¹Stone Mastic Asphalt

- (A) 100 % svakt tilslag
- (B) Svakt tilslag i 0/8-fraksjonen, og sterkt i 8/11-fraksjonen
- (C) Svakt tilslag i 8/11-fraksjonen, og sterkt i 0/8-fraksjonen
- (D) 100 % sterkt tilslag

3.1.1 Steinmaterialene

Valget av steinmaterialer ble gjort ut fra tilgjengelighet, og ønskede kvaliteter. Det sterke og svake tilslaget som ble benyttet var henholdsvis 'materiale 1' og 'materiale 2'. 'Materiale 1', heretter M1, er et materiale av tett bergart, med kubisk, skarpkantede og uforvitrede korn. M1 inneholder heller ingen svake korn. M1 anses som et høykvalitetsmateriale, med gode verdier med tanke på nedknusing, slitasje og kornform. Egenskapene er gode i forhold til de krav som stilles til steinmaterialet i en Ska i N200 [2].

M1 er masser fra et dagbrudd, og har blitt knust og siktet på fabrikk. Følgelig har dette materialet en viss mengde over- og understørrelser. Asfalt av M1 er også en referanse for å vurdere kvaliteten på asfalt av de sammensatte graderingskurvene og M2. Det ble ikke utført noen laboratorietester på dette tilslaget, da de mekaniske egenskapene allerede var kartlagt.

M2 er masser fra tunneldriving på et vegprosjekt i Hordaland. Ved visuell inspeksjon av materialet fremstår det som åpenbart at materialet inneholder korn med ulike farger og struktur. Materialet ble tørket i varmeskap og laboratorieknust to ganger. Deretter ble materialet siktet i passende fraksjoner for sammensetting til ønsket graderingskurve. I motsetning til M1 er de siktede fraksjonene til M2 tilnærmet rene, det vil si uten over og understørrelser. Dette gjør det enklere å tilpasse graderingskurven ved sammensetting av fraksjonene.



FIGUR 3.1: (a) Materiale 1: sterkt tilslag. (b) Materiale 2: svakt tilslag.

For M2 forelå det resultater fra Los Angeles og micro-Deval, samt en XRD-analyse. N200 stiller ikke krav direkte rettet mot micro-Deval-verdi, men til møllverdien. Samtidig er det funnet god korrelasjon mellom resultater fra disse to metodene [2]. Omregningsformelen 3.1 fra NGU sin pukkdatabase, har blitt brukt for å få et estimat på mølleverdien for M2 [2]. Resultatet fra micro-Deval kan dermed benyttes for å validere, eller avdekke feil i målingene av mølleverdi. Den beregnede mølleverdien fra micro-Devalverdi, i tillegg til LA-verdien, ble også benyttet i starten av prosjektet for å vurdere og velge ut et tilslagsmateriale med passende kvaliteter.

$$A_N = 1,30 \times M_{DE} + 0,3 \quad (3.1)$$

Det ble også gjennomført en kulemølletest og måling av flisighet på M2. Testene ble utført etter retningslinjer i henholdvis NS-EN 1097-9:2014 [22] og NS-EN 933-3:2012 [26]. Spesifikk korndensitet ble målt etter NS-EN 1097-6:2013 [28] på M2 for å finne korresponderende prøvestørrelse under kjøringen av kulemølletesten. Densiteten har også vært et viktig verktøy for å sette sammen sterkt og svakt

tilslag til en felles kurve, samt beregne mengdebehov under tillaging av Prall- og Wheel Track-prøver.

3.1.2 Bitumen

Bindemidlet som ble benyttet var en 70/100 bitumen. Dette er et vanlig bindemiddel å benytte i et Ska-dekke, og er derfor passende for undersøkelsen. Samtidig er det de relative forskjellene mellom asfaltblandingene som er av størst interesse. I denne sammenheng er bindemidlets viktigste egenskap at det er så identisk som mulig mellom prøvene. Bitumen har derfor vært den samme for alle prøvene. All bitumen som ble benyttet har også vært fra samme uttak. Tilgjengelig tid til å gjennomføre undersøkelser har også vært begrenset. Det har derfor ikke blitt gjennomført noen utstrakt testing på bindemidlet. For å få et mål på stivheten til bindemidlet ble det gjennomført en penetrasjonstest. Testen ble utført etter retningslinjer i NS-EN 1426:2007 [31].

3.1.3 Bituminøst bundne materialer

For å produsere varmblandet asfalt med M1, ble det benyttet en allerede eksisterende resept. Denne ble benyttet for å produsere D-prøvene: 100% sterkt tilslag. Resepten fungerte også som mal for utarbeidelsen av en resept for M2 ved at innhold av amin og fiber ble kopiert. Det ble gjennomført en Marshallproporsjonering etter NS-EN 12697-34:2012 [36] med M2, for å finne bindemiddelbehovet til dette materialet. Prøvene til proporsjoneringen besto av tre ulike bindemiddelinnhold, og fire paralleller. Bindemiddelinnholdene var 5,6, 6,0 og 6,4%. Densiteten av prøvene ble bestemt etter metode B i NS-EN 12697-6:2012 [33]; hydrostatisk overflatetørr, ettersom dette er et krav for prøver av Ska i N200 [2, s. 353].

For å blande tilslagsmaterialene til én kurve, ble det tatt utgangspunkt i re-

septen for M2. Der en fraksjon ble byttet ut med M1, ble det gjort en omregning av nødvendig masse ved å multiplisere med forholdstallet mellom materialenes ulike densiteter. Resultatet ble så satt sammen og siktet for å undersøke om kurven havnet innenfor grensekurvene for en Ska 11. Deretter ble nødvendige endringer gjort, før materialet igjen ble siktet for å kontrollere resultatet mot grensekurvene. På grunn av varierende mengde finstoff i steinmaterialene, har det vært nødvendig å justere fillermengden noe mellom blandingene. Fillerinnholdet har vært 9-11 %, og samme materiale for alle prøvesammensetningene. Bindemiddelinnholdet ble valgt gjennom proporsjoneringen, og har vært det samme for alle blandingene.



FIGUR 3.2: Marshallklossene ble saget på midten og resulterte i to prøver til Prall.

Pralltester ble utført på asfaltblandingene for å teste motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje. Prøvelegemene ble tillaget av asfalt blandet i laboratoriet etter NS-EN 12697-35:2016 [44], og kompaktet ved Marshall slagkomprimering etter retningslinjer i NS-EN 12697-30:2012 [32]. Prøvelegemene ble laget med en tilsiktet høyde på (30 ± 2) mm. For å få til dette ble det laget Marshallklosser med tilsiktet høyde på 65 mm. Deretter ble klossene saget på midten, og resultatet var to prøver med omtrentlig høyde på 30 mm. Pralltestene ble utført i henhold til metode A i NS-EN 12697-16:2016 [37].

Wheel Track-testen ble utført for å finne asfaltens motstandsdyktighet mot deformasjoner. Prøvelegemene ble tillaget av asfalt blandet i laboratoriet etter NS-EN 12697-35:2016 [44], og dynamisk kompaktet etter beskrivelser i NS-EN 12697-33:2003 [38]. Det ble benyttet 'lite prøvingsutstyr' i henhold til NS-EN 12697-22:2016 [39], og prøver med dimensjoner $(305 \times 305 \times 40)$ mm. Testen ble utført i luft ved 50°C .

Som nevnt i kapittel 2.6.14 er hulrominnholdet en viktig parameter som påvirker både slitasje og deformasjonsutviklingen i asfalten. Det ble derfor målt hulrominnhold på Prall- og Wheel Track-prøvene. Prøvenes densitet ble målt ved veiing i luft, vann og overflatetørr tilstand (metode B i NS-EN 12697-6:2012 [33]), og hulrommet ble beregnet etter formel 2.10 i kapittel 2.6.14. Det ble forsøkt oppnådd et tilsiktet hulrom i prøvene på 2,9%. Maksimal densitet, eller 'Rice density' ble målt av laborant ved 'Kompetansesenteret Veidekke Industri'.

Kapittel 4

Resultater

4.1 Beskrivelse av materialene

4.1.1 Svakt tilslag - Materiale 2

Materiale 2, forkortet 'M2', utgjør det svake tilslagsmaterialet som undersøkes. Under følger resultater fra undersøkelser på steinmaterialet: Los Angeles, kulemølle, flisighet, korndensitet og XRD. Det samlede resultatet beskriver materialets mekaniske egenskaper og mineralsammensetning. Beskrivelsen er viktig for å kunne sammenligne materialet mot krav i N200, samt at funn i studien lettere kan generaliseres mot andre materialer av samme karakter.

Los Angeles-verdi

Los Angeles-testen har blitt utført for å finne materialets motstandsdyktighet mot nedknusing. Testen er ikke utført som en del av laboratorieprogrammet, men er kjent fra før. Resultatet kan leses av tabell 4.1. Verdien er interessant med tanke på å sammenligne materialet mot krav i N200, samt M1.

TABELL 4.1: Resultater fra Los Angeles-test, utført på M2.

Prøvenr.	Masse >1,6 mm [g]	LA-verdi	Gjennomsnittlig LA-verdi
1	3526	30	
2	3503	30	30
3	3471	31	

Mølleverdi

Kulemølletesten er utført på M2 for å bestemme materialets motstandsdyktighet mot piggdekkslitasje. Håndbok N200 stiller krav til kulemølleverdi for steinmaterialer brukt i slitelag.

Prøvestørrelsen er definert i tabell i N200, og varierer med steinmaterialets densitet. Densiteten som ga utgangspunkt for den prøvestørrelsen som er brukt, er ikke den samme som funnet av tabell 4.5. Årsaken til dette er at det ble gjort flere målinger av korndensitet, hvorav tabell 4.5 er den siste. Målingen ble gjort på nytt på grunn av små feil i gjennomføringen. Avviket er likevel lite, og resultatet fra kulemølletesten er gyldig. Densiteten som her er brukt er $2,96 \text{ g/cm}^3$. Sammenlignet med densiteten fra siste måling ($2,95 \text{ g/cm}^3$) blir dermed forskjellen i den tilsiktede prøvestørrelsen 3,8 g, eller ca. 0,3%. Det godtas en toleranse på $\pm 1\%$ [2]. Resultatet fra testen er presentert i tabell 4.2.

TABELL 4.2: Resultater fra kulemølletesten, utført på M2.

