

Spordeformasjon og piggdekkslitasje i gjenbruksasfalt

Jørgen Helgeland Stenløkk

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Helge Mork, IBM

Medveileder: Sara Anastasio, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Jørgen Helgeland Stenløkk ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.

Jeg ønsker å takke alle som har bidratt til å gjøre studietiden min til gode år. Spesielt vil jeg takke familie, venner og de jeg har brukt fritiden min sammen med.

Jeg husker godt et øyeblikk fra første klasse, hvor en av professorene presenterte seg selv og sa han hadde skrevet en doktorgrad om asfalt. Da jeg hørte det for omtrent fem år siden, var den første tanken min at det hørtes ut som et ekstremt kjedelig fagfelt, og det var i alle fall ikke aktuelt at jeg skulle fokusere på det! Jeg ønsker derfor også å takke forelesere som har gitt meg en interesse for veifaget og endret meningene mine. Laboratoriearbeid om asfalt har vært veldig gøy, utfordrende og lærerikt.

Til slutt ønsker jeg å takke veilederne mine for denne oppgaven: Helge Mork for god hjelp og tilbakemelding på den vitenskapelige artikkelen som er en del av denne oppgaven, og Sara Anastasio for rettleiding og oppfølging i laboratoriet.

Trondheim, juni 2018

Jørgen Helgeland Stenløkk

Sammendrag

Økt bruk av gjenbruksasfalt er viktig, både økonomisk og for en bærekraftig utvikling av veisektoren. Som en følge av et rammedirektiv fra EU har europeisk land, inkludert Norge, forpliktet seg til å gjenvinne 70 % av revet materiale fra bygg- og anleggsbransjen innen 2020. Dette blir per i dag gjennomført innenfor Norges veibransje, men mye av gjenbruken skjer som "downcycling", hvor retur-asfalt ikke blir utnyttet optimalt.

Denne masteroppgaven undersøker gjenbruksasfalt sin motstand mot permanent deformasjon og slitasje fra piggdekk. Dette blir gjort ved å lage asfaltprøver i laboratorium, og teste disse i henholdsvis Wheel Track og Prall. Mengden gjenbrukt asfalt (asfaltgranulat) i prøvene varierer mellom 20 og 50 vektprosent.

Oppgaven inneholder en litteraturstudie. Funnene her tilsier at økte mengder asfaltgranulat i en asfaltblanding fører til en stivere asfalt, som en konsekvens av at bindemiddelet har blitt utsatt for en aldringsprosess. Dette fører til at asfaltblandingen har høyere bæreevne og mer motstand mot permanent deformasjon, men samtidig mindre motstand mot sprekkdannelse og potensielt kortere levetid før utmatting.

Testresultatene fra Wheel Track viser en tydelig forbedring i motstand mot permanent deformasjon. Dette er spesielt tydelig for høyere mengder asfaltgranulat (40%). Testresultatene fra Prall viser en korrelasjon mellom høyere innhold av asfaltgranulat og mer motstand mot piggdekkslitasje. Dette er også tydeligere for blandinger med mer asfaltgranulat (40-50%). Pralltesten hadde imidlertid relativt dårlig parameterkontroll, og resultatene er derfor ikke ideelle.

Summary

The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) is important both for environmental and economic reasons. By European Union legislation, countries are required to recycle 70% of demolition materials. In Norway, this is easily achieved, but a lot of the reclaimed asphalt is used in non-wearing courses. This is an unfavorable form of downcycling.

This study investigates the effects of combining RAP and virgin material in an asphalt mix. This is achieved by testing the resistance to permanent deformation (rutting) and abrasion by studded tires of laboratory prepared samples in the Wheel Track test and the Prall test, respectively. The amount of added RAP varies from 20% to 50% by weight.

Literature on the subject suggest that increased amounts of RAP leads to a stiffer mix due to aging of the binder. This leads to an asphalt mix with higher load bearing capabilities and more resistance to permanent deformation. At the same time, the mixes are more prone to cracking and can have a shorter fatigue life.

The test results from the Wheel Track test show a clear improvement in resistance to rutting when adding RAP. This is especially true for higher RAP contents (40%). The Prall test results show a tendency towards more resistance to abrasion for asphalt mixes containing higher contents of RAP (40-50%). However, the parameter control in the Prall test is somewhat poor, and the trustworthiness of the results is therefore not ideal.

INNHold

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Summary	iii
DEL I PROSESSRAPPORT	1
1 Innledning.....	2
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Formål	2
1.3 Oppbygning av oppgaven.....	3
2 Teoretisk grunnlag.....	3
2.1 Definisjoner	3
2.2 Dagens gjenbrukssituasjon i Norge	4
2.3 Konsekvenser av gjenbruksasfalt.....	6
2.3.1 Pris og materialtilgjengelighet	6
2.3.2 Miljø	8
2.3.3 Materialelegenskaper	9
3 Metode	11
3.1 Tilsendte materialer.....	11
3.2 Valg av tester	12
3.3 Gjennomføring av Wheel Track.....	13
3.4 Gjennomføring av Prall	14
4 Resultater og diskusjon	15
4.1 Wheel Track	15
4.1.1 Testresultater fra TBA4204 Transportinfrastruktur (Wheel Track)	15
4.1.2 Testresultater fra oppgavearbeid (Wheel Track).....	18

4.2 Prall	23
5 Konklusjon og anbefaling for videre arbeid.....	29
6 Referanser.....	30
DEL II VITENSKAPELIG ARTIKKEL	33
VEDLEGG	V-1
Vedlegg 1 - Oppgavetekst.....	V-2
Vedlegg 2 - Oversikt over tilsendte materialer tilgjengelige for masteroppgaven.....	V-6
Vedlegg 3 – Utfyllende resultater fra Wheel Track.....	V-8
Vedlegg 4 - Utfyllende resultater fra Prall.....	V-10
Vedlegg 5 - Asfaltresepter for benyttede blandinger	V-13

DEL I

PROSESSRAPPORT

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Asfalt er en viktig, ikke-fornybar ressurs som brukes til å asfaltere flere tusen kilometer årlig. Det kommer til å være behov for ny veibygging og vedlikehold av det eksisterende veinettet i lang tid fremover. Bare i 2016 ble det planlagt å asfaltere 3375 km riks- og fylkesveier (Garathun, 2016). Dette er dyre prosjekter med stor miljøpåvirkning. For å spare både miljøet og penger burde man undersøke mulighetene for økt gjenbruk av asfalt i slitelaget på veier. Dette er ikke særlig utbredt i Norge, da man ikke er sikre på hvordan asfaltblandingers mekaniske egenskaper påvirkes når man benytter gjenbruksasfalt. Kun 6,4% av råvarene til asfaltproduksjon i 2017 besto av resirkulert asfalt (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018).

1.2 Formål

Denne oppgaven undersøker tidligere erfaringer gjort ved gjenbruk av asfalt i slitelaget. Hensikten med rapporten er å undersøke mulighetene for å i større grad benytte seg av asfalt med gjenbruksmasse i slitelaget på nye eller rehabiliterte veier, slik at materialene kan brukes optimalt. Oppgaven skrives ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet etter etterspørsel fra Velde AS.

Arbeidet har inkludert:

- En litteraturstudie.
 - Dette arbeidet har bestått av en mindre undersøkelse av i hvor stor grad gjenbruksasfalt benyttes andre steder i verden.
 - Hovedfokuset har vært å finne erfaringer som har blitt gjort angående de mekaniske egenskapene til gjenbruksasfalt andre steder og hvor vurdere om disse overførbare til Norge.
- Planlegging og gjennomføring av laboratoriearbeid.
 - Testene som har blitt utført har vært Wheel Track og Prall.
 - Inkludert i arbeidet er en analyse av resultatene og reflektering rundt disse, samt en vurdering på hvilke konsekvenser funnene kan ha.

1.3 Oppbygning av oppgaven

Masteroppgaven er delt i 2 hoveddeler, etterfulgt av vedlegg. Del 1 er en prosessrapport, bestående av 5 kapitler. Del 2 er en vitenskapelig artikkel. Prosessrapporten er ment som en mer utfyllende versjon av den vitenskapelige artikkelen. Mens diverse beslutninger angående oppgaven og resultatanalysene bare er kort presentert i den vitenskapelige artikkelen, forklares valgene grundigere i prosessrapporten. Den vitenskapelige artikkelen er imidlertid skrevet for å kunne leses og forstås uten at det er nødvendig å lese prosessrapporten.

2 Teoretisk grunnlag

2.1 Definisjoner

Det forventes at leseren av denne oppgaven i forkant er noe kjent med de relevante fagområdene som oppgaven baserer seg på, som veiteknologi og vitenskapelig laboratoriearbeid. Under følger det uansett en ordliste som definerer hva som menes med diverse ord og begreper som er særs relevante for å forstå oppgaveteksten. Flere av begrepene er delvis eller i sin helhet hentet fra Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning sine hjemmesider, www.asfaltgjenvinning.no. (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018).

Asfaltgranulat: Knust eller frest returafalt. Brukes som tilslag i asfaltblandinger. Ofte synonymt med bundet materiale.

Bundet gjenbruk: Returasfalt som brukes på nytt etter tilsetning av nytt bindemiddel. Bundet materiale er ofte synonymt med asfaltgranulat.

Deponi: Lagringsområde for avfall, som for eksempel returafalt.

Gjenbruksasfalt: Bærelag eller veidekke som i hovedsak består av gjenbrukt asfalt.

Jomfruelige materialer: Materialer (tilslag, bindemiddel) som ikke tidligere har blitt benyttet i en konstruksjon. Kan tenkes på som motsatt av returafalt.

Kald gjenbruk: Metode for gjenbruk hvor returasfalt gjenbrukes uten å varmes opp. Ofte synonymt med ubundet gjenbruk. Metoden gjennomføres ofte ved dypstabilisering, som innebærer at man freser opp og blander slitelaget og bærelaget, og bruker dette på nytt.

Paralleller: Antall parallelle prøver av samme asfalttype.

Returasfalt: Asfalt som graves eller freses opp fra en vei.

Ubundet gjenbruk: Returasfalt som brukes på nytt uten å tilsette nytt bindemiddel. Ofte synonymt med kald gjenbruk.

Varm gjenbruk: Metode for gjenbruk av returasfalt som innebærer å varme opp asfaltblandingen. Returasfalten trengs ikke nødvendigvis å varmes opp direkte den tilsettes i oppvarmede jomfruelige masser.

%: Når % brukes i denne oppgaven for å beskrive mengden av en type asfalt i en blanding, er det alltid snakk om vektprosent.

2.2 Dagens gjenbrukssituasjon i Norge

Ved å underskrive EUs rammedirektiv for avfall fra 2008 (European Union, 2008) har Norge forpliktet seg til å gjenvinne 70 % av revet materiale fra bygg- og anleggsbransjen innen 2020. Veikonstruksjoner faller inn under denne kategorien, og det er derfor ønskelig å bruke rivemasser i gjenbruk. I utgangspunktet er dette vanlig i Norge. I 2017 var forholdet mellom anvendt og deponert returasfalt 111,9% (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018). Etersom returasfalt kan ligge på mellomlager i inntil 3 år, er det derfor enkelte år mulig å ha en gjenbruksprosent som er høyere enn 100 %. Bransjen har også vært jevnt vært over målet siden minst 2001. (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2006) (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2012) (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2017). Før 2001 ble det ikke gitt ut årsrapporter fra Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, og det er derfor vanskelig å vite noe om graden av gjenbruk.

Det er imidlertid slik at svært lite asfaltgranulat blir brukt som råvare i nye asfaltblandinger for slitelag, ved varm gjenbruk. Dette på tross av at "best utnyttelse av gjenbruksmassen

oppnås ved varm gjenbruk" (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2010). Omtrent 70 % av retur-asfalt ble i 2017 benyttet i ubundet gjenbruk (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018). Dette innebærer som oftest bruk hvor kravene ofte ikke er så strenge, som for eksempel midlertidige anleggsveier, dekke på hytteveier og til kantfylling (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018). Dette kan være uheldig, da dette ofte er en type gjenbruk som ikke er ideell. Slitelaget er som oftest laget av materialer med god kvalitet, og burde ideelt sett gjenbrukes i et nytt slitelag når det rives, fremfor å benytte materialet i andre lag lenger nede i en veikonstruksjon.

Ubundet gjenbruk krever ofte at man legger et nytt lag med jomfruelig asfalt over som nytt slitelag (selv om man til tider kan bruke de freste materialene som slitelag også, avhengig av materialkvalitet). Man må dermed produsere ny asfalt i tilfeller hvor man egentlig kunne gjenbrukt de gamle massene ved varm gjenbruk.

Norge er i en situasjon hvor det er naturlig god tilgang på både tilslag og bindemiddel, grunnet den geologiske sammensetningen av norsk grunn, samt oljeforekomstene som Norge driver utvinning fra. Dette kan være en av grunnene til at varm gjenbruk av asfalt ikke er særlig utbredt i landet. Til sammenligning benytter for eksempel land som Nederland seg i stor grad av gjenbruk, da de ikke har tilgang til å utvinne råvarene selv i samme grad som Norge (Hoff & Anastasio, 2017). Kun 6,4% av norsk asfaltproduksjon i 2017 benyttet seg av asfaltgranulat som råvare. Dette er svært lavt sammenlignet med for eksempel Finlands estimerte 40 % i 2015 (Forstén, 2015).

Den mest effektive måten å produsere gjenbruksasfalt på er "varm-i-varm". Dette er en type varm gjenbruk hvor asfaltgranulatet varmes opp før det tilsettes de jomfruelige massene, og med denne metoden kan man benytte opp mot 80% gjenbruksmasse i en asfaltblanding. I perioden 2013-2017 ble kun 5,4% av all norsk retur-asfalt benyttet på denne måten (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018), så man kan trygt konkludere med at metoden ikke er veldig utbredt i Norge enda. Til sammenligning kan "kaldt-i-varm" gjenbruk kun blande inn omtrent 25 % gjenbruksmasse. 21,5% av retur-asfalt ble i samme periode benyttet på denne måten (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2017). Totalt sett over perioden ble altså under 30% av norsk retur-asfalt gjenbruk ved varm gjenbruk. Tilsvarende tall for Europa og Norden er henholdsvis 64%

og 73%. I 2004 konkluderte Gjenbruksprosjektet til Statens Vegvesen i en rapport at "for å øke andelen av varm gjenvinning i verk, må flere asfaltverk oppgraderes" (Statens Vegvesen, 2004), men mengden varm gjenbruk ser ikke ut til å ha økt.

Per i dag finnes det ingen direkte krav i Norge for maksimumsbruk av gjenbruksmasse i ny asfalt. Dersom mengden i slitelaget overstiger 10 % må man imidlertid fastsette bindemiddelskvaliteten i gjenbruksmassen, samt dokumentere at tilslaget mekaniske krav er oppnådd (Statens Vegvesen, 2014). Til sammenligning har Gøteborg kommune i Sverige satt et *minimumskrav* på 10 % tilsetning av gjenbruksmasse i alle nye asfalter (Statens Vegvesen, 2004).

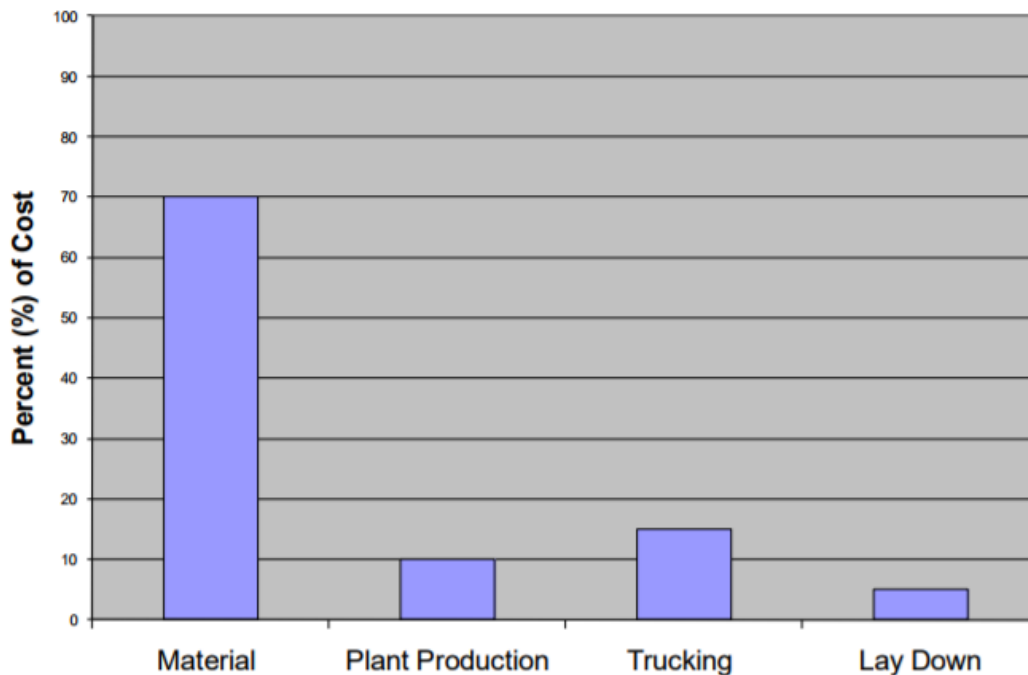
2.3 Konsekvenser av gjenbruksasfalt

Det er flere grunner til å oppmuntre til gjenbruk av asfalt. De største argumentene handler om pris, materialtilgjengelighet og miljø. Samtidig er det svært viktig å ta i betraktning hvilke innvirkninger tilsetning av asfaltgranulat kan ha på egenskapene til en asfaltblanding.

