

Benyttelse av miljøasfalter: livsløpsanalyse og muligheter i asfaltbransjen

SANDER DØNNUM

MARTIN WERNER PEDERSEN



VEILEDER

Reyn Joseph O'Born, UiA

Alexander Grødum Vetnes. UiA

Universitetet i Agder, 2024

Fakultet for teknologi og realfag

Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

JA NEI

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved instituttet for ingeniørvitenskap som en del av masterprogrammet for Byggdesign ved Universitetet i Agder. Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet BYG508 og ble utarbeidet i det sjette og siste semesteret.

Vi vil benytte anledningen til å takke våre veiledere Reyn J. O’Born og Alexander G. Vetnes som har hjulpet oss på veien med utarbeidelse av vår masteroppgave. Dere har gitt oss god oppfølging, mange spennende diskusjoner og vært en nyttig sparringspartner gjennom semesteret. Vi ønsker dere lykke til med videre forskning.

Vi er også svært takknemlige for å ha blitt inkludert i prosjektet Grønn plattform: Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging. Her har vi fått mange informative samtaler med dyktige fagfolk i arbeidslivet. Samt vært med på en lærerik og spennende konferanse i Trondheim.

Videre ønsker vi også å takke Thor Asbjørn Lunaas fra Statens Vegvesen, John Ingve Kvinlaug fra Asfalt Sør og gjengen fra Eramet Kvinesdal som har vært svært behjelpelige med informasjon som har vært med på å styrke vår oppgave. Det rettes også en stor takk til de som satte av tid til å besvare spørreundersøkelsen vår. Svarene ga oss et godt innblikk i hvordan bransjen tenker.

Avslutningsvis vil vi takke hverandre for godt samarbeid, og for at vi har holdt ut med hverandre. Nå har vi begge sikret oss jobb og ser vi frem til å ta fatt på arbeidslivet. Nå blir det spennende å se hvordan kunnskapen vår fungerer i praksis.

Often, bumpy roads lead to beautiful places.

- Dave Martinez

Summary

This master's thesis consists of a Life Cycle Analysis (LCA) of four different types of asphalt. These four being traditional asphalt, biobased asphalt, Silica Green Stone (SiGS) asphalt and recycled asphalt. There has also been carried out a survey, regarding the state of asphalt today, the challenges and the opportunities in the industry. The main research question for the paper has been "how can the use of environmentally friendly alternatives in asphalt lead to reduced greenhouse gas emissions?" These environmental asphalts are different types of asphalts that uses environmentally friendly materials to get reduced emissions.

SimaPro has been used for the LCA, and SurveyXact to make and distribute the survey. The SimaPro calculation provided the numbers used as a basis for the comparison of the emissions to the environmental asphalts and the traditional asphalt. The survey was targeted to experts in the field of asphalt. It was distributed to asphalt entrepreneurs, distributors, academics, and project owners.

In conclusion, the environmentally friendly asphalt performs better than the traditional asphalt when it comes to greenhouse gas emissions. They also help the industry towards a more circular economic practice. The use of by-product also helps avoiding waste in the cycle and keep the use of materials in asphalt more efficient and environmentally friendly. The use of more local materials and production will also help keeping the emissions from transportation low. Another important aspect for asphalt emissions, is their lifespan. If the asphalt has a short lifespan it will have to be replaced at a higher rate. This has not been included in the analysis since there is limited research done on the subject in Norwegian conditions.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iii
Summary	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	viii
Tabelliste	x
1. Innledning	1
2. Samfunnsperspektiv.....	2
3. Kunnskapsbakgrunn	4
3.1. Vegbygging.....	4
3.2. Utslipp vegbygging.....	6
3.3. Asfaltproduksjon.....	8
3.4. Asfaltegenskaper.....	11
3.5. Miljøasfalt	15
3.5.1. Alternative tilslag i asfalt	15
3.5.2. Asfalt med biobindemiddel	18
3.5.3. Gjenbruks- og gjenvunnet asfalt.....	21
3.6. Livsløpsanalyse.....	24
3.7. Sirkulær økonomi.....	27
3.8. Innovasjon.....	28
4. Forskerspørsmål.....	30
4.1. Avgrensninger	30
5. Case og materialer	31
5.1. Tradisjonell asfalt.....	31
5.2. SiGS-asfalt	32
5.3. Talloljeasfalt.....	33
5.4. Gjenbruksasfalt	33
6. Metode.....	34
6.1. Livsløpsanalyse (LCA)	34
6.1.1. Hensikt og omfang.....	34
6.1.2. Livsløpsregnskap.....	37

6.1.3.	Livsløpseffektvurdering	38
6.1.4.	Tolkning	39
6.2.	Datainnsamling	39
6.2.1.	Tradisjonell asfalt.....	40
6.2.2.	SiGS-asfalt.....	41
6.2.3.	Talloljeasfalt.....	42
6.2.4.	Gjenbruksasfalt.....	43
6.2.5.	Byggefase, avhending og gjenbruk	43
6.3.	Dataverktøy.....	45
6.3.1.	SimaPro.....	45
6.3.2.	SurveyXact	45
6.4.	Spørreundersøkelse	45
7.	Resultat	48
7.1.	Resultat LCA	48
7.1.1.	Datainnsamling	48
7.1.2.	Tradisjonell asfalt.....	51
7.1.3.	SiGS-asfalt	53
7.1.4.	Talloljeasfalt.....	56
7.1.5.	Gjenbruksasfalt.....	58
7.1.6.	Sammenligning	61
7.1.7.	Alternative resultat.....	62
7.2.	Resultater spørreundersøkelse.....	65
7.2.2.	Bakgrunnsinformasjon.....	65
7.2.3.	Dagens situasjon.....	66
7.2.4.	Utfordringer og muligheter	68
7.2.5.	Fremtidsutsikter	71
8.	Diskusjon	72
8.1.	SiGS	72
8.2.	Bioasfalt	74
8.3.	Gjenbruk.....	76
8.4.	Spørreundersøkelse	78
8.5.	Innovasjon.....	79
8.6.	Usikkerheter og forbedringsområder	81
8.7.	Oppsummerende diskusjon	82

9.	Konklusjon.....	84
10.	Anbefalinger.....	85
11.	Referanser.....	86
12.	Vedlegg.....	96
12.1.	Vedlegg A – Poster.....	96
12.2.	Vedlegg B – Fremdriftsplan.....	96
12.3.	Vedlegg C – Veiledningsdokumentasjon.....	96
12.4.	Vedlegg D – Spørreundersøkelse.....	96
12.5.	Vedlegg E – SimaPro prosesser.....	96
12.6.	Vedlegg F – SimaPro resultater.....	96

Figurliste

Figur 2.1 – FNs bærekraftsmål [23]	3
Figur 3.1 – Vegens oppbygging [35]	6
Figur 3.2 – Utslippsfordeling ved vegprosjekt [44]	7
Figur 3.3 – Asfaltfabrikk [privat]	9
Figur 3.4 - Asfaltproduksjon i Norge [52]	9
Figur 3.5 – Dynamisk skjærreometer test [69]	12
Figur 3.6 – Dynamisk modul og fasevinkel [egenprodusert]	13
Figur 3.7 – Fasevinkel [egenprodusert]	13
Figur 3.8 – Dynamisk modul G^* [egenprodusert]	13
Figur 3.9 – Silica Green Stone [privat]	16
Figur 3.10 – Produktets livsløp [egenprodusert]	25
Figur 3.11 – Miljøkategorier ReCiPe 2016 [133]	26
Figur 3.12 – De syv innovasjonstrinnene [150]	29
Figur 5.1 – Asfalt med SiGS tilslag [privat]	32
Figur 6.1 – Systemgrenser tradisjonell asfalt	35
Figur 6.2 – Systemgrenser SiGS-asfalt	35
Figur 6.3 – Systemgrenser bioasfalt	36
Figur 6.4 – Systemgrenser gjenbruksasfalt	36
Figur 6.5 – Asfaltens livsløp	37
Figur 6.6 – Flytskjema	38
Figur 6.7 – Miljøkategorier ReCiPe 2016 [133]	39
Figur 7.1 – Miljøkategorier tradisjonell asfalt, vugge til port	51
Figur 7.2 – Tradisjonell asfalt, GWP vugge til port	53
Figur 7.3 – Miljøkategorier SiGS-asfalt, vugge til port	54
Figur 7.4 – SiGS-asfalt, GWP vugge til port	55
Figur 7.5 – Miljøkategorier talloljeasfalt, vugge til port	56
Figur 7.6 – Talloljeasfalt, GWP vugge til port	58
Figur 7.7 – Miljøkategorier gjenbruksasfalt, vugge til port	59
Figur 7.8 – Gjenbruksasfalt, GWP vugge til port	60
Figur 7.9 – GWP vugge til grav	61
Figur 7.10 – GWP vugge til port	61
Figur 7.11 – GWP per materiale, vugge til port	62
Figur 7.12 – GWP vugge til port u/transport	62
Figur 7.13 – GWP vugge til port, med og uten transport	63
Figur 7.14 – GWP for forskjellige bitumen kilder	64
Figur 7.15 – GWP med eller uten gjenbruk	64
Figur 7.16 – Utslipp basert på transport	65
Figur 7.17 – Hvilket arbeidsforhold har du?	66
Figur 7.18 – Hvor god syntes du asfaltbransjen er til å utvikle og ta i bruk innovasjon sett opp mot resten av bygg- og anleggsbransjen?	66
Figur 7.19 – Ordsky, miljøvennlige tiltak [174]	67
Figur 7.20 – Beste tiltaket for å fremme samarbeid i bransjen?	67

Figur 7.21 – Hvordan burde risikovurderingen være i kontrakter?	68
Figur 7.22 – Resultatfordeling, største hindringer for miljøvennlig innovasjon	69
Figur 7.23 – Resultatfordeling, størst potensiale for klimagassbesparelser	70
Figur 7.24 – Ordsky, sirkulær økonomi i vegbransjen	70
Figur 7.25 – Når tror du en 100 % elektrifisert asfaltproduksjon vil fungere i praksis?	71
Figur 7.26 – Når tror du at asfaltproduksjon kan bli klimanøytralt (nullutslipp)?	71

Tabelliste

Tabell 3.1 – Utslippsanslag 1 tonn asfalt [45]	7
Tabell 3.2 – Micro-Deval krav for utvalgte asfalttyper [34]	14
Tabell 3.3 – Los Angeles-verdi for utvalgte asfalttyper [34].....	14
Tabell 3.4 – Kulemølleverdi for utvalgte asfalttyper [34].....	14
Tabell 3.5 – Krav til mekaniske egenskaper tilslagsmaterialer i asfaltdekker og bærelag [77].....	15
Tabell 3.6 – Økonomisk allokering av SiMn og SiGS [84]	16
Tabell 3.7 – Mekaniske testresultater gjort på SiGS [85]	17
Tabell 3.8 – Resultater fra testing av forskjellige biobindemidler [68]	20
Tabell 3.9 – Oppsummering av hovedfunn for miljøasfalter	23
Tabell 3.10 – Livløpsfasene [130]	24
Tabell 5.1 – Oppskrift 1 tonn Agb11 tradisjonell asfalt.....	31
Tabell 5.2 – Oppskrift 1 tonn Agb11 asfalt med SiGS.....	32
Tabell 5.3 – Oppskrift 1 tonn Agb11 asfalt med tallolje.....	33
Tabell 5.4 – Oppskrift 1 tonn Agb11 gjenbruksasfalt	33
Tabell 7.1 – Transport av materialer	49
Tabell 7.2 – Asfaltproduksjon, 1 tonn tradisjonell asfalt.....	49
Tabell 7.3 – Asfaltproduksjon, 1 tonn SiGS-asfalt	49
Tabell 7.4 – Asfaltproduksjon, 1 tonn talloljeasfalt.....	50
Tabell 7.5 – Asfaltproduksjon, 1 tonn gjenbruksasfalt.....	50
Tabell 7.6 – Legging av 1 tonn asfalt	50
Tabell 7.7 – Avhending av 1 tonn asfalt	51
Tabell 7.8 - Miljøkategorier tradisjonell asfalt, resultater.....	52
Tabell 7.9 – Miljøkategorier SiGS-asfalt, resultater.....	54
Tabell 7.10 – Miljøkategorier talloljeasfalt, resultater.....	57
Tabell 7.11 – Miljøkategorier gjenbruksasfalt, resultater	59

1. Innledning

Nesten alle klimaforskere i verden er enige om at klimaendringene vi ser i verden i dag er menneskeskapt. Disse klimaendringene fører blant annet til dårligere tilgang til mat og vann, tap av naturmangfold, økonomisk ulikhet, humanitære katastrofer, ekstremvær og flere flyktninger. I 2021 måtte rundt 21 millioner mennesker forlate sine hjem grunnet klimarelaterte problemer. Forskere mener at dersom gjennomsnittstemperaturen i år 2100 er mer enn to grader varmere enn den var i 1850, vil klimaendringene være umulig å kontrollere [1]. Disse to gradene går igjen i Parisavtalen vedtatt av FN i 2015. Parisavtalen omfatter nesten alle verdens land, men det forventes mer av de rike landene. En av hovedmålene er nettopp å unngå en økning på 2 grader celsius innen århundreskiftet. I løpet av den andre delen av det 21. århundret er målet å oppnå klimanøytralitet. Klimanøytralitet innebærer at det ikke slippes ut mer klimagasser til atmosfæren enn det man greier å fange opp eller fjerne. I Parisavtalen pliktes det at alle land skal lage en nasjonal plan for hvordan de skal kutte klimagassutslipp [2].

Dette har resultert i regjeringens klimastatus og -plan. Norges overordnede klimamål mot 2030 er å redusere utslippet av klimagasser med minst 50 % og opp mot 55 % sammenlignet med nivået fra 1990 [3]. Per 2022 har Norge redusert klimagassutslippene med 4,6 % [4]. For å lykkes med omstillingen er man nødt til å kutte utslippet i alle sektorer. Transportsektoren har sin egen overordnede plan, Nasjonaltransportplan. Her ønskes det å optimalisere pengebruken, benytte mer teknologi, oppnå klimamål, gjøre reisehverdagen enklere og øke konkurranseevne for næringslivet [5]. Planen stiller ikke konkrete mål, men stiller seg bak de nevnte nasjonale klimamålene. Nasjonalt står transportsektoren for 34 % av det totale utslippet. Dette er en økning på 29 % fra 1990 til 2022 [6].

En bransje som faller mellom forskjellige stoler, er vegbyggingsbransjen. Den tilhører både bygg- og anleggsbransjen, transportsektoren og industrinæringen. Det er derfor vanskelig å finne et konkret utslipp som kommer direkte fra vegbygging. Industri og transport står til sammen for 57 % av Norges totale utslipp i 2022, som er på 48,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (CO₂e) [7]. I transportsektoren ligger hovedfokuset på å redusere utslippene fra kjøretøy, men i årene som kommer vil det være vel så viktig å fokusere på utslippene fra vegbygging. Med den teknologiske utviklingen av biler i løpet av de siste 10-årene vil fremtidens biler trolig bli billigere og mer attraktive å bruke [8]. Sammen med en økende befolkning vil dette føre til økt bilbruk og større press på vegnettet. Vegnettet vil derfor kreve ytterligere utvidelser og hyppigere vedlikehold. Statens Vegvesen mener det vil være behov for 1200 km med ny firefeltsveg og 1140 km to- og trefeltsveg innen 2050 [9]. Det vil derfor være viktig å utvikle mer miljøvennlige måter å bygge og vedlikeholde veger på. Norge er nødt til å lede an i vegen mot mer miljøvennlig vegbygging.

Nye Veier og Statens Vegvesen har satt seg som ambisjon å redusere utslippet med henholdsvis 50 % og 55 % innen 2030 [10], [11]. Samtidig har det blitt initiert et nasjonalt samarbeidsprosjekt «Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging» [12]. Prosjektet har fått nærmere 70 millioner kroner og er et statlig dekket prosjekt som tilhører Grønn Plattform satsningen. Til sammen er 17 aktører involvert, som sammen jobber for å utvikle nye og mer bærekraftige materialer og løsninger [12]. I løpet av de siste 20 årene har det blitt testet en rekke piloter på norske veger, men disse har

vært vanskelig å få kommersialisert. Vegen fra pilot til marked er kompleks og omfattende, og risikoen for å ta i bruk ny teknologi er høy. Noen av dagens tildelingsløsninger motarbeider derfor det grønne skiftet. I prosjektet skal det testes minst ti piloter fordelt under delprosjektene vegkropp, tunnel og konstruksjoner langs veg [13].

Asfalt utgjør en vesentlig utslippspost i vegbygging. I 2019 antas det et utslipp på rundt 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra asfaltproduksjon. Dette tilsvarer det årlige utslippet fra nesten 200 000 fossilbiler [14]. Utslippet kom fra en produksjon på litt over 7,5 millioner tonn asfalt [15]. For å kunne senke utslippet satses det derfor stort på utvikling av nye mer miljøvennlige asfalter, kalt miljøasfalter. Utviklingen av miljøasfalter vil kunne gi enorme klimagassbesparelser og vil være en sterk bidragsyter for å nå både nasjonale og internasjonale klimamål. Videre forskning på miljøasfalter vil være avgjørende for å utvikle asfalter som er god nok eller bedre til å erstatte den tradisjonelle asfalten. Å ta i bruk innovasjon kan derimot være kostbart og risikabelt. Mange entreprenører vegrer seg derfor mot å satse mer på miljøvennlige tiltak. I denne masteroppgaven vil det sees på klimaeffekten av å ta i bruk miljøasfalter, samt hva som skal til for at flere tar i bruk og utvikler miljøvennlig innovasjon.

2. Samfunnsperspektiv

Det er forskjellige måter å måle utslipp for bygg- og anleggssektoren på, globalt står BA-sektoren for 40 % av de totale klimagassutslippene [16]. Den står også for 40 % av energiforbruk og avfall, derfor blir den ofte kalt 40 %-sektoren [17]. Når man ser på utslipp for BA-sektoren, vil disse tallene ligge på kun 1-2 % av norske utslipp. Dette kan gi inntrykk om at næringen i Norge er veldig miljøvennlig, sett opp mot den globale standarden, men disse lave tallene kommer av at elektrisiteten som blir produsert i Norge kommer primært fra fornybare energikilder. Derfor blir det viktig å se på de indirekte utslippene, slik at man får et mer nøyaktig bilde på norsk BA-sektor. Tar man med det indirekte utslippet slik som produksjon og transport av materialer, ser man at bygg-, anlegg- og eiendomssektoren står for 16 % av Norges totale klimagassutslipp [18].

Bruken av bærekraftige byggematerialer og miljøasfalter er viktig for samfunnet. For å sørge for at fremtidige generasjoner har et fungerende samfunn er vi nødt til å tenke bærekraftig. Dette innebærer å redusere klimagassutslipp, ta vare på naturressurser og unngå forurensing [19]. Innføringen av miljøasfalter vil være et viktig skritt imot et mer bærekraftig samfunn. Miljøasfalt sørger for reduserte klimagassutslipp, senker etterspørselen på naturressurser og gjenbraker materialer.

Det er viktig å legge til rette for en utvikling som sikrer våre fremtidige generasjoner. Dette fokuset vil hjelpe fremme en teknologisk utvikling og innovasjon. Når samfunnet står ovenfor utfordringer det ikke har verktøyene til å løse, tvinger dette frem ny teknologi som samfunnet kan dra stor nytte av. Ressursbevaring er et annet viktig bærekraftig prinsipp. Befolkningen øker stadig og dette fører til en større belastning på de begrensede ressursene som jorda har å tilby. Her i Norge hadde vi trengt 3,6 jordkloder hvis alle skulle hatt et likt forbruk som en gjennomsnitts nordmann [20].

Samfunnet har blitt dratt mot en mer klimavennlig hverdag etter at Parisavtalen trådte i kraft i 2016 [21]. Slike store klimaavtaler har vært med på å øke bevisstheten i befolkningen om viktigheten av et

klimavennlig samfunn. Dette vil hjelpe regjeringen og kommuner med å sette i kraft nye klimakrav som sørger for mer bærekraftige samfunn. Samfunnet har fått øynene opp for viktigheten ved bærekraft, ettersom man har begynt å kjenne konsekvensene av et bruk og kast samfunn på kroppen. Ekstremvær er en hendelse som har økt de siste årene og det kommer til å skje oftere i fremtiden, når gjennomsnitts temperaturen på jorda øker [22]. Med en økning av ekstremvær og nye krav fra regjeringen, vil markedet kreve løsninger som er mer bærekraftige for å holde følge med utviklingen i samfunnet.



Figur 2.1 – FNs bærekraftsmål [23]

FNs bærekraftsmål er en plan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030. Det har derfor blitt laget 17 mål og 169 delmål som skal fungere som pekepinne for hvordan man skal oppnå dette [23]. Innføringen av miljøasfalter vil være med på å oppnå flere av målene. En av disse er hovedmål 9 som omhandler industri, innovasjon og infrastruktur. Ved bruk av miljøasfalt vil man utnytte ressursene mer effektivt og utvikle mer miljøvennlige industriprosesser, samtidig som man oppnår solid og bærekraftig infrastruktur. Dette er hva delmål 9.1 og 9.4 omfatter. Utviklingen svarer også på hovedmål 11 som handler om utviklingen av bærekraftige byer og lokalsamfunn. Hovedmål 12 omhandler ansvarlig forbruk og produksjon. Hvorav delmål 12.2 som omfatter bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser. Dette er en av hovedmålene ved å benytte miljøasfalter som bygger på å gjenbruke materialer og benytte biprodukter fra andre prosesser. Hovedmål 13 er et svært omfattende mål som går på å stoppe klimaendringene. Bruken av miljøasfalter er med på å senke klimagassutslippet. Dette vil hjelpe på å stoppe klimaendringene ved at man får mindre klimagasser i atmosfæren. Sirkulær økonomiske aspekter er også viktige for ressursbruk, bærekraft og økonomi. Dette er med på å møte flere av de nevnte bærekrafts målene til FN.

Utviklingen av miljøasfalter vil gi mindre klimagassutslipp fra vegbyggingsbransjen som er viktig for å nå målene satt i Parisavtalen. I Parisavtalen ble det bestemt at alle land skal jobbe for at temperaturen på jorda ikke skal stige mer enn 2 grader celsius og helst ikke mer enn 1,5. Avtalen innebærer også at alle land skal lage en nasjonal plan for hvordan de skal kutte i klimagassutslippet sitt. De skal sette et mål for hvor mye de skal kutte, og dette målet skal fornyes og rapporteres hvert femte år [24]. Når målet til prosjektet: «bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging» er å redusere utslippet i byggefasen av vegprosjekter med 50 % vil dette bidra med å nå FNs bærekraftsmål 9, 11, 12 og 13.

Bærekraftig utvikling vil også være viktig for fattige land. Det er de fattige landene som forurenses minst, men ofte de det går hardest utover når det kommer til naturkatastrofer og ekstremvær. Det er også disse landene som har lavest forbruk av ressurser, da det er en stor skjevfordeling av verdens ressurser, derfor er det de rike landene som har størst ansvar for klimakrisen i dag [12]. Begrepet bærekraft har noen utfordringer og ifølge Brunvoll (2008) «Bærekraftig utvikling er intuitivt lett å forstå, vanskelig å realisere og krevende å evaluere» [26]. Dette fører med seg flere etiske dilemmaer, ansvarligheten for klimakrisen ligger på de rike landene i verden og det er de som må gjøre de største tiltakene. Norge som er et av verdens rikeste land og i stadig utvikling med nye prosjekter må ved hjelp av slike løsninger som miljøasfalt bruke disse for å hjelpe redusere utslippet her til lands [27]. Det blir vanskelig for Norge å stå frem som en miljønasjon når vi selv står for så store utslipp som vi gjør, og åpner opp for tiltak som mineralutvinning på havbunnen. En konsekvens av dette er når vi ble nektet taletid under FNs klimatoppmøte [28]. Slike hendelser er med på å sette preg på miljødebatten i Norge i dag.

3. Kunnskapsbakgrunn

I kunnskapsbakgrunnen vil det gjøres rede for relevant teori for oppgaven. Den vil omfatte hvordan veger historisk sett har blitt bygget, utslipp fra vegbygging, hvordan man produserer asfalt og hvilke egenskaper asfalt innehar. Det vil også beskrives en rekke miljøasfalter. Herunder hvordan de lages, hva de inneholder og hvilke mekaniske egenskaper de besitter. Kunnskapsbakgrunnen vil gi leseren relevant informasjon for å forstå oppgaven, samt bli benyttet som grunnlag for diskusjon opp mot resultatene.

3.1. Vegbygging

Norges veghistorie kan spores helt tilbake til 4000 år før vår tidsregning hvor det ble ryddet små stier mellom bygder. I jernalderen ble vegnettet mer omfattende og man fikk såkalte hulveger. Dette skjedde ettersom at mennesker og hester hadde gått ned veger over mange tusen år, slik at de fikk en U-form. Først på 1600-tallet kunne man se de første kjørevegene i Norge. Disse var gode nok til at det kunne benyttes hest og kjerre. Det var ikke før på 1900-tallet man kunne se konturene av veger slik som de er i dag. Innføringen av biler gjorde at vegnettet ble mer enn fordoblet i løpet av 1890 til 1920. Fra 1965 til 2000 så man en ytterligere økning på nesten 40 % [29].

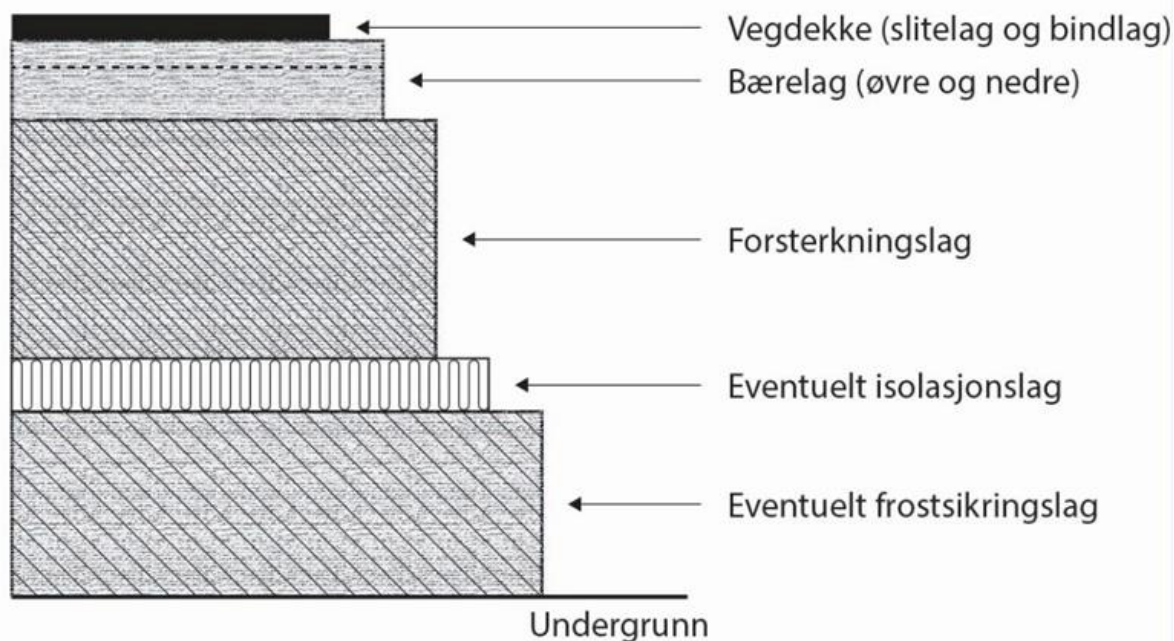
I dag finnes det nesten 100 000 km med offentlig veg i Norge, i form av riks-, fylke og kommunal veg [30]. Vegnettet blir stadig utvidet og krever kontinuerlig vedlikehold. Grunnet Norges utfordrende klima med store årlige variasjoner i temperatur, nedbør og frost tærer det godt på vegene våre. I tillegg må utarbeidelsen av veger ta hensyn til mer ekstremvær tilknyttet miljøendringene. Herunder blant annet flom- og skredfare [31]. Norges topografi og landskap gjør også etableringen av veger vanskeligere. Norge har mange fjellområder, innsjøer og fjorder. Dette har resultert i mange tunneler, bruer og fergeforbindelser. Disse tiltakende sørger for raskere forbindelser, men er kostbare i både kroner og øre og naturressurser.

I statsbudsjettet for 2023 ble det avsatt mer enn 82 milliarder kroner til samferdselsdepartementet. Hvorav nesten halvparten av dette var satt av til vegformål [32]. Når det skal planlegges, prosjekteres, bygges, vedlikeholdes eller forsterkes veg følger man Statens Vegvesens vegnormal N200. Den innehar krav til veger basert på deres trafikkmengde og trafikkenes sammensetning. En verdi som brukes for å vise til trafikkmengde er årsdøgntrafikk (ÅDT). ÅDT er gjennomsnittstall for antall kjøretøy som passerer et tellepunkt i begge retninger i løpet av et døgn. Det beregnes ved å ta antallet kjøretøy som passerer et punkt i løpet av et år, for så å dele det på antall dager i året [33]. Kravene er slik at det oppnås en god balanse mellom investeringskostnader opp mot levetid og vedlikehold. Trafikksikkerhet og miljøutslipp må også tas hensyn til i alle faser [34].

Oppbyggingen av en veg består av et vegdekke, etterfulgt av et bærelag og forsterkningslag. Ved noen prosjekter vil det også være nødvendig med et isolasjonslag og et frostsikringslag. Slik som vist i figur 3.1 [35]. Selve vegdekket består som regel av asfalt. Asfalt er en blanding av tilslag, bindingsmiddel og tilsetningsstoffer. Tilslaget kan være knust stein, sand, grus eller slam. I nyere tid har det blitt mer aktuelt å ta i bruk avfall eller biprodukter fra andre produksjoner i asfaltproduksjon. Det mest brukte bindemiddelet er bitumen [36]. Det er et svart, fast eller flytende bindemiddel som kan forekomme naturlig eller fra raffinering av råolje [37]. Bitumen besitter gode egenskaper som gjør det spesielt godt egnet til asfalt. Som blant annet at det er vanntett, viskoelastisk¹, har god termoplastisitet² og god hefting [38]. Videre finner vi bærelag som består av enten knust grus, asfalt eller betong. Bærelaget skal fordele trafikklaster til forsterkningslaget uten at det oppstår deformasjoner. Forsterkningslaget bygges av solide materialer som forhindrer nedknusing og deformasjon, samtidig som det drenerer overliggende lag. Frostsikringslag og isolasjonslag skal forhindre at frost trenger seg inn i vegens underbygning [34].

¹ Materialer som besitter både elastiske og viskøse egenskaper

² Formbar under høye temperaturer



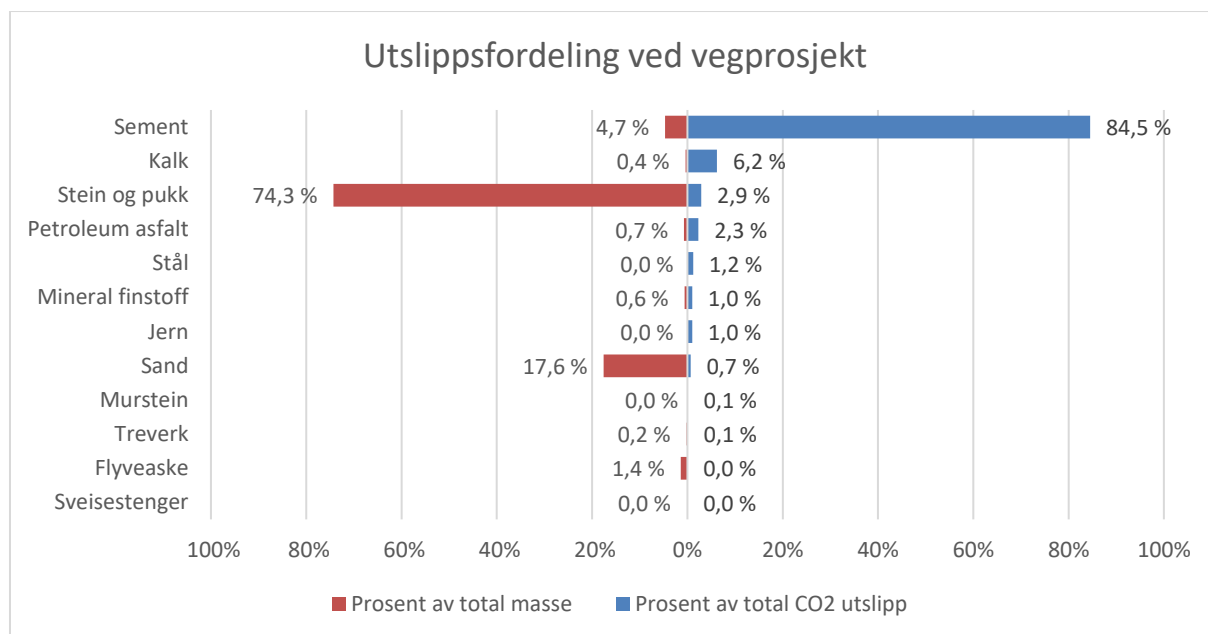
Figur 3.1 – Vegens oppbygging [35]

3.2. Utslipp vegbygging

Ved et veganlegg kommer omtrent 20 % av det totale utslippet fra forbrenningen av diesel til anleggsmaskiner og transport av materialer og masser. Resterende utslipp kommer fra produksjonen av asfalt, stål og betong [39]. Total sett for den nasjonale bygg- og anleggsbransjen ser man et samlet utslipp på 14,7 millioner tonn CO₂. Dette inkluderer også importerte varer og materialer fra utlandet [40]. For å få et overblikk over hvor mye som går til vegbygging kan det sees til bruttoinvesteringene. Innenfor anlegg går hele 42 % av investeringene til bygging av nye veger og motorveger [41].

Det blir stadig mer fokus på miljø i samfunnet. Dette gjenspeiles også i vegbransjen. Norges klimamål er å senke utslippene med 50 til 55 % i 2030 sammenlignet med 1990 nivå [42]. Statens vegvesen setter samme mål med et reduseringsmål på 55 % innen anlegg og drift og vedlikehold, mens Nye Veier har mål om 40 % fra anleggsfasen og 75 % fra driftsfasen [10], [43]. Med det store fokuset på utslippsreduksjon blir man nødt til å tenke nytt i møte mot fremtidens vegbransje.

Størrelsen og omfanget av vegprosjekter kan variere stort. I enkelte prosjekter må det bygges bruer, tunneler, autovern og støysikring. Mens i andre prosjekter skal det bare legges asfalt langs en landeveg. Terrenget og grunnforholdet vil også ha stor innflytelse på hvor mye arbeid og materialer som trengs. Liu et al. (2022) viser til fordelingen av utslippet ut ifra materialene som ble brukt i et vegprosjekt [44]. Dette er fremstilt i figur 3.2. Her ser man at sement står for det største utslippet, selv om det utgjør en liten andel av den totale massen. Det brukes mye stein og pukk i vegprosjekter som blir vist til ved 74,3 % av den totale massen. Utslippet utgjør derimot en betydelig mindre andel. Utslippet fra asfalt er det fjerde største [44]. Ved prosjekter hvor det ikke er inkludert betongkonstruksjoner, vil asfalt utgjøre en betydelig utslippsandel.



Figur 3.2 – Utslippsfordeling ved vegprosjekt [44]

Utslipet for å produsere asfalt er vist i tabell 3.1. Dette er et anslag gjort av Colin Loveday fra Tarmac i Storbritannia. Den viser at det største utslippet kommer fra produksjon av bitumen og til tørking og oppvarming av tilslag [45]. Ser man på utslippet fra hele livsløpet anslår Zwan (2012) at 44 % av utslippet kommer fra produksjon og transport av råvarer, 31 % fra produksjon av asfaltmasse, 18 % fra utlegging og kompaktering og 7 % fra vedlikehold [45].

Tabell 3.1 – Utslippsanslag 1 tonn asfalt [45]

Råmateriale/prosess	Kg CO ₂ e per tonn asfalt	% av total
Steinmateriale	4	8
Bitumen	18	36
Tørking og oppvarming	21	42
Blanding	4	8
Miksing på bil	3	6
Totalt	50	100

På forskningsfronten for asfalt er det kommet flere tiltak for å redusere utslippene. En av de sentrale tiltakene er å senke energibruken i selve produksjonen ved å produsere asfalt under lavere temperaturer. Også kalt lavtemperatur asfalt (LTA). Ma et al. (2019) kom frem til at LTA reduserer det totale utslippet vesentlig sammenlignet med vanlig varmasfalt. I blandingsfasen så man en reduksjon på 46,7 %, grunnet mindre drivstofforburning til oppvarming. På den andre siden måtte det tilsettes ekstra blandingsmiddel i LTA som gjorde utslippet fra produksjonen noe høyere. Det var forventet svakere ytelse fra lavtemperaturasfalten og derfor mer vedlikehold. Utslippene fra vedlikeholdsfasen var derfor 2,13 ganger så høy som for konvensjonell asfalt [46]. Andre tiltak som er gjort er gjenbruk og gjenvinning av asfalt. Dette vil dekkes senere, sammen med benyttelse av alternative- tilslag og bindemidler i kapittel 3.5.

3.3. Asfaltproduksjon

Produksjonen av asfalt er en todelt prosess. Den blir først produsert på en asfaltfabrikk. Deretter har man selve utleggingen av asfalten på vegene, her legger man selve asfalten og gjør den kompakt. Asfalten kan produseres både varmt og kaldt. Det er flere forskjeller mellom varm og kald asfalt [47]. Ved varm asfaltproduksjon blir steinmaterialene som blir brukt varmet og tørket. Deretter blir det blandet med et bituminøst bindemiddel som holder en høy temperatur, alt fra 120 – 180 grader [47]. Ved den kalde asfaltproduksjonen blir ikke steinmaterialene varmet opp, men bindemiddelet blir gjort flytende og man bruker et tyntflytende bindemiddel for å gjøre opp for mangelen på varme. For å få til en god binding til det kalde steinmaterialet blir det også tilsatt egnede tilsetningsstoffer [47]. Videre skal vi gå inn på selve produksjonen av asfalt i asfaltfabrikker og de ulike typene som blir produsert.

Generelt vil prosessene på en asfaltfabrikk foregå slik [48], [49]:

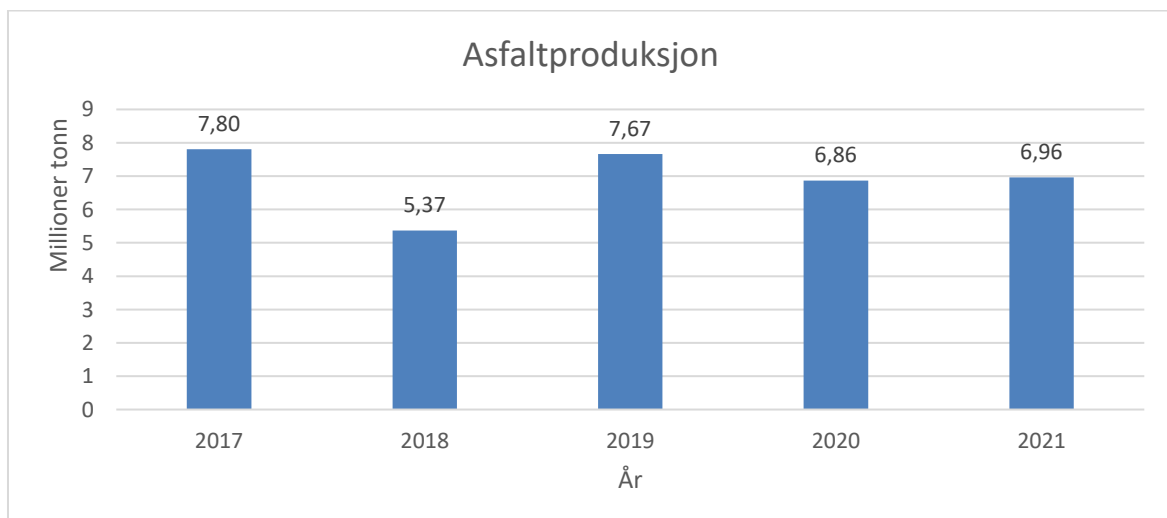
1. **Mating av kalde tilslag:** Prosessen starter ved at man mater kaldt tilslag inn i fabrikk, dette gjøres etter de forskjellige størrelsene man har på materialet man bruker. Man påser også at de ulike størrelsene blir lagret på forskjellige plasser. Dette hjelper senere når man skal ha ut spesifikke størrelser på tilslaget.
2. **Overføring av tilslag og oppvarming i ovn:** Videre frakter man tilslaget via transportbånd inn i en oppvarmingsovn. Denne ovnen er skråstilt og materialet flyter fritt fra den ene enden til den andre. Denne ovnen sikrer at det ikke er fukt i tilslaget som skal bli brukt i asfalten.
3. **Videre frakt av tilslag:** Når tilslaget kommer ut av tørke-ovnen blir det fraktet videre til et separasjonssystem som ofte befinner seg i toppen av fabrikk.
4. **Separasjon av varme tilslag:** Tilslaget blir sluppet ned i et system som skiller tilslaget på deres forskjellige størrelser. Dette gjøres ved hjelp av flerlags vibrerende sikter.
5. **Lagring i avskilte enheter:** Videre blir tilslaget delt inn i forskjellige lagringseenheter basert på de forskjellige størrelsene. Her vil også varmen bli ivaretatt.
6. **Blandeenhet:** Deretter blir tilslaget lempet inn i en blandeenhet. Her vil det også bli tilført bitumen og andre tilsetningsstoffer som skal brukes i den aktuelle blandingen.
7. **Sluttblanding:** Til slutt vil den endelige blandingen føres inn i lastebiler som står klare eller korttidslagres i siloer.

