



SINTEF

SINTEF Community  
Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 40005100  
info@sintef.no

Foretaksregister:  
NO 919 303 808 MVA

# Prosjektnotat

## Mulighetsstudie materialstrømanalyse- modell veg

**VERSJON**

Version 1.0

**DATO**

2022-11-10

**FORFATTER(E)**

Eirik Vigerust  
Guillermina A. Peñaloza

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Intern/stipendmidler fra NVF

**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE****PROSJEKTNUMMER**

102026454

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

9+ Bilag/vedlegg

**UTARBEIDET AV**

Eirik Vigerust, Guillermina A. Peñaloza, Kai Rune Lysbakken

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Hrefna Run Vignisdottir

**SIGNATUR****PROSJEKTNOTAT NR**

1

**GRADERING**

Åpen

COMPANY WITH  
MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
ISO 9001 • ISO 14001  
ISO 45001



# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Metode for gjennomføring av studiet .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Om MFA-modell og metodikk .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>MFA- modeller fra Norge og andre land .....</b>	<b>5</b>
4.1	Norske MFA- modeller innen bygg .....	5
4.2	MFA- modeller inne veg.....	6
<b>5</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>7</b>
5.1	Behov og bruk .....	7
5.2	Vegens livsløp.....	8
5.3	Databehov og kilder til data.....	8
5.4	Mulig arbeid med modeller .....	8
<b>6</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>10</b>
<b>A</b>	<b>Ordliste.....</b>	<b>11</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

A Ordliste

---



## 1 Bakgrunn

Materialbruken innen vegbygging, -drift og -vedlikehold er høy og har stor betydning for klimagassutslipp og kostnader. Optimalisering av materialbruk og overgang til sirkulær økonomi er viktig for å oppnå målene i NTP om "mer for pengene" og "bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål". For å oppnå en sirkulær vegsektor, med ressurseffektiv materialbruk, kreves gode data og modeller om framtidige behov og tilgjengelighet av materialer. Videre kreves god oversikt av hva som finnes av materialer i eksisterende infrastruktur (lagring), samt gjenværende levetid for å kunne forutse når disse materialene kan tilbakeføres til kretsløpet (materialstrøm in til marked). Bedre oversikt over behov og tilgjengelighet bidrar til nøyaktigere planer og realistiske krav om andel resirkulerte materialer i kommende produkter og prosjekter til enhver tid.

Innen bygg har materialstrømsanalyse (MFA) vært brukt til å kartlegge materialbruk og tilgjengelighet i flere år, og for dette er det utviklet kompliserte modeller som gir oversikt over materialer i bruk og når de forventes å bli tilgjengelige for gjenbruk eller trenger avfallsbehandling. Slike verktøy kan brukes for planlegging og optimalisering av materialbruk både ved nybygg, vedlikehold og rehabilitering, samt i planlegging av vedlikehold- og oppgraderingsbehov. Dette vil gagne, økonomien, energibruken, klima- og miljøpåvirkningen i byggeprosjekter. Slike MFA-modeller krever et omfattende arbeid i form av kartlegging, kategorisering og modellering.

