



**Høgskulen  
på Vestlandet**

## **BACHELOROPPGAVE**

Kartlegging av metode for sirkulær  
materialutnyttelse

Mapping of method for circular material  
utilization

**Håkon Gabrielsen**

**Odd Martin Rosvold**

**Sebastian Forslund Sanne**

Bachelor i ingeniørfag - Bygg

Institutt for byggfag

Veiledere: Loftur Thor Jonsson og Trond Nordvik

Innleveringsdato 21.05.2021

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet,

## Forord

Som et avsluttende arbeid i vårt treårige utdanningsløp ved Høgskulen på Vestlandet, institutt for bygg og landmåling har vi med denne oppgaven forsøkt å jobbe videre med problemstillingen fra en av fjorårets oppgaver. “*Metode for kartlegging av ombrukspotensial til byggevarer i bygninger*” av Karoline Andresen og Zazamit Micael legger grunnlaget for videre arbeid innenfor emnet med setningen: «*Det vil være mulig å gjøre ytterligere undersøkelser av registreringsverktøy for registrering av materialer.*» som en del av forslaget.

Problemstillingen er høyaktuell og det gjøres nye fremskritt innenfor temaet for hver dag som går. Vi håper at vi med denne oppgaven kan være med på å bidra til nytenkning innenfor mer effektive og anvendelige kartleggingsmetoder, og at det blir gjort videre arbeid på dette med årene som kommer.

En stor takk rettes til våre veiledere fra Høgskulen på Vestlandet, Loftur Thor Jonsson og Trond Nordvik. Uten deres faglige bistand og innspill ville vi ikke ha klart å gjennomføre studiet med slik kvalitet. Vi har også fått gode innspill fra andre på fakultetet, hvorav Ole Gunnar Søgne, Ole Fartein Knutson Kolnes og Stig Frode Samnøy har vært til stor hjelp. Vi ønsker også å takke Medielaben ved HVL for at vi fikk låne utstyr. Dette innebar utlån av iPad til skanning og VR-briller til visualisering, samt. hjelp til 3D-printing av stativ til iPad.

Etter et tett samarbeid med våre eksterne veiledere, Lars Clementsen Pedersen i BOB og Atle Sylvarnes i Backer, ønsker vi også å gi en stor takk for inspirerende ord og for å ha satt oss i kontakt med dyktige og engasjerte folk som jobber i bransjen. Disposisjonen av BIR-bygget i Conrad Mohrs vei 15 gjorde det mulig for oss å gjennomføre testing og skanning, og har vært essensielt for å gi oss data å jobbe videre med. Til slutt ønsker vi å takke Tobias Bjerkomp ved Loopfront for muligheten til å teste anvendelsen av innsamlet data i deres database.

Antall ord: 14 763


Bergen, mai 2021



Håkon Gabrielsen



Odd Martin Rosvold



Sebastian Forslund Sanne

## Sammendrag

Det har i den siste tiden blitt rettet stort fokus mot byggsektoren lineære økonomiske modell. Byggebransjen sto i 2019 for 38 prosent av globale miljøgassutslipp (UN environment programme, 2019), hvor store deler av utslippene er tilknyttet produksjon av nye byggevarer. Samtidig står bransjen for 26 prosent av den totale avfallsmengden i Norge ifølge tall fra Statistisk Sentralbyrå. Statistikken viser at byggenæringen har et stort potensial for miljø- og kostnadsbesparelse i form av at ombruk og gjenbruk av brukte byggematerialer blir innført i høyere grad. Løsningen som blir praktisert i dag, med fokus på gjenvinning og resirkulering holder ikke mål om vi skal oppnå en sirkulær bransje i årene som kommer.

I senere år har flere store aktører kommet på banen, og en ser også nylig oppstartete selskaper som bygger sin forretningsmodell rundt ombruk av byggematerialer. Med dagens strenge krav til dokumentasjon og ansvarspåtagelse for aktører som ønsker å bidra til denne praksisen, er det vanskelig å etablere seg og tilrettelegge for en eventuell ombruksnæring. Initiativene som har blitt gjort de siste årene har likevel bidratt til noe økt statlig interesse og tilretteleggelse, som kanskje er den største utfordringen som må ligge til grunn før vi får se mer av direkte ombruk implementert for fullt i bransjen.

Før en eventuell endring av bransjens tankesett kan realiseres, bør en rekke forarbeider legges til rette. Vi ser i dag at prosesser knyttet til kartlegging, registrering og videre distribusjon av ombruksmaterialer ikke er optimalisert, særlig fordi nødvendig dokumentasjon ofte er manglende eller er vanskelig å få hentet ut. Problemstillingen i denne oppgaven er tiltenkt å utfordre dagens holdning til ombruk norsk byggebransje. Videre er mulighetsstudiet gjennomført i denne oppgaven tenkt å kartlegge muligheter for effektivisering av dagens kartleggingsmetoder, og drøfte muligheter og utfordringer med nye metoder. Det konkluderes med at LiDAR-teknologien for håndholdt utstyr som er tilgjengelig på markedet for øyeblikket, ikke er kommet langt nok til å kunne erstatte dagens kartleggingsmetoder som manuell oppmåling og visuell kontroll, grunnet for store avvik i forhold til godtatte verdier på dagens byggeplasser.

På grunnlag av utført case- og litteraturstudium er det utarbeidet et forslag til kartleggingsmetode av ombruksmaterialer, med forbehold om at håndholdt LiDAR-teknologi utvikler seg videre i årene som kommer.

## Abstract

Recent years, great focus has been placed on the construction industry's linear economic model. In 2019, the industry accounted for 38 percent of global environmental gas emissions (UN environment programme, 2019), where large parts of the emissions are associated with the production of new building materials. At the same time, the industry accounts for 26 percent of the total amount of waste in Norway, according to statistics from Statistics Norway. These statistics show that the construction industry has a great potential for environmental and cost savings, if re-use of used building materials is introduced to a greater extent. The solution that is practiced today, with a focus on reclamation and recycling, does not meet the goal of achieving a more circular industry.

In the last couple of years, several major players have become more involved, and one also sees newly started companies building their business model around the reuse of building materials. With today's strict requirements for documentation and responsibility for actors who want to contribute to this practice, it is difficult to establish and facilitate a possible reuse industry. The initiatives that have been taken in recent years have nevertheless contributed to some increased government interest and facilitation, which perhaps is the biggest challenge that must be taken into account before we get to see more of direct reuse fully implemented in the industry.

Before a possible change in the industry's mindset can be realized, a number of preparatory work should be arranged. Today, we see that processes related to mapping, registration and further distribution of reusable materials have not been optimized, especially because necessary documentation is scattered and difficult to obtain. The problem in this thesis is intended to challenge the current attitude towards reusing materials in the Norwegian construction industry, and look for new solutions and tools for mapping possible reusable materials. Furthermore, the feasibility study carried out in this thesis is intended to map opportunities for streamlining current mapping methods, and discuss opportunities and challenges with new methods. It is concluded that the LiDAR technology for handheld equipment available on the market at the moment, has not come far enough to replace current methods such as manual measurement and visual control, due to larger deviations than allowed when scanned.

On the basis of the literature and case study, a proposal has been prepared for a mapping method of reusable materials, with the proviso that handheld LiDAR technology will develop further in the years to come.

## Innhold

Forord .....	i
Sammendrag .....	ii
Abstract .....	iii
Figurliste.....	vi
Tabelliste .....	vii
Begrepsavklaring.....	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Avgrensning av oppgaven .....	2
1.3 Oppgavens oppsett og struktur .....	2
2 Teori .....	3
2.1 Klima og sirkulærøkonomi .....	3
2.1.1 Klimaproblemet .....	3
2.1.2 Lineærøkonomi og Sirkulærøkonomi .....	3
2.2 Ombruk i praksis .....	6
2.2.1 Mellomlagring.....	6
2.2.2 Ombruk av bærende komponenter .....	8
2.2.3 Eksempler på ombruk i praksis .....	11
2.2.4 Insentiver og initiativer i dagens bransje .....	14
2.3 Dokumentasjon .....	15
2.3.1 TEK17 og DOK .....	15
2.3.2 CE-merking .....	16
2.3.3 Ytelseserklæring .....	16
2.3.4 FDV-dokumentasjon .....	17
2.4 Fremtidens løsninger .....	19
2.4.1 Prosjektet BAMB og bygninger som en service .....	19
2.4.2 Materials Passports .....	20
2.4.3 Reversible Design .....	21
2.4.4 Industriell symbiose .....	21
2.4.5 Bygge for fremtiden .....	23
3 Metode.....	25
3.1 Registreringsverktøy benyttet i case-studiet.....	25
3.1.1 LiDAR teknologi .....	25
3.1.2 LiDAR-skanning med iPad Pro .....	26

3.1.3 Laserskanning med Leica ScanStation P20 .....	28
3.1.4 Manuell oppmåling .....	28
3.1.5 Digitale verktøy .....	28
4 Foreslått metode for sirkulær materialutnyttelse.....	30
5 Case-studie: Conrad Mohrs veg 15 .....	32
5.1 Historikk .....	32
5.2 Befaring av bygget.....	33
5.3 Skanning med iPad .....	34
5.3.1 Utførelse av skanning med iPad .....	34
5.3.2 Behandling av punktsky .....	34
5.4 Skanning med Leica P20 .....	39
5.4.1 Utførelse av laserskanning .....	39
5.4.2 Behandling av punktsky .....	39
5.5 Sammenligning av punktskyer .....	41
5.6 Kartlegging av skadet søyle.....	42
5.7 Anvendelse av data i Loopfronts database .....	44
6 Diskusjon.....	46
6.1 Laserskanner .....	46
6.2 iPad Pro.....	46
6.3 Sammenligning av registreringsverktøyene .....	47
6.3.1 Pris .....	47
6.3.2 Kvalitet og nøyaktighet.....	47
6.3.3 Tidsbruk .....	48
6.3.4 Anvendelighet .....	49
6.3.5 Oppsummering.....	50
6.4 Kartlegging og dokumentasjon av ombruksmateriell.....	50
6.5 Høyere krav til produsenter .....	51
6.6 Statlig initiativ og regelverk knyttet til ombruk .....	52
6.7 Potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer .....	53
6.8 Veien videre.....	54
7 Konklusjon .....	55
7.1 Forslag til videre arbeid.....	56
8 Litteraturliste .....	57

## Figurliste

Figur 1 – Avfallsregnskap, tall fra SSB (hentet 04. mars 2021). .....	4
Figur 2 - Lineær- vs. sirkulærøkonomi. Bilde hentet fra (Boye, 2019) .....	5
Figur 3 - Telt over regjeringskvartalet. Bilde hentet fra (Statsbygg 2021) .....	7
Figur 4 – Fangst og utslipp av CO2 for trevirke. Bilde hentet fra (Fuglseth, et al., 2020) .....	10
Figur 5 - Grünerløkka studentarhus. Bilde hentet fra (Persen, 2020) .....	13
Figur 6 - Fremgangsmetode for klargjøring av ombruksmateriell .....	18
Figur 7 - Illustrasjon av prosesseringsløpet til avfallssenteret Kujala Waste Centre i Finland. Hentet fra (Smart Lahti, u.å.) .....	22
Figur 8 - Forslag til metode for å oppnå sirkulær materialutnyttelse i byggebransjen .....	30
Figur 9 – Beskrivelse til foreslått metode for sirkulær materialutnyttelse .....	31
Figur 10 - Conrad Mohrs veg 15, BIR-bygget. Bilde hentet fra (Google maps, u.å.) .....	32
Figur 11 - Brannskadet betongsøyle.....	33
Figur 12 - Synlige brannskader på takelementer i betong.....	33
Figur 13 - Parkeringskjelleren som ble skannet .....	33
Figur 14 - Punktsky av skannet søyle i CloudCompare .....	35
Figur 15 - Ferdig behandlet punktsky i CloudCompare .....	36
Figur 16 –Målsatt punktsky i Autodesk ReCap .....	37
Figur 17 – Modellert søyle i Revit over punktsky Målsatt .....	37
Figur 18 - Mål på søylemodell laget i Revit.....	38
Figur 19 - Søyle skannet med Leica ScanStation P20 .....	39
Figur 20 – Rensket punktsky av søyle i CloudCompare .....	40
Figur 21 – Søyle med mål i Autodesk ReCap .....	40
Figur 22 - Utregnet RMSE mellom punktskyene i CloudCompare .....	41
Figur 23 – Brannskadet søyle skannet med iPad Pro .....	42
Figur 24 – Brannskadet søyle skannet med Leica ScanStation P20 .....	42
Figur 25 - Konstruert plan basert på en av de skadde sidene av betongsøylen.....	43
Figur 26 – Høydekurve av skadet område.....	43
Figur 27 - Skjerm bilde fra Loopfronts materialdatabase med ferdig registrert betongsøyle ...	45

## Tabelliste

Tabell 1 - Viser prisforskjell for ulike ombrukte komponenter. Tabell hentet fra (Insenti, 2021).....	12
Tabell 2 - Viser besparelse i kg CO <sub>2</sub> -ekv/enhet for et utvalg komponenter. Tabell hentet fra (Insenti, 2021) .....	12
Tabell 3 - Materialliste laget for søylen i Revit.....	38



## Begrepsavklaring

**AI (Artificial intelligence):** Kunstig intelligens. Informasjonsteknologi som justerer sin egen aktivitet (Tidemann, 2020).