Alle asfaltfabrikkene vil være styrt av et kontrollrom der man kan regulere blandingsforhold i de ulike asfaltblandingene. Dette er viktig for å klare å justere blandingene etter hva forholdene krever og hva slags type/kvalitet asfalt som er bestilt av kunden [48], [49]. Dette er en generell gjennomgang av prosessene som foregår på en asfaltfabrikk. Alle fabrikk vil ha egne prosedyrer på hvor mye de tilsetter av ulike tilsetningsstoffer og tilslag, men vil generelt følge disse stegene. Figur 3.3 viser til hvordan en asfaltfabrikk kan se ut.



Figur 3.3 – Asfaltfabrikk [privat]

En asfaltfabrikk vil være i stand til å produsere et stort antall forskjellige asfalttyper. Dette kan være typer som varierer i type bindemiddel, men også typer som har andre tilslag og ikke kun stein. De mest vanlige asfalttypene som blir produsert er Ab (Asfaltbetong), Ska (Skjelettasfalt), Agb (Asfaltgrusbetong) og Ma (Mykasfalt). På høytrafikkerte veger altså ÅDT > 1500 er det vanlig å bruke Ab og Ska, mens på lavtrafikkerte veger ÅDT < 1500 er det vanlig å bruke Agb og Ma [50]. I Norge ble det produsert 6 960 000 tonn asfalt i 2021 [51]. Figur 3.4 viser produksjonen av asfalt i Norge fra 2017 til 2021. Asfaltproduksjonen har gått ned noe etter en topp i 2017.



Figur 3.4 - Asfaltproduksjon i Norge [52]

Materialene brukt i asfaltproduksjon kommer fra alle steder i verden. Pukkverk kan man finne over hele Norge. Dette gjør at man som regel har tilgang på lokale steinmaterialer. Bitumen blir produsert gjennom raffinering av råolje. Det er derimot veldig få oljetyper som egner seg til bruk i bitumen. Råoljen man finner i Nordsjøen er et eksempel på en olje som ikke egner seg som bitumen, ettersom det ikke inneholder nok av de tunge bestanddelene. Man blir derfor nødt til å importere fra andre land. Bitumen kan også finnes i naturlige forekomster på land. De største bitumensjøene i verden kan finnes på Trinidad og i Venezuela [37]. I 2021 var Canada den største eksportøren av bitumen i verden [53]. Andre store bitumeneksportører er USA, UAE, Tyrkia og Spania [54]. I Norge og Norden importeres den største andelen av bitumen fra Sverige og den svenske bedriften Nynas. Nynas står for rundt halvparten av Norges bitumenleveranse [55]. Deres produksjonssted ligger i Göteborg. Historisk sett har de importert mye bitumen fra Venezuela, men i de siste årene har de måtte utvide importmarkedet deres grunnet USAs sanksjoner mot Venezuela [56].

Filler er det fineste steinmaterialet man har i asfaltmassene. Dette materialet er mindre en 0,063 mm i diameter. I asfaltmasser blir det ofte brukt egenfiller. Egenfiller er det man kaller filleren hvis den kommer fra det materialet man bruker i blandingen. Hvis man derimot må tilsette filler som et eget produkt, kalles den fremmedfiller. Dette kan skje hvis man ikke har nok egenfiller i steinmassen man bruker og derfor blir tvunget til å tilsette inn filler. Fremmedfilleren er som oftest knust kalkstein. Filler er viktig for at asfaltmassen skal kunne møte de gitte kravene for kornfordelingen [57]. Ulemper ved bruk av egenfiller vil være at den i mange tilfeller vil ha stor variasjon i graderingen og densiteten. For de dekkene som krever høyt fillerinnhold og høyt bindemiddelinhold vil derfor denne variasjonen ha stor betydning for dekkets levetid og kvalitet. Dette gjelder først og fremst Ab og Ska, som derfor har krav om at minst 50 % av steinmaterialet under 0,063 mm skal være fremmedfiller i henhold til N200 [32].

Man kan også lese av kravene om filler i N200 ved å se på hvor mye gjennomgang i masseprosent som er krevd for 0,063 mm (filler) fraksjonen til de ulike typene asfalt. For Agb 11 ser vi at denne skal ligge mellom 5-10 % [34]. Andre kilder fra litteraturen viser til anbefalt forhold mellom filler og bitumen. Forskjellige studier har kommet til litt forskjellige forhold på 0,6 til 1,2 eller 1,07 til 1,45 [59].

Energiforbruket til en asfaltfabrikk vil variere noe fra fabrikk til fabrikk. Klimavegen-prosjektet til Foreningen Asfalt og Veiservice (FAV) i perioden 2007 – 2009 kom frem til at utslippet til en gjennomsnittlig asfaltfabrikk var på 19,1 kg CO₂ pr tonn asfalt og et energiforbruk på 74,9 kWh pr tonn asfalt. Her har man sett bort fra utslipp og energiforbruk knyttet til råvarefremstillingen [45]. Padilha Thieves et al. (2017) som har sett på 7 gjennomsnittlige sveitsiske asfaltverk har fått at energiforbruket her lå i intervallet 84 kWh/t til 118 kWh/t for produksjon av varmasfalt. Snittet for disse 7 fabrikkene vil da være på 99kW/t. Snittet for de utenlandske fabrikkene er da 24,1 kWh/t høyere [60]. Verdiene vil også variere etter hvor energieffektiv asfaltfabrikken er.

Noe som vil ha mye å si for energiforbruket til asfaltfabrikkene er vanninnholdet i tilslaget som brukes. Forskning viser at oppvarmingen av tilslaget står for ca. 80 % av utslippet til fabrikkene, derfor vil vanninnholdet i tilslaget som skal varmes opp ha så mye å si for forbruket til fabrikkene. Hvis en reduserer vanninnholdet i tilslaget med 2 % vil en kunne spare 8,7 kWh og 2,02 kg CO₂ per tonn asfalt

[60]. Tiltak for å redusere vanninnholdet i tilslaget kan derfor ha en god effekt på energiforbruket til et asfaltenlegg. Dette kan være tiltak som å lagre tilslaget under tak slik at det er skjernet for vær.

3.4. Asfaltegenskaper

Asfalt er en blanding av tilslag, bindemiddel og eventuelle tilsetningsstoffer. Asfalt innehar en rekke egenskaper som gjør det spesielt godt egnet som vegdekke. Som at det er hydrofobisk³, viskoelastisk og har gode lastfordelende egenskaper [61]. For å lage en tilfredsstillende asfaltblanding stilles det krav til materialene og sammensetningen.

Tilslag brukt i asfalt kan være naturlig eller mekanisk knust stein, slam, gruveavfall, rivningsmaterialer, resirkulerte materialer eller kunstig tilslag. Det mest populære er bruken av knust stein, men i løpet av de senere årene har det blitt åpnet for å bruke resirkulerte materialer eller restprodukter, ettersom de gir lavere klimagassutslipp og sparer på naturressursene. Når et tilslag skal vurderes til bruk i asfalt må det sees på de mekaniske egenskapene (Los Angeles verdi, micro-deval koeffisient og kulemølleverdi), kornform, finstoffinnhold og andel knust korn [62]. De mekaniske verdiene er essensielle for å vurdere tilslag. Los Angeles (LA) verdi finnes gjennom å utføre en LA-test. Testen går ut på å ha en prøve med tilslag i en trommel sammen med metallkuler. Etter testen måler man hvor stor andel av prøven som har blitt knust. LA-verdien viser til tilslagets motstand mot slag og nedknusing [63]. Micro-deval går ut på mye av det samme som LA. I denne testen blir det derimot brukt mindre metallkuler, testen gjennomføres i mindre skala og prøven blir utsatt for flere rotasjoner. Resultatene av micro-deval test viser til tilslagets motstand mot slitasje og nedbrytning [64]. Den siste sentrale mekaniske verdien er kulemølleverdi. Kulemølleverdi viser til motstand mot piggdekkslitasje. Testen utføres på lignende måte som de andre testene bare med andre fraksjoner og kuler [65].

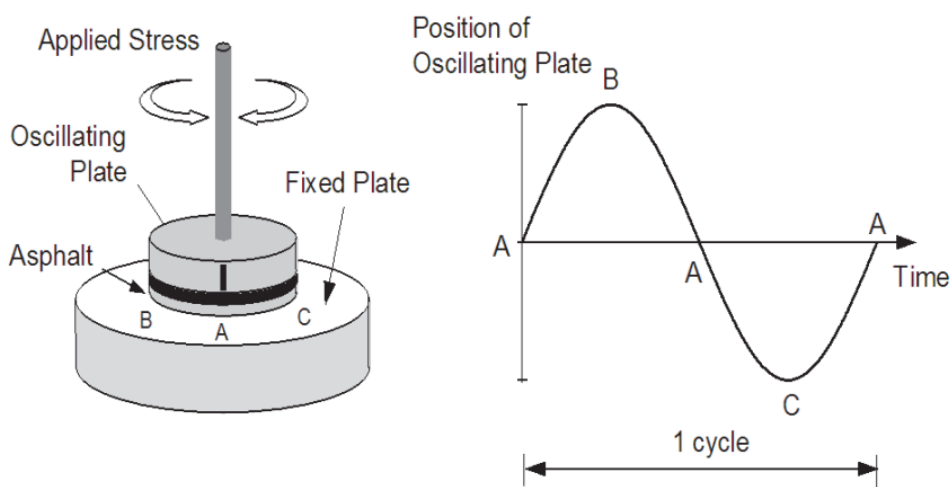
Tilslaget må ha flere flate sider slik at det får god låsing mellom steinene. Runde steiner er derfor ikke egnet til bruk i asfalt. Tilslaget må være sterkt nok til å kunne tåle tunge laster fra kjøretøy og være hydrofobisk slik at vann ikke ødelegger heftingen i blandingen. Størrelsen på tilslaget i prøven er også viktig for at blandingen ikke skal ha store mellomrom. Større tilslag gjør at asfalten har økt styrke, minsker sjansen for spordannelse og forbedrer sklimotstanden. Ved bruk av mindre tilslag får man en veg som støyer mindre, reduserer dekkslitasje og minker segregering [66]. Dersom man har en variasjon i størrelsen på tilslaget som gjør at mellomrommene i blanding blir minimale, får man en permeabel blanding med god vedheft. Dette kalles en tettgradert blanding [66].

Bindemidler har mange viktige oppgaver i en asfaltblanding. Bindemiddelet skal sørge for at asfalten blir en viskoelastisk blanding som tåler store laster uten å deformeres permanent, men heller ikke er så hard at den sprekker. Dette kan være ekstra utfordrende ved store variasjoner i klima. Det klart mest brukte bindemiddelet i asfalt er bitumen. Bitumen fremstilles som regel gjennom raffinering av råolje, men kan også finnes som naturlige forekomster. Ved lave temperaturer blir bitumen stiv og

³ Et stoff som ikke fuktes av vann og er uløselig i vann

elastisk⁴, mens ved høye temperaturer blir det viskøst⁵ og flytende. I flytende tilstand er det klebrig og gir god hefting til steinmaterialer. Derfor er bitumen så godt egnet som bindemiddel i asfalt [60], [67]. I løpet av de siste årene har det kommet mange nye alternative bindemidler basert på blant annet matlagingsolje, griseavføring og trefiber [68]. Bakgrunnen for dette har vært med mål om å senke utslippene fra asfaltproduksjon gjennom å gjenbruke og benyttelse av biologiske materialer.

Det finnes en rekke tester som kan gjøres på bindemiddel for å se hva slags egenskaper den besitter, og for å sjekke egnethet for bruk. En av disse er en dynamisk skjærreometer test (DSR). En DSR test går ut på å påføre en syklisk skjærspenningskraft på bindemiddelet. For så å måle skjærtøyningen sammen med forsinkelsestiden mellom påføring av belastning, og den resulterende belastningsresponsen. En modell av prosessen er vist i figur 3.5.

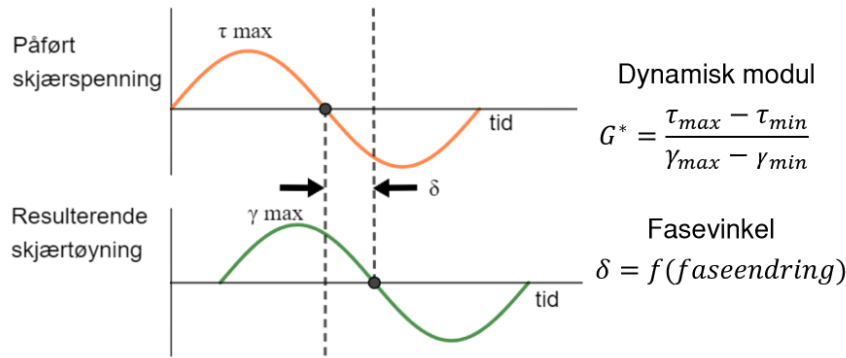


Figur 3.5 – Dynamisk skjærreometer test [69]

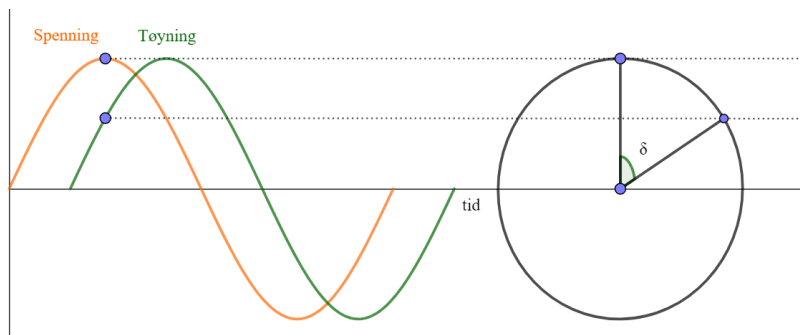
DSR testen kan gi en tidlig indikator på hvordan asfalten vil kunne motstå spordannelser og sprekkvekstutmatting. Dette gjøres ved å beregne prøvens dynamiske modul og fasevinkel basert på resultatene fra testen, vist i figur 3.6. Dynamisk modul (G^*) blir beregnet ut ifra å se forholdet mellom skjærspenning og skjærtøyning, mens fasevinkel (δ) finnes ved å se på faseendringen mellom spenningen og tøyningen [70]. Slik som vist i figur 3.7 ser man at det dannes en vinkel mellom maksspenningspunktet og resulterende tøyning ved samme tid. Denne resulterer i fasevinkelen [64], [71].

⁴ Er en egenskap som gjør at et legeme forandrer form eller størrelse under påvirkning av ytre krefter og gjenvinner sin opprinnelige form når kreftene fjernes

⁵ Er et mål på en væskes motstand mot bevegelse

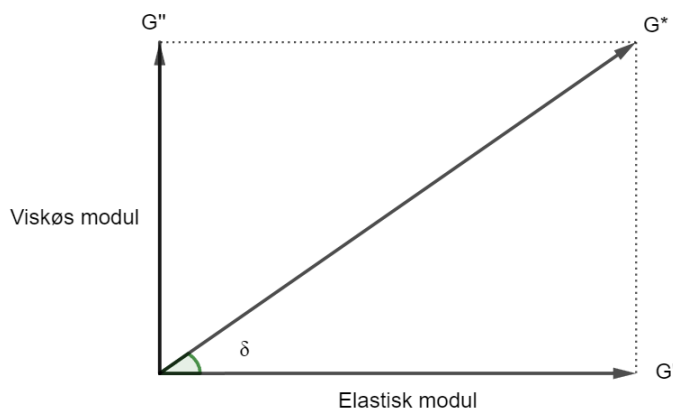


Figur 3.6 – Dynamisk modul og fasevinkel [egenprodusert]



Figur 3.7 – Fasevinkel [egenprodusert]

Den dynamiske modulen forteller oss hvor stiv asfalten er, mens fasevinkelen viser til om prøven er elastisk eller viskøs. Dette bygger på teorien om reologi. Reologi omhandler flyte- og deformasjonsegenskapene til materialer [72]. Hvor elastisk modul (G') og viskøs modul (G'') er med på å karakterisere materialet sammen med G^* og δ . Slik som vist i figur 3.8 representerer x-aksen den elastiske modulen og y-aksen den viskøse modulen [73]. Dersom resultatene fra en DSR test vil havne nærme y-aksen har vi dermed en nesten flytende test som er vanskelig å deformere, men som ikke har elastiske egenskaper. For asfalt er det spordannelser som er den største utfordringen tidlig i livsløpet, før det senere blir sprekkevækstutmatting. Det er derfor optimalt om bindemidlet er stift (høy G^*) og er elastisk (lav δ) [70].



Figur 3.8 – Dynamisk modul G^* [egenprodusert]

Når man skal velge type asfalt som skal brukes velges dette ut ifra trafikkbelastning, kostnader, tilgang på materialer, lokale forhold slik som klima og fundament. Ønskede egenskaper kan være slitasje, støy, deformasjoner og aldring [50]. Kravene som stilles til asfalten vil man finne i N200 Vegbygging. Blant kravene som stilles er micro-Deval koeffisienten, dette er et mål på tilslagets motstand mot slitasje og nedbryting. Los Angeles-verdien som er et mål på tilslagets motstand mot slag og nedknusing, og kulemølleverdien som er tilslagets motstand mot piggdekkslitasje [66]. Tabellene 3.2 til 3.4 viser til kravene for de sentrale mekaniske verdiene satt i N200 for et utvalg asfalttyper som er relevant for oppgaven.

Tabell 3.2 – Micro-Deval krav for utvalgte asfalttyper [34]

Krav til micro-Deval-koeffisient for steinmaterialer i bituminøse bærelag							
Massetype		ÅDT					
		≤ 300	301 - 1500	1501 - 3000	3001 - 5000	5001 – 15 000	> 15 000
Varmproduserte asfaltdekker	Agb	≤ 25	≤ 25	≤ 20			
	Ab	≤ 25	≤ 25	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
	Ska				≤ 20	≤ 20	≤ 20
	Ma	≤ 25	≤ 25	≤ 20			

Tabell 3.3 – Los Angeles-verdi for utvalgte asfalttyper [34]

Krav til Los Angeles-verdi for steinmaterialer i bituminøse bærelag og asfaltdekker							
Massetype		ÅDT					
		≤ 300	301 - 1500	1501 - 3000	3001 - 5000	5001 – 15 000	> 15 000
Varmproduserte asfaltdekker	Agb	≤ 40	≤ 35	≤ 30			
	Ab	≤ 40	≤ 35	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 20
	Ska				≤ 30	≤ 25	≤ 20
	Ma	≤ 40	≤ 35	≤ 30			

Tabell 3.4 – Kulemølleverdi for utvalgte asfalttyper [34]

Krav til kulemølleverdi for steinmaterialer i asfaltdekker							
Massetype		ÅDT					
		≤ 300	301 - 1500	1501 - 3000	3001 - 5000	5001 – 15 000	> 15 000
Varmproduserte slitelag	Agb	≤ 19	≤ 19	≤ 14			
	Ab	≤ 19	≤ 19	≤ 14	≤ 10	≤ 10	≤ 7
	Ska				≤ 10	≤ 10	≤ 7
	Ma	≤ 19	≤ 19	≤ 14			

3.5. Miljøasfalt

I løpet av de siste årene har det stadig blitt produsert flere miljøasfalter. En fellesbetegnelse for miljøasfaltene er at de ønsker å etterlate seg et mindre klimafotavtrykk en tradisjonell asfalt. Velde beskriver deres miljøasfalt som et resultat av å produsere asfalt med så lavt CO₂-avtrykk som overhodet mulig [74].

Entreprenører har laget flere løsninger på miljøasfalter. Disse går som regel ut på å endre på materialene brukt som tilslag eller bindemiddel, tilsette tilsetningsstoffer eller gjenbruke gammel asfalt. Disse tiltakene sørger for store besparelser i klimagassutslipp og mindre behov for råmaterialer. Gjenbruk av asfalt og benyttelse av restprodukter fra andre prosesser er med på å gjøre asfaltproduksjon mye mer sirkulær økonomisk [75]. Hva sirkulær økonomi innebærer vil bli forklart i kapittel 3.7.

3.5.1. Alternative tilslag i asfalt

Vanlig tradisjonell asfalt består vanligvis av ca. 95 % tilslag og 5 % bitumen. Typen asfalt som blir valgt avhenger av flere faktorer, slik som kostnad, trafikkbelastning, lokale forhold og ønskede egenskaper [50]. I N200 stilles det krav til tilslagets mekaniske egenskaper, flisighetsindeks, korngradering, finstoffinnhold og andel knuste korn. Kravene vil variere litt mellom de forskjellige asfalttypene og om det skal benyttes i bærelag eller i asfaltdekke [34]. Noen sentrale verdier er vist i tabell 3.5. Når det skal produseres asfaltdekker er det viktig å oppnå god stivhet, styrke og motstand mot skli- og spordannelse. Dette gjør at vegen håndterer belastningen og gjør underlaget komfortabelt for brukeren [76].

Tabell 3.5 – Krav til mekaniske egenskaper tilslagmaterialer i asfaltdekker og bærelag [77]

ÅDT	<300	300-1500	1500-5000	5000-15000	>15000
Los Angeles	40	35	30	25	20
Mølleverdi	19	19	14/10	10	7
Micro-Deval	20	15	15	15	15

Det mest brukte tilslaget er stein. I håndboken blir også tilslag omtalt som steinmaterialer. En følge av uthenting av stein er at man etterlater seg ett avtrykk i naturen. Xie et al. (2021) kom frem til et forbruk på 0,044 MJ per kilo knust stein [78]. På grunn av dette har man begynt å åpne opp for å ta i bruk andre materialer som tilslag i asfalt. Mange av materialene som er blitt testet er slamoverskudd eller biprodukter fra andre prosesser.

En av disse materialene er Silica Green Stone (SiGS). SiGS er et biprodukt fra produksjonen av silikonmangan (SiMn). Dette produktet har en rekke bruksområder. Det kan bli brukt som pukk for å redusere naturinngrep og CO₂-utslipp eller det kan finmales og erstatte deler av sementen i betong som vil redusere CO₂-utslippet til betongen med opptil 95 % [79]. Utfylling på land og i sjø er også et bruksområde for produktet [80]. Mangan er et tungmetall og er det vanligste tungmetallet i jordskorpen etter jern. Hovedkildene for mangan er malm som kommer fra Gabon og Sør-Afrika [81].

Mesteparten av manganen blir brukt i stål. Der blir det brukt for å øke styrken, seigheten og varmebehandlingsegenskapene til stålet. Dette bidrar til at stålet oppnår kravene og egenskapene som kreves av det i ulike situasjoner. Man finner mangan i stort sett alt av produkter som inneholder en form for stål [82]. SiGS dannes som et biprodukt ved produksjonsprosessen av silikonmangan. Biproduktet blir separert fra metallet ved at det har en lavere tetthet. Den flytende SiGSen blir så støpt og avkjølt i egne slaggsenger. Deretter blir det brutt ned ved hjelp av en hjullaster, slik at de får en kornstørrelse på inntil en meter. Videre blir SiGSen brutt ned ved knusing og fraksjonering for å oppnå ønsket kornstørrelse. Dette kan igjen brukes senere som tilslag i asfaltblandinger [81]. I vegbygging og i asfalt kan man bruke SiGS på et par forskjellige måter. Man kan knuse det opp og blande det inn i asfalten for å få en mer slitesterk asfalt. Det kan også brukes som et bærelag for vegen, som vil være et mer miljøvennlig alternativ til pukken som ville blitt brukt. Figur 3.9 viser hvordan SiGS tilslaget ser ut.



Figur 3.9 – Silica Green Stone [privat]

Gjennom manganproduksjon blir det produsert 1,2 tonn Silica Green Stone per tonn silikonmangan [83]. Dette resulterer i store overskuddsmengder med biproduktet SiGS. SiGS har en lavere markedsverdi enn SiMn. Dette har SINTEF tatt høyde for når de skal fordele utslippet mellom produktene, gjennom en økonomisk allokering. Tabell 3.6 viser andelen av utslippet som kan settes på SiGS ut ifra markedsprisen til både SiGS og SiMn. Avhengig av markedsprisene vil utslippsverdiene som lastes SiGS ligge på mellom 0,9 til 11,7 % [84]. Årlig produseres det ca. 220 000 tonn SiGS ved Eramet Kvinesdal [83].

Tabell 3.6 – Økonomisk allokering av SiMn og SiGS [84]

SiGS price (NOK/t)	SiMn price (kNOK/t)					
	10	11	12	13	14	15
100	1.3 %	1.2 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	0.9 %
200	2.6 %	2.3 %	2.2 %	2.0 %	1.9 %	1.7 %
300	3.8 %	3.5 %	3.2 %	3.0 %	2.8 %	2.6 %
400	5.0 %	4.6 %	4.2 %	3.9 %	3.6 %	3.4 %
500	6.2 %	5.7 %	5.2 %	4.8 %	4.5 %	4.2 %
600	7.4 %	6.7 %	6.2 %	5.8 %	5.4 %	5.0 %
700	8.5 %	7.8 %	7.2 %	6.7 %	6.2 %	5.8 %
800	9.6 %	8.8 %	8.1 %	7.5 %	7.0 %	6.6 %
900	10.6 %	9.8 %	9.0 %	8.4 %	7.8 %	7.4 %
1000	11.7 %	10.7 %	9.9 %	9.2 %	8.6 %	8.1 %

SINTEF har testet densitet, microdeval, Los Angeles verdi og flisighet til SiGS. Det var liten spredning i resultatene fra testene, materialet var kubisk etter behandling og gjorde det godt på alle testene [85]. Resultatene er fremstilt i tabell 3.7. Dette tyder på at SiGS vil fungere godt til forsterkningslag og bærelag, men også som tilslag i asfaltblandinger. Det har fortsatt ikke blitt gjort noe test på mølleverdi som ville gitt indikasjoner på slitestyrken og motstanden mot piggdekkslitasje. SiGS har en høyere densitet enn fast fjell som er på ca. 2,9 tonn/m³. Tettheten til stein/pukk er på rundt 1,4 til 1,7 tonn/m³ [86]. Stein med høyere densitet krever som regel mindre bitumen. Dette skyldes at de har mindre overflateareal som trenger bitumen [87]. SiGSen hadde noe dårlig hefting, det er derfor nødvendig med et tilsetningsstoff. I asfalten med SiGS blir det brukt amin for bedre vedheft. Det er også verdt å merke seg at det ikke skiller ut noe filler ved bruken av SiGS, derfor nødvendig å tilsette en fremmefiller for å oppnå en god asfalt [88].

Tabell 3.7 – Mekaniske testresultater gjort på SiGS [85]

Prøve nr	1	1TT	2	3	3TT	4	5	Snitt SINTEF
Densitet	3,06		2,98	3,00		2,99	3,05	3,02
Micro- Deval	9,5	9,0	12,4	10,9	11,0	9,8	9,5	10,4
Los Angeles	19	18	21	23	21	23	24	22
Flisighet	5		7	6		4	4	5

Det har blitt testet en rekke andre tilslagsmaterialer i asfalt. Flere av disse kommer som slam fra metallproduksjon. Noen eksempler på dette er stålslam og Silica Green Stone. Stålslagg har gode egenskaper mot fragmentering og polering. I noen europeiske land har blandinger med stor andel stålslamtilslag oppfylt asfaltkravene til høytrafikkerte veger [89]. Velasquez et al. (2009) så på bruken av taconitt tilslag i asfalt [90]. Taconitt er en jernholdig sedimentær bergart [91]. Årlig i Minnesota, USA genereres det 125 millioner tonn biprodukt fra taconitt gruvedrift. Denne andelen kan bidra med å dekke det store behovet for steinmasser til bygg- og vegprosjekter. Studien konkluderte med at asfalt med taconitt hadde like gode mekaniske egenskaper som vanlig asfalt, om ikke bedre [90]. Det har også blitt testet tilslag som er basert på andre jordarter som ekspandert leire og fast avfallssand. Resultatene fra testene gjort på tilslagene er lovende og legger et godt grunnlag for videre testing [76]. Bosurgi et al. (2023) har gjennomført en livsløpsanalyse av asfalt med stålslagg. Her har den blitt sammenlignet med en asfalt med basalt tilslag. Resultatene viste til mindre utslipp fra asfalten med stålslagg. Utslippene var omtrent 30 % lavere enn for asfalten med basalt. Stålslagget viste til god LA-verdi på 13. Blandingen bestod av 45 % stålslagg [92]. Mladenovi et al. (2014) så på asfalt med stålslagg opp mot konvensjonell asfalt som viser til en 10 % reduksjon av klimagassutslipp og 20 % for fotokjemisk oksidasjon, havforsuring og eutrofiering. Tilslaget i blandingen bestod av 56 % stålslagg. Dette til tross for at asfaltblandingen med stålslagg hadde et større bitumen- og energibehov enn konvensjonell asfalt. I studien var den funksjonelle enheten satt som 600 m veg (3 cm tykkelse). For å legge dette trengtes det 300 tonn asfalt med stålslagg sammenlignet med 261 tonn konvensjonell asfalt. I analysen var det satt samme transportavstand for

tilslaget. Dersom stålslaget måtte fraktes over 160 km ville utslippet bli høyere for stålslaggasfalten [93].

En annen type tilslag som er blitt forsøkt benyttet er bygge- og rivningsavfall (engelsk: construction and demolition waste CDW). Pascalae et al. (2023) så på bruken av CDW i asfalt. Tilslagsblandingen benyttet i deres asfalt bestod nesten 90 % av betongavfall. Tilslaget i asfaltblandingen bestod 50 % CDW. Resultatene viste til at utslippet for asfalten med CDW var lavere enn for vanlig asfalt. På alle miljøeffektparameterne gjorde CDW-asfalten det bedre. Reduksjonen var derimot ikke drastisk, ettersom at det er bindemiddelet som utgjør størsteparten av utslippet [94]. Bruken av avfalls-, slam og biprodukter som tilslag gir ikke store klimagassbesparelser, men er viktig sett fra et sirkulært økonomisk perspektiv, samtidig som det lar mer natur stå uberørt. Bruken av avfallsprodukter kan også gi store økonomiske gevinster [90].

3.5.2. Asfalt med biobindemiddel

Biobindemiddel i asfalt har blitt et svært aktuelt tema for forskningsprosjekter de siste årene. Dette skyldes miljøfokus i bransjen som ønsker å lage mer miljøvennlig asfalt. Gjennom bruk av biologisk bindemiddel kan man spare mengder bitumen i asfaltblandinger. Espinosa et al. (2023) viser også til at benyttelsen av biobindemiddel muliggjør en enda høyere gjenbruksandel i asfalt uten å gå utover de fysiske egenskapene [95]. Selv om andelen bitumen i asfaltblandingen er liten så utgjør den store deler av det totale utslippet. Colin Loveday fra Tarmac i Storbritannia anslo at bitumen står for 36 % av det totale utslippet ved produksjon av et tonn tradisjonell asfalt [45]. Det er derfor ønskelig å senke det totale bitumen forbruket i asfalt. I Norge i dag er man kritiske til å benytte mer enn 30 % biobindemiddel i blandinger, dette skyldes at man ikke vet nok om kvaliteten til bioasfalt [96]. Når mindre enn 10 % av bitumen er byttet ut med biobindemiddel blir de omtalt som bitumen modifiserte, ved 20-75 % er de bitumenforlengere og ved 100 % er de et direkte alternativt bindemiddel [68]. Biobindemiddel er heller ikke nevnt eller beskrevet i N200, men bindemiddelkravene skal uansett oppfylles [96].

Biobindemidler er en fellesbetegnelse for bindemidler som er basert på biomasse. Biomasse er alle dyr, planter og mikroorganismer som kan absorbere karbondioksid. Biomasser deles inn i tre typer: trefibertyper, avfallsoljer og dyreavføring [97]. Disse igjen kan deles inn i to kategorier: flytende hydrofob biomasse og fast biomasse [68]. For å lage biobindemiddel må den faste biomassen gjøres om til en bio-olje. Dette gjøres gjennom destillasjon, ekstraksjonsoksidasjon og polymermodifikasjon. Når det benyttes biobindemiddel i asfalt får man en bio-asfalt. Biobindemiddel kan enten benyttes som en erstatning for petroleumsbindemidler, som et modifiseringsmiddel til petroleumsasfalt eller som et fortynningsmiddel [97]. De flytende biomassene som inkluderer vegetabiliske oljer og biprodukter som furuharpiks og bek, har i løpet av de siste årene fått mange bruksområder. Dette har ført til større konkurranse og behov for disse produktene til bruk i for eksempel biodiesel eller bioetanol. Ser man til det store forbruket av bitumen, vil det derfor være vanskelig for de flytende biomassene å dekke etterspørselen. Det har derfor blitt skiftet et fokus mot å kunne utnytte de faste biomassene, som hovedsakelig består av biprodukter fra jordbruket og treindustrien [68].

Det har blitt utviklet mange bio-asfalter de siste årene. En av disse er asfalt med lignin. Lignin kommer fra planter og trær. Det er selve bindemiddelet som binder cellulosefiber og andre polysakkarider, slik at det oppstår en vedstruktur. Tørr ved består av 20-40 % lignin [98]. I asfalt blir lignin brukt for å modifisere bitumen slik at det oppnår de ønskede mekaniske egenskapene. Lignin kan brukes i pulver- og fiberform. Zhang et al. (2020) utførte en studie på bruken av både pulver og fiber og kom frem til at lignin bedret motstanden mot spordannelser og termiske sprekkdannelser⁶. Fiberen gjorde asfalten mer stabil, mens pulveret hjalp mer på motstanden mot termiske sprekkdannelser. Generelt bedret ligninpulveret egenskapene til asfalten, mens ligninfiberen kunne gi visse negative effekter. Ligninfiber burde derfor brukes med omhu [99]. De reologiske verdiene ved bruk av lignin som tilsetningsstoff i asfalt ga høyere viskositet og elastisitet. Dette ga større motstand for deformasjon ved høye temperaturer. Asfalt med lignin hadde større grad av gjenoppbygging av kryp etter den var utsatt for last. Bruken av større prosentandel lignin viste derimot en reduksjon i utmattelseslevetiden til asfalten. Ved små tilsetninger var reduksjonen lav [100]. Lignin er et biprodukt fra papirproduksjon, og det samme gjelder tallolje. Det blir riktignok produsert mindre tallolje enn lignin gjennom denne produksjonen [101]. Bruken av tallolje i asfalt har vist til høyere elastiske verdier ved DSR tester. Dette ga grunnlag for god mostand mot spordannelser ved høye temperaturer. Man så også en økning i sprekkmotstand ved alle testtemperaturer. Det var derimot en liten nedgang i mostanden mot tretthetssprekkdannelser ved romtemperatur [102].

Det har også blitt utviklet kreative blandinger som tar i bruk avføring fra dyr. Mills-Beale (2014) så på bruken av griseavføring som modifiserer i asfaltblandinger [103]. I blandingen ble 5 % av bindemiddelet byttet ut med et biobindemiddel laget av griseavføring. Tilsetningen av biobindemidlet førte til en lavere viskositet på bindemiddelet. Man oppnådde også en lavere fasevinkel som tilsier at den er mer elastisk. G^* var derimot lavere for den biomodifiserte asfalten, sammenlignet med den tradisjonelle. Asfalten hadde også god mostand mot spordannelser i høye temperaturer, og sprekkdannelser i lave temperaturer [103]. I tillegg til de nevnte alternative bindemidlene finnes det en rekke andre materialer som har blitt testet i asfaltblandinger. Som for eksempel brukt matolje, bildekk og drueavfall fra vinproduksjon [104], [105], [106]. Weir et al. (2022) har i sin studie samlet resultatene fra en rekke studier gjort på biobindemidler. Tabell 3.8 viser til noen av disse resultatene [68].

⁶ Termiske sprekkdannelser er sprekker som skyldes endringer i temperatur

Tabell 3.8 – Resultater fra testing av forskjellige biobindemidler [68]

Biobindemiddel	Erstatning	Hoved fordel	Hoved ulempe	Kilde
Eik og gummigranulat	100 %	Ingen	Ingen	[107]
Eik og gummigranulat	20 %	Tretthet og fuktskader	Ingen	[108]
Bioråolje av griseavføring	2 %, 5 % og 10 %	Termisk sprekkdannelse, motstand mot aldring og fuktskader og lavtemperatur ytelse	Ingen	[109], [109], [109]
Griseavføring, micanthus pellets, maishalm og tre pellets	10 %	Spordannelser	Aldringsmotstand	[110]
Microalger	100 %	Ingen	Ingen	[111]
Skogsbruk biprodukt	5,7 %	Ingen	Aldringsmotstand	[112]
Avfalls matlagingsolje	10 %, 30 % og 60 %	Reologiske egenskaper og termisk sprekkdannelse	Tretthet- og spordannelse motstand	[113]
Kaffegrut avfall	2-8 %	Ingen	Aldringsmostand	[114]

En livsløpsanalyse (LCA) studie gjort på biomodifisert bindemiddel med 10 % biobindemiddel fra griseavføring så en reduksjon på rundt 7,8 % for globalt oppvarmingspotensial (GWP) sammenlignet med tradisjonelt bindemiddel [115]. Moretti et al. (2022) så på hva bruken av lignin fra lokale produksjonssteder kunne gjøre med utslippet. De kom frem til at bruken av lignin kunne senke utslippet mellom 35-70 % sammenlignet med konvensjonell asfalt. Her var 47 % av bitumen byttet ut med lignin og det var inkludert en utslippsreduksjon i form av gjenbruk etter endt levetid. Per tonn produsert asfalt vil man kunne spare 30 kg CO₂-ekvivalenter ved å benytte biobindemiddel med lignin [116]. Tokede et al. (2020) kom frem til en reduksjon på 5,76 % GWP ved 25 % lignin i blandingen. Her var gjenbruksfasen ikke inkludert [117].

Pratico et al. (2023) så blant annet på en tørrasfalt med resirkulert gummigranulat fra bildekk og et biobindemiddel fra avfalls olivenolje og gummigranulat. I deres resultater kom ikke asfalten med biobindemiddel like godt ut. Her fikk den tradisjonelle asfalten som var SBS⁷ modifisert det laveste utslippet, etterfulgt av tørrasfalten med gummigranulat og til slutt asfalten med biobindemiddel. Dette skyldes stort utslipp og energiforbruk fra produksjonen av biobindemiddelet. Forfatterne legger også vekt på at man ikke kan neglisjere utslippet ettersom man benytter biologisk materiale. Med andre ord er ikke biologisk masse et universalt produkt som kan gjøre enhver bransje grønnere. Bruken av gummigranulat i asfalt kan også gi redusert støy [118]. Tushar et al. (2022) kom frem til at utslippet økte med andelen gummigranulat som ble brukt. For hver femte prosent gummigranulat økte utslippet med cirka 1 kg CO₂-ekvivalenter [119].

⁷ Styren-butadien-styren er en polymer som forbedrer asfaltens egenskaper ved høye og lave temperaturer

3.5.3. Gjenbruks- og gjenvunnet asfalt

Asfalt kan både gjenbrukes og gjenvinnes/resirkuleres. Gjenbruk går ut på å bruke asfalten på nytt eller omforme det slik at det ikke blir kastet. Gjenvinning av asfalt handler om å plukke råvarene ifra hverandre før de settes sammen som et nytt produkt, ofte med nye tilsetninger. Begrepene blir brukt litt om hverandre, men har samme hensikt gjennom å gi asfalten nytt liv. For asfalt er det mest dekkende å bruke gjenvinningsbegrepet [120]. Asfalt er et produkt som kan 100 % gjenvinnes. Vi kan først kalle det gjenbruksasfalt når den asfalten som er returasfalt, altså den som har blitt frest eller fjernet fra sin opprinnelige funksjon har blitt bearbeidet slik at den kan produseres nye dekker av. Denne asfalten blir gjenbrukt, først når den blandes inn i ny asfalt og legges ut som et nytt dekke. Vi kan også si at den blir gjenbrukt hvis den blir brukt istedenfor stein i forsterknings og bærelag. Bruken av gjenbruksasfalt eller returasfalt vil spare på ikke-fornybare ressurser, spare energi og gi et lavere klimagass utslipp. En vil derfor få både økonomiske og miljømessige fordeler ved bruk av gjenbruksasfalt. For å oppnå dette vil det være viktig at man utnytter returasfalten på riktig måte. Dersom man klarer dette vil man få et sluttprodukt som er av samme eller bedre kvalitet enn ved bruken av nye materialer [121].

Gjenbruksasfalt kan bli produsert på asfaltfabrikker med gjenbruksandeler på 80-100 %, men det er mer vanlig med verdier mellom 20-80 %. Det er viktig å merke seg at gjenbruksasfalten krever at det blir tilsatt bindemiddel. Fordelen er at det vil kreve mindre bindemiddel enn det som hadde vært nødvendig ved bruk av nye materialer [121]. I 2016 ble mindre enn 20 % av returasfalten brukt som råvare i ny asfaltproduksjon i Norge [122]. I 2021 var gjennomsnitts bruken av gjenvunnet asfalt på 7 % i Norge [123].

Det finnes flere registrerte mellomlagre og mottak for gjenbruksasfalt. Et mellomlager er et godkjent sted for midlertidig lagring av gjenbruksasfalt. Der kan det lagres i maksimalt tre år før det må bearbeides til en byggevare [121]. Gjenbruksasfalten må bearbeides for at den skal kunne brukes videre i nye veger. Hvis den ikke blir bearbeidet og ikke inneholder tjærestoffer eller andre forurensninger, blir denne asfalten sett på som ordinært avfall. Det stilles en rekke krav til de ulike mellomlagrene, alle lagrene må blant annet følge forurensningsforskriften og avfallsforskriften. Dette er på grunn av miljøkonsekvensene som kan forekomme ved en eventuell lekkasje av asfaltmassene [90], [124].