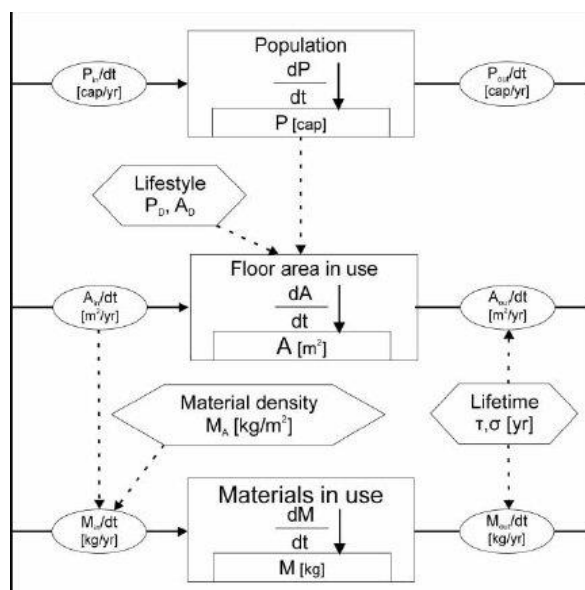
SINTEF Community ønsket gjennom denne mulighetsstudien å se på om, og hvordan, man kan overføre kunnskap, metoder og modellene som er utviklet i byggsektoren over til vegsektoren. Hensikten har vært å innhente kunnskap om modellene fra byggsektoren når det gjelder detaljeringsgrad, hva som kreves av data og så videre. Ved å undersøke tilgjengelige kilder og datatyper er det vurdert om en tilsvarende modellering kan være hensiktsmessig for vegsektoren. Målet med arbeidet er å øke kompetansen i fagmiljøet rundt viktige tema om materialforvaltning og sirkulærhet både nå og frem i tid.

## 2 Metode for gjennomføring av studiet

I studien har SINTEF undersøkt behov og muligheter for utvikling av en MFA-modell for veg. Arbeidet er utført ved å se på utvikling og bruk av slike modeller innen bygg i Norge samt et begrenset litteratursøk på tilsvarende modeller internasjonalt. Det er også undersøkt hvilke datakilder som finnes tilgjengelig blant annet gjennom samtaler med fagpersoner i Statens vegvesen.

## 3 Om MFA-modell og metodikk

En MFA-modell er en modell som skal ta hensyn til levetiden til materialer i bruk i produkter eller konstruksjoner på en måte som stemmer så godt som mulig med virkeligheten. Modellene er beskrevet av en systemgrense som definerer hva som inngår i modellen, prosesser som beskriver hva som skjer med materialene innenfor systemgrensen og materialflyter som beskriver hvor mye materiale som beveger seg mellom prosessene. Til slutt skal modellen gi indikasjon på hva og når materialer strømmer ut av systemet.



Figur 1 Dynamisk MFA-modell for boligbygninger i Oslo (Bergsdal, 2007).

Eksempel på dette vises i

Figur 1. Figuren viser dynamisk MFA-modell for boligbygninger i Oslo. Eksempelen viser at driverne f.eks. livsstil og befolkning påvirker behov for areal som er kontrollerende i forhold til materialbruk og lagring i systemet. Bygningens alder samt materialintensitet, og befolkning påvirker både inn og ut strømmer av materialer. Systemgrensen i dette systemet var til boligbygninger i Oslo.

Systemgrensen til modell beskriver hva som inngår i modellen. For veger kan eksempler på mulige systemgrenser være: alle offentlige asfalterte veger i Norge, alle riksveger i Norge eller alle riksveger i et bestemt fylke eller område. Det er viktig å ha gjennomtenkt og tydelig definert systemgrense for å gjøre modellen relevant.

Prosessene beskriver hva som skjer med materialene underveis i livsløpet. Produksjon, bruk og avfallsbehandling er eksempler på typiske prosesser. Enkelte prosesser går raskt, og en kan se bort ifra hvor lenge materialer er lagret i prosessen. I et system som ser på materialflyten til produkter over flere år kan produksjon være eksempel på en slik prosess, der materialene som går inn i produksjonen raskt blir til produkter og avfall, og lite lagres. Andre prosesser tar lengre tid, og materialene som er lagret i prosessen må tas med i modellen. En MFA-modell beskriver slike systemer som lagrer materialer (gjennom bruk) over lengre tid. Veganlegg er gode eksempler på dette, der materialer brukes i et anlegg og lagres i anlegget mange år før det kreves påfylling, utskifting eller behandling.

For å beskrive prosesser med lagring (stock) trengs kjennskap om to variabler: mengde materiale inn i prosessen på gitte tidspunkt, og levetid for materialene på det gitte tidspunktet. Med disse faktorene kan en beregne når materialer som ble brukt kan forventes å forlate prosessen. Det er knyttet usikkerhet, både til mengde og levetid, noe som kan beskrives med statistisk distribusjon for å gi mer representative modeller.