**ASCII-format:** American Standard Code for Information Interchange.

**Avfall:** Kasserte gjenstander eller stoffer som ikke lenger har sin opprinnelige verdi.

**Biogent karbon:** CO<sub>2</sub> tas opp i biogene materialer gjennom fotosyntese, karbonet blir dermed bundet i materialet.

**Blockchain teknologi:** Teknologi som validerer data når informasjon fra flere datasett samles.

**BREEAM:** Building Research Establishment Environmental Assessment Method, miljøsertifiseringsverktøy for bærekraftige bygninger.

**Bærekraft:** En måte å ta vare på naturen og naturens ressurser som tilfredsstillers dagens behov uten å ødelegge muligheten for å tilfredsstillere framtidige generasjoners behov.

**Bærekraftig utvikling** «Bærekraftig utvikling er utvikling som tilfredsstillers dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillere sine behov.» (FN-sambandet, 2019).

**DARE2C:** Durable Aluminium Reinforced Environmentally-friendly Concrete Construction.

**Deduktiv metode:** «Metode der man anvender logikken på angitte grunnantagelser og ved hjelp av logiske prinsipper avleder logiske konsekvenser» (Alnes, 2019).

**Downcycling:** Resirkuleringsmetode som bryter ned produktet til dets opprinnelige råmaterialer, dermed lavere kvalitet og funksjonalitet enn tidligere.

**Empirisk grunnlag:** Erfaring basert på datainnsamling.

**Forretningsmodell:** «En forretningsmodell beskriver den logiske begrunnelsen for hvordan en organisasjon skaper, leverer og kaprer verdi.» (Osterwalder og Pigneur, 2010).

**Gjenbruk:** Bruk av et produkt på en ny eller annerledes måte enn dets opprinnelige formål.

**Harmonisert standard:** Forordninger som blir sammenstilt for en bestemt produktgruppe som er bevist kan opprettholde krav til helse, miljø og sikkerhet (Standard Norge, 2021).

**IFC:** Industry Foundation Classes, samlebetegnelse for filformater som støttes av de fleste programmer innenfor BIM.

**Induktiv metode:** Teoribyggende metode for å undersøke fenomener.

**Industriell symbiose:** Industriell symbiose er en prosess der avfall eller biprodukter fra en industri eller industriell prosess, blir anvendt som råmateriale for en annen (European Commission, u.å.c).

**In situ:** «Begrep for noe som skjer på det egentlige (naturlige, opprinnelige, uforstyrrede) stedet eller i de egentlige (naturlige) omgivelser» (SNL, 2020).

**Kvantitativ metode:** «Forskningsmetoder som brukes ved innsamling og analyse av kvantitative data. Dette er data som foreligger i form av tall eller andre mengdetermer ...» (Grønmo, 2020a).

**Kvalitativ metode:** «forskningsmetoder som brukes ved innsamling og analyse av kvalitative data. Dette er data som vanligvis foreligger i form av tekst ...» (Grønmo, 2020b).

**Lineærøkonomi:** Lineærøkonomisk modell. Et samfunn hvor produkter lages, brukes og kastes.

**MAE:** Mean Absolute Error, en beregningsmetode som måler gjennomsnittlig absolutt avvik mellom parvis observerte punkter.

**Mesh:** I denne oppgaven omtalt som en punktsky omgjort til en 3D-modell ved hjelp av dataen som befinner seg i filen.

**Naturkapital:** Verdens bestand av naturressurser.

**Negative eksternaliteter:** «Innebærer at de samfunnsøkonomiske grensekostnadene er høyere enn de bedriftsøkonomiske grensekostnadene. Dette brukes ofte som begrunnelse for offentlige inngrep i form av avgifter eller pålegg.» (Idsø, 2017).

**Ombruk:** «Bruk av et produkt, i dets opprinnelige form, for dets opprinnelige formål.» (Høines, 2010).

**Paradigmeskifte:** En vitenskapelig revolusjon i form av systematisk skifte i måte å tenke på.

**RMSE:** Root-Mean-Square Error, en beregningsmetode som måler roten av kvadrert gjennomsnittlig avvik mellom parvis observerte punkter.

**SOR filter:** Står for «Statistical Outlier Removal», og er et verktøy i CloudCompare som fjerner punkter som ligger over en gitt avstand fra nærmeste nabo i en punktsky.

**Standardavvik:** Avvik mellom estimert punkt og gjennomsnittlig verdi til alle observerte punkter.

**Tilvirkning:** Fremstille noe, oftest innen produksjon.

**Upcycling:** Resirkuleringsmetode hvor man finner nye bruksområdet, samt

**Urbanisering:** Prosessen hvor befolkning, markeder og tjenester flytter seg fra landsbygden til byområder.

## 1 Innledning

Per dags dato står byggebransjen direkte for 9 prosent av globale klimautslipp. Tas de indirekte utslippene med, økes andelen til hele 40 prosent. Til tross for at Norge er en ledende aktør innen grønne- og miljøvennlige løsninger, har det vært mangel på insentiver innad i byggebransjen. (Energi og Klima, u.å.)

I henhold til Parisavtalen, skal medlemsland som Norge iverksette nasjonale planer og tiltak for gradvis å bli klimanøytrale gjennom konkrete mål for utslippskutt (FN-sambandet, 2020). Avtalens overordnede mål er å gjøre verden klimanøytral mellom år 2050 og 2100 (European Commission, u.å.a). For å nå dette målet har EUs klimakommisjon som målsetning å redusere klimagassutslipp med 55 prosent fra nivåene registrert i 1990, allerede innen 2030 (European Commission, u.å.b). Det må dermed utføres noen drastiske tiltak for å omstille bransjer som byggenæringen til å bli sirkulære og klimanøytrale. For å oppnå denne omstillingen, må fokuset legges mer mot både fornybare løsninger, samt ombruk av allerede eksisterende elementer og komponenter i bygg.

Det grønne aspektet i dagens bransje baseres seg i hovedsak på resirkulering av enkelte elementer i et bygg. Et eventuelt grønt paradigmeskifte vil dermed ikke kunne oppstå før fokuset legges på ombruk av allerede utvinnede ressurser. Det vil oppstå et større behov for enkle løsninger og metoder for kartlegging av potensielle ombruksmaterialer i bransjen. Kartlegging av mulige løsninger og tilrettelegging fra statlige aktører for satsning på grønne løsninger vil da være vesentlig for å kunne imøtekomme fremtiden.

Det vil i denne oppgaven drøftes en rekke muligheter og utfordringer rundt dagens ombrukssituasjon. Metodene som hittil har blitt brukt til kartlegging av ombruksmaterialer, er stort sett manuell oppmåling og visuell kontroll under befaring av riveklare bygg. I oppgaven testes nye metoder for effektivisering av kartleggingsprosessen av ombrukspotensial i bygg.

Oppgaven legger innledningsvis vekt på generell teori, deretter eksempler og løsninger på ombruk i praksis, og barrierer i form av dokumentasjon. Videre er det lagt frem noen forslag til løsninger bransjen kan anvende, samt metoden vi har utarbeidet for kartlegging av bygg. Avslutningsvis drøftes resultatene fra innsamlet data, og veien videre for ombruksnæringen diskuteres.

## 1.1 Problemstilling

Det er i sammenheng med oppgaven gjennomført et case-studium vedrørende metoder for kartlegging av materialer som potensielt kan ombrukes. Dette omfatter både metoder som allerede er implementert i byggebransjen i dag, samt et mulighetsstudium på morgendagens metoder. Grunnlaget for problemstillingen er mangel på insentiver knyttet til ombruk. Det vil dermed ses på muligheter for høyere utnyttelse av ombruksmaterialer i byggenæringen. Problemstillingen formuleres som følgende:

**«Hvordan kan det tilrettelegges bedre for økt ombruk, og hvordan kan kartleggingsprosessen av potensielle ombruksmaterialer effektiviseres?»**

For å kunne besvare problemstillingen og avgrense oppgaven har vi følgende forskningsspørsmål:

- *Hvilke insentiver må til for å øke andel ombruk i byggebransjen?*
- *Hvilke utfordringer og muligheter med ombruk finnes i dagens bransje?*
- *Kan nyere teknologi implementeres i dagens metoder for kartlegging av ombruksmaterialer?*

## 1.2 Avgrensning av oppgaven

Med et så omfattende tema er det valgt å ikke legge fokus på logistikk rundt lagring og transport av ombruksmaterialer, med hensyn til oppgavens omfang. Det økonomiske aspektet rundt redistribusjon og skånsom demontering av materialer blir nevnt, men ikke nøye undersøkt. Vi har også valgt å neglisjere materialtesting av potensielle ombruksobjekter, da dette ikke er like relevant for problemstillingen vår.

## 1.3 Oppgavens oppsett og struktur

I kapittel 2 presenteres det teoretiske grunnlaget som ligger bak mulighetsstudiet. Kapittel 3 omhandler metodikken som ble benyttet for å utføre case-studiet. I kapittel 4 foreslås en metode for å oppnå en sirkulær materialutnyttelse, basert på litteraturstudiet som er gjennomført. Kapittel 5 inneholder rapport fra utført case-studie, hvor resultater blir presentert og visualisert. Avslutningsvis drøftes og diskuteres resultater, samt hindringer og muligheter for ombruk i kapittel 6, med konklusjon av oppgaven i kapittel 7.

## 2 Teori

Dette kapittelet presenterer noen av de viktigste utfordringene og mulighetene ved ombruk av byggematerialer. Kapittel 2.1 tar for seg fordeler ved ombruk, i form av mulige avfalls- og utslippskutt. I kapittel 2.2 er det undersøkt hvorvidt ombruksprosjekter er blitt gjennomført de siste årene, og hvilket resultat disse har medført. Kapittel 2.3 er tiltenkt å gi en oversikt over hvilke dokumentasjonskrav som er gjeldende for ombruksmaterialer per i dag. Kapittel 2.4 nevner ulike forslag til mulige fremtidige løsninger rundt temaet, basert på nyere forskning.

### 2.1 Klima og sirkulærøkonomi

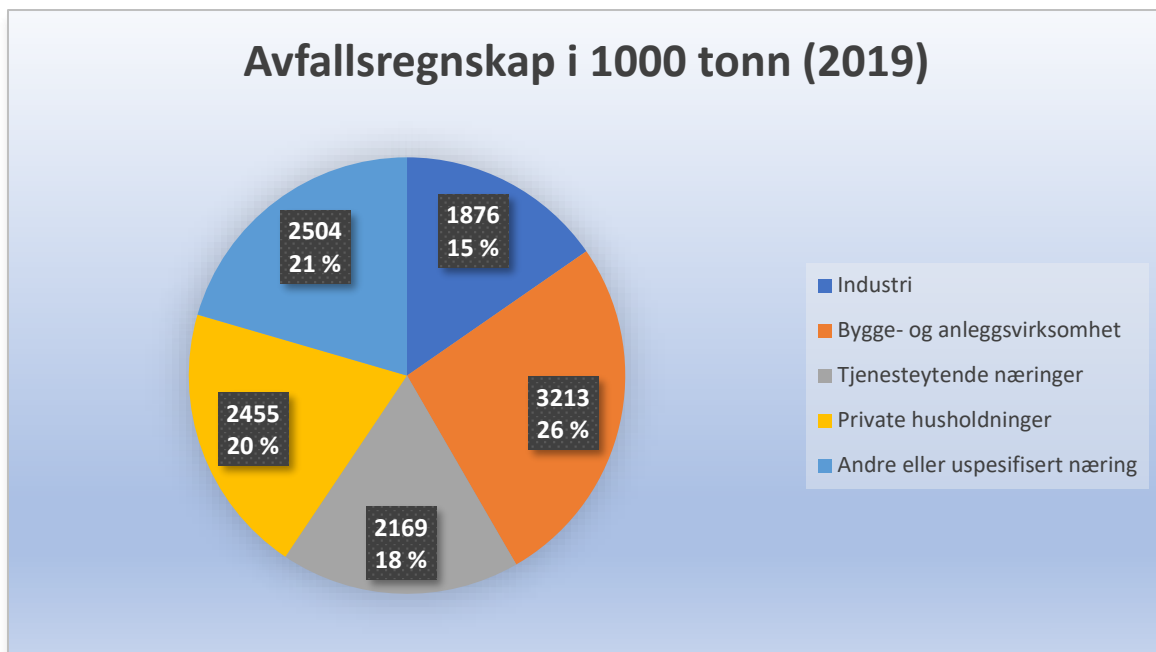
#### 2.1.1 Klimaproblemet

Byggenæringen krever et grønt paradigmeskifte for å omstille og tilrettelegge for en bærekraftig bransje. Markedet i dag gir få insentiver til aktører som vil satse på, og utvikle muligheter for miljøgjenvinning og ombruk. Dermed vil det være essensielt at den offentlige sektor gjør det attraktivt for bedrifter og organisasjoner å satse på grønnere løsninger.