I N200 stilles det krav til resirkulert asfalt (RA) og gjenbruksasfalt (Gja). RA skal følge kravene gitt i egen standard (NS-EN 13108-8). Standarden inneholder blant annet maks krav til fremmedstoffer og fysiske egenskaper. I blandinger med polymermodifisert bitumen (PMB) skal det maks tilsettes 10 % resirkulert asfalt, uansett bruk. Generelt for varmbladet asfalt skal det ved bruk av mer enn 10 % resirkulert asfalt i slitelag eller mer enn 20 % i bindelag, opprettingslag og bærelag, deklarerer med hensyn til forurensninger og det skal gjennomføres mottakskontroll. Gjenbruksasfalt benyttes primært som bærelag, men kan brukes som slitelag på lavt trafikkerte veger under 300 ÅDT. Ved bruk av gjenbruksasfalt stilles det krav til dokumentasjon av sammensetning, korngradering og at det skal komprimeres umiddelbart etter utlegging [34].

European Asphalt Pavement Association sin rapport "Asphalt the 100 % recyclable construction product" viser ulike tall på hvor mye man kan spare i CO₂-utslipp ved bruk av resirkulert asfalt. Man

får mindre avfall ved å bruke asfalten på nytt, men ved bruk av 10 % resirkulert asfalt vil man spare 4 % CO₂-utslipp. Ved 50 % resirkulert asfalt vil man spare 20 % av CO₂-utslippet [125]. Disse fordelene er mulig å utnytte i større grad da asfalten kan bli brukt om og om igjen uten at den mister de kvalitetene som materialene besitter.

Det finnes mange livsløpsanalyser om bruken av gjenbruksasfalt. Det som er viktig når man leser og bruker disse tallene, er å være klar over de forskjellige forutsetningene i disse analysene. Hvis man er klar over dette er tallene gode å bruke. Studiene kan variere mellom å legge til gjenbruksfasen i produksjonsfasen, etter endt levetid eller begge deler. En LCA analyse fra University Of Illinois har sett på miljøpåvirkningene ved ulike andeler av gjenbruksasfalt. Her kommer de frem til en reduksjon på 21,8 % drivhusgasser ved en gjenbruksandel på 60 % [126]. Disse tallene er tilpasset Illinois som kan gjøre at de skiller seg noe fra resultatene i oppgaven. Nicuta et al. (2011) presenterer en casestudie med to alternativer. Alternativ 1 er å bygge en helt ny veg. Alternativ 2 er å rehabilitere vegen med samme struktur som ved alternativ 1, men den skal lages av gjenvinnende materialer. Når alternativ 2 bestod av 75 % gjenvinnende materialer var konklusjonen at det var mulig å spare 40 % av CO₂-utslippet ved den aktuelle casen [127]. Chiu et al. (2007) har gjort en LCA på bruken av resirkulerte materialer for rehabilitering av asfalt. Gjenvunnet varmblandet asfalt, asfaltgummi og glassasfalt ble sammenlignet med tradisjonell varmebehandlet asfalt. I et livsløp på 6 år vil man spare 23 % øko-belastning ved bruk av gjenbruksasfalt. Asfaltgummi vil øke øko-belastningen med 16 %. Den vil holde seg på omtrentlig samme nivå ved bruk av glassasfalt. Det kommer frem ved et livsløp på 40 år så reduserer både gjenbruksasfalten og asfaltgummien øko-belastningen med 23 %. I dette scenarioet vil glassasfalten øke belastningen med 19 %, den er da altså verre en tradisjonell asfalt. Artikkelen kommer frem til at de to store utslippspostene er fra bindemiddelet og oppvarmingen av tilslaget. Det blir derfor pekt på at den mest effektive metoden å redusere utslippet på kan være ved å senke varmekravet til tilslaget. Øko-belastnings parameteret kommer fra Eco-indicator 99 som er brukt i artikkelen og er et mål på klimabelastningen [128].

Avslutningsvis vil tabell 3.9 oppsummere noen av hovedfunnene for et utvalg av miljøasfaltene. Utslippene er sammenlignet med tradisjonell varmblandet asfalt. Resultatene baserer seg på utvalgt litteratur benyttet i denne kunnskapsbakgrunnen.

Tabell 3.9 – Oppsummering av hovedfunn for miljøasfalter

Miljøasfalter				
Tiltak	Erstatning	Fordeler	Ulemper	Utslipp
Benytt SiGS som tilslag i asfalt	Bytte ut 50-100 % av tilslaget i asfalt med SiGS	Mindre behov for jomfruelige materialer, sirkulær økonomisk, gode mekaniske egenskaper	Større usikkerhet, dårlig motstand mot piggdekk og ingen egenfiller	
Benytte stålslag som tilslag i asfalt	Erstatte 45 % av tilslaget med stålslag	Gode mekaniske egenskaper, sirkulær økonomisk		30 % mindre utslipp enn ved bruk av basalt
	Erstatte 56 % av tilslaget med stålslag			10 % reduksjon
Gjenbruksasfalt opp mot 100 %	10 % gjenbruk	Senker bruken av jomfruelige materialer, sirkulær økonomisk	Mer variasjon i kvalitet, strengere krav	4 % reduksjon
	50 % gjenbruk			20 % reduksjon
	60 % gjenbruk			21,8 % reduksjon
	75 % gjenbruk			40 % reduksjon
Benytte biobindemiddel av tallolje		Mer elastisk, motstand mot termiske sprekke- og spordannelser, sirkulær økonomisk	Tretthets-sprekkdannelser, stor etterspørsel	
Biobindemiddel av griseavføring	Erstatter 10 % av bindemiddel	Lavere viskositet, motstand mot termiske sprekke- og spordannelser, sirkulær økonomisk	Aldrings-motstand	7,8 % reduksjon
Biobindemiddel av lignin	Erstatter 47 % av bindemiddel	Høy viskositet og elastisitet, motstand mot høy temperatur deformasjon, sirkulær økonomisk	Dårligere levetid	35-70 % reduksjon dersom man inkluderer gjenbruksfase
	Erstatter 25 % av bindemiddel			5,76 % reduksjon
Bindemiddel av gummigranulat	Erstattet bitumen med bindemiddel av bla gummigranulat	Mindre støy, sirkulær økonomisk		Ga noe høyere utslipp
	Erstattet bitumen med 5, 10, 15 og 20 % gummigranulat			Økt utslipp på ca. 0,2 kg CO ₂ e per prosent brukt gummigranulat

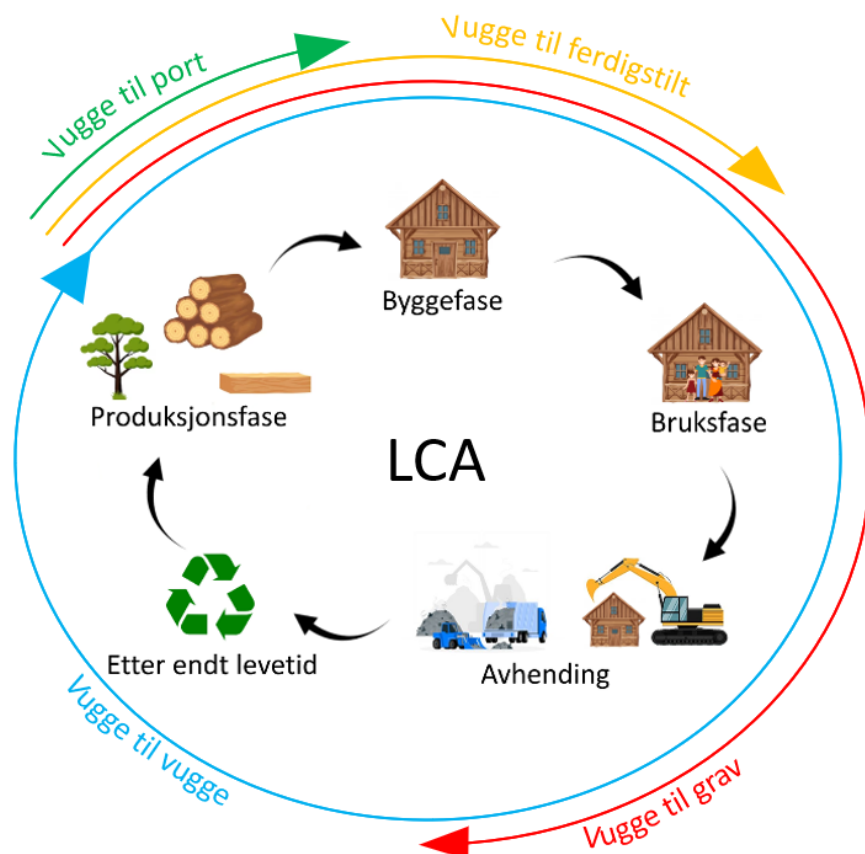
3.6. Livsløpsanalyse

Livsløpsanalyse er en metode for å analysere miljøpåvirkningen til produkter og tjenester. Det blir ofte brukt forkortelsen LCA som står for Life Cycle Assessment. I en LCA analyse følger man et produkt eller tjeneste fra det som kalles «Vugge» til «Grav». Dette betyr at man følger produktet fra råmaterialutvinning, igjennom produksjon, bruk og helt til produktet avhendes [129]. Disse fasene kalles ofte produksjonsfase, byggefase, bruksfase og avhendingsfase. Dersom produktet blir gjenvunnet, gjenbrukt eller resirkulert kan man legge til en ekstra fase, etter endt levetid. Innenfor de forskjellige fasene er det underfaser. Relevansen av disse kan variere fra produkt til produkt og vil derfor ikke inkluderes i alle analyser. En oversikt over hvilke faser et produkt kan gå igjennom er vist i tabell 3.10.

Tabell 3.10 – Livløpsfasene [130]

Produksjonsfase	A1	Råmaterialer – Utvinning og bearbeidelse
	A2	Transport av materialer til produksjonssted
	A3	Produksjon
Byggefase	A4	Transport til byggeplass
	A5	Bygging/bearbeidelse
Bruksfase	B1	Bruk
	B2	Vedlikehold
	B3	Reparasjoner
	B4	Erstatninger
	B5	Renovering
	B6	Driftsenergi
	B7	Vannforbruk
Avhending	C1	Demontering
	C2	Transport
	C3	Avfallsbehandling
	C4	Avfall til sluttbehandling
Etter endt levetid	D	Gjenbruk/gjenvinning/resirkulering/potensiale

Dersom livsløpsanalysen går fra starten av produksjonsfasen til det er ferdig som et produkt blir det kalt for «Vugge» til «Port». Dette kan forklares gjennom et tre som bli hugget ned og omgjort til planker, klare for bruk i byggefasen. Dersom man inkluderer Byggefase kalles det fra «Vugge» til «Ferdigstilt». Her er produktet blitt ferdigstilt og er klart for bruk. Etter produktet er blitt brukt og deretter demontert, sortert og kastet, blir analysen kalt for en «Vugge» til «Grav» analyse. Dersom produktet etter endt levetid blir gjenbrukt, resirkulert eller gjenvunnet kaller man det fra «Vugge» til «Vugge». Her vil produktet kunne gå igjennom hele livsløpet igjen og igjen. Helt frem til det blir brukt til energi eller kastet for godt. [131] Prosessene er fremstilt i figur 3.10.



Figur 3.10 – Produktets livsløp [egenprodusert]

Gjennomføringen av en livsløpsanalyse går gjennom fire faser som beskrevet i NS14040 [132].

1. Fastsettelse av hensikten og omfanget
2. Livsløpsregnskapsfasen
3. Livsløpseffektvurderingsfasen
4. Tolkningsfasen

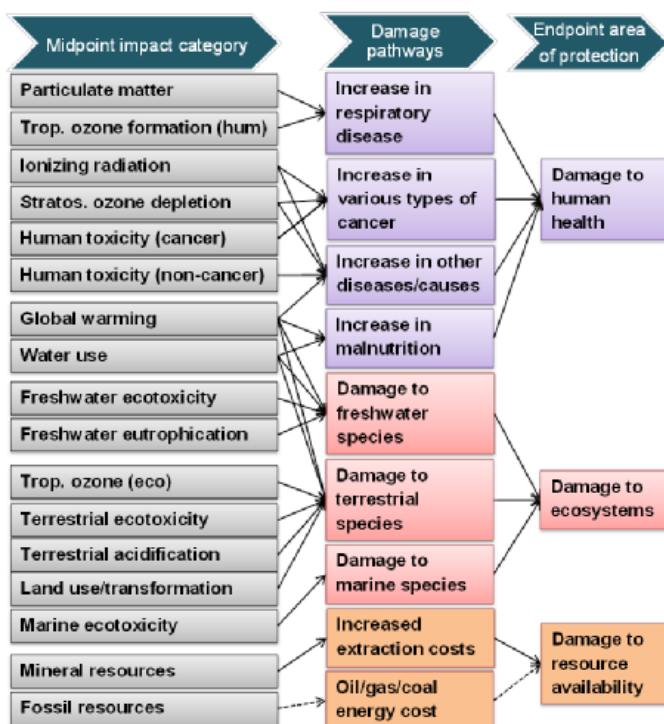
Første fase: fastsettelse av hensikten og omfanget. Her skal det defineres omfanget av livsløpsanalysen, definering av systemgrenser og detaljeringsnivå. Hensikten og omfanget av LCA studien avhenger av hvilket emnet som er valgt og den tiltenkte bruken av studien. Hvor dypt og bredt man går kan også være avhengig av hensikten med LCA studien [132].

Andre fase: Livsløpsregnskapsfasen, her skal det lages et regnskap over inngangsdata og utgangsdata fra det systemet som skal studeres. Denne fasen er preget av innsamling av all data som er nødvendig for å tilfredsstille hensikten med den aktuelle studien [132].

Tredje fase: livsløpseffektvurderingsfasen går ut på å se på miljøpåvirkningene av systemet. Her er det vanlig å koble opp livsløpsregnskapsdata mot miljøpåvirkningskategorier og kategoriindikatorer. Formålet med denne fasen er å gi ytterligere informasjon for å hjelpe til å vurdere et produktsystems livsløpsregnskap (LCI) resultater, slik at man bedre kan forstå den miljømessige betydningen av resultatene [132].

Fjerde fase: Tolkingsfasen eller livsløpstolkning er den fjerde og siste fasen av LCA-studiet. Her blir det laget et sammendrag av resultatene fra de foregående fasene. Deretter blir de diskutert slik at de danner et grunnlag for konklusjoner, anbefalinger og beslutninger i samsvar med hensikten og omfanget for studien [132].

Når man gjennomfører en LCA studie er livssyklusen til produktet tilkoblet et stort antall forskjellige utslipp av miljøstoffer og bruk av ressurser. Life cycle impact assessment (LCIA) hjelper å tolke disse forskjellige utslippene fra LCA studien ved å «oversette» de til forskjellige miljøpåvirknings tall. Dette blir gjort ved hjelp av karakteriseringsfaktorer. Karakteriseringsfaktorene angir miljøbelastningen til hver måleenhet, slik som per kilogram ressurs brukt eller kilogram utslipp frigitt [133]. Det er to vanlig måter å utrede karakteriserings faktorene på: midpoint eller endpoint. Endpoint ser på tre områder: mennesker helse, økosystemkvalitet og ressurs knapphet. Disse tre områdene er mer overordnet enn de for midpoint, da de fokuserer mer på påvirkningen fra miljøutslippet og konsekvensene av dette. Midpoint ser på de enkelte miljøproblemene fremfor konsekvensene fra dem, slik som ved endpoint. Midpoint vil derfor ha mindre usikkerhet enn endpoint [133]. En oversikt over karakteriseringsfaktorene, midpoint og endpoint kan ses i figur 3.11.



Figur 3.11 – Miljøkategorier ReCiPe 2016 [133]

En av de mest brukte parameterne for miljøpåvirkning i LCA er «Global Warming Potential (GWP)». GWP er en fellesenhet som ble utviklet slik at man kunne samle effekten fra forskjellige gasser. GWP blir målt som CO₂, hvor andre gasser blir omregnet til CO₂ gjennom effekt faktorer [134]. Enheten CO₂-ekvivalenter blir derfor ofte brukt som en fellesbetegnelse på GWP. Eksempler på noen andre miljøpåvirkningskategorier er nedbryting av stratosfærisk ozon (ODP) og fotokjemisk oksidasjon (POCP) [135].

Allokering er et begrep brukt i LCA som betyr å fordele inngangsstrømmene til eller utgangsstrømmene fra en prosess eller et produktsystem mellom det systemet man undersøker og et eller flere andre systemer [132]. Dette gjøres for å sikre at miljøpåvirkningene til prosessen eller produktsystemet blir rettferdig fordelt mellom de forskjellige produktene eller prosessene man evaluerer. Da vil man kunne få et mer nøyaktig bilde av deres miljøpåvirkning. Fra ISO 14040 kan man lese at man skal unngå allokering hvis mulig og at dette kan gjøres ved å utvide systemgrensene [132]. Dersom allokering ikke kan unngås finnes det tre typer allokering: masseallokering, økonomiskallokering og energiallokering. Man skal først prøve å allokere etter en fysisk relasjon, hvis dette ikke går skal man gå videre til andre forhold, slik som: økonomiske, energi, masse, osv [136].

3.7. Sirkulær økonomi

Sirkulær økonomi er en modell for produksjon og forbruk. Målet med sirkulær økonomi er å forlenge livsløpet til produkter og materialer. Den skiller seg fra den tradisjonelle lineære økonomiske modellen som går ut på «ta, bruk og kast» prinsippet [137]. Gjennom å benytte materialer og produkter flere ganger blir behovet for å ta ut nye ressurser mindre, noe som er viktig for naturressursene som er under stort press [138]. For å oppnå sirkulær økonomi er en huskeregel å følge 10 punkter som alle starter på r: Refuse, rethink, reduce, reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recycle and recover as energy. Disse er med på å sørge for at man får mest mulig ut av produktet før det må i verste fall kastes [139].

Sirkulær økonomi bygger på tre hovedprinsipper: eliminering av avfall og forurensning, sirkulære produkter og materialer, og regenerere natur [140]. Prinsippet om eliminering av avfall og forurensning handler om hvordan systemet i dag går ut på «ta, bruk og kast» prinsippet der årsaken og løsningen til problemet begynner med hvordan systemet er designet. Det finnes en rekke produkter som etter at de er brukt ender opp som avfall. De kan ikke bli gjenbrukt eller resirkulert. Dette kommer av at produktene er designet slik at avfallsposten er en del av systemet. Det er her mange problemer oppstår, men også noe av løsningen. Avfall er ikke en post som er nødvendig å ha i livssyklusen til et produkt, det er noe som har blitt designet inn av mennesker. I naturen er det ikke noe avfall. Ved en endring i tankegang om design vil man kunne skape produkter som ved endt livsløp, vil kunne entre produksyklusen på ny som materialer for andre produkter og da skape et sirkulært livsløp fremfor det lineære livsløpet [141].

Prinsippet om sirkulære produkter og materialer handler om å sirkulere produkter og materialer slik at man maksimerer verdien. Dette betyr at man skal holde materialet i bruk som et produkt og når det ikke kan brukes lenger så blir det komponenter eller råmateriale til andre produkter. På denne måten taper man ikke materialer til avfall [142].

Det siste prinsippet handler om regenerering av naturen. Ved bruk av sirkulær økonomi prinsipper vil man kunne gi mer rom til naturen og minke påkjenningen på ressursene. Man får da muligheten til å gjenopprette de naturlige ressursene og man kan da begynne å drifte disse på en mer bærekraftig måte [143].

Disse tre begrepene og huskereglene er med på å bygge opp under det som menes med sirkulær økonomi og hva man burde gjøre for å få det til å fungere. Det vil være kritisk for videre utvikling av byggebransjen å få innført tiltak som fremmer sirkulær økonomi for å kunne å møte kravene som er satt i Parisavtalen.

Det er klart at vegindustrien har begynt å forstå viktigheten med sirkulær økonomi når den beveger seg mot stadig flere sirkulæreløsninger, slik som ved den økte bruken av gjenbruksasfalt. Det har blitt utført flere studier på sirkulær økonomi innenfor vegbygging. Mantalovas et al. (2020) har sett på hvordan Europeiske vegmyndigheter jobber med sirkulær økonomi [144]. Der kommer det frem at de fleste er kjent med begrepet sirkulær økonomi, men ikke godt nok. De har heller ikke iverksatt nok konkrete tiltak for å bevege seg mot en mer sirkulær bransje. Det kommer også frem at det er en mangel på ekspertise og kommunikasjon om sirkulær økonomi innenfor de forskjellige vegmyndighetene. Studien har blitt utført ved hjelp av en spørreundersøkelse og et nettsøk for å undersøke hvordan vegmyndighetene kommuniserte sin SØ-praksis på [144]. Artikkelen fra Liu et al. (2024) har gjort en historisk gjennomgang av utviklingen fra en lineær økonomisk til en mer sirkulær økonomisk vegbransje [145]. Der har det blitt utført en litteraturstudie basert på 59 studier fra 2006 til 2022. Det kommer frem av studien at ting som en underutviklet tekniskhåndbok og lover og reguleringer er med på å hemme skiftet til en sirkulær økonomi. De argumenterer også for viktigheten av å være transparente og ha standardisert data langs hele forsyningskjeden. Til slutt blir det foreslått at et innbydende miljø satt av vegmyndighetene selv vil være avgjørende for å tilrettelegge for innovasjon og entreprenørskap. Samt det å bygge et system der interessenter trygt kan ta ansvar og initiativ [145].

3.8. Innovasjon

Definisjonen av innovasjon som er brukt i oppgaven er hentet fra Digdir [146]:

«Innovasjon er å fornye eller lage noe nytt som skaper verdi for virksomhet, samfunn eller innbyggere. Formen er eksperimenterende og løsningen er ikke kjent på forhånd»

I fremtiden må den offentlige sektoren levere bedre tjenester for færre kroner, på grunn av strammere økonomiske rammer og samfunnsendringer, da vil innovasjon være avgjørende [147]. Stortingsmeldingen: «En innovativ offentlig sektor» (2020) legger frem tre prinsipper for å fremme innovasjon i norsk offentlig sektor [148]:

- Politikere og offentlige myndigheter må gi handlingsrom og insentiver til å innovere.
- Ledere må utvikle kultur og kompetanse for innovasjon, der man har mot til å tenke nytt og lære av feil og suksesser.
- Offentlige virksomheter må søke nye former for samarbeid.

Disse tre prinsippene er viktige pekepinner for å få til innovasjon i offentlige bransjer, slik som i bygg- og anleggsbransjen. Stortingsmeldingen trekker også frem eksempler på arbeidsmetoder som kan være med på å fremme innovasjon. Noen av de som blir trekket frem er design, klart språk og digital kompetanse [148]. Riktig kompetanse vil være viktig slik at den offentlige sektoren kan innovere og

omstille seg. Kunnskap om både hvilken kompetanse som trengs i den enkelte virksomheten, og når den er nyttig trengs [147].

Man kan si at innovasjon går igjennom 7 trinn etter en modell fra Nesta [149]. Disse går fra identifiseringen av en mulighet eller utfordring helt til der man har tatt den nye ideen i bruk og endrer systemet rundt denne nye ideen i hele organisasjonen. Figur 3.12 viser alle de 7 stegene som er viktige å være bevisste på. I starten skal man skape en arena for å identifisere muligheter og utfordringer, og gjøre seg kjent med disse. Så skal man komme med ideer som kan løse disse, disse ideene skal så testes og forbedres. Steg 5-7 går på å implementere den nye løsningen, skalere den og så få hele organisasjonen til å endre seg [150].



Figur 3.12 – De syv innovasjonstrinnene [150]

Statelige aktører, slik som Statens Vegvesen og Statsbygg er i en særegen posisjon for å drive innovasjonen videre i Norge. Dette kommer av at de er mindre konkurranseutsatt enn private aktører, som gjør det lettere å etablere tverrfaglige arenaer for samarbeid slik at nye løsninger kan bli utviklet. Erfaringer hentet fra Statsbygg sier at de offentlige byggherrene må ta ansvar og være drivere av innovasjon [150]. Statens Vegvesen sin N200:2024 vil bidra med tilrettelegging for nye løsninger når den åpner for mer bruk av gjenbruksmaterialer og slagg [151].

Gambatese et al. (2011) skriver om hvordan man kan tilrettelegge for innovasjon i anleggsbransjen. Her ble det sett på hvilke faktorer som var avgjørende for innovasjon og hvordan dette kunne måles. Dette ble utført via en litteraturstudie og casestudie av byggeprosjekter både ferdige prosjekter og noen som var underveis i byggingen. Artikkelen kommer frem til at faktorer som fremmer innovasjon er: støtte fra ledelsen, god kommunikasjon innad i firmaet og en overlapping av design- og konstruksjonsfaser. Disse har også blitt identifisert i tidligere forskning. Barrierer mot innovasjon som ble funnet var: mangel på ressurser, lav avkastning på investeringer, strenge forskrifter og regler og motvilje mot risiko/endring. Det ble funnet at miljøet og kulturen innad i prosjektene og firmaene vil

påvirke disse faktorene i stor grad, men det som kom fram som den aller viktigste enkeltfaktoren var eieren/kundens engasjement for innovasjon og utvikling [152].

4. Forskerspørsmål

Det er ca. 100 000 km med veg i Norge, og Statens Vegvesen mener det vil være behov for opp mot 2500 km til frem mot 2050 [9]. Veger er helt avgjørende for infrastrukturen i Norge og er ikke mulig å erstatte. Vegnettet vil også kreve vedlikehold, derfor vil det være helt nødvendig å tenke miljøvennlig. Med bakgrunn i dette er forskerspørsmålet for oppgaven:

Hvordan kan bruken av miljøvennlige alternativer i asfalt gi reduserte klimagassutslipp?

Med underspørsmål:

- Hvordan kan materialvalg gjøre asfaltproduksjon mer sirkulær økonomisk?
- Hvordan kan det oppnås økt bruk og utvikling av miljøvennlig innovasjon innen asfaltbransjen?

4.1. Avgrensninger

Temaene for oppgaven er svært omfattende. Det er derfor blitt satt noen avgrensninger som avgrenser omfanget av oppgaven, disse er som følger:

- Studien omfatter asfalt benyttet til slitelag
- LCA analysen omfatter tre miljøasfalter og en tradisjonell asfalt.
- Det tas ikke høyde for forventet levealder i LCA analysen.
- Det er blitt benyttet samme produksjonsprosess, byggefase og avhending for alle asfaltene.
- Opphavssteder og transportdistanser er basert på antagelser.
- Det er ikke godt i dybden på gjenvinning av de forskjellige asfalttypene. Dette skyldes begrenset med informasjon.
- Spørreundersøkelsen ble bare sendt ut til personer som jobber direkte med asfalt.
- Begrepene resirkulert asfalt (RA) og gjenbruks asfalt (Gja) er begreper som blir brukt om hverandre. Det som blir kalt for gjenbruks asfalt i kunnskapsbakgrunn og analysen ligner mer på det som blir kalt resirkulert asfalt i N200. for å unngå uklarheter er det kun gjenbruks asfalt begrepet som blir brukt i oppgaven.

5. Case og materialer

Casen for oppgaven vår er å produsere et tonn asfalt som skal legges i Grimstad. Asfalten skal produseres på Omre i Grimstad kommune. I oppgaven skal tre miljøasfalter og en tradisjonell asfalt analyseres. Utgangspunktet for valget av miljøasfalter var Grønn Plattform prosjektet: Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging (BV-prosjektet). Dette forskningsprosjektet har sett på flere forskjellige «grønne» løsninger for å redusere utslippet som kommer fra byggefasen til vegprosjekter. Noen forslag til løsninger for dette var såkalte miljøasfalter, altså asfalter som etterlater seg et mindre klimaavtrykk en tradisjonell asfalt. De aktuelle miljøasfaltene for oppgaven var gjenbruksasfalt, biobasert asfalt og asfalt med SiGS. Alle asfaltene er laget for bruk på vegger med ÅDT < 1500 eller definert som en Agb11 asfalt.

5.1. Tradisjonell asfalt

Det har blitt hentet inn en oppskrift fra Veldes Agb11 asfalt. Denne er hentet fra produktets EPD [153]. Asfalten benytter Amin, CAS Nr. 68910-93-0 som vedheftingsmiddel. Det finnes mange leverandører av Agb11 asfalt, men valget falt på Veldes ettersom de er inkludert i BV-prosjektet. Tabell 5.1. viser til oppskriften.

Tabell 5.1 – Oppskrift 1 tonn Agb11 tradisjonell asfalt

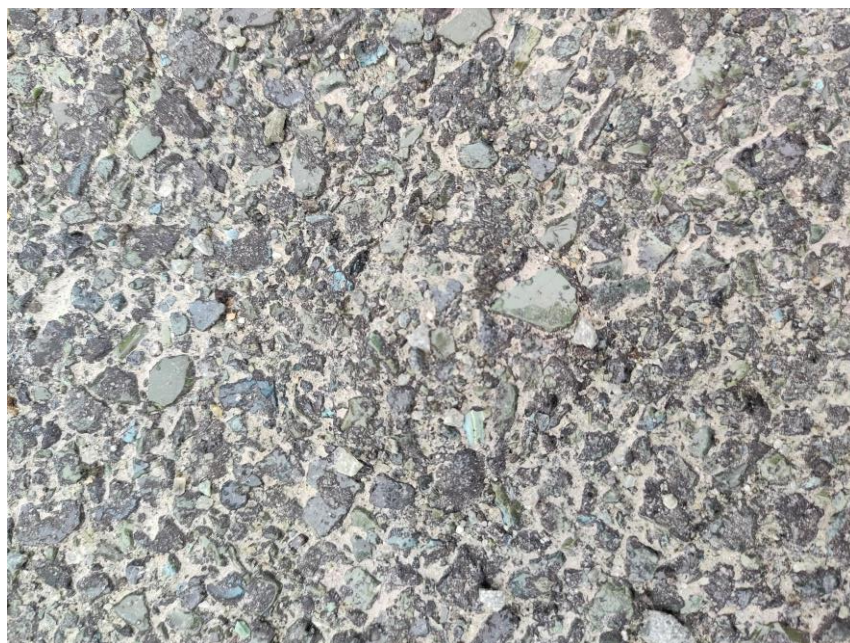
1 tonn Agb11 velde asfalt 160/220 standard		
Materialer	kg	%
Vedheftingsmiddel	0,17	0,017
Bitumen	57,83	5,783
Tilslag	942	94,2
Totalt	1000	100

5.2. SiGS-asfalt

Oppskriften på SiGS har blitt utviklet basert på faglige antagelser. Det er på grunn av bedriften som produserer asfalt med SiGS tilslag, ikke ønsker å publisere sin oppskrift på dette tidspunktet. Oppskriften er laget med 50 % av tilslaget bestående av SiGS. Dette har vært testet med suksess på veger med mindre enn 1500 ÅDT. Resterende av blandingen er gjort på grunnlag av krav til filler i N200 og for å oppnå en tilfredsstillende filler til bitumen forhold. Tilsetningen av filler kommer av at SiGS ikke produserer noe egenfiller. Vedheftingsmidlet som er benyttet er amin. Dette på grunnlag av samtale med bedrift [88]. Tabell 5.2 viser til oppskriften.

Tabell 5.2 – Oppskrift 1 tonn Agb11 asfalt med SiGS

1 tonn Agb11 asfalt med 50 % SiGS		
Materialer	kg	%
SiGS	472,9	47,29
Tilslag	437,9	43,79
Kalkfiller	35	3,5
Bitumen	54	5,4
Vedheftingsmiddel	0,2	0,02
Totalt	1000	100



Figur 5.1 – Asfalt med SiGS tilslag [privat]

5.3. Talloljeasfalt

For den biobaserte asfalten har det blitt brukt en asfalt som bruker tallolje som erstatning for deler av bindemiddelet. Denne oppskriften inneholder 28 % tallolje som en del av bindemiddelet. Oppskriften har blitt levert av Statens Vegvesen [154]. Vedheftingsmiddelet Wetfix BE ble benyttet. Tabell 5.3 viser til oppskriften.

Tabell 5.3 – Oppskrift 1 tonn Agb11 asfalt med tallolje

1 tonn Agb11 asfalt med tallolje		
Materialer	kg	%
Tallolje	16,2	1,62
Vedheftingsmiddel	0,23	0,023
Bitumen	43,8	4,38
Tilslag	939,77	93,977
Totalt	1000	100

5.4. Gjenbruksasfalt

Gjenbruksasfalten som er brukt i oppgaven har blitt laget med utgangspunkt i teori og samtale med Feiring Bruk [155]. Ut fra denne samtalen og teorien har det blitt laget et eksempel på en gjenbruksasfalt med 40 % gjenbruk. Asfalten er en gjenbruks Agb11 asfalt. Det antas bruk av amin som vedheftingsmiddel. Tabell 5.4 viser til oppskriften.

Tabell 5.4 – Oppskrift 1 tonn Agb11 40 % gjenbruksasfalt

1 tonn Agb11 40 % gjenbruksasfalt		
Materialer	kg	%
Gjenbrukt bitumen	16	1,6
Gjenbrukt tilslag	384	38,4
Bitumen	38	3,8
Tilslag	560,3	56,03
Vedheftingsmiddel	0,17	0,017
Totalt	1000	100

6. Metode

I metodedelen vil det beskrives hvordan oppgaven er blitt gjennomført. Det vil forklares de brukte metodene, hvordan datainnsamlingen har foregått og hvilke verktøy som er blitt benyttet. Metoden vil bli tydelig beskrevet, slik at den kan etterprøves.

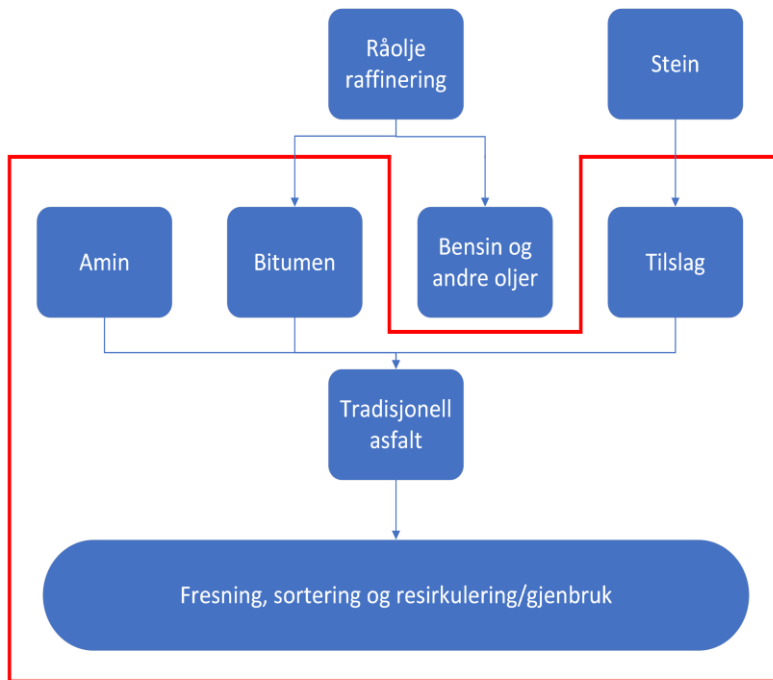
6.1. Livsløpsanalyse (LCA)

6.1.1. Hensikt og omfang

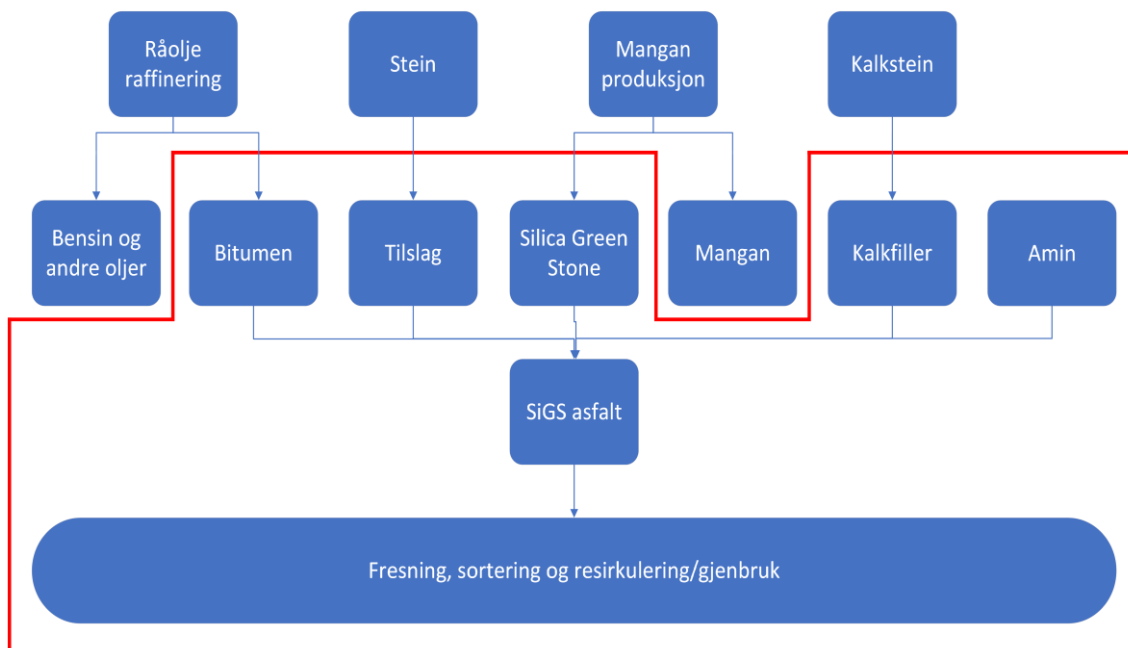
Denne studien vil finne sted i Norge og der det er mulig vil det benyttes norske tall for de forskjellige prosessene. BA-bransjen blir presset for å få ned utslippene tilknyttet bransjen, som fører til at det skapes nye løsninger for å svare på de nye utfordringene som har dukket opp. For veg- og asfaltbransjen betyr dette at det har blitt viktig med såkalte «miljøasfalter» dette er som skrevet i kapittel 3.5 et samlebegrep for asfalter som har som mål å etterlate seg et mindre klimafotavtrykk enn tradisjonell asfalt. Hensikten til studien har derfor vært å sammenligne utslippene til disse miljøasfaltene med den tradisjonelle asfalten. Både for å se forskjellene på de ulike miljøasfaltene og hvor mye bedre klimafotavtrykket til disse er, hvis noe. Resultatene fra denne analysen vil være relevante og viktige for de som jobber i både byggebransjen og asfaltbransjen.

De ulike typene miljøasfalt som skal sammenlignes er en biobasert asfalt, gjenbruksasfalt og en asfalt med SiGS som tilslag. Den biobaserte asfalten bruker tallolje for å erstatte deler av bitumenet som bindemiddel. Videre så består den av tilslag og vedheftningsmiddel. Gjenbruksasfalten skal bestå av 40 % gjenbrukt asfalt, med dette mener man at 40 % av materialene som er brukt i asfalten er gjenbrukt og kommer fra frest veg eller lignende. Den skal også inneholde vedheftningsmiddel. Sammenligningen av de ulike typene vil bli gjort ved hjelp av en funksjonell enhet. Den funksjonelle enheten som er valgt for denne oppgaven er 1 tonn asfalt, denne enheten er valgt fordi den gjør det mulig å sammenligne de forskjellige typene asfalt på et rettferdig grunnlag. Dette vil gjøre det lettere å trekke gode konklusjoner fra resultatene av analysen.

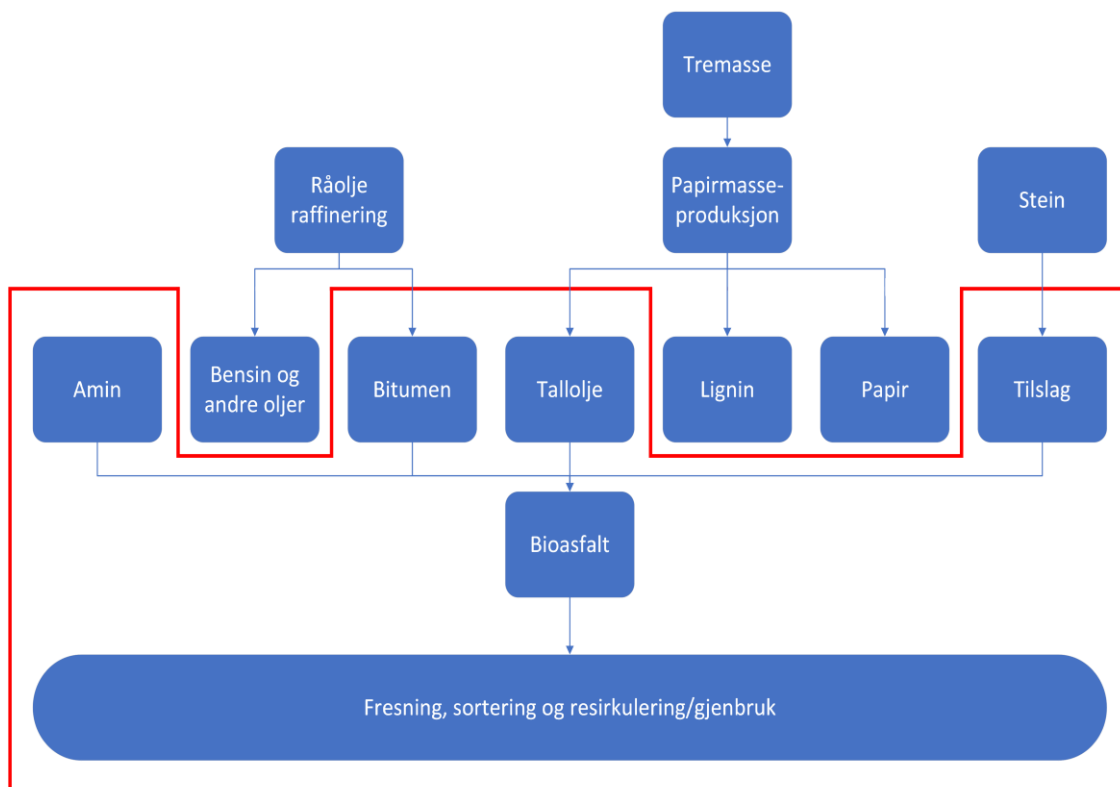
For å klare å få en oversikt over alle prosessene i livssyklusen til de ulike asfalttypene er det laget en inventarliste og et flytskjema for hver av de forskjellige typene asfalt. Det er dette flytskjemaet som vil være grunnlaget for arbeidet som vil bli gjort i livsløpsanalysen. Disse er vist i figur 6.1 til 6.4 med tilhørende rød systemgrenselinje.