Ved å sette sammen variablene fra alle tidspunkt som dekker et historisk tidsrom kan en lage en modell som forutsier den fremtidige utviklingen. Variablene kan endres med tid, og det er behov for tilgang på gode historiske data for å videreutvikle modellen.



I hver prosess i en MFA- modell skal det vært massebalanse. Det vil si at alle materialer som går inn i en prosess må komme ut igjen, enten med en gang eller etter endt levetid, eller det må lagres permanent i prosessen. Dette krever at alle materialstrømmer må redegjøres for. Med dette prinsippet blir alle prosesser og materialflyter koblet sammen matematisk, noe som innebærer at modellen er egnet for å utforske scenarier over tid, eller ved endring av parametere og sammenhenger.

MFA- modeller beskriver gjerne flyten av materialer gjennom systemet. Dette kan være nyttig i seg selv for å optimalisere ressurseffektivitet. Videre kan materialflyten og prosessene kobles til andre indikatorer, som økonomi, klimagassutslipp, arealbruk eller annet for å vurdere materialbrukens effekt på økonomi, klima og miljø.

## 4 MFA- modeller fra Norge og andre land

Det er gjort flere studier som beskriver hvordan man har utviklet MFA- modeller for bygg- og anleggsnæringen. I Norge er det utført flere materialstrømsanalyser for boligsektoren, mens det er funnet få studier for veginfrastruktur. Studier for bygg kan imidlertid belyse metodikk som kan brukes på veginfrastruktur.

### 4.1 Norske MFA- modeller innen bygg

I Norge har studiene av Bergsdal et al. (2007), Sartori et al., (2008) og Sandberg et al., (2014) utforsket aktiviteter knyttet til bygg, renovering- og rivning relatert til boligmassen og dens innvirkning på material- og energibehov. Bygningsmassen vurderes ut fra sosiale drivere som befolkning, gjennomsnittlig antall personer per bolig og gjennomsnittlig boligstørrelse. Strømmene vurderes med bakgrunn i parametere som levetid på boligen og renoveringsfrekvens.

Totalt sett forventes byggetakten å være ganske stabil, mens det forventes økning i rivnings- og renoveringstakten på grunn av en voksende og aldrende befolkning. Eneboliger bygget mellom 1945 og 2011 vil dominere oppussingsvirksomheten i Norge. En lignende tilnærming for vegsystemet kan bidra til å identifisere og kategorisere type infrastruktur og de forskjellige sykluser (bygging, renovering eller riving) som kan råde i fremtiden.

Disse studiene inkluderer ikke en energianalyse, men de hevder at energiltak bør inkluderes, for eksempel når et bygg allerede er under en gjennomgående renovering. For øvrig er ikke energiltakene kostnadseffektive å gjennomføre før neste dyprenovering. Dette kan også gjelde veginfrastruktur, dersom energibehov vurderes utover driftsstadiet, for eksempel til materialproduksjon, maskinbruk og transport ved vedlikehold.

Ved å gjøre det kan energispareløsninger presenteres for ulike renoveringssykluser og typer infrastruktur, og det kan brukes til å estimere fremtidige energibesparelser i det samlede vegnettet.

En nylig rapport om energi- og materialbruk i norsk boligmasse (Sandberg et al., 2021) antar at områder som er bygget eller rehabilitert etter 2020 har potensial for energieffektivitet, og som resulterer i en økning i materiell bruk på 2%. Modellen er basert på de tidligere studiene nevnt ovenfor, men utvidet ytterligere i tre hovedretninger: (i) utvidelse til å omfatte næringsbygg i tillegg til boligmassen; (ii) kostnader til energi- og materialbruk og kostnadsbesparelser for energieffektivisering; (iii) CO<sub>2</sub>-utslipp fra material- og energibruk og unngått utslipp fra energisparing. Modellen kan også utvides til full LCA-analyse.