Prøvenr.	Masse før test [g]	Masse etter test [g]	A_{Ni}	A_N
1	1117,4	782,8	29,9	30,1
2	1116,2	777,6	30,3	

Micro-Deval-verdi

Micro-Deval-metoden er gjennomført for å finne materialets motstandsdyktighet mot abrasiv slitasje. Testen er ikke utført i forbindelse med studien, men har blitt gjort tidligere i en annen studie med samme materiale. Resultatet fra testen er fremstilt i tabell 4.3.

TABELL 4.3: Micro-Deval-verdier for alle paralleller, og gjennomsnittet av disse.

Prøvenr.	M_{DEi}	M_{DE}
1	26,6	
2	21,6	23,6
3	22,6	
4	23,4	

Som nevnt i metodekapitlet, kan korrelasjonen mellom micro-Deval- og kulemølleverdien brukes for å validere målte verdier. Med utgangspunkt i resultatet fra tabell 4.3, og omregningsformel fra NGU sin pukkdatabase [2], beregnes møllverdien i ligning 4.1.

$$A_N = 1,30 \times M_{DE} + 0,3 = 1,30 \times 23,6 + 0,3 = 30,98 \approx 31,0 \quad (4.1)$$

En sammenligning av beregnet mølleverdi fra micro-Devalverdi, og målt mølleverdi, gir et avvik på 3%. Når avviket mellom de ulike parallellene er i samme størrelsesorden, må man kunne si at resultatet fra kulemølletesten er plausibelt.

Flisighetsindeks

Flisigheten til materialet ble undersøkt for å finne ut om krav til flisighetsindeks i N200 er oppfylt, og ellers beskrive materialets mekaniske egenskaper. Flisigheten

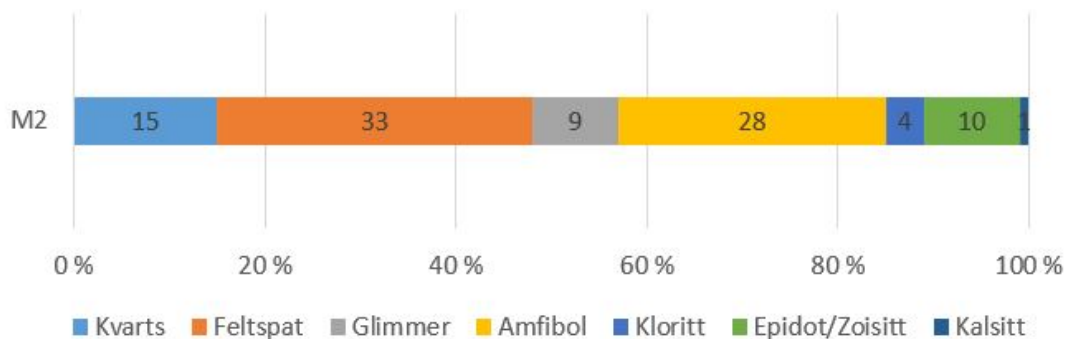
kan også si noe om hvor lett asfalten kan kompakteres. Resultatet er listet i tabell 4.4.

TABELL 4.4: Resultater fra måling av flisighetsindeks på M2.

Fraksjon [mm]	Sikterester (R_i) på kvadratsikt [g]	Spaltebredde på stavsikt [mm]	Gjennomgang på stavsikt (m_i) [g]	FI_i
10/12,5	544	6,3	102	19
8/10	981	5	185	19
6,3/8	17	4	3	18
5/6,3	3	3,15	1	33
4/5	2	2,5	1	50
	1551		292	19

XRD

En XRD-analyse har blitt utført på M2. Analysen er ikke utført som en del av studien, men ble utført i forbindelse med et annet prosjekt. Gjennom analysen ble materialets mineralinnhold og sammensetting bestemt. Dette er interessant med tanke på å generalisere funn i studien til andre materialer av liknende karakter. Resultatet av analysen er illustrert i figur 4.1, og viser blant annet et glimmerinnhold på 9%.



FIGUR 4.1: Resultat fra XRD-analyse av M2.

Densitet

Målingen av korndensitet er utført på 8/11- og 14/16-fraksjonen. Resultatet fra målingene fremgår av tabell 4.5.

TABELL 4.5: Resultater fra måling og beregning av korndensiteter for M2.

Prøvenr.	Spesifikk densitet 8/11-fraksjon [g/cm ³]	Spesifikk densitet 14/16-fraksjon [g/cm ³]	Midlere spesifikk densitet [g/cm ³]
1	2,950	2,953	
2	2,957	2,934	2,949

4.1.2 Sterkt tilslag - Materiale 1

Under følger resultater fra undersøkelser på M1: Los Angeles, kulemølle, flisighetsindeks og korndensitet. Undersøkelsene på dette materialet er ikke utført som en del av oppgaven, men er kjent fra tidligere. Materialeegenskaper for M1 fremgår av tabell 4.6.

Materialeegenskaper

TABELL 4.6: Mekaniske egenskaper til M1: sterkt tilslag.

LA-verdi	Mølleverdi	Flisighets- indeks	Spesifikk korndensitet [g/cm ³]
10	5,4	6	2,761

4.2 Bindemidlet

4.2.1 Penetrasjon

For å dokumentere stivheten til bindemidlet er det gjennomført en penetrasjonstest. Resultatet av testen fremgår av tabell 4.7. Resultatet viser at bitumen er en 70/100 bitumen, som forventet, men også at den er i den stivere enden av skalaen, på grensen mot 50/70 bitumen.

TABELL 4.7: Resultater fra klassifisering av bindemidlet etter penetrasjon.

Måling	Penetrasjon [0,1 mm]	Midlere penetrasjon [0,1 mm]	Klassifisering [0,1 mm]
1	70,9		
2	70,3	71	70/100
3	70,8		

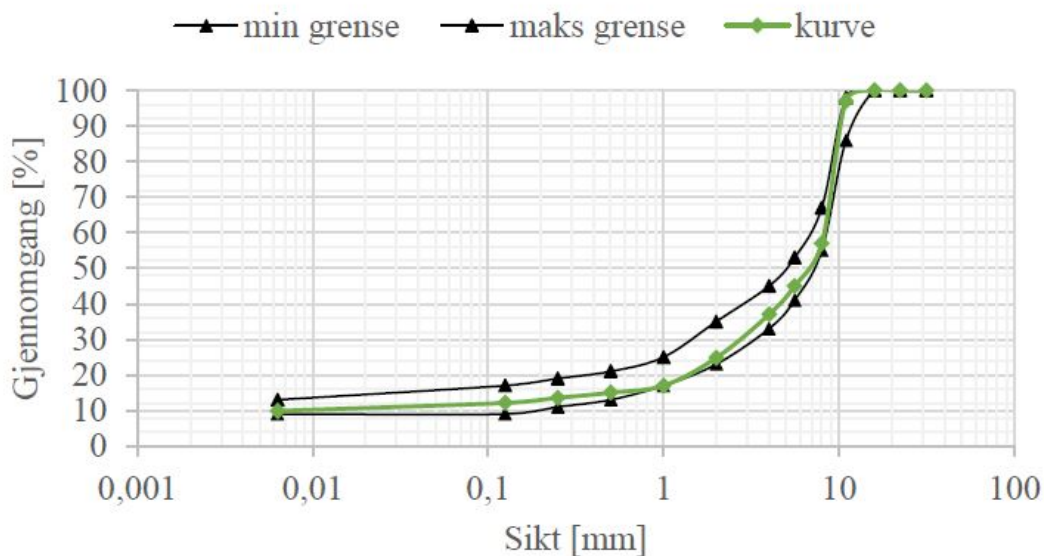
4.3 Beskrivelse av de bituminøse massene

I dette kapitlet presenteres resultatet av kurvetilpassingen for M1 og M2, i tillegg til to ulike blandinger av disse. Videre inneholder kapitlet resultatet fra Marshallproporsjoneringen med M2.

4.3.1 A) 100 % svakt tilslag

Sammensettingen av fraksjoner til kurve A i figur 4.2 ble gjort med utgangspunkt i en allerede eksisterende resept for M1. Etter å ha siktet materialet ble nødvendige justeringer gjort for å tilpasse kurven innenfor grensekurvene for en Ska 11. Det

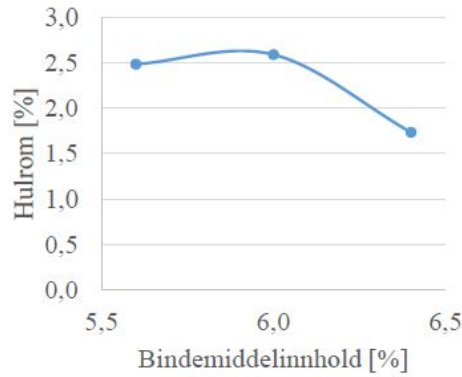
forventes noe nedknusing av tilslaget under kompakteringen av asfaltprøvene. Kurven ble derfor lagt ned mot nedre grensekurve. Kurven skal brukes under Marshallproporsjoneringen i kapittel 4.3.1, og etterfølgende produksjon av asfaltprøver.



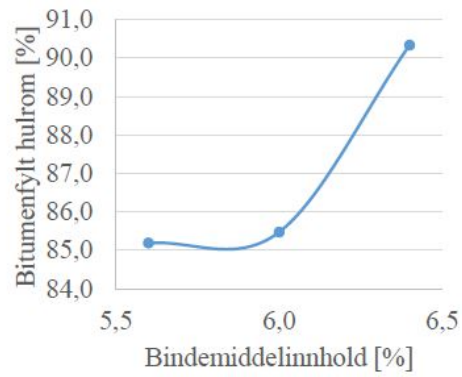
FIGUR 4.2: Kurven er resultatet av sammensetting av fraksjoner slik at kurven havner innenfor grensekurvene for en Ska 11. Kurven består av M2, i tillegg til filler.

Marshallproporsjonering

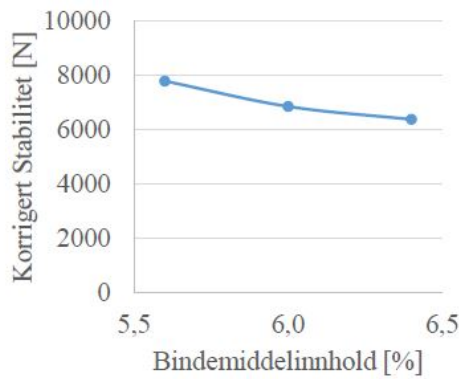
Marshallproporsjoneringen ble gjennomført for å finne bindemiddelbehovet til M2. Marshallprøvene ble laget etter kurven i figur 4.2. Resultatet er fremstilt i figur 4.3. Med utgangspunkt i disse kurvene ble et bindemiddelinnhold på 5,9% valgt.