2.3.1 Pris og materialtilgjengelighet

I et veiprojekt er det mye billigere å benytte asfalt som inneholder gjenbruksmasser enn det er å benytte asfalt med 100% jomfruelige materialer. Dette skyldes at materialkostnadene for asfalten står for en stor del av de totale kostnadene som er knyttet til asfaltering. US Federal Highway Administration har estimert materialkostnadene til å være 70% av prisen, og deres nedbrytning av kostnadene er vist i figur 1 (Copeland, 2011). Figuren er tatt fra deres rapport.

Figur 1: Estimert kostnadsfordeling for et veiprojekt (Copeland, 2011)



Når man benytter seg av gjenbruksmateriale trenger man ikke å betale for tilslag og bindemiddel i like stor grad. Dette er en naturlig konsekvens av at returasfalt er masser som man ønsker å kvitte seg med under et riveprosjekt, mens jomfruelig asfalt er et nytt materiale man ønsker å selge. Ofte får asfaltverk faktisk betalt for å ta imot returasfalt av andre aktører som ønsker å kvitte seg med rivemateriale etter et prosjekt (Hoff & Anastasio, 2017). Asfaltverkene får da nødvendig materiale gratis. Dette gir en økonomisk gevinst to ganger, ettersom man får direkte betalte ved mottak av massene, samt ved at man har svært reduserte materialkostnader for nye asfaltblandinger som man siden selger til andre.

Når det er sagt, må det også nevnes at når det er snakk om varm gjenvinning i Norge må verkene generelt produsere asfaltblandinger med ca. 30 % gjenbruksmasse for at det skal være lønnsomt. Dette er det ikke så mange verk som har utstyr til å gjøre (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2002). Et grunnleggende behov for økt gjenbruk vil derfor være at verk er villige til å investere i nødvendig utstyr. En enkel utregning fra Gjenbruksprosjektet (i regi av Statens Vegvesen) kom frem til at det kan være lønnsomt å investere i slikt utstyr. Dette krever imidlertid at markedet er villig til å betale for å levere

returasfalt inn til verk, samt at man har god tilgang til returasfalt, og kan produsere relativt store mengder gjenbruksasfalt. (Statens Vegvesen, 2004).

Det kan i noen tilfeller også være veldig hensiktsmessig å benytte seg av så mye gjenbruksmasser som mulig, som en følge av materialtilgjengelighet. Dette kan være relevant i avsidesliggende områder hvor det for eksempel bedrives et større vedlikeholdsprosjekt. Det kan da fort bli veldig dyrt å transportere store mengder asfalt til anleggsområdet. Nederland er et godt eksempel på et helt land hvor det kan lønne seg å bruke gjenbruksasfalt i stor grad. Landet har lite tilgang til å drive egen utvinning av tilslag, og er derfor helt avhengige av å importere dette fra andre land (Hoff & Anastasio, 2017). Å kunne gjenbruke asfalten de allerede har produsert vil derfor gi landet muligheten til å spare store pengesummer i fremtidige veiprojekter.

2.3.2 Miljø

De fleste prosessene i livsløpet til en asfaltblanding er forurensende. Dette inkluderer utvinning og produksjon av bindemiddelet, utgraving og behandling av tilslaget, frakt av materialene fra produksjonsstedet, blanding av asfalten i verk, m.m. Økt bruk av returasfalt fremfor jomfruelige materialer vil redusere utslippene innenfor flere av disse områdene. Dette er bra for miljøet, og er et fint tiltak for veibransjen, da områdene "vei" og "transport" generelt står ansvarlig for mye av CO₂-utslippet på verdensbasis.

Ved økt bruk av returasfalt vil det være et lavere behov for jomfruelige masser, som vil redusere mengden som må utvinnes og behandles. Returasfalt kan også ofte hentes fra nær et asfaltverk, og kan dermed redusere behov for lang transport. I noen tilfeller er det også mulig å resirkulere returasfalten direkte på anleggsplassen, og dermed kutte ut mer eller mindre alt behovet for transport.

Gjenbruksasfalt kan produseres ved enten kald eller varm gjenbruk. Varm gjenbruk er mest optimalt, da asfalt er et høyverdig materiale, og det er ideelt å bruke materialet igjen mest effektivt. Asfalt med god kvalitet kan brukes om igjen i slitelaget hvor det er strenge krav til kvalitet. Om man heller velger å bruke asfalten i kald gjenbruk, vil ikke materialene fra et frest slitelaget få brukt "potensialet" sitt fullt ut lenger nede i veikonstruksjonen. Varm gjenbruk in-situ er ikke vanlig i Norge grunnet svært høy pris på det nødvendige utstyret.

Varm gjenbruk i verk er brukt i noe større grad, selv om dette heller ikke er mye brukt grunnet manglende utstyr hos verkene.

2.3.3 Materialelegenskaper

Gjenbruk av asfalt har blitt benyttet i lang tid. Allerede for 40 år siden startet en artikkel med «[asphalt] recycling technology is not new» (Terrel & Fritchen, 1978). Det finnes derfor mange studier som har undersøkt materialeegenskapene til asfaltblandinger hvor gjenbruk er benyttet i større eller mindre grad. Det finnes spesielt mange studier av laboratorietillagde prøver, mens det er mer begrenset hvor mye det har blitt undersøkt hvordan veistrekninger laget av gjenbruksasfalt holder seg i ekte trafikk.

Når returafalt behandles og brukes som råvare i en ny asfaltblending, har dette potensiale til å påvirke asfaltblendingens egenskaper. Dette kan skyldes ulike grunner. For eksempel kan tilslaget i returafalten være litt hardere eller ha en litt annen ruhet i forhold til det jomfruelige tilslaget. Når disse litt ulike tilslagene blandes, kan det føre til at egenskapene til den resulterende gjenbruksafalten er litt annerledes enn egenskapene hadde vært om ingen returafalt hadde blitt benyttet. Returafalt kan også inneholde forurensninger som organiske materialer eller mikroplast fra bildekk (Hoff & Anastasio, 2017), som kan påvirke egenskapene i noen grad. Det er derfor viktig å prøve å kontrollere dette når man benytter seg av asfaltgranulat som råvare, ved å prøve å bruke masser som har like egenskaper som de jomfruelige materialene.

Bindemiddelet i returafalt har et stort potensiale til å påvirke egenskapene til en gjenbruksasfalt. Dette kan selvfølgelig skje som en konsekvens av at det opprinnelige bindemiddelet i returafalten er en annen type enn det jomfruelige bindemiddelet. Men selv om bindemiddeltypene i utgangspunktet er de samme, kan det allikevel hende at egenskapene er forskjellige. Dette skyldes at bindemiddelet i asfaltblandinger blir utsatt for en aldringsprosess i løpet av asfaltens levetid, noe som gjør at bindemiddelet blir stivere. Dette skjer fordi bindemiddelet utsettes for oksidering, samtidig som flyktige komponenter forsvinner ut av bindemiddelet, noe som gjør bindemiddelet mer viskøst. (Airey, 2003). Denne prosessen skjer både ved utlegging av asfalten, men også som en kontinuerlig effekt over lengre tid (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2016).

Returasfalt som er frest fra eldre veimasser vil derfor sannsynligvis ha stivere bindemiddel enn returasfalt som er frest fra nyere veimasser. Bruk av stivere gjenbruksasfalt ser ut til å gi veien høyere bæreevne og motstand mot permanent deformasjon. Samtidig medfører stivere asfalt også redusert fleksibilitet, som gjør det vanskeligere å legge ut asfalten, og kan føre til andre negative effekter som økt sprekkdannelse (Airey, 2003).

Andre studier støtter opp under resultatene presentert over. Eksempelvis fant også Texas Department of Transportation ut at bruk av gjenbruksmasser i asfaltblandinger førte til økt sprekkdannelse, men også økt motstand mot spordannelse (Hong, Chen, & Mikhail, 2010). Prosjektet "AllBack2Pave" fra Conference of European Directors of Roads fant også resultater som indikerte økt stivhet i asfaltblandingene ved gjenbruk av masser. De fant imidlertid ikke en god nok korrelasjon til motstand mot sporutvikling i Wheel Track (Lo Presti, et al., 2017). Her er det uansett viktig å huske på at det ofte er akseptabelt med tilsvarende egenskaper mellom jomfruelige asfaltblandinger og gjenbruksblandinger, ettersom det betyr at gjenbruksasfalt kan benyttes under de samme forholdene som jomfruelig asfalt.

En studie fra delstaten Georgia i USA fant at tiden før utmatting til en asfaltblending med mer enn 30% gjenbruksmasser kunne bli halvert i forhold til en asfalt uten gjenbruk. Det ble også poengtert at man kunne veie opp for det stive gjenbruksbindemiddelet ved å bruke et mykere jomfruelig bindemiddel (Watson, Vargas-Nordcbeck, Moore, Jared, & Wu, 2008). Dermed kan man motvirke de negative følgene som følger av en stivere asfaltblending. Andre studier har foreslått den samme. (McDaniel & Nantung, 2005). En annen måte å mykne opp den sammensatte asfaltblendingen på er ved å tilsette såkalte fornyere til blandingene. Det er biokjemiske tilsetninger som mykner opp det stive gjenbruksbindemiddelet, og fører til at asfaltblendingen blir lettere å legge ut (Im, Karki, & Zhou, 2016), og øker motstanden mot sprekkdannelse (Tran, Taylor, & Willis, 2012).

Det virker som om det er gjort begrensede mengder studier på hvordan og i hvilken grad tilsetning av gjenbruksmasser påvirker motstand mot piggdekkslitasje. Dette testes vanligvis med Prallmetoden.

Fra tilgjengelig litteratur er det uklart akkurat til hvilken grad gjenbruksmasse påvirker egenskapene til en asfaltblending. Det er imidlertid innlysende at bruken av

gjenbruksmasser påvirker egenskapene i noen grad, og noen ganger svært mye. På tross av litt forskjeller i resultatene fra litteraturen, peker mange forfattere på at prosessene rundt bruken av gjenbruksasfalt må gjennomføres riktig for å få et godt resultat. Det inkluderer for eksempel å frese asfalt fra veier lag for lag og holde dette adskilt, riktig lagring av returafalten (under dekke) og god utførelse under produksjon. For å kunne benytte seg av store mengder asfaltgranulat i en asfaltblanding, er det nødvendig at dette utføres på en god måte (Lo Presti, et al., 2017).

3 Metode

3.1 Tilsendte materialer

Massene som ble brukt i denne masteroppgaven ble verksprodusert av Velde AS, et asfaltverk i Sandes i Rogaland. Materialene ble sendt til NTNU i små pappesker med 3-4 kg masse i hver. Majoriteten av asfalten som er benyttet i denne masteroppgaven ble sendt for bruk i masteroppgaven. Noe av massene var imidlertid rester fra et laboratoriekurs holdt i forbindelse med faget TBA4204 Transportinfrastruktur høsten 2017. Dette laboratoriekurset var ikke direkte relatert til masteroppgaven. Testresultater og restmasser ble imidlertid gjort tilgjengelig for bruk i oppgaven. Alle massene benyttet i både laboratoriekurset og i eget arbeid er verksprodusert og kun oppvarmet i laboratorium.

Parameterkontroll var svært vanskelig å gjennomføre på en god måte med de tilsendte massene. Dette skyldtes at massene ble sendt fra et verk som hadde en varierende produksjon. Etter hvert som ulike asfaltblandinger ble produsert, sendte de noe av produksjonsvolumet til NTNU for denne mastergraden. Som en følge av den varierende produksjonen, var det mye av materialet som ikke kunne testes opp mot andre materialer grunnet mye parametervariasjon. Dette førte til at mye av massene ikke ble brukt, og at de massene som faktisk ble brukt ikke hadde optimal parameterkontroll eller variasjon mellom mengden tilsatt asfaltgranulat. Spesifikt hvordan parameterne skiller seg mellom ulike prøver som sammenlignes, er presentert sammen med testresultatene senere i oppgaven.

Velde AS sendte også materialer for oppgaven underveis etter at arbeidet i laboratorium hadde startet. Dette gjorde det vanskelig å legge en god plan for hva som burde testes, ettersom det var uklart hvilke asfaltblandinger som kom til å bli sendt etter hvert under arbeidet, og hva det derfor var logisk å sammenligne. Dette førte til at noen blandinger ble testet uten at resultatene er presentert eller diskutert i denne oppgaven, ettersom de ikke inngår i et sammenhengende datasett.

En oversikt over massene som var tilgjengelig er vist i vedlegg 2 for å poengtere denne problematikken.

3.2 Valg av tester

Tidlig i prosessen ble det gitt info under samtaler med veileder om diverse enkelthendelser i Norge hvor gjenbruksasfalt hadde blitt brukt, med resulterende dype hjulspor. I løpet av litteraturstudiet ble det gjort noen søk etter artikler om disse hendelsene, men det ble dessverre ikke funnet noen konkrete eksempler. Uansett var dette et tenkt argument for å begrunne den konservative holdningen til gjenbruksfalt i Norge. Det var derfor naturlig å undersøke hvordan bruk av gjenbruksasfalt påvirket sporutvikling.

Wheel Track og Prall test var dermed logiske tester å utføre. Wheel Track er en naturlig test å gjennomføre om man skal måle spordeformasjon. Etter hvert som litteraturstudien var påbegynt, viste det seg også at gjenbruksasfalt vanligvis gjør bindemiddelet i asfalten stivere, noe som fører til mer motstand mot deformasjon. Dette var motsatt informasjon av det de fortalte enkelthendelsene skulle tilsi, og dette gjorde det enda mer relevant å gjennomføre Wheel Track for å undersøke hvordan gjenbruksasfalt faktisk påvirket resultatet i Wheel Track testen. Prall var også naturlig å kjøre når det var snakk om å teste sporutvikling, da Prall simulerer slitasje fra piggdekk. Ettersom noe av bakgrunnen for mastergraden var å bidra til et beslutningsgrunnlag for norsk bruk av gjenbruksasfalt, var det veldig relevant å teste prøvene i Prall. Norge har et kaldt og glatt vinterklima, og med det hører det til at det brukes mye piggdekk i de kaldeste månedene i året. Dermed er motstand mot piggdekkslitasje svært relevant å teste når man skal vurdere hvor godt en relativt ukjent asfalttype fungerer i Norge. Det ble også klart at det ikke har blitt gjennomført noe særlig av Prall tester på gjenbruksasfalt tidligere. Dette gjorde det

interessant å benytte denne testen, da dette potensielt ville gi mye ny og relevant informasjon om temaet.

3.3 Gjennomføring av Wheel Track

Wheel Track prøvene ble laget etter instruks fra Statens Vegvesens håndbok R210: Laboratorieundersøkelser (Statens Vegvesen, 2016). Dette inkluderer prøvelaging i henhold til NS-EN 12697-33 (Norsk Standard, 2007) og testing i henhold til modell B i NS-EN 12697-22 (Norsk standard, 2007).

Prøvelegemet i Wheel Track testen er et kvadratisk prøvelegeme med dimensjonene 305x305x40 mm. Mengden masse bestemmes av blandingens densitet, og varmes så opp i varmeskap. Massen tømmes så i en form med riktige dimensjoner, før prøven komprimeres dynamisk i en egen maskin. Prøven settes så til nedkjøling i minst to døgn. Under laboratoriearbeidet for masteroppgaven ble noen prøver testet etter kun ett døgn nedkjøling. Dette har trolig ikke hatt en innvirkning på resultatene. Etter dette settes prøven inn i Wheel Track maskinen og varmes opp til temperaturen maskinen er innstilt til. Under testingen var temperaturen i maskinen 50°C. Et standardisert hjul passerer så over prøven 20 000 ganger i samme spor. Dette gjør at det utvikles en spordybde i prøvelegemet. Spordybden måles ved hver 100 passering. Testen avsluttes automatisk dersom en forhåndsinnstilt spordybde blir nådd. I standarden er denne dybden 20 mm. Under laboratoriearbeidet var maksimumsdybden satt til 17 mm. Dette gjorde det vanskelig å sammenligne noen av prøvene, ettersom flere nådde maksimumsdybden. Dette er diskutert videre i kapittel 4. Ved å kjøre testen på høyere temperatur enn normale utetemperaturer, simuleres effekten av flere års trafikk i løpet av noen få timer. Spordybden er et kvalitativt resultat som kan sammenlignes med andre Wheel Track resultater.

Etter at maksimum antall passeringer eller maksimum spordybde er nådd, tas prøven ut av formen. Etter dette ble densiteten til prøvene målt og hulrom utregnet før de ble kastet. Det er ikke en del av standarden å måle densitet. Densitet ble målt med metode B i NS-EN 12697-6 (Norsk Standard, 2012), hydrostatisk overflatetørr.

3.4 Gjennomføring av Prall

Prallprøvene ble også laget etter instruksene i Statens Vegvesens håndbok R210: Laboratorieundersøkelser (Statens Vegvesen, 2016). Prøvene ble laget ved Marshallkomprimering etter NS-EN 12697-30 (Norsk Standard, 2012). Testene ble utført etter metode A i NS-EN 12697-16 (Norsk Standard, 2016). Prosedyrene er beskrevet i påfølgende avsnitt.