## 4.2 MFA- modeller inne veg

Ebrahimi et al. (2022) utforsket en metode for materialstrømsanalyse for det norske vegnettet for å estimere og forutsi materialstrømmer og -lagre mellom 1980 og 2050. Metoden kan potensielt brukes til å estimere levetiden for vegmaterialer og predikere vedlikeholdsaktiviteter. I studien ble det introdusert en maskinlæringsmodell for å estimere veginfrastrukturen i stedet for å benytte kartlegging og klassifisering av ulike veginfrastruktur gjennom arketyper. Studien var imidlertid begrenset til vedlikehold av vegdekke og den introduserte en tilnærming for å kvantifisere slitasje av vegdekke på grunn av trafikk (dekk/vegdekke interaksjon). Dette for å kunne kvantifisere mengden materiale som forsvinner ut av systemet uten å kunne resirkuleres eller gjenbrukes.

En annen norsk studie utviklet en dynamisk materialstrømanalysemodell for veginfrastruktur (Rasch, 2018). Denne studien benyttet en vegstrekning av et pågående utbyggingsprosjekt E6 Jaktøyen – Sentervegen. Strekningen ble i studien brukt som case for å eksemplifisere systemdefinisjoner. Studien utarbeidet en systemdefinisjon som inneholdt syv lagre, tre prosesser og i alt 29 materialstrømmer. Den detaljerte systemdefinisjonen omfatter mange aspekter angående material- og massehåndtering i vegbygging, inkludert intern håndtering innad i veganlegget og differering mellom eksempelvis utfylling, godkjente og ikke-godkjente deponier. Studien konkluderer med at dette detaljeringsnivået er nødvendig for at modellen skal kunne avdekke og kommunisere hovedutfordringene ved material- og massehåndtering i vegsektoren og identifisere avbøtende tiltak.

I USA utviklet Miatto et al., (2017) en modell for å beregne lagring (materialer i bruk) og materialstrømmer inn og ut av vegnettet. Bakgrunnen for modellutviklingen er den økende interessen for sirkulær økonomi. Hoveddriveren for modellen er den årlige utvidelsen av vegnettet. Fire variabler tillater beregning av total materialtilførsel, lager og utstrømning av vegnettet: (i) den maksimale prosentandelen av materiale som fjernes under vegarbeid som potensielt kan resirkuleres (maksimal årlig gjenvinningsgrad); (ii) den maksimale prosentandelen av resirkulerte materialer som er lovlig tillatt å brukes i slitelaget på en veg (maksimalt årlig tillatt resirkulerbart innhold); (iii) planlagte vedlikeholdsintervaller som varierer i henhold til vegklassifiseringen og (iv) materialintensitet per lengdeenhet veg.

Mengden materiale i vegnettet økte fra 0,7 milliarder tonn i 1905 til 15,1 milliarder tonn i 2015. Denne veksten av materialer i bruk har ikke bare vært drevet av størrelsen på vegnettet, men av tekniske forbedringer (tykkere vegfundament og vegdekke). Mens den totale materialtilførselen til vegnettet økte, utgjør disse strømmene en synkende andel av det innenlandske materialforbruket i hele økonomien.

Dynamikk i bygningsmassen er en viktig faktor for mengdene nedsirkulerte materialer som ender opp i vegbygging. Denne informasjonen vil gjøre det mulig å knytte materialforbruket til spesifikke bruksområder og lagre i bruk.

Gassner et al., (2020) analyserte materialstrømmer i transportsystemet i Wien for perioden 1990–2015 på grunn av den økende oppmerksomheten til sirkulær økonomi på urbant nivå.

Beregningene i modellen er basert på såkalte "tjenesteenheter" (Service Units), for eksempel antall kvadratmeter veg, antall meter undergrunnsbane eller antall kjøretøy. Data på antall tjenesteenheter kombineres med materialintensiteter for de ulike tjenesteenheter ( $t/m^2$ ,  $t/m$  eller  $t/n$ ). Materialintensiteter ble enten hentet fra litteraturen eller det ble gjort egne beregninger.