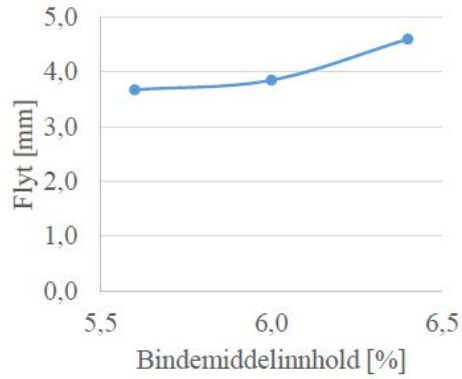
(a)



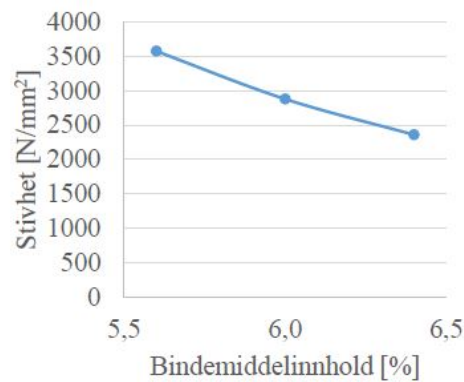
(b)



(c)



(d)

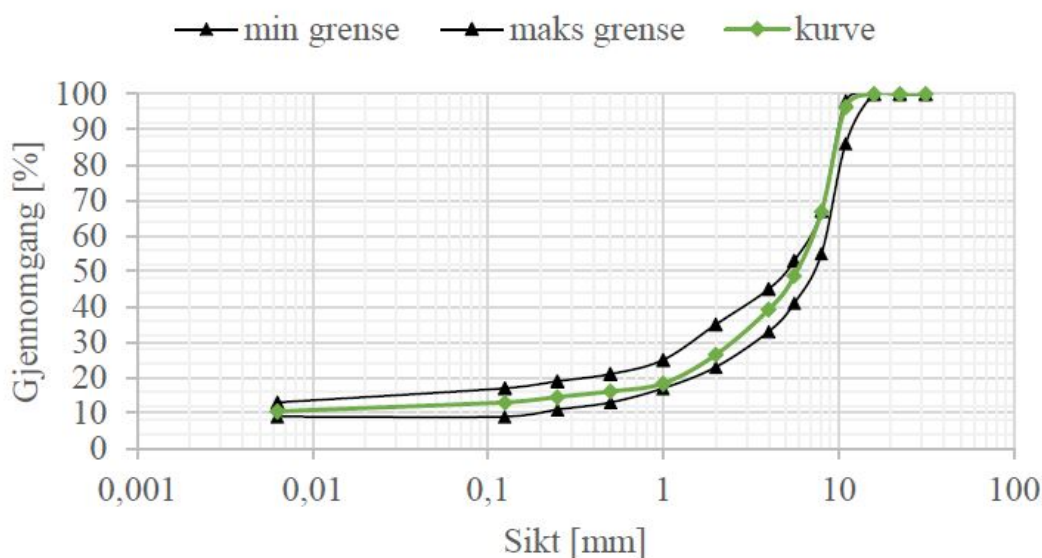


(e)

FIGUR 4.3: (a) Hulrom i prøven plottet mot bindemiddelinhold. (b) Bitumenfylt hulrom som funksjon av bindemiddelinhold. (c) Korrigert stabilitet som funksjon av bindemiddelinhold. (d) Prøvens flyt som funksjon av bindemiddelinhold. (e) Prøvens stivhet som funksjon av bindemiddelinhold.

4.3.2 B) Svakt tilslag i 0/8-fraksjonen

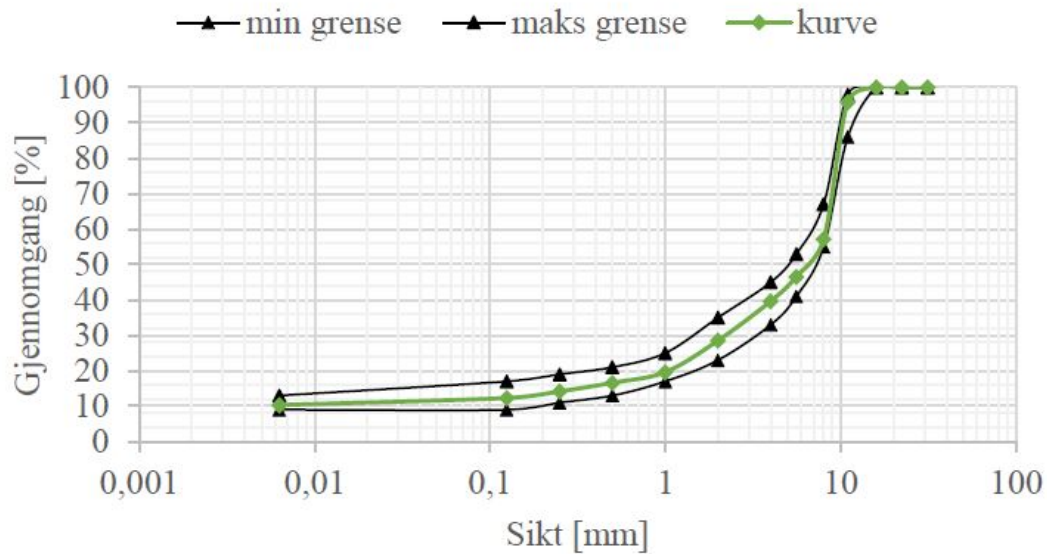
I det M1 og M2 skulle blandes ble det ikke mulig å benytte noen av reseptene direkte. For å finne frem til en passende materialsammensetning av M1 og M2, ble det tatt utgangspunkt i egenutviklet resept for M2 (kurve A i figur 4.2). Der M2 byttes ut med M1, ble nødvendig masse beregnet ved hjelp av forholdet mellom materialenes densiteter.



FIGUR 4.4: Kurven, kurve B, er resultatet fra sammensetting av M1 og M2 til komplett kurve. M1 inngår i 8/11-fraksjonen, mens M2 utgjør resterende fraksjoner.

4.3.3 C) Svakt tilslag i 8/11-fraksjonen

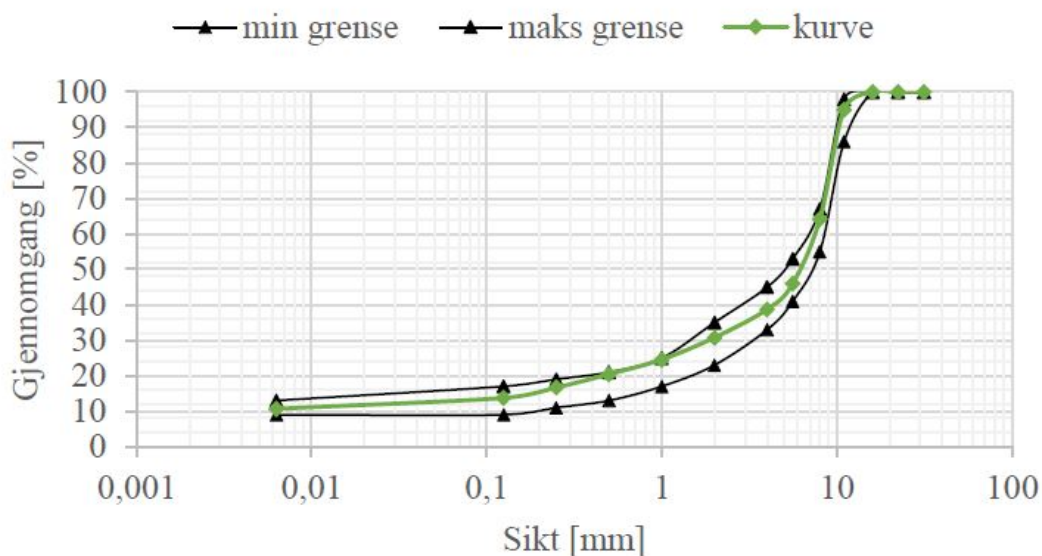
Også ved utarbeidelsen av kurve C ble det tatt utgangspunkt i egen resept. Deretter ble nødvendig masse av M1 beregnet ved hjelp av forholdet mellom materialenes densiteter.



FIGUR 4.5: Resulterende kurve etter sammensetting av M1 og M2, der M2 inngår i 8/11-fraksjonen og M1 utgjør resterende fraksjoner.

4.3.4 D) 100 % sterkt tilslag

Foruten filler består kurve D utelukkende av M1. For dette materialet er tilhørende resept benyttet direkte, uten justeringer. Med andre ord en annen resept enn den brukt i kurver A, B og C. Forskjellen mellom reseptene er hvilke fraksjoner, og mengden av disse, som settes sammen til den komplette graderingskurven. Kurve D er satt sammen av fire fraksjoner, mens kurver A, B og C ble sammensatt av fem. Ut over dette er reseptene identiske.



FIGUR 4.6: Kurve D er resultatet fra sammensetting og sikting av M1. Kurven er satt sammen etter resept for M1.

4.4 Prall

Pralltester ble utført for å teste asfaltens motstandsdyktighet mot piggdekkstasje.

4.4.1 Prøvedata

Tabell 4.8 gir dimensjoner og hulrominnhold for prøvene som testes for slitasjestyrke ved Prallmetoden. Høyder og diametre som oppgis har ikke blitt brukt til å beregne prøvenes densitet, men oppgis for å beskrive størrelsen på prøvene som testes. Som nevnt i kapittel 3.1.3 ble det saget ut to Prallprøver fra hver Marshalkloss, noe som gjenspeiles i indekseringen av prøvene i tabell 4.8. For eksempel er prøver A1.1 og A1.2 saget fra samme Marshalkloss.