Parisavtalen går inn i dybden på hvordan EU skal oppnå sitt mål om å redusere CO<sub>2</sub> utslippet registrert i 1990 med 55 prosent innen 2030. Avtalen spesifiserer at hvert land skal individuelt lage en plan med mitigerende tiltak for utslipp. Planen skal gradvis føre til oppnåelse av klimanøytralitet innen 2050 (European Commission, u.å.a). I og med at Norge er et av medlemslandene, vil slagplanen for tiltak mot et mer grønt og bærekraftig samfunn innebære en omveltning av det lineærøkonomiske forholdet bransjen har til avfall, og skape et grunnlag for sirkulære løsninger.

#### 2.1.2 Lineærøkonomi og Sirkulærøkonomi

Byggenæringen på verdensbasis baserer seg hovedsakelig på en lineærøkonomisk fremstilling av materialsyklus. Det vil si at ressurser blir foredlet til produkter, og dermed kastet etter at det enten ødelegges eller eksploderer (Boye, 2019). Produktene som ikke anvendes på nytt blir til avfall. Statistikk fra SSB viser til at Norge akkumulerte 12,22 millioner tonn avfall bare i 2019. Figur 1 illustrerer fordeling av avfallet i sektorer basert på statistikk fra SSB. Bygge- og anleggsvirksomhet i Norge står for overkant av en fjerdedel av avfall på landsbasis. En økning på 14 prosent fra fjoråret (SSB, 2021).



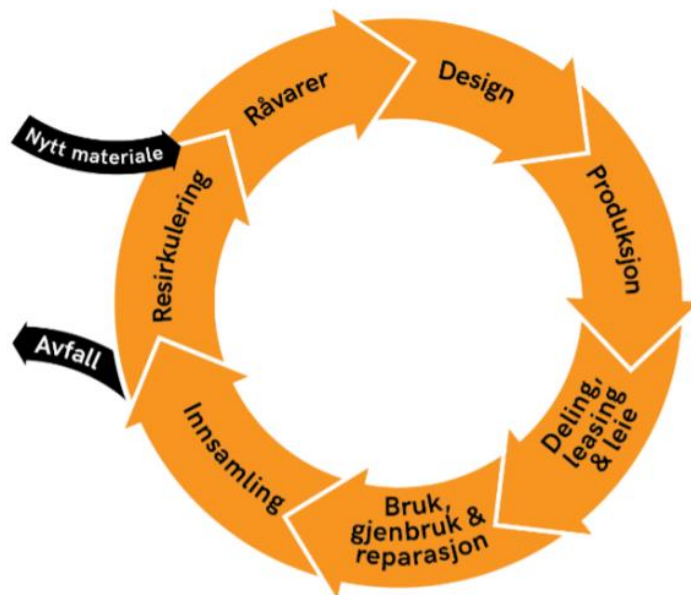
Figur 1 – Avfallsregnskap, tall fra SSB (hentet 04. mars 2021).

Sirkulærøkonomi er et system hvor foredlede materialer skal fortsette sitt sirkulære kretsløp så lenge som mulig gjennom høyere grad av materialutnyttelse. Fokuset ligger på å restaurere produkter, samt finne nye anvendelsesområder der det ikke kan gjenbrukes (KS, 2018). En eventuell omstilling fra lineær til sirkulær syklus, vil dermed innebære endring i design, produksjon, produksjonsmetoder og forbruksmønster (Miljødirektoratet, 2020). Figur 2 illustrerer forskjellene på lineær- og sirkulærøkonomiske modeller.

## Lineærøkonomi



## Sirkulærøkonomi



Figur 2 - Lineær- vs. sirkulærøkonomi. Bilde hentet fra (Boye, 2019)

Systemet sirkulærøkonomi vil bli mer relevant de kommende årene. Statistikk fra FN (FN-sambandet, 2019), tilsier at vi i Norge har et økologisk avtrykk på 3,4 jordkloder. Dette vil si at om alle mennesker skulle hatt et forbruk tilsvarende den gjennomsnittlige nordmann, hadde vi trengt 3,4 ganger så mye ressurser som det som finnes på jorden (FN-sambandet, 2019). Det vil dermed være gjeldende å legge vekt på hvordan et sirkulærøkonomisk system kan implementeres og erstatte dagens lineære modeller.

Det finnes en rekke sirkulærøkonomiske modeller. I en rapport fra McKinsey i 2016 ble det gjennomført en studie hvor de intervjuet over 150 forskere innen forskjellige fagfelt. Studiet tok utgangspunkt i å lage en sirkulærøkonomisk modell, og se hvordan overgangen til sirkulærøkonomi påvirker arbeidsgivere. Det estimeres at den lineærøkonomiske modellen koster Europa 7,2 billioner EUR årlig. Herunder deles kostnadene inn i ressurskostnader på 1,8 billioner EUR, husholdningsutgifter og statlige utgifter på omkring 3,4 billioner EUR, og eksterne kostnader som CO<sub>2</sub>-utslipp, trafikkopphopning og forurensning på 2 billioner EUR. Det vil dermed være gunstig å iverksette sirkulærøkonomiske modeller både for å spare kostnader og miljøet.

I rapporten legger de frem forslag til en sirkulærøkonomisk modell de kaller «Growth Within». Beskrivelsen av modellen tilsier at ved å adaptere sirkulærøkonomiske prinsipper, samt integrere nye teknologier og forretningsmodeller, vil de Europeiske landene kunne oppnå



«Growth Within». Prinsippet legger vekt på å skape merverdi av den eksisterende beholdningen av produkter og materialer, samtidig som kundens ressurskonsumering brytes fra verdikjeden (Bouton, et al., 2016). I korte trekk betyr dette at de vil effektivisere verdikjeden som allerede eksisterer. Måten dette tiltenkes å gjøres er ved å preservere og forbedre naturkapital, optimalisere ressurser som allerede er tatt i bruk, og gjøre systemet mer effektivt ved å fjerne negative eksternaliteter (Bouton, et al., 2016). I praktisk sammenheng vil dette si at prinsippet vil legge til rette for konkrete metoder for å ta ressurser i bruk etter endt livsløp, og effektivisere verdikjeden til materiell.

Rapporten skal fungere som et hjelpemiddel for alle næringer og nasjoner. Herunder skal det foreligge konkrete, samt konkluderende løsninger knyttet til problemer, og tiltak som kan gjennomføres for å oppnå sirkulærøkonomi i alle ledd. Det eksisterer dermed forslag til både bransjespesifikke, og generelle sirkulærøkonomiske modeller som kan tas i bruk.

## 2.2 Ombruk i praksis

### 2.2.1 Mellomlagring

Mellomlagring av materialer som er tenkt ombrukt er et viktig fokusområde for gjennomføring av ombruk i praksis. Det vil være sjeldent at rivning av et bygg og påbegynnelsen av et nybygg vil foregå simultant. De fleste tomtene hvor det foregår rivningsarbeid vil ikke ha kapasitet til å lagre de tiltenkte ombruksmaterialene på tomten sin over en lengere periode. Dermed er det behov for å utarbeide muligheter for mellomlagring av tiltenkt ombruksmateriell. På en leverandørkonferanse for ombruk av byggematerialer, holdt av Innovative Anskaffelser 10. november 2020, forteller Rune Pedersen fra Insenti at det første som må legges til rette for å gjøre ombruk enklere, er å skaffe en felles arena for oppbevaring av brukte byggevarer (Innovative anskaffelser, 2020).

Det mest gunstige for miljøet vil være om prosjekteringen er tilstrekkelig utført, slikt at en kan forutse direkte transport fra demontering til ny byggeplass, uten avbrytelser i form av mellomlagring. Dette vil derimot være utfordrende å få til i praksis per i dag, da flere aktører setter i gang med demontering så raskt dette lar seg gjøre. Dagens ombruksmarked er knyttet til større aktører, med få fordeler, slik at brukte materialer ikke vil kunne omsettes forløpende.

I 2021 publiserte Statsbygg en artikkel om et påbegynt samarbeid mellom Statsbygg, Resirqel, Oslo kommune og Pådriv for oppstart av «*Sirkulær Ressurssentral*». Samarbeidsprosjektet blir det første storskala lagrings- og handleplassen for ombruksmaterialer i en storby. Det er tiltenkt

å bruke teltet som vist i figur 3. Teltet var tidligere oppført i regjeringskvartalet av praktiske og sikkerhetsmessige årsaker, og rommer 4500 kvadratmeter.



*Figur 3 - Telt over regjeringskvartalet. Bilde hentet fra (Statsbygg 2021)*

Det er enda ikke fastsatt hvor og når teltet skal oppføres i Oslo. Teltet vil fungere som både lagringsareal, kjøp- og salgsarena, og som en plattform for testing og bearbeiding. Dersom planen blir gjennomført vil teltet bidra til enklere oppbevaring av potensielle ombruksmaterialer (Statsbygg, 2021).

### 2.2.2 Ombruk av bærende komponenter

BAMB er et prosjekt utviklet av EU for å implementere sirkulærøkonomiske prinsipper i byggebransjen prosjektet blir nærmere undersøkt i 2.4.1. I sammenheng med prosjektet ble det i 2019 utviklet en rapport på ombruk av bærende komponenter. Her påpekes det at nylige utarbeidede standarder som BREEAM og passivhus hovedsakelig retter fokuset mot energibesparelse, gjennom bedre isolering og mer effektive tekniske installasjoner. Det er gitt lite oppmerksomhet til konstruksjonstekniske tiltak, selv om dette bidrar signifikant til de totale utslippene (Brütting, 2019).

Videre foreslås følgende alternativer for ombruk av bærende komponenter (Brütting, 2019, s.2):

- 1) In situ adaptiv ombruk og renovering av byggkonstruksjoner
- 2) Systembruk på nytt sted for samme formål
- 3) Systembruk på nytt sted for forskjellige formål
- 4) Ombruk av komponenter på nytt sted for samme formål
- 5) Ombruk av komponenter på nytt sted for forskjellige formål

Alternativ 1) bygger på å redusere inngrep på bæresystemer til et minimum og forhindre rivning av elementene. Bygningene som står i Norge i dag er vanligvis ikke designet til å enkelt kunne imøtekomme nye bruksområder for bærende systemer, som fører til at kun enkelte av materialene fra bæresystemet gjenvinnes. Unntaket fra dette er midlertidige bygninger som kan monteres og demonteres på ulike steder til identiske eller helt nye formål. Her kommer alternativ 2) og 3) inn, med modulsystemer (eksempelvis modulbygg). Designet til slike systemer er forhåndsbestemt av de enkelte modulene, og utformingen må ofte rekonstrueres tilbake til original ved ombruk. Alternativ 4) og 5) baserer seg på ombruk av gjenvunnet strukturelle komponenter og dets omstillingsmulighet i nye systemer. Metodene unngår innkjøp av nye råvarer, komponentene som demonteres krever ofte lite eller ingen behandling og øker levetiden til systemet. Disse alternativene gir en god mulighet til å redusere miljøfotavtrykket betydelig i byggebransjen. Foreløpig er tømmer- og stålelementer enklere å bruke fordi de ofte er satt sammen med reversible sammenføyinger. De vil enkelt kunne kuttet og demonteres uten å svekke materialets egenskaper, i motsetning til betongelementer som ofte er sammenføydd med påstøp. Dette ses nærmere på i kapittel 2.4.3 reversibelt design.

## **Betong**

I rapporten «*Ombruk og materialgjenvinning av betong*» utarbeidet av Multiconsult i 2016 på oppdrag av Miljøhandlingsplanen for betong, drøftes barrierer og drivere for økt ombruk av betong. Hovedsakelig har ombruk av betong blitt begrenset på grunn av økonomiske og tekniske årsaker, men det kommer også frem andre utfordringer, som tilpasning av design, vanskeligstilt demontering, transport, lagring og kvalitet. Dette har ført til at det stort sett kun er direkte ombruk av bæresystemer uten demontering som gjøres (Petersen og Holthe, 2016).

Hittil har det for det meste vært fokus på ombruk av prefabrikkerte betongelementer, da disse er lettest å demontere skånsomt og er ofte lite forurenset. Ombrukspotensialet til betong er definitivt til stede, da det er et robust material med lang levetid. Det er til tross for dette som regel kun direkte ombruk av bæresystemer in situ som gjøres i praksis i dag, grunnet økonomiske og tekniske utfordringer.

## **Stål**

I 2019 utarbeidet Resirqel rapporten «*Forsvarlig ombruk av byggevarer*» i samarbeid med DiBK hvor ombrukspotensialet til stålkomponenter i norske byggverk ble undersøkt. Innledningsvis hevdes det at: «*Ombruk av stål er beskrevet som en lavhengende frukt, som kan gi relativt store utslippskutt ...*» (Kilvær L. et al., 2019). Med dette menes det at stål har gode forutsetninger for å ombrukes, da materialet har en god bestandighet og det ikke nødvendigvis mister egenskaper ved demontering. Rapporten viser dessuten til en reduksjon av miljøbelastningen knyttet til stål på opptil 96 prosent ved fokus på ombruk av stål, sett i sammenligning med 50 prosent for materialgjenvinning.