1200 gram masse varmes opp og tømmes i en sylinder. Marshallkomprimering skjer ved gjentakende slag fra et lodd med en bestemt masse og fallhøyde. Prøven snus rundt, og blir utsatt for tilsvarende antall slag fra andre side. I dette laboratoriearbeidet ble det brukt 50 slag mot hver side. Prøven tas så ut av sylinder, avkjøles, og kappes i to Prallprøver i riktig størrelse. Prøvelegemet i Pralltesten er en sylinder med 100 mm diameter og 30 mm høyde. Før videre testing i Prallmaskinen, måles densiteten av prøvene etter metode B i NS-EN 12697-6 (Norsk Standard, 2012), hydrostatisk overflatetørr.

Sylindrerne testes så enkeltvis i Pralltesten. Før testen starter må prøvene tempereres i vann som holder 5°C. Prøven veies så overlatetørr før den plasseres i en metallsylinder, og 40 små metallkuler blir lagt over prøven. Metallsylindrer skrues igjen med et lokk som gir en konstant vanngjennomstrømning på 2 L/min til prøveområdet. Vannet holder 5°C. Maskinen settes så til å riste prøven kontrollert i 15 minutter. Etter testen er ferdig tas prøven ut, skylles, og veies overlatetørr.

Testresultatet presenteres som bortslitt volum. Dette regnes ut med formel (1).

$$Abr_A = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_{bssd}} \quad (1)$$

Hvor

Abr_A = bortslitt volum [mL]

m_1 = Vekt av våt prøve i luft før test [g]

m_2 = Vekt av våt prøve i luft etter test [g]

ρ_{bssd} = densitet av prøven [g/cm^3]

Bortslitt volum er et kvalitativt resultat som kan sammenlignes med andre Prallresultater.

4 Resultater og diskusjon

4.1 Wheel Track

4.1.1 Testresultater fra TBA4204 Transportinfrastruktur (Wheel Track)

Høsten 2017 gjennomførte studenter ved andre år av studiet Bygg- og miljøteknikk ved NTNU et laboratoriekurs i faget TBA4204 Transportinfrastruktur. En del av dette laboratoriekurset inkluderte å teste asfalt ved bruk av Wheel Track. Asfalten som ble testet der ble også sendt fra Velde AS, og mange av testene ble utført på gjenbruksasfalter med ulik mengde tilsatt asfaltgranulat. Resultatene ble gjort tilgjengelig for denne masteroppgaven. Noen av resultatene hadde akseptabel parameterkontroll mellom asfalmiksene, noe som gjorde det mulig å vurdere sammenhengen mellom mengden tilsatt asfaltgranulat og spordybden. 41 studentgrupper gjennomførte Wheel Track tester. 23 av disse testene ble ikke brukt i denne oppgaven, da disse enten ikke var godt nok presentert i rapportene, ikke testet relevante asfalmasser eller resulterte i svært unormale verdier. De resterende 18 testene var til en viss grad sammenlignbare. Disse resultatene er vist i tabell 1.

Tabell 1: Resultater fra laboratoriekurs, Wheel Track

Asfalttype	Gjenbruksandel [%]	Spordybde, d _{20 000} [mm]	Kommentar	Gjennomsnitt [mm]
AB11	0	6,8	Spordybde avlest fra graf ¹	7,63
AB11	0	8,87		
AB11	0	9,28		
AB11	0	5,55	Spordybde avlest fra graf	
AB11	20	5,27		5,60
AB11	20	6,1	Spordybde avlest fra graf	
AB11	20	5,44		
AB11	50	4,95	Spordybde avlest fra graf	5,71
AB11	50	6,09		
AB11	50	6,09		
AGB11 ²	40	14,88		15,05
AGB11	40	15,22		
AGB11	50	7,47		8,89
AGB11	50	9,62		
AGB11	50	8,94		
AGB11	50	10,2	Spordybde avlest fra graf	
AGB11	50	8,61		
AGB11	50	8,5	Spordybde avlest fra graf	

¹ Dataene fra studentenes rapporter manglet i flere tilfeller tabeller med rådata. Der det er tilfellet har verdiene blitt lest av grafene studentene lagde fra rådataene.

² Returasfalten i alle AGB11-blandingene benyttet seg av tilslag med kulemølleverdi 14. Alt jomfruelig tilslag hadde kulemølleverdi 10.

I utgangspunktet var det tenkt at disse resultatene også kunne bli brukt som en del av datagrunnlaget i masteroppgaven, ettersom det kreves mye tid og arbeid for å gjennomføre nok laboratoriearbeid og få et godt datagrunnlag. Spesielt Wheel Track testene tar mye tid å gjennomføre, da hele prosessen med å lage, teste og rydde etter en enkelt prøve går over flere dager.

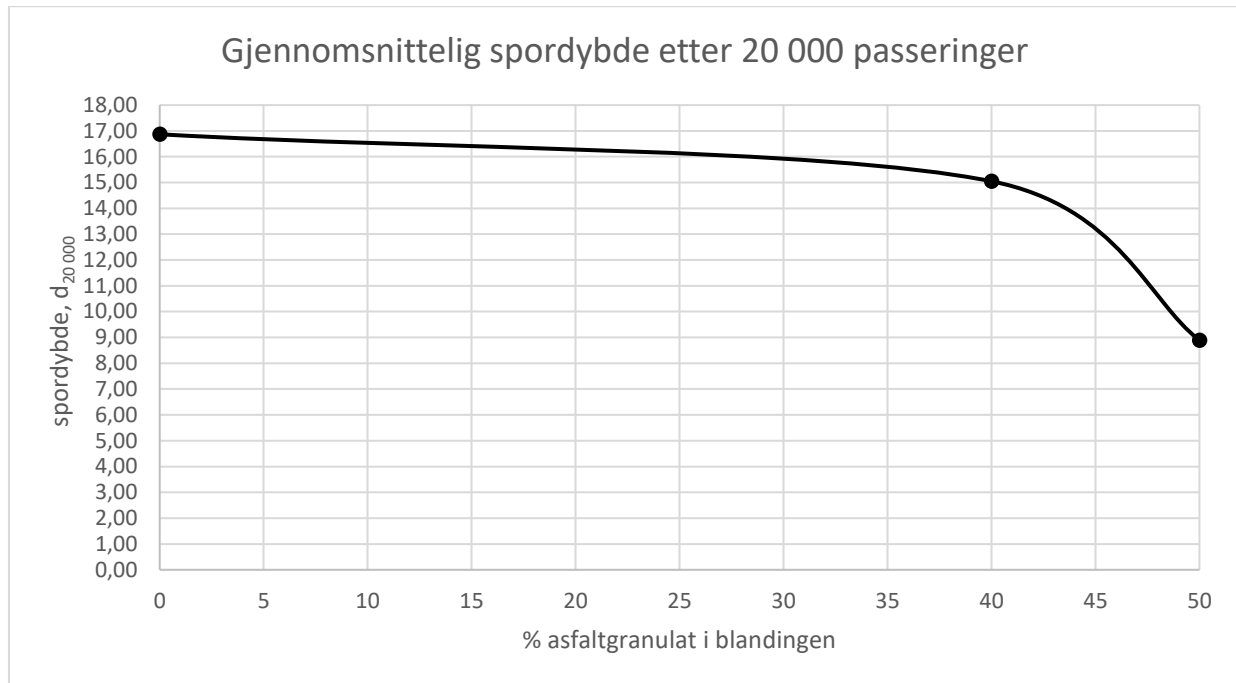
Etter at en grunnleggende datasammenligning av resultatene fra andreårsstudenten ble gjennomført, ble det imidlertid bestemt at størsteparten av dataene ikke var gode nok til å bidra til et forbedret datagrunnlag. Relativt gode resultater fra egen testing under masteroppgaven førte også til at det ikke var like nødvendig med ekstra data for å diskutere sammenhengen mellom bruk av returasfalt og sporutvikling. En kort diskusjon rundt resultatene fra laboratoriekursene til andreårsstudentene følger.

AB11-massene viser en liten tendens til større motstand mot permanent deformasjon ved større mengder tilsatt asfaltgranulat. Både 20% og 50% asfaltgranulat i blandingen gir mindre spordybde enn blandingen uten noe asfaltgranulat. Samtidig viser resultatene at 50% tilsatt asfaltgranulat fører til mer sporutvikling enn 20%, som er et resultat motsatt av forventet trend. Dette kan skyldes tilfeldig variasjon. Uansett ble det valgt å ikke benytte AB-massene i resten av oppgaven, grunnet små variasjoner mellom asfaltblandinger, og uklare resultater.

AGB11-massene ble i laboratoriekurset testet uten en referansemasse, da studentene i utgangspunktet ikke skulle undersøke egenskapene til gjenbruksasfalt. Resultatene har her en del variasjon mellom testene laget av samme asfaltblanding. På tross av dette, kan det virke som om det er en tydelig sammenheng mellom mengde asfaltgranulat i en blanding og asfaltens spordybde, ettersom spordybden er veldig mye lavere for blandingen med 50% asfaltgranulat enn spordybden er ved 40%.

Under egen testing i arbeidet med masteroppgaven ble det testet en referansemasse som kan sammenlignes med andreårsstudentenes AGB11-blandinger. Denne referansemassen var av typen AGB11, hadde 0% gjenbruksasfalt og kulemølleverdi 10. Tre paralleller ble testet, derav to som stoppet ved maksimum spordybde (17 mm) før 20 000 passeringer. Den siste parallellen utviklet 16,87mm spordybde. Med gjennomsnittlig spordybde på 16,96 mm styrkes dermed korrelasjonen funnet i resultatene fra studentenes laboratoriekurs. Gjennomsnittresultatene for AGB-massene fra laboratoriekurset og den selvlagde referanseprøven er presentert grafisk i figur 2.

Figur 2: Gjennomsnittlig spordybde etter 20 000 passeringer, Wheel Track.



Under arbeidet med masteroppgaven ble det også testet en prøve med 40% som var produsert med samme resept, altså tilsvarende materialer og 40% gjenbruksmasser. Her var gjennomsnittlig spordybde kun 9,91 mm, sammenlignet med 15,05 fra laboratoriekurset. Dette, kombinert med de generelt varierende resultatene fra laboratoriekurset, førte til at andreårsstudentenes resultater ikke ble omtalt i den vitenskapelige artikkelen (del II av masteroppgaven). Resultatene blir heller ikke omtalt noe særlig videre i prosessrapporten.

4.1.2 Testresultater fra oppgavearbeid (Wheel Track)

Tre ulike typer asfaltblandinger ble testet i Wheel Track, med henholdsvis 0%, 20% og 40% asfaltgranulat i blandingene. Den relevante standarden, NS-EN 12697-22 (Norsk standard, 2007) foreslår at det utføres 2 paralleller for hver asfaltblanding. Det ble derimot laget og utført 3 paralleller for hver blanding, da dette ville gjøre det lettere å se hvilken prøve som fikk "feil" resultat dersom sprikende verdier skulle forekomme. Dette viste seg å bli svært relevant for arbeidet, da en av 20%-blandingene uforventet nådde maksimum spordybde etter kun 8760 passeringer. Denne prøven (prøve nr. 2.2) ble testet samtidig som en annen parallell av samme asfaltblanding (prøve nr. 2.3). Prøve nr. 2.3 så ut til å

følge utviklingen til den første parallellen av samme asfaltblanding, og det ble derfor konkludert at prøve 2.2 stoppet unormalt tidlig og denne prøven ble derfor strøket fra resultatene. Som en konsekvens av dette måtte det lages en fjerde parallell (prøve nr. 2.4) for denne asfalttypen, da også prøve 2.3 måtte strykes som følge av den tidligere avslutningen av den testen, forårsaket av prøve 2.2.

Tabell 2: Antall paralleller, Wheel Track

Asfalttype	Paralleller
AGB11, 0% gjenbruk	3
AGB11, 20% gjenbruk	2 ¹
AGB11, 40% gjenbruk	3

¹ Ekskludert 2 paralleller som stoppet etter 8760 passeringer, og derfor ikke er brukbare for sammenligning.

Ettersom det kun var AGB-masser som var tilgjengelig i god nok variasjon, var det kun denne asfalttypen som ble testet. Dette medførte dessverre ganske dype spordybder som en følge av materialegenskapene til AGB. Halvparten av de 8 prøvene som ble brukt i analysen nådde ikke 20 000 passeringer, ettersom Wheel Track maskinen stopper testen etter at 17 mm spordybde er oppnådd. Alle testene ble utsatt for mer enn 15 000 passeringer. En oppsummering av testresultatene er vist i tabell 3. Detaljert sporutvikling for hver individuelle prøve er vist i figur 3. Flere detaljerte målinger for fra hver enkelt prøve er lagt ved i vedlegg 3.

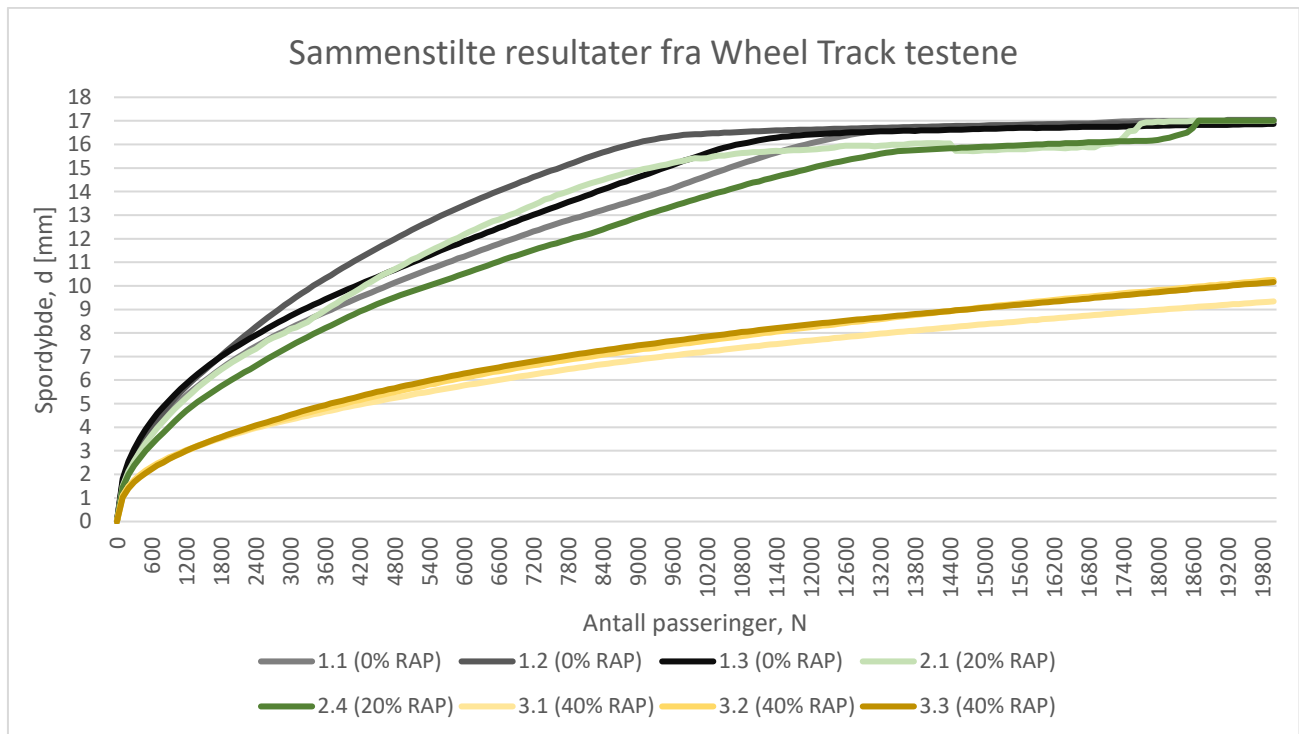
Tabell 3: dx: spor dybde [mm] etter x passeringer (N), Wheel Track

Prøve nr.	Asfalttype	d ₅₀₀₀ [mm]	d ₁₀₀₀₀ [mm]	d ₁₅₀₀₀ [mm]	d ₂₀₀₀₀ [mm]	Passeringer (N _{maks})	d _{maks} [mm]
1.1	ABG11, 0% gjenbruk	10,33	14,49	16,79	-	17700	17,00
1.2	AGB11, 0% gjenbruk	12,24	16,43	16,80	-	19140	17,04
1.3	AGB11, 0% gjenbruk	10,88	15,46	16,66	16,87	20000	16,87
2.1	AGB11, 20% gjenbruk	10,96	15,42	15,75	-	18580	17,00
2.4 ¹	AGB11, 20% gjenbruk	9,68	13,67	15,9	-	18680	17,01
3.1	AGB11, 40% gjenbruk	5,33	7,16	8,37	9,34	20000	9,34
3.2 ²	AGB11, 40% gjenbruk	5,6	7,61	9,09	10,24	20000	10,24
3.3 ²	AGB11, 40% gjenbruk	5,77	7,79	9,07	10,16	20000	10,16