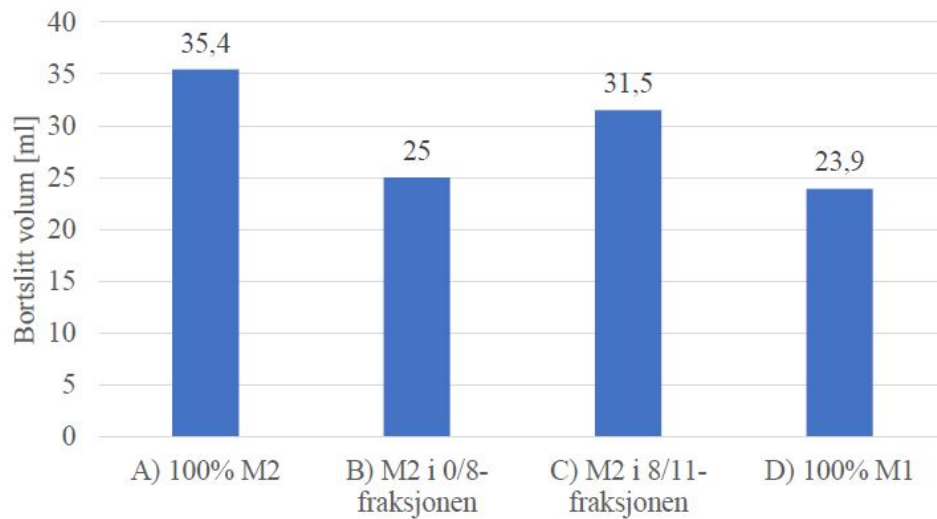
TABELL 4.8: Dimensjoner og hulrominnhold for prøver til Prall.

Prøvenr.	Høyde [mm]	Diameter [mm]	Hulrom [%]
A1.1	31,1	101,5	2,8
A1.2	29,7	101,5	2,2
A2.1	29,9	101,7	2,5
A2.2	30,4	101,5	3,0
A3.1	30,3	101,6	2,4
A3.2	30,2	101,6	2,6
B1.1	31,4	101,9	3,2
B1.2	29,4	101,6	2,6
B2.1	30,2	101,6	3,8
B2.2	29,9	101,6	2,4
B3.1	30,5	101,7	3,0
B3.2	30,1	101,7	2,3
B4.1	29,9	101,7	2,5
B4.2	32,2 ¹	101,8	2,7
C1.1	31,1	101,6	2,1
C1.2	29,7	101,6	2,3
C2.1	30,9	101,7	2,1
C2.2	29,7	101,7	2,4
C3.1	30,4	101,7	1,6
C3.2	29,5	101,6	1,7
D1.1	29,4	101,6	3,3
D1.2	30,0	101,4	3,8
D2.1	31,1	101,7	3,3
D2.2	29,6	101,6	4,4
D3.1	28,7	101,6	2,6
D3.2	30,7	101,5	3,5

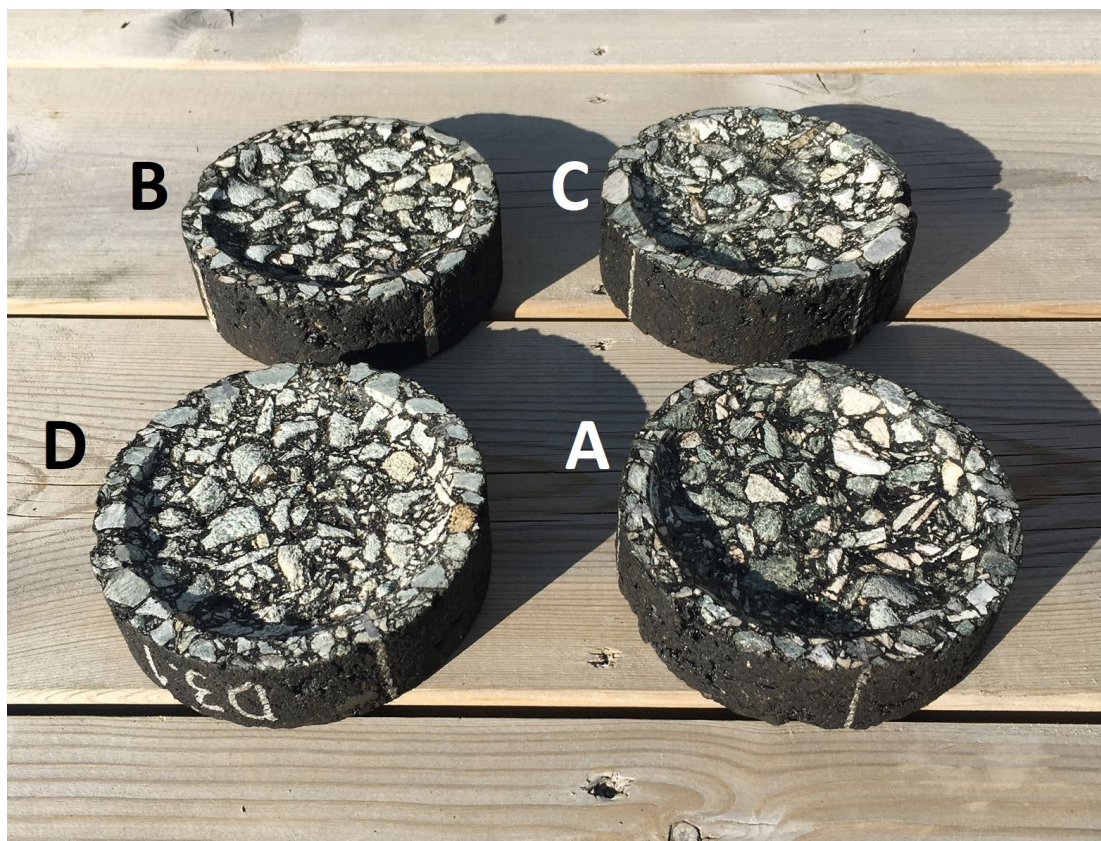
¹ Prøven er for høy i forhold til retningslinjer i standard, men har blitt testet likevel. Prøver etter NS-EN 12697-16:2016, skal ha en høyde på (30 ± 2) mm [37].

4.4.2 Resultater fra Prall

Figur 4.7 gir endelige Prallverdier for asfaltblandingene. Verdiene som oppgis er gjennomsnittet av alle parallellene. Et utvalg Prallprøver er avbildet i figur 4.8. Ved visuell undersøkelse er det tydelig forskjell på bortslitt volum mellom D- og A-prøvene, noe som samsvarer godt med Prallverdiene. Det er interessant å se at D- og B-prøvene presterer svært likt i testen, med Prallverdier på henholdsvis 23,9 og 25,0. Samtidig er det bortslitte volumet for blanding A nær 42 % større enn for blanding B.



FIGUR 4.7: Resultat av Prall for prøvesammensettingene.



FIGUR 4.8: Prøvenes utseende etter Prall for hver av prøvesammensetningene: A, B, C og D.

4.5 Wheel Track

Wheel Track testen ble utført for å finne asfaltens motstandsdyktighet mot deformasjoner. Gjennomsnittlig endelig spordybde for asfaltblandingene er illustrert i figur 4.5.2. Sporutviklingen for alle prøvene er gjengitt i figurer 4.10, 4.11, 4.12 og 4.13. Det umiddelbare inntrykket av resultatene er små eller ingen forskjeller i motstandsdyktighet mot deformasjon, mellom de ulike blandingene. En kan også legge merke til at hulrommet er en del større enn tilsiktet, men likevel nokså likt mellom prøvene. Eksempler på prøvenes utseende etter testen kan ses i figur 4.14.

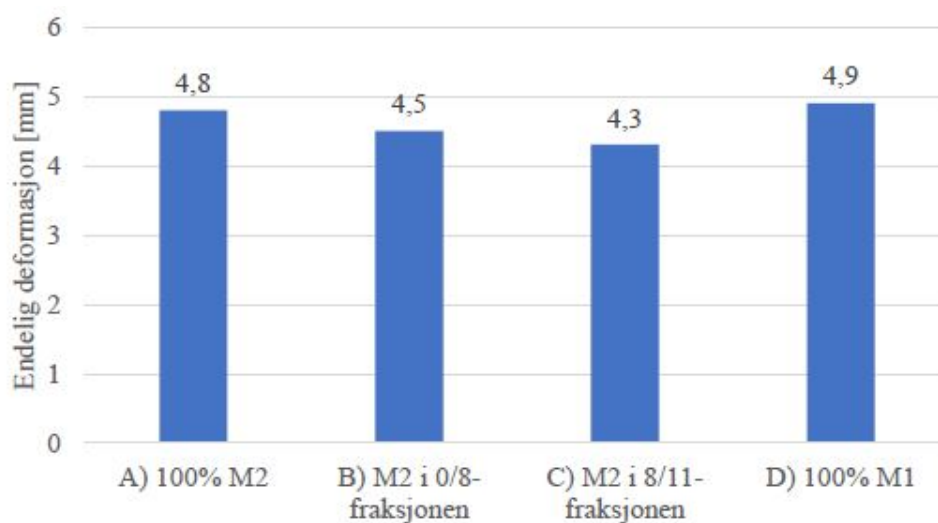
4.5.1 Prøvedata

Resultatet fra hulromsmålingen fremgår av tabell 4.9.

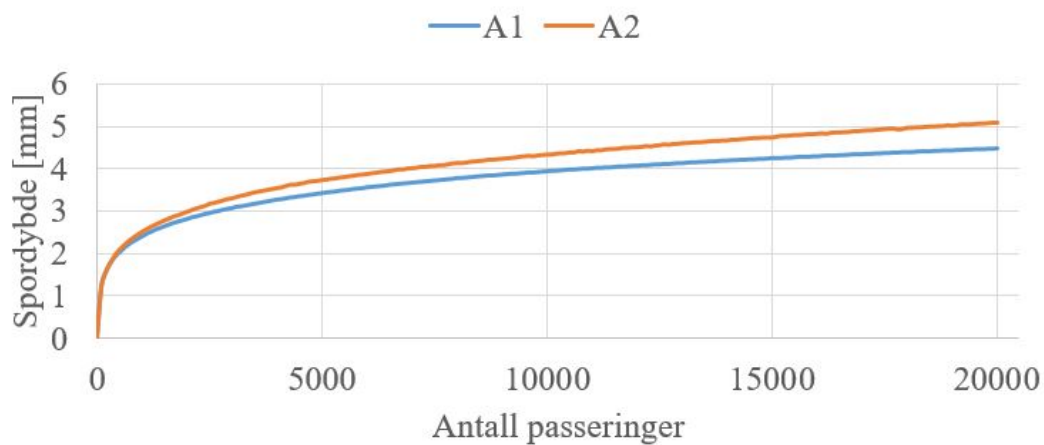
TABELL 4.9: Wheel Track-prøvenes hulrominnhold.