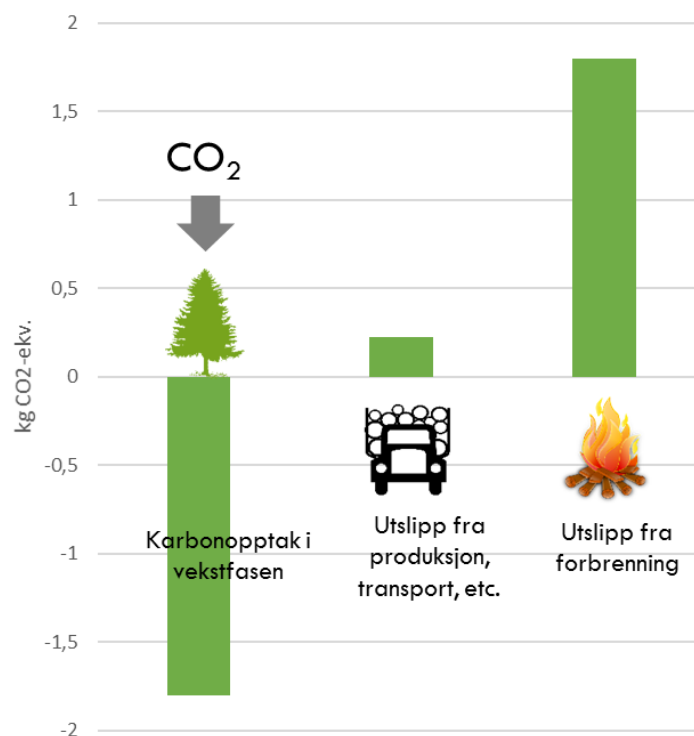
Ved å produsere nytt stål fra malm produseres det ca. 2,8 kg CO<sub>2</sub> per kg stål laget. Ved å smelte ned gjenvunnet stål synker dette tallet ned til ca. 1,35 kg CO<sub>2</sub> per kg stål. Dette tallet er inkludert produksjon, fabrikasjon, montering, rivning og transport. Bare her kan man kutte mer enn halvparten av klimagassutslippet. Videre i rapporten til Resirqel står det at ved å benytte stålelementer som ombruksmateriell, vil utslippene bli så små som 0,24 kg CO<sub>2</sub> per kg stål, noe som gir en reduksjon på hele 91 prosent sammenlignet med nytt stål fra malm. Det angis at i dagens situasjon er det store hindre knyttet til regelverket for ombruk av bærende stålkonstruksjoner (Widenoja, et al., 2018). Dette ses nærmere på i 2.3.1 hvor vi tar for oss spesifikasjoner i TEK17 og DOK.

## Trevirke

Rapporten «*Studie potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer*» utarbeidet av Asplan Viak i 2020, tar for seg fordeler og ulemper ved ombruk av trevirke. Trevirke som materiale regnes som klimanøytralt i det store bildet.

Basert på den konvensjonelle CO<sub>2</sub> syklusen til treverk, vil CO<sub>2</sub> tas opp gjennom fotosyntese og bli bundet til trevirke. Dette betegnes som biogent karbon (Fuglseth, et al., 2020). Utslippet vil oppstå under tilvirkning og bruk av treverk som biobrensel. Som illustrert på figur 4 vil dermed tilvirkningsprosessen utgjøre restfaktoren for utslipp. Biogent karbon vil i utslippsregnskapet utgjøre en like stor andel som utslipp knyttet til forbrenningen. Derfor anses trevirke i dag som et klimanøytralt produkt.

Bærekraftig skogbruk vil være et underliggende premiss for å anvende mer trevirke som materiale i fremtidige konstruksjoner (Fuglseth, et al., 2020). Det vil si at utvinning av trevirke ikke skal overgå fremkomsten av nytt tre. Allokering av ressursene som allerede er utvunnet vil dermed i større grad måtte legges til rette for. Hvor ressursene havner, samt hvor effektivt de benyttes, vil være basisen for fremkomst av trevirke som ombruksmaterieell.



Figur 4 – Fangst og utslipp av CO<sub>2</sub> for trevirke. Bilde hentet fra (Fuglseth, et al., 2020)

I og med at karbonet fanges opp i trevirke vil ombruk være svært lønnsomt i form av CO<sub>2</sub> besparelser for klimaet. Figur 4 illustrerer omtrentlig opptak og utslipp knyttet til trevirke i form av kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Når det kommer til bærende komponenter som limtre og massivtre, vil det derimot forekomme et høyere klimaavtrykk grunnet energimengden som går med i sammenføyningsprosessen og limets innhold (Fuglseth, et al., 2020).

Et praktisk eksempel knyttet til bruk av treverk som en sirkulær ressurs, er BRIC-prosjektet i BAMB. Prosjektet la til rette for bruk av biobasert materiale med fokus på trevirke (Capelle, et al., 2019). Materialet krever lite energi i produksjonsfase til sammenligning med petrokjemiske- og mineralbaserte produkter. Prosjektet tok utgangspunkt i å benytte tre ulike prototypebygg med samme tretrinns livssyklus design. Designet går over et tidsspenn på 60 år med sammensetning og demontering hvert tjuende år. Konseptet skulle finne konkrete løsninger knyttet til ombruk av bærende elementer, og konkluderte med at bruk av trevirke som ombruksmaterieell er besparende for miljø, og enkelt å prosessere.

I delkapittelet 2.2.2 er det verdt å merke seg at potensialet til ombruk, og effekten ved bruk av de forskjellige materialene betong, stål og tre, alle har fordeler og ulemper. I og med at det er lagt vekt på CO<sub>2</sub> besparelser, er trevirke det materialet som skiller seg mest ut. Trevirke er i utgangspunktet et bærekraftig materiale som gjennom livsløpet enklest kan benyttes til ombruk. Til større konstruksjoner vil betong og stål måtte benyttes uavhengig av betydelig større CO<sub>2</sub> utslipp. Det vil dermed i 2.4.5 foreligge konkrete forslag til reduksjon av utslipp knyttet til produksjon av betong.

### 2.2.3 Eksempler på ombruk i praksis

#### **Kristian Augusts gate 13**

Utviklingsprosjektet i Kristian Augusts gate 13 av Entra Eiendom er Oslos første fullskala ombruksbygg (Asplan Viak, u.å.). Bygget er et pilotprosjekt med fokus på innovative sirkulære løsninger for ombruk av elementer og komponenter. Bygningen ble oppført på slutten av 50-tallet, og er rehabilitert med et tilbygg på 8 etasjer (Insenti, 2021).

Under oppføringen av tilbygget, samt rehabilitering av det eksisterende bygget, ble det eksempelvis ombrukt bærende elementer som hulldekker fra regjeringskvartalet og stålbjelker fra Øst-Riv (Insenti, 2021). I erfaringsrapporten har aktørene som bidro i prosjektet kommet med sine erfaringer innenfor deres respektive fagområder. Rent kostnadmessig var det store ulikheter på lønnsomhet til ombruk av de ulike materialer, hvor vinduer og kjølebafler ga opptil

66 prosent prisbesparelse, mens stålkonstruksjoner og himlingsplater ga en fordyrende effekt på opptil 63 prosent sammenlignet med å kjøpe nytt, som vist i tabell 1.

	Mengde	Enhetspris, ombrukt element	Enhetspris, nytt element	Prisforskjell
Vinduer <sup>1</sup>	1588x1488 mm - 16stk	Ca. 6 017 kr/stk	Ca. 14 414 kr/stk	Ca. 59 % besparelse
	1588x2188 mm - 12stk	Ca. 8 336 kr/stk	Ca. 21 195 kr/stk	Ca. 61 % besparelse
Himlingsplater <sup>1</sup>	Ca. 3 321 m <sup>2</sup>	Ca. 228 kr/ m <sup>2</sup>	Ca. 140 kr/ m <sup>2</sup>	Ca. 63 % fordyrende
Stålkonstruksjoner <sup>2</sup>	Ca. 45 000 kg	Ca. 100 kr/kg	Ca. 67 kr/kg	Ca. 49 % fordyrende
Kjølebafler <sup>1</sup>	138 stk	Ca. 1 840 kr/stk	Ca. 5 405 kr/stk	Ca. 66 % besparelse

Resultater fra kostnadsberegninger for vinduer, himlingsplater, stålkonstruksjoner og kjølebafler.

<sup>1</sup> Utført av studentene ved OsloMet (Jødal, Hansveen og Hall, Oslo Met Bachelor oppgave 2020)

<sup>2</sup> Utført av ombruksteamet, KA13

Tabell 1 - Viser prisforskjell for ulike ombrukte komponenter. Tabell hentet fra (Insenti, 2021)

Til tross for fordyrende effekt hos enkelte materialer, viste de seg å gi en svært positiv miljøeffekt ved ombruk. I tabell 2 visualiseres klimagassbesparelse for de ulike materialkategoriene, og en ser at prosjektet oppnådde markante totale utslippskutt.

Materialkategori	Utslipp per enhet ombruk [kg CO <sub>2</sub> -ekv/enhet]	Utslipp per enhet nytt [kg CO <sub>2</sub> -ekv/enhet]	Enhet	Besparelse
Stål	0,07	2,5	kg	97%
Hulldekker	13,9	124,9	tonn	89%
Vinduer	13	161,5	stk	92%
Kjølebafler	8,9	173,4	stk	95%
Himlingsplater	0,01	0,65	m <sup>2</sup>	98%
Fasadeplater	1,4	50,7	m <sup>2</sup>	97%

Besparelse i kg CO<sub>2</sub>-ekv/enhet for de analyserte materialkategoriene i fase A1-A4. (Høydahl og Walter 2020)

Tabell 2 - Viser besparelse i kg CO<sub>2</sub>-ekv/enhet for et utvalg komponenter. Tabell hentet fra (Insenti, 2021)

## Grünerløkka studenthus

Allerede i 2001 ble det tatt initiativ til å benytte allerede utnyttede ressurser til ombruk. «Studentsiloen» vant Oslos arkitekturpris i 2002, og står i dag som et av de eneste byggene av sin sort i Norge.



En plasstøpt kornsilo opprinnelig bygget i 1953 ble bygget om fra 16 siloer til en studentblokk, med plass til hele 226 prosjekterte leiligheter. Under miljøkartleggingen ble det dokumentert at betongen ikke hadde blitt direkte eksponert for miljø- eller helseskadelige stoffer, noe som gjorde det mulig å bruke betongelementene om igjen (Arkitektur, u.å.). Siloen viser at ombruk av betong i stor skala aller høyeste grad er mulig.



Figur 5 - Grünerløkka studenterhus. Bilde hentet fra (Persen, 2020)

## MAX-bygget

I 2017 ble det besluttet at det 32 år gamle MAX-bygget på Tempe i Trondheim skulle totalrehabiliteres. Alt av materialer som kunne brukes om igjen ble gjenbrukt, noe som ga fordeler som lavere byggekostnad, utslippskutt og materialbesparelse. Ifølge prosjektleder Line Gjerde Syltern i KLP Eiendom ble CO<sub>2</sub>-utslippene fra bygget kuttet med hele 60 prosent (Grønn Byggallianse, 2019). Det fikk deretter den høyest mulige BREEAM-klassifiseringen, «outstanding», samt at plan 3 – 7 og halvparten av plan 2 i det rehabiliterte bygget også holder passivhus-standard (Gravås A., 2019).



Etter telefonsamtale med Espen Karlsrud ved Norconsult ble det informert om at bygget inneholdt en god del flatdekker med mye nedbøyning, dimensjonert for nyttelaster fra da bygget ble bygd (2 kN/m<sup>2</sup>). Det ble ikke gjort endringer på lastkrav, men heller gjennomført tekniske analyser og behandling av elementene for å påvise at dekkene kunne brukes videre lokalt. På ett av dekkene ble det eksempelvis brukt et lett avrettingsmateriale slik at egenvekten ikke økte for mye, samtidig som nedbøyningen ble behandlet. Et annet moment var spennkabler som var løsnet. Disse ble festet på nytt så langt det lot seg gjøre, uten å skade betongen. På enkelte elementer lot ikke alle kabler seg festes, og det ble her gjort beregninger på om dekkene fortsatt holdt dagens krav.

#### 2.2.4 Insentiver og initiativer i dagens bransje

De siste årene har det kommet et økende antall store aktører på banen, deriblant Statsbygg, Multiconsult, Skanska og Norconsult. Dette fører til at det oppstår et press på å forenkle ombruksprosessen, som frem til nå har vært tilbakeholdt av et strengt og utdatert lovverk. Direktoratet for byggekvalitet (DiBK) jobber tett opp mot regjeringen for å bedre tilrettelegge for økt ombruk. Senest i januar i år kom det en pressemelding fra regjeringen om nedskalering av krav til ombruksmaterialer. Den viktigste endringen her var at byggematerialer fra før 2013 ikke har krav til CE-merking for å kunne brukes om igjen (Regjeringen, 2021).