Resultatene viste at den primære kilden til materialforbruk (>65 %) er vedlikehold av infrastruktur. Den største materialbeholdningen tilskrives motorisert individuell transport (62 Mt – 50 % grus, sand og naturstein; 15 % asfalt; 10 % betong; 5 % andre materialer) etterfulgt av offentlig transport (36 Mt - 45 %



grus, sand) og naturstein; 45 % betong; 5 % andre materialer) og ikke-motorisert individuell transport (6,6 Mt – 70 % grus, sand og naturstein; 30 % asfalt). Med å ta hensyn til lagring av materialer i systemet kan vedlikeholdsprosesser gi et potensial for mer sirkulæritet fordi materialstrømmene ut og inn er like når det gjelder masse- og materialsammensetning.

Samlet sett fremhever resultatene fra ulike materialstrømsanalyser at vedlikeholdsfasen spiller en nøkkelrolle for økt sirkulæritet og dermed reduksjon i både klimagassutslipp og uttak av nye materialer. Selv om studiene understreker behovet for å bryte ned systemet for å utforske kravene til ulike segmenter og kategorier mer i dybden, er det også behov for å inkludere flere variabler og utforske mulige scenarier for alternative løsninger. For eksempel ved å inkludere annen fysisk infrastruktur i «veg»-systemgrensen som tunneler, broer og bygninger (de som er tilknyttet transportnettets samt boliger) for å vurdere alternativ bruk av vegmaterialer. I tillegg er det behov for både makro- og mikroperspektiver for en mer nøyaktig estimering av material- og energibehov, som involverer ulike sirkulære aktiviteter som forebygging, gjenbruk, resirkulering, opp/ned sykling og deponering.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Behov og bruk

For å gjenbruke materialer kreves tilbud og etterspørsel etter de aktuelle materialene. Ved planlegging av utbyggingsprosjekter kreves det også planlegging av materialbruk og hvor materialene skal komme fra. I dag finnes ingen oversikt over hvor mye materialer som vil være tilgjengelige, når de blir tilgjengelig eller hvor de er, og planlegging for gjenbruk er derfor krevende.

Bedre oversikt over mengde materialer som brukes og som forventes å bli tilgjengelig for ombruk gir grunnlag for å forstå potensialet for gjenbruk, samt å sette realistiske mål for gjenbruk som krav i kontrakter.

For å sette opp behandlingsanlegg for gjenbruk eller tilrettelegging for gjenbruk kreves forutsigbarhet for tilgang til gjenbruksmaterialer.

Ved vurdering av om konstruksjoner bør oppgraderes eller om det bør bygges ny veg mangler det i dag verktøy for å vurdere valgenes betydning på materialtilgjengelighet på lang sikt. Med en MFA-modell kan ulike scenarier undersøkes for å se hva det vil bety på lengre sikt.

Utvikling av MFA-modeller krever tilpasning til hvert enkelt system og tilgang på nødvendig data. Systemgrenser vil i mange tilfeller også styres av hvilke data som er tilgjengelig. Innen anleggssektoren er det behov for materialstrømsanalyser for flere typer anlegg og konstruksjoner.

Det finnes i dag systemer som benyttes for planlegging av vegvedlikehold, og som til en viss grad kan benyttes til å forutsi behov for mengde og type materialer. Dette er imidlertid ikke informasjon som er samlet, og en MFA-modell kan tilføre verdi ved å estimere aggregerte materialmengder som er brukt og som vil benyttes. Dette mangler i dag, og kan gi bedre forståelse for materialsituasjonen vi står i.

En slik modell baserer seg på klassifisering og generalisering for å gi oversikt. Når veger skal vedlikeholdes kreves vurderinger for hver enkelt vegstrekning for hva som er problemet, hvordan det kan utbedres og hvilke materialer som trengs for dette. MFA-modellen vil ikke være egnet til planlegging av enkeltstrekninger, men kan bidra til å forutsi sannsynlighet for enkelte alternativer på makronivå.