1 Prøve 2.2 and 2.3 er ikke presentert eller brukt senere i oppgaven som følge av svært lavt antall passeringer.

2 Prøve 3.2 og 3.3 er de eneste to prøvene (av de 8 som ble benyttet i analysen) som ble testet i samme maskin samtidig.

Figur 3: Sporutvikling for alle prøvene, Wheel Track

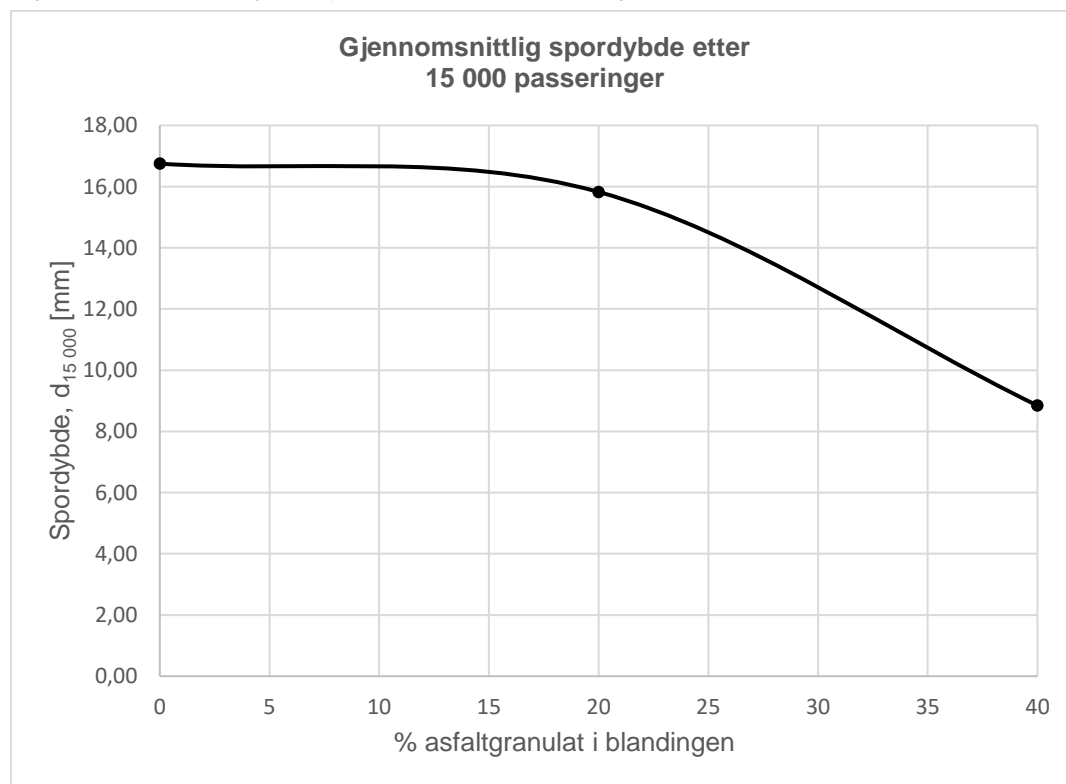


RAP = "Reclaimed asphalt pavement". Engelsk for gjenbruksasfalt.

Resultatene passer godt med tidligere kjent teori fra litteraturstudiet. Når man benytter seg av større mengder asfaltgranulat i en asfaltblanding, reduseres spordybden som følge av det stivere bindemiddelet i gjenbruksmassen.

40%-blandingen er tydelig mer motstandsdyktig mot permanent sporutvikling, ettersom alle tre prøvene har veldig tydelig lavere spordybde enn de to andre asfaltblandingene. Dette kommer tydelig frem i resultatene og synes godt i figur 3. Det er vanskeligere og se tydelig hvor stor forskjellen i spordybde er mellom 0% og 20%. Videre ble derfor gjennomsnittsverdiene for hver asfaltblanding ved 15 000 passeringer regnet ut og presentert. 15 000 passeringer ble brukt i stedet for 20 000 passeringer ettersom kun en av de fem relevante prøvene fullførte testen til 20 000 passeringer. Resultatet er vist i figur 4. Her er det lettere å se at 20%-blandingen har lavere spordybde enn referanseblandingen uten asfaltgranulat. Selv om forskjellen er liten, passer dette bra med teori og tidligere funn.

Figur 4: Gjennomsnittlig spordybde etter 15 000 passeringer, Wheel Track.



Grunnet manglende erfaring med tillaging og testing av Wheel Track prøver, ble hulrom målt slik at det kunne vurderes som en mulig feilkilde. Hulrom for hver prøve er presentert i tabell 4. Høyt hulromsinnshold kan potensielt føre til større deformasjoner. I dette tilfellet er det referanseblandingen med 0% gjenbruksasfalt som har høyest hulromsprosent. Dersom hulrom har hatt en effekt, vil dette i så fall ha gitt referanseblandingen en noe høyere verdi enn dersom hulromsinnholdet hadde vært likt for alle prøvene. Det ser imidlertid ikke ut som om det er noen store korrelasjoner mellom hulrom og spordybde i forsøkene generelt, og hulrom ble derfor vurdert som å ikke ha hatt en destruktiv innvirkning på resultatene. Prøve 2.4 hadde også et ganske høyt hulromsinnhold, men dette ser heller ikke ut til å ha hatt en stor effekt, ettersom spordeformasjonen fremdeles er mindre enn for prøve 2.1, som har mindre hulromsinnhold.

Det var en annen potensiell feilkilde som er viktig å nevne for Wheel Track resultatene, nemlig mølleverdien (A_n) til tilslaget i gjenbruksmassene. Dette har trolig heller ikke hatt noen stor innvirkning på resultatene, men er uansett viktig å trekke frem. Alt jomfruelig tilslag hadde mølleverdien 10. Asfaltgranulatet hadde dessverre høyere mølleverdier, ettersom dette tilslaget var av mykere typer. Verdiene er presentert i tabell 4 sammen med hulromsinnholdet. Mykere tilslag kan ha ført til at spordybden i gjenbruksasfaltene ble litt større enn dersom tilslaget hadde vært like hardt for alt tilslaget i blandingene. Dette vil i så fall skyldes i at gjenbruksasfaltene totalt sett ville vært noe mykere enn referanseblandingen, avhengig av mengde asfaltgranulat og mølleverdien til tilslaget. Hvis dette har hatt en innvirkning, så har det ført til at spordybden til 20%- og 40%-blandingene er noe større enn de ville ha vært om alle blandingene ville hatt like mølleverdier. Sett i sammenheng med potensielt "for mye" spordybde i referanseblandingen fra hulromsforskjeller, så er det trolig en grei antakelse at disse to feilkildene veier opp for hverandre, ettersom de til sammen kan ha ført til at alle verdiene har blitt påvirket mot dypere spor.

Tabell 4: Hulromsinnhold og kulemølleverdi, Wheel Track

Prøvenr.	Type	Hulromsinnhold	A _n -verdi
1.1	ABG11, 0% gjenbruk	7,3%	10
1.2	AGB11, 0% gjenbruk	7,3%	10
1.3	AGB11, 0% gjenbruk	7,3%	10
2.1	AGB11, 20% gjenbruk	4,4%	14 ¹
2.4	AGB11, 20% gjenbruk	8,2%	14 ¹
3.1	AGB11, 40% gjenbruk	3,6%	19 ¹
3.2	AGB11, 40% gjenbruk	3,8%	19 ¹
3.3	AGB11, 40% gjenbruk	4,0%	19 ¹

¹ A_n-verdier for tilslaget i gjenbrukt tilslag. Alt jomfruelig tilslag hadde A_n-verdi på 10.

4.2 Prall

To separate sett med prall tester ble utført. Totalt ble 5 asfalttyper testet, derav en referanseblanding uten noe asfaltgranulat. Resultatene fra referanseblandingen ble brukt til sammenligning i begge settene. I sett 1 var A_n-verdien 14 i gjenbrukstilslaget. I sett 2 var A_n-verdien 19 i gjenbrukstilslaget. Alt jomfruelig tilslag hadde A_n-verdien 10. Variasjonen i mølleverdier skyldes at det ikke var nok gjenbruksmasser med A_n-verdi 10 tilgjengelig for oppgaven. Mengden tilsatt asfaltgranulat i gjenbruksasfaltene varierte fra 20% til 50%. Disse tallene er oversiktlig presentert senere, i tabell 5.

Pralltestene endte med å benytte et svært varierende antall paralleller. Dette skyldtes delvis en misforståelse vedrørende tillaging av prøver, og delvis tilfeldigheter. I henhold til NS-EN 12697-16 (Norsk Standard, 2016) skal det benyttes 4 parallelle prøver ved gjennomføring av testen. Grunnet lite erfaring fra laboratoriearbeid ble det laget noen ekstra prøver for å sikre at dersom noe skulle gå galt under tillaging eller testing, ville det fremdeles være minst 4 brukbare paralleller til overs til resultatanalysen. En mindre misforståelse førte til at antallet paralleller ble dobbelt av det som var planlagt. Prøvene ble laget ved Marshallkomprimering, og det var antatt at en Marshallprøve ville resultere i én Prallprøve. Dette viste seg i ettertid å ikke stemme, da hver Marshallprøve ble kuttet i to diskere hver, noe som resulterte i dobbelt antall Prallprøver. Noen av disse prøvene var litt for korte etter kravene i standarden, men de ble testet uansett. Det ble ikke prioritert å

bruke tid på å måle nøyaktig høyde på prøvene, ettersom dette ikke var nødvendig for relevante utregninger. Det ble derfor kun gjennomført en grov måling for å se om prøvene var innenfor standardkravene eller ikke. Detaljert info om hver enkelt prøve er lagt frem i vedlegg 4.

For 50%-blandingen i sett 2 ble det kun laget og testet 3 parallelle prøver. Dette skyldes svært begrenset tilgang på dette materialet, da akkurat denne blandingen kun var tilgjengelig som restmateriale etter et tidligere laboratoriekurs, som beskrevet tidligere i oppgaven. Disse prøvene ble Marshallkomprimert med mindre masse enn hva som er beskrevet i standarden. Hver Marshallprøve veide 1000 gram, i stedet for 1200 gram som er beskrevet i standarden. Prallprøvene hadde riktige dimensjoner etter standarden, ettersom disse prøvene ble kuttet ut av Marshallprøvene. For denne blandingen ble kun én Prallprøve kuttet fra hver Marshallprøve. Materialsituasjonen tatt i betraktning, ble det bestemt å benytte denne løsningen fremfor å ikke teste sett 2 i det hele tatt.

Under tillaging og utprøving av tester ble totalt 5 prøver laget eller testet på en måte som førte til at prøvene måtte strykes fra resultatene. Under tillaging av en prøve i Marshallmaskinen ble det brukt et papir for å dekke over deler av utstyret og skille det fra asfalten. Dette papiret endte opp inne i en av Marshallprøvene, noe som førte til dårlig kompaktering. Dette var blant annet visuelt synlig i endene av prøven, da disse var svært oppsprukket sammenlignet med andre prøver. De to Prallprøvene som ble kuttet fra denne Marshallprøven ble derfor ikke testet.

De tre andre Prallprøvene ble strøket som følge av avbrudd under Pralltesten. Noen av delene i maskinen ble ikke skrudd godt nok sammen, som førte til at sylindere som holdt fast prøven løsnet, og prøven ble dermed separert fra metallkulene og vanntilførselen. Ettersom disse tre prøvene ikke gjennomførte 15 minutter, er de helt ubrukelige til å sammenligne med andre prøver som fullførte testen. Disse tre prøvene ble derfor strøket.

To prøver ble også strøket på statistisk grunnlag. Alle prøver som lå utenfor et +/- 10%-intervall fra asfaltblandingenes gjennomsnittsverdier, ble strøket. Dette var bare relevant for to prøver i sett 2, hvor et resultat lå på hver side av intervallet. Det hadde svært lite innvirkning på resultatene at disse to resultatene ble strøket, og det ble derfor ikke brukt

mye tid på å vurdere om dette var en god måte å stryke høye og lave resultater på. Antall paralleller er vist i tabell 5.

Resultatene fra Pralltestene er presentert i tabell 6 og visualisert i figur 5.

Tabell 5: Antall paralleller, Prall

Asfalttype	Paralleller
AGB11, 0% gjenbruk	10 ¹
AGB11, 40% gjenbruk, A _n =14	12 ²
AGB11, 50% gjenbruk, A _n =14	10
AGB11, 20% gjenbruk, A _n =19	11 ³
AGB11, 50% gjenbruk, A _n =19	3

¹ Ekskludert 2 prøver grunnet feil i tillaging

² Ekskludert 2 prøver grunnet feil under testing

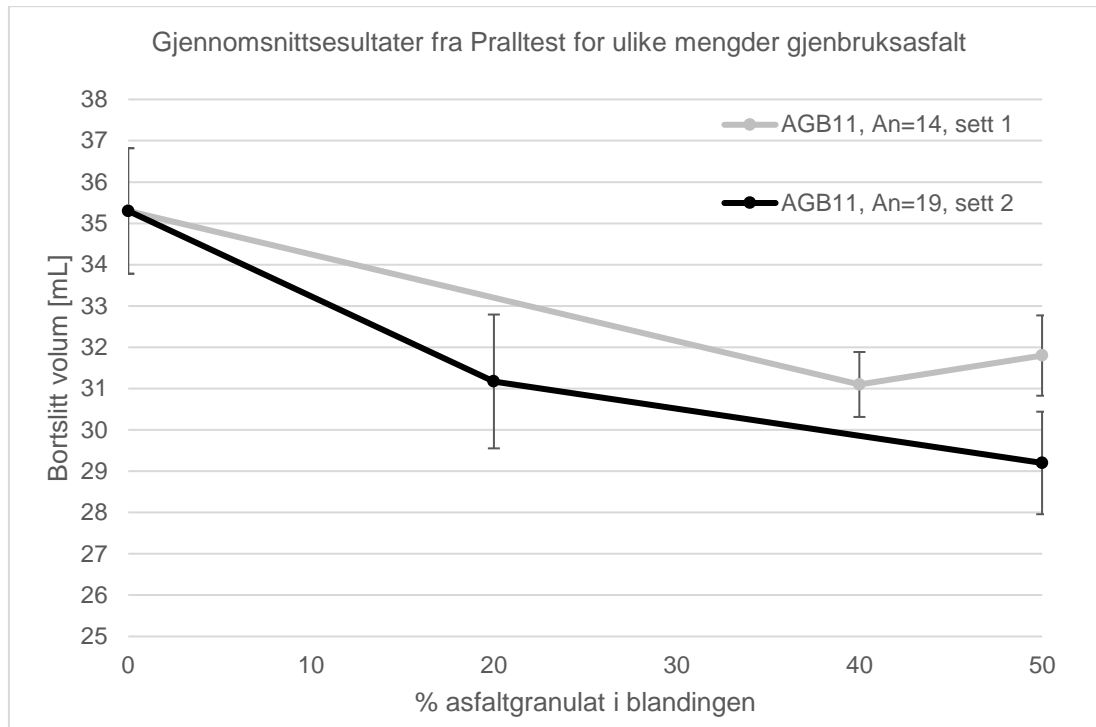
³ Ekskludert 1 prøve grunnet feil under testing, og 2 tester som varierte utenfor valgt resultatintervall

Tabell 6: Gjennomsnittlig densitet og bortslitt volum, Prall

Sett	Asfalttype	Gjennomsnittlig densitet [g/cm ³]	Gjennomsnittlig bortslitt volum [mL]
1	AGB11, 0% gjenbruk ¹	2,367	35,3
	AGB11, 40% gjenbruk, A _n =14	2,413	31,1
	AGB11, 50% gjenbruk, A _n =14	2,417	31,8
2	AGB11, 0% gjenbruk ¹	2,367	35,3
	AGB11, 20% gjenbruk, A _n =19	2,393	31,2
	AGB11, 50% gjenbruk, A _n =19	2,406	29,2

¹ Samme prøvene, presentert to ganger for en forenklet sammenligning innad i settene.

Figur 5: Gjennomsnittresultater, Prall



Ut i fra resultatene virker det sannsynlig at tilsetning av asfaltgranulat i en asfaltblanding fører til at mengden bortslitt volum reduseres. Begge målepunktene i både sett 1 og sett 2 har lavere Prallverdier enn referanseblandingen. I sett 2 er tendensen også internt i settet at høyere andel asfaltgranulat fører til en lavere Prallverdi. Sett 1 har derimot litt mindre klare resultater. Selv om begge de målte verdiene for gjenbruksblandingene er lavere enn referanseblandingen, er bortslitt volum høyere ved 50% gjenbruk enn ved 40%. Dette følger ikke funnene fra resten av resultatene. Det er vanskelig å fastsette hvorfor denne verdien varierer fra det antatte resultatet, men det kan skyldes rent tilfeldig variasjon. Dette underbygges ved spredningen i målingene, som vist i figur 5 ved standardavvik i grafen. Forskjellen mellom 50%- og 40%-blandingen kan skyldes mye forskjellig, men det er sannsynlig at den skyldes tilfeldige variasjoner i materialene som er brukt i blandingene, eller små forskjeller under produksjonen.