Multiconsult i samarbeid med Loopfront og støtte fra Enova, har i skrivende stund satt i gang prosjektet «Regionale ombruksnettverk for byggematerialer», hvor det i løpet av våren 2021 skal kartlegges et tyvetalls bygninger i Trondheim og Oslo. Målet med prosjektet er å kartlegge alt av byggematerialer, møbler og innredning slik at kan tas en vurdering for om det kan brukes videre på nytt i andre bygninger eller andre sammenhenger (Mørk, 2020). «Gevinstene vi håper på i første omgang er å få til mer effektive prosesser, slik at tidsforbruk og kostnadene med kartlegging, lagring og montering kan reduseres.» uttaler Michael Curtis, CEO i Loopfront, og spår videre: «Da kommer vi til å oppnå større økonomiske og miljøbesparelser raskere i fremtiden.» (Mørk, 2020). Materialer og informasjonen fra kartleggingen blir lagt inn i portalen til Loopfront, slik at de i fremtiden enkelt kan omsettes til videre bruk. Videre skal Multiconsult ta seg av rådgivning til hvor materialene kan brukes på nytt (Mørk, 2021).

Et annet eksempel er Oslo kommunes «minigjenbruksstasjoner», som har gjort det mulig for både bedrifter, organisasjoner og privatpersoner å hente ut materialer og gjenstander til ombruk (Oslo Kommune, u.å). Her kan kunder hente ut alt fra trevirke, fliser, parkett og treplater til armatur, taklamper og porselensservanter.

## 2.3 Dokumentasjon

### 2.3.1 TEK17 og DOK

Denne delen av oppgaven tar for seg krav i TEK17 (byggteknisk forskrift) og DOK (forskriften om dokumentasjon av byggevarer) knyttet til ombruk i byggenæringen.

TEK17 forteller om det minimum tekniske kravet for at et byggverk skal kunne oppføres lovlig i Norge. I byggteknisk forskrift (TEK17), kapittel om ytre miljø, §9-6 første ledd heter det: «For følgende tiltak skal det utarbeides en avfallsplan som gjør rede for planlagt håndtering av byggavfallet fordelt på ulike avfallstyper og -mengder.» Deretter følger spesifikasjoner i punkt a) til d) på hvilke tiltak som krever en avfallsplan. Det kommer videre frem i veiledningen til første ledd at: «Reglene skal bidra til å øke graden av ombruk og materialgjenvinning.»

I kapittel 2, dokumentasjon for oppfyllelse av krav, står det i §2-1 første ledd: «Det skal dokumenteres at kravene i forskriften er oppfylt i det ferdige byggverket». Det står beskrevet nærmere i veiledningen til første ledd at:

*Ansvarlig prosjekterende og utførende foretak må innenfor sine ansvarsområder utarbeide nødvendig dokumentasjon i tiltaket for å vise at kravene som er gitt i byggeteknisk forskrift er ivaretatt i det ferdige byggverket, jf. plan- og bygningsloven kapittel 23 og byggesaksforskriften kapittel 12.*

Videre i §2-3, dokumentasjon for oppfyllelse av ytelser, første ledd står det: «Det skal dokumenteres at de prosjekterte løsningene og produktspesifikasjonene oppfyller de fastsatte ytelsene.». Under veiledning til første ledd står det spesifisert: «Det er enklest å dokumentere at ytelsene er oppfylt ved å velge forhåndsdokumenterte løsninger eller å prosjektere i samsvar med standarder.» Med forhåndsdokumenterte løsninger siktes det mot løsninger som allerede er godkjent og angitt i TEK17. Det stilles dermed samme dokumentasjonskrav og tekniske krav for nye produkter som for ombruksmateriale, noe som kan være vanskelig å få godkjent om det skulle være mangler på eksisterende dokumentasjon av en byggevare.

DOK er et regelverk som bestemmer hva av dokumentasjon som kreves for forskjellige type byggevarer. I dag kreves det flere forskjellige typer dokumentasjon for ulike byggevarer. For eksempelvis hulldekkelementer, prefabrikkerte stålkonstruksjoner og veggelementer i betong kreves det ytelseserklæring, CE-merking og bruksanvisning/montasjeveiledning. På DiBK sin nettside, finner man krav til dokumentasjonen knyttet til spesifikke byggevarer (DiBK, u.å.a).

### 2.3.2 CE-merking

CE-merking er en metode hvor produsenten kan garantere at de grunnleggende sikkerhetskravene for et produkt er fremstilt, kontrollert og dokumentert i samsvar med en harmonisert produktstandard eller et europeisk bedømmelsesdokument (DSB, u.å.). Et CE-merket produkt vil også være lovlig å markedsføre og omsette på tvers av landegrenser innad i Europa.

For at en CE-merking skal bli godkjent må den inneholde følgende: (DiBK, u.å.b)

- CE-merket
- Identifikasjon til det tekniske kontrollorganet
- Produsentens navn og adresse
- De to siste sifrene i årstallet CE-merkingen først ble gjort
- Ytelseserklæringens referanser
- Henvisning til den harmoniserte tekniske spesifikasjonen
- Produktnavnet
- Tilsiktet bruk som fastsatt i den harmoniserte tekniske spesifikasjonen

### 2.3.3 Ytelseserklæring

Ytelseserklæring er et dokument som skal inneholde omfattende informasjon om en byggevare (DiBK u.å.c). Ytelseserklæringen må sammen med CE-merket være på plass før varen kan markedsføres og omsettes (Sintef Certification, u.å.).

For at en ytelseserklæring skal bli godkjent må den inneholde følgende: (DiBK, u.å.c)

- Produkttype
- Vareidentifikasjon (type-, parti-, eller serienummer)
- Tiltent bruk av varen, navn og adresse til produsent
- Hvilket system for vurdering og verifikasjon av byggevarens ytelser som er valgt
- Nummer til det tekniske kontrollorganet
- Henvisning til den relevante harmoniserte produktstandard (europeisk bedømmelsesdokument)
- Byggevarens viktigste egenskaper og ytelser. Hvis det ikke deklarerer noen ytelser, skal det stå NPD («No Performance Determined»)
- Underskrift av produsenten eller en representant.

Det finnes i dag tre muligheter for å få unntak for CE-merking og ytelseserklæringen. Om byggevaren er antikvarisk, spesialprodusert eller produsert på byggeplass vil man kunne overse CE-merking og ytelseserklæring (Kilvær, 2019).

#### 2.3.4 FDV-dokumentasjon

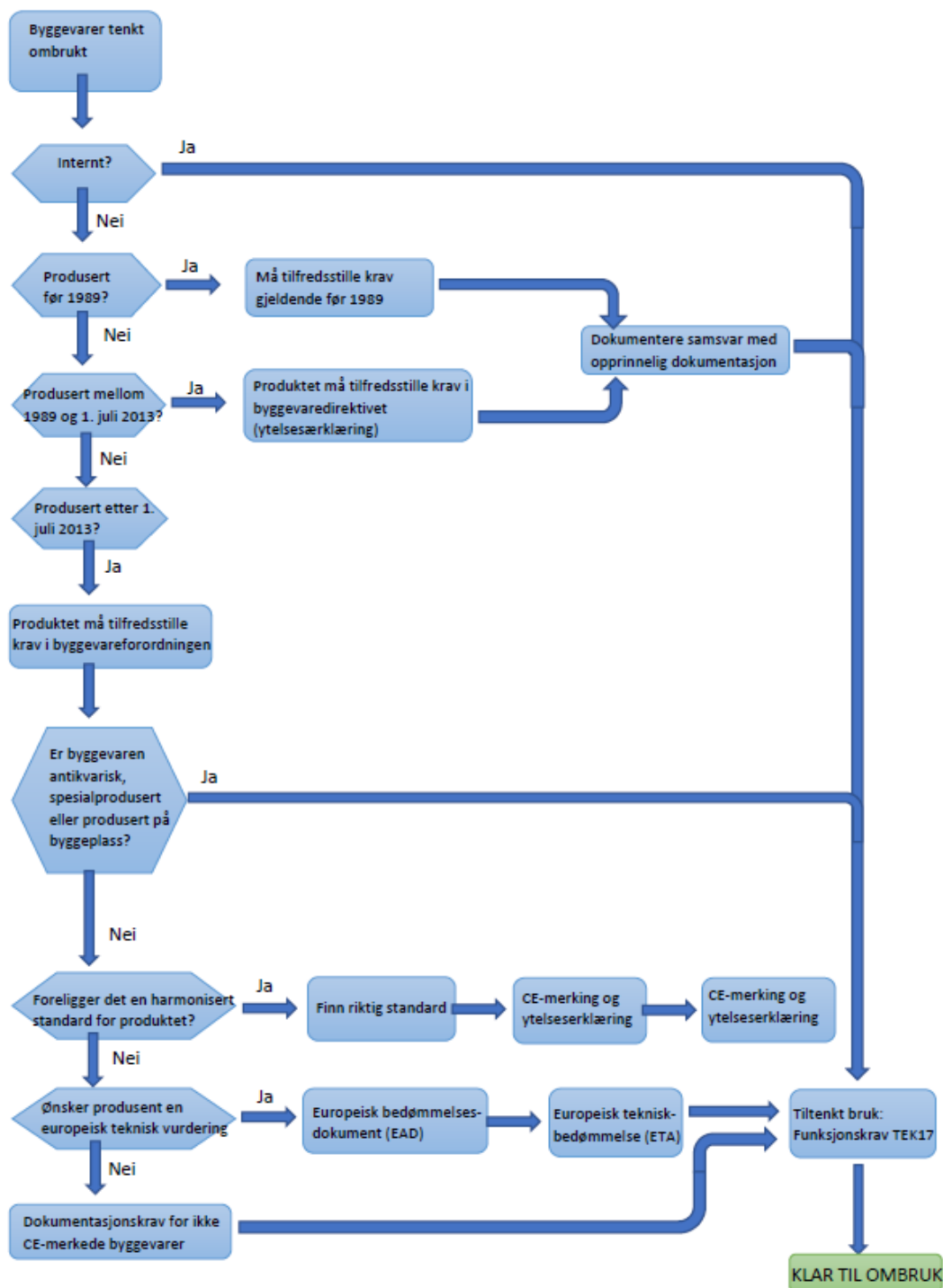
Forvaltning, drift og vedlikehold, eller FDV-dokumentasjon, er et lovpålagt dokument som skal følge med ved overtakelse av nybygg. Den skal gi tilstrekkelig informasjon om bygningen som er viktig og nyttig for å kunne vedlikeholde byggverket optimalt. FDV-dokumentasjon må tilpasses hver enkelt bygning, da bygninger ikke er helt like.

I følge DiBK bør det foreligge informasjon om de undernevnte punktene for å tilfredsstille krav til et FDV-dokument:

1. Miljødokumentasjon som miljøoppfølgingsplaner (forprosjekt)
2. Brannkonsept
3. Fasadetegninger
4. Plantegninger
5. Representative snitt
6. Bebyggelsesplan med veier, parkering, beplantning, utendørs VVS-ledninger og el-ledningsplan
7. Statistiske beregninger og tegninger av bærende bygningsdeler
8. Energiberegninger
9. Branntekniske tegninger/planer
10. Arbeidstegninger
11. Produktblader
12. Serviceavtaler
13. Grunndata
14. Offentlige dokumenter, brukstillatelser, målebrev, tillatelser, ferdigattest og slutført gjennomføringsplan
15. Plan med planbestemmelser

Det er ikke lovfestet nøyaktig hva som må være med i et FDV-dokument, kun anbefalinger. Det er derimot kommet et ønske om å sette strengere krav til innhold og utarbeidelse av FDV-dokumentasjon (Sørnes, et al, 2014). Gjennom strengere krav, vil mer informasjon om bygninger bli tilgjengelig, og man vil dermed få et bedre grunnlag for demontering og ombruk.

Det er i sammenheng med oppgaven utarbeidet et forslag til en trinnvis fremgangsmetode i form av flytskjema, knyttet til ombruk av materialer og komponenter i bygg. I dag må alle ombruksvarer tilfredsstille krav i TEK 17 som siste punkt i figur 6 illustrerer. Flytskjemaet er tiltenkt å presentere en forenklet sjekkliste ved kontroll av dokumentasjon for materialer som skal brukes om igjen.



Figur 6 - Fremgangsmetode for klargjøring av ombruksmateriell

## 2.4 Fremtidens løsninger

### 2.4.1 Prosjektet BAMB og bygninger som en service

BAMB er hovedprosjektet under EUs Horizon2020 prosjekt, som er EUs største forsknings- og innovasjonsprogram. Formålet med programmet er å drive utviklingen i Europa mot bærekraftig økonomi og vekst (BAMB, u.å.a). I dag ender byggematerialer som ikke lenger brukes som avfall. Konsekvensene er ødeleggelse av økosystemer, økende miljøkostnader, og risiko knyttet til ressursmangel (BAMB, u.å.a). Prosjektet la til rette for at aktører skulle kunne forske på metoder for ombruk av bygningselementer, og gjennom forskningen finne løsninger for å oppnå både sirkulært design og verdikjede. I dagens bransje er det lagt lite vekt på resirkulering på et høyere nivå. Det krever dermed et skifte fra downcycling til upcycling av materialer for å oppnå dette (Capelle, et al., 2019).