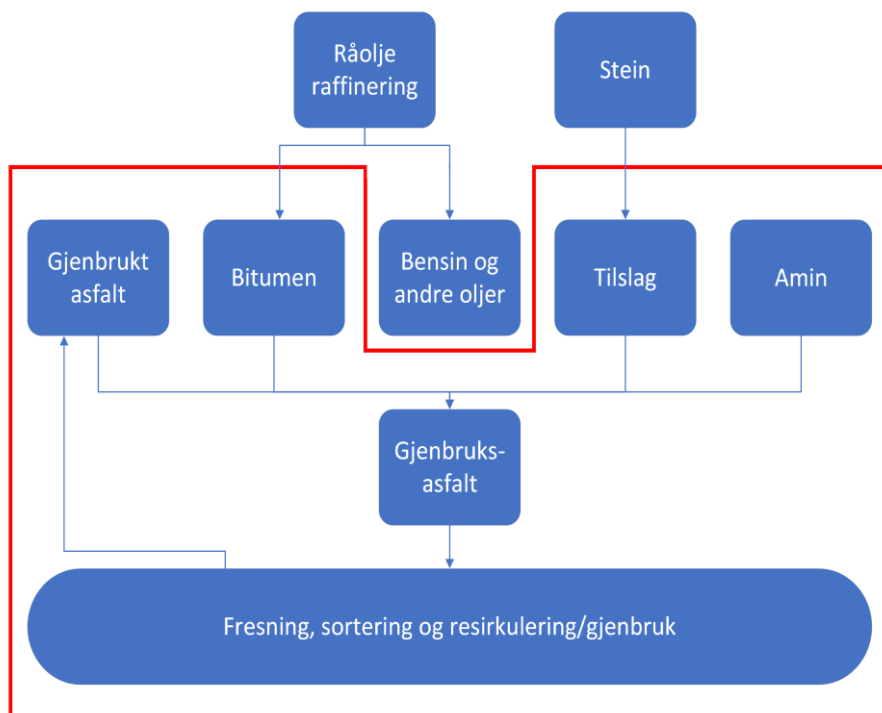
Figur 6.1 – Systemgrenser tradisjonell asfalt



Figur 6.2 – Systemgrenser SiGS-asfalt

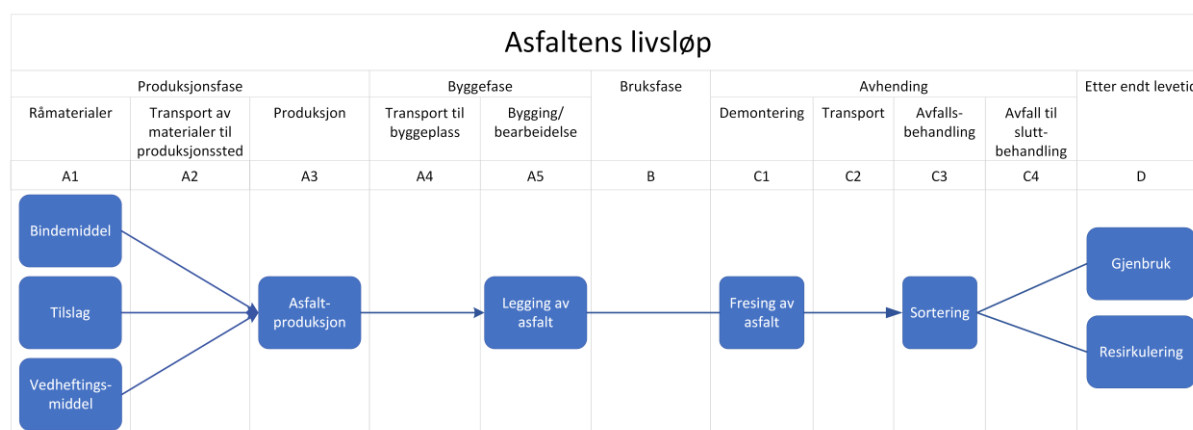


Figur 6.3 – Systemgrenser bioasfalt



Figur 6.4 – Systemgrenser gjenbruksasfalt

Omfanget av studien blir en «vugge-til-grav». Systemgrensene til analysen vil derfor være fra livsløpsfase A1- A5 og C1-C3. De største forskjellene mellom produktene vil ligge i A1-A3 så disse vil være viktig å få med. D fasen representerer gjenbruk og resirkulering. For gjenbruksasfalten vil denne fasen være viktig å inkludere. D fasen har derfor blitt lagt inn i A1 fasen for denne asfalten. Dette har blitt gjort for å sørge for at gjenbruksasfalten starter prosessen med riktig utgangspunkt. Slik at utgangspunktet allerede inkluderer gjenbrukt asfalt. En oversikt over asfaltens livsløp er vist i figur 6.5.



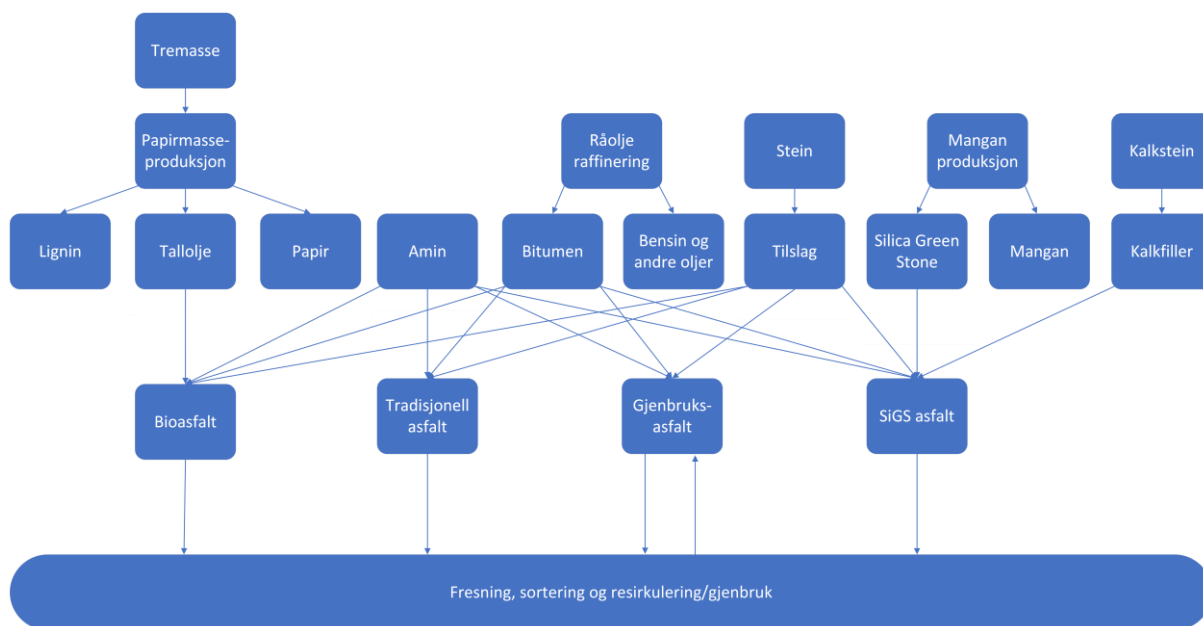
Figur 6.5 – Asfaltens livsløp

Begrensninger og forutsetninger som er satt for analysen er at det forutsettes at data hentet fra Ecoinvent 3 databasen og teori kan representere forholdene i virkeligheten på en tilfredsstillende måte. Det forutsettes også at oppskrifter for asfaltblandinger som er lagd, representerer oppskrifter som er brukt i bransjen på en slik måte at resultatene kan overføres. Det har blitt gjort antagelser om at vedheftingsmiddelet amin er av samme type i alle asfaltblandinger. Det er også gjort antagelser om hvor materialer og produkter er kjøpt og fraktet fra, samt hvordan det har blitt fraktet

SiGS og tallolje er to biprodukter fra andre prosesser. For SiGS har det blitt gjort en økonomiskallokering opp mot mangan produksjon. Denne allokeringen har blitt gjort av SINTEF og avhenger av prisen på SiGS og mangan [84]. Etersom Eramet har store lager med SiGS vil prisen derfor trolig bli lav. Med bakgrunn i dette får vi en andel utslipp som er tilnærmet null (< 3 %) etter en økonomiskallokering. I beregningene har derfor utslippene fra manganproduksjon blitt utelatt for SiGS produksjon. Utenom dette har det ikke blitt inkludert noe allokering innenfor systemgrensene.

6.1.2. Livsløpsregnskap

Ifølge ISO 14040 omfatter et livsløpsregnskap en innsamling av data og prosedyrer som er brukt for beregninger som kvantifiserer inngangsfaktorer til og utgangsfaktorer fra et produktsystem [132]. Prosessen for å gjennomføre regnskapet er iterativ, og man vil lære mer om systemet etter hvert som mer data samles inn. Dette kan bringe med seg nye krav og begrensninger som igjen kan kreve en endring av innsamlingsprosedyrene. Life Cycle Inventory (LCI) er en modell som inneholder tre aktiviteter. Det er å lage et flytskjema som følger systemgrensene, samle inn data for alle aktivitetene i produktsystemet og dokumenter dette med beregning av de ulike miljøbelastningene [156]. Flytskjema er vist i figur 6.6.



Figur 6.6 – Flytskjema

For denne oppgaven har det blitt samlet inn data ved å undersøke aktuell teori. Dette har blitt gjort hovedsakelig ved hjelp av nøkkelordsøk og snøballsøk i kilder som ses på som relevante. Dette har gitt en rekke artikler som er med på å hjelpe finne tall brukt i analysen. Det har også blitt gjort samtaler med personer i bransjen som har gitt innsikt i hvilke verdier som burde brukes og hvor man burde lete for å finne gode tall, her har det også blitt supplert asfaltoppskrifter. Disse har igjen blitt sjekket opp mot et grunnlag fra teorien. Databasen Ecoinvent 3 i SimaPro har fungert som et utgangspunkt for alle prosesser i analysen.

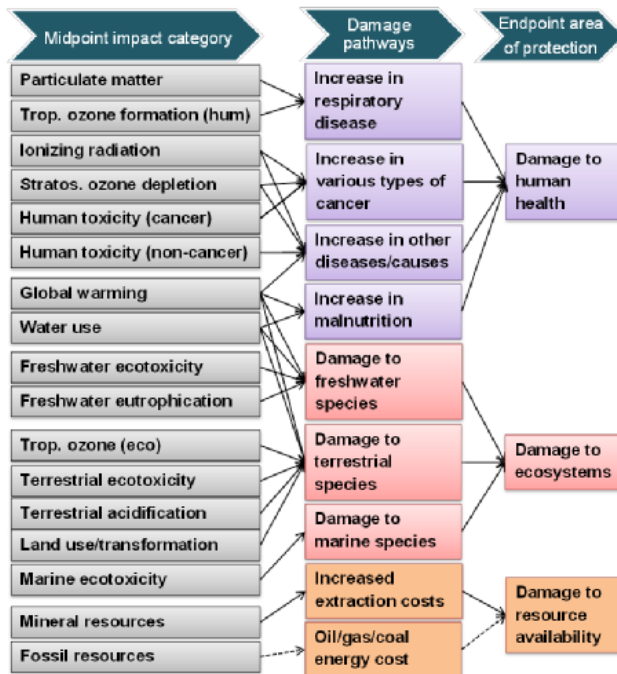
Alt av beregninger og resultater for utslipp i oppgaven har blitt gjort i SimaPro, her har det blitt fylt inn prosesser innenfor systemgrensene. Dataen er basert på teori og rapporterte verdier. Når det kommer til strømforbruk og energiforbruk har det blitt brukt verdier fra rapporter over standard energibruk for asfaltbransjen i Norge.

6.1.3. Livsløpseffektvurdering

Ifølge ISO 14040 skal det i livsløpseffektvurderingen tas sikte på å vurdere betydningen av miljøpåvirkninger gjennom bruk av resultatene fra livsløpsregnskapet. Dette gjøres ved å koble dataen opp mot de ulike miljøpåvirkningskategoriene [132]. Miljøpåvirkningskategorier er de ulike kategoriene som utslippet til et produkt eller prosess er delt inn i. Disse kategoriene kommer fra ReCiPe 2016. Denne metoden har blitt brukt for å regne ut livsløpseffektvurderingen til de ulike produktene. Dette blir gjort ved å oversette utslippene og bruken av ressurser til miljøpåvirkningsfaktorer ved hjelp av karakterisering [133].

Figur 6.4 viser en oversikt over de ulike miljøpåvirkningsfaktorene. Disse er delt inn i midpoint og endpoint. Midpoint er faktorene som fokuserer på enkelte miljøproblemer, slik som global

oppvarming, vannforbruk og land bruk/forandring. Endpoint ser på miljøpåvirkningen på tre høyere nivåer. Disse nivåene er: 1. Skade på menneskers helse 2. Skade på økosystemer 3. Skade på ressurs tilgjengeligheten [133]. Figur 6.7 viser forholdet mellom midpoint indikatorene og endpoint indikatorene.



Figur 6.7 – Miljøkategorier ReCiPe 2016 [133]

Fra analysene i SimaPro blir det sett på alle miljøpåvirkningsfaktorene, men Global Warming Potential (GWP) får et spesielt fokus og vektet tyngst. Dette kommer av at den fungerer som en indikator på et stoffs potensielle bidrag til global oppvarming [157]. Dette vil også gjøre det enklere for leseren når de får en kategori å forholde seg til, fremfor 10 forskjellige.

6.1.4. Tolkning

Når resultatene er fremstilt i tabeller og figurer vil resultatene tolkes. Gjennom å endre på verdier i systemet vil man kunne se effekten av små endringer i undersystemer. Dette vil gi bedre kjennskap til både systemet og resultatene, som videre vil legge grunnlaget for en mer kvalitativ tolkning av analysen. Gjennom diskusjon vil man kunne trekke slutninger, belyse usikkerheter og danne seg en oversikt over produksjonsprosessene.

6.2. Datainnsamling

Innsamlingen av data har i denne oppgaven omfattet å innhente oppskrifter og informasjon om forskjellige asfalttyper. Denne dataen legger grunnlaget for utvelgelse av prosesser i Ecoinvent 3 databasen i SimaPro. Ecoinvent er en database som inneholder mer enn 20 000 datasettmodeller for ulike aktiviteter og prosesser [158]. Datainnsamlingen startet med et ønske om å inkludere fire asfalter i livsløpsanalysen: en tradisjonell asfalt, en asfalt med SiGS tilslag, en med biobindemiddel og en gjenbruksasfalt. Se vedlegg E for fullstendig oversikt over prosessene fra SimaPro.

6.2.1. Tradisjonell asfalt

Tradisjonelle asfalt oppskrifter er de letteste å oppdrive. Alle asfaltprodusenter har hver sin oppskrift. Etter at fokuset ble rettet mot veger med ÅDT < 1500, ønsket vi å se på Agb11 asfalter. Ettersom Velde var en av partnerne i prosjektet «Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging» valgte vi å se til deres oppskrift på tradisjonell Agb11 asfalt. Det ble derfor tatt utgangspunkt i deres oppskrift beskrevet i produktdeklarasjonen. Den tradisjonelle asfalten inneholdt amin, bitumen og tilslag.

Aminen er oppgitt med CAS nr. 68910-93-0 [153]. Søk i CAS registeret ga begrenset med informasjonen om stoffet [159]. Dette gjorde det vanskelig å definere hva slags type amin som er brukt og hva aminet er laget av. I Ecoinvent hadde vi derfor muligheten til å velge mellom prosesser kalt «fatty acid» eller «amine». Aminer kan også produseres fra tallolje og gå under benevnningen «tall-oil» [159]. Valget endte på prosessen:

«Amine oxide {RER}| amine oxide production | Cut-off, U»

{RER} står for europeiske verdier (Sveits utelatt). For bioasfalten som blir dekket i punkt 6.2.3. ble det spesifisert navnet på vedheftingsmiddelet. Dette vedheftingsmiddelet har opprinnelse fra Amsterdam, Nederland [160]. Det ble derfor antatt for denne aminen også. Videre ble prosessen omgjort for å bedre speile Nederlandske forhold. Underprosesser og materialer som hadde tilgjengelige nederlandske verdier ble byttet inn til fordel for de europeiske. Det ble også inkludert transport fra Amsterdam til Grimstad. Det ble benyttet Google Earth og Google Maps for å beregne transportdistanser [161], [162]. Dette resulterte i følgende nye prosesser for amin, med og uten transport:

«Amine oxide {RER/NL M/TRANSPORT}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Amine oxide {RER/NL}| amine oxide production | Cut-off, U»

Det er tilknyttet utsikkerhet til om denne prosessen er relevant i sammenheng med bruk i asfalt. Aminen er laget på kokosnøttolje [158].

For bitumen ønsket vi å se på bitumen benyttet i varmprodusert asfalt. Prosessen fra Ecoinvent som passet best med vår case ble derfor:

«Bitumen adhesive compound, hot {RER}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

Som forklart i kunnskapsbakgrunnen kommer mye av bitumenet benyttet til norske vegprosjekter fra produsenten Nynas fra Sverige [56]. Transportdistansen ble derfor satt fra deres produksjonssted i Göteborg til asfaltproduksjonen i Grimstad. Avstander ble målt ved hjelp av Google Maps [162]. Vi ønsket derimot å beholde europeiske verdier for bitumen produksjonen og beholdt derfor de europeiske verdiene. Prosessen ble omdøpt fra RER til RER2 for å vise til at det er en prosess som inngår i våre asfaltproduksjonsprosesser. Prosessene ble derfor som følger:

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»
 «Bitumen adhesive compound, hot {RER2 M/TRANSPORT}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

Proessen som beskrev tilslag best fra databasen var:

«Gravel, crushed {CH}| market for gravel, crushed | Cut-off, U»

{CH} star her for Sveits. Det forelå ingen norske eller europeiske verdier, derfor endte valget på Sveits. Også her ble verdiene fornorsket og det ble lagt inn en transport på 5 km fra nærliggende pukkverk på Omre, Grimstad [163]. Avstanden ble hentet fra Google Maps [162]. Dette resulterte i følgende prosesser for tilslag.

«Gravel, crushed {CH/NO}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO M/TRANSPORT}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

6.2.2. SiGS-asfalt

Asfalt med bruk av Silica Green Stone er et nytt konsept. Etter at Eramet markedsførte SiGS, er det bare kjent en produsent som benytter produktet i asfalt [164]. Ettersom at konseptet er nytt ønsket ikke produsent å dele asfaltoppskriften, men på bakgrunn av samtaler har vi utviklet en egen sammensetning [88]. Blandingen består av amin, bitumen, kalkfiller, SiGS og tilslag. Amin, bitumen og tilslags prosessene benyttet i SiGS-asfalten er de samme som for tradisjonell asfalt:

«Amine oxide {RER/NL M/TRANSPORT}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Amine oxide {RER/NL}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2 M/TRANSPORT}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO M/TRANSPORT}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

For utvikling av Silica Green Stone prosessen ble det tatt utgangspunkt i den sveitsiske tilslags prosessen i Ecoinvent.

«Gravel, crushed {CH}| market for gravel, crushed | Cut-off, U»

SiGS som tilslag har en lignende behandlingsprosess som stein, men krever mindre bearbeidelse. Det ble derfor fjernet noen underprosesser, lagt inn norske verdier og lagt til frakt. Fraktavstanden fra Kvinesdal til Grimstad ble beregnet i Google Maps [162]. De nye prosessene ble kalt:

«SiGS, crushed {CH/NO}| SiGS aggregate production, crushed | Cut-off, U»

«SiGS, crushed {CH/NO M/TRANSPORT}| SiGS aggregate production, crushed | Cut-off, U»

Ettersom at SiGS ikke inneholder egenfiller er man nødt til å tilsette en fremmedfiller. Vanligvis kommer det mer filler fra oppvarming og knusing av tilslag enn det har behov for selv [88]. Dette tilsier at tilslaget i blandingen kan produsere nok egenfiller til å dekke for SiGS tilsetningen. Grunnet usikker til dette har vi valgt å tilsette kalkfiller som fremmedfiller. I Ecoinvent var det en prosess for knust og malt kalkstein. Denne passet godt som kalkfiller og ble derfor brukt:

«Lime {CH}| lime production, milled, loose | Cut-off, U»

Prosessene inneholdt noen europeiske verdier. Her også ble det lagt inn norske verdier og transport. Kalkfiller ble antatt transportert fra Franzefoss Minerals i Arendal [165]. Transportavstander ble beregnet med Google Maps [162]. De nye prosessene ble derfor:

«Lime {RER/CH/NO}| lime production, milled, loose | Cut-off, U»

«Lime {RER/CH/NO M/TRANSPORT}| lime production, milled, loose | Cut-off, U»

6.2.3. Talloljeasfalt

Innhenting av en asfaltoppskrift med biobindemiddel skulle vise seg å være utfordrende. Innledningsvis ønsket vi å benytte en asfalt inkludert i BV-prosjektet. Denne ville inneholde trefiber, og skulle produseres av Veidekke i samarbeid med Rygene Smith og Thommesen. Det viste seg at de ikke hadde kommet så langt i prosessen med asfalten og vi ble nødt til å lete andre steder. Vi endte derfor med å få tilsendt en oppskrift på asfalt med tallolje fra Statens Vegvesen [166]. Asfaltblandingen var blitt brukt på norske veier. Produsenten av asfalten skulle holdes konfidensielt. Blandingens bestod av vedheftingsmiddel, bitumen, tallolje og tilslag.

Vedheftingsmiddelet som ble benyttet var Wetfix FE. Dette er form for amin som fungerer som et vedhefting- og varmestabiliserendemiddel i bituminøse bindemidler. Det produseres av Nouryon fra Amsterdam, Nederland [160]. På bakgrunn av dette ble de allerede produserte prosessene for amin benyttet.

«Amine oxide {RER/NL M/TRANSPORT}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Amine oxide {RER/NL}| amine oxide production | Cut-off, U»

Det samme gjelder for bitumen og tilslaget benyttet i blandingen.

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2 M/TRANSPORT}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO M/TRANSPORT}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

For talloljen ble det benyttet en prosess fra Ecoinvent databasen. Prosessens som beskrev talloljen best var:

«Tall oil, crude {RER}| sulfate pulp production, from softwood, unbleached | Cut-off, U»

For prosessen ble det lagt inn norske strøm og transport. Vi kontaktet NOBIO for å høre hva de visste om tallolje i Norge. I etterkant av analysene fikk vi svar om at de ikke kjente til noen norske produsenter av tallolje [167]. Produksjonsstedet for tallolje ble derfor satt som Göteborg, Sverige. Her produserer SCA 30 000 tonn tallolje årlig [168]. Dette resulterte i prosessene:

«Tall oil, crude {RER/NO}| sulfate pulp production, from softwood, unbleached | Cut-off, U»

«Tall oil, crude {RER/NO M/TRANSPORT}| sulfate pulp production, from softwood, unbleached | Cut-off, U»

6.2.4. Gjenbruksasfalt

Gjenbruksasfalten i oppgaven ble laget på bakgrunn av samtaler med Feiring Bruk [169]. Asfaltblandingen består av 40 % gjenbrukt asfaltmaterialer. I tillegg til amin, bitumen og tilslag. For disse materialene ble de tidligere beskrevne prosessene benyttet:

«Amine oxide {RER/NL M/TRANSPORT}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Amine oxide {RER/NL}| amine oxide production | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2 M/TRANSPORT}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U »

«Gravel, crushed {CH/NO}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO M/TRANSPORT}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

For gjenbruksandelen ble det produsert en helt egen prosess. I denne prosessen ble det bare inkludert utslipp tilknyttet å frese opp den gamle asfalten. Det ble ikke inkludert transport for den gjenbrukte asfalten. Fresingsprosessen innebar diesel- og vannforbruk. Utslippene fra å produsere den opprinnelige asfalten ble ikke inkludert. Dette resulterte i prosessen:

«Gjenbruksasfalt {RAP}»

6.2.5. Byggefase, avhending og gjenbruk

For å kunne beregne utslippet fra «vugge til grav» måtte byggefase og avhending inkluderes. For byggefase ble det inkludert flere underprosesser for legging av asfalt. Herunder asfaltvals, ledebil, ekstra bitumen liming, limtraktor og utlegging. Disse prosessene og tilhørende verdier er hentet fra Veldes EPD [153]. For alle kjøretøyene ble det lagt inn dieselforbruk. Følgende prosess ble derfor hentet fra Ecoinvent databasen:

«Diesel, burned in building machine {GLO}| market for diesel, burned in building machine | Cut-off, U»

Bitumen brukt til ekstra liming var den samme som brukt i asfaltproduksjonsprosessene. Vi valgte å omdøpe dieselbruk prosessen. Prosessene brukt under legging av asfalt ble derfor:

«Diesel, burned in building machine {GLO2}| market for diesel, burned in building machine | Cut-off, U»

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

For avhendingsfasen ble det lagt inn avfallsbehandling og fresing. Det fantes en egen prosess for avfallsbehandling av asfalt i databasen og denne ble derfor benyttet. I Veldes EPD var det lagt inn at 100 kg asfalt ble borte grunnet slitasje og det ble derfor satt at per tonn produsert asfalt gikk 900 kg til avfallsbehandling [153]. Prosessen som ble benyttet var:

«Waste asphalt {CH}| treatment of waste asphalt, sanitary landfill | Cut-off, U»

Denne ble fornorsket til:

«Waste asphalt {CH/NO}| treatment of waste asphalt, sanitary landfill | Cut-off, U»

For fresingsfasen ble det lagt til dieselforbrukprosessen og vanntilførsel. Disse var som følger:

«Diesel, burned in building machine {GLO2}| market for diesel, burned in building machine | Cut-off, U»

«Tap water {Europe without Switzerland}| tap water production, conventional treatment | Cut-off, U»

For de alternative resultatene ønsket vi å se på utslippsgevinsten ved å gjenbruke asfalten etter endt levetid. Her ble det lagt inn at ved gjenbruk ville man bespare andelen med bitumen og tilslag tilsvarende den brukt i gjenbruksasfaltproduksjonen. Dette tilsier 16 kg bitumen og 384 kg tilslag. Det ble derfor lagt inn negative verdier for disse materialene, som gir negative (besparelser) utslipp. Prosessene som ble brukt her er de kjente for bitumen og tilslag:

«Bitumen adhesive compound, hot {RER2}| bitumen adhesive compound production, hot | Cut-off, U»

«Gravel, crushed {CH/NO}| gravel production, crushed | Cut-off, U»

6.3. Dataverktøy

Dataverktøyene som har blitt brukt i oppgaven vil bli beskrevet videre.

6.3.1. SimaPro

SimaPro er en programvare for Livssyklusanalyse (LCA). Programmet har en rekke bruksområder sliksom karbon- og vannanalyser, økodesign av produkter, utarbeidelse av miljødeklarasjoner (EPD) og nøkkelindikatorer for miljøpresentasjon [170]. SimaPro hjelper deg måle klimautslippene til ulike prosesser og produkter man selv kan lage. Det gjør det også mulig å sammenligne klimautslippene til produkter og tjenester. SimaPro har også en rekke databaser som inneholder store mengder med miljødata som gjør det mulig å kartlegge utslippene til de fleste produkter og tjenester [171].

I denne oppgaven har SimaPro blitt brukt for å kunne kartlegge og sammenligne ulike typer miljøasfalt. Det har blitt gjort ved å samle inn data for de ulike underprosessene som inngår for hver type asfalt.

6.3.2. SurveyXact

For utarbeidelsen av spørreundersøkelsen vil det benyttes programmet SurveyXact. SurveyXact er utviklet av Rambøll og benyttes av studenter og ansatte ved UiA. SurveyXact tilbyr løsninger som gjør det enkelt å samle inn kunnskap, analysere data og omgjøring av data til grafiske fremstillinger [172]. Programmet hjelper deg også med å opprette en liste med respondenter og distribusjon av spørreundersøkelsen. Etter utstedt spørreundersøkelse kan man følge med på å svarandelen løpende, og sende ut påminnelser.

6.4. Spørreundersøkelse

I oppgaven rettes det et fokus på bruk og utvikling av ny innovasjon i asfaltproduksjon. For å få et bedre innblikk i dagens status og utfordringer, ble det utviklet en digital spørreundersøkelse. En spørreundersøkelse er en effektiv metode for å innsamle data fra flere respondenter.

For å utvikle en god spørreundersøkelse er det en rekke faser som er essensielle for at den skal være gyldig og troverdig. Disse fasene vil variere dersom undersøkelsen vil ha en kvalitativ eller kvantitativ tilnærming. En spørreundersøkelse vil være i all hovedsak kvantitativ dersom det er svaralternativer. Spørreundersøkelsen benyttet i denne oppgaven inkluderer spørsmål som krever skrivesvar. Noe som gjør den til dels kvalitativ. Samlet sett vil undersøkelsen ha en kvantitativ tilnærming, som følger følgende faser [173]:

1. Utvikling av problemstilling

Her skal det defineres hva man ønsker å komme frem til. Dette kan konkretiseres gjennom en problemstilling. Undersøkelser deles inn i to typer: beskrivende og forklarende/kausale. En beskrivende undersøkelse går ut på å forklare dagens situasjon, mens en forklarende ønsker å måle virkningen eller effekten av et tiltak [173]. I denne oppgaven er hensikten med å gjennomføre en spørreundersøkelse å besvare underspørsmålet «Hvordan kan det oppnås

økt bruk og utvikling av miljøvennlig innovasjon i asfaltbransjen?» Denne undersøkelsen vil derfor i høy grad være beskrivende.

2. Valg av undersøkelsesdesign

En undersøkelse blir som regel plassert på et spektrum som baserer seg på antall enheter og variabler. En undersøkelse som går ut til mange enheter, men har få variabler anses som ekstensiv, mens en med mange variabler, men få enheter er intensivt. Det ideelle forskningsopplegget inneholder mange enheter og mange variabler, men disse er svært omfattende. En undersøkelse kan også befinne seg i midten av de to oppleggene. [173] Denne undersøkelsen vil ha et blandet opplegg hvor man både drar nytten av mange enheter uten at det blir for ekstensivt, og at det oppleves virkelighetsnært.

3. Hva slags data skal vi samle inn?

I en undersøkelse må man bestemme seg for hvordan man skal samle inn informasjon. Generelt kan man skille mellom å samle inn informasjon som tall eller ord. Dette avgjør om undersøkelse har en kvantitativ- eller kvalitativ tilnærming. Undersøkelsen kan også ligge midt i spekteret og derfor være en blandet tilnærming [173]. Denne undersøkelsen vil ha en blandet metode, men med en helning mot kvantitativ.

4. Hvordan skal vi samle inn informasjon?

Når det skal samles inn informasjon gjennom en spørreundersøkelse er det tre elementer som står sentralt. A) Konkretisere det vi ønsker å måle. B) Utform spørsmålene så korrekt som mulig slik at man unngår at spørsmålsutformingen skaper uønskede resultater. C) Bestemme seg for hvordan man ønsker å gjennomføre spørreundersøkelsen. Gjennom arbeid med spørsmålsutforming er det elleve huskereglene man bør ha med seg i bakhodet når man lager et spørreskjema [173]:

- a) Streb etter enkelhet i spørsmålene
- b) Samme begrep kan tolkes ulikt av forskjellige respondenter
- c) Folk husker ikke særlig langt tilbake i tid
- d) Forsøk å unngå ledende spørsmål
- e) Vurder nøye om du skal ha med en midtkategori eller en «vet ikke» kategori i svaralternativene
- f) Ikke for mange eller for få alternativer
- g) Bruk gjerne åpne spørsmål i tillegg til de lukkede spørsmålene
- h) Begynn et spørreskjema «ufarlig» og avslutt med mer følsomme spørsmål
- i) Svaret på et spørsmål kan påvirkes sterkt av hvilke spørsmål som stilles før det
- j) Varier retningen på spørsmålene
- k) Test skjemaet!

Spørreundersøkelsen i denne oppgaven vil bestå av spørsmål med rangordnede-, kategoriske- og åpne svaralternativer. Selve spørreskjemaet skal være digitalt og deles via mail.

5. Hvordan skal vi velge ut respondenter?

Når det skal velges ut respondenter er det viktig å få et representativt og begrunnet utvalg. Dette gjør undersøkelsen mer troverdig og gyldig. Hvor høy prosentandel som besvarer undersøkelsen, underbygger også dette. En svarprosent på over 50 % blir ansett som tilfredsstillende, over 60 % er godt og over 70 % anses som meget godt [173]. I denne oppgaven skal det fokuseres på respondenter som er involvert i BV-prosjektet og som besitter kunnskap om asfaltproduksjon. Utvalget skal representere alle arbeids- og interessegrupper innenfor emnet, uansett arbeidsforhold.

6. Hvordan skal vi analysere de data vi har fått inn?

Når man har fått inn dataen fra undersøkelsen så må disse analyseres. Dette er for å kunne se sammenhenger, samsvarende variabler og hva som er typiske svar. Diagrammer og tabeller vil hjelpe med å fremstille resultatene og gjøre de enklere å analysere [173]. Gjennom benyttelse av programmet SurveyXact vil det tilby en rekke fremstillinger som legger grunnlaget for en god analyse.

7. Hvor gode er funnene og konklusjonene?

Gode undersøkelser er gyldige og til å stole på. Vi deler inn i to typer gyldighet: Begrepsmessig- og kausal gyldighet. Begrepsmessig gyldighet går ut på om spørsmålene i undersøkelsen faktisk måler de fenomenene vi ønsker å undersøke, mens kausal gyldighet går ut på å se på hva som fører til samvariasjoner og å ha kontroll over alle relevante variabler. Har man dette på plass blir resultatene av en undersøkelse mye mer troverdig [173].

8. Drøfting og presentasjon av funn

En metodologisk drøfting innebærer å vurdere påliteligheten til data, den begrepsmessige gyldigheten, hvor god dekning har man for å trekke konklusjoner og vil resultatene gjelde for en større gruppe og større tidsrom. Etter drøfting skal undersøkelsen presenteres oversiktlig og logisk bygd opp. Den skal også være leservennlig [173].

Spørreundersøkelsen endte opp med 15 spørsmål. Den ble bestående av spørsmål med rangordnede-, kategoriske- og åpne svaralternativer. På denne måten ble spørreundersøkelsen ikke for lang, samtidig som man fikk ytret egne meninger gjennom skriftlige svar. Tre av spørsmålene var markert som «valgfridd å svare».

De 8 fasende har blitt fulgt for å skape spørreundersøkelsen. Problemstillingen for spørreundersøkelsen har vært underspørsmål nr 2. «Hvordan kan det oppnås økt bruk og utvikling av miljøvennlig innovasjon innen asfaltbransjen?». For valget av undersøkelsesdesign var det ønsket å ha en undersøkelse som ikke var for omfattende, samtidig som den ikke var for enkel. Derfor ble designet et blandet opplegg mellom ekstensiv og intensiv design. Dette ble valgt også slik at man kunne få nytte av mange enheter og den ble oppfattet som virkelighetsnær. Huskereglene for spørsmålsutforming i en spørreundersøkelse var viktige for å komme frem til spørsmål som ville gi gode og tydelige svar. Vi sørget derfor for å ha en variasjon i spørsmålstypene, ikke for få eller for mange alternativer, ikke være ledende, tydelig og klart språk og testing av skjemaet. For å finne ut hva som skulle spørres om i skjemaet, tok vi utgangspunkt i problemstillingen. Slik kom vi frem til at

det skulle spørres om bakgrunn for bærekraft, innovasjon, rolle og asfaltbransjen. For å få frem hvordan situasjonen er i dag. Deretter ble det rettet et fokus på fremtiden for bransjen og hva de så på som utfordringer og muligheter. Fase 6, 7 og 8 går på dataen som er samlet inn, hva vi har funnet ut og en presentasjon av disse. SurveyXact tilbyr en rekke gode analyseverktøy som gjorde det mulig å få frem fordelingen mellom svar, og muligheten til å lage dette til diagrammer i Excel. Det ble også laget to ordskyer av de ordene som forekom mest på to av spørsmålene. Siden som ble brukt for dette var Wordart [174]. For å vurdere hvor gode funnene fra undersøkelsen er blir de presenterte og drøftet i diskusjons kapitlet.

For utvelgelse av respondenter ønsket vi å bare å inkludere personer som jobber med asfalt. Det ble derfor tatt utgangspunkt i medlemslisten til Norsk Asfaltforening. Det var ønskelig å få se utfordringer og muligheter til enhver som jobber med emnet, uansett hvor i næringskjeden man jobber. Spørreundersøkelsen ble derfor sendt ut til entreprenører, byggherrer, leverandører, forskere og akademikere. Dette resulterte i en liste på 120 respondenter. Se vedlegg D for oversikt over spørsmål og svaralternativer fra spørreundersøkelsen.

7. Resultat

Her vil resultatene fra livsløpsanalysen og svarene fra spørreundersøkelsen presenteres. Resultatene fra SimaPro vil også inneholde dataen benyttet som grunnlag for gjennomføring av analysen. Resultatene vil fremstilles gjennom figurer og tabeller med tilhørende forklarende tekst.

7.1. Resultat LCA

I dette kapitlet vil det legges frem resultater som er tilknyttet livsløpsanalysen. Resultatene fra datainnsamlingen vil først presenteres. Videre vil resultatene for de ulike asfalttypene bli presentert i kapittel 7.1.2 – 7.1.5, før det i kapittel 7.1.6. vil sammenlignes. Avslutningsvis vil det bli lagt frem alternative resultater i kapittel 7.1.7. Se vedlegg F for fullstendig oversikt over resultatene av livsløpsanalysen.

7.1.1. Datainnsamling

Det har blitt gjort antagelser på hvor materialer og produkter er kjøpt og fraktet fra. Det samme gjelder transportmetode. Reiserute, avstander og transportmetode er fremstilt i tabell 7.1.

Tabell 7.1 – Transport av materialer

Transport				
Materiale	Fra	Til	Avstand	Transportmetode
Amin	Amsterdam	Kristiansand	665 km	Kontainer skip
	Kristiansand	Grimstad	45 km	Varebil
Tilslag	Grimstad	Grimstad	5 km	Lastebil EURO 5 16-32 tonn
SiGS	Kvinesdal	Grimstad	140 km	Lastebil EURO 5 16-32 tonn
Tallolje	Göteborg	Grimstad	450 km	Lastebil EURO 5 16-32 tonn
Bitumen	Göteborg	Grimstad	450 km	Lastebil EURO 5 16-32 tonn
Kalkfiller	Arendal	Grimstad	25 km	Lastebil EURO 5 16-32 tonn

Tabell 7.2, 7.3, 7.4 og 7.5 inneholder oppskrifter på de forskjellige typene asfalt, og de ulike mengdene materialer for å produsere 1 tonn asfalt. Det oppgis både kilde for hvor man har hentet oppskriften fra, og hvordan man har kommet frem til utslippet. For energiomregning har det blitt benyttet at 1 liter diesel har en effekt på 36,2 MJ [175].

Tabell 7.2 – Asfaltproduksjon, 1 tonn tradisjonell asfalt

Asfaltproduksjon tradisjonell asfalt				
Materiale/produkt	Benevning	Mengde	Kilde mengde	Kilde utslipp
Amin	Kg	0,17	EPD [153]	Ecoinvent 3
Bitumen	Kg	57,83		
Naturgass	MJ	270,00	Statens Vegvesen [45]	
Tilslag	Kg	942,00	EPD [153]	

Tabell 7.3 – Asfaltproduksjon, 1 tonn SiGS-asfalt

Asfaltproduksjon SiGS-asfalt				
Materiale/produkt	Benevning	Mengde	Kilde mengde	Kilde utslipp
Amin	Kg	0,20	Egne beregninger	Ecoinvent 3
Bitumen	Kg	54,00		
Kalkfiller	Kg	35,00		
Naturgass	MJ	270,00	Statens Vegvesen [45]	
SiGS	Kg	472,90	Egne beregninger	
Tilslag	Kg	437,90		

Tabell 7.4 – Asfaltproduksjon, 1 tonn talloljeasfalt

Asfaltproduksjon talloljeasfalt				
Materiale/produkt	Benevning	Mengde	Kilde mengde	Kilde utslipp
Amin	Kg	0,23	Statens Vegvesen [166]	Ecoinvent 3
Bitumen	Kg	43,80		
Naturgass	MJ	270,00		
Tallolje	Kg	16,20		
Tilslag	Kg	939,77		

Tabell 7.5 – Asfaltproduksjon, 1 tonn gjenbruksasfalt

Asfaltproduksjon gjenbruksasfalt				
Materiale/produkt	Benevning	Mengde	Kilde mengde	Kilde utslipp
Amin	Kg	0,17	Egne beregninger	Ecoinvent 3
Bitumen	Kg	38,00		
Gjenbruksasfalt	Kg	400,00		
Naturgass	MJ	270,00	Statens Vegvesen [45]	
Tilslag	Kg	560,30	Egne beregninger	

Videre presenteres byggefasen for asfalt. Her er det blitt gjort en antagelse om at denne prosessen er lik for alle asfalttypene. Tabell 7.6 viser prosessene for legging av asfalt med tilhørende mengde og utslipp.