En mulig grunn til at tilsatte gjenbruksmasser fører til lavere slitasjeverdi i Pralltesten, kan være det stivere bindemiddelet. Etter hvert som mer gjenbrukt bindemiddel tilsettes asfaltblandingen, øker den resulterende stivheten for hele blandingen. Dette kan ha ført

til at prøven har bedre motstand mot slitasje fra Pralltesten, da det kreves mer energi for å bryte av mikrobiter fra prøven. En annen mulighet til de lavere Prallverdiene for gjenbruksmassene kan skyldes at gjenbrukstilslaget kan ha lavere ruhet enn jomfruelig tilslag. Dette kan potensielt ha skjedd fordi gjenbrukstilslaget har blitt behandlet og flyttet på, som har ført til at irregulære og røe kanter kan ha blitt slitt bort allerede. Ettersom gjenbrukstilslaget har vært gjennom produksjon, utlegging og fresing, er det en akseptabel teori å tro at tilslaget allerede kan ha blitt mer slitt enn det jomfruelige tilslaget er. Dette vil potensielt ha en effekt i Pralltesten, ettersom det jomfruelige tilslaget vil ha flere irregulære kanter som kan slites bort under testen.

Det er også vært å merke seg at sammenhengen i resultatene ikke er lineære. Det virker som om effekten av å tilsette asfaltgranulat reduseres etter hvert som tilsetningsmengden øker. Eksempelvis, i sett 2 er bortslitt volum 4 mL mindre når 20% asfaltgranulat tilsettes. Dette synker kun ytterligere 2 mL når totalt 50 % asfaltgranulat blir tilsatt. Sett 1 viser også delvis samme sammenheng, men på grunn av de høyere resultatene for 50%-blandingen, er dette ikke gode resultater for å bygge opp under observasjonen. Det er uklart hvorfor sammenhengen ikke er lineær, men det indikerer uansett at motstand mot piggdekkslitasje for en asfaltblanding kan endres fort ved tilsetning av små mengder gjenbruksasfalt.

En annen viktig observasjon fra resultatene er hvordan steinhardheten til tilslaget i gjenbruksasfalten kan ha påvirket resultatene. Det er en sterk korrelasjon mellom mølleverdiene (A_n) til gjenbrukstilslaget og resultatene fra Pralltesting. Dette kommer tydelig frem på grafen i figur 5. Sett 2, som inneholder mykere stein fra gjenbrukstilslaget (høyere A_n -verdi), har kontinuerlig mindre bortslitt volum enn sett 1, som har hardere gjenbrukstilslag. Dersom steinhardheten er hovedgrunnen til at resultatene mellom settene er forskjellige, vil dette være et funn som er motsatt av hva man skulle anta logisk sett. Lav mølleverdi indikerer et slitesterkt materiale (Statens Vegvesen, 2016), og man burde derfor kunne anta at tilsetning av tilslag med høy mølleverdi fører til mer slitasje i Pralltesten. Dette er imidlertid ikke det vi ser. Vi observerer heller det motsatte, hvor høyere mølleverdi i gjenbrukstilslaget gir mindre slitasje i Pralltesten.

Dersom mykere tilslag resulterer i mindre bortslitt volum, vil dette potensielt gjøre resultatene fra Pralltestene mindre troverdige. Mølleverdi var en parameter som det ikke var mulig å kontrollere tilstrekkelig, og varierer derfor mellom jomfruelig og gjenbrukt tilslag. Gjenbruksblandingene vil derfor ha en større andel mykere tilslag enn referanseblandingen. Tilsvarende vil mengden mykere tilslag i en blanding øke desto mer asfaltgranulat som tilsettes. Dersom mykere tilslag fører til mindre bortslitt volum, som forskjellene mellom sett 1 og sett 2 tilsier, kan tilførselen av mykere stein i gjenbruksblandingene være mye av grunnen til at vi ser lavere Prallresultater desto mer asfaltgranulat som blir brukt i en prøve. Dette tilsier at resultatene kan skyldes endringer i tilslagshardheten, og ikke endringer i mengden gjenbruk. Det er uansett vanskelig å si akkurat hvor mye dette eventuelt påvirker resultatene.

En annen mulighet er at forskjellen i resultatene mellom de to settene er tilfeldig. Ettersom asfaltene var verksproduserte, ble 40%- og 50%-blandingene laget i to separate produksjonsrunder. Det er derfor mulig at små tilfeldigheter kan ha påvirket de to blandingene i ulik retning, slik at de tilfeldigvis endte opp med egenskaper som skjøv dem i motsatt retning i resultatene. Det er ganske sannsynlig at det er samme type asfaltgranulat som har blitt brukt i de to asfaltblandingene, ettersom begge reseptdatoene er på samme dag (se vedlegg 5). Dersom korrelasjonen mellom hardheten til tilslaget og Prallverdi kun er tilfeldig, vil dette indikere at egenskapene til gjenbruksasfaltene er enda mer motstandsdyktige mot piggdekkslitasje enn først tenkt, ettersom de inneholder mye mykt tilslag som i teorien skal gjøre de mindre slitesterke.

Densiteten til prøvene ser også ut til å ha en innvirkning på motstand mot slitasje. Vi ser fra resultatene presentert tidligere i tabell 6 at de fleste prøvene med høyere densitet har mindre bortslitt volum, internt i hvert sett. Det ser også ut som om dette korrelerer for de fleste individuelle prøvene (se vedlegg 4 for detaljer). Det er imidlertid klart at densitet ikke er en avgjørende faktor alene, ettersom prøvene i sett 1 har høyere densitet enn prøvene i sett 2, men samtidig nesten tilsvarende eller høyere Prallverdier.

5 Konklusjon og anbefaling for videre arbeid

På tross av at datagrunnlaget i denne oppgaven ikke var ideelt, grunnet begrenset tilgang på materiale, har det fremdeles kommet frem noen resultater som er interessante og verdifulle og ta med videre i fremtidig diskusjon og forskning.

Tidligere studier innenfor feltet har konkludert med at asfaltblandinger som inneholder gjenbrukt materiale ofte er stivere som en følge av en aldriingsprosess i bindemiddelet. Dette har blitt støttet opp under med tilsvarende resultater i denne oppgaven. Videre har denne oppgaven funnet en korrelasjon mellom mengden asfaltgranulat i en asfaltblanding, og blandingens motstand mot piggdekkslitasje. Det er imidlertid usikkert om denne korrelasjonen skyldes eller påvirkes av andre parametere som varierte under testene.

Det kan virke som om det er manglende kunnskap i litteraturen om hvordan bruken av gjenbruksmasser påvirker motstand mot piggdekkslitasje. Denne oppgaven har prøvd å utvide kunnskapen om dette. Studien har avdekket to interessante korrelasjoner som burde undersøkes nærmere i fremtidige undersøkelser. For det første burde det gjøres flere tester for å falsifisere eller bygge opp under konklusjonen at økt mengde asfaltgranulat fører til mindre slitasje fra piggdekk. Dette burde gjøres med bedre parameterkontroll for steinhardhet (målt ved mølleverdi i denne oppgaven). For det andre er korrelasjonen som er funnet mellom steinhardhet og Prallverdier interessant, og det burde undersøkes nærmere hvordan steinhardheten i gjenbrukstilslaget påvirker bortslitt volum av en prøve. Bruk av piggdekk er sterkt utbredt i Norge. Derfor er det viktig at det oppnås en god forståelse for hvordan gjenbruksasfalt påvirkes av dette, dersom det skal bli mulig å øke mengden gjenbruksasfalt som slitelag på norske veier fremover.

Til slutt må det poengteres at denne oppgaven kun har testet en liten del av de mange egenskapene til asfalt. Gjenbruksasfaltene hadde bedre resultateter enn referanseasfaltene i både Wheel Track og Prall, som betyr at gjenbruksasfaltene er mer motstandsdyktige mot permanente deformasjoner og piggdekkslitasje. Det er samtidig viktig å huske på at tidligere studier har konkludert med at gjenbruksasfalter har dårligere egenskaper når det kommer til for eksempel motstand mot sprekke dannelse. Det virker altså tydelig at gjenbruksasfalt både har positive og negative sider når det er snakk om

materialegenskaper. Dersom man ønsker å benytte seg av denne typen asfalt kan det derfor være smart å vurdere hvordan de ulike egenskapene kan bli brukt på mest passende måte, avhengig av hvilket miljø de blir brukt i.

6 Referanser

Airey, G. (2003). State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials. *International Journal of Pavement Engineering (volume 4, issue 3)*, 165-176.

Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*. Virginia: Federal Highway Administration.

European Union. (2008). *Directive 2008/98/EC of the european parliament and of the council 19 November 2008 on waster and repealing certain Directives*. Brussel.

Forstén, L. (2015). *Återvinning; Erfarenheter från Finland, forelesningsnotater fra NVF-seminar*. Solna.

Garathun, M. G. (2016, April 14). *Her kommer det ny asfalt i år*. Hentet fra Teknisk Ukeblad: <https://www.tu.no/artikler/her-kommer-det-ny-asfalt-i-ar/346323>

Hoff, I., & Anastasio, S. (2017). *Recycling of Asphalt Material, forelesningsnotat*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Hong, F., Chen, D.-H., & Mikhail, M. M. (2010). *Long-Term Performance Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Results from Texas*. Texas: Texas Department of Transportation.

Im, S., Karki, P., & Zhou, F. (2016). Development of new mix design method for asphalt mixtures containing RAP and rejuvenators. *Construction and Building Materials*, 727-734.

Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2002). *Årsrapport 2001*. Høvik.

Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2006). *Årsrapport 2005*. Høvik.

- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2010). *Infoskriv nr 19: Forslag til strategi for å øke gjenvinningsgraden av returasfalt*. Høvik.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2012). *Årsrapport 2011*. Høvik.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2016). *Veileder i gjenbruk av asfalt*. Høvik.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2017). *Årsrapport 2016*. Høvik.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2018, Juni 1). *Sentrale begreper: Webområde for Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning*. Hentet fra Webområde for Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning: http://www.asfaltgjenvinning.no/om_kfa/sentrale-begreper
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2018). *Årsrapport 2017*. Høvik.
- Lo Presti, D., Airey, G., Di Liberto, M., Noto, S., Di Mino, G., Blasl, A., . . . Wellner, F. (2017). AllBack2Pave: Towards a sustainable recycling of asphalt in wearing courses. I Dell'Acqua, & Wegman, *Transport Infrastructure and Systems* (ss. 109-117). London: Taylor & Francis Group.
- McDaniel, R., & Nantung, T. (2005). Designing Superpave Mixes with Locally Reclaimed Asphalt Pavement. *TR News (July-August issue)*, 28-30.
- Norsk standard. (2007). *NS-EN 12697-22 Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 22: Spordannelse ved deformasjon (wheel track)*. Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2007). *NS-EN 12697-33 Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 33: Tillaging av prøvelegemer ved dynamisk komprimering*. Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2012). *NS-EN 12697-30 Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 30: Tillaging av prøvelegemer ved slagkomprimering*. Norsk Standard.

- Norsk Standard. (2012). *NS-EN 12697-6 Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder for varmbladet asfalt - Del 6: Bestemmelse av densitet av bituminøse prøvelegemer*. Oslo: Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2016). *NS-EN 12697-16 Bituminøse masser - Prøvmingsmetoder - Del 16: Piggdekkslitasje*. Norsk Standard.
- Statens Vegvesen. (2004). *Varm asfaltgjenvinning i verk*. Oslo: Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2014). *Håndbok N200: Vegbygging*. Oslo: Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2016). *Håndbook R210: Laboratorieundersøkelser*. Oslo: Statens Vegvesen.
- Terrel, R., & Fritchen, D. (1978). Laboratory Performance of Recycled Asphalt Concrete. I L. Wood, *Recycling of Bituminous Pavements*. 104-122: American Society for Testing and Materials.
- Tran, N., Taylor, A., & Willis, R. (2012). *Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS content*. Auburn: National Center for Asphalt Technology .
- Watson, D. E., Vargas-Nordbeck, A., Moore, J., Jared, D., & Wu, P. (2008). *Evaluation of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Stone Matrix Asphalt Mixtures*. Auburn: Auburn University.

DEL II
VITENSKAPELIG
ARTIKKEL

Rutting and abrasion in asphalt concrete containing reclaimed asphalt pavement

Keywords: Wheel Track, Prall, rutting, abrasion, reclaimed asphalt, RAP

Jørgen Helgeland Stenløkk, Helge Mork, Sara Anastasio

Abstract

The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) is important both for environmental and economic reasons. By European Union legislation, countries are required to recycle 70% of demolition materials. In Norway, this is easily achieved, but a lot of the reclaimed asphalt is used in non-wearing courses. This is an unfavorable form of downcycling.

This study investigates the effects of combining RAP and virgin material in an asphalt mix. This is achieved by testing the resistance to permanent deformation (rutting) and abrasion by studded tires of laboratory prepared samples in the Wheel Track test and the Prall test, respectively. The amount of added RAP varies from 20% to 50% by weight.

Literature on the subject suggest that increased amounts of RAP leads to a stiffer mix due to aging of the binder. This leads to an asphalt mix with higher load bearing capabilities and more resistance to permanent deformation. At the same time, the mixes are more prone to cracking and can have a shorter fatigue life.

The test results from the Wheel Track test show a clear improvement in resistance to rutting when adding RAP. This is especially true for higher RAP contents (40%). The Prall test results show a tendency towards more resistance to abrasion for asphalt mixes containing higher contents of RAP (40-50%). However, the parameter control in the Prall test is somewhat poor, and the trustworthiness of the results is therefore not ideal.

Introduction

The strain put on earth's resources is a constant talking point. Several non-renewable materials are used to a great extent, and at some point this will no longer be a viable option. This has direct implications for road construction. Both aggregate and binder material exist in a limited quantity, with the former one being limited by the amount of good quality stone or similar, and the latter one being produced from oil.

There is also interest in reducing the cost of materials in road construction, which are estimated to be upwards of 70% of the total cost of a project (Copeland, 2011). This, in relation with the ecological argument, has made the use of reclaimed asphalt pavement (RAP) more prevalent than before. The process consists of removing asphalt in demolition projects and adding the recovered material into virgin asphalt mixes. The economic benefits related to this process can quickly become considerable, as one does not have to pay for new materials. As an example, The Department of Transportation in Illinois, USA, saved \$330 000 yearly by just adding 5% RAP to 5 million tons base and intermediate layers (McDaniel & Nantung, 2005).

As a result of the European Union legislation, the European countries are required to recycle a minimum of 70% of materials from demolition projects (European Union, 2008). This includes the demolition of roads, and the ensuing materials that are left. In Norway, the asphalt materials from road demolition projects have a very high rate of recycling, meaning that almost, if not all, of the material will be recycled after a possible storage period at a deposit (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018).

However, most of the RAP is used in base and intermediate layers of the structure. This is known as "downcycling", in which a material is recycled without fully benefitting from all its properties. The wearing course is composed of high quality materials, and

reusing these further down in a new road structure where the requirements are less strict (NPRA, 2014), could be considered a waste of resources.

Some claim that asphalt containing RAP can be used in the wearing course in a new structure, without having a negative effect on the properties of the road, as long as it has a proper mix design (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2010). There have been different findings regarding this in the literature, but in many cases, it seems like the use of RAP does affect at least some of the properties of the asphalt mix. Depending on the property in question, the use of RAP can both negatively and positively influence the performance of an asphalt mix. This will be discussed later in this report.

This study, being part of a master thesis at NTNU, aims to investigate a few of the properties of RAP mixes, hoping to give stakeholders more knowledge as a basis for their decisions. Specifically, this paper presents the effects on rutting when adding RAP to an asphalt mix. The testing has been done solely by conducting experiments in the laboratory. Specimens with varying amounts of RAP have been tested by the Wheel Track test and the Prall test. This has been done to test the mixes' resistance to permanent deformation and studded tires, respectively. Hence, the scope of the study is narrow and does not give a complete picture of the properties, but it was natural and necessary to limit the scope due to the project's nature and background.

Theory

The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in the wearing course is not a common practice in Norway. In fact, in 2017 only 6,39% of the material in asphalt production was RAP (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2018). This is in stark contrast to for example Finland's estimated 40% (Forstén, Återvinning; Erfarenheter från Finland, presentation notes from NVF-

seminar, 2015). This could be due to a somewhat conservative attitude of the Norwegian National Public Road Administration (NPRA), combined with the fact that the cold winter climate in Norway makes it hard to transfer findings from warmer climates concerning the properties of asphalt mixes containing RAP. There are currently no specific maximum limits on RAP contents in an asphalt mix in Norway. Even so, there are requirements for testing and documenting several qualities of the mix, like binder content and aggregate gradation (NPRA, 2014). At the other end of the spectrum, there are cities such as Gothenburg, Sweden, where there is a minimum requirement for the use of RAP (NPRA, 2004).

As the use of RAP varies between countries, the amount of studies on the subject also varies around the world. Norway has not studied the use of RAP much, whereas a lot of research has been carried out in other countries like USA. There has especially been done a lot of research with laboratory made specimens, going several decades back. A paper published 40 years ago stated that "recycling technology is not new" (Terrel & Fritchen, 1978). Hence, there are a lot of studies done on the subject.

When adding RAP to an asphalt mix, this usually changes the properties of the mix in different ways. This can be due to different reasons. The virgin materials may differ from whatever materials are added through the RAP. This could for example lead to an overall harder aggregate mix, a change in the aggregate gradation, addition of impurities and so on. Importantly, the binder properties are also usually impacted. Like for the aggregate, the original RAP binder may differ from the virgin binder, affecting the overall properties. More importantly though, the binder in RAP is stiffer than when it was first made. This is because of an ageing effect that takes place in the binder, where a loss of volatile components and oxidation causes the bitumen to become more viscous (Airey, 2003). This happens both during the initial placement of the asphalt and as a continuous

effect (Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning, 2016). It seems that this results in an increased load-bearing capacity and a higher resistance to permanent deformation. At the same time, it also leads to reduced flexibility, which potentially results in negative effects such as more cracking (Airey, 2003).