Vegdekke og vegkropp er to av mange vegelementer som kan egne seg for MFA-modellen, Det er også behov for oversikt over andre typer vegobjekter.



Eksempler på vegobjekter som kan egne seg for en slik modell er tunneler og bruer. En modell for vegnettet kan være et godt utgangspunkt å koble til andre vegobjekter i videre arbeid, som for eksempel skilt, rekkeverk/autovern og elektronikk. Det kan være hensiktsmessig å tilrettelegge for å ta med andre vegobjekter ved en senere utvikling og utvidelse av modellen.

## 5.2 Vegens livsløp

Vegens liv kan beskrives av flere ulike faser. Ved utbygging bestemmes oppbygging etter bestemte kriterier. Etter utbygging vil vegen gjennomgå vedlikeholdsarbeid ved behov eventuelt syklisk. Ved reasfaltering vil eksisterende asfaltdekke noen ganger freses ned. Fresemassen kan gjenbrukes enten i dekke eller i eksempelvis bærelag. Den oppfreste asfalten kan benyttes i vegkroppen eller kan returneres for gjenvinning.

En del vegvedlikehold gjentas i en relativt jevn syklus, noe som gjør det egnet for bruk i modell. Arbeidet som skal utføres er imidlertid situasjonsbestemt. For å vurdere hvor godt dette kan modelleres er det behov for å se nærmere på datagrunnlaget om det kan klassifiseres og brukes i en pålitelig modell.

## 5.3 Databehov og kilder til data

For materialstrømsanalyser for veg er det behov for data som kan brukes for å beregne mengde materiale i systemet og materialstrømmer inn og ut av systemet. Dette betyr at man trenger data om omfang eller utstrekning av vegnettet (romlig beskrivelse) tilhørende materialbruk, levetid mv. Driverne i denne typen modell vil være veldig forskjellig fra drivere i en modell for boligbygg ettersom infrastrukturutbygging er politisk bestemt.

Statens vegvesen har ansvar for planlegging, utbygging, drift og vedlikehold av riksveger i Norge og er avhengig av gode systemer for planlegging av vedlikeholdsarbeid på vegnettet. Viktig data som finnes om vegnettet registreres i og finnes offentlig tilgjengelig i NVDB – Nasjonal vegdatabank. NVDB er en database med informasjon om både statlige, kommunale, private, fylkes- og skogsbilveger. I NVDB finnes blant annet informasjon om vegnettet med geometri og topologi, oversikt over en del utstyr langs vegnettet, ulykker og trafikkmengder. I NVDB finnes det også noen data vedr. materialer og tilstand på vegnett, men kan ikke betraktes som en fullstendig kilde for nødvendige data for materialstrømsanalyser. En del data vil kunne finnes i fagspesifikke systemer eksempelvis dekkevedlikeholdssystemer. I tillegg vil finnes det en del overordna statistikker, eksempelvis knyttet til returafalt, som vil kunne nyttiggjøres.

Typologi er inndeling i kategorier for å tilpasse data til modellen. Ut fra tilgjengelig data på eksisterende vegnett er det klart at det vil bli behov for en grov kategorisering av vegtyper og hvilke og mengde materialer som brukes i hver vegtype. Egnert typologi vil være avgjørende for god modell, og typologien vil være tett knyttet til hvilken data som er tilgjengelig.

## 5.4 Mulig arbeid med modeller

Ved en utvikling av en MFA-modell for veg vil en mulig tilnærming med bakgrunn i tilgjengelig datagrunnlag være å ta tak i deler av infrastrukturen. Eksempelvis vil dette kunne være vegdekke/asfalt. For å fullt ut kunne nyttiggjøre seg modeller mht. sirkulæritet og optimal material- og massehåndtering bør størst mulig del av infrastrukturen inkluderes. Med tanke på mengde materialer så bør alle deler av vegkroppen inngå i modellen.

En annen mulig tilnærming utvikling MFA-modell for veg vil være en geografisk avgrensning. Dette vil være nyttig fordi material- og massehåndtering må vurderes geografisk ut fra lokal tilgjengelighet, transportavstander mv.