Prøvenr.	Hulrom [%]
A1	5,6
A2	5,8
B1	5,9
B2	5,5
C1	5,5
C2	5,7
D1	6,3
D2	5,4

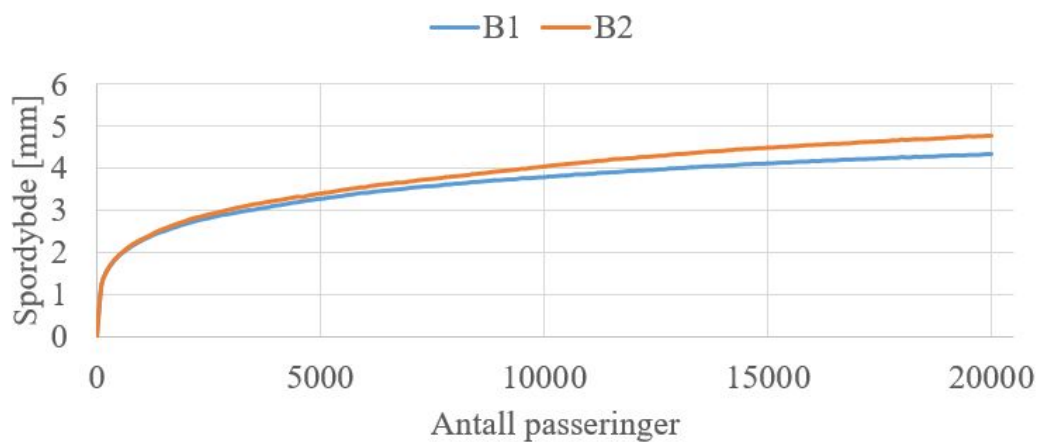
4.5.2 Resultater fra Wheel Track



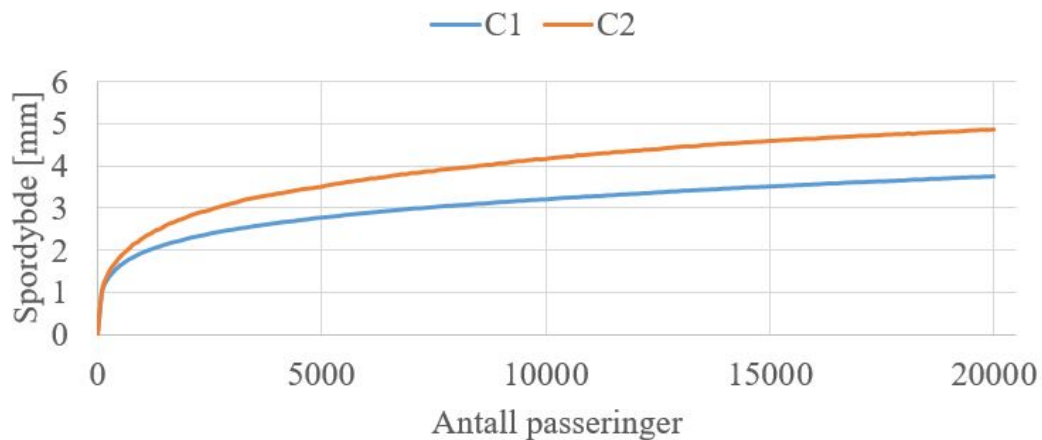
FIGUR 4.9: Gjennomsnittlig endelig spordybde etter Wheel Track-testen for prøvesammensettingene.



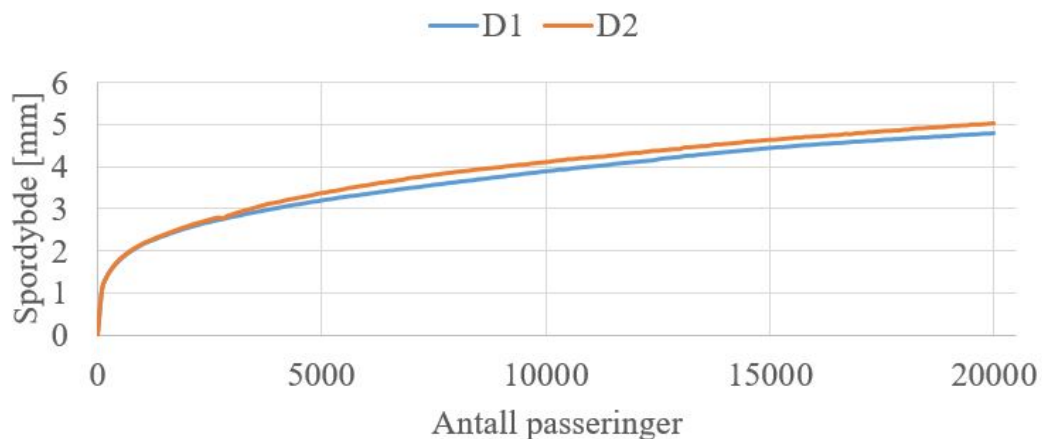
FIGUR 4.10: Sporutvikling for A-blandingen i Wheel Track, begge paralleller.



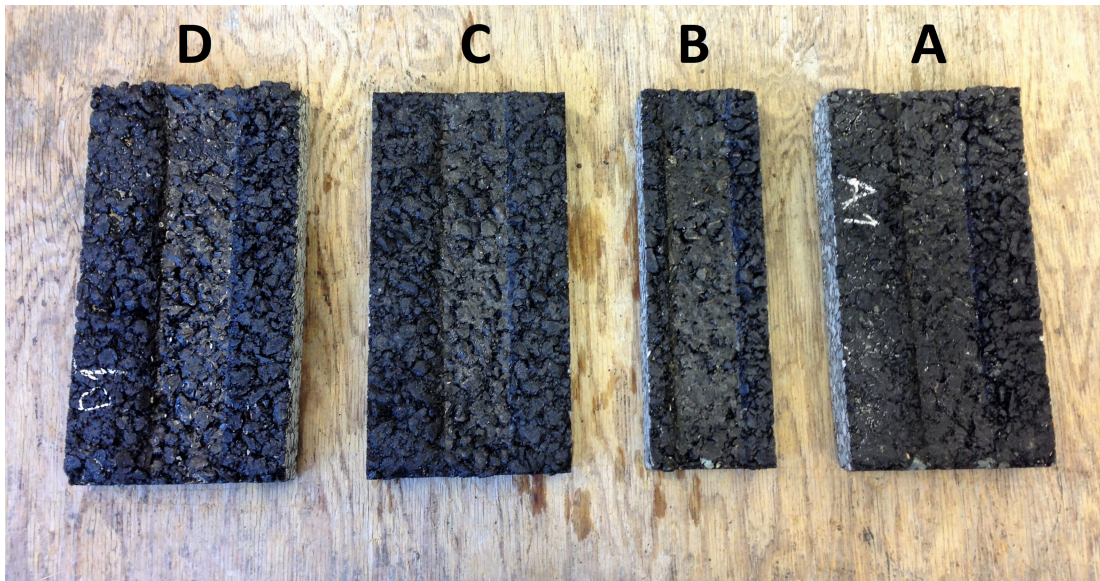
FIGUR 4.11: Sporutvikling for B-blandingen i Wheel Track, begge paralleller.



FIGUR 4.12: Sporutvikling for C-blandingen i Wheel Track, begge paralleller.



FIGUR 4.13: Sporutvikling for D-blandingen i Wheel Track, begge paralleller.



FIGUR 4.14: Prøvenes utseende etter Wheel Track for hver av prøvesammensetningene: A, B, C og D.

Kapittel 5

Diskusjon

Diskusjonskapitlet drøfter resultatene, og med utgangspunkt i disse, forsøkes det å besvare forskningsspørsmålene. Det gjøres også rede for begrensninger og svakheter ved resultatene og metoden, i tillegg til at det foreslås videre arbeid. Implikasjoner av resultatet blir også diskutert.

Forskningsspørsmål

- Kan svak stein i deler av tilslaget resultere i et asfaltdekke med tilfredsstillende kvalitet med hensyn til piggdekkslitasje?
- Kan svak stein i deler av tilslaget resultere i et asfaltdekke med tilfredsstillende kvalitet med hensyn til deformasjon?

5.1 Tilslagsmaterialene

For å forenkle sammenligningen av tilslagsmaterialene og krav i N200 for tilslag i skjelettasfalt, er de mekaniske egenskapene og krav oppsummert i tabell 5.1.

TABELL 5.1: Sammenstilling av materialegenskaper for M1 og M2, samt materialkrav for Ska i N200.

Egenskap	M1	M2	Krav i N200 ÅDT <5000	Krav i N200 ÅDT 5001-15000	Krav i N200 ÅDT >15000
LA-verdi	10	30	≤ 25	≤ 25	≤ 15
Mølleverdi	5,4	30,1	≤ 10	≤ 10	≤ 7
Flisighetsindeks	6	19	≤ 30	≤ 25	≤ 25

Sammenlignet med kravene i N200 er det tydelig at M2 er et noe svakt materiale. Materialet oppfyller ikke kravet til LA-verdi eller mølleverdi for noen av trafikkmengdene. Mølleverdien er over 200% større enn største tillatte verdi for det laveste trafikkvolumet. Den er også mellom fem og seks ganger større enn mølleverdien til M1. Etter figur 622.7 i N200 er dermed M2 fullstendig ekskludert fra bruk i dekker. M2 klarer ikke kravet til mølleverdi for noen dekketyper eller trafikklasser [2, s. 332]. LA-verdien er tre ganger større for M2 enn for M1.