Other studies also support these findings, such as one from Texas Department of Transportation (Hong, Chen, & Mikhail, 2010). The project "AllBack2Pave" from the Conference of European Directors of Roads also concluded that the stiffness increased with the addition of RAP, but could not find a good correlation between RAP amount and permanent deformation in the Wheel Track test (Lo Presti, et al., 2017). Importantly, a performance similar to, although not better than, virgin mixes, can also be considered a good result for a RAP mix, as it means the RAP mix can be used under the same conditions as the virgin mix.

A study from Georgia, USA found that the fatigue life of RAP mixes could be as low as half the life as virgin mixes, when adding 30% RAP or more. It was pointed out that this could be accounted for by adding a softer binder to the virgin part of the mix, reducing the effects of the stiffer RAP binder (Watson, Vargas-Nordbeck, Moore, Jared, & Wu, 2008). Other studies have suggested the same solution for this potential problem (McDaniel & Nantung, 2005). Additives, called rejuvenators can also be added to the mixture with similar results. These are bio/chemical additives that soften up the aged binder, making the asphalt mix easier to handle and place (Im, Karki, & Zhou, 2016), and increases the resistance to cracking (Tran, Taylor, & Willis, 2012).

It seems little research has been conducted on the effect RAP has on resistance to abrasion by studded tires. This can be tested with the Prall test, which simulates abrasion by studded tires.

Although the exact results and degree of influence seem to vary somewhat between

studies, it is clear that the use of RAP does affect the properties of an asphalt mix in some ways. Both positive and negative performance effects can be connected to the addition of RAP. Despite slight differences in the findings, several papers point out how proper managing and mix design will greatly enhance the properties of a RAP mix. Procedures like properly milling a road layer by layer and storing the RA properly under shelter are considered prerequisites to produce well performing wearing courses with high RAP content (Lo Presti, et al., 2017).

Method

In this study, two different tests were carried out, the Wheel Track test and the Prall test. Each of these tested a reference mix, containing 0% RAP, and two other mixes, containing between 20% and 50% RAP. Both experiments test some form of rutting, which was the underlying reason for using these two tests specifically.

The Wheel Track test was carried out in accordance with the Norwegian National Public Roadway Administration's handbook R210 (NPRA, 2016). This included preparing the specimens in the laboratory as described in NS-EN 12697-33 (Norsk Standard, 2007) and doing the test by mainly following NS-EN 12697-22 (Norsk standard, 2007), using model B. The test involves driving a small wheel repeatedly back and forth along the same path on the surface of a 30 by 30 cm asphalt plate, and continuously measuring the rut formation. Some differences exist between the procedures in these tests and the standard. Notably, three parallel specimens were used instead of two. For one RAP mix, four parallels were tested. The maximum rut depth at which the machine stops was set to 17 mm, as opposed to the standard's 20 mm maximum.

The Prall test was also carried out in accordance with handbook R210. The specimens were produced in a Marshall

compactor, following NS-EN 12697-30 (Norsk Standard, 2012). As instructed in the handbook, the Prall experiments followed method A of NS-EN 12697-16 (Norsk Standard, 2016). This entails fastening a 30 mm thick asphalt disc, cut from the Marshall specimen, in a rig, placing 40 metal balls on top of it, and shaking it in a machine for 15 minutes. The volume of material measured is then measured and calculated. The amount of parallels prepared varied greatly, between 3 and 14.

The overall results were then analyzed, to see how the different RAP mixes influenced the different tests. Some parallels were removed from the analyzes altogether, due to obvious and detrimental mishaps during testing. In total, two Wheel Track specimens were removed, which lead to only two other specimens available for one of the RAP mixes. For the Prall tests, seven specimens were removed, spread over three different RAP mixes. Two of these were removed because they were statistical outliers.

The resulting analyzes was carried out by averaging the values of all remaining parallels and comparing the values between the different RAP mixes.

The materials for this study was supplied by a Norwegian asphalt mixing plant which provided samples of the batches they produced during their normal operations. It was therefore hard to maintain good parameter control, and the quality of the data set suffered as a consequence of this.

Results & Discussion

Effects on rutting – Wheel Track

Three different RAP mixes were tested by the Wheel Track method, all containing different amount of RAP. The number of parallel specimens is shown in table 1.

Table 1: Number of parallel specimens for the Wheel Track test

Sample type	Parallels
AC11, 0% RAP	3
AC11, 20% RAP	2 ¹
AC11, 40% RAP	3

¹ Excluding two parallels. One showed extreme rutting and stopped at 17 mm. It is not usable for comparison. The other was tested in the same machine, at the same time, and therefore also stopped prematurely, at only 8760 out of 20 000 passes.

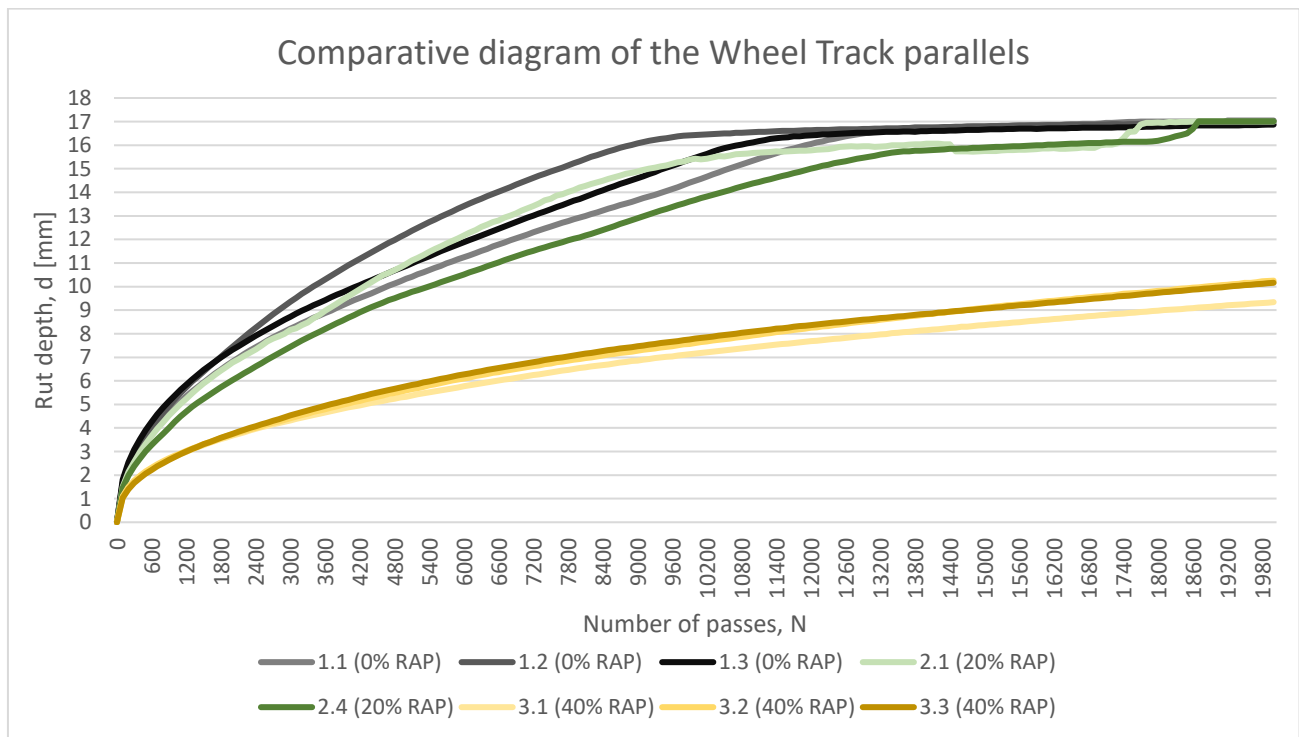
Out of these eight samples, only four made it all the way to 20 000 passes (N = 20 000) in the Wheel Track machine. The other four stopped somewhere after N = 15 000. A summary of the test results is shown in table 2. Figure 1 shows the details on the rutting evolution during testing, for all samples.

Table 2: d_x : rutting [mm] at x passes

Sample	Type	d_{5000}	d_{10000}	d_{15000}	d_{20000}	Passes (N_{max})	d_{max}
1.1	AC11, 0% RAP	10,33	14,49	16,79	-	17700	17,00
1.2	AC11, 0% RAP	12,24	16,43	16,80	-	19140	17,04
1.3	AC11, 0% RAP	10,88	15,46	16,66	16,87	20000	16,87
2.1	AC11, 20% RAP	10,96	15,42	15,75	-	18580	17,00
2.4 ¹	AC11, 20% RAP	9,68	13,67	15,9	-	18680	17,01
3.1	AC11, 40% RAP	5,33	7,16	8,37	9,34	20000	9,34
3.2 ²	AC11, 40% RAP	5,6	7,61	9,09	10,24	20000	10,24
3.3 ²	AC11, 40% RAP	5,77	7,79	9,07	10,16	20000	10,16

¹ Sample 2.2 and 2.3 were discounted due to a very premature reach of d_{max}
² Sample 3.2 and 3.3 were the only ones that ran in the same machine at the same time

Figure 6: Results from Wheel Track test

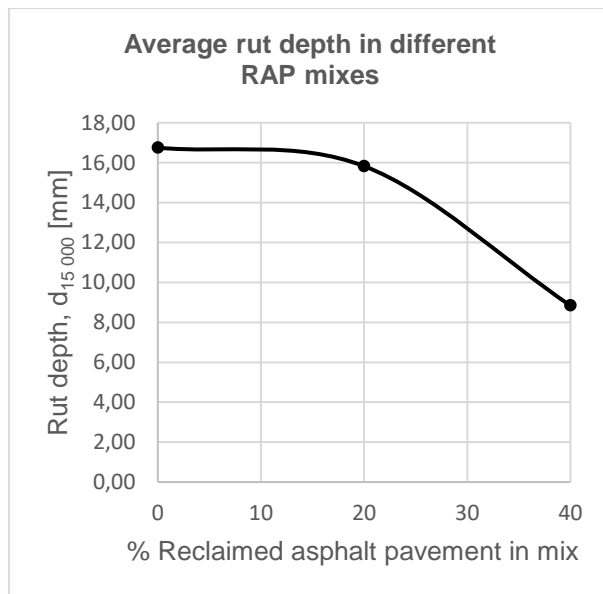


The results are consistent with the previously known theory. As RAP is added, the resistance to rutting increases, seeing as the stiffer binder from the RAP increases the resistance to permanent deformation.

The mix containing 40% RAP is clearly more resistant to rutting than the mixes with less RAP, as its rut depth is significantly lower than for the other two mixes.

The differences between the graphs for the 0% and 20% mixes are harder to distinguish. However, the average results show that the 20% RAP mix is somewhat stiffer. The relationship between % RAP and rut at 15 000 passes is shown in figure 2. As only half of the samples made it to N = 20 000 before stopping, average d_{15000} -values for each sample type are used in lieu of the standard d_{20000} .

Figure 7: Average rut depth in different RAP mixes



Due to a lack of experience in preparing Wheel Track samples, the air voids were measured and considered as a potential error source. Measured air void content is shown in table 3. No clear tendencies can be attributed to these values, but it may still have a slight impact on the results. A high air void content can result in a higher rut depth, due to the easily removable air. The 0%-mix has the highest average air void content, and the results could potentially have been skewed a

little towards the higher end than their “true” value. Sample 2.4 also has a very high air void content, but this does not seem to have a negative effect on the results.

It is important to mention that the Nordic Mill values differ between the different mixes, due to the availability of materials. Although this is unlikely to have a big impact on the results, if any, these values are also presented in table 3. A higher value (softer aggregate) could, by logic, potentially lead to slightly higher rut depth. If this is the case, then the 20% and 40% samples could have slightly higher measured d_x values here, than if they would have contained RAP with the same A_n value as the virgin material. Seen together with the differences in air void content, all samples should potentially be scaled down somewhat to a lower rut depth, and hence the general findings would still hold.

Table 3: Differing parameters between the samples

Sample	Type	Air voids	A_n value
1.1	AC11, 0% RAP	7,3%	10
1.2	AC11, 0% RAP	7,3%	10
1.3	AC11, 0% RAP	7,3%	10
2.1	AC11, 20% RAP	4,4%	14 ¹
2.4	AC11, 20% RAP	8,2%	14 ¹
3.1	AC11, 40% RAP	3,6%	19 ¹
3.2	AC11, 40% RAP	3,8%	19 ¹
3.3	AC11, 40% RAP	4,0%	19 ¹

¹ A_n values of the RAP aggregates only. All the virgin material had A_n values of 10.

Effects on studded tire resistance - Prall

Two sets of tests were conducted, one set with a Nordic Mill value (A_n) of 14 for the aggregate used in the RAP, and one set with the value 19. These are called set 1 and set 2, respectively. All the virgin aggregate had A_n values of 10. The amount of added RAP ranged from 20 to 50 % by weight. The

detailed information about the tested combinations is shown in table 5.

The number of parallel specimens is shown in table 4. There is a need to include this information here, as the numbers differ from what is specified in the standard. Due to uncontrollable factors, it was not possible to get the same amount of parallels for each mix.

Table 4: Number of parallel specimens for the Prall test

Sample type	Parallels
AC11, 0% RAP	10 ¹
AC11, 40% RAP, A _n =14	12 ²
AC11, 50% RAP, A _n =14	10
AC11, 20% RAP, A _n =19	11 ³
AC11, 50%RAP, A _n =19	3

¹ Excluding 2 samples due to obvious mishaps during testing.
² Excluding 2 samples due to obvious mishaps during testing.
³ Excluding 1 sample due to obvious mishaps during testing and 2 samples that were statistical outliers.

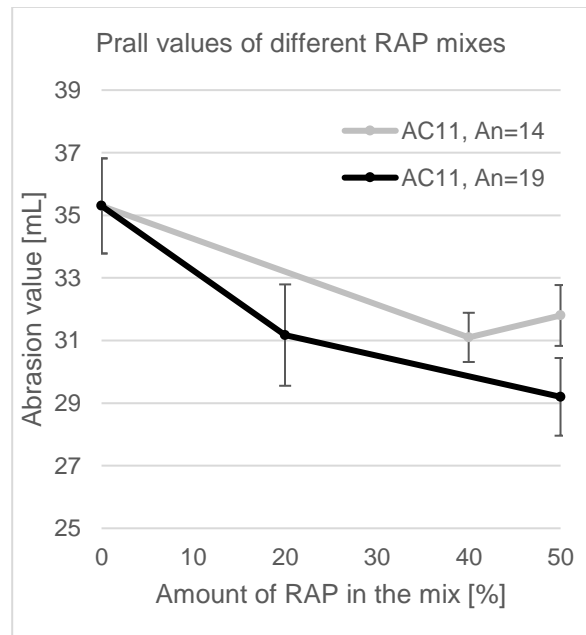
The results of the Prall tests are presented numerically in table 5 and visualized in figure 3. The bulk density was calculated using the saturated surface dry method in NS-EN 12697-6 (method B) (Norsk Standard, 2012).

Table 5: Bulk density and abrasion values from the Prall test.

Set	Sample type	Average bulk density [g/cm ³]	Average abrasion value [mL]
1	AC11, 0% RAP	2,367	35,3
	AC11, 40% RAP, A _n =14	2,413	31,1
	AC11, 50% RAP, A _n =14	2,417	31,8
2	AC11, 0% RAP	2,367	35,3
	AC11, 20% RAP, A _n =19	2,393	31,2
	AC11, 50%RAP, A _n =19	2,406	29,2

¹ Same samples, shown twice for ease of comparison.

Figure 3: Prall values at different RAP amounts, including standard deviation



From these results, it seems probable that the addition of RAP into an asphalt mix makes the mix perform better in the Prall test. Both fixed points from set 2 perform better the more RAP they contain. Both fixed points from set 1 also perform better than the reference sample. However, this set shows some inconsistency in its results, as the abrasion value is higher for the 50% RAP mix than it is for 40%. This does not follow the downwards trend from the other 3 points (not counting the reference sample), where the abrasion value decreases with increased RAP amount. It is hard to say why this value unexpectedly is higher than the 40% value in the same set. As seen from the standard deviations presented in the graph, the oddity could be random variance. Small differences between the two different production batches could have played a role.

A likely contributor to the higher resistance against abrasion is the stiffer binder in the RAP. The more RAP is added into the mix, the bigger the amount of stiffened binder. This in turn, could lead to a mix that is more resistant to the abrasion caused by the Prall test. Another speculated possibility is a lower surface roughness in the RAP aggregate, as irregular edges could have been worn away previously during placement and milling. This would lead to a smoother aggregate, which would be somewhat more resistant to abrasion.

A notable finding is that the correlations are not linear. There seems to be a diminishing effect on the abrasion value when adding more RAP. In set 2, the abrasion value decreases with 4 mL when adding 20%RAP, but then goes on to only decrease by another 2 mL when adding a total of 50 %RAP. It is unknown why this is the case, but it is indicative of the mix' properties being quite sensitive to small amounts of added RAP, and then not being affected to the same degree by continued addition of RAP.