Tabell 7.6 – Legging av 1 tonn asfalt

Byggefase						
Prosess	Materiale/produkt	Benevning	Mengde	Energi (MJ)	Kilde mengde	Kilde utslipp
Ledebil	Diesel	L	0,03	1,09	EPD [153]	Ecoinvent 3
Lim	Bitumen	Kg	3,75			
Limtraktor	Diesel	L	0,03	1,09		
Utlegger	Diesel	L	0,14	5,07		
Vals	Diesel	L	0,13	4,71		

Også for avhendingsfasen antas det samme prosess for alle asfalttypene. Mengden asfalt som går til avfallsbehandling er 90 % av 1 tonn asfalt. Det antas derfor at 100 kg blir borte som slitasje under bruksfasen [153]. Tabell 7.7 viser prosesser, mengder og utslipp for avhending av asfalt.

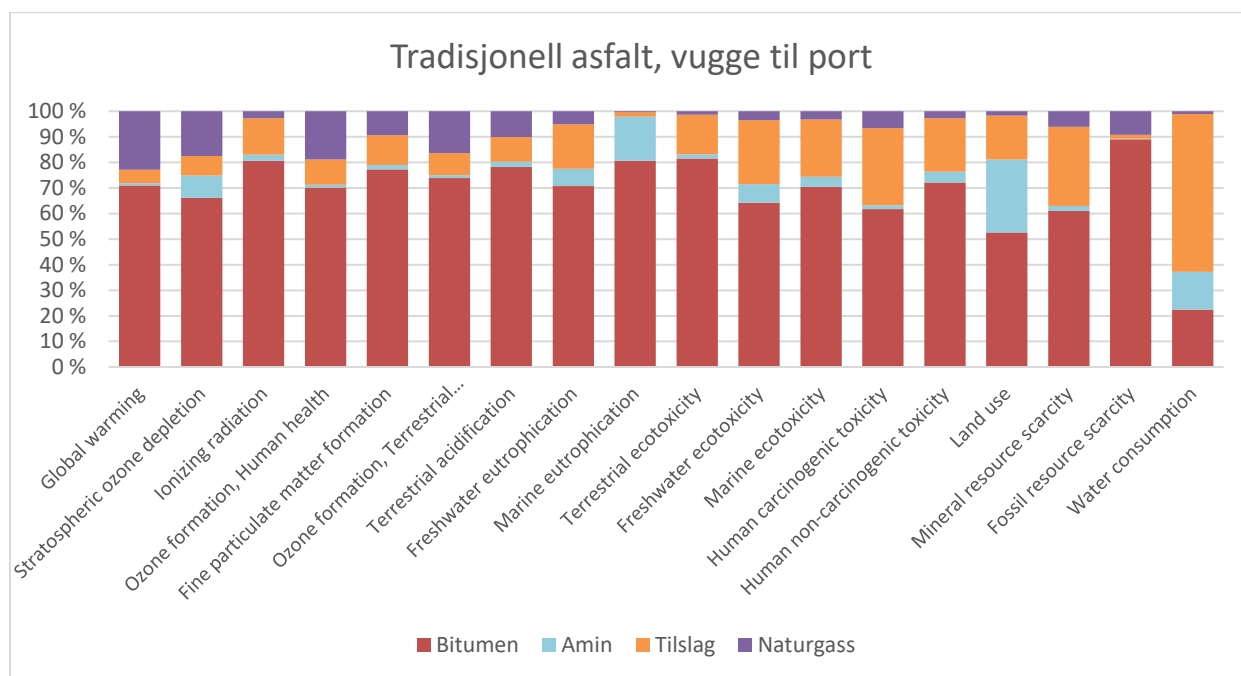
Tabell 7.7 – Avhending av 1 tonn asfalt

Avhendingsfase						
Prosess	Materiale/ produkt	Benevning	Mengde	Energi (MJ)	Kilde mengde	Kilde utslipp
Avfallsbehandling		Kg	900,00			
Freser	Diesel	L	0,40	14,48	EPD [153]	Ecoinvent 3
Støvk kontroll/kjøling	Vann	L	12,00			

Se vedlegg E for oversikt over prosessene og inngangsdata.

7.1.2. Tradisjonell asfalt

Figur 7.1 og tabell 7.8 viser til resultatene for de forskjellige utslippskategoriene til tradisjonell asfalt. Ut ifra grafene ser man at bitumen står for den største andelen for hver av kategoriene, foruten «water consumption». Dette skyldes at tilslaget bruker store mengder vann under produksjonen. Til tross for den lille andelen amin som er brukt i blandingen utgjør den 28,5 % av «land use» kategorien. Dette skyldes at aminen som er benyttet i analysen inneholdt kokosnøttolje. For råvareproduksjonen av dette går det derfor med landarealer. Andre verdier det er verdt å merke seg er GWP-verdien på 83,1 CO₂-ekvivalenter, hvorav bitumen står for ca. 70 % av utslippet. Man ser også store verdier innenfor «terrestrial ecotoxicity». Dette indikerer at det slippes ut større mengder giftige substanser til økosystemer på land. Her igjen står bitumen for den største andelen.

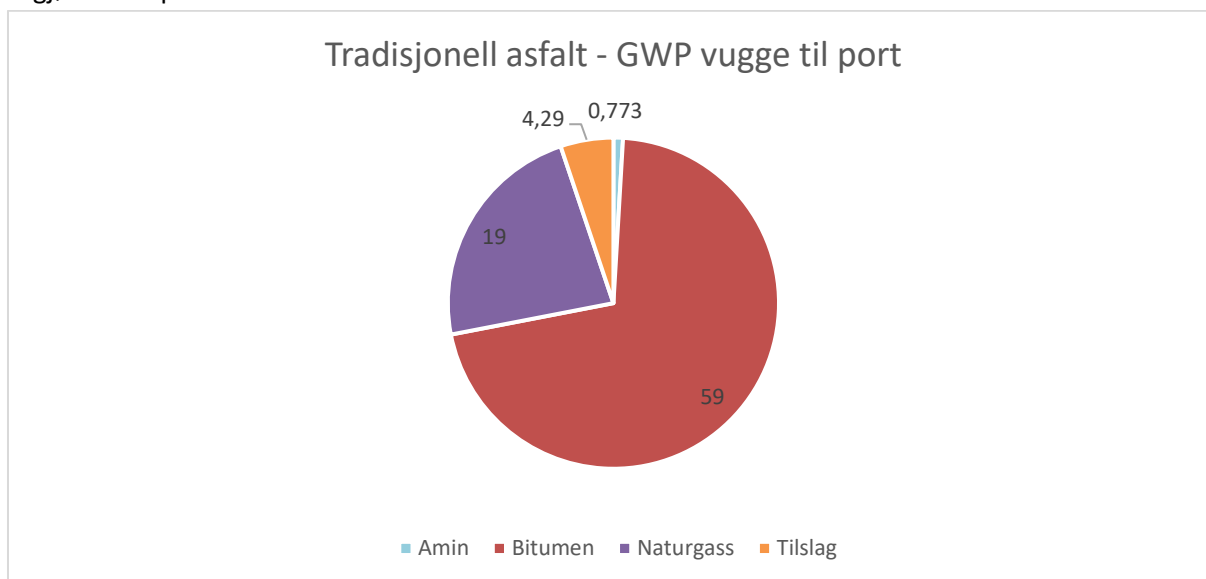


Figur 7.1 – Miljøkategorier tradisjonell asfalt, vugge til port

Tabell 7.8 - Miljøkategorier tradisjonell asfalt, resultater

Miljøkategorier tradisjonell asfalt						
Impact category	Unit	Total	Bitumen	Amin	Tilslag	Naturgass
Global warming	kg CO2 eq	83,10	58,99	0,77	4,29	19,04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,13	0,91	0,03	0,16	0,03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,24	0,17	0,00	0,02	0,04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,07	0,05	0,00	0,01	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,29	0,21	0,00	0,02	0,05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,18	0,14	0,00	0,02	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	212,22	173,05	3,31	32,92	2,94
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,04	0,67	0,08	0,26	0,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,58	1,11	0,06	0,35	0,05
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,31	2,04	0,05	1,00	0,22
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	23,57	16,99	1,03	4,92	0,64
Land use	m2a crop eq	2,53	1,33	0,72	0,43	0,04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,17	0,10	0,00	0,05	0,01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	75,99	67,62	0,23	1,14	7,00
Water consumption	m3	0,66	0,15	0,10	0,41	0,01

Figur 7.2 viser en fordeling av utslippet til en tradisjonell asfaltproduksjon gjennom GWP verdier. Det største utslippet kommer fra bitumen, som utgjør 71 % av utslippet til asfalten. Den nest største utslippsposten er naturgass på 19 kg CO₂-ekvivalenter. Utslippet fra tilslaget er lite, til tross for at det utgjør mesteparten av massen.

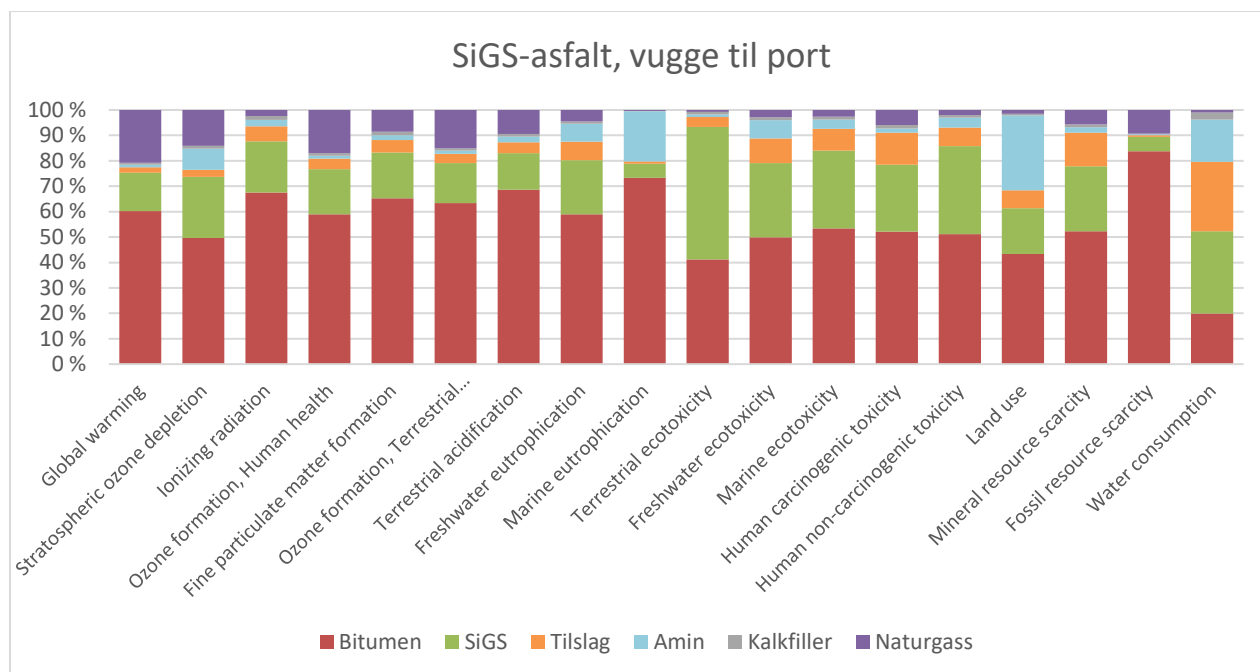


Figur 7.2 – Tradisjonell asfalt, GWP vugge til port

Resultatene fra den tradisjonelle asfalten vil brukes som sammenligningsgrunnlag mot de andre miljøasfaltene. Utslippene vil representere en typisk asfaltproduksjon i Norge, med typiske transportavstander.

7.1.3. SiGS-asfalt

Resultatene for SiGS blir presentert i form av tabeller og figurer. Figur 7.3 viser fordelingen til de forskjellige utslippskategoriene til SiGS-asfalten, med tilhørende verdier fra tabell 7.9. Man kan se ut ifra fordelingen at det er bitumen som står for mesteparten av utslippet. Det er også verdt å merke seg at utslippet til SiGS er en god del større enn utslippet ved tilslaget. Dette kommer av at SiGS må transporteres fra anlegget i Kvinesdal til asfaltfabrikken i Grimstad. SiGS ligger forholdsvis jevnt fordelt utover alle utslippskategoriene utenom for terrestrial ecotoxicity. Denne kategorien er et mål på potensialet for skade på landmiljøet, slik som planter og mikroorganismer. Produksjonsmetoden og andelen for SiGS og tilslag er veldig like, derfor vil slik store forskjeller som i terrestrial ecotoxicity komme fra transport.



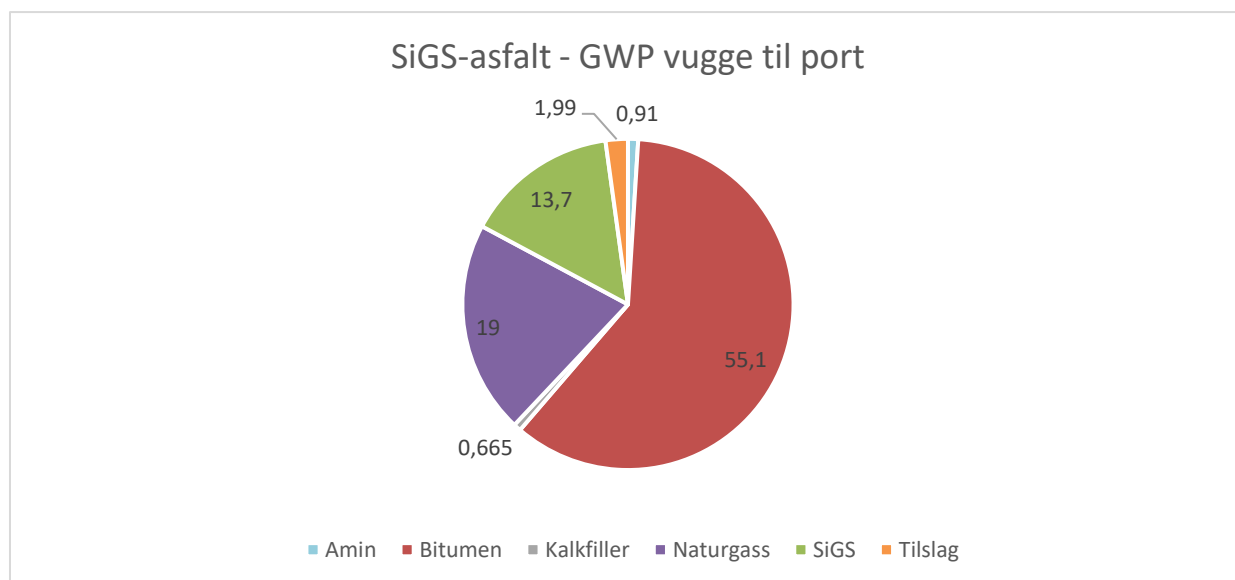
Figur 7.3 – Miljøkategorier SiGS-asfalt, vugge til port

Tabell 7.9 – Miljøkategorier SiGS-asfalt, resultater

Miljøkategorier SiGS-asfalt								
Impact category	Unit	Total	Bitumen	SiGS	Tiltslag	Amin	Kalkfiller	Naturgass
Global warming	kg CO2 eq	91,42	55,09	13,72	1,99	0,91	0,66	19,04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,26	0,85	0,25	0,08	0,03	0,02	0,03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,26	0,16	0,05	0,01	0,00	0,00	0,04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,07	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,31	0,20	0,05	0,01	0,00	0,00	0,05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,20	0,13	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	392,17	161,59	204,68	15,30	3,89	3,76	2,94

Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,25	0,62	0,37	0,12	0,09	0,02	0,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,95	1,04	0,60	0,16	0,07	0,02	0,05
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,66	1,91	0,96	0,46	0,06	0,05	0,22
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	31,01	15,86	10,72	2,29	1,21	0,30	0,64
Land use	m2a crop eq	2,88	1,25	0,52	0,20	0,85	0,01	0,04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,18	0,09	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	75,44	63,15	4,29	0,53	0,27	0,20	7,00
Water consumption	m3	0,69	0,14	0,22	0,19	0,11	0,02	0,01

Figur 7.4 viser fordelingen av utslipp for SiGS-asfalten. Nok en gang utgjør bitumen det største utslippet. Det er også verdt å merke seg at utslippet fra SiGS er nesten syv ganger så stort enn tilslaget.

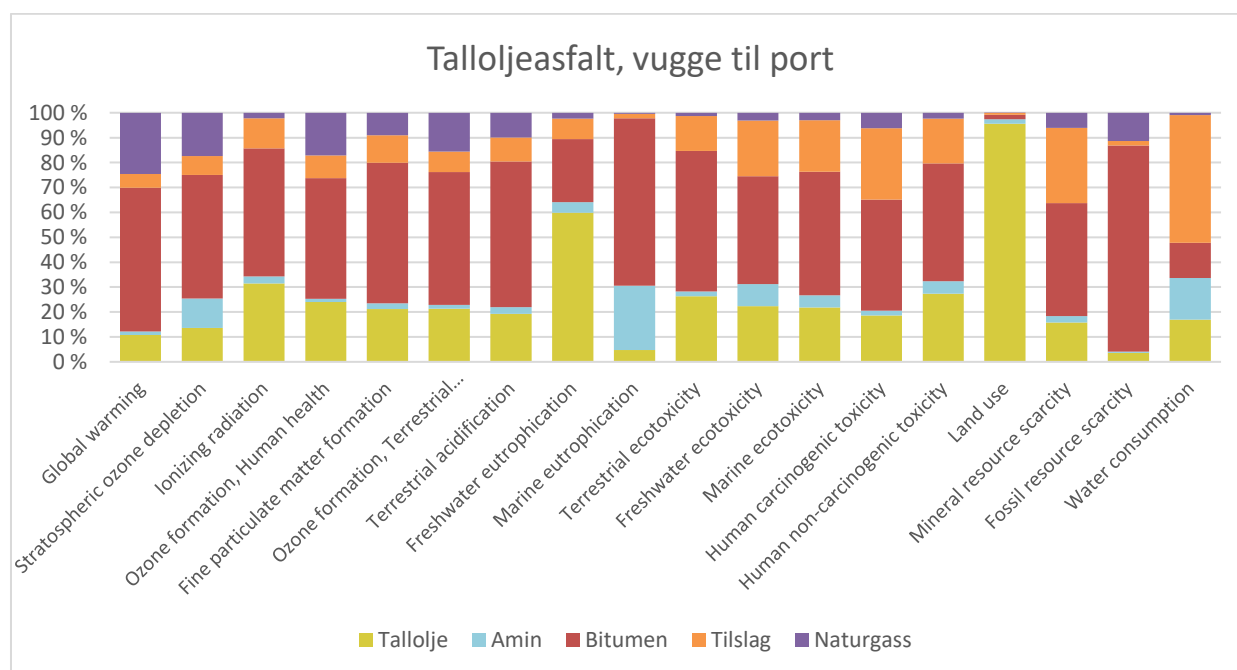


Figur 7.4 – SiGS-asfalt, GWP vugge til port

SiGS-asfalt får et forholdsvis høyt utslipp med en GWP på 91,42 kg CO₂-ekvivalenter. Dette skyldes i stor grad den lange fraktavstanden av SiGS på hele 140 km. Tilslaget blir fraktet 5 km så dette er grunnen til at det får et lavere utslipps tall enn SiGS materialet. Det er også flere hundre kilogram med SiGS som skal fraktes, som vil gi et stort utslag på resultatene.

7.1.4. Talloljeasfalt

Resultatene fra livsløpsanalysen på talloljeasfalten er fremstilt i figur 7.5 og med tilhørende verdier i tabell 7.10. Nok en gang står bitumen for store utslipp. Utslipet er derimot lavere enn ved tradisjonell asfalt. Dette skyldes at 28 % av bitumen er erstattet med tallolje. Innenfor noen utslippskategorier ser man likevel at talloljen står for hovedandelen av utslippet. Dette gjelder «freshwater eutrophication» som betyr at det skilles ut næringsstoffer til ferskvann. Dette kan bidra til å ødelegge økosystemet i vannet. Det er likevel små verdier det er snakk om, bare 0,1 kg Fosfor-ekvivalenter. En annen kategori det derimot er størst utslipp på blant alle asfaltene er «land use». Her er utslippet nesten 20 ganger så høyt som den nest største. Hovedandelen her kommer fra talloljen. Dette skyldes at talloljen kommer fra furutrær som igjen krever store landareal til skogbruk. Deler av den høye verdien kan også komme fra store papirfabrikker som blant annet produserer tallolje. I denne analysen blir talloljen transportert fra Göteborg, Sverige. En annen caselokasjon ville derfor vært bedre egnet for talloljen. Klimagassutslippet til talloljeasfalten ble 77,41 kg CO₂-ekvivalenter, hvorav omtrent 10 % kom fra tallolje andelen. I blandingen bestod 28 % av bindemiddelet av tallolje. Ved en høyere andel tallolje ville man senke utslippet mer.

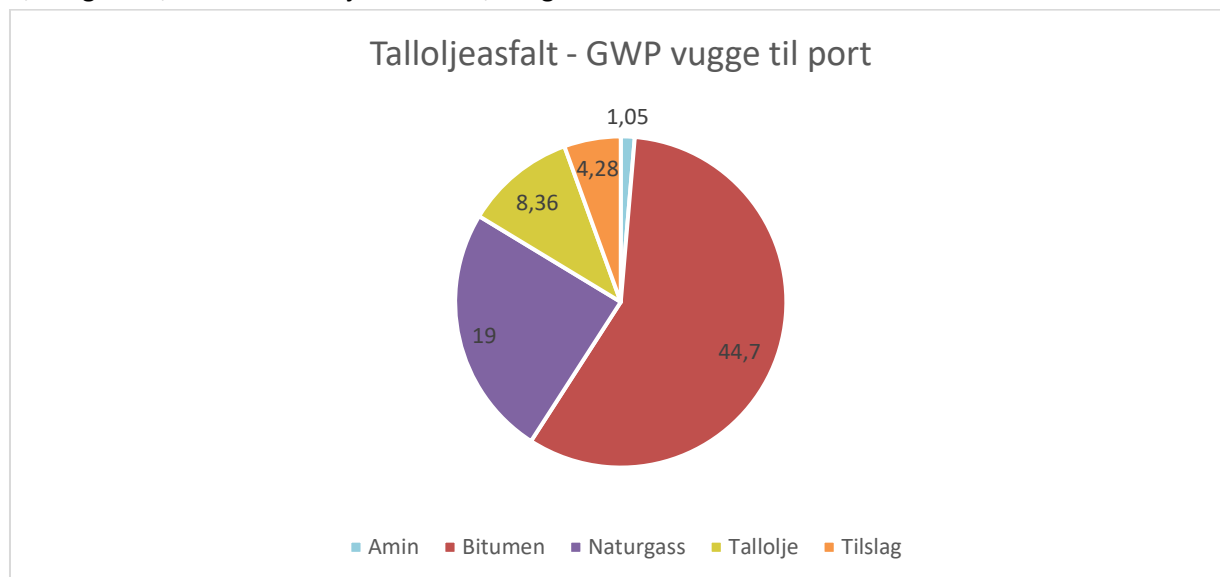


Figur 7.5 – Miljøkategorier talloljeasfalt, vugge til port

Tabell 7.10 – Miljøkategorier talloljeasfalt, resultater

Miljøkategorier talloljeasfalt							
Impact category	Unit	Total	Tallolje	Amin	Bitumen	Tilslag	Naturgass
Global warming	kg CO2 eq	77,41	8,36	1,05	44,68	4,28	19,04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,34	0,42	0,04	0,69	0,16	0,03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,26	0,06	0,00	0,13	0,02	0,04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,07	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,30	0,06	0,00	0,16	0,02	0,05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,19	0,04	0,00	0,11	0,02	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	232,64	61,32	4,48	131,07	32,84	2,94
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,16	0,26	0,10	0,51	0,26	0,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,70	0,37	0,08	0,84	0,35	0,05
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,47	0,65	0,07	1,55	0,99	0,22
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	27,23	7,43	1,39	12,87	4,91	0,64
Land use	m2a crop eq	56,23	53,76	0,98	1,01	0,43	0,04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,17	0,03	0,00	0,08	0,05	0,01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	61,88	2,22	0,31	51,22	1,14	7,00
Water consumption	m3	0,79	0,13	0,13	0,11	0,41	0,01

Figur 7.6 viser utslippsfordelingen for talloljeasfalten. Her ser vi en mindre andel utslipp fra bitumen ettersom 28 % av bindemidlet består av tallolje. Per kilo bitumen brukt i blandingen er det utslipp på 1,02 kg CO₂e, mens for talloljen er det 0,52 kg CO₂e.

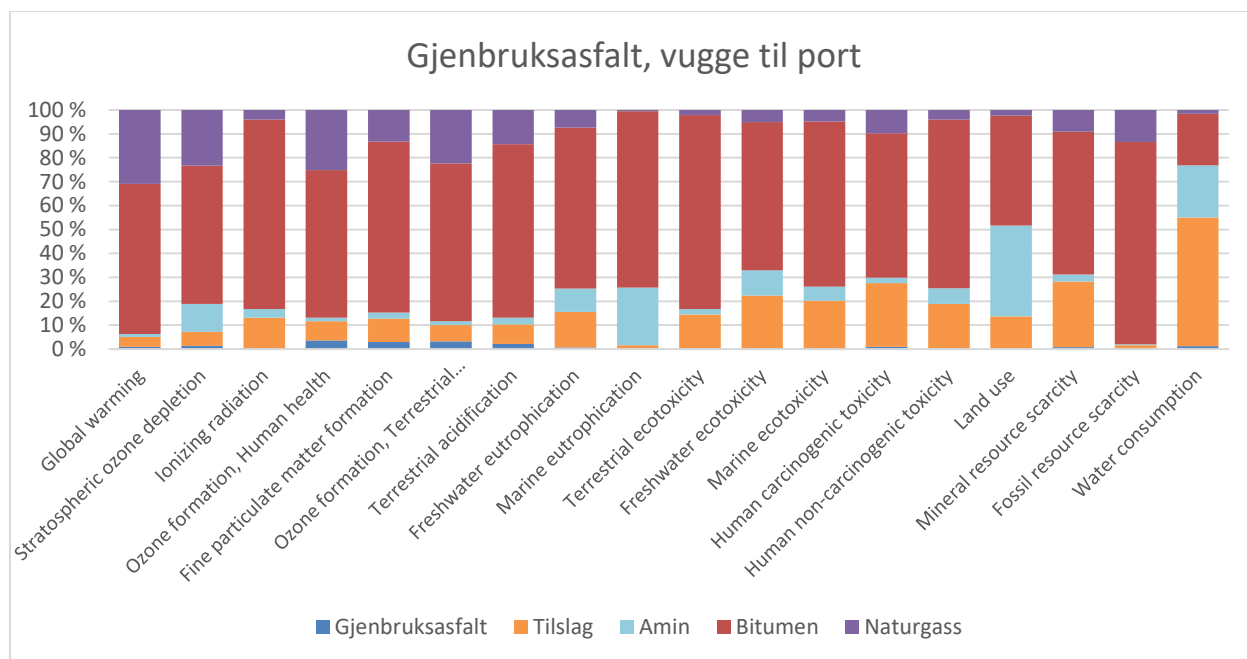


Figur 7.6 – Talloljeasfalt, GWP vugge til port

Bruken av tallolje i asfalt er med på å senke utslippet. Det vil derfor være hensiktsmessig å øke andelen tallolje i blandingen, dersom det lar seg gjøre ved at de mekaniske egenskapene til asfalten er gode nok.

7.1.5. Gjenbruksasfalt

Figur 7.7 og tabell 7.11 viser LCA resultatene for gjenbruksasfalten. Gjenbruksasfalten har det klart minste utslippet blant asfaltene analysert. Resultatene ligner på resultatene til den tradisjonelle asfalten, bare med mindre verdier. Bitumen er fortsatt største utslippsfaktor innenfor alle kategoriene. Naturgass utgjør en større andel ettersom det er mindre masser med nytt tilslag og bitumen. Utslippene fra den gjenbrukte asfalten er minimal. Det er ikke inkludert transport for den gjenbrukte asfalten ettersom det er situasjonsbestemt. Da brukte asfaltmasser kan ha varierende fraktavstander avhengig av hvor den gamle asfalten ligger, og hvor produksjonsstedet av ny asfalt er lokalisert.



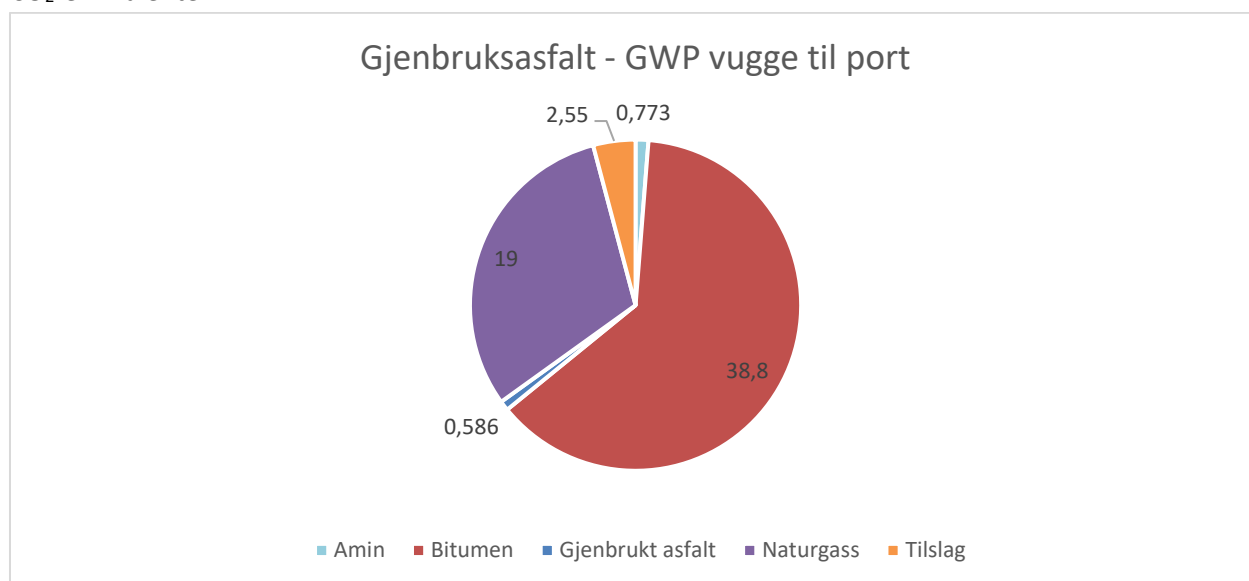
Figur 7.7 – Miljøkategorier gjenbruksasfalt, vugge til port

Tabell 7.11 – Miljøkategorier gjenbruksasfalt, resultater

Miljøkategorier gjenbruk							
Impact category	Unit	Total	Gjenbruksasfalt	Tilslag	Amin	Bitumen	Naturgass
Global warming	kg CO2 eq	61,72	0,59	2,55	0,77	38,77	19,04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,76	0,00	0,10	0,03	0,60	0,03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,18	0,01	0,01	0,00	0,11	0,04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,21	0,01	0,01	0,00	0,14	0,05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,13	0,00	0,01	0,00	0,09	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	140,19	0,65	19,58	3,31	113,71	2,94

Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,71	0,00	0,16	0,08	0,44	0,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,06	0,00	0,21	0,06	0,73	0,05
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,22	0,02	0,59	0,05	1,34	0,22
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	15,81	0,06	2,93	1,03	11,16	0,64
Land use	m2a crop eq	1,91	0,00	0,26	0,72	0,88	0,04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,11	0,00	0,03	0,00	0,07	0,01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	52,51	0,17	0,68	0,23	44,44	7,00
Water consumption	m3	0,45	0,01	0,24	0,10	0,10	0,01

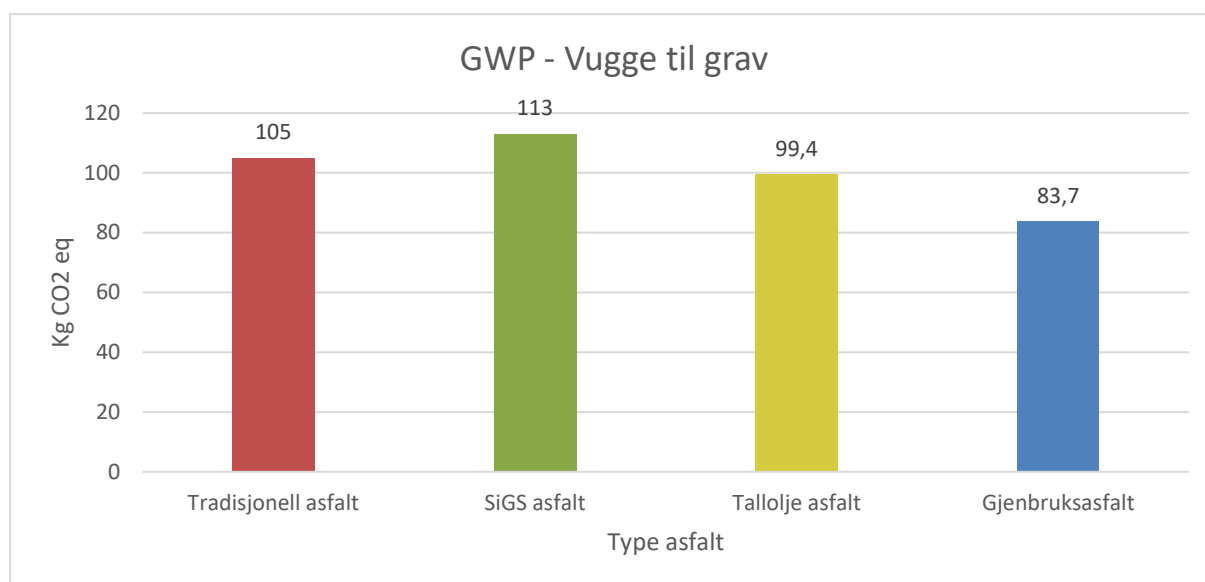
Figur 7.8 viser til utslippsandelene for gjenbruksasfalten. Gjenbruksasfalten hadde det klart minste utslippet i analysen. Dette skyldes at man har gjenvunnet mye bitumen fra gammel asfalt. Den gjenbrukte asfalten som utgjorde 40 % av blandingen ser man her har bare et utslipp på 0,586 kg CO₂-ekvivalenter.



Figur 7.8 – Gjenbruksasfalt, GWP vugge til port

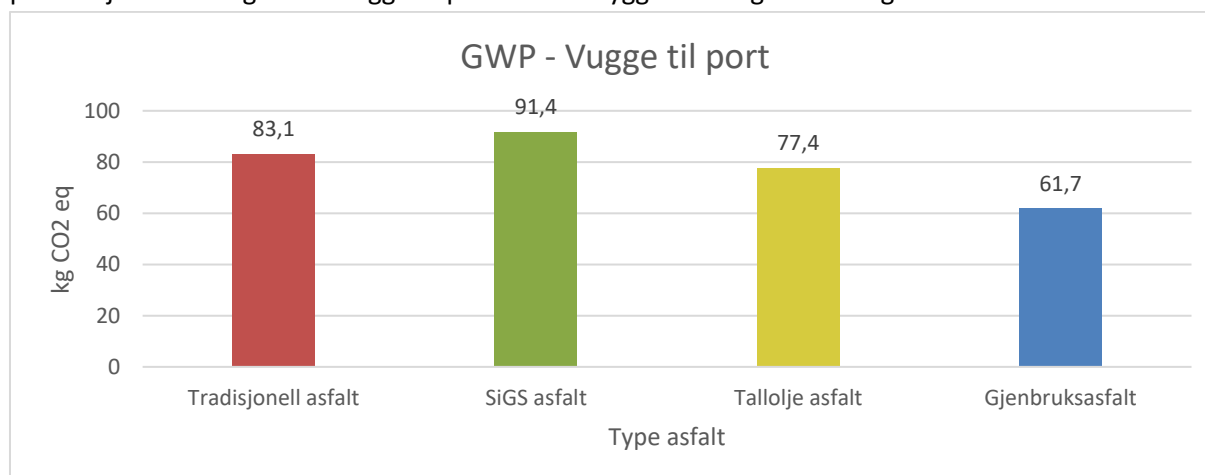
7.1.6. Sammenligning

Hovedresultatet for analysen er vist i figur 7.9. Den viser det totale utslippet til ett tonn av de forskjellige asfalttypene, fra vugge til grav. Her er det inkludert transport av råmaterialer til produksjonssted i Grimstad. Asfalten med 50 % SiGS tilslag har det største utslippet i analysen. Videre følger tradisjonell asfalt og asfalten med tallolje som en bindemiddelandel. Gjenbruksasfalten har det klart laveste utslippet. Utslippet er målt i globalt oppvarmingspotensial (GWP).



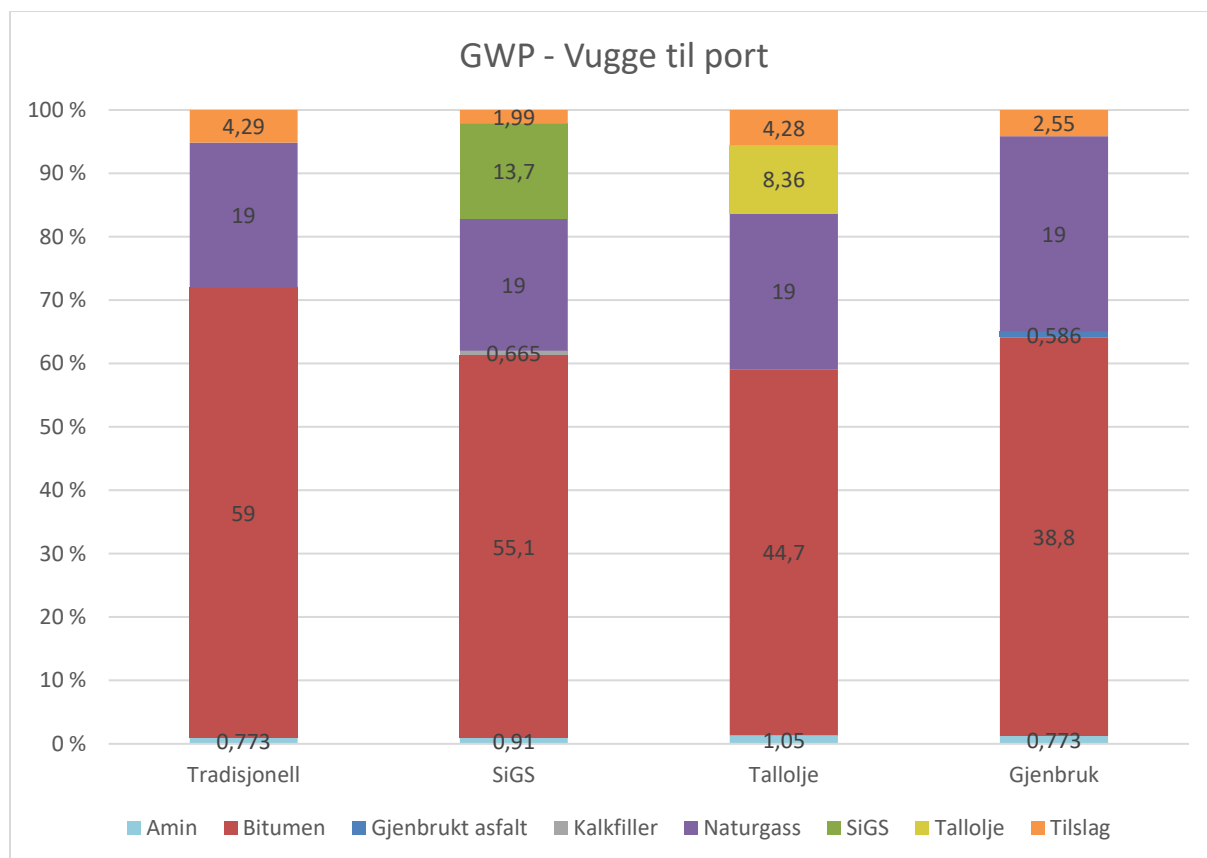
Figur 7.9 – GWP vugge til grav

For alle asfalttypene er byggefasen og avhendingsfasen like. Figur 7.10 viser til GWP utslippet for produksjonsfasen også kalt vugge til port. Her er byggefasen og avhendingsfasen blitt utelatt.