Bygninger er designet for å tilfredsstille menneskelig behov, og behovene våre utvikler seg raskere enn noen gang. Urbaniseringen medfører store sosiale forandringer i storbyer, og ettersom bygninger er statiske konstruksjoner, settes visse grenser for hvor effektivt byggene klarer å etterfølge disse akselererende sosiale endringene (Capelle, et al., 2019). I og med at materialene i konstruksjoner mister verdi idet de blir en del av en konstruksjon, vil det være svært gunstig å finne løsninger for å opprettholde verdien utover materialenes levetid.

BAMB siktet mot å ta for seg to overordnede problemer som kan karakteriseres i nåtidens byggebransje; redusere økonomiske og miljømessige kostnader knyttet til dårlig bygningsdesign. Prosjektet benyttet hovedsakelig to ulike metoder for å løse disse problemene. Det ene er «Material Passports» (materialpass), hvor konseptet baseres på innsamling av materialdata. Det andre konseptet er «Reversible Design» (reversibelt design), hvor materialer og komponenter i bygg enkelt kan erstattes, fikses og brukes på nytt.

Det ble opprettet seks pilotprosjekter, hvert av prosjektene innebar integrering av materialpass i samsvar med reversibelt bygningsdesign, for å optimalisere sirkulærindustriens verdikjede (Capelle, et al., 2019). I praksis vil dette si at hvert av prosjektene skulle skape en prototype av et bygg, med hensikt å finne praktiske løsninger knyttet til ombruk. Løsningene baseres på å enkelt kartlegge bygg elektronisk for å kunne reparere, gjenbruke og gjenopprette materialer og komponenter, uten å ødelegge andre deler av bygningen. Pilotprosjektene i korte trekk dannet et grunnlag for å finne løsninger knyttet til byggebransjens mangelfulle satsning på sirkulære løsninger og ressursutnyttelse. Læringsutbytte fra prosjektet legger grunnlaget for videre satsning på grønne løsninger.

#### 2.4.2 Materials Passports

En av utfordringene bransjen står ovenfor er at det foreløpig ikke finnes noen pålitelige data på materialers tilstand etter distribusjon. Både produsenter og kunder er avhengig av å stadfeste et felles system for å samle pålitelig og anvendelig data på hvordan produkter er designet, materialenes komposisjon og forventet levetid (Heinrich og Lang, 2019). Det er mangel på en merkingsmetode som tar for seg løpet til materialer utover produksjonsstandarden. Dette var ett av hovedelementene i prosjektet BAMB. Prinsippet «Materials Passports» er en løsning som legger vekt på å øke materialenes levetid, og om mulig verdi. Materialer er verdifulle hvis de er tilgjengelige, funksjonelle og attraktive for markedet. For å optimalisere verdikjeden til materialer og bygningselementer, er det viktig at de lett kan demonteres etter endt livssyklus (Heinrich og Lang, 2019). For å opprettholde verdien til materialer må det i tillegg legges til rette for at materialene skal være minst mulig forurensede, og at kvaliteten reduseres minimalt utover livsløpet.

I praksis vil materialpass være datasett som beskriver karakteristikken til definerte materialer i en database, hvor man enkelt skal kunne trekke ut spesifikk informasjon om spesifikke elementer og komponenter. Her samlet aktørene informasjon om komposisjonen til materialer og produkter elektronisk i en database. Databasen bidro til å enklere kartlegge uttak av skadde elementer, for å videre restaurere og benytte disse til andre formål i bygget (Heinrich og Lang, 2019). Dette er da et funksjonelt verktøy som kan anvendes for å kartlegge, kontrollere og restaurere bygg enklere og mer effektivt enn tidligere.

Avslutningsvis drøftes mulighetene for å i fremtiden ta i bruk AI (kunstig intelligens) for å enkelt kunne identifisere materialkomposisjon på et automatisert vis. Det nevnes også at Blockchain-teknologi i større grad vil benyttes (Heinrich og Lang, 2019). Fordelene ved dette er at aktører enklere får kartlagt endringer på egenskapene til materialer, samt eierskap. Slik som i dag vil også informasjonsteknologi tas i bruk i større grad for å fange, lagre og analysere materialenes dynamiske informasjon over en lengre periode (Heinrich og Lang, 2019). Fremtidsprospektet til Materials Passports vil dermed basere seg på å forenkle ombruksprosessen og tilrettelegge for enklere kartlegging, samt bidra til høyere grad av materialutnyttelse.

Som nevnt innledningsvis i kapittelet letes det etter en standardisert løsning som kan benyttes som en felles plattform for aktørene. Ved å ta utgangspunkt i prinsippet «Materials Passports», har bransjen et konkret grunnlag å bygge videre på.

### 2.4.3 Reversible Design

«Reversible Design» er en arkitektonisk metode for å utforme bygg. Hensikten er å effektivt og enkelt kunne reparere, gjenbruke og gjenvinne produkter, materialer og komponenter i bygg, uten å skade andre deler av bygget (BAMB, u.å.b). Reversible bygninger gjør det mulig å oppnå et sirkulært kretsløp av bygninger, ved at materialer demonteres og skiftes ut ved behov.

Det har i løpet av de siste årene blitt gjennomført flere pilotprosjekter og testing av metoden gjennom BAMB-prosjektet. Resultatene viste et stort klimabesparende potensial ved å innføre prinsippet om reversible bygninger. Videre i sluttrapporten til prosjektet hevdes det at sirkulærøkonomien er et nytt globalt initiativ, og at pilotprosjektene som ble utviklet er fullt mulig å implementere i dagens bransje (BAMB, u.å.b).

Et godt eksempel som spiller på denne metodikken, vil være å unngå irreversible sammenføringer av bygningsdeler. Dette gjelder spesielt betong, da betongelementer som nevnt tidligere er mer utfordrende knyttet til å skånsom demontering enn stål- og treelementer.

### 2.4.4 Industriell symbiose

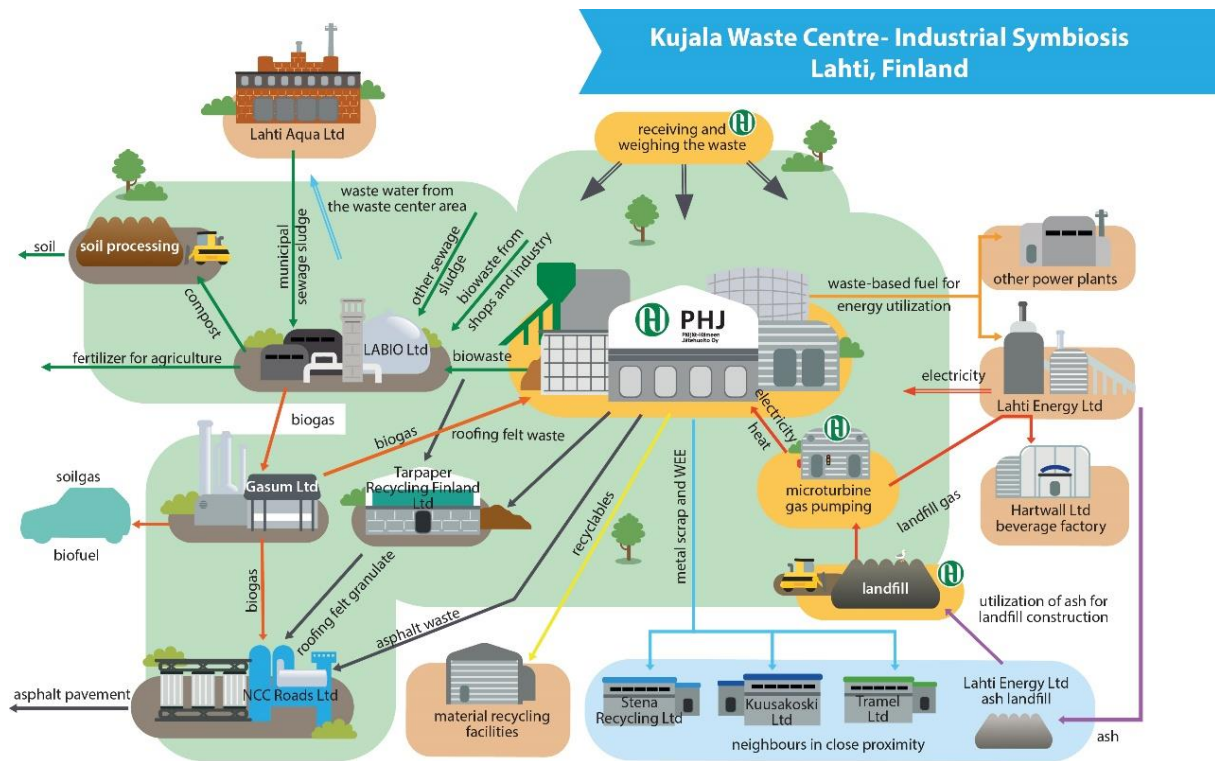
Industriell symbiose er en prosess der avfall eller biprodukter fra en industri eller industriell prosess, blir anvendt som råmateriale for en annen (European Commission, u.å.c). Overgangen til en slik økonomisk modell er en del av målet til den Europeiske kommisjonens tiltaksplan om sirkulærøkonomi. En slik overgang vil resultere i å øke Europas økonomiske konkurransedyktighet, bidra til et mer bærekraftig samfunn, og effektivisere, samt sikre fremtidig ressursforbruk (European Commission, u.å.c).

Industriell symbiose vil fungere som et økologisk system. Prosessen skaper sammenkoblede nettverk hvor energi og materiell fortsetter i en kontinuerlig syklus, uten noen form for avfallsprodukter. Prosessen vil være anvendelig fra en sektor til en annen, eksempelvis syntetisk fremstilt gummi i bildekk som gjenbrukes til konstruksjonsmateriale (European Commission, u.å.c).

Et praktisk eksempel på hvordan industriell symbiose kan benyttes i samfunnet er avfallssenteret Kujala i Lahti, Finland. Her tas prosessen i bruk gjennom å optimalisere avfallsprosessering, behandling og resirkulering. Gjennom mekanisk sortering blir fibre, plast og metall separert og resirkulert lokalt på området. I tillegg samles bioavfall og prosesseres til biogass, biodrivstoff, kompost og gjødsel. Anlegget prosesserer omtrent 200.000 tonn avfall



hvert år. Av dette blir 90 prosent gjenvunnet, og kun 3 prosent sendt til landfyllinger (European Commission, u.å.c).



**Boosted by LADEC** Designed Anna Polkutie in collaboration with Esa Ekholm and Hanna Bergman

Figur 7 - Illustrasjon av prosesseringsløpet til avfallssenteret Kujala Waste Centre i Finland. Hentet fra (Smart Lahti, u.å.)

I figur 7 illustreres prosesseringsløpet til avfallssenteret. Kujala Waste Center er et av de første store satsingsprosjektene som sikter seg inn mot en grønnere fremtid, gjennom avfallsreduksjon og høyere materialutnyttelse. I prosjektet benyttes en rekke metoder for å unngå avfallsproduksjon av materiell etter endt levetid. Det gjelder da for land som Norge å finne tilsvarende innovative og fleksible løsninger som vi ser er tatt i bruk gjennom avfallssorteringen på senteret i Finland.

#### 2.4.5 Bygge for fremtiden

Betong er en av bransjens verstinger når det kommer til utslipp, og er også et av de mest anvendte materialene. Det er derfor valgt å se nærmere på tiltak for å redusere utslipp rundt betongproduksjon. Kronikken skrevet av forskningsleder Ann Kristin Kvellheim fra SINTEF «Betong er en del av klimaløsningen», tar for seg problematikken rundt utslipp knyttet til betongproduksjon. Her nevnes viktigheten av å stille strengere klimakrav til leverandører av materialer, for å fremstille produkter av høyere kvalitet, med lavere utslipp.

Sementen i betong antas å globalt stå for mellom 5 og 8 prosent av klimagassutslipp (Norsk betongforening, 2017). Videre står bindemiddelet for 90 prosent av utslippene i betongen. Markedet i dag stiller med flere mulige løsninger for å gjøre produksjon av betong mer miljøvennlig. SINTEF, NTNU, Hydro, Norcem og Veidekke gikk sammen om prosjektet DARE2C, som innebar å anvende aluminium som armering i betong. Aluminium har en rekke fordeler, blant annet at det ikke er utsatt for karbonatisering og korrodering, i motsetning til stålbasert armeringsjern. Bygging med aluminiums-basert armering vil dermed åpne opp for å bygge slankere konstruksjoner, som bidrar til utslippskutt i form av mindre krav til betong i konstruksjoner (Norsk betongforening, 2017).