There are some other relevant observations which need to be pointed out before making any conclusions. Interestingly, the addition of aggregates with higher A_n values directly

correlates with lower abrasion values. This can be seen clearly in the fitted graph. For set 2, any value of RAP content has a lower abrasion value than the corresponding RAP content in set 1. The correlation is arguably also present internally in each set. With the addition of more RAP, a larger proportion of the mixes exchange the virgin aggregates ($A_n=10$) with RAP aggregate ($A_n=14$ or $A_n=19$). Thus, the average aggregate hardness will decrease with the addition of RAP.

From this, it is possible that a big part of the changes that are observed between different mixes, comes from the addition of softer stone aggregates in the RAP (higher A_n value). This is an unexpected finding, and opposite of what is normally expected (NPRA, 2016), where hard stone typically is more resistant to wear. Should the assumption from the findings be correct, it is nonetheless hard to say to which degree it affects the experiment. It is unclear if the relation between A_n value and abrasion value is linear or not, and therefore hard to say how much of the changes as caused by the differing A_n value.

Another possibility is that the correlation between A_n value and abrasion value is merely coincidental. The better performance of set 2 relative to set 1 could be caused by something unknown and unrelated to their A_n values, like small differences in mixing. The internal difference between varying RAP amounts in each set would then be more likely to be caused by the actual changing properties of the RAP mixes. If the correlation between A_n and abrasion value is random, then there must be some other strong factor at play in the RAP mixes to make them perform better even with softer aggregate than the virgin mix. This is however outside the project scope and will not be discussed any further. Although not ideal, no RAP was available with an A_n value of 10 for this study.

The bulk density also seems to have a slight effect on the abrasion value, with a higher density leading to a lower abrasion value. This can be inferred from the average values

presented earlier in table 5. Only the 50% RAP mix with $A_n=14$ does not have a lower abrasion value relative to its bulk density, compared to the other sample types. Anecdotally, the correlation between bulk density and abrasion value also seems to hold true for most of the individual samples. It is however clear that bulk density is not the only factor present, considering that both RAP mixes from set 1 have higher densities, but also almost equal or higher abrasion values than the RAP mixes from set 1.

Conclusion

Although the data set for this study was not ideal, the findings are still interesting. They are relevant as a basis for future studies, but also for discussion when material choices are considered.

Earlier studies have found that RAP mixes are stiffer than virgin mixes, due to the ageing and stiffening of the binder. This has been reconfirmed in this study. Continuing, this study also shows a link between RAP content and resistance to abrasion. However, there are some caveats to these findings, seeing as the data set here is of a somewhat poor quality, due to bad parameter control.

The results from both tests show good performance from the RAP mixes. However, the study only looks at these two qualities isolated, and it is important to look at the full picture. Even though the results show a potential improvement to rutting and abrasion when using RAP, other studies have found more negative consequences with respect to other factors such as cracking and fatigue, as discussed earlier.

In the end, it seems like the addition of RAP can lead to both benefits and disadvantages for a mix' properties. It would probably be useful to consider how the different effects could be used to their best advantages in different environments.

There seems to be a knowledge gap in the available literature regarding the relationship

between RAP contents of a mix, and its resistance to studded tire abrasion (Prall test). Being a matter of great relevance for the Nordic countries, it is suggested that further studies look closer at the correlation found in this paper. This should be done with better parameter control and a better spread of RAP content.

References

- Airey, G. (2003). State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials. *International Journal of Pavement Engineering* (volume 4, issue 3), 165-176.
- Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*. Virginia: Federal Highway Administration.
- European Union. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. Brussel.
- Forstén, L. (2015). Återvinning; Erfarenheter från Finland, presentation notes from NVF-seminar. Solna.
- Hong, F., Chen, D.-H., & Mikhail, M. M. (2010). *Long-Term Performance Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Results from Texas*. Texas: Texas Department of Transportation.
- Im, S., Karki, P., & Zhou, F. (2016). Development of new mix design method for asphalt mixtures containing RAP and rejuvenators. *Construction and Building Materials*, 727-734.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2010). *Infoskriv nr 19: Forslag til strategi for å øke gjenvinningsgraden av returasfalt*. Høvik.

- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2016). *Veileder i gjenbruk av asfalt*. Høvik.
- Kontrollforeningen for asfaltgjenvinning. (2018). *Årsrapport 2017*. Høvik.
- Lo Presti, D., Airey, G., Di Liberto, M., Noto, S., Di Mino, G., Blasl, A., . . . Wellner, F. (2017). AllBack2Pave: Towards a sustainable recycling of asphalt in wearing courses. I Dell'Acqua, & Wegman, *Transport Infrastructure and Systems* (ss. 109-117). London: Taylor & Francis Group.
- McDaniel, R., & Nantung, T. (2005). Designing Superpave Mixes with Locally Reclaimed Asphalt Pavement. *TR News (July-August issue)*, 28-30.
- Norsk standard. (2007). *NS-EN 12697-22 Bituminøse masser - Prøvingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 22: Spordannelse ved deformasjon (wheel track)*. Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2007). *NS-EN 12697-33 Bituminøse masser - Prøvingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 33: Tillaging av prøvelegemer ved dynamisk komprimering*. Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2012). *NS-EN 12697-30 Bituminøse masser - Prøvingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 30: Tillaging av prøvelegemer ved slagkomprimering*. Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2012). *NS-EN 12697-6 Bituminøse masser - Prøvingsmetoder for varmblandet asfalt - Del 6: Bestemmelse av densitet av bituminøse prøvelegemer*. Oslo: Norsk Standard.
- Norsk Standard. (2016). *NS-EN 12697-16 Bituminøse masser - Prøvingsmetoder - Del 16: Piggdekkslitasje*. Norsk Standard.
- NPRA. (2004). *Varm asfaltgjenvinning i verk*. Oslo: Statens Vegvesen.
- NPRA. (2014). *Håndbook N200: Vegbygging*. Oslo: Statens Vegvesen.
- NPRA. (2016). *Håndbook R210: Laboratorieundersøkelser*. Oslo: Statens Vegvesen.
- Terrel, R., & Fritchen, D. (1978). Laboratory Performance of Recycled Asphalt Concrete. I L. Wood, *Recycling of Bituminous Pavements*. 104-122: American Society for Testing and Materials.
- Tran, N., Taylor, A., & Willis, R. (2012). *Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS content*. Auburn: National Center for Asphalt Technology .
- Watson, D. E., Vargas-Nordbeck, A., Moore, J., Jared, D., & Wu, P. (2008). *Evaluation of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Stone Matrix Asphalt Mixtures*. Auburn: Auburn University.

VEDLEGG

Vedlegg 1
Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(TBA4940 VEG, masteroppgave)

VÅREN 2018

for

Jørgen Helgeland Stenløkk

Spordeformasjon og piggdekkslitasje i gjenbruksasfalt

BAKGRUNN

Asfalt er en viktig, ikke-fornybar ressurs som brukes til å asfaltere flere tusen kilometer årlig. Det kommer til å være behov for ny vegbygging og vedlikehold av det eksisterende vegnettet i lang tid fremover. For å spare både miljøet og penger kan det lønne seg å undersøke mulighetene for økt gjenbruk av asfalt i slitelaget på veger.

Bruken av gjenbruksasfalt i slitelag er ikke særlig utbredt i Norge, da det er usikkert hvordan asfaltblandingers mekaniske egenskaper påvirkes når man benytter gjenbruksasfalt.

OPPGAVE

I denne masteroppgaven skal egenskapene til asfaltblandinger med gjenbrukt asfalt undersøkes. Noen av egenskapene skal testet i laboratorium: Motstand mot permanent deformasjon og piggdekkslitasje, testes med henholdsvis Wheel Track og Prall tester.

Hensikten med oppgaven er å få en bedre forståelse for temaet, og gjennom laboratorieresultatene kunne bidra faglig med ny informasjon om gjenbruksasfalt.

Kandidaten skal:

- Gjennomføre en litteraturstudie. Denne skal undersøke hva som har blitt forsket på og konkludert med tidligere. Litteraturstudien skal undersøke en større andel av egenskapene til asfaltblandinger enn laboratorietesting.
- Planlegge og gjennomføre Wheel Track og Prall tester i laboratorium.
- Analysere resultatene fra laboratorium og reflektere rundt disse.

Besvarelsen består av en prosessrapport og en vitenskapelig artikkel.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidingen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på [student ved IBM wikiside](#))
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på [student ved IBM wikiside](#)

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>.

Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se [student ved IBM wikiside](#) for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befaring, feltkurs eller ekskursionsjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/iv/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til kontakt@ibm.ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme [lenke](#) som [ovenfor](#).

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Helge Mork

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: -

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 05.06.1994

Vedlegg 2

Oversikt over tilsendte materialer tilgjengelige for masteroppgaven

Vedlegg 2 - Oversikt over tilsendte materialer tilgjengelige for masteroppgaven

Asfalttype	Kulemølleverdi gjenbrukstilslag	Skumbitumen?	Gjenbruks- mengde	Nok masse til Prall?	Nok masse til Wheel Track?
AB11	10	Nei	20%	Ja	Ja
AB11	-	Ja	0%	Ja	Ja
AB11	10	Ja	50%	Ja	Nei
AGB11	-	Nei	0%	Ja ²³	Ja ¹
AGB11	14	Nei	40%	Ja ²	Ja ¹
AGB11	14	Nei	50%	Ja ²	Nei
ABG11	19	Nei	20%	Ja ³	Ja ¹
AGB11	19	Nei	50%	Ja ³	Nei
AGB16	19	Ja	80%	Ja	Ja
AG16	19	Nei	50%	Ja	Ja

¹ Ble sammenlignet i Wheel Track delen av oppgaven

² Sammenlignet som sett 1 i Prall-delen av oppgaven

³ Sammenlignet som sett 2 i Prall-delen av oppgaven

De tre første kolonnene burde være like for at en asfalttype skal kunne testes med god parameterkontroll. Dette vedlegget poengterer hvor vanskelig det var å oppnå dette. Alle materialene hadde kulemølleverdi 10 for jomfruelig tilslag.

Det var ønskelig å sammenligne minst 3 asfalttyper mot hverandre.

Vedlegg 3

Utfyllende resultater fra Wheel Track

Vedlegg 3 – Utfyllende resultater fra Wheel Track

Reseptnummer	Asfalttype	Prøve n.r.	Spordybde				Vekt			Vanntemperatur (°C)	p _w densitet vann	P _{basal} densitet delprøve	Gjennomsnittlig densitet for hver prøve	P _{max} teoretisk maksdensitet (fra resept)	Hulromsinnhold [%]
			N=5000	N=10000	N=15000	N=20000	Tørr (m ₁)	Nedsenket i vann (m ₂)	Overflate tørr (m ₃)						
3111200-V2	AGB11 0% gjenbruk	1.1.1	10,33	14,49	16,79	-	2980,2	1672,0	3000,1	21,8	0,9979	2,239	2,237	2,414	7,4
		1.1.2					3004,1	1676,0	3017,8	22,1	0,9978	2,234			
		1.2.1	12,24	16,43	16,80	-	2992,3	1675,5	3010,0	21,8	0,9979	2,238	2,239	2,414	7,3
		1.2.2					3026,9	1692,2	3040,6	22,3	0,9978	2,240			
		1.3.1	10,88	15,46	16,66	16,87	3075,4	1724,8	3091,2	21,8	0,9979	2,246	2,238	2,414	7,3
		1.3.2					3055,2	1707,9	3075,1	22,3	0,9978	2,230			
3111220 G19-V2	AGB11 20% gjenbruk Mølleverdi 19	2.1.1	10,96	15,42	15,75	-	3074,2	1758,3	3079,0	21,8	0,9979	2,323	2,313	2,420	4,4
		2.1.2					3027,5	1722,7	3034,2	22,3	0,9978	2,303			
		2.4.1	9,68	13,67	15,90	-	3051,9	1736,6	3057,4	22,0	0,9978	2,306	2,223	2,420	8,2
		2.4.2					2992,5	1608,8	3004,5	22,0	0,9978	2,139			
3111240 G14-V2	AGB11 40% gjenbruk Mølleverdi 14	3.1.1	5,33	7,16	8,37	9,34	2940,9	1689,3	2948,2	21,8	0,9979	2,331	2,351	2,439	3,6
		3.1.2					2971,1	1727,6	2978,0	22,3	0,9978	2,371			
		3.2.1	5,60	7,61	9,09	10,25	2958,3	1709,6	2964,5	21,8	0,9979	2,352	2,345	2,439	3,8
		3.2.2					2961,6	1705,5	2969,1	22,3	0,9978	2,339			
		3.3.1	5,77	7,79	9,07	10,16	2963,7	1707,3	2968,6	21,8	0,9979	2,345	2,342	2,439	4,0
		3.3.2					2957,2	1702,2	2963,8	22,1	0,9978	2,339			

Vedlegg 4
Utfyllende resultater fra Prall

Vedlegg 4 – Utfyllende resultater fra Prall

Prøve n.r.	Asfalttype	Riktig størrelse ift. standard?	Vekt for utregning av densitet			Utregning av densitet			P _{max} , teoretisk maksdensitet (fra resept)	Hulromsinnhold [%]	Gjennomsnittlig hulromsinnhold for asfalttypen [%]	Pralltesting		
			Tørr (m ₁)	Nedsenket i vann (m ₂)	Overflate tørr (m ₃)	Vanntemperatur (°C)	P _{vsn} , densitet vann	P _{bsst} , densitet prøve				Masse før testing (m ₁)	Masse etter testing	Bortslitt volum (Abr _A)
1.1.1	AGB11 20% gjenbruk Mølleverdi 19		490,1	284,2	490,5	22,8	0,9977	2,370	2,420	2,1	1,1	490,3	400,9	37,7
1.1.2		Ja	597,8	349,3	598,2	22,8	0,9977	2,396	2,420	1,0		598,0	530,3	28,3
1.2.1		Ja	522,3	304,3	522,6	22,8	0,9977	2,387	2,420	1,4		522,4	444,6	32,6
1.2.2			582,4	340,8	582,8	22,8	0,9977	2,401	2,420	0,8		582,7	507,8	31,2
1.3.1		Ja	565,4	329,1	565,9	22,8	0,9977	2,382	2,420	1,6		565,7		
1.3.2		Ja	545,6	318,4	546,1	22,8	0,9977	2,391	2,420	1,2		545,8	478,8	28,0
1.4.1		Ja	551,6	321,1	552,0	22,8	0,9977	2,383	2,420	1,5		551,9	473,9	32,7
1.4.2		Ja	551,3	321,9	551,9	22,8	0,9977	2,391	2,420	1,2		551,5	474,9	32,0
1.5.1			522,9	305,1	523,3	22,8	0,9977	2,391	2,420	1,2		523,3	448,7	31,2
1.5.2		Ja	566,1	330,4	566,4	22,8	0,9977	2,393	2,420	1,1		566,1	495,5	29,5
1.6.1			518,0	302,5	518,3	22,8	0,9977	2,395	2,420	1,0		518,1	436,3	34,2
1.6.2		Ja	570,0	333,1	570,2	22,8	0,9977	2,398	2,420	0,9		570,1	499,7	29,4
1.7.1			495,3	289,1	495,7	22,8	0,9977	2,392	2,420	1,2		495,4	421,7	30,8
1.7.2		Ja	587,0	342,7	587,3	22,8	0,9977	2,394	2,420	1,1		587,3	512,9	31,1
2.1.1	AGB11 40% gjenbruk Mølleverdi 14		502,4	294,4	502,7	22,8	0,9977	2,406	2,439	1,3	1,1	502,6	425,3	32,1
2.1.2		Ja	582,6	342,6	582,9	22,8	0,9977	2,419	2,439	0,8		582,8	509,0	30,5
2.2.1			513,4	301,0	513,7	22,8	0,9977	2,408	2,439	1,3		513,4		
2.2.2		Ja	589,9	346,8	590,1	22,8	0,9977	2,419	2,439	0,8		590,1	514,4	31,3
2.3.1			519,8	303,9	520,3	22,8	0,9977	2,396	2,439	1,7		520,1	441,5	32,8
2.3.2		Ja	574,1	337,2	574,3	22,8	0,9977	2,416	2,439	1,0		574,2	498,5	31,3
2.4.1			514,8	301,5	515,3	22,8	0,9977	2,402	2,439	1,5		515,0	439,8	31,3
2.4.2		Ja	588,5	346,6	588,9	22,8	0,9977	2,423	2,439	0,7		588,7	515,4	30,3
2.5.1			506,2	296,4	506,5	22,8	0,9977	2,404	2,439	1,4		506,3	430,2	31,7
2.5.2		Ja	584,9	344,3	585,1	22,8	0,9977	2,423	2,439	0,6		585,0	511,4	30,4
2.6.1			520,1	305,0	520,4	22,8	0,9977	2,409	2,439	1,2		520,3	444,8	31,3