Figur 7.10 – GWP vugge til port

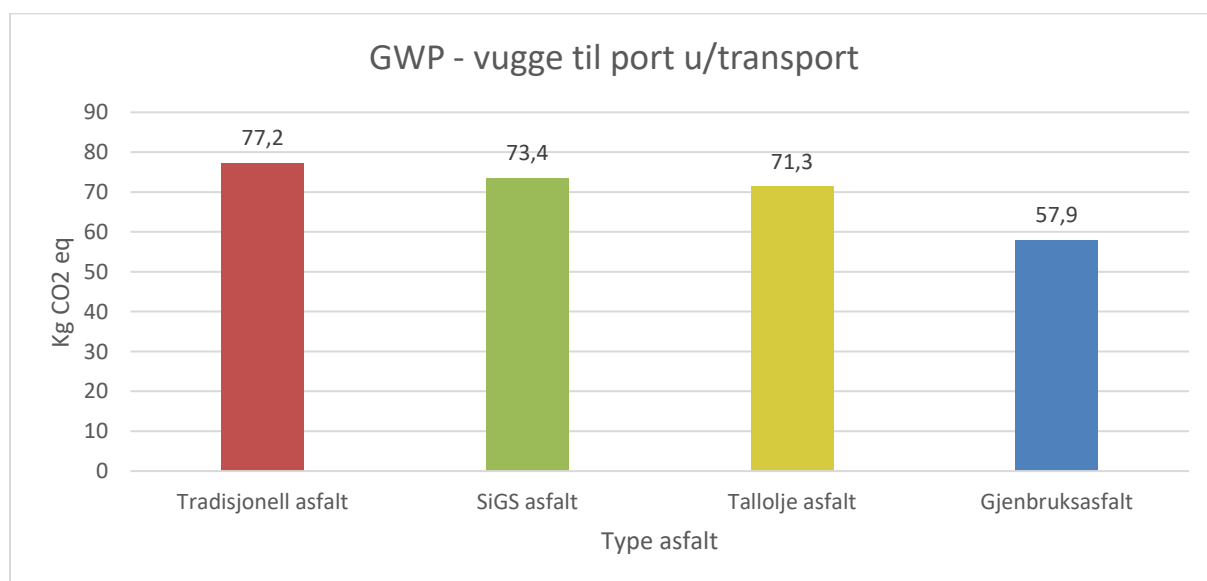
Figur 7.11 viser til utslippsandelen som kommer fra hvert materiale. Verdiene på søylene viser til kg CO₂-ekvivalenter som kommer fra hvert materiale. Langs y-aksen kan man se til hvor stor andel av utslippet som kommer fra hvert materiale i prosent. Felles for alle materialene er at bitumen utgjør den største andelen av utslippet, etterfulgt av naturgass som går til å drifte produksjonsanlegget.



Figur 7.11 – GWP per materiale, vugge til port

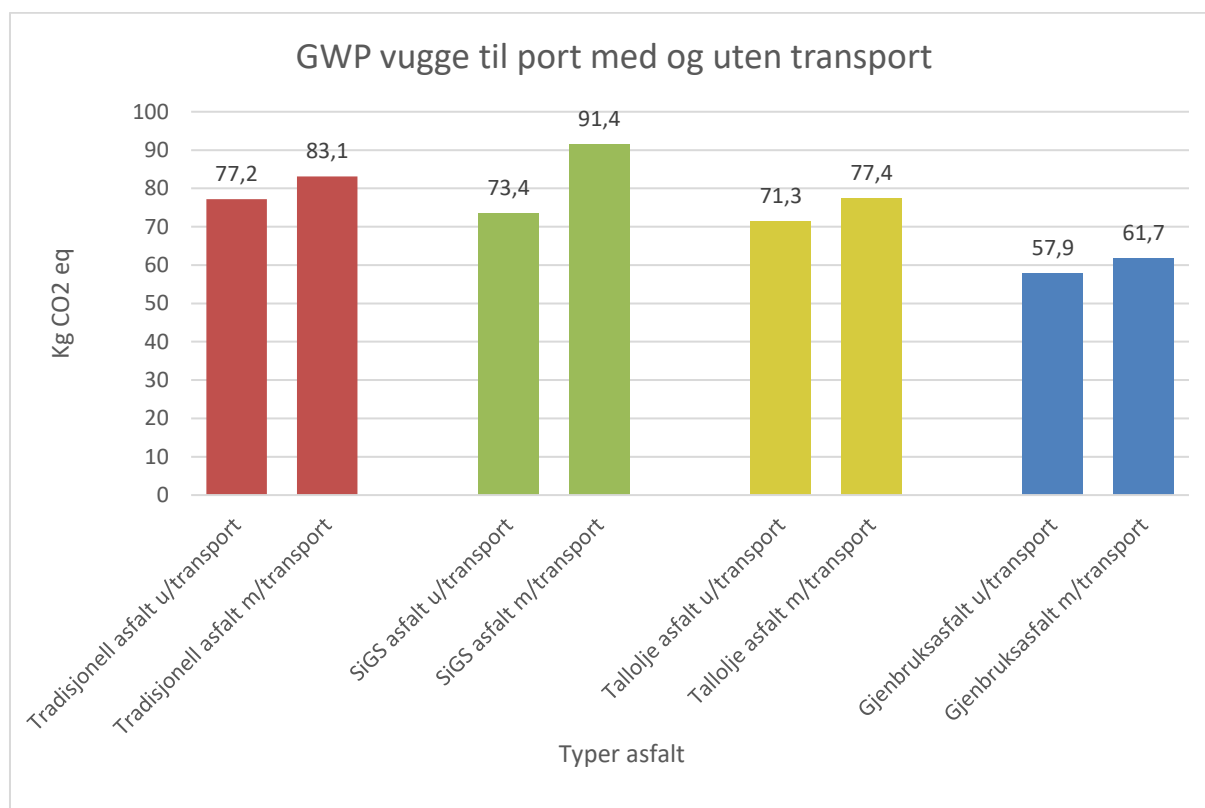
7.1.7. Alternative resultat

I hovedresultatene er plasseringen av produksjonssted viktig for transportavstander og det totale utslippet. I figur 7.12 er utslippet vist uten transport. Her ser man at den tradisjonelle asfalten nå har det høyeste utslippet. SiGS-asfalt har nå det nest høyeste utslippet.



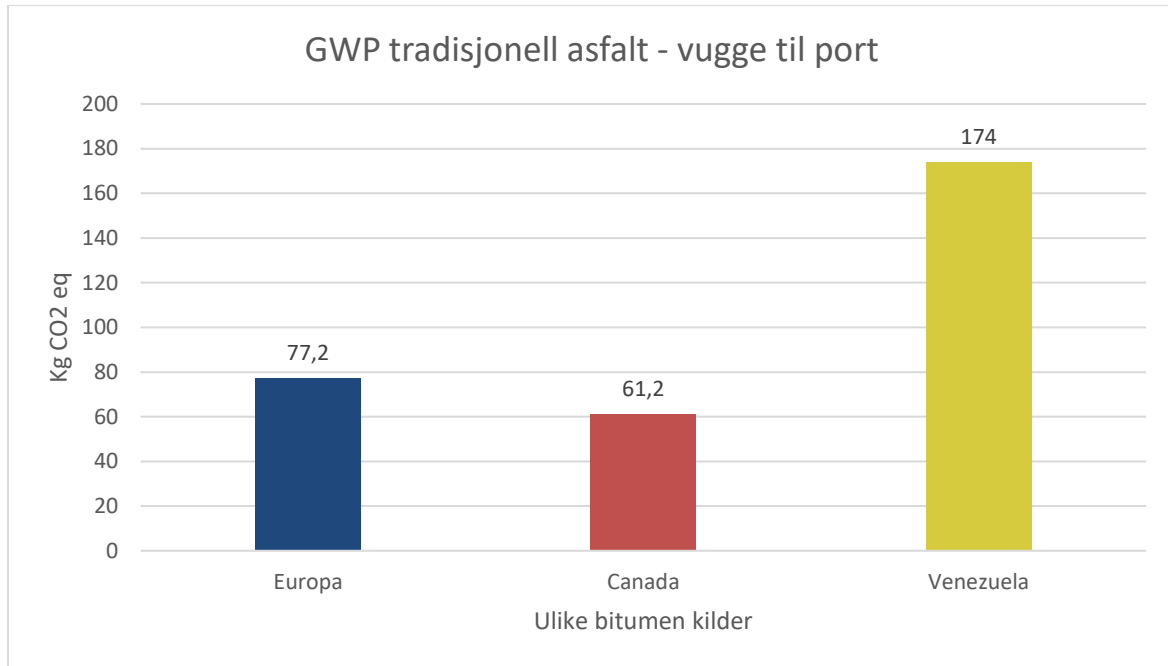
Figur 7.12 – GWP vugge til port u/transport

I figur 7.13 er utslippet med og uten transport sammenlignet. Her ser man at SiGS-asfalten har det klart største utslippet fra transport på 18 kg CO₂e. Gjenbruksasfalten har det minste transportutslippet.



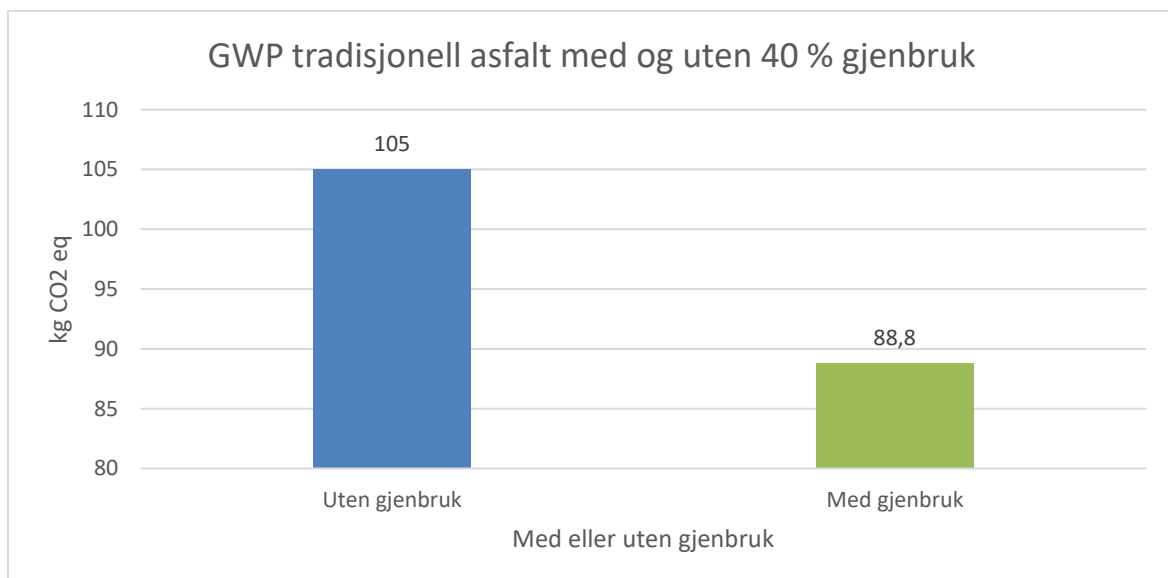
Figur 7.13 – GWP vugge til port, med og uten transport

I hovedanalysen er det benyttet bitumen fra et europeisk snitt. For å fremstille viktigheten og forskjellene i hvor oljen til bitumen kommer fra er figur 7.14 fremstilt. Her er det sammenlignet den europeiske verdien med to store eksportører av olje til bitumen i Canada og Venezuela. Verdiene er hentet fra onshore produksjonen i landene. Resultatene viser at utslippet er minst for Canada, mens Venezuelansk bitumen gir høye utslipp. Utslippet er mer enn dobbelt så stort som ved bruk av europeisk bitumen og nesten 3.ganger så stort som ved bruk av canadisk bitumen. I resultatene er det benyttet tradisjonell asfalt oppskriften oppgitt i case kapitlet.



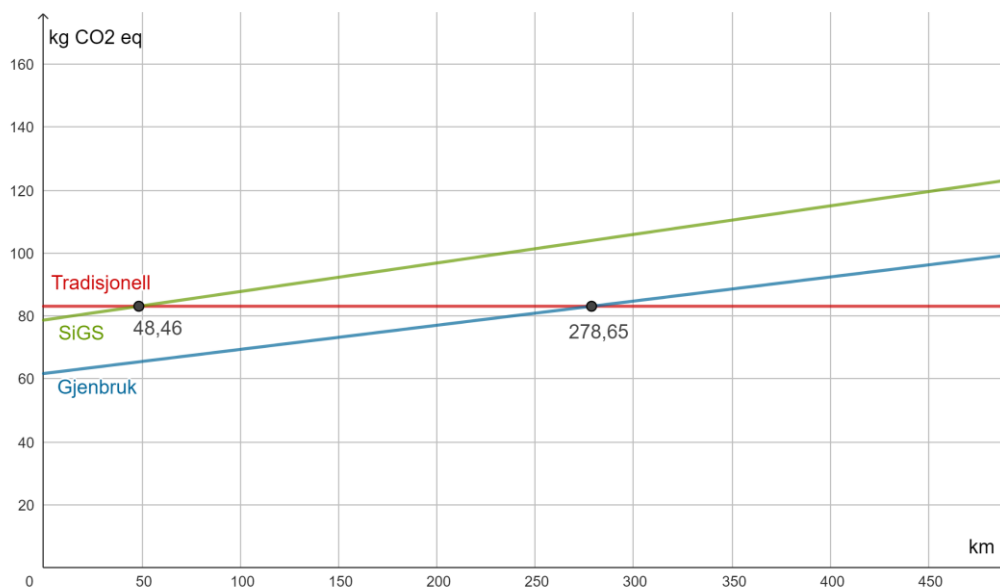
Figur 7.14 – GWP for forskjellige bitumen kilder

Figur 7.15 viser til utslippet dersom man inkluderer 40 % gjenbruk i produktets siste fase (fase D). Her er det blitt trukket ifra utslippet som hadde kommet fra å produsere nye materialer tilsvarende 40 %. 40 % tilsvarer 16 kg bitumen og 384 kg tilslag. Dette vil tilsa et «vugge til vugge»-perspektiv. Utslipp fra eventuell ekstra sortering, oppvarming eller transport er ikke inkludert ettersom det er individuelt fra prøve til prøve. Utslipet reduseres med litt over 15 %.



Figur 7.15 – GWP med eller uten gjenbruk

Fra figur 7.13 kunne man se at SiGS hadde mye utslipp tilknyttet transport. I figur 7.16 ser man hvor langt SiGS tilslag og gjenbrukt asfalt må fraktes før det gir større utslipp enn å benytte tradisjonell asfalt med lokale materialer. For den tradisjonelle asfalten er det lagt inn 5 km frakt av tilslaget. Ved en fraktdistanse på mer enn 48,46 km ser man at SiGS-asfalten får et høyere utslipp. For gjenbruksasfalten er den gjenbrukte asfalten nødt til å fraktes mer enn 278,65 km før det ikke er lønnsomt fra et miljøperspektiv.



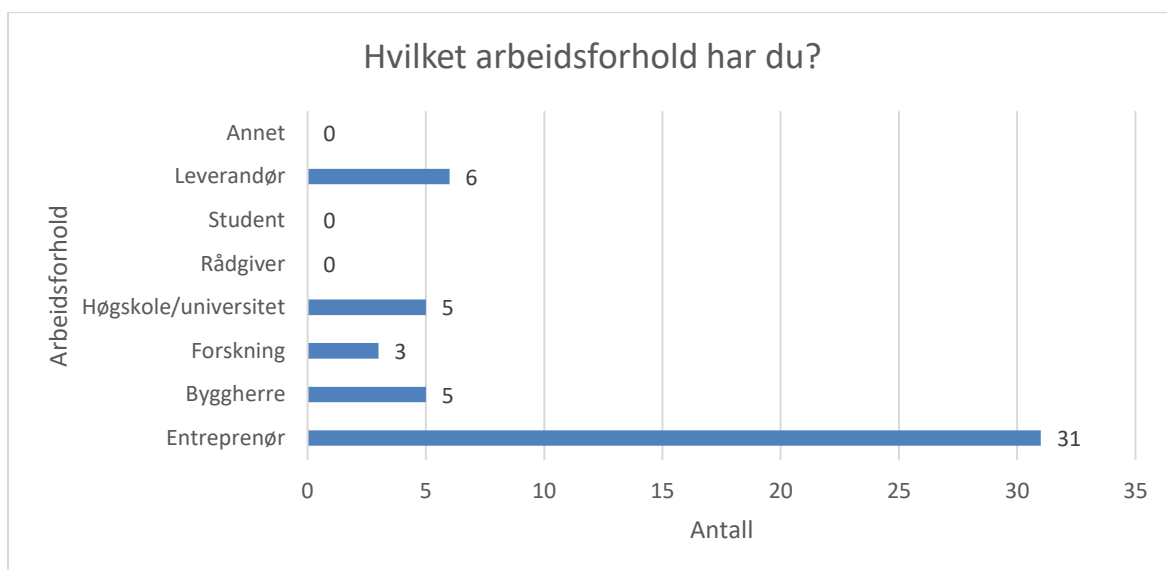
Figur 7.16 – Utslipp basert på transport

7.2. Resultater spørreundersøkelse

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 120 respondenter. Etterfulgt av to påminnelserunder. Det resulterte at 40 respondenter fullførte (33 %) og 10 delvis fullførte (8 %) spørreundersøkelsen. Det er mistanke om at noen av de som delvis fullførte undersøkelsen bare glemte å avslutte spørreundersøkelsen til slutt. Vi ble også tilsendt mail fra et par respondenter som forklarte at de ikke besatt relevant kunnskap for å kunne besvare undersøkelsen. Spørreundersøkelsen bestod av 15 spørsmål hvorav tre av de var valgfrie oppfølgingsspørsmål. Spørsmålene har her i resultatene blitt fordelt inn i kategoriene bakgrunnsinformasjon, dagens situasjon, utordringer og muligheter og fremtidsutsikter. Se vedlegg D for fullstendig spørreundersøkelse.

7.2.2. Bakgrunnsinformasjon

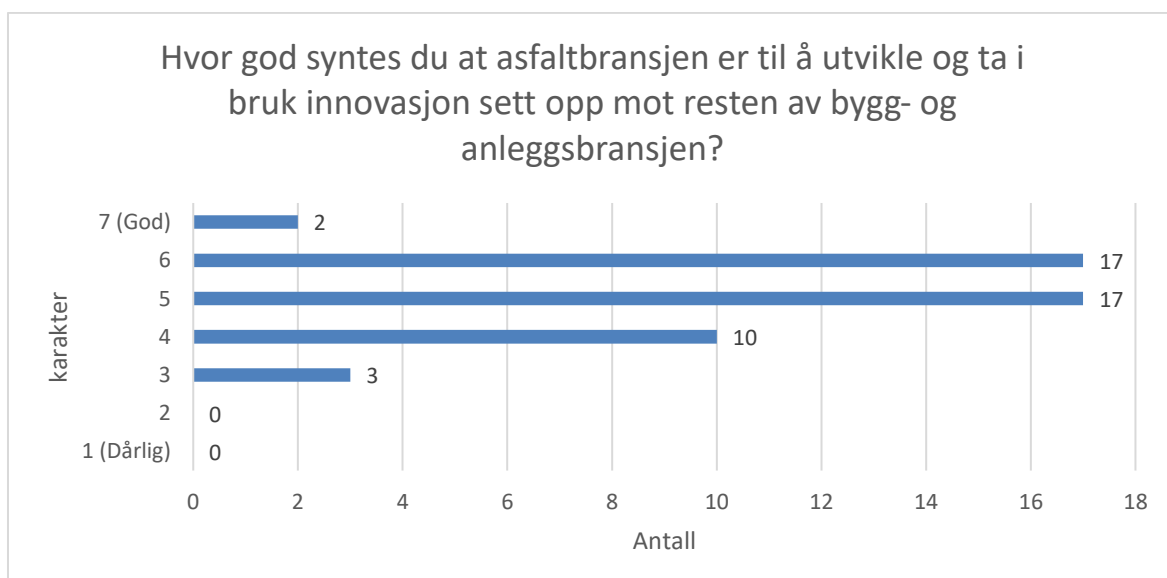
Spørreundersøkelsen ble gjennomført anonymt. Den eneste formen for bakgrunnsinformasjon som ble innhentet gjaldt respondentens arbeidsforhold. Dette var for å kunne få synsvinkler fra forskjellige arbeidsområder. Det var dessuten ønskelig at fordelingen kunne speile forholdet i bransjen. I spørreundersøkelsen var hovedandelen fra entreprenører (62 %), etterfulgt av leverandør (12 %), byggherre (10 %), høyskole/universitet (10 %) og forskning (6 %). Undersøkelsen ble sendt til bedrifter over hele landet, forskjellige forskningsinstitusjoner, flere byggherrer og akademikere ved flere av landets største universiteter. Fordelingen er vist i figur 7.17.



Figur 7.17 – Hvilket arbeidsforhold har du?

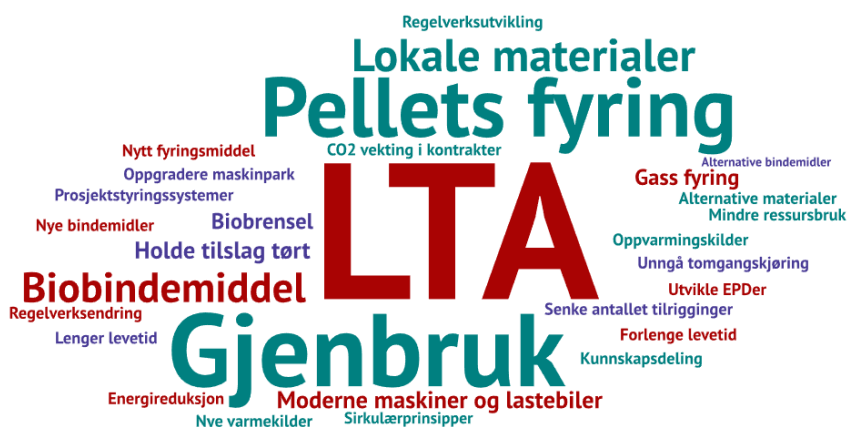
7.2.3. Dagens situasjon

Respondentene ble spurt om hvordan de mener asfaltbransjen er til å utvikle og ta i bruk ny innovasjon sammenlignet med resten av bygg- og anleggsbransjen. Her stilte majoriteten seg positivt til hvor bransjen står den dag i dag. Flesteparten ga bransjen en god karakter, hvor bare tre respondenter rangerte det under middels. Figur 7.18 viser til resultatene hvor 1 er dårligst og 7 er best.



Figur 7.18 – Hvor god syntes du asfaltbransjen er til å utvikle og ta i bruk innovasjon sett opp mot resten av bygg- og anleggsbransjen?

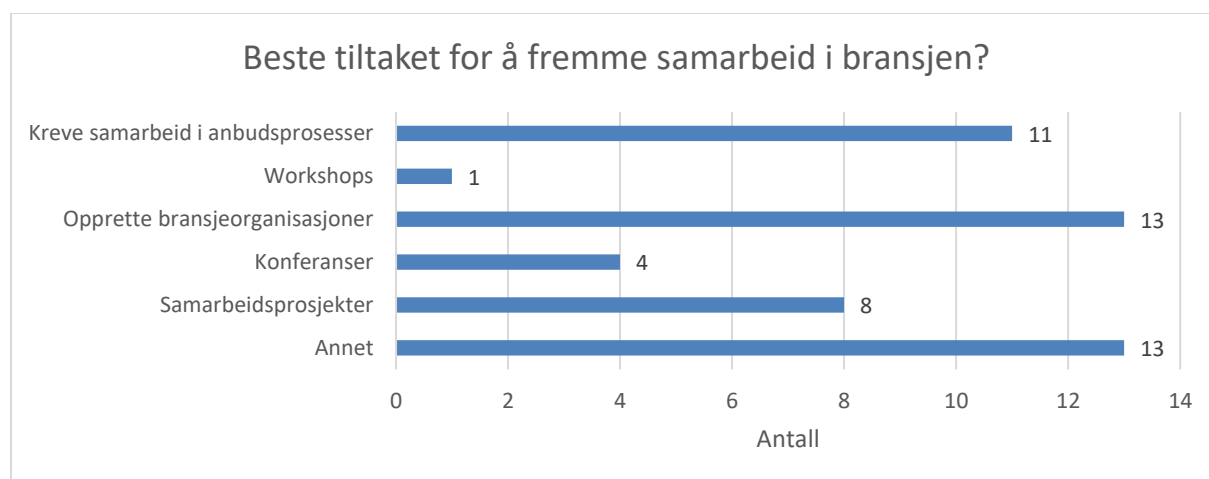
Av hva respondentene selv har bidratt med av miljøvennlige tiltak så man et bredt spekter av tiltak. Disse er fremstilt gjennom en ordsky i figur 7.19. Fra ordskyen kan man se at ordene som oftest gikk igjen var lavtemperaturasfalt (LTA), gjenbruk, pellets fyring og lokale materialer. Det var også flere som la vekt på at de hadde byttet til maskiner og lastebiler som hadde mindre utslipp. Tre av respondentene la også vekt på å holde tilslaget tørt gjennom å lage ly over steinen. Dette vil ha store energibesparelser ved oppvarming av tilslaget. Erfaringene deres med tiltakene var for det meste positive, men en god del forklarte også at det var svært kostnadskrevende å holde på med, særlig på lang sikt.



Figur 7.19 – Ordsky, miljøvennlige tiltak [174]

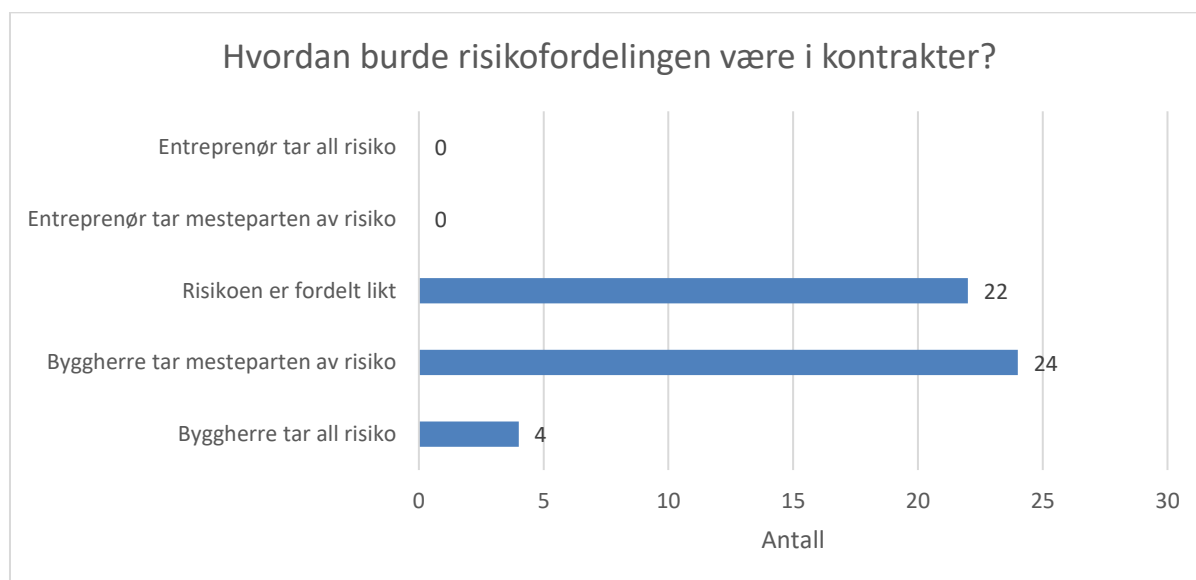
Mange av tiltakene som er nevnt er typiske for entreprenører og leverandører. Men blant tiltakene kan man også se kunnskapsdeling. Dette leder oss inn på et annet spørsmål i spørreundersøkelsen. Nemlig hvordan man kan fremme samarbeid for å oppnå en grønnere asfaltbransje? Her fikk vi jevnt fordelte svar: 26 % mente opprettelse av bransjeorganisasjoner var det beste tiltaket, etterfulgt av å kreve samarbeid i anbudsporsesser på 22 % og samarbeidsprosjekter på 16 %. Her var det også mange som valgte «annet» alternativet. Svarfordelingen er vist i figur 7.20. I oppfølgingsspørsmålet kom det frem flere tiltak fra respondentene. De mest gjengående kommentarene gikk på:

- Krav om åpenhet rundt EPD og klimatiltak
- Tilretteleggelse fra byggherre i kontrakter
- Krav om erfaringsdeling fra utførelsen av innovative metodikker og materialer



Figur 7.20 – Beste tiltaket for å fremme samarbeid i bransjen?

Flere stilte seg også kritisk til for mye samarbeid mellom konkurrenter og presset om å utvikle miljøvennlige metoder. De mente dette heller burde ligge på byggherres skuldre, ettersom det foreligger stor risiko knyttet til kvaliteten til arbeidet. Dette ble det spurt om i spørsmålet «hvordan burde risikofordelingen være i kontrakter?» Særlig sett opp mot prosjekter hvor det tas i bruk ny innovasjon. Her mente flesteparten at byggherre skulle ta mesteparten av risiko eller at den skulle fordeles likt. Fire respondenter mente også at byggherre skulle ta all risiko, slik som vist i figur 7.21.



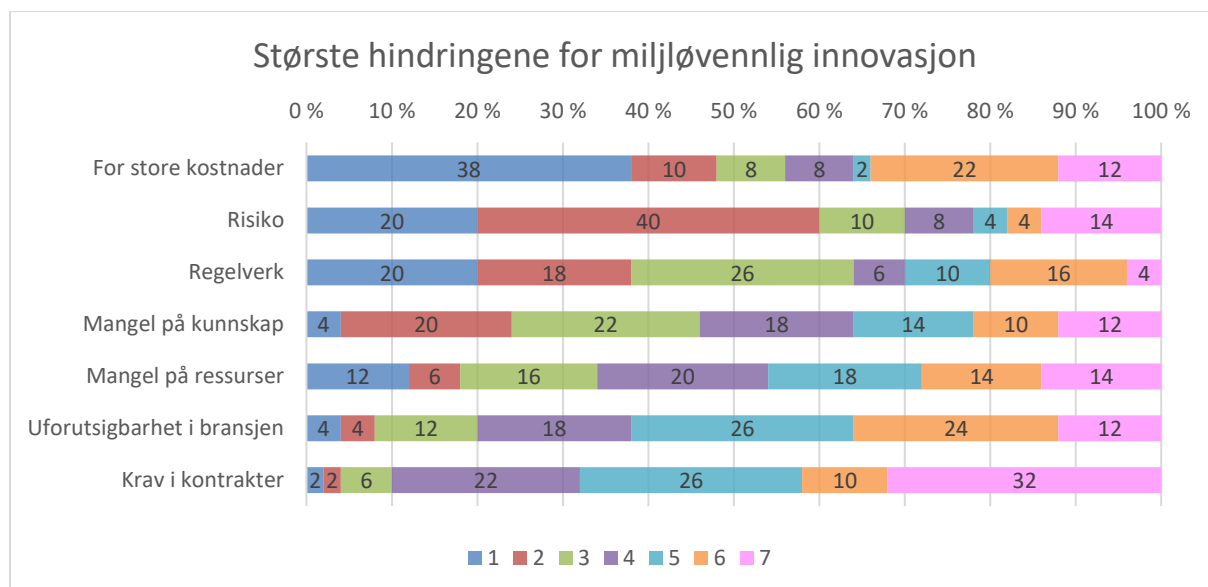
Figur 7.21 – Hvordan burde risikovurderingen være i kontrakter?

7.2.4. utfordringer og muligheter

I figur 7.22 kan man se en oversikt over hva som anses som de største hindringene for å utvikle og ta i bruk miljøvennlig innovasjon. Resultatene er varierende. 1 representerer her den største hindringen og 7 viser til den minste utfordringen. Her er snittrangeringen av de forskjellige alternativene:

1. Risiko (3,04)
2. Regelverk (3,32)
3. For store kostnader (3,40)
4. Mangel på kunnskap (3,96)
5. Mangel på ressurser (4,24)
6. Uforutsigbarhet i bransjen (4,78)
7. Krav i kontrakter (4,86)

Man ser at risiko anses som den største hindringen etterfulgt av regelverk og store kostnader. De minste hindringene var krav i kontrakter og uforutsigbarheten i bransjen. Resultatene er jevnt fordelt utover og minst en respondent har plassert hver hindring under hvert utfordringsnivå (1 til 7). Selv med det tredje største snittet var det flest som hadde plassert for store kostnader som nummer 1.



Figur 7.22 – Resultatfordeling, største hindringer for miljøvennlig innovasjon

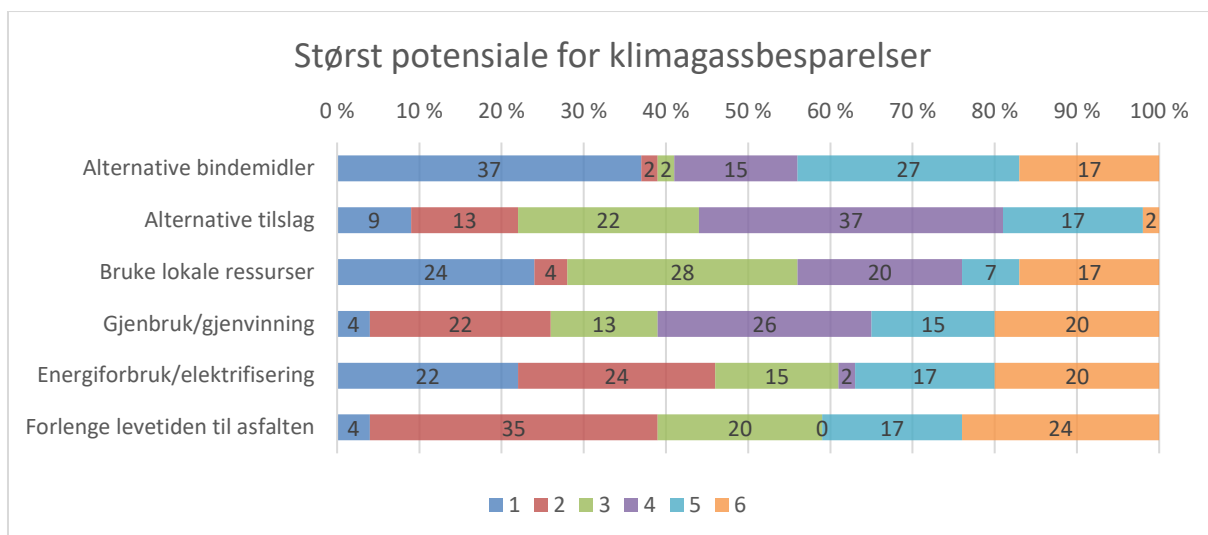
Foruten de gitte hindringene fikk respondentene komme med egne innspill. Dette var noen av hindringene de opplever:

- Investeringskostnadene for å endre på produksjonsprosessene er dyrere enn å kjøpe inn dyrt biodrivstoff. Disse gir bedre avkastning på kort sikt, men er dårlig for bransjen.
- Det er bare når det er statlig byggherre det legges vekt på redusert utslipp. Man blir derfor utkonkurrert på pris i det private markedet dersom man tar i bruk miljøvennlige metoder.
- Mangel på miljøvennlige valg i EPD Norges kalkulatorer gjør at man ikke får presentert alle tiltakene man gjør knyttet rundt produksjon.
- Det totale volum behovet i markedet er lavt, som følge av dette trykker markedskreftene prisene så lave at det er vanskelig å dekke investeringsbehovet for klimatiltakene.

Bransjen ble spurt om hvor de mener det foreligger størst potensiale for klimagassbesparelser. Resultatene ble veldig varierende, slik som vist i figur 7.23. Det er vanskelig å dra slutninger basert på disse resultatene. Mange hadde rangert alternative bindemidler som den med størst potensiale, men samtidig hadde mange rangert det lavt også. Regner man på snittene til de forskjellige kategoriene blir rekkefølgen slik:

1. Energiforbruk/elektrifisering (3,28)
2. Bruke lokale ressurser (3,33)
3. Alternative bindemidler (3,44)
4. Alternative tilslag (3,46)
5. Forlenge levetiden til asfalten (3,63)
6. Gjenbruk/gjenvinning (3,86)

Noe overraskende var rangeringen av gjenbruk/gjenvinning som har gjort det såpass godt i vår livsløpsanalyse. Det er verdt å merke seg at spørsmålet kan ha blitt tolket på forskjellige måter. Ettersom det spurt om hvor de mener det foreligger størst potensiale, så kan det blitt sett på mer generelt eller ut ifra hvor langt praksisen har kommet i dag.



Figur 7.23 – Resultatfordeling, størst potensiale for klimagassbesparelser

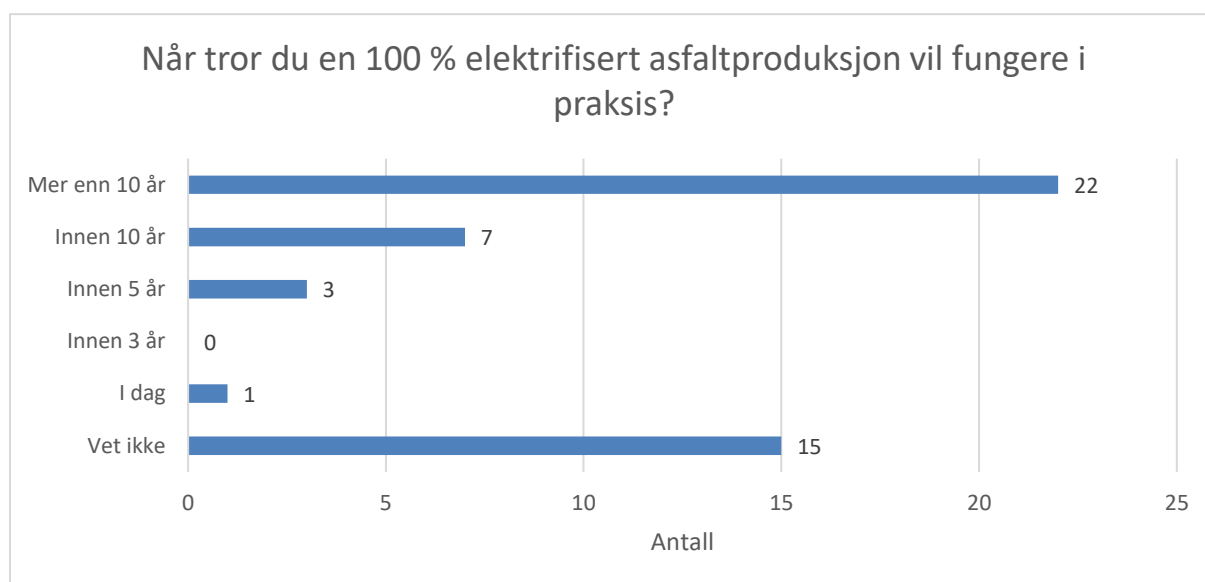
På spørsmålet om hva asfaltbransjen kan gjøre for å fremme sirkulær økonomi var det et tiltak som gikk igjen i de fleste svar, nemlig gjenbruk. Det er tydelig fremstilt i figur 7.24. Det var lagt vekt på at asfalt måtte gjenbrukes i høyere grad og at man burde unngå at den gjenbrukte asfalten gikk til andre formål enn ny asfalt. Dette ettersom at materialene da faller ut av livssyklusen. Det kom også frem tiltak som å benytte lokal avfallsprodukter og industriavfall. Flere gikk også inn på vedlikeholdsarbeidet av vegene. Her burde det freses bort mer asfalt ettersom det på lengre sikt lønner seg ved at asfalten lever lenger og man unngår etablering av rigg i korte perioder. Det samme gjaldt også ved å lappe veger istedenfor å måtte overhale veger ofte.



Figur 7.24 – Ordsky, sirkulær økonomi i vegbransjen

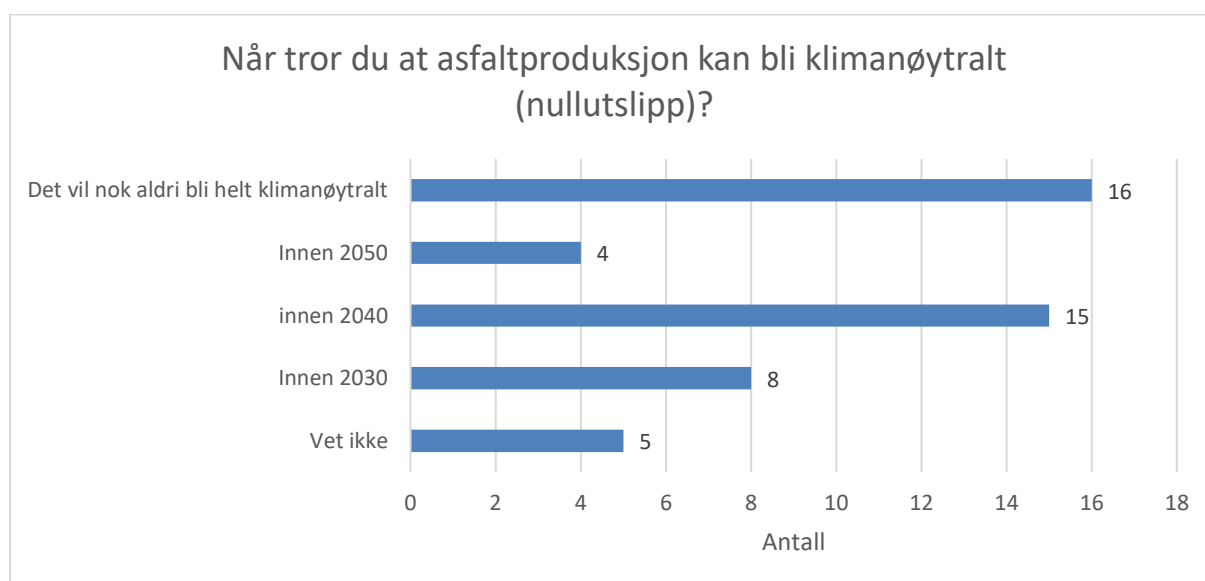
7.2.5. Fremtidsutsikter

Flere av spørsmålene var fremtidsrettet med spørsmål om når man kan oppnå en 100 % elektrifisert asfaltproduksjon som i praksis vil fungere, og når produksjonen kan oppnå klimanøytralitet. Svarene er vist i figur 7.25 og figur 7.26. De fleste mente at det ville ta mer enn 10 år å kunne oppnå en 100 % fungerende elektrifisert asfaltproduksjon. En god andel stilte seg usikker til problemstillingen. En respondent mente også det var mulig i dag.



Figur 7.25 – Når tror du en 100 % elektrifisert asfaltproduksjon vil fungere i praksis?