Mulig videre utvikling av modellen burde inkludert skilt, rekkeverk og annen nødvendig sikkerhets og informasjonsstyr. I tillegg vil en slik modell kunne inkludere annen type infrastruktur som ofte er lagt samtidig og/eller langs vegen som elektro og vanninfrastruktur.

**Regionale analyser og modeller** er nødvendig for å forstå dagens materialforvaltning innen vegsektoren.

**Prospektive og dynamiske modeller** er også nødvendig for å forstå potensialene for resirkulering og for utvikling av arealplaner, sikre tilstrekkelig ressurstilgjengelighet samt tilstrekkelig plass for midlertidige lagrings- og gjenvinningsterminaler over tid.

Som eksempel, viste en studie av resirkulert tilslag at resirkulert tilslag fra både knust betong og gravemasser er egnet for bruk i rørgrøfter og kan være et viktig bruksområde for denne typen materiale (Engelsen and Rise, 2019). I et annet prosjekt ble utgravd leire og sand fra riving av gamle E6 benyttet som fylling innenfor samme prosjekt, under forutsetning av materialet var samsvarer med materialkvalitetskrav; Sand som tidligere ble brukt i vegkroppen ble brukt til fyllingsformål, og asfalt som tidligere ble brukt i overflatelaget, ble knust på stedet og brukt i bærelaget (Rasch, 2018).

Hoveddriveren i systemet bør være **behovet for veginfrastruktur**, og veginfrastrukturen må bestemmes med en nedenfra og opp-tilnærming og bør være romlig løst, slik 3D-modeller gjør. 3D-modeller kan støtte estimeringen av materialetterspørsmål og tilgjengelighet over tid og det kan støtte beslutninger rundt materialhåndtering.



SINTEF

## 6 Referanser

Bergsdal, H., Brattebø, H., Bohne, R. A., & Müller, D. B. (2007). Dynamic material flow analysis for Norway's dwelling stock. *Building Research & Information*, 35(5), 557-570.

Ebrahimi, B., Rosado, L., & Wallbaum, H. (2022). Machine learning-based stocks and flows modeling of road infrastructure. *Journal of Industrial Ecology*, 26(1), 44-57.

Engelsen, C. J., & Rise, T. (2019). Vurdering av resirkulert tilslag. Egnethet i rørgrøfter. Sintef rapport.

Gassner, A., Lederer, J., & Fellner, J. (2020). Material stock development of the transport sector in the city of Vienna. *Journal of Industrial Ecology*, 24(6), 1364-1378.

Miatto, A., Schandl, H., Wiedenhofer, D., Krausmann, F., & Tanikawa, H. (2017). Modeling material flows and stocks of the road network in the United States 1905–2015. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 168-178.

Rasch, M. K. (2018). *Applying material flow analysis for optimizing construction aggregates management in the road sector* (Master's thesis, NTNU).

Sandberg, N. H., Sartori, I., & Brattebø, H. (2014). Using a dynamic segmented model to examine future renovation activities in the Norwegian dwelling stock. *Energy and Buildings*, 82, 287-295.

Sandberg, N. H.; Lien, S. K., Moschetti, R. & Skaar, C. (2021). Energi-og materialbruk i den norske boligmassen Typologier. Scenarioanalyse. Sintef rapport.

Sartori, I., Bergsdal, H., Müller, D. B., & Brattebø, H. (2008). Towards modelling of construction, renovation, and demolition activities: Norway's dwelling stock, 1900–2100. *Building Research & Information*, 36(5), 412-425.



SINTEF

## A Ordliste

Materialstrømsanalyse (MFA) - systematisk vurdering av strømmer og beholdninger av materialer innen et gitt system definert i rom og tid.

Nedresirkulering (down cycling) – Resirkulering av materialerverdien synker ved hver runde av resirkulering.

Drivere i system – Parametere som påvirker behovet i systemet, for veg er behovet selve vegen og driverne er f.eks. befolkning.