Kalsinering er en prosess som oppstår når kalkstein varmes opp til 1450 grader Celsius, også kjent som konvensjonell sementproduksjon (Egge, 2021). Kalsineringsprosessen står for den største andelen av utslipp under sementproduksjon. Den kjemiske prosessen som oppstår under oppvarming, fører til at CO<sub>2</sub> blir utskilt fra kalkstein og danner kalsinert kalkstein, også kjent som klinker (Kulmo, 2019). Det er forsket på en rekke metoder for å redusere utslippene knyttet til prosessen. Ved å ta i bruk aluminiums-armering, vil man kunne erstatte 55 prosent av den kalsinerte kalksteinen med kalsinert leire (Kulmo, 2019). Forskjellen er at leiren ikke trenger å varmes til høyere enn 800 grader, og under varmebehandlingsprosessen vil det ikke slippes ut noe CO<sub>2</sub>. Eneste utslipp knyttet til bruk av leire oppstår under oppvarming. Et alternativ knyttet til videre reduksjon av utslipp vil da være å benytte seg av biologiske brennstoffer (Kulmo, 2019).

En av ulempene med aluminiums-armert betong er at stoffet har en annen pH-verdi enn vanlig betong, konsekvensene blir forvitring av metallet (Norsk betongforening, 2017). Det finnes derimot betong som er mindre basisk, bruk av denne typen betong resulterer i tilsvarende pH-verdi som aluminiums-armeringen. Aluminium har omtrent en tredjedel av både E-modul og

tetthet i forhold til stål. Strekkfastheten er også betydelig lavere på 110 MPa, sammenlignet med 400 MPa for stål. Forskjellene utgjør at du omtrent vil trenge tre ganger så stort volum av aluminiums forsterket armeringsjern (Norsk betongforening, 2017). Sjefsforsker Harald Justnes uttrykker derimot at en mulig løsning være å designe armeringen annerledes.

I rapporten «NORDIC CONCRETE RESEARCH» blir det konkludert med at bruk av aluminium som armering i lav pH betong, gir konstruksjonsmaterieell med ekstraordinært livsspenn uten behov for vedlikehold, som ikke korroderer. Aluminiumen vil også tillate en høyere porøsitet i betongen, som fører til en raskere karbonatiseringsprosess, som bidrar til videre reduksjon av betongproduksjonens utslipp.

## 3 Metode

I dette kapitlet vil valg av metode for oppgaven presenteres, teknologien bak den elektroniske kartleggingen benyttet i casestudiet, samt forskjellene og likhetene mellom de to registreringsverktøyene som ble benyttet. Vi inngikk et samarbeid med Loopfront, en aktør i bransjen som har utviklet en egen registreringsplattform for ombruksmaterialer. Hensikten bak samarbeidet var å undersøke hvorvidt data fra Conrad Mohrs veg 15 kunne implementeres i deres database.

I forkant av casestudiet ble det gjennomført et litteraturstudium. Dette ble gjort for å danne et sterkt kunnskapsgrunnlag knyttet til problemstillingen, og videre for best drøfting av denne (Grønmo, 2016). I forkant av skanning opplevde vi det som svært verdifullt å opparbeide oss et praktisk kunnskapsgrunnlag tilknyttet registreringsverktøyene, samt kunnskap om de ulike programmene som var kompatible for prosessering og behandling av punktskyer.

I denne oppgaven har vi hovedsakelig benyttet oss av kvalitativ induktiv metode, og formulert følgende problemstilling med ønske om å teoriformulere: hvordan kan det tilrettelegges bedre for økt ombruk, og hvordan kan kartleggingsprosessen av potensielle ombruksmaterialer effektiviseres? Vi har derimot også delvis benyttet kvantitativ metode: teorien knyttet til ombruk av bygningsmaterialer er allerede formulert, og gjennom deduktiv metode vil vi teste denne teorien, samt tilegne den flere faktorer som kan spille inn på forholdet ved hjelp av induktiv metode. Det er gjennomført noe feltarbeid, hovedsakelig knyttet til case-studiet: måling og kartlegging ved hjelp av registreringsverktøyene. Vår kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ metode kan ha ført til høyere grad av generaliseringsevne, reliabilitet og validitet da de to metodene ikke er konkurrerende, men komplimenterende (Grønmo, 2016).

### 3.1 Registreringsverktøy benyttet i case-studiet

#### 3.1.1 LiDAR teknologi

I denne oppgaven er det benyttet kartleggingsverktøy med LiDAR-teknologi. Formålet med dette er å teste om dagens manuelle kartleggingsmetode kan effektiviseres ved hjelp av digitale verktøy. Ved å skanne med enheter som benytter LiDAR vil en ende opp med en punktsky som videre prosesseres til en IFC-fil. IFC-filer er videre kompatible med programmer som støtter BIM. Dette er aktuelt i tråd med dagens digitalisering av byggeplass. Både Leica ScanStation P20 og iPad Pro benytter seg av LiDAR-teknologi, som er de to registreringsverktøyene anvendt i kartleggingsprosessen i case-studiet.

LiDAR er en forkortelse for Light Detection And Ranging og er en fjernmålingsteknikk som baserer seg på tilbakespredning av lys (Holtet, 2018). Systemet fungerer ved at et kamera sender ut pulserende lyssignaler som treffer et punkt på en overflate, som igjen reflekterer lyset tilbake til LiDAR-enheten. Ved hjelp av vinkelberegninger av utsendt lys og måling av hvor lang tid det tar før lyset reflekteres, bestemmes avstanden og posisjonen til punktet hvor lyset ble reflektert (Holtet, 2018). Denne prosessen gjennomføres flere millioner ganger med små forskjeller i vinkelendring på lyset, slik at det til slutt dannes et bilde bestående av mange millioner punkter (Oppikofer, 2015). Dette er utgangspunktet for å lage en punktsky som videre kan prosesseres og behandles i dataprogrammer.

LiDAR har hovedsakelig blitt brukt til å skanne og digitalisere 3D-filer av terreng, bygninger og objekter. Filene kan videre brukes til kartlegging av ombrukspotensial, vedlikeholdsplaner for en bygning, virtuell visning for leietaker eller kjøper, planlegging av vei- og infrastruktur eller innhold til videospill. Teknologien ble utviklet allerede på 60-tallet etter oppfinnelsen av laser (McManamon, 2019).

Hverken Leica ScanStation P20 eller iPad Pro representerer det beste markedet har å by på av statisk bakkebaserte og håndholdte skannere. Grunnen til at disse registreringsverktøyene er valgt i oppgaven, er for å se om teknologien i en mobil enhet med flere anvendelsesområder som iPad Pro, kan måle seg opp mot en god statisk laserskanner.

### 3.1.2 LiDAR-skanning med iPad Pro

I dag er verktøyet LiDAR integrert i de nyeste mobilene og nettbrettene fra Apple, og finnes blant annet i iPhone 12 Pro, iPhone 12 Pro Max og iPad Pro. I denne oppgaven ble det benyttet iPad Pro. Det var en rekke apper tilgjengelig i App Store som var kompatible med LiDAR-teknologien på iPaden. Under testing av samtlige apper tilgjengelig på markedet, var det en som skilte seg ut i tilknytning til oppgavens formål. Appen som ble valgt heter SiteScape av SiteScape Inc. Begrunnelsen for valget av SiteScape, baserer seg på praktikalitet rundt bruk av appen, mulighet for endring av innstillinger, konvertering til kompatibelt filformat type PLY. SiteScape var den eneste av appene som ikke benyttet seg av automatisk genererte mesh (overflatemodell), men derimot tillot direkte eksport av rådata (punktsky). Med andre ord prosesseres ikke dataene automatisk fra en analytisk deduksjon utført gjennom appen, men distribuerer punkter over arealet som skannes og en punktsky dannes. Denne punktskyen vil inneholde mer nøyaktig data enn et såkalt mesh. I et mesh blir punktene automatisk omdannet

til en 3D-figur basert på genererte overflater fra punktskydataen. Dette fører til at en ikke får ut et like godt bilde av objektet som er skannet, og vil i sammenheng med denne oppgaven ikke være nøyaktig nok.

Appens innstillinger var svært enkle å tilpasse etter behov, med kun tre overordnede kategorier. Scan Mode, Point Density og Point Size. De respektive overkategoriene har; på Scan Mode to underkategorier, Max Area og Max Detail. Point Density har funksjonen å sette avstand eller tetthet mellom punktene, med underkategoriene Low, Medium og High Point Density. Point Size hadde i likhet med Point Density innstillingsmulighetene Low, Medium og High, hvor størrelsen på punktene ble registrert. Med innstillingene Max Detail and Max Density, blir 16 000 punkter fanget opp per ramme. Den effektive prøvetakingstettheten vil da være avhengig av hvor langt unna kameraet objektet befinner seg for hver ramme som blir fanget. SiteScape har en maksimal grense på 12 millioner punkter per skann (SiteScape, u.å.a), som gjør det utfordrende å skanne store objekter eller områder. Sammenlignet med de andre appene på markedet var dette en av de med høyest grense for antall punkter.

LiDAR på iPad Pro, 11-tommer spesifikasjoner:

- Rekkevidde: 5 meter
- Maks 12 millioner punkter pr skann (gjelder for SiteScape)
- Datalagring: iPad sin lagringsplass. ca. 128 GB
- Driftstemperatur: fra 0 grader Celsius til +35 grader Celsius
- Dimensjoner: 247,6 mm x 178,5 mm x 5,9 mm
- Vekt: 466 gram

Skanningen med iPad utføres ved å trykke på record, for deretter å holde iPaden mot objektene en ønsker å skanne. Med kun 5 meters rekkevidde med LiDAR på iPad, er en avhengig av å stå nære objektet som skal skannes. SiteScape Userguide anbefaler å se for seg iPaden som en sprayboks, og de fangede punktene som maling. Prøv å få et jevnt lag med «maling» over hele området du vil skanne (Sitescape, u.å.b). Etter endt skann kan innhentet data eksporteres til en datamaskin og lastes opp til ønsket dataprogram hvor filene videre kan prosesseres.

### 3.1.3 Laserskanning med Leica ScanStation P20

Den bakkebaserte laserskanneren Leica ScanStation P20 ble brukt som utgangspunkt for å sammenligne resultatene fra skanning med iPad Pro.

Bakkebasert laserskannere er vel kjent og brukt i bransjen i dag, og er et pålitelig verktøy. Laserskanneren sender ut to pulserende lyssignaler med ulik bølgelengde, ett synlig lys på 658 nm og ett infrarødt lys på 808 nm (Leica, 2012a).

Leica P20 spesifikasjoner (Leica, 2012a):

- Rekkevidde: Inntil 120 meter
- Datalagring: Integreert fastminne (SSD) eller ekstern USB flashminne
- Driftstemperatur: fra -20 grader Celsius til +50 grader Celsius
- Dimensjoner: 238 mm x 358 mm x 395 mm
- Vekt, uten / med batteri: 11,9 kg / 12,3 kg

Fremgangsmetoden ved bruk av Leica P20 vil variere etter formål. For nærmere beskrivelse av innstillinger, anbefales Leica P20 Userguide.

### 3.1.4 Manuell oppmåling

Det ble ikke gjennomført manuell oppmåling, da dette ble ansett som ikke like relevant for oppgaven. I stedet ble oppmåling gjennomført med Leica P20, og benyttet som referansemål til iPad Pro. Dette på bakgrunn av en feilmargin på opptil 3 mm som anses som liten nok knyttet til oppgavens formål.

### 3.1.5 Digitale verktøy

Det ble testet ut ulike programmer for å bearbeide punkttskyene fra både iPad Pro og Leica P20. Disse inkluderer MATLAB, Autodesk ReCap, CloudCompare og MeshLab. Av disse ble hovedsakelig Autodesk ReCap og CloudCompare brukt, da programmene viste seg å være mest nyttig for oppgavens formål.