I spørsmålet om når produksjonen kan oppnå klimanøytralitet var det stor variasjon i svarene. Flere mente det var mulig innen 2030 og 2040, mens en god del mente at et nok aldri vil bli helt klimanøytralt. Det tyder på varierende tro på klimanøytralitet i bransjen.



Figur 7.26 – Når tror du at asfaltproduksjon kan bli klimanøytralt (nullutslipp)?

Avslutningsvis ble resipientene spurt om hvordan de tror bransjen vil se ut i år 2050. Veldig mange stilte seg usikker til hvordan bransjen ville utvikle seg. En god andel mente også at den vil være lignende slik den er i dag, og vil fortsette å være en viktig del av samferdselssektoren. Flere så også lyst på fremtiden og kunne se for seg en grønnere bransje med nye bindemidler, mer elektrifisering, lavtemperaturasfalt og lengere levetid på dekke. Generelt sett var de fleste positive for en grønnere fremtidig asfaltbransje.

8. Diskusjon

I diskusjonsdelen vil hver av miljøasfaltene analysert i oppgaven diskuteres. Det vil også diskuteres hvordan man kan oppnå mer innovasjon i asfaltbransjen, hva som er utfordringer og muligheter, og hvordan disse kan håndteres. Avslutningsvis vil diskusjonen oppsummeres under ett eget kapittel.

8.1. SiGS

SiGS-asfalt har levert godt på de fysiske testene den har blitt utsatt for og tilfredsstillende kravene gitt i N200 [85]. Dette er viktig fordi det viser at SiGS egner seg for bruk i asfalt og rent mekanisk er den godkjent for bruk. For entreprenører og byggherrer vil dette være helt avgjørende for at de i hele tatt skal vurdere å bruke SiGS-asfalt i et vegprosjekt. Den har ikke blitt testet for kulemølleverdi, som gir et uttrykk for motstand av piggdekkslitasje. Derfor er det knyttet usikkerhet til egnetheten til SiGS rundt dette. Produsenten av SiGS har også uttrykt bekymring rundt denne verdien. Dette betyr at dersom denne verdien ikke ligger innenfor kravene vil ikke SiGS-asfalt være brukbar. Men SiGS-asfalt har blitt testet i en Agb 11 på en veg med ÅDT < 1500. Derfor kan man anta at kulemølleverdien skal være mindre enn 19 som er kravet for en slik veg [34]. Dette betyr at rent mekanisk så er SiGS et alternativ til steintilslag. Dette er viktig å merke seg for både entreprenører og byggherrer, men også andre produsenter som har lignende slagtyper de kan utnytte bedre [89]. Her vil de ha en mulighet for å tjene penger på et biprodukt og samtidig bidra til en sirkulær økonomi.

Utslipet til SiGS-asfalten er på 73,4 og 91,4 kg CO₂-ekvivalenter. Disse tallene er på nivå med utslippet til tradisjonell asfalt. Dette kommer av transportandelen, men også det at SiGS erstatter tilslaget i asfalten og ikke bindemidlet. Dette påvirker resultatene fordi tilslaget står kun for Ca. 5-8 % av utslippet [45]. Dette betyr at SiGS-asfalt har klare begrensninger for når det er gunstig å ta i bruk. Det kommer fram at det gjelder innenfor en radius på 48 km, jo lavere transportavstand jo bedre er det å bruke SiGS. Bruken av SiGS er en fordelaktig situasjon for asfaltprodusenten og de som produserer biproduktet. Asfaltprodusenten vil få et billigere alternativ til steinmaterialet og de vil kunne bevege seg mot en mer sirkulær økonomisk produksjon. Produsenten av SiGS vil få muligheten til å kvitte seg med dette biproduktet, tjene penger på det og fremme seg som en mer sirkulær økonomisk bedrift [176]. Ved en økning til 100 % SiGS andel vil fordelene ved bruken bare øke. Det som har kommet fram i oppgaven er at det finnes fordeler ved bruk av SiGS, både bærekraftig og sirkulær økonomisk. Men disse fordelene kommer med klare begrensninger, slik som transport og kulemølleverdi. Dette er viktig fordi det setter spørsmålsteget ved bruksområdet til materialet. Bruk av SiGS som sementerstatning i betong har vist at det kan spare opptil 95 % av klimagassutslippene, sammenlignet med sement [79]. SiGS vil altså kunne redusere mer utslipp brukt i betong fremfor

asfalt. Dette er noe entreprenørene burde merke seg. SiGS-asfalt har allerede store betingelser knyttet til bruken for at det skal være fordelaktig. SiGS vil ha de samme utfordringene knyttet til transport også i betong, men de større reduksjonene i klimagassutslipp vil være med på å gjøre dette til den mest miljøvennlige løsningen, samlet sett.

SiGS produserer ikke noe egenfiller når det brukes i asfalt. Dette fører til at SiGS er avhengig av fremmedfiller for å kunne oppfylle kravene tilknyttet filler. Som en konsekvens av dette vil det være nødvendig med transport og produksjon av fremmedfiller, dette vil være viktig for det samlede utslippet til SiGS-asfalt. Skulle man prøvd å oppnå mer klimagassreduksjon ved bruk av en 100 % SiGS blanding vil behovet for fremmedfiller også øke. Det kommer frem at hovedfordelen ved bruk av SiGS vil være at det er et biprodukt og vil hjelpe bremse bruken av jomfruelige materialer. Hvis man ser bort ifra transport vil det alltid være bedre å bruke 1 kg SiGS over 1 kg stein, på grunn av de jomfruelige ressursene man sparer ved bruk av SiGS. Det reduserte klimagassutslippet vil komme mer i andre rekke som en bonus, selv om dette utslippet vil i praksis nesten være like null etter en økonomisk allokering gjort for SiGS [176]. Fordelene ved SiGS vil være at man fremmer sirkulære prinsipper ved å unngå avfall, gjenbruke og letter trykket på naturen. Dette er viktige punkter som vegbransjen burde merke seg.

SiGS har høyere massetetthet enn de typiske steinmassene benyttet i asfalt [86]. Dette gjør at asfaltblandinger med SiGS vil trenge mindre bitumen, ettersom tilslaget har mindre overflateareal. Man ser i casene for denne oppgaven at SiGS-asfalten har mindre bitumen innhold enn den tradisjonelle asfalten. Dette er derimot en liten reduksjon. Vi antar at ved bruk av 100 % SiGS tilslag i en asfaltblanding vil man kunne redusere bitumen innholdet med ca. 1 kg sammenlignet med tradisjonelle steinmaterialer.

Det kommer frem at SiGS-asfalt vil kunne gi en miljøgevinst hvis den blir brukt innenfor en radius på 48 km fra et smelteverk som produserer SiGS. Smelteverk som produserer SiGS, er det kun et fåtall av i Norge så disse lokasjonene vil være begrenset. En mulighet her vil være å belære stålindustrien i Norge om mulighetene for bruk av slagg i asfalt. Det er gjort flere forskjellige studier på stålslag som egner seg for bruk i asfalt [89]. Dette vil hjelpe redusere de store transportproblemene tilknyttet SiGS. En overgang fra SiGS-asfalt til en mer generell slagg-asfalt vil bedre forutsetningene betraktelig for bruken av denne type miljøasfalt. Kunnskapsbakgrunnen viser at en asfalt med 56 % stålslag hadde en reduksjon på 10 % i klimagassutslipp, sammenlignet med en konvensjonell asfalt [93]. For SiGS-asfalten i oppgaven var denne reduksjonen på 4,9 % med en 50 % SiGS andel. Dette stålslaget har også prestert godt i de mekaniske testene. Dette peker på at man kan anta at SiGS og stålslag fra andre typer stålproduksjon som har vært sett på i kunnskapsbakgrunnen av oppgaven vil fungere noenlunde likt i asfalt. Dette er viktig fordi det viser at det er mulig at slagg-asfalter kan utnytte de positive sidene ved SiGS-asfalt og redusere ulempene.

Det viktigste for SiGS er å få brukt SiGSen, slik at man unngår at det ender opp som avfall. Klimabesparelsen vil være størst hvis den blir brukt som sementerstatning i betong. Dette viser kunnskapsbakgrunnen og er nok det alternativet som burde satses på i fremtiden, men dersom målet med SiGS vil være å få brukt opp alle de 220 000 tonnene som produseres årlig vil nok den beste løsningen være en kombi-løsning [164]. En løsning der produsenten av SiGS leverer hovedsakelig til sementerstatning, men også til bruk i veg. Slik vil SiGSen bli utnyttet i størst mulig grad og man kunne

bruke SiGS i asfalt der det er gunstig og i betong der det er bedre egnet. Når SiGS i utgangspunktet er et avfallsprodukt vil all bruk av dette hjelpe miljøet, men utfordringen vil være å finne produktet der det kan bli brukt mest mulig effektivt. Bruken av SiGS vil gjøre behovet for stein mindre som fører til mindre inngrep i naturen. Dette gir SiGS gode klimabesparelser og er med på å gjøre det til et mer attraktivt produkt for bygg- og anleggsbransjen.

8.2. Bioasfalt

Asfalt står årlig for store utslipp. I 2021 ble det produsert nesten 7 millioner tonn asfalt i Norge [52]. Bare en liten utslippsreduksjon per tonn asfalt vil kunne gi enorme besparelser i det store bildet. Som vist både gjennom kunnskapsbakgrunnen og livsløpsanalysen i denne oppgaven kommer det største utslippet i asfaltblandinger fra bitumen. Det er derfor avgjørende å fase ut bruken av bitumen. Slik som resten av samfunnet ønsker å fase ut bruk av petroleum. Bruken av biobindemiddel åpner opp for økonomiske og sirkulær-økonomiske muligheter, samt reduserte klimagassutslipp.

I denne oppgaven har talloljeasfalten vært det biologiske innslaget. LCA analysen viser til et lavere utslipp enn tradisjonell asfalt. Dette viser til at bioasfalter er absolutt noe som burde satses mer på i fremtiden. Fra litteraturen ser man at bruken av biologisk masse i asfalter gir god motstand mot termiske sprekkdannelser og spordannelser [68]. Dette gjør at bioasfalter vil egne seg godt til bruk i områder hvor det forekommer store temperaturforskjeller. Disse egenskapene er egenskaper som står sterkt mot utfordringene asfalt står ovenfor tidlig i livsløpet. Hovedankepunktet til et flertall av miljøasfaltene var deres mangel til å motstå trettthetssprekkdannelser. Dette gir mening ut ifra DSR testene gjort på bioasfaltene. Man så ofte en økt elastisitet, som gir asfalten en lav fasevinkel. Lav fasevinkel er sammenfallende med gode termiske egenskaper og motstand mot spordannelse. Viskositeten til asfaltene ble i de fleste tilfeller ikke økt, og noen av de tidligere studien viste til en lav G^* . Dette er en indikasjon på at asfalten vil krype under påføring av mye last. Asfalten vil derfor bli kompakt og få sprekkdannelser etter flere år utsatt for trafikk. Det vil derfor være hensiktsmessig å benytte bioasfalt i områder hvor det er ekstra kaldt eller varmt. Asfalt absorberer mye sollys og blir derfor veldig varm, dette kan føre til at asfalten smelter bort hvis den ikke er dimensjonert for slike temperaturer. En bioasfalt vil derfor motstå spordannelser i disse scenarioene. Flere steder i Norge oppleves det temperaturer på lavere enn -30 grader celsius om vinteren. Her vil det også være lønnsomt å benytte bioasfalt. Et annet bruksområde er i byer eller områder med mye infrastruktur liggende under vegen. I byer blir det jevnlig gjort vedlikeholdsarbeid på el- og vannsystem under vegen. I disse områdene blir derfor asfalten ofte byttet ut. En bioasfalt med gode egenskaper tidlig i bruksfasen vil derfor være gunstig å benytte til slik bruk. Ettersom bioasfalt har et lavere klimautslipp vil det også kunne være gunstig å benytte det på vegger som ikke belastes med mye last. Som for eksempel gangveger, turløyper og rulleskibaner.

Bioasfalter bidrar også til sirkulær økonomi. Som vist i kunnskapsbakgrunnen så er mange bioasfalter utviklet fra biprodukter eller avfall fra andre prosesser. Ved bruk i asfalt gir det bedre utnyttelse av råvarene, gir nytt liv til avfallet og unngår at materialer må avfallshåndteres og deponeres. Ettersom det brukes biprodukter vil det også finnes økonomiske muligheter som gir kostnadsbesparelser. I scenarier hvor det tas i bruk biprodukter er det viktig å ta høyde for allokering i LCA beregninger. Ser man til talloljeproduksjonen, så er det et biprodukt fra papirmasse. Skulle dermed etterspørselen

og prisen på tallolje bli større enn papirmasse. Vil det føre til at det produseres et overskudd med papirmasse. Da er problemstillingen snudd andre vegen. Tallolje er nettopp et produkt som kan havne i denne situasjonen ettersom etterspørselen fra flere bransjer øker [68]. I papirproduksjonsprosessen dannes det større mengder papirmasse enn tallolje. Ved en masseallokering vil utslippet derfor favorisere talloljen. En økonomisk allokering vil derfor være fordelaktig å benytte ettersom det gjenspeiler markedet. Tilgangen på tallolje og andre flytende biomasser er begrenset [68]. De vil derfor ikke kunne dekke markedets behov til asfalt. Bransjen burde derfor heller se til bruken av faste biomasser, hvor tilgangen er vesentlig større. Herunder finner man biprodukter fra jordbruk og treindustrien.

I livsløpsanalysen viste talloljeasfalten til en utslipp på 5,7 kg CO₂-ekvivalenter mindre enn tradisjonell asfalt. Dette er en reduksjon på 6,86 % sett fra et «vugge til port»-perspektiv. Det var begrenset med relevante LCA studier gjort på asfalter med tallolje. Derfor kan man se til andre bioasfalter. Tokede et al. (2020) har en oppskrift hvor 25 % av bindemiddelet består av lignin. De kom frem til en GWP reduksjon på 5,76 % [117]. Andelen biobindemiddel i de to blandingene er nesten like store, og det samme er utslippsreduksjonen. Grunnen til at talloljen har en litt større utslippsreduksjon kan skyldes at andelen biobindemiddel var større, annen energikilde for produksjonen eller nasjonale forhold. Studien på lignin var gjort i Australia. Moretti et al. så også bruken av lignin i asfalt. De kom frem til en reduksjon på 35-70 %. Her var andelen lignin 47 % og gjenbruksfasen (fase D) var inkludert [116]. Å inkludere gjenbruksfasen for en bioasfalt, for så å sammenligne den med tradisjonell asfalt uten gjenbruksfase, gir en urettferdig sammenligning. Alle typer asfalter vil kunne gjenbrukes og resirkuleres. Derfor gir disse typer resultater misvisende informasjon.

Benyttelsen av griseavføring i asfalt gikk igjen i flere forskningsartikler. Fra tabell 3.8 (i kunnskapsbakgrunnen) kan man se at asfalt med griseavføring oppnådde svært gode mekaniske egenskaper. I noen tilfeller viste det også til bedre aldringsmotstand, som går imot trenden blant bioasfalter. Samieadel et al (2018) viser også til en utslippsreduksjon på 7,8 % ved bare 10 % griseavføring. Griseavføring virker derfor som et svært spennende materiale for bruk i asfalt.

Livsløpsanalysen bekrefter at talloljeasfalt har mindre utslipp enn tradisjonell asfalt. Oppskriften benyttet for analysen er en oppskrift som har nådd det norske markedet og blitt brukt i vegprosjekter. Det er viktig å analysere asfaltblandinger som er gode nok til å brukes, og ikke bare teoretiske blandinger. Mye av internasjonal forskning gjort på bioasfalter er gjort på asfalter som tilfredsstiller andre lands kvalitetskrav. Denne oppgaven viser til norske utslipp på en asfalt laget og lagt i Norge. Talloljeasfalten ga mindre klimagassutslipp, men ikke like store som antatt. Dette er det knyttet noe usikkerhet rundt. Talloljeproduksjonen kan ha større utslipp enn forventet. Hvordan tallolje produksjonen er allokert i Ecoinvent 3 databasen er også usikkert. Fra litteratur kunne man også se at asfalter med biobindemiddel ikke alltid gjorde det bra fra utslippsperspektiv. Fra studien til Pratico et al. (2023) var det benyttet resirkulert gummigranulat og brukt olivenolje i asfaltblandingen. Her fikk blandingen et høyere utslipp enn tradisjonell asfalt [118]. Dette tilsier at bruken av biologisk materialer ikke direkte betyr lavere utslipp. Alle biologiske materialer er heller ikke universale materialer som er egnet til bruk overalt.

8.3. Gjenbruk

Asfalt kan gjenbrukes 100 %. Det er et materiale som kan brukes om og om igjen. Det er med å bespare jomfruelige materialer og natur, samtidig som det hjelper oss mot en mer sirkulær økonomi. Dette er med på å gjøre gjenbruksasfalt så viktig. Bruken av gjenbruksasfalt i dagens bransje er utbredt, men den er ikke på det nivået den burde være. I 2021 var gjennomsnittandelen på 7 % [123]. Dette tallet er veldig lavt når man ser på alle fordelene bruken av gjenbruksasfalt har. De fleste leverandører kan levere asfalt med en gjenbruksandel på opp mot 40 %, men skal man noe særlig høyere enn dette må det spesialbestilles.

Livsløpsanalysen viser at gjenbruksasfalten med 40 % gjenbruk har et utslipp på 61,7 kg CO₂e og tradisjonell asfalt på 83,1 kg CO₂e. Ved bruk av gjenbruksasfalten har man dermed en GWP besparelse på 25,8 %. På alle miljøkategoriene hadde gjenbruksasfalten de laveste utslippene. Det burde derfor satses på å benytte all frest asfalt i ny asfalt. Dette la også bransjen vekt på i svarene fra spørreundersøkelsen. For å oppnå mer sirkulær økonomi i bransjen er man nødt til å holde materialene og massene inne i asfaltkretsløpet. Det skjer ofte at freste og knuste masser blir brukt i forsterkningslag og ikke i slitelaget der det egentlig burde blitt brukt.

De mekaniske egenskapene slik som LA-verdi, micro-Deval og flisighet ved gjenbruksasfalt endrer seg i liten grad ved nedknusing. Derfor vil det være viktig å være klar over hva slags type asfaltmasser man gjenbruker, og hvilke krav disse massene er designet etter. Det er flere grunner til at bransjen ikke har tatt i bruk en større andel gjenbruksasfalt i blandingene sine. En sentral grunn er tilgjengeligheten på de gjenbrukte massene. Etterspørselen på gjenbrukte asfaltmasser har økt etter at Statens Vegvesen innførte klimakontrakter og bedrifter ønsker et grønnere renommé. I spørreundersøkelsen kom det frem at flere bedrifter slet med å få tak i brukte asfaltmasser. De større bedriftene som sitter på de større andelene av gjenbruksmassene, er interessert i å bruke dette selv og det lille overskuddet som er igjen kan de selge dyrt. Dette gjør det vanskelig for de mindre leverandørene å ta i bruk gjenbruksasfalt. Gjennom personlige samtaler med bransjen forteller de at de står klare til å ta imot mye større andeler brukt asfalt, dersom de fikk tilgang på det. For å hindre at høykvalitets materialer som kunne blitt gjenbrukt i asfalt ikke går tapt som forsterkningslag eller som andre fyllmasser burde man ha en klar prioritering på bruken av disse massene. Dette vil være med på å forhindre sløsing og bedret tilgangen.

En annen årsak til at det ikke benyttes mer gjenbrukt asfalt kan skyldes at svært mange entreprenører drifter egne pukkverk. Ser man til de største entreprenørene i Norge som produserer og legger asfalt har de ofte egne pukkverk. Dette fører til at det er i entreprenørenes egen interesse å få kjøpt og solgt ny stein fremfor å benytte seg av gjenbruksmasser. Det er altså mer økonomisk lønnsomt for dem å fortsette slik de alltid har gjort fremfor å gå over til gjenbruksasfalt. Dette kan være med på å bremse bruken av gjenbruksasfalt i bransjen.

Slitasje av asfaltdekker fører til tapte ressurser og utslipp i naturen. EPDer som er sett på i oppgaven har lagt inn 900 kg gjenbrukt asfalt fra 1 tonn etter endt livsløp. Dette betyr at 100 kg asfalt forsvinner i løpet av asfaltens livsløp. Disse 100 kg kommer fra nedbrytning av vegen, men kan også komme fra svinn i gjenbruksprosessen. Uansett så er dette viktig da dette svinnet også er i fare for å ende opp i naturen. Disse slitasjemengdene er ekstra skadelige for naturområder som ligger i

umiddelbar nærhet til veger. Ved å lage veger som er har bedre motstand mot slitasje vil man få mer asfalt som kan gjenbrukes og være mer skånsom mot naturen rundt vegene.

Det finnes mye tidligere litteratur gjort på gjenbruksasfalt. Studiene varierer gjenbruksandelen og materialene benyttet i blandingene. European Asphalt Pavement Association har rapportert en utslippsreduksjon på 20 % ved 50 % gjenbruksandel [177]. Mens Yang et al. (2014) kom frem til en reduksjon på 21,8 % ved 60 % gjenbruk [126]. Til tross for en lavere gjenbruksandel på 40 % i denne oppgaven, ga den en høyere utslippsreduksjon på 25,8 %. Det er flere potensielle grunner til dette. Som at studiene er utført i andre land eller er utdaterte. En annen grunn er antagelser som er gjort i oppgaven. I oppgaven er det ikke blitt tatt høyde for eventuell behandling som kreves av gjenbruksasfalt etter at den er frest opp. Det kan være tørking av tilslaget ved høyt vanninnhold, tilsetning av kjemikalier for å gjøre asfalten lettere å jobbe med, eller at det er endringer i energiforbruk ved asfaltfabrikken. Det er heller ikke inkludert transport fra der den gamle asfalten freses opp og til asfaltfabrikken. Hvis gjenbruksasfalten må fraktes lange distanser til produksjonssted forsvinner meningen med å benytte gjenbruksasfalt. Hvis det transporteres over 278 km vil det ha større utslipp enn tradisjonell asfalt. Tar man høyde for et litt større utslipp fra usikkerhetene, er utslippsverdiene fra livsløpsanalysen absolutt sammenlignbare med tidligere forskning gjort på gjenbruksasfalt.

For alle asfalter vil det være mulig å gjenvinne og/eller gjenbruke asfalten. Ved gjenvinning tilsvarende 40 % vil man kunne senke utslippet med rundt 15 % for enhver asfalt. Denne fasen kalles fase D. Fase D er en komplisert fase og avhenger av mange faktorer. Som hvordan gjenbruken/gjenvinningen blir utført, hvordan er kvaliteten på det som skal gjenbrukes og til hvilket formål skal det gjenbrukes til. For asfalt kan det variere stort i kvalitet og hvor mye som har blitt slitt bort. Beregninger blir derfor vanskelig når det er så situasjonsbestemt. I realiteten er asfalt 100 % gjenvinnbart. Hvis man da i fase D legger inn negative utslippsverdier tilsvarende utslippet fra å lage disse materialene fra begynnelsen av, vil man da kunne få et tilnærmet klimanøytralt livsløp. Utslippene vil bare komme fra selve produksjonen, legging, fresing, avfallssortering og gjenvinning. Dersom det skjer drevet på fornybar energi gir det oss klimanøytralitet. I praksis vil det være vanskelig å oppnå. I spørreundersøkelsen svarte også flesteparten av respondentene at det vil nok aldri bli mulig. Dette er derfor et problem i sammenheng med utarbeidelse av miljødeklarasjoner. Her kan miljøgevinsten i fase D bli kunstig høy og danne et sminket bilde av produktet. Når man i tillegg til å inkludere fase D, sammenligner det med tradisjonell asfalt uten fase D. Får man et misvisende svar, ettersom at denne asfalten også kan gjenvinnes. Slik som gjort i Moretti et al. (2022) [116]. Hvor og hvordan den gjenvinnende asfalten brukes spiller også stort inn på fase D. Her er det viktig å se på hva den gjenvinnende massen erstatter. Hvis den erstatter bitumen, vil den spare ny asfalt for å produsere nytt bitumen. Dette gir en stor miljøbesparelse. Men dersom det blir brukt som fyllmasse istedenfor tilslag, vil det ha en mye mindre miljøbesparelse. Man sitter heller ikke med en garanti på at asfalten vil gjenbrukes. Særlig i prosjekter hvor produsenten av asfalten ikke har ansvaret for fresing og fjerning av asfalten. Derfor burde fase D behandles med forsiktighet i utarbeidelse av deklarasjoner og aktører som skal bruke produktene er nødt til å ta høyde for dette.

8.4. Spørreundersøkelse

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 120 resipienter. Hvorav 40 besvarte og 10 delvis gjennomførte undersøkelsen. Dette tilsier at 41,67 % av resipientene bidro med å besvare på undersøkelsen, mens en tredjedel (33,33 %) fullførte undersøkelsen. Dette er noe lavere enn 50 % som Jacobsen mente var tilfredsstillende [173]. Vi antar at en del av de som delvis gjennomførte undersøkelsen bare glemte å avslutte undersøkelsen til slutt, og at det derfor ble stående som ikke fullført. Vi kunne se at noen svarte bare på noen spørsmål ettersom at det var flere innsendte svar på de første spørsmålene enn de siste. Noen av resipientene tok kontakt med oss etter å ha blitt tilsendt spørreundersøkelsen, og forklarte at de ikke besatt kunnskapen til å kunne besvare undersøkelsen. Dette var med på dra svarprosenten ned. Det vil trolig være flere som ikke valgte å svare på bakgrunn av det samme, men som ikke tok kontakt.

Det leder oss inn på om det ble valgt ut riktige resipienter. Bakgrunnen for utvalget vårt var å inkludere personer over hele landet, i ulike arbeidsformer og med kunnskap om asfalt. Det ble tatt utgangspunkt i medlemmer av Norsk Asfaltforening. Det ble også valgt ut personer utenom medlemslisten. Det var ønskelig å få sendt ut undersøkelsen til entreprenører, leverandører, akademikere og forskere. Det ble også inkludert svaralternativer for studenter og rådgivere i spørreundersøkelsen, selv om vi i prosessen med å utvikle spørreundersøkelsen konkluderte med at de ikke jobbet like direkte med asfalt og asfaltproduksjon som spørsmålene ville kreve. For innhenting av mailadresser ble vi nødt til å lete på bedrifter, universiteter og forskningsinstitutters hjemmesider. Ofte resulterte det i begrenset kontaktinformasjon og en usikkerhet tilknyttet personers kunnskap om asfalt. Mindre bedrifter hadde også ofte fellesmailer for bedriften. Vi ønsket heller ikke å bare sende ut undersøkelsen til ledere, dette var en utfordring ettersom flere bare oppgir kontaktinformasjon til ledere og styret på hjemmesiden.

Blant de som besvarte undersøkelsen var det 62 % fra entreprenører, 12 % leverandører 10 % fra byggherrer og høgskole/universitet og 3 % innen forskning. Entreprenørene utgjorde en stor andel av respondentene, noe som gjør at de er med på å vinkle resultatene fra deres synspunkt. Gjennom arbeidet med oppgaven har vi vært i kontakt med mange som arbeider med asfalt på forskjellige måter. Hvordan arbeidsforhold man har kan forme synet på bransjen. Gjennom å ha så mange respondenter fra entreprenører vil de utgjøre hovedandelen av resultatene. Noe de da kan forme etter sitt synspunkt. Ikke at det er gitt at alle entreprenører tenker likt, men de har ofte de samme mulighetene og utfordringene. Man kan også argumentere for at det er bra at mange entreprenører har svart. Det er tross alt de som gjør selve jobben med å legge asfalt. Uten noe data på dette vil vi anta at minst 62 % av de som besitter dybdekunnskap om asfalt i Norge, jobber for en entreprenør. Her er det igjen en vurdering å ta på hvor grensen ligger for å ha nok kunnskap om asfalt til å kunne besvare denne undersøkelsen. Og selv om det er mange entreprenører betyr det ikke at de har mest rett rundt disse emnene.

8.5. Innovasjon

Innovasjon i asfaltbransjen er som i alle bransjer viktig for å kunne sikre en utvikling og fremgang i metoder, produkter og teknologi. I asfaltbransjen er det et stort fokus på å få ned utslippene som er tilknyttet prosessene rundt asfalt for å nå klimamålene som er satt. For å få til dette har mange ulike aktører i bransjen kommet med nye ideer og løsninger, slik som i BV-prosjektet. Slike FoU prosjekter er med på å sørge for at asfaltbransjen tar steg i riktig retning, som er veldig bra.

Innovasjon byr på utfordringer, spesielt i bygg og-anleggs bransjen er det risiko tilknyttet innovasjon. Store økonomiske tap, mangel på ressurser og strenge regler er barrierer for innovasjon i bransjen [152]. Når nye innovative løsninger da skal tas i bruk, som er helt nødvendig i et konkurranse preget marked, må noen ta denne risikoen. Den må tas av enten entreprenøren eller byggherren. Når entreprenøren har muligheten til å ta i bruk en ny og bedre løsning på et problem er dette noe som må prioriteres. Samtidig skal byggherren kunne forvente at den nye løsningen som blir presentert skal i stor grad kunne leve opp til de kravene som er satt. Selv om man er nødt på et punkt til å ta steget og ta i bruk nye løsninger som ikke har blitt brukt før. I kunnskapsbakgrunnen kommer det frem at de offentlige byggherrene burde ta ansvar for risiko og være drivere av innovasjon i bygg- og anleggsbransjen [150]. Dette kommer også frem i spørreundersøkelsen for oppgaven. Offentlige byggherrer er i en særegen posisjon når det kommer til dette. De er lite preget av konkurranse og har gode økonomiske forutsetninger. Ved de fleste store vegprosjekter i Norge er byggherren statlig som betyr at dette gjelder spesielt for veg bransjen. For de private byggherrene for de mindre prosjektene vil budsjettene være mindre. Dette er et viktig poeng fordi det byr på utfordringer for innovasjon i denne type prosjekter. Her burde også byggherren dekke risikoen, men ikke i like stor grad som ved de offentlige byggherrene, da midlene her er mer begrenset.

Statens Vegvesen har utviklet klimakontrakter, der det blir satt krav til klimautslipp. Disse kontraktene blir tildelt ikke kun på pris, men også på reduserte klimagassutslipp. Dette er i utgangspunktet et godt tiltak som gjør at entreprenørene må ta grep og bli mer miljøvennlige for å kunne vinne disse kontraktene. Dette fungerer godt for de største entreprenørene når disse har økonomien til å dekke investeringene som kreves for å få ned klimagassutslippet. For de mindre entreprenørene vil dette by på utfordringer. Investeringen som kreves for at de skal kunne konkurrere på slike offentlige kontrakter gjør at de er nødt til å bruke pengene de tjener på å betale ned lån og avdrag på disse investeringene. Lav avkastning er en av barrierene for innovasjon [152]. Dette rammer de mindre entreprenørene ved slike kontrakter og er noe Statens Vegvesen burde merke seg. I de private kontraktene blir de mindre entreprenørene derfor nødt til å prise seg høyere grunnet innvesteringene som er gjort. Dette kom også frem i spørreundersøkelsen hvor flesteparten av respondentene hadde oppgitt «for store kostnader» som den største hindringen. Målt i gjennomsnitt var ikke kostnader den største hindringen. Dette kan tyde på at for mindre bedrifter er det en stor utfordring, men ettersom spørreundersøkelsen ble besvart av mange personer i store bedrifter, ble derfor kostnadssnittet trukket ned. På bakgrunn av de store investeringene blir de utkonkurrert på det private markedet også, og havner i en tap tap-situasjon. Dette er viktig fordi det peker mot at klimakontraktene til Statens Vegvesen ikke fungerer for alle aktørene i asfaltbransjen. I verste fall vil dette føre til at de mindre entreprenørene blir utkonkurrert og presset ut av markedet. En vurdering av andre klimatiltak som vil fungere bedre for det private markedet er noe Statens Vegvesen må se nærmere på. Hvis ikke er man nødt til å vente til det blir utviklet miljøvennlige

Løsninger som er billigere enn dagens praksis. Statens Vegvesen kan derfor bidra til at denne prosessen går fortere.

Utfordringer ved regelverket er noe som forekommer ofte i asfaltbransjen og er også identifisert som en barriere for innovasjon [152]. Det er tydelig at ordvalg og beskrivelser i N200 gjør det vanskelig å komme med nyskapende løsninger. Ord som «steinmaterialer» gjør det vanskelig å erstatte stein med et annet materiale som er mer miljøvennlig og samtidig oppfyller kravene som er satt. Et eksempel på dette er bruken av SiGS, der det har vært vanskeligheter med å få godkjent bruken da det per definisjon ikke er stein som kom frem etter samtale med entreprenøren. Slike ting begrenser entreprenørene veldig når det kommer til å ta i bruk nye materialer i veien. I den nye versjonen som kommer av N200 i 2024 vil åpne mer for slike nye materialer og gjenbruk [151]. Det er viktig med oppdateringer av regelverket slik at det ikke blir for «firkantet» og hindrer nye løsninger, men det kommer også frem negative sider ved endringer. Det er viktig for entreprenørene å ha en form for forutsigbarhet og muligheten til å tilpasse seg varslede endringer på en god måte. Når dette ikke skjer kan entreprenørene havne i situasjoner der de er nødt til å gå tilbake til eldre og dårligere løsninger fordi dette er det eneste de har som oppfyller de nye kravene. Et eksempel på dette er fra en asfaltfabrikk som det har vært kontakt med i oppgaven. Der hadde det blitt tatt i bruk matolje som energikilde for å hjelpe drifte asfaltproduksjonen. Dette var en innovativ og bærekraftig løsning. Her møtte de på utfordringer ved å få denne løsningen godkjent av regelverket. Dette fikk de ikke og så seg nødt til å gå tilbake til gass for å drifte produksjonen. Slike eksempler er viktig for bransjen å ta seg merke i. Slike miljøvennlige løsninger er noe som burde oppmuntres til og burde være lett å få en godkjenning til. Når entreprenører møter store utfordringer på å få godkjenning av bruk til nye miljøvennlige løsninger, vil dette hindre innovasjon i bransjen. Det vil føre til at flere ikke tar seg bryet med å komme med slike løsninger og utviklingen i bransjen vil stoppe opp som en følge av dette.

Utfordringer ved de miljøvennlige metodene og løsningene er at de er vanskelige å ta i bruk. Dette er spesielt forbundet med pris, noe som er en kjent og viktig problemstilling i veg-bransjen. Dette er fordi innkjøpet av maskiner, utviklingen av miljøasfalter og grønnere produksjon koster mye penger. En løsning som har blitt brukt for dette er incentiver eller såkalte «gulrøtter». Dette går ut på at man får utbetalt en sum hvis man tar i bruk forskjellige miljøtiltak eller holder utslippet under en gitt grense. Disse tiltakene er viktige, spesielt da det ble pekte på kostnad og risiko som noen av de største hindringene for innovasjon både i kunnskapsbakgrunn og spørreundersøkelsen [152]. Går man litt dypere finner man utfordringer knyttet til dette, som bransjen burde merke seg. Investeringskostnadene for å endre produksjonsprosessene er dyrere enn å kjøpe inn biodrivstoff. Dette gir en bedre avkastning på kort sikt som er bra for innovasjon, men er dårlig for bransjen samlet sett. Dette er dårlig for bransjen da etterspørselen etter biodrivstoff vil øke, fordi entreprenørene vil nå målene satt for utslipp i kontraktene. At de fleste velger å gå for en løsning som går på biodrivstoff fremfor en investering av mer miljøvennlige maskiner og produksjon, kommer av at teknologien på dette feltet må utvikle seg for at prisen skal bli mer konkurransedyktig. En slik utvikling vil føre til at prisen legger seg på et lavere nivå og denne teknologien vil komme frem som et mer fornuftig alternativ. Veg bransjen er en veldig markedsavhengig bransje og når markedet er dårlig går det også dårligere med veg bransjen. Når det er kommet frem at det er problemer med å dekke investeringene som kreves for klimatiltakene, er dette ikke kun fordi investeringene er dyre, men også fordi volumbehovet på asfalt i markedet er lavt. Økonomiske dårlige tider vil minke

pågangen av byggeprosjekter og føre til at det er mindre penger til entreprenørene. Dette fører til at det vil bli gjort prioriteringer av hva som må brukes penger på. Innovasjon er da en post som ikke vil bli prioritert hos de fleste entreprenører. I lys av dette vil det være vanskelig for staten å kreve mer miljøvennlige løsninger uten å tilby støtte for slikt.

Fremtidsutsiktene for bransjen har pekt på elektrifisering, for å få en mer miljøvennlig energikilde. Om det i det hele tatt er mulig å få en 100 % elektrifisert bransje er et viktig tema. Det er ofte forskjellige oppfatninger av muligheter og utfordringer innad i en bransje. Entreprenørene som er ute på byggeplassen har et annet inntrykk av hva som er mulig for elektrifisering enn forskerne som sitter på laboratorier og universiteter. Slike ulike oppfatninger og generell skepsis er store utfordringer for innovasjon i bransjen. Derfor er det viktig med tiltak slik som krav om samarbeid, konferanser og bransjeorganisasjoner. Ved hjelp av disse vil man kunne avdekke de forskjellige oppfatningene av problemer og sammen komme til en løsning. Fra spørreundersøkelsen kommer det frem at ca. halvparten mener det kommer til å ta mer enn 10 år for bransjen å bli 100 % elektrifisert. Flesteparten av respondentene er entreprenører så dette peker på at bransjen har inntrykk av at dette er langt unna. Spørsmål om en klimanøytral bransje er også med på å gi en pekepinn for holdningene i asfaltbransjen. Det er viktig å få et inntrykk av disse holdningene for å vise behovet for flere samlinger, seminarer, workshops og forskningsprosjekter.

8.6. Usikkerheter og forbedringsområder

Det forekommer flere usikkerheter og forbedringsområder i oppgaven. Disse er med på å gi utslag i resultatene vi har kommet frem til.

En sentral usikkerhet er kjennskapen til databasen Ecoinvent 3 i SimaPro. Flere av innskuddsprosesser og verdier er hentet fra ikke norske forhold. Ettersom det ikke er utarbeidet norske prosesser i databasen. Dette er med på å påvirke resultatet og vil gi et avvik fra slik produksjonene er i praksis. En annen usikkerhet tilknyttet valg av innskuddsprosesser er amin. Aminer er en fellesbetegnelse for det stoffet som benyttes som vedheftingsmiddel i asfalter. I mangel på bedre alternativer ble det valgt ut prosessen «Amine oxide» fra Ecoinvent 3 databasen. Ved videre arbeid ville det vært ønskelig og hatt bedre kjennskap til hvilke aminer som ble benyttet og laget en egen produksjonsprosess for dette i programmet.

Fra spørreundersøkelsen mente bransjen at der forelå størst potensiale for klimagassbesparelser innenfor elektrifisering/energibruk. Dette støttes også opp av flere studier. Blant annet Colin Loveday anslår at 42 % av utlippene tilknyttet asfaltproduksjon kommer fra selve produksjonen [45]. Dette innebærer tørking og oppvarming. I livsløpsanalysen vår er det benyttet naturgass som energikilde. Ved bruk av tyngre brensel som for eksempel diesel, ville utslippet fra produksjonen vært større. Ved videre arbeid hadde det vært interessant å sett nøyere på hva som er den mest utbredte praksisen i Norge og sammenlignet forskjellige energikilder.

Det har vist seg svært utfordrende å få entreprenører til å dele oppskrifter på asfalt og utslippstall. Dette har resultert at det måtte utarbeides egne oppskrifter. Disse oppskriftene har ikke blitt fysisk testet. Ved videre arbeid hadde det vært interessant å produsere disse asfaltene og teste disse. Et

forbedringsområde er derfor å bruke eksakte oppskrifter som har vært testet i praksis. Selv om det ble gjort svært mange forsøk på å få tak i eksakte oppskrifter som ble brukt i forbindelse med BV-prosjektet. Noen av oppskriftene og verdier er hentet fra miljødeklarasjoner til asfaltene. Disse deklarasjonene er utgitt av produsentene selv og kan derfor vise best-case scenarier.

I oppgaven har hovedfokuset ligget på GWP utslippet. Dette skyldes at både bransjen, men også oss har bedre kjennskap til disse verdiene. De andre miljøpåvirkningskategoriene har vi begrenset med erfaring med. Vi kjenner ikke til hva som er typiske eller lave og høye verdier. Dette har gjort at disse resultatene er tildelt begrenset med oppmerksomhet. Bransjen operer også oftere med GWP utslippstall i dokumenter og rapporter.

Andre forbedringsområder er antall miljøasfalter som har blitt undersøkt. Asfaltene med biobindemiddel har vist lovende resultater så det kunne vært interessant og undersøkt flere av disse typene. Det kunne også blitt gjort mer for å få et klart bilde av utslippene til de forskjellige asfalttypene ved å kartlegge hvor de forskjellige typene ble produsert og ikke bare antatt at alle ble laget ved samme asfaltfabrikk. Da hadde man fått et mer realistisk resultat. Det burde også bli utført en sensitivetsanalyse for å undersøke usikkerheten i tallene som er brukt.

8.7. Oppsummerende diskusjon

Livsløpsanalysen viste til et klart lavest utslipp for gjenbruksasfalten, etterfulgt av tallolje, tradisjonell og SiGS. Forskjellen er nesten på 30 kg CO₂e mellom SiGS-asfalten og gjenbruksasfalten per produserte tonn. Det er riktignok verdt å merke seg at transport spiller en sentral faktor i disse resultatene. For alle asfalttypene kan man se at bitumen utgjør den største andelen av utslippet. Asfaltene som har det minste bitumenforbruket har derfor også de laveste utslippene. Bitumen kan derfor anses som det største problemområdet, og behovet for å finne en erstatning er derfor essensiell. Hvor bitumen kommer fra spilte også en stor rolle. Ved å benytte olje til bitumen fra forskjellige land kunne man få en økning på nesten tre ganger så mye.