M2 klarer fint kravet til flisighet i alle trafikkllassene. Likevel kan forskjellen i flisighet mellom M1 og M2 ha betydning i det materialene skal blandes. Flisige materialer er generelt enklere å kompaktere, da kornene kan innordne seg parallelt med hverandre. Kubiske korn, derimot, har ikke denne muligheten, og resultatet kan bli et større hulrom for den samme graderingskurven. Dette reflekteres i de valgte kurvene. M2 med sin flisighetsindeks på 19 kan forventes å gi et lavere hulrom enn M1 dersom samme kornfordeling benyttes. M2 har også en høy LA-verdi, slik at det forventes noe nedknusning av materialet under kompakteringen av prøvene. Kurve A er derfor plassert ned mot nedre grensekurve, mens kurve D, med sine harde kubiske korn, er plassert mot øvre grensekurve. Dette gir et høyere innhold av finstoff i kurve D, som kan fylle noe av hulrommet. For blandinger B og C, er effekten vanskeligere å forutsi. Disse kurvene er likevel lagt marginalt over kurve A. På denne måten ble det forsøkt å produsere prøver med så likt hulrom som mulig. Når tilsiktet hulrom var 2,9% for alle prøvene

må man fra resultatet kunne si at dette har vært suksessfylt. Hulrominnholdet i Prallprøvene stemmer godt med det tilsiktede. Wheel Track-prøvene derimot, har hulrominnhold opp mot 6%, og treffer dermed ikke like godt. Hulrommet er imidlertid ganske likt mellom prøvene, slik at de relative forskjellene mellom resultatene ikke burde påvirkes i særlig grad. (N200 tillater hulrom mellom 2,0 og 7,0% enkeltprøver av Ska slitelag [2, s. 345]). Basert på figur 4.3 skulle tilsiktet hulrom vært omtrent 2,5%. Grunnen til dette fraviket er at hulrommet på 2,9% ble valgt da teoretisk maksimal densitet ble benyttet for å beregne hulrommet. Senere ble maksimal densitet målt ved Rice density, og hulrominnholdet endret seg. Hulrominnholdet i prøvene er akseptabelt i begge tilfellene.

5.2 Prall

Resultatene fra Prall viser forholdsvis store forskjeller når svakt tilslag inngår. 100% svakt tilslag (A) i asfalten gir 48% økt slitasje, i forhold til 100% sterkt tilslag (D). Samtidig er forskjellen mellom svakt i finfraksjonen (B), og 100% sterkt tilslag tildels liten. Resultatet viser en økning i slitasjen på bare 5%. Sterkt tilslag i finfraksjonen (C) reduserer slitasjen med 11%, i forhold til 100% svakt tilslag.

Til tross for stor forskjell på mølleverdien mellom M1 og M2, viser altså resultatet fra Prall at B-prøvene presterer svært likt D-prøvene, med Prallverdier på henholdsvis 25,0 og 23,9. Dette betyr at begge blandingene oppfyller krav til slitasjemotstand etter Prall-metoden i N200 for ÅDT 10 000 eller lavere [2, s. 314]. Ut fra resultatene kan det dermed se ut til at svakt tilslag kan inngå i slitelaget, dersom slitesterkt tilslag utgjør det grove tilslaget. Resultatene viser at 0/8-fraksjonen til en viss grad påvirker asfaltens slitasjeegenskaper, men at grovfraksjonen kanskje er viktigst. Som vi har sett i kapittel 2.8 samsvarer dette

godt med erfaringer fra bransjen, som opplever at slitasjen er sterkt avhengig av slitasjemotstanden til materialet større enn 4 mm.

5.3 Wheel Track

Ut fra resultatene er det små, eller ingen forskjeller i motstandsevne mot deformasjon mellom blandingene. Forskjellen mellom prøvene er i samme størrelsesorden (< 1 mm) som forskjellen mellom parallellene. Unntaket er C-prøvene som klart skiller seg ut med en forskjell på 1,1 mm mellom parallellene, men som også er greit. Resultatet fra prøvene er 11-12 % spordybde i forhold til prøvenes tykkelse. Det relativt høye hulrommet i prøvene kan ha bidratt til økte deformasjoner.

Sammenligning av resultatet med krav til dekker i N200, viser at alle prøvene har tilstrekkelig motstandsdyktighet mot deformasjon for bruk i dekker ved ÅDT 5000 og lavere [2, s. 314]. Samtidig var det mest interessant å undersøke de relative forskjellene mellom blandingene. Deformasjonen avhenger i betydelig grad av bindemidlet og hulrominnholdet. Når bindemidlet og hulrommet har vært det samme for alle prøvene, skulle en forvente at forskjeller mellom blandingene skyldtes tilslaget. Den absolutte deformasjonen kan potensielt forbedres ved å velge et stivere bindemiddel, eller polymermodifisert bitumen (PMB). En undersøkelse av Wheel Track-resultater fra bransjen av Veiteknisk Institutt fant at bruk av PMB alltid forbedrer deformasjonsegenskapene [42]. Statens vegvesen har også gjennomført en sammenstilling av resultater fra Wheel Track. Der ble det funnet at flere entreprenører forbedret deformasjonen for sine prøver med opp mot 100 % ved bruk av PMB, sammenlignet med ordinær 70/100 bitumen [45, s. 48].

Dette resultatet indikerer at det kan være mulig å produsere et dekke med

tilfredsstillende egenskaper med hensyn til deformasjon, når svakt tilslag inngår. Etersom resultatet ikke viser noen betydelige forskjeller mellom blandingene, kan dette bety at svakt tilslag kan benyttes i 100 % av tilslaget.

5.4 Sammenstilling av resultater fra Prall og Wheel Track

Resultatet fra Prall indikerer at svakt tilslag kan inngå i 0/8 fraksjonen, og samtidig oppfylle krav til Prallverdi i N200 for ÅDT 10 000 og lavere. Med tanke på deformasjon indikerer resultatet fra Wheel Track at det svake tilslaget presterer fullt på høyde med det sterke. Når N200 stiller krav til begge disse, er det nødvendig å se på resultatene i sammenheng med hverandre.

Ut fra resultatene kan det være et godt alternativ å benytte blanding B i et dekke. Denne har gode verdier med tanke på piggdekkslitasje og deformasjon, i forhold til prøver av høykvalitetsmaterialet.

En annen mulighet kan være å benytte ulike blandinger i bind- og slitelaget. N200 skiller ikke mellom bind- og slitelag, men stiller samme krav til hele dekket. I denne sammenheng er blanding A: 100 % svakt tilslag, diskvalifisert fra bruk i dekker. Tilslaget gir asfalten deformasjonsegenskaper på høyde med høykvalitetsmaterialet, men klarer ikke kravet til Prallverdi. Det kan stilles spørsmål ved om det er fornuftig å sette samme krav til både bind- og slitelaget. Bindlaget vil ikke påvirkes av piggdekk på overflata når dette ligger under slitelaget, slik at høy slitasjemotstand i dette laget kanskje ikke er nødvendig. Dersom kravet til Prallverdi ikke gjelder for bindlaget, gir dette større mulighet for bred utnyttelse av svakt tilslag. En mulig utnyttelse er å legge bindlag med 100 % svakt tilslag, og slitelag med svakt tilslag i 0/8-fraksjonen. Dette forutsetter at slitelaget legges relativt kort tid etter bindlaget, for å beskytte bindlaget mot slitasje. Én

mulighet er å la bindlaget ligge en sommersesong, og legge slitelaget på høsten før piggdekkene kommer på veien.

5.5 Implikasjoner av resultatet

Som vi har sett indikerer resultatet fra Prall at svakt tilslag i 0/8-fraksjonen kan produsere asfalt med tilfredsstillende kvalitet med tanke på piggdekkslitasje. B-prøvene inneholder svakt tilslag i 0/8-fraksjonen tilsvarende 48 % av den totale kurven. Når filler utgjør 9 % av kurven, vil dette tilsvare nært 53 % av tilslaget. M1 utgjør de resterende 47 %. Dersom svakt tilslag kan brukes på denne måten vil dette i beste fall kunne bety en halvering av mengden høykvalitetsmateriale som må kjøpes inn. Dersom svakt tilslag også inngår alene i bindlaget, kan mengden svakt tilslag i dekket økes til 77 %, og mengden høykvalitetsmateriale reduseres til under en fjerdedel.

Gitt at en klarer å benytte tilgjengelige masser fra skjæringer og tunneldriving på en mer høyverdig måte, kan dette få flere positive ringvirkninger. En åpenbar effekt av dette er at kostnader forbundet med innkjøp av tilslag kan reduseres. En kan også se for seg at svake materialer, som M2, blir brukt i utfyllinger, eller i verste fall blir deponert. Deponering skjer ofte i fjorder og innsjøer, og trenger ikke være uproblematisk med tanke på miljøet. Samtidig er stein generelt, og kanskje høykvalitets stein spesielt, en begrenset og ikke-fornybar ressurs. Det er ikke utenkelig at en med årene kan oppleve mangel på godt og tilgjengelig tilslag. Videre kan en redusere tung, og potensielt lang, transport av høykvalitetsmaterialer fra brudd og til anlegget. Lang og tung transport sliter på det eksisterende vegnettet, og bidrar til CO₂-utslipp fra vegbyggingsprosjektet. Kostnader forbundet med transporten vil også kunne unngås. I tillegg lager dagbrudd skader i naturen av en visuell karakter, som kunne vært unngått om

masser fra linja ble brukt.

Ettersom denne studien er begrenset i omfang, kan det være slik at bruk av svakt tilslag i 0/8-fraksjonen vil redusere levetiden til dekket noe. Resultatet fra Prall viser også en 5% økning i slitasje. Til tross for dette kan det likevel være fornuftig å vurdere bruken av svakt tilslag. For eksempel kan man kanskje godta to år redusert levetid, dersom det er mulig å redusere tilslagskostnadene med 50%. Mulige positive sider ved bruk av svakt tilslag, bør veies opp mot ulempene, deriblant redusert levetid. Andre mulige ulemper er:

- **Logistikkutfordringer:** De lokale massene må knuses, sorteres og lagres på, eller nært anlegget. Spesielt for bynære anlegg med begrenset plass kan dette være en utfordring.
- **Utvidet testing- og kartleggingsbehov:** Det er praktisk å ha en viss forutsigbarhet med tanke på hvilket materiale som kommer ut av tunneldrivingen og sprengningen. Dermed kan det være nødvendig å gjennomføre et større kartleggingsarbeide forut prosjektet. Det må også gjennomføres tilslagsundersøkelser underveis for å dokumentere kvaliteten. Det kan tenkes at det i noen tilfeller vil bli brukt ressurser på kartlegging og testing, der det finnes at materialet likevel ikke kan brukes.