Vedlegg 4 – Utfyllende resultater fra Prall

2.6.2		Ja	583,0	342,2	583,3	22,8	0,9977	2,412	2,439	1,1		583,1	510,0	30,3
2.7.1			474,7	278,3	475,1	22,8	0,9977	2,406	2,439	1,3		474,8		
2.7.2		Ja	605,4	356,2	605,7	22,8	0,9977	2,421	2,439	0,7		605,3	532,1	30,2
3.1.1	AGB11 0% gjenbruk	Ja	531,8	307,1	532,3	22,8	0,9977	2,356	2,414	2,4	1,1	532,4	449,9	35,0
3.1.2		Ja	566,3	329,2	566,7	22,8	0,9977	2,379	2,414	1,5		566,8	488,9	32,7
3.2.1		Ja	532,3	308	532,7	22,8	0,9977	2,363	2,414	2,1		532,7	450,6	34,7
3.2.2		Ja	581,2	338,5	581,7	22,8	0,9977	2,384	2,414	1,2		581,3	498,0	34,9
3.3.1		Ja	525,4	303,3	526,0	22,8	0,9977	2,354	2,414	2,5		525,9	437,6	37,5
3.3.2		Ja	575,1	334,4	575,5	22,8	0,9977	2,380	2,414	1,4		575,3	494,0	34,2
3.4.1		Ja	532,1	308,1	532,7	22,8	0,9977	2,364	2,414	2,1		0		
3.4.2		Ja	557,5	322,4	558,3	22,8	0,9977	2,358	2,414	2,3		0		
3.5.1		Ja	520,0	300,1	520,5	22,8	0,9977	2,354	2,414	2,5		520,8	439,2	34,7
3.5.2		Ja	577,6	336,1	577,8	22,8	0,9977	2,384	2,414	1,2		577,9	487,5	37,9
3.6.1	Ja	524,3	302,4	524,8	22,8	0,9977	2,352	2,414	2,6	525,2	438,9	36,7		
3.6.2	Ja	562,7	326,0	563,0	22,8	0,9977	2,369	2,414	1,9	562,9	481,2	34,5		
4.1.1	AGB11 50% gjenbruk Mølleverdi 14		516,0	302,5	516,4	22,8	0,9977	2,407	2,445	1,6	1,1	516,4	438,8	32,2
4.1.2		Ja	584,8	344,0	585,0	22,8	0,9977	2,421	2,445	1,0		584,8	508,2	31,6
4.2.1			504,8	296,5	505,1	22,8	0,9977	2,414	2,445	1,3		505,1	427,4	32,2
4.2.2		Ja	587,2	346,3	587,6	22,8	0,9977	2,428	2,445	0,7		587,2	506,0	33,4
4.3.1		Ja	554,1	324,2	554,5	22,8	0,9977	2,400	2,445	1,8		554,5	476,3	32,6
4.3.2		Ja	562,2	331,2	562,9	22,8	0,9977	2,421	2,445	1,0		562,3	485,6	31,7
4.4.1			519,9	305,1	520,4	22,8	0,9977	2,409	2,445	1,5		520,2	447,2	30,3
4.4.2		Ja	583,8	344,1	584,1	22,8	0,9977	2,427	2,445	0,7		583,9	511,2	30,0
4.5.1			515,7	302,9	516,1	22,8	0,9977	2,413	2,445	1,3		516,1	438,9	32,0
4.5.2		Ja	581,1	342,8	581,4	22,8	0,9977	2,430	2,445	0,6		581,3	504,8	31,5
5.1	AGB11 50% gjenbruk Mølleverdi 19	Ja	581,9	341,1	582,3	22,8	0,9977	2,407	2,430	1,0	1,0	582,1	511,5	29,3
5.2		Ja	576,2	337,0	576,6	22,8	0,9977	2,399	2,430	1,3		576,4	502,9	30,6
5.3		Ja	581,1	341,1	581,4	22,8	0,9977	2,413	2,430	0,7		581,1	514,5	27,6

Gjennomstrøknede resultater er tatt ut av beregningene som følge av feil under tillaging eller testing, eller på grunnlag av at verdiene ligger utenfor et valgt verdiintervall. Dette er diskutert i hovedteksten i oppgaven.

Vedlegg 5
Asfaltresepter for benyttede blandinger

Vedlegg 5 – Asfaltresepter for benyttede blandinger

A6B11
0% gjøtbruk

Agb 11 U6

Hoved region

Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

3111200-V2 Produksjonssted **Velde Produksjon as**
 AC 11 surf 160/220 Agb 11 Reseptdato **15.02.2017**

Asfaltleverandør **Velde Asphalt AS**

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Densitet (g/cm ³)	2.355
Hulrom (%)	3.5	1.5	Hulrom (%)	2.7
Forbruk (kg/m ²)			Bitumenfylt hulrom (%)	82.4
Massetemp prod. (°C)	150.0	20.0	Stabilitet (N)	9250
Dekkets densitet Pd (g/cm ³)	2.33		Flyt (mm)	2.8
Maks. teoretisk densitet Ps (g/cm ³)	2.414		Stab:Flyt (N/mm)	3304
Maks. vanninnhold (%)			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe **160/220**

	µm		mm					
	63	250	1	2	4	8	11.2	16
Tilf.	7.0	15.0	26.5	36.5	58.0	80.0	95.0	100.0
Tol.	2.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0

The graph plots 'Passert (%)' on the y-axis (0 to 100) against 'Maskevidde' on the x-axis (0.063 to 16 µm). A solid line represents the 'Reseptkurve' (recipe curve), which stays between the 'Toleranse Min' (dashed line) and 'Toleranse Max' (dotted line) limits. The curve starts at approximately 10% at 0.063 µm and reaches 100% at 16 µm.

Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	8-11	21.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	5-8	18.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	2-5	19.5
Steinmel	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0.25-2	35.5
Filler	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0-0.063	6.0

Tilsetningsstoff		Mengde (% av bindem.)	
Vedheftningsmiddel	Amin	Mengde (% av bindem.)	0.3

Sted: Sandnes Dato: 15.02.2017

Underskrift: _____

Laboys ENT-P-1.5.2 - 23.02.2017 12:53

Vedlegg 5 – Asfaltresepter for benyttede blandinger

AGB 11
20% gjennbrøk
A_n = 19

AGB 11 R 20 G 19

Hoved region

Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

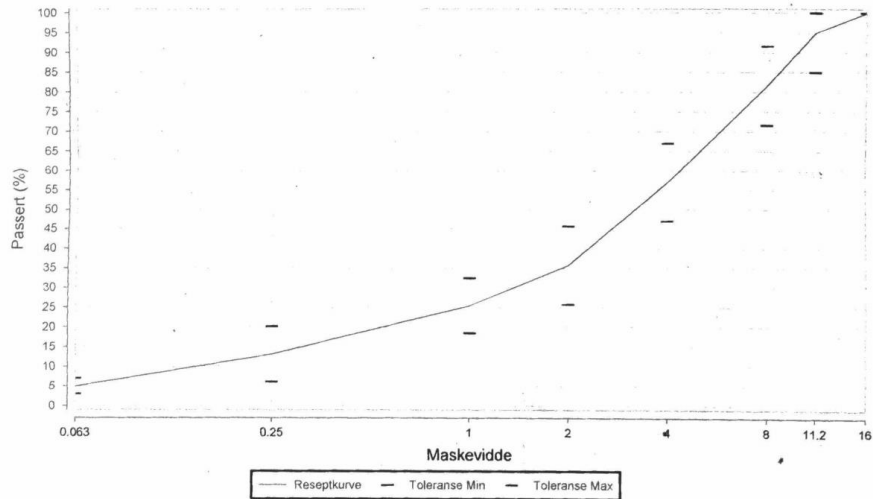
3111220 G19-V2
AC 11 surf 160/220 Agb 11
Velde Asphalt AS

Produksjonssted Velde Produksjon as
Reseptdato 15.02.2017

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Densitet (g/cm ³)	2.322
Hulrom (%)	3.5	1.5	Hulrom (%)	4.4
Forbruk (kg/m ²)			Bitumenfylt hulrom (%)	74.0
Massetemp prod. (°C)	150.0	20.0	Stabilitet (N)	9500
Dekkets densitet Pd (g/cm ³)	2.335		Flyt (mm)	2.3
Maks.teoretisk densitet Ps (g/cm ³)	2.42		Stab:Flyt (N/mm)	4130
Maks. vanninnhold (%)			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe	160/220
-----------------	---------

	µm		mm					
	63	250	1	2	4	8	11.2	16
Tils	5.0	13.1	25.4	35.7	57.0	81.6	95.0	100.0
Tol.	2.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Velde-G19	2.68	30.0	30	19.0	0-11	20.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	8-11	15.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	5-8	16.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	2-5	19.0
Steinmel	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0,25-2	25.0
Filler	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0-0.063	5.0

Tilsetningsstoff		Mengde (% av bindem.)	
Vedhefningsmiddel	Amin	Mengde (% av bindem.)	0.3

Sted: Sandnes Dato: 15.02.2017

Underskrift: _____

Vedlegg 5 – Asfaltresepter for benyttede blandinger

AGB 11
50% gjennblik
A_n = 19

Hoved region

Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

3111250 G19-V2
AC 11 surf 160/220 Agb 11
for Velde Asfalt AS

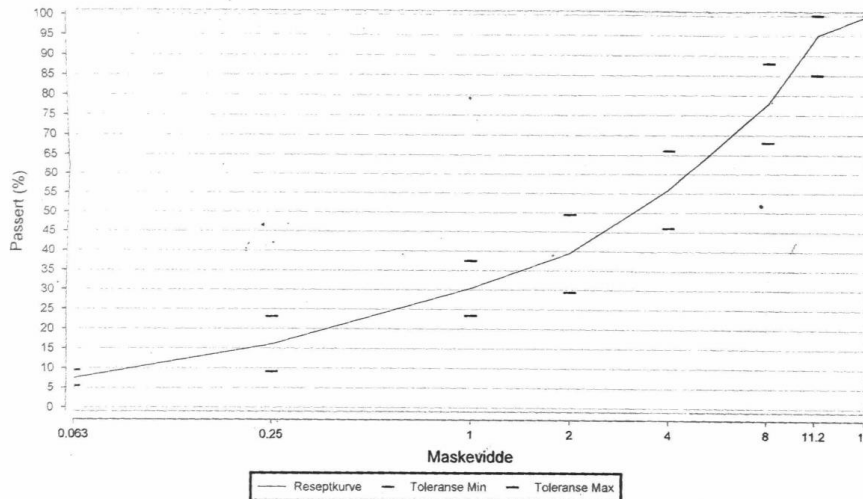
Produksjonssted Velde Produksjon as
Reseptdato 15.02.2017

AGB11 R50 619

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Densitet (g/cm ³)	2.377
Hulrom (%)	3.5	1.5	Hulrom (%)	2.5
Forbruk (kg/m ²)			Bitumenfylt hulrom (%)	83.5
Massetemp prod. (°C)	150.0	20.0	Stabilitet (N)	9160
Dekkets densitet Pd (g/cm ³)	2.345		Flyt (mm)	3.4
Maks.teoretisk densitet Ps (g/cm ³)	2.43		Stab:Flyt (N/mm)	2694
Maks. vanninnhold (%)			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe 160/220 (Renewer 0,7% av bind)

	µm		mm					
	63	250	1	2	4	8	11.2	16
Tils	7.5	16.1	30.4	39.4	56.0	78.0	95.0	100.0
Tol.	2.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Velde-G19	2.68	30.0	30	19.0	0-11	50.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	8-11	15.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	5-8	8.9
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	2-5	8.4
Steinmel	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0,25-2	14.1
Filler	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0-0.063	3.6

Tilsetningsstoff	Mengde (% av bindem.)
Vedhefningsmiddel Amin	0.3

Sted: Sandnes Dato: 15.02.2017

Underskrift: _____

Vedlegg 5 – Asfaltresepter for benyttede blandinger

AGB11
40% gjisbruk
A_n = 14

AGB11 R406M



Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

Hoved region

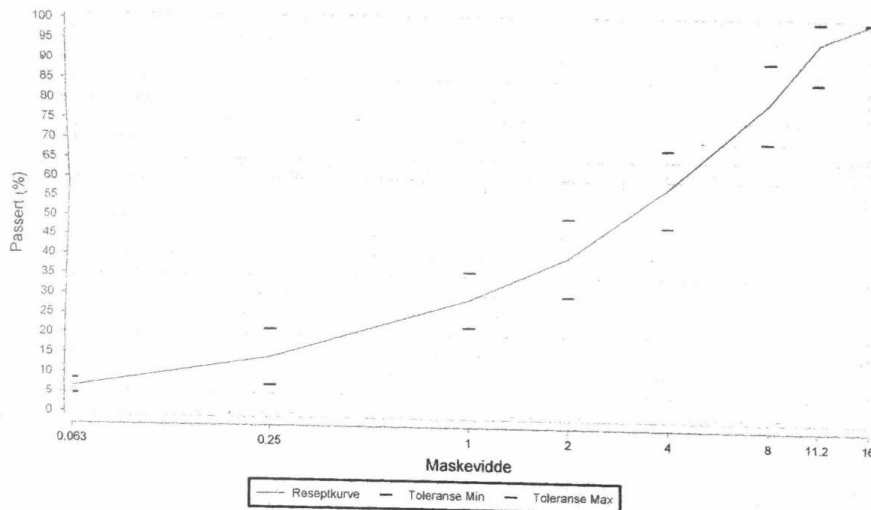
3111240 G14-V2
AC 11 surf 160/220 Agb 11
dør Velde Asphalt AS

Produksjonssted Velde Produksjon as
Reseptdato 15.02.2017

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Densitet (g/cm ³)	2.357
Hulrom (%)	3.5	1.5	Hulrom (%)	2.5
Forbruk (kg/m ²)			Bitumenfylt hulrom (%)	83.5
Massetemp prod. (°C)	150.0	20.0	Stabilitet (N)	9800
Dekkets densitet Pd (g/cm ³)	2.354		Flyt (mm)	2.1
Maks.teoretisk densitet Ps (g/cm ³)	2.439		Stab:Flyt (N/mm)	4667
Maks. vanninnhold (%)			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe	160/220 (Renewer 0,5% av bind)
-----------------	--------------------------------

	µm		mm					
	63	250	1	2	4	8	11.2	16
Tilf	6.5	14.2	29.0	40.0	58.0	80.0	95.0	100.0
Tol.	2.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Melle	Sort	Andel
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	8-11	15.8
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	5-8	10.2
Pukk	Velde-G14	2.72	30.0	30	14.0	0-11	40.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	2-5	11.6
Steinmel	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0.25-2	19.3
Filler	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0-0.063	3.1

Tilsetningsstoff		Mengde (% av bindem.)	
Vedhefningsmiddel	Amin	Mengde (% av bindem.)	0.3

Sted: Sandnes
 Date: 15.02.2017

Underskrift: _____

Vedlegg 5 – Asfaltresepter for benyttede blandinger

AGB11
50% gjæbruk

$A_n = 14$

A

CBA 12.10.17 JEM BM3

Hoved region
Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

3111250 G14-V2
AC 11 surf 160/220 Agb 11
randør Velde Asfalt AS

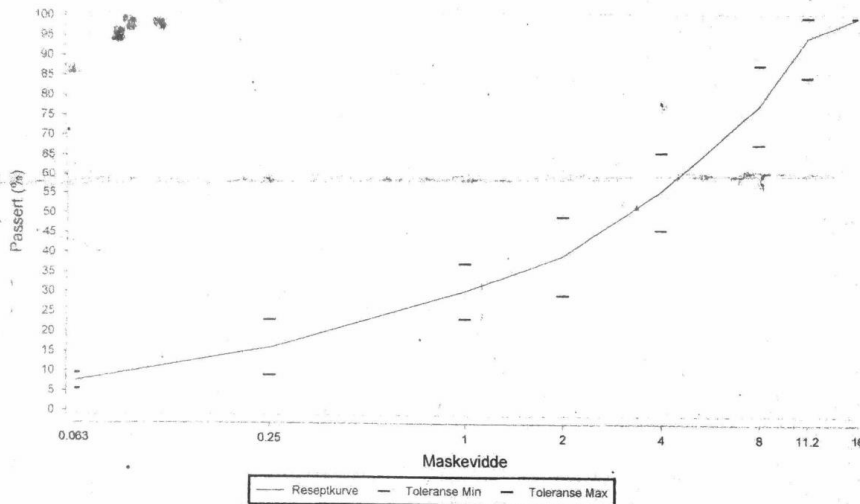
Produksjonssted Velde Produksjon as
Reseptdato 15.02.2017

AGB11 R50614

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Densitet (g/cm ³)	2.377
Hulrom (%)	3.5	1.5	Hulrom (%)	2.5
Forbruk (kg/m ²)			Bitumenfylt hulrom (%)	83.5
Massetemp prod. (°C)	150.0	20.0	Stabilitet (N)	9160
Dekkets densitet Pd (g/cm ³)	2.359		Flyt (mm)	3.4
Maks.teoretisk densitet Ps (g/cm ³)	2.445		Stab:Flyt (N/mm)	2694
Maks. vanninnhold (%)			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe 160/220 (Renewer 0,7% av bind)

	µm		mm					
	63	250	1	2	4	8	11.2	16
Tils	7.5	16.1	30.4	39.4	56.0	78.0	95.0	100.0
Tol.	2.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Velde-G14 GRANIXAT	2.72	30.0	30	14.0	0-11	50.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	8-11	15.0
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	5-8	8.9
Pukk	Velde	2.64	10.0	25	10.0	2-5	8.4
Steinmel	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0,25-2	14.1
Filler	Velde	2.64	10.0	25	10.0	0-0,063	3.6

Tilsetningsstoff	Mengde (% av bindem.)
Vedheftningsmiddel Amin	0.3

Sted: Sandnes Dato: 15.02.2017

Underskrift: _____