SiGS innehar gode mekaniske egenskaper som gjør det mulig å benytte som tilslag i asfalt. I livsløpsanalysen gjorde SiGS det dårligst av asfaltene, men dette skyldes i stor grad transport. Dersom SiGS benyttes til asfalt i nærområdet er det en mer miljøvennlig løsning enn tradisjonell asfalt. Det foreligger fortsatt flere usikkerhet rundt bruken av SiGS i asfalt. Dette er et nytt konsept som krever mer forskning og testing. Det er blant annet ikke blitt tatt offisielle kulemølleverdier av tilslaget noe som gir usikkerhet til dens motstand mot piggdekkslitasje. I denne studien er det analysert en blanding med 50 % SiGS, i videre forskning vil det være aktuelt å se på blandinger med høyere SiGS andel. Bruken av SiGS bidrar derimot til å bedre sirkulær økonomien til produktet ved at en prosess sitt avfallsstoff blir benyttet i en annen prosess. Det er derfor bedre å dømme SiGS på bakgrunn av sirkulær økonomiske prinsipper til fordel for utslipp. SiGS har også blitt forsøkt benyttet i betong som sementerstatning. Denne studien har ikke gått inn på miljøbesparelsen av dette, men det antas at det foreligger et større potensiale for bruken her. Alt i alt er bruken av SiGS i asfalt miljøvennlig dersom det skjer innenfor nærliggende områder.

Asfalt med biobindemidler er et spennende forskningsområde. Litteraturen viser til at det har blitt testet en rekke biomaterialer i bioasfalt. De fysiske egenskapene viser til lovende resultater. Særlig i sammenheng med termiske egenskaper og motstand mot spordannelse. Det er derimot litt mer usikkerhet knyttet til levetid. Her foreligger det fortsatt et behov for mer forskning og testing på reelle strekninger. Talloljeasfalten analysert i denne studien viser til lavere utslipp enn tradisjonell asfalt. Dette gir optimisme for videre forskning og bruk av bioasfalt. Gjennom å benytte biologiske bi- og avfallsprodukter fra andre prosesser kan man også oppnå sirkulær økonomi i tillegg til klimagassbesparelser. Det finnes derfor et mange gode egenskaper ved å benytte mer biologiske bindemidler i fremtiden.

Gjenbruksasfalt har det klart minste utslippet av asfaltene analysert i denne studien. Dette viser til den store klimagunsten ved å gjenbruke asfalt. I resultatene er det verdt å merke seg at det ikke er tatt høyde for ekstra energiforbruk tilknyttet til ytterligere behandling av de gjenbrukte asfaltmassene. Dette er ettersom det vil variere fra prosjekt til prosjekt. Hvor store andeler av asfalten som gjenbrukes vil også variere, samt til hvilket formål det vil benyttes til etter gjenvinning. Det er viktig å beholde størst mulig andel av den gjenbrukte asfalten til ny asfalt. Ettersom den da blir holdt inne i asfalsyklusen og kan erstatte jomfruelige materialer. Man unngår at den går til formål hvor det erstatter et materiale med mindre utslipp enn asfalt. Oppsummert så burde all asfalt gjenbrukes i så høy grad som mulig, og benyttes til nye asfaltformål. Dette gir store besparelser i klimagassutslipp.

Spørreundersøkelsen ga et godt overblikk over hvordan bransjen tenker. Det virker som det jobbes godt innenfor asfaltbransjen og at de er bevisste på hvordan den kan gjøres mer bærekraftig. Allikevel finnes det noen utfordringer. Miljøvennlige tiltak er nødt til å ha økonomiske gevinster. Dette har Statens Vegvesen gjort gjennom å belønne slike tiltak i kontraktene deres. Dette har vært en utfordring blant entreprenører som føler de må kjempe på to fronter. De er nødt til å bruke miljøvennlige maskiner, byggemetoder og materialer. Per dags dato er disse metodene dyrere enn de tradisjonelle, noe som gjør at en del foreligger store investeringskostnader ved innføring. Dette gjør at man kan vinne offentlige kontrakter, men blir utkonkurrert på pris i det private. Det var også utfordringer knyttet til regelverket. Regelverket kunne henge etter praksisen, og vanskeliggjøre ny informasjon. I N200 kan man se at ordlyden brukt i flere skal kriterier begrenser benyttelsen av nye metoder og materialer. Allikevel ser mye av bransjen lyst på å oppnå en grønnere asfaltbransje i fremtiden. Selv om den består av utfordringer og usikkerhet på hva fremtiden vil bringe.

De fleste usikkerhetene i oppgaven går på valg som er gjort ut ifra databasen Econinvent 3 i SimaPro. Her kunne det blitt gjort mer gjennom å kjenne bedre til prosessene og materialene. Gjennom dette kunne man tilpasset verdiene bedre til norske og faktiske forhold. Det har vært utfordrende å innhente oppskrifter på asfalter fra entreprenører. Dette har resultert i at noen av oppskriftene har måtte utarbeides på egenhånd. Dette er med på å danne et avvik fra de faktiske asfaltblandingene. Ved videre arbeid hadde det og vært interessant å se på flere typer miljøasfalter.

Generelt ser man at det satses godt innenfor veg- og asfaltbransjen. Utviklingen av miljøasfalter vil kunne gi store miljøbesparelser. Det foreligger også spennende muligheter dersom man kombinerer asfaltene. En asfalt med biobindemiddel, gjenbruksasfalt og SiGS tilslag vil kunne ha et veldig lavt utslipp. I årene som kommer vil det kunne skje mye på asfaltfronten. Denne studien underbygger en

satsing på mer gjenbruk, alternative- tilslag og bindemidler i asfalt. For å få en enda mer miljøvennlig asfaltbransje må det legges til rette for testing og bruk av ny innovasjon. Dette oppnås gjennom dialog i bransjen og videre forskning.

9. Konklusjon

Konklusjonen vil besvare forskerspørsmålene stilt i oppgaven. Først vil underspørsmålene besvares, før hovedspørsmålet besvares avslutningsvis.

Hvordan kan materialvalg gjøre asfaltproduksjon mer sirkulær økonomisk?

- Ved bruk av gjenbrukt asfalt i asfaltproduksjon vil man holde materialer lenger i asfaltsyklusen. Slik vil det bespares jomfruelige materialer, samtidig som man oppnår mer sirkulær økonomi i bransjen.
- Bruken av biprodukter/avfallsprodukter fra andre prosesser gjør at materialer får lenger levetid og unngår å gå til avfall og deponering.

Hvordan kan det oppnås økt bruk og utvikling av miljøvennlig innovasjon innen asfaltbransjen?

- Byggherre er nødt til å ta på seg risikoen for å ta i bruk miljøvennlig innovasjon i asfaltproduksjon.
- Man er nødt til å kontinuerlig oppdatere regelverk og håndbøker slik at det ikke hindrer innføring av ny miljøvennlig innovasjon.
- Det må forskes og testes ny innovasjon kontinuerlig for å utarbeide løsninger som er bedre enn de eksisterende. Slik blir også usikkerheten tilknyttet kvaliteten av produktene mindre.
- Miljøvennlige tiltak må belønnes økonomisk. Slik at entreprenører etterstreber miljøvennlig utvikling.
- Bruken av miljøvennlige materialer, maskiner og produkter må gjøres billigere, slik at flere tar de i bruk. Dette gjør risikoen for å investere og ta de i bruk mindre.
- Man er nødt til å oppnå samarbeid og kunnskapsdeling innad i bransjen for å oppnå raskere utvikling. Dette kan gjøres gjennom samarbeidsprosjekter, bransjeorganisasjoner eller krav til samarbeid i kontrakter.

Hvordan kan bruken av miljøvennlige alternativer i asfalt gi reduserte klimagassutslipp?

- Bruken av miljøasfalter som gjenbruks-, SiGS- og talloljeasfalt vil gi et redusert klimagassutslipp.
- Asfalter med gjenbrukt bitumen eller biobindemidler gir gode utslippsreduksjoner.
- Benyttelse av tilslag av slaggbiprodukter gir lavere utslipp og reduserer behovet for utvinning av naturlig stein. De er riktignok avhengig av kortere transportdistanser.
- Ved valg av lokale materialer og produksjon vil man kunne redusere transport behovet ved asfaltmaterialer.
- Ved utvikling av asfalter med en økt levetid vil man kunne få en bedre utnyttelse av vegen som vil gi et redusert klimagassutslipp.

10. Anbefalinger

Det burde forskes mer på flere forskjellige typer miljøasfalt for å prøve å finne andre gode løsninger for veg. Det burde også ses på asfalter med større andeler biobindemiddel, SiGS og gjenbruk for å bedre forstå de forskjellige mulighetene her. Ved å bedre tilrettelegge for samarbeid mellom alle parter i asfaltbransjen vil man bedre kunne få frem løsninger som er mer konkurransedyktige enn det som er i dag. Oppgaven kunne også gått nøyere inn i produksjonsprosessen for asfalt for å avdekke muligheter for å redusere klimagassutslipp også her. For gjenbruksasfalten kunne det også blitt kartlagt bedre transportbehovet og de ekstra prosessene som kommer med gjenbruksasfalten.

Hadde det vært muligheter for det ville det blitt utført egne tester i laboratoriet for hver av de forskjellige typene miljøasfalt. Dette hadde vært meget interessant å få gjort slik at oppgave hadde fått lokale tall det kunne sammenlignes med og ikke kun fra annen teori. Da hadde det også vært mulig å teste for verdier det ikke ble funnet noe på, slik som kulemølleverdien for SiGS. Det burde også legges til rette for samarbeid mellom ulike aktører i bransjen for å få frem flere klimavennlige løsninger.

Erfaringsdeling og vanskeligheter ved å få tak i oppskrifter viste seg som to problemområder. Derfor anbefales det videre å ha et økt fokus på dette. Spesielt dette med erfaringsdeling burde prioriteres for å hjelpe fremme innovasjon og utvikling i bransjen. Deler man erfaringer og problemer man har ved ulike utfordringer vil det gjøre det lettere for bransjen å løse disse neste gang man møter på lignende utfordringer. Det har også vist seg å være utfordringer å få tilgang på asfaltoppskrifter, selv om vi har vært åpne for å skrive under på taushetserklæring. Det anbefales derfor at entreprenører har noen oppskrifter de er åpne for å dele, slik at disse kan forskes på. Dette er noe som vil gange både entreprenører og forskningsmiljøet.

11.Referanser

- [1] FN, "Klimaendringer." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer#Hvordanp%C3%A5virkerklimaendringermennesker?-3>
- [2] FN, "Parisavtalen." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
- [3] Klima- og miljødepartementet, "Regjeringas klimastatus og-plan," 2022.
- [4] Tilnull, "Klimagassutslipp | tilnull.no." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.tilnull.no/klimagassutslipp>
- [5] Samferdselsdepartementet, "Meld. St. 33 (2016–2017)," 2018, Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: www.fagbokforlaget.no/offpub
- [6] Miljøstatus, "Klimagassutslipp fra transport." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/>
- [7] Miljøstatus, "Norske utslipp og opptak av klimagasser." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/>
- [8] D. A. Hensher, "Transport Reviews Electric cars-they may in time increase car use without effective road pricing reform and risk lifecycle carbon emission increases," 2020, doi: 10.1080/01441647.2020.1709273.
- [9] S. vegvesen, "Riksvegutredningen 2015 Foto: Knut Opeide M a rs 20 15 H OV E D R A P P O RT," 2015, Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: www.ntp.dep.no.
- [10] Nye Veier, "CO2-fotavtrykk | Nye Veier AS." Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.nyeveier.no/om-oss/co2-fotavtrykk/>
- [11] Statens Vegvesen, "Statens vegvesen stiller strengere krav for å redusere klimagassutslippene fra anleggsmaskiner | Statens vegvesen." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/2023/11/statens-vegvesen-stiller-strengere-krav-for-a-reducere-klimagassutslippene-fra-anleggsmaskiner/>
- [12] Nye Veier, "Norsk prosjekt sikrer banebrytende og mer bærekraftig teknologi og materialer i vegbygging | Nye Veier AS." Accessed: Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.nyeveier.no/nyheter/norsk-prosjekt-sikrer-banebrytende-og-mer-baerekraftig-teknologi-og-materialer-i-vegbygging/>
- [13] VIA, "Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging." Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.viacluster.no/project/gronn-plattform>
- [14] Norsk Biokullnettverk, "2. Biokull i asfalt — Norsk Biokullnettverk." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.biokull.info/biokull-i-asfalt>
- [15] EBA, "Asfalt." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.eba.no/vei-og-jernbane/asfalt/>
- [16] Tekna, "Aktuell forskning innenfor bygg- og anleggsbransjen." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/aktuell-forskning-innenfor-bygg--og-anleggsbransjen/>
- [17] M. Kubban Larsen, "Klimafotavtrykk bygg og anlegg".
- [18] Grønn Byggeallianse, "Klimakur for bygg og eiendom – Grønn byggallianse." Accessed: Mar. 06, 2024. [Online]. Available:

- <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543721156-39143120-001d>
- [19] “Klimaendringer.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
- [20] WWF, “Earth Overshoot Day - WWF.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.wwf.no/klima-og-energi/earth-overshoot-day>
- [21] “Parisavtalen.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
- [22] Miljøstatus, “Ekstremvær.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/Ekstremvar/>
- [23] FN Sambandet, “FNs bærekraftsmål.” Accessed: Mar. 05, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal#HvaerFNsb%C3%A6rekraftsm%C3%A5l?-0>
- [24] FN Sambandet, “Parisavtalen.” Accessed: Mar. 15, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
- [25] FN Sambandet, “Bærekraftig utvikling.” Accessed: Mar. 15, 2024. [Online]. Available: <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling>
- [26] F. Brunvoll, “Kan bærekraftig utvikling måles?,” 2008.
- [27] SSB, “Fakta om norsk økonomi – SSB.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/faktaside/norsk-okonomi>
- [28] H. Ridola Nilsson and E. Molde, “Greenpeace: – Superpinleg at Noreg ikkje får taletid på FN-sjefen sitt klimamøte – NRK Norge – Oversikt over nyheter fra ulike deler av landet.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: https://www.nrk.no/norge/greenpeace_-_superpinleg-at-noreg-ikkje-far-taletid-pa-fn-sjefen-sitt-klimamote-1.16564146
- [29] Innlandet fylkesarkiv, “Veihistorie – Innlandet fylkesarkiv / IKA Opplandene (KO).” Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.visarkiv.no/nettutstillinger/samferdsel-i-oppland/veier/veihistorie/>
- [30] Opplysningsrådet for veitrafikken, “Veinettet | Opplysningsrådet for veitrafikken.” Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://ofv.no/politikk/veistandard-2-0>
- [31] G. Petkovic, “Klimatilpasning i Statens Vegvesen,” 2022.
- [32] Stortinget, “Statsbudsjettet 2023 SALDERT BUDSJETT VEDTATT I STORTINGET HØSTEN 2022”.
- [33] G. Solvoll, “årsdøgntrafikk – Store norske leksikon.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/%C3%A5rsd%C3%B8gntrafikk>
- [34] Statens Vegvesen, “N200 Vegbygging VEGNORMAL N200,” 2022.
- [35] Statens Vegvesen, “Vegbyggingsmaterialer | Statens vegvesen.” Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/vegbyggingsmaterialer/>
- [36] European Asphalt Pavement Association, “What is Asphalt - EAPA.” Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://eapa.org/what-is-asphalt/>
- [37] O. E. Ruud, “bitumen – Store norske leksikon.” Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/bitumen>
- [38] L. Najemi, I. Belyamani, and M. Bouya, “Effect of blending of medium-temperature phase change material on the bitumen storage heat,” *Heliyon*, vol. 9, no. 11, p. e22040, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.HELIYON.2023.E22040.
- [39] Statens Vegvesen, “Vegvesenet fronter elektrisk vegarbeid | Statens vegvesen.” Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available:

- <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/17961632/vegvesenet-fronter-elektrisk-vegarbeid?publisherId=17847490>
- [40] Grønn Byggallianse, "Klimakur for bygg og eiendom – Grønn byggallianse." Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543721156-39143120-001d>
- [41] Asplan Viak, "BYGG-OG ANLEGGSSSEKTORENS KLIMAGASSTUTSLIPP," 2019, Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: www.asplanviak.no
- [42] Regjeringen.no, "Klimaendringer og norsk klimapolitikk - regjeringen.no." Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- [43] Statens Vegvesen, "Klimagassreduksjoner i anlegg, drift og vedlikehold | Statens vegvesen." Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/klima-miljo-og-omgivelser/utslipp-av-klimagasser/klimagassreduksjoner-i-anlegg-drift-og-vedlikehold/>
- [44] N. Liu *et al.*, "Road life-cycle carbon dioxide emissions and emission reduction technologies: A review," 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2022.06.001.
- [45] R. Bragstad, R. Telle, and P. Senstad, "Miljøeffekter og energi- reduksjon ved asfaltarbeid," *Statens Vegvesen*, 2014.
- [46] H. Ma, Z. Zhang, X. Zhao, and S. Wu, "A Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Warm Mix Asphalt (WMA) and Hot Mix Asphalt (HMA) Pavement: A Case Study in China," 2019, doi: 10.1155/2019/9391857.
- [47] Kontrollrådet, "Asfaltens historie | Kontrollrådet." Accessed: Apr. 02, 2024. [Online]. Available: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/asfaltens-historie/>
- [48] Atlas Industries, "Asphalt Batch Mix Plant Operation and Components - Atlas." Accessed: Apr. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.atlasindustries.in/blog/asphalt-batch-plant-operation-components/>
- [49] Kaushik Engineering Works, "How Does an Asphalt Plant Work? | Kaushik Engineering Works." Accessed: Apr. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.kaushikengineeringworks.com/asphalt-plant-work/>
- [50] Statens Vegvesen, "Vegbyggingsmaterialer | Statens vegvesen." Accessed: Feb. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/vegbyggingsmaterialer/>
- [51] "Asfalt." Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.eba.no/vei-og-jernbane/asfalt/>
- [52] "Enhanced Reader."
- [53] WITS, "Bitumen and asphalt, natural; asphaltites and asphaltic rock exports by country | 2021." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/271490>
- [54] OEC, "Bitumen and asphalt (HS: Bitumen) Product Trade, Exporters and Importers | The Observatory of Economic Complexity." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://oec.world/en/profile/hs/bitumen-and-asphalt?yearSelector1=2022>
- [55] S. Strand Sverdrup, "Situasjonen i Nordens største bitumenleverandør fortsatt uklar før asfaltsesongen - akkurat nå er det kritisk • Byggeindustrien." Accessed: May 11, 2024.

- [Online]. Available: <https://www.bygg.no/situasjonen-i-nordens-storste-bitumenleverandor-fortsatt-uklar-for-asfaltsesongen-akkurat-na-er-det-kritisk/1426500!/>
- [56] K. Hedvat, "Nynas looks to ramp up bitumen production from 2021 | Latest Market News." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2152583-nynas-looks-to-ramp-up-bitumen-production-from-2021>
- [57] R. Telle, "1.1 Råvarer til produksjon av asfalt - Asfaltboka 4. utgave," Fagbokforlaget. Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: https://issuu.com/fagbokforlaget/docs/asfaltboka_4._utgave_bm_9788211043856_/s/14801311
- [58] N. S. Uthus, "Filler i asfalt NAMet 2019," *Statens Vegvesen*, 2019.
- [59] A. E. Alvarez, K. L. Gomez, D. C. Gomez, and O. J. Reyes-Ortiz, "Road Materials and Pavement Design Optimising the effect of natural filler on asphalt-aggregate interfaces based on surface free energy measurements Optimising the effect of natural filler on asphalt-aggregate interfaces based on surface free energy measurements," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 20, no. 7, pp. 1548–1570, 2019, doi: 10.1080/14680629.2018.1465451.
- [60] L. Padilha Thives and E. Ghisi, "Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review," 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.087.
- [61] O. E. Ruud, "asfaltdekker – Store norske leksikon." Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/asfaltdekker>
- [62] "N200 Vegbygging VEGNORMAL N200."
- [63] Pavement Interactive, "Los Angeles Abrasion – Pavement Interactive." Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/testing/aggregate-tests/los-angeles-abrasion/>
- [64] B. Backus, "Micro-Deval Test Method | Aggregate Abrasion Testing PT. 1 - Gilson Co.," Gilson Company. Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.globalgilson.com/blog/aggregate-abrasion-testing-part-1-the-micro-deval-test-method>
- [65] Statens Vegvesen, "R210 Laboratorieundersøkelser," *Statens Vegvesen*, 2015, Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker
- [66] E. Taddesse, "Forelesning - Aggregates and Unbound Granular Materials - Upublisert." UiA, 2023.
- [67] M. Porto, P. Caputo, V. Loise, S. Eskandarsefat, B. Teltayev, and C. O. Rossi, "Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances," 2019, doi: 10.3390/app9040742.
- [68] A. Weir *et al.*, "Renewable binders from waste biomass for road construction: A review on thermochemical conversion technologies and current developments," 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127076.
- [69] N. Izzi Md Yusoff, M.-S. Ginoux, G. Dan Airey, and M. Rosli Hainin, "MODELLING THE LINEAR VISCOELASTIC RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BASE BITUMENS," *Malaysian Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 22–37, 2010.
- [70] Ephrem Taddesse, "Forelesning - Advanced Pavement Materials Lecture 04 - Bitumen - Upublisert." Grimstad, 2023.
- [71] P. A. Dokandari, A. Topal, and D. Ozdemir Kaya, "Rheological and Microstructural Investigation of the Effects of Rejuvenators on Reclaimed Asphalt Pavement Bitumen by DSR and AFM," 2021, doi: 10.1007/s40999-021-00605-z.

- [72] L. E. Helseth, "reologi – Store norske leksikon." Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/reologi>
- [73] Anton Paar, "Basics of rheology | Anton Paar Wiki." Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-rheology/>
- [74] Velde, "Miljøasfalt." Accessed: Mar. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.veldeas.no/miljoasfalt>
- [75] N. D. Manke *et al.*, "Performance of a sustainable asphalt mix incorporating high RAP content and novel bio-derived binder," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 22, no. 4, pp. 812–834, 2021, doi: 10.1080/14680629.2019.1643769.
- [76] S. Raschia and S. Tattolo, "Use of alternative aggregates for the production of hot-mix asphalt surface layers: A performance evaluation," 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128369.
- [77] Statens Vegvesen, "Materialer i vegbygging," *Statens Vegvesen*, 2019.
- [78] J. Xie, Z. Wang, F. Wang, S. Wu, Z. Chen, and C. Yang, "The Life Cycle Energy Consumption and Emissions of Asphalt Pavement Incorporating Basic Oxygen Furnace Slag by Comparative Study," *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 4540*, vol. 13, no. 8, p. 4540, Apr. 2021, doi: 10.3390/SU13084540.
- [79] G. Mathisen, "Slagg i stedet for sement i betong? Ja takk - SINTEF." Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2023/slagg-i-stedet-for-sement-ja-takk/>
- [80] Eramet, "GRØNT BIPRODUKT - Silica Green Stone," 2018.
- [81] Bergfald Miljørådgivere, "Bruk av Silica Green Stone som erstatning for pukk og grus. Beskrivelse av tekniske og miljømessige egenskaper," 2019.
- [82] P. K. Kofstad and B. Pedersen, "mangan – Store norske leksikon," Store Norske leksikon. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/mangan>
- [83] L. Hunsbedt, "Personlig samtale - Eramet." Mar. 18, 2024.
- [84] Z. Klockar and S. Nilsskog, "Life cycle assessment-upgrading silica greenstone for use as cement substitute Deliverable 5.1 in NRC-funded project 309541 ValSiGS Author(s): Client(s) (pos partner): Eramet Norway AS; Aaltvedt Betong AS; Block Berge Bygg AS," 2023.
- [85] L. Mathisen, "Presentasjon - SiGS - Silica Green Stone SiGS Målinger sommeren 2023 og knusekampanje - Upublisert." SINTEF, 2023.
- [86] H. G. Jensen, "Knust stein/pukk, Franzefoss avd. Steinskogen," 2021, Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.franzefoss.no/pukk/>
- [87] A. H. Dr. Abedali, *Asphalt mix design methods*. 2014.
- [88] John Ingve Kvinlaug, "Personlig kommunikasjon - Asfalt Sør." 2024.
- [89] P. Lastra-González, M. Á. Calzada-Pérez, D. Castro-Fresno, Á. Vega-Zamanillo, and I. Indacoechea-Vega, "Porous asphalt mixture with alternative aggregates and crumb-rubber modified binder at reduced temperature," 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.008.
- [90] R. Velasquez, M. Turos, K. H. Moon, L. Zanko, and M. Marasteanu, "Using recycled taconite as alternative aggregate in asphalt pavements," 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.04.003.
- [91] Store norske leksikon, "taconitt – Store norske leksikon." Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/taconitt>
- [92] G. Bosurgi, C. Celauro, O. Pellegrino, A. Ruggeri, and G. Sollazzo, "Mechanical and environmental performance comparisons of improved asphalt pavement wearing courses with high quality aggregates, steel slags, and polymeric compound," 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131252.

- [93] A. Mladenovi, J. Turk, J. Kova, A. Mauko, and Z. Coti, "Environmental evaluation of two scenarios for the selection of materials for asphalt wearing courses," 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.10.013.
- [94] B. De Pascale, P. Tataranni, A. Bonoli, and C. Lantieri, "Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Porous Asphalt Mixtures with Sustainable and Recycled Materials: A Cradle-to-Gate Approach," *Materials* 2023, Vol. 16, Page 6540, vol. 16, no. 19, p. 6540, Oct. 2023, doi: 10.3390/MA16196540.
- [95] L. V. Espinosa, J. A. Rodrigues, K. Vasconcelos, L. Bernucci, and S. Pouget, "Dose Methodology and Rejuvenating Effect of a Plant-Based Biobinder in Aged Asphalt Binders," *Transp Res Rec*, vol. 2677, no. 11, pp. 13–23, Nov. 2023, doi: 10.1177/03611981231164068/FORMAT/EPUB.
- [96] T. H. Fiske, "Testing av bindemidler med biogen tilsetning-Sentrallaboratoriet SVV." Statens Vegvesen, 2022.
- [97] Z. Zhang, Y. Fang, J. Yang, and X. Li, "A comprehensive review of bio-oil, bio-binder and bio-asphalt materials: Their source, composition, preparation and performance," 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2022.01.003.
- [98] E. Uggerud, "lignin – Store norske leksikon," Store Norske Leksikon. Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://snl.no/lignin>
- [99] Y. Zhang *et al.*, "Mechanical performance characterization of lignin-modified asphalt mixture," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, May 2020, doi: 10.3390/app10093324.
- [100] Y. Zhang *et al.*, "Mechanical performance characterization of lignin-modified asphalt mixture," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, May 2020, doi: 10.3390/app10093324.
- [101] P. Bajpai, "Kraft Spent Liquor Recovery," *Biermann's Handbook of Pulp and Paper*, pp. 425–451, 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-814240-0.00017-3.
- [102] H. Yesilçiçek, S. Oruc, and M. Gülfer Bozdemir, "Characterization and rheological properties of asphalt binder with a novel tall oil-based boron additive to enhance asphalt performance," 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129510.
- [103] J. Mills-Beale, Z. You, E. Fini, B. Zada, C. H. Lee, and Y. K. Yap, "Aging Influence on Rheology Properties of Petroleum-Based Asphalt Modified with Biobinder," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 358–366, Feb. 2014, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000712.
- [104] Y. Luo and K. Zhang, "Review on Performance of Asphalt and Asphalt Mixture with Waste Cooking Oil," *Materials*, vol. 16, no. 4. MDPI, Feb. 01, 2023. doi: 10.3390/ma16041341.
- [105] C.-T. Chiu, "Use of ground tire rubber in asphalt pavements: Field trial and evaluation in Taiwan," vol. 52, pp. 522–532, 2008, doi: 10.1016/j.resconrec.2007.06.006.
- [106] A. Calabi-Floody and G. Thenoux, "Controlling asphalt aging by inclusion of byproducts from red wine industry," *Constr Build Mater*, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.092.
- [107] J. M. PERALTA, "Motivos reprochables: Una investigación acerca de la relevancia de las motivaciones individuales para el Derecho penal liberal," *Motivos reprochables*, Apr. 2023, doi: 10.2307/JJ.2321975.
- [108] I. for Transportation at Iowa State University, "Development of Non-Petroleum-Based Binders for Use in Flexible Pavements-Phase II Final Report Iowa Department of Transportation (InTrans Project 12-447) Federal Highway Administration," 2015, Accessed: May 10, 2024. [Online]. Available: www.intrans.iastate.edu
- [109] Z. You, J. Mills-Beale, E. Fini, S. W. Goh, and B. Colbert, "Evaluation of low-temperature binder properties of warm-mix asphalt, extracted and recovered rap and ras, and bioasphalt,"

- Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 11, pp. 1569–1574, Dec. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000295.
- [110] E. H. Fini, S. Hosseinneshad, D. J. Oldham, E. Chailleux, and V. Gaudefroy, “Source dependency of rheological and surface characteristics of bio-modified asphalts,” *Road Materials and Pavement Design*, vol. 18, no. 2, pp. 408–424, Mar. 2017, doi: 10.1080/14680629.2016.1163281.
- [111] E. Chailleux, J. Legrand, and O. L. Algosource, “Alternative Binder from Microalgae: Algoroute Project,” 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/235955085>
- [112] S. Pouget and F. Loup, “Thermo-mechanical behaviour of mixtures containing bio-binders,” *Road Materials and Pavement Design*, vol. 14, no. SUPPL.1, pp. 212–226, Apr. 2013, doi: 10.1080/14680629.2013.774758.
- [113] H. Wen, S. Bhusal, and B. Wen, “Laboratory Evaluation of Waste Cooking Oil-Based Bioasphalt as an Alternative Binder for Hot Mix Asphalt,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 25, no. 10, pp. 1432–1437, Oct. 2012, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000713.
- [114] Characteristics of Asphalt Materials Committee; Characteristics of Nonasphalt Components of Asphalt Paving Mixtures Committee, “Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavement Characteristics of Asphalt Materials Committee; Characteristics of Nonasphalt Components of Asphalt Paving Mixtures Committee,” 2012, doi: 10.17226/22725.
- [115] A. Samieadel, K. Schimmel, and E. H. Fini, “Comparative life cycle assessment (LCA) of bio-modified binder and conventional asphalt binder,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 20, no. 1, pp. 191–200, Jan. 2018, doi: 10.1007/s10098-017-1467-1.
- [116] C. Moretti *et al.*, “Using lignin from local biorefineries for asphalts: LCA case study for the Netherlands,” *J Clean Prod*, vol. 343, p. 131063, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131063.
- [117] O. O. Tokede, A. Whittaker, R. Mankaa, and M. Traverso, “Life cycle assessment of asphalt variants in infrastructures: The case of lignin in Australian road pavements,” 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.02.026.
- [118] F. Giammaria Praticò, G. Perri, M. De Rose, and R. Vaiana, “Comparing bio-binders, rubberised asphalts, and traditional pavement technologies,” 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132813.
- [119] Q. Tushar, J. Santos, G. Zhang, M. A. Bhuiyan, and F. Giustozzi, “Recycling waste vehicle tyres into crumb rubber and the transition to renewable energy sources: A comprehensive life cycle assessment,” *J Environ Manage*, vol. 323, p. 116289, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2022.116289.
- [120] R. Telle, “Ordforklaringer - Asfaltboka 4. utgave,” Fagbokforlaget. Accessed: Mar. 20, 2024. [Online]. Available: https://issuu.com/fagbokforlaget/docs/asfaltboka_4._utgave_bm_9788211043856_/s/14801333
- [121] Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning, “Veileder i gjenbruk av asfalt,” 2019. [Online]. Available: www.asfaltgjenvinning.no
- [122] R. Telle, “Gjenbruk-utfordringer og muligheter”.
- [123] F. Saugstad, “Målet er 90 prosent gjenvunnet asfalt.” Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: https://www.tungt.no/article/view/785865/malet_er_90_prosent_gjenvunnet_asfalt?ref=rss
- [124] Statsforvalteren i Oslo og Viken, “Mellomlagring og behandling av retur-asfalt | Statsforvalteren i Oslo og Viken.” Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available:

- <https://www.statsforvalteren.no/oslo-og-viken/miljo-og-klima/avfall-og-gjenvinning/mellomlagring-og-behandling-av-returasfalt/>
- [125] “Asphalt the 100% recyclable construction product EAPA Position paper.” [Online]. Available: www.eapa.org
- [126] R. Yang, H. Ozer, S. Kang, and I. L. Al-Qadi, “Environmental Impacts of Producing Asphalt Mixtures with Varying Degrees of Recycled Asphalt Materials,” 2014.
- [127] A.-M. Nicuță, “LIFE CYCLE ASSESSMENT STUDY FOR NEW AND RECYCLED ASPHALT PAVEMENTS,” 2011.
- [128] C.-T. Chiu, T.-H. Hsu, and W.-F. Yang, “Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements,” vol. 52, pp. 545–556, 2008, doi: 10.1016/j.resconrec.2007.07.001.
- [129] H. Baumann and A.-M. Tillman, *The hitch hiker’s guide to LCA*, 1:7. Studentlitteratur, 2004.
- [130] SINTEF, “Hvordan prosjektere miljøvennlig med livsløpsvurdering (LCA) - SINTEF.” Accessed: Apr. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2015/hvordan-prosjektere-miljovennlig-med-livslopsvurde/>
- [131] Tunley Environmental, “Life Cycle Assessment Stages: Explained.” Accessed: Feb. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.tunley-environmental.com/en/insights/life-cycle-assessment-stages>
- [132] Standard Norge, “Norsk standard - Miljøstyring livsløpsvurdering prinsipper og rammeverk - NS-EN ISO 14040:2006,” *Standard Norge*. 2006.
- [133] M. A. J. Huijbregts *et al.*, “ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization,” 2016.
- [134] US EPA, “Understanding Global Warming Potentials | US EPA.” Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- [135] LCA.no, “Hva er LCA? - LCA.no.” Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://lca.no/hva-er-lca/>
- [136] R. J. O’Born, “Lecture 5 - Allocation,” *Universitetet i Agder*. 2022.
- [137] European Parliament, “Circular economy: definition, importance and benefits | News | European Parliament.” Accessed: Jan. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
- [138] Miljødirektoratet, “Sirkulær økonomi - Miljødirektoratet.” Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
- [139] S. Jahren, V. S. Nørstebø, M. S. Simas, and K. S. Wiebe, “Studie av potensialet for lavere klimagassutslipp og omstilling til et lavutslippssamfunn gjennom sirkulærøkonomiske strategier,” 2020.
- [140] Ellen MacArthur Foundation, “What is a circular economy? | Ellen MacArthur Foundation.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- [141] Ellen MacArthur Foundation, “Circular economy principles: Eliminate waste and pollution.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/eliminate-waste-and-pollution?_gl=1*10ystof*_up*MQ..*_ga*MTY5MTI2OTU0MS4xNzEyNTY4NTE3*_ga_V32N675KJX*MTcxMjU2ODUxNS4xLjEuMTcxMjU2ODYzOC4wLjAuMA..

- [142] Ellen MacArthur Foundation, "Circular economy principle: Circulate products and materials." Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials?_gl=1*10ystof*_up*MQ.*_ga*MTY5MTI2OTU0MS4xNzEyNTY4NTE3*_ga_V32N675KJX*MTcxMjU2ODUxNS4xLjEuMTcxMjU2ODYzOC4wLjAuMA..
- [143] Ellen MacArthur Foundation, "Circular economy principles: Regenerate nature." Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/regenerate-nature?_gl=1*13d6zn8*_up*MQ.*_ga*MTY5MTI2OTU0MS4xNzEyNTY4NTE3*_ga_V32N675KJX*MTcxMjU2ODUxNS4xLjEuMTcxMjU2ODYzOC4wLjAuMA..
- [144] K. Mantalovas *et al.*, "sustainability European National Road Authorities and Circular Economy: An Insight into Their Approaches," 2020, doi: 10.3390/su12177160.
- [145] Z. Liu and N. Kringos, "Transition from linear to circular economy in pavement engineering: A historical review," *J Clean Prod*, vol. 449, p. 141809, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141809.
- [146] Digdir, "Innovasjon i offentlig sektor | Digdir." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.digdir.no/innovasjon/innovasjon-i-offentlig-sektor/881>
- [147] Digdir, "Hva er innovasjon i offentlig sektor? | Digdir." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.digdir.no/innovasjon/hva-er-innovasjon-i-offentlig-sektor/3073>
- [148] Det kongelige kommunal og moderniseringsdepartement, "Meld. St. 30 (2019–2020)," 2019.
- [149] Nesta, "Helping innovation happen | Nesta." Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.nesta.org.uk/helping-innovation-happen/>
- [150] A. Andreassen and T. Beste, "Innovasjon i praksis:," *Praktisk økonomi & finans*, vol. 36, no. 3, pp. 190–199, Oct. 2020, doi: 10.18261/ISSN.1504-2871-2020-03-03.
- [151] Statens Vegvesen, "Statens vegvesen. N200:2024." Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://store.vegnorm.vegvesen.no/n200horing24>
- [152] J. A. Gambatese and M. Hallowell, "Construction Management and Economics Enabling and measuring innovation in the construction industry," 2011, doi: 10.1080/01446193.2011.570357.
- [153] P. Fossheim, "Velde Asfalt Agb 11 160/220 Standard - EPD," 2023.
- [154] T. A. Lunaas, "Personlig samtale - Statens Vegvesen." Apr. 11, 2024.
- [155] H. Storås, "Personlig samtale - Feiring bruk." Apr. 16, 2024.
- [156] H. Baumann and A.-M. Tillman, *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Studentlitteratur, 2004.
- [157] PRè and various authors, "SimaPro Database Manual Methods Library Title: SimaPro Database Manual Methods Library," 2020.
- [158] Ecoinvent, "Database - ecoinvent." Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: <https://ecoinvent.org/database/>
- [159] CAS, "CAS Common Chemistry." Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=68910-93-0&search=68910-93-0
- [160] Nouryon, "Wetfix BE." Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.nouryon.com/product/wetfix-be/>
- [161] Google, "Google Earth." Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/@53.04586892,4.13818633,76.82498568a,412783.88036013d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>
- [162] Google, "Google Maps." Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@58.3466784,8.5850853,13z?authuser=0&entry=ttu>

- [163] Reddal Sand AS, "Reddal Sand AS." Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: http://reddalsand.no/17092018132326_gut4gplhnr
- [164] L. Hunsbedt, "Personlig kommunikasjon - Eramet." Mar. 18, 2024.
- [165] Franzefoss Minerals, "Kalk.no – portalen til Franzefoss Minerals, Miljøkalk og andre datterselskap." Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://kalk.no/>
- [166] T. A. Lunaas, "Personlig kommunikasjon - Statens Vegvesen." Apr. 11, 2024.
- [167] M. Olsen, "Personlig samtale - NIBIO." 2024.
- [168] SCA, "Green, refined products – SCA." Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.sca.com/en/pulp/our-products/sca-cirrus/>
- [169] H. Storås, "Personlig kommunikasjon - Feiring bruk." Apr. 16, 2024.
- [170] Norges teknisk- naturvitenskaplige universitet, "Simapro - Kunnskapsbasen - NTNU." Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Simapro>
- [171] SimaPro, "Why SimaPro - SimaPro." Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://simapro.com/about/>
- [172] Rambøll, "Xact by Rambøll | Om oss." Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: <https://rambollxact.no/om-oss>
- [173] D. I. Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser? 3. utgave*, 3rd ed. Oslo: Cappelen Damm, 2015.
- [174] Wordart, "Best word cloud generator – 25+ Templates." Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://wordart.com/>
- [175] M. Simonsen, "El-biler og klimaeffekt | Vestlandsforskning." Accessed: Apr. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.vestforsk.no/nn/2014/el-biler-og-klimaeffekt>
- [176] Z. Klockar and S. Nilsskog, "Life cycle assessment-upgrading silica greenstone for use as cement substitute Deliverable 5.1 in NRC-funded project 309541 ValSiGS Author(s): Client(s) (pos partner): Eramet Norway AS; Aaltvedt Betong AS; Block Berge Bygg AS," 2023.
- [177] European Asphalt Pavement Association, "Asphalt the 100% recyclable construction product EAPA Position paper," 2014. [Online]. Available: www.eapa.org

12. Vedlegg

I dette kapitlet vil det legges ved vedlegg som er nevnt i oppgaven, slik som spørreundersøkelse, prosesser og resultater. I tillegg vil det legges ved poster, fremdriftsplan og veiledningsdokumentasjon.

12.1. Vedlegg A – Poster

Vedlegget inneholder A3 posteren som er utarbeidet for oppgaven.

12.2. Vedlegg B – Fremdriftsplan

Vedlegget inneholder fremdriftsplanen som er blitt fulgt ved gjennomføring av oppgaven.

12.3. Vedlegg C – Veiledningsdokumentasjon

Vedlegget inneholder veiledningsdokumentasjon av de fem obligatoriske veiledningene. Det har foregått mer veiledning enn dokumentert i vedlegget.

12.4. Vedlegg D – Spørreundersøkelse

Vedlegget inneholder den fullstendige spørreundersøkelsen utstedt i oppgaven. Spørreundersøkelsen består av spørsmål og svaralternativer. Farger og utforming var noe annerledes i versjonen distribuert via SurveyXact.

12.5. Vedlegg E – SimaPro prosesser

Vedlegget inneholder en fullstendig oversikt over prosessene laget i SimaPro. Her er det inkludert inngangsdata benyttet i prosessene.

12.6. Vedlegg F – SimaPro resultater

Vedlegget inneholder en fullstendig oversikt over resultatene fra livsløpsanalysen gjort i SimaPro.