5.6 Begrensninger og videre arbeid

Selv om resultatene er svært interessante med tanke på å benytte svakt tilslag i bind- og slitelag, er datagrunnlaget for lite for å konkludere med at dette er mulig. Som nevnt i kapittel 2.8 kan resultatene fra slike forsøk i mange tilfeller bare være indisier på hvordan asfalten som helhet vil fungere. NCHRP fant at det vanskelig lar seg gjøre å isolere effekten av tilslagets ulike egenskaper fra korngradering og proporsjonering. Det er tilsynelatende slik at mangler ved én av tilslagets

egenskaper relatert til sporslitasje, kan maskeres av andre støttende egenskaper [4]. Det ligger også en begrensning i at Wheel Track ikke nødvendigvis klarer å forutsi hvordan dekket vil prestere etter lang tids trafikkpåkjenninger. Det er en mulighet for at tilslagskvaliteten i denne sammenhengen i større grad kan påvirke deformasjonsutviklingen. Det svake materialet (M2) er mer utsatt for nedknusning enn det harde og sterke høykvalitetsmaterialet (M1). Over tid kan dette gi en økende deformasjon for asfalt av M2, i forhold til M1. I kapittel 2.6.5 ble det også diskutert at flate korn har større mulighet til å innordne seg parallelt og pakke seg sammen, og at dette over tid kan bidra til økte deformasjoner. Dermed kan forskjellen i flisighetsindeks mellom M1 og M2 også tenkes å bidra til økte deformasjoner. Mer forskning på dette trengs.

Det foreslås et videre arbeid med å generalisere funnene i denne studien til andre materialer. For å gjøre dette kan det samme laboratorieprogrammet gjennomføres med andre tilslagsmaterialer. Gjentak av undersøkelsene med andre materialer kan også verifisere resultatene fra denne undersøkelsen. For M1 og M2, som allerede er testet i laboratoriet, kan et naturlig neste steg være å undersøke asfalten på en forsøksstrekning, tilsvarende det som ble gjort i 'Spor i vei'-prosjektet, omtalt i kapittel 2.8. På denne måten kan det undersøkes hvordan dekket presterer ved lang tids påkjenninger, og påvirket av andre forhold, og kombinasjoner av forhold, som ikke lett kan gjenskapes i laboratoriet. Eksempler på slike forhold kan være varierende temperatur og fuktighet, frysing og tining, strøsand og salting.

Det bør også gjøres et arbeid med å trekke slutninger rundt grenser for hvor dårlige materialer som kan benyttes, samt hvor godt kvalitetsmaterialet bør være. Det kan videre være fornuftig å vurdere om materialkravene til tilslaget bør stilles til hele graderingskurven. Kanskje kan en differensiering av materialkravene være fruktbart, der det stilles ulike krav til grov- og finfraksjonen. Det er åpenbart

unødvendig å stille høye krav til slitasje i finfraksjonen, dersom denne skulle vise seg å ikke påvirke asfaltens motstandsdyktighet mot slitasje i særlig grad. Kanskje kan det også være fornuftig å lempe på kravene til Prallverdi for masser som benyttes i bindlaget.

5.7 Feilkilder

Her diskuteres noen feilkilder som kan ha påvirket resultatene. Som nevnt i kapittel 3 inneholder M2 korn av ulike farger og strukturer. Det er da en mulighet for at også kvaliteten til kornene er noe varierende. En følge av dette er at det kan være forskjeller mellom målte verdier på tilslaget, og faktiske verdier på materialet i prøvene.

Temperatur er viktig i mye av laboratoriearbeidet som har blitt utført. Eksempelvis er temperatur avgjørende for et godt resultat ved blanding og kompaktering av prøvelegemer, samt måling av Marshallstabilitet, Prall, Wheel Track, og tilslagsdensitet. Det kan samtidig være vanskelig å holde oversikt over temperaturer på bindemiddel, og masser under blanding og ved kompaktering. Under blanding av bituminøse masser er man avhengig av at operasjoner tar omtrent like lang tid hver gang, for å oppnå like forhold for prøvene. Gassbluss ble benyttet under blandingen av asfaltmassen for å holde temperaturen oppe. Gassblusset innstilles etter skjønn, slik at det er rom for variasjoner her. Temperaturen har blitt forsøkt holdt lik for alle prøver ved at det ble tilstrebet å gjennomføre produksjonsprosessen likt hver gang, og ved å gjøre kontrollmålinger. Det har også vært fokus på tilstrekkelig oppvarmingstid for masser og utstyr. Så langt det har vært mulig har også samme varmeskap blitt benyttet, for å unngå mulige forskjeller mellom skapene. Ut over dette har laboratoriearbeidet blitt gjennomført etter retningslinjer i standard.

Kapittel 6

Konklusjon

Resultatene fra Prall viser tildels stor forskjell mellom prøver av svakt og sterkt tilslag. Samtidig presterer B-prøvene med svakt tilslag i 0/8-fraksjonen svært godt, i forhold til prøver av 100 % svakt. B-prøvene inneholder 53 % svakt tilslag, men har likevel en slitasje som er svært lik prøvene av 100 % sterkt tilslag. Økningen i slitasje er 5 %, sammenlignet med 100 % sterkt tilslag. Etter krav til Prall-verdi i N200 kunne blanding B benyttes i dekker ved ÅDT 10 000 og lavere.

Resultatene fra Wheel Track viser små eller ingen forskjell i motstand mot permanente deformasjoner mellom blandingene. Resultatet er 11-12 % deformasjon i forhold til prøvetykkelsen. Etter krav til deformasjon i Wheel Track i N200 kunne svakt tilslag benyttes i 100 % av tilslaget i dekker ved ÅDT 5000 og lavere. Det kan imidlertid være mulig å forbedre deformasjonsegenskapene ved å benytte stivere bindemiddel eller PMB.

Sammenstilling av resultater fra Prall og Wheel Track diskvalifiserer blanding A, med 100 % svakt tilslag, fra bruk i dekker, fordi denne ikke tilfredsstillende kravet til Prall-verdi i N200. Det kan være fornuftig å ikke stille like strenge krav til slitasjemotstand for bindlag, da dette ikke er like utsatt for piggdekkslitasje som slitelaget. Ved å gjøre dette kan det være mulig å benytte svakt materiale i

100 % av tilslaget i bindlag, og 53 % svakt tilslag i slitelaget. En slik utnyttelse av svakt tilslag kan potensielt redusere nødvendig mengde høykvalitetsmateriale i dekket til en fjerdedel.

Referanser

- [1] Marit Fladvad, *Kortreist stein*, 2017. Hentet fra: <http://www.mef.no/Content/153579/Berg%20-%20Marit%20Fladvad%2C%20Statens%20vegvesen.pdf>.
- [2] ”Vegbygging”, Statens Vegvesen, Norge, Håndbok N200, 2014.
- [3] J. Aurstad et al., ”Lærebok Vegteknologi”, Statens Vegvesen, Norge, rapportnummer 626. 2016. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/statens-vegvesens-rapporter>.
- [4] B.D. Prowell, J. Zhang og R.E. Brown, *Aggregate Properties and the Performance of Superpave-Designed Hot Mix Asphalt*. NCHRP report 539. Washington D.C.: Transportation Research Board, 2005.
- [5] Statens Vegvesen, *Asfalt*, 2017. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/Vegteknologi/Vegbyggingsmaterialer/Asfalt>, Lastet ned: 31.5.2018.
- [6] O. Ruud, ”bitumen,” i *Store norske leksikon*, 2013. Hentet fra: <https://snl.no/bitumen>, Lastet ned: 31.5.2018.

- [7] P.S. Kandhal og F. Parker JR, *Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements*. NCHRP report 405. Washington D.C.: Transportation Research Board, 1998.
- [8] Statens Vegvesen, *Bituminøse bindemidler*, 2017. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/Vegteknologi/Vegbyggingsmaterialer/Bitumin%C3%B8se+bindemidler>, Lastet ned: 31.5.2018.
- [9] "Skadekatalog for bituminøse vegdekker", Statens Vegvesen, Norge, Håndbok V261, 2014.
- [10] "Luftkvalitet i bergen", Statens Vegvesen og Bergen kommune, Bergen, Norge, 31.8.2017. Hentet fra: http://www.luftkvalitet.info/Libraries/Rapporter/Luftkvalitet_i_Bergen_2016.sflb.ashx, Lastet ned: 17.12.2017.
- [11] Folkehelseinstituttet, *Luftforurensning bidrar til at Oslo-folk dør for tidlig*, 5.9.2016. Hentet fra: <https://www.fhi.no/nyheter/2016/luftforurensning-bidrar-til-at-oslo-folk-dor-for-tidlig2/>, Lastet ned: 17.12.2017.
- [12] Norsk Telegrambyrå, *Fremdeles høy luftforurensning i flere norske byer*, 20.4.2018. Hentet fra: <https://www.adressa.no/nyheter/innenriks/2018/04/20/Fremdeles-h%C3%B8y-luftforurensning-i-flere-byer-16520589.ece>, Lastet ned: 24.5.2018.
- [13] Norsk institutt for luftforskning, *Luftforurensning*, u.å. Hentet fra: <http://luftkvalitet.info/Theme.aspx?ThemeID=6fc2e3cd-424f-4c03-ad0c-2b9c15369cd9>, Lastet ned: 24.5.2018.


- [14] Trondheim Kommune, *Luftforurensning*, 4.4.2018. Hentet fra: <https://www.trondheim.kommune.no/luft>, Lastet ned: 8.6.2018.
- [15] C.W. Curtis, K. Ensley og J. Epps, *Fundamental Properties of Asphalt - Aggregate Interactions Including Adhesion and Absorption*. SHRP-A-341. Washington D.C.: National Academy of Sciences, 1993.
- [16] J.V. Thue, "Korngradering," i *Store norske leksikon*, 2009. Hentet fra: <https://snl.no/korngradering>, Lastet ned: 19.12.2018.
- [17] B. Nilsen, *Ingeniørgeologi-Berg*. Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 2016.
- [18] Norges geologiske undersøkelse, *Kvartærgeologisk kart*, u.å. Hentet fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse>, Lastet ned: 15.12.2017.
- [19] "Laboratorieundersøkelser", Statens Vegvesen, Norge, Håndbok R210, 2014.
- [20] *Prøvmåter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing*, NS-EN 1097-2, 2010.
- [21] Gilson Company, Inc., *Los Angeles (LA) Abrasion Machine*, u.å. Hentet fra: <https://www.globalgilson.com/los-angeles-abrasion-machine>, Lastet ned: 24.5.2018.
- [22] *Prøvmåter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggdekkslitasje - Nordisk metode*, NS-EN 1097-9, 2014.
- [23] *Prøvmåter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)*, NS-EN 1097-1, 2011.
- [24] *Prøvmåter for geometriske egenskaper for tilslag - Del 5: Bestemmelse av prosentinnhold knuste korn i grovt tilslag*, NS-EN 933-5, 1998.


- [25] P. Gjerp, M. Opsahl og M. Smeplass, *Grunnleggende betongteknologi*. Byggenæringens Forlag, 2009, s. 191.
- [26] *Prøvmåter for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform - Flisighetsindeks*, NS-EN 933-3, 2012.
- [27] B. Pedersen, "Pyknometer," i *Store norske leksikon*, 2018. Hentet fra: <https://snl.no/pyknometer>, Lastet ned: 1.6.2018.
- [28] *Prøvmåter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon*, NS-EN 1097-6, 2013.
- [29] Norges geologiske undersøkelse, *XRD-analyser*, 5.1.2015. Hentet fra: <https://www.ngu.no/fagomrade/xrd-analyser>, Lastet ned: 4.6.2018.
- [30] P. Sælen, "Fritt glimmers innvirkning på asfaltens egenskaper", masteroppgave, institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU, Trondheim, 2012.
- [31] *Bitumen og bituminøse bindemidler - Bestemmelse av nålpenetrering*, NS-EN 1426, 2015.
- [32] *Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 30: Tillagning av prøvelegemer ved slagkomprimering*, NS-EN 12697-30, 2012.
- [33] *Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 6: Bestemmelse av densitet av bituminøse prøvelegemer*, NS-EN 12697-6, 2012.
- [34] *Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 8: Bestemmelse av hulrominnhold i bituminøse prøvelegemer*, NS-EN 12697-8, 2003.
- [35] pavement interactive, *Theoretical Maximum Specific Gravity*, u.å. Hentet fra: <http://www.pavementinteractive.org/theoretical-maximum-specific-gravity/>, Lastet ned: 11.6.2018.


- [36] *Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 34: Marshall-metoden*, NS-EN 12697-34, 2012.
- [37] *Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder - Del 16: Piggdekkslitasje*, NS-EN 12697-16, 2016.
- [38] *Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 33: Tillagging av prøvelegemer ved dynamisk kompaktering*, NS-EN 12697-33+A1, 2003.
- [39] *Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 22: Spordannelse ved deformasjon (wheel track)*, NS-EN 12697-22+A1, 2003.
- [40] I. Horvli og E. Værnes, "Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker. Forsøksfelt på Rv 20 og Rv 206 i Hedmark", SINTEF, Trondheim, Norge, 2006. Hentet fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/veg--og-jerbaneteknikk/a06012_rapport_hedmark.pdf, Lastet ned: 10.12.2017.
- [41] "Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker - Sammendragsrapport", NTNU, Trondheim, Norge, 22.12.2006. Hentet fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/veg--og-jerbaneteknikk/sammendragsrapport_siv__0_.pdf, Lastet ned: 1.6.2018.
- [42] R. Bragstad, "Varige Veier: Vurdering av resultater fra testing med Wheel Track og Prall", Veiteknisk Institutt, Høvik, Norge, 9.1.2016.
- [43] "Ferjefri E39", Statens Vegvesen, 2012. Hentet fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/415285/binary/711216?fast_title=Hovedrapport+Ferjefri+E39%2C+desember+2012.pdf, Lastet ned: 5.12.2017.
- [44] *Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder - Del 35: Blanding i laboratoriet*, NS-EN 12697-35, 2016.


- [45] E. Aasprong, "Norske erfaringer md Wheel Track-test", presentert på NAMet-seminar, Oslo, Norge, 24.1.2018.


Vedlegg 1: Rice density


	RICE DENSITY	
	NS-EN 12697-5 (2009)	
	Dato utført:	25.04.2018
	Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:	
Asfalttype:	Dato mottatt:	
Produsert:	Prøvetype:	5.6 - 1
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen		
	Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	34	41
Vekt av pyknometer (g)	1273,2	1265,3
Volum av pyknometer (ml)	1145,2	1108,0
Vekt av prøve + pyknometer (g)	1898,3	1889,8
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	2804,3	2759,2
Vekt av prøve (g)	625,1	624,5
Volum av prøve (ml)	236,5	236,0
Spesifikk densitet (Pmv)	2,643	2,646
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,645	
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\		


		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	25.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype: 6.0 - 1		
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	25		26
Vekt av pyknometer (g)	1573,9		1591,2
Volum av pyknometer (ml)	1116,6		1106,3
Vekt av prøve + pyknometer (g)	2199,0		2217,7
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	3076,3		3082,9
Vekt av prøve (g)	625,1		626,5
Volum av prøve (ml)	236,7		238,5
Spesifikk densitet (Pmv)	2,641		2,627
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,634		
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\			

		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	25.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype:	6.4 - 1	
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	23		24
Vekt av pyknometer (g)	1643,2		1490,4
Volum av pyknometer (ml)	1109,1		1122,2
Vekt av prøve + pyknometer (g)	2275,0		2121,8
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	3138,7		2999,0
Vekt av prøve (g)	631,8		631,4
Volum av prøve (ml)	242,8		242,4
Spesifikk densitet (Pmv)	2,602		2,605
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,604		
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\			

		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	25.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype: A.1		
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	5		22
Vekt av pyknometer (g)	1483,9	1614,4	
Volum av pyknometer (ml)	1126,8	1113,3	
Vekt av prøve + pyknometer (g)	2122,9	2255,6	
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	3005,0	3123,0	
Vekt av prøve (g)	639,0	641,2	
Volum av prøve (ml)	242,0	243,3	
Spesifikk densitet (Pmv)	2,640	2,636	
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,638		
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\			

		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	25.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype:	B 23	
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:		14	15
Vekt av pyknometer (g)		1941,9	1932,4
Volum av pyknometer (ml)		1087,4	1088,6
Vekt av prøve + pyknometer (g)		2575,0	2565,3
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)		3414,3	3405,8
Vekt av prøve (g)		633,1	632,9
Volum av prøve (ml)		245,6	245,6
Spesifikk densitet (Pmv)		2,578	2,577
Midlere spesifikk densitet (Pmv)		2,578	
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\			

		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	25.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype:	C1	
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	5		22
Vekt av pyknometer (g)	1483,9	1614,4	
Volum av pyknometer (ml)	1126,8	1113,3	
Vekt av prøve + pyknometer (g)	2113,8	2246,4	
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	2989,9	3109,1	
Vekt av prøve (g)	629,9	632,0	
Volum av prøve (ml)	248,1	248,0	
Spesifikk densitet (Pmv)	2,539	2,548	
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,544		
Datakatalog: C:\Users\knuli\OneDrive - Veidekke\Div jobb\Oppdrag\			

		RICE DENSITY	
		NS-EN 12697-5 (2009)	
		Dato utført:	27.04.2018
		Utført av:	KAL
Reseptnr:	Prøvenummer:		
Asfalttype:	Dato mottatt:		
Produsert:	Prøvetype:	D1	
Merknader: Rice Density, Jonas Olai Robertsen			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer:	23	24	
Vekt av pyknometer (g)	1643,2	1490,4	
Volum av pyknometer (ml)	1109,1	1122,2	
Vekt av prøve + pyknometer (g)	2280,7	2129,8	
Vekt av prøve + pyknometer + vann (g)	3132,0	2994,4	
Vekt av prøve (g)	637,5	639,4	
Volum av prøve (ml)	255,2	255,0	
Spesifikk densitet (Pmv)	2,498	2,507	
Midlere spesifikk densitet (Pmv)	2,503		
Datakatalog: C:\Users\knuli\Documents\			

Vedlegg 2: Prøvedata

11.3.2018

Masnehullproppens dimensjoner

Masse type	Prøve nr	HØYDER						Diameter						Vekt i luft	Vekt i vann	Vekt Over flatstørr	Temperatur vann									
		H1	H2	H3	H4	D1	D2	D3	D4	D5	D6															
	56.1	62.4	62.5	62.0	62.1	101.5	101.7	101.6	101.8	102.0	101.8	101.8	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1285.8	787.0	1286.8	20.0
	56.2	62.2	62.4	62.0	62.0	101.8	101.6	101.5	101.3	102.6	101.6	101.5	101.3	102.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1291.8	793.7	1292.8	20.0
	56.3	58.0	57.6	57.5	57.8	101.5	101.6	101.6	101.6	101.7	101.6	101.6	101.6	101.7	101.7	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1192.5	731.9	1193.8	20.0
	56.4	62.4	62.7	62.9	62.6	101.7	101.7	101.7	101.6	101.7	101.7	101.7	101.6	101.7	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1292.7	792.4	1292.1	20.0
	60.1	62.6	62.7	63.2	63.2	101.6	101.5	101.4	101.6	101.3	101.4	101.6	101.6	101.3	101.4	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1292.6	792.4	1294.8	20.1
	60.2	62.7	62.8	62.3	62.3	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	1291.3	791.0	1292.3	"
	60.3	62.8	62.8	62.8	62.2	101.7	101.7	101.6	101.5	101.7	101.6	101.6	101.6	101.7	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1292.9	790.8	1294.3	"
	60.4	63.5	63.5	63.3	63.2	101.6	101.6	101.6	101.6	101.5	101.6	101.6	101.6	101.5	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1293.5	790.4	1295.0	"
	64.1	63.1	63.0	63.0	63.2	101.6	101.6	101.6	101.4	101.6	101.6	101.4	101.6	101.5	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1294.1	790.0	1295.1	"
	64.2	63.4	63.2	63.0	63.0	101.7	101.7	101.6	101.6	101.7	101.6	101.6	101.6	101.7	101.7	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1294.9	789.4	1295.8	"
	64.3	63.1	63.2	62.9	63.2	101.7	101.7	101.6	101.5	101.6	101.6	101.5	101.6	101.5	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1292.7	790.0	1293.8	"
	64.4	62.9	62.8	62.6	63.0	101.7	101.7	101.5	101.5	101.4	101.6	101.5	101.6	101.4	101.5	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	1292.3	789.0	1291.2	"

* Feil avlesning på vekten
 OBS! 11st standard skal vannets beregnes for formid. i alle tabell
 EN 12697-6. S.10