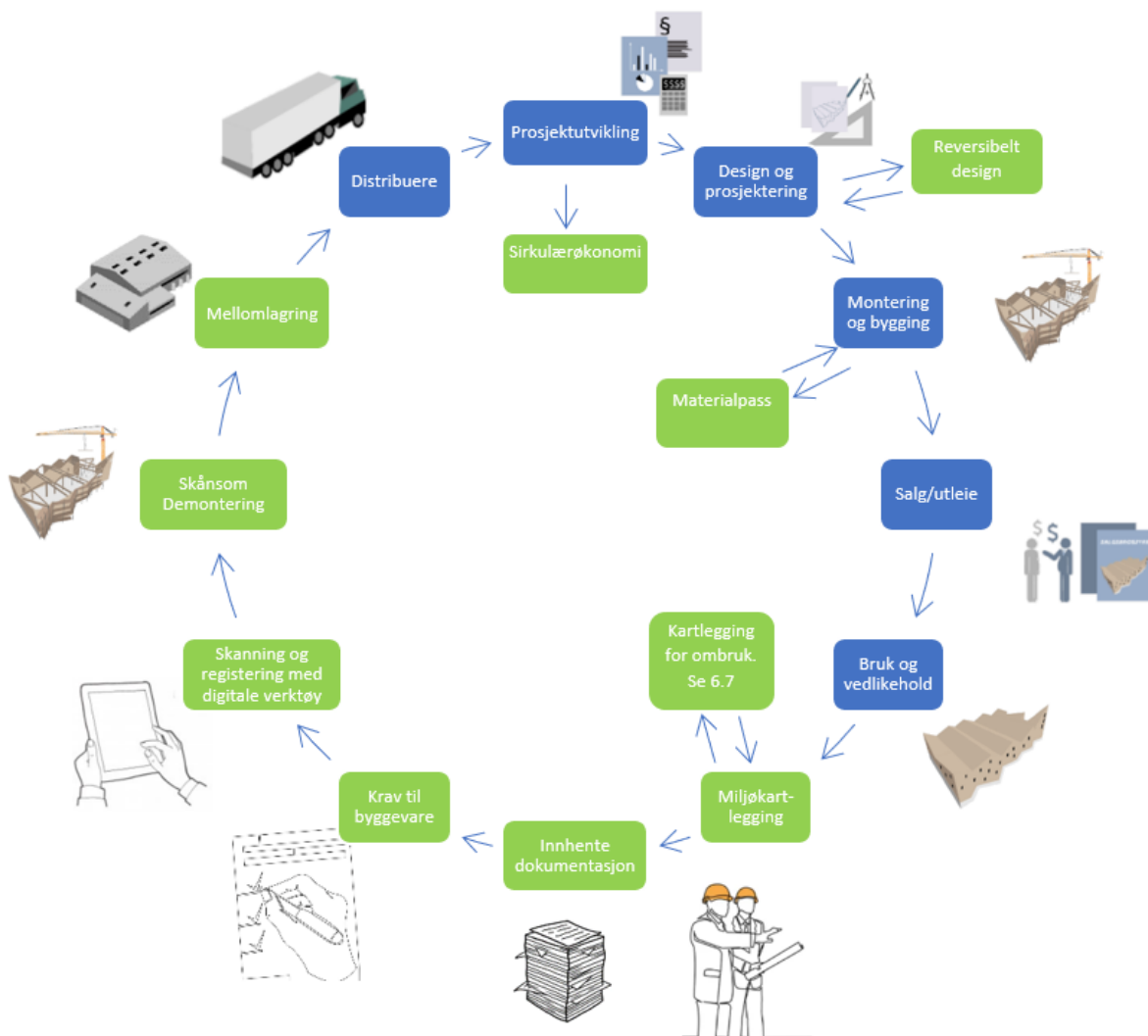
CloudCompare er designet for å behandle punkttskyer, og viste seg å være et meget anvendelig verktøy gjennom hele behandlingsprosessen av punkttskyer til oppgavens formål.

Autodesk ReCap ble videre brukt etter prosessering i CloudCompare til å fjerne overflødige punkter fra filene og ta mål av objektene. Programmet gir også mulighet til å eksportere filer videre til Autodesk Revit.

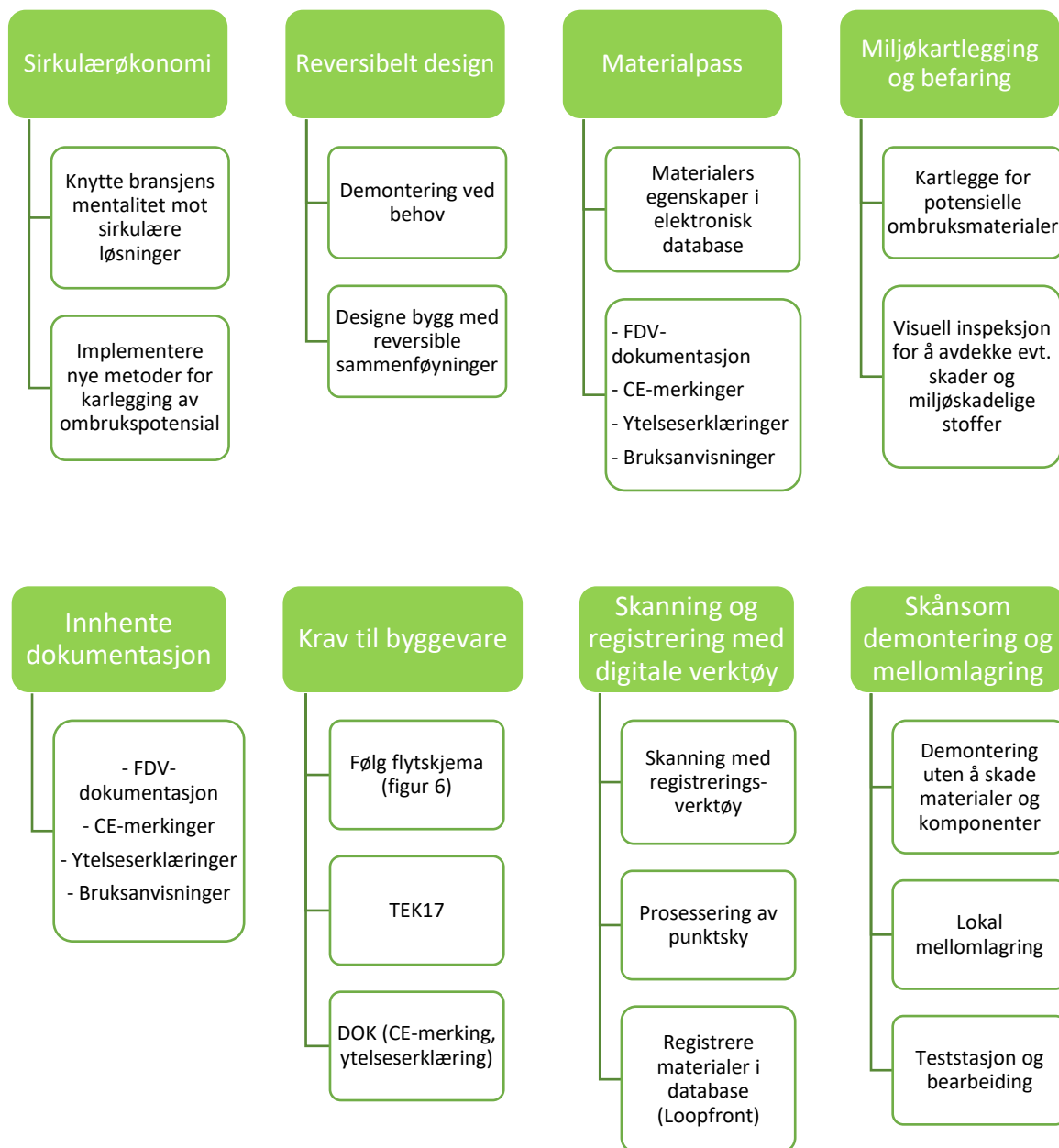


## 4 Foreslått metode for sirkulær materialutnyttelse

På bakgrunn av teoretisk og praktisk kunnskap, ble det opprettet og utarbeidet en foreslått metode for registrering av potensielle ombruksmaterialer. Gjennomgående i litteraturstudiet dukket problemstillingene stadig opp gjennom mangel på sirkulære løsninger i bransjen. I utarbeidelsen av figur 8 er det hentet inspirasjon fra rapporten «Studie potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer» av Asplan Viak fra 2020. De blå tekstboblene illustrerer hvordan dagens lineære byggebransje er oppført, de grønne sikter seg derimot inn mot supplementerende tiltak for å gjøre byggebransjen sirkulær.



Figur 8 - Forslag til metode for å oppnå sirkulær materialutnyttelse i byggebransjen



Figur 9 – Beskrivelse til foreslått metode for sirkulær materialutnyttelse

## 5 Case-studie: Conrad Mohrs veg 15

Vi har i sammenheng med denne oppgaven utført et case-studium av Conrad Mohrs veg 15 som illustrert på figur 10, hvor hovedkontoret til BIR er lokalisert. Hensikten med studiet er å se på muligheter for effektivisering av kartleggingsprosessen for potensielle ombruksmaterialer, ved bruk av håndholdt LiDAR-enhet (iPad Pro) eller statisk bakkebasert laserskanner (Leica ScanStation P20). Det er her valgt å fokusere på kartleggingsprosessen av materialer fremfor faktisk potensial for ombruk hos materialene som befant seg i bygget. Det ble inngått et samarbeid med en av bransjens aktører Loopfront



*Figur 10 - Conrad Mohrs veg 15, BIR-bygget. Bilde hentet fra (Google maps, u.å.)*

### 5.1 Historikk

Med byggestart i 1973 er dette et relativt eldre bygg hovedsakelig bestående av tegl, mur og betong. Bygget skal rives til grunn, noe som gir mulighet for ombruk av enkelte materialer og komponenter.

Med relativt enkel arkitektur har bygget kun to etasjer, med resepsjon, parkeringskjeller, verksted og driftsrom i første etasje, og hovedsakelig kontorlokaler i andre etasje.

Deler av parkeringskjelleren i bygget er preget av skadde elementer som følge av en bilbrann. Brannen medførte betydelige skader på tak, vegg og søyler i området som vist på figur 11 og 12. Slike ytre skader vil naturligvis hindre ombrukspotensialet til de utsatte elementene. Dette ga derimot oppgaven et nytt lys i form av muligheten for å teste om LiDAR-skanning kan kartlegge skadeomfang av elementer.



*Figur 11 - Brannskadet betongsøyle*



*Figur 12 - Synlige brannskader på takelementer i betong*

## 5.2 Befaring av bygget

Under første befaring av bygget ble det observert mulig potensial for ombruk av bærende betongelementer, spesielt i parkeringskjelleren. Det er her det i utgangspunktet er gjennomført skanning med iPad Pro og Leica P20.



*Figur 13 - Parkeringskjelleren som ble skannet*

Ved utbygging av bygget i 1996 ble en betongsøyle flyttet fra hovedbygg til en garasje utenfor hovedbygget. Dette viser at ombrukspotensialet er tilstedeværende i bygget. Etter endt befaring ble det besluttet at oppgaven skulle avgrenses ved å kun se på de bærende betongsøylene i parkeringskjelleren, samt en frittstående søyle i garasjen utenfor bygget.

## 5.3 Skanning med iPad

### 5.3.1 Utførelse av skanning med iPad

Gjennom skanning med iPad ble det erfart at samtlige av appene hadde begrenset lagringskapasitet. Dette ble en utfordring da vi skannet hele parkeringskjelleren med høy oppløsning. Løsningen ble derfor å legge vekt på skanning med høy kvalitet av enkeltstående elementer. Innstillingene som ble benyttet i SiteScape var Scan Mode: Max Detail, Point Density: High og Point Size: Low. Skanningen av hver søyle tok i snitt 3 minutter med iPad Pro.

### 5.3.2 Behandling av punktsky

Punktskyene hentet ut fra skanning med iPad via den valgte appen SiteScape kunne eksporteres i formatene PLY, XYZ eller e57. Vi benyttet oss hovedsakelig av PLY format, som er kompatibelt med CloudCompare. Med funksjonen «SOR filter» beregnet programmet gjennomsnittlig avstand for hvert punkt til nærmeste nabopunkt ( $\bar{d}$ ). Den avviser deretter punkter som ligger lenger unna enn gjennomsnittsavstanden pluss et antall ganger standardavviket ( $\sigma$ ). Med disse to parameterne i betraktning får man ut en rensset fil, hvor de største avvikene er fjernet fra skyen. Etter flere forsøk med ulike verdier på parameterne, kom vi fram til best resultat ved å benytte 6 referansepunkter for gjennomsnittsavstand og en multiplikator på 2 ( $nSigma$ ).

$$\mathbf{Max\ distance} = \bar{d} + nSigma * \sigma$$

Denne multiplikatoren endrer grensen for hvor mange standardavvik som skal tas hensyn til når man ønsker å plukke ut punkter som avviker fra gjennomsnittet.  $nSigma < 1$  vil gi et mindre intervall og  $nSigma > 1$  vil gi et større intervall. Det er ønskelig å sette  $nSigma$  til en fornuftig verdi, slik at nok punkter blir tatt hensyn til, samtidig som en unngår å ta med ekstremverdier som vil forstyrre standardavviket. Ved en for høy multiplikator opplevde vi at viktige punkter fra punktskyen ble fjernet. Resultatet som ble jobbet videre med vises i figur 14.



Figur 14 - Punktsky av skannet søyle i CloudCompare

Punktskyen inneholdt opprinnelig i underkant av 3,2 millioner punkter, og det var fortsatt en del data som ikke var nødvendig for vår bruk. Ved å bruke verktøyet «Segment» kan man manuelt kutte bort punkter som ikke er av interesse. Dette er en tidkrevende prosess som strengt tatt ikke er nødvendig med mindre målet er å komprimere filstørrelsen. For denne oppgavens formål var det av interesse å få filstørrelsen så liten som mulig, for å gjøre filene kompatible med Loopfronts registreringsplattform for ombruksmaterialer. Den ferdig redigerte punktskyen vises i figur 15, og lagres i ASCII-formatet txt. Skyen endte til slutt opp med 2,2 millioner punkter, hvilket viser at omlag 30 prosent av dataene fra den opprinnelige skyen var unødvendig.





*Figur 15 - Ferdig behandlet punktsky i CloudCompare*

I Autodesk ReCap kan punktskyen behandles videre ved å ta mål av objektet. ReCap gjør det mulig å eksportere filen ut i formater som støttes av andre Autodesk-programvarer. Her er Autodesk Revit av størst nytteverdi for denne oppgave. Ved å eksportere filen videre inn i Revit har man mulighet til å lage en BIM-modell ut ifra punktskyen. Vi tok utgangspunkt i målene gjort i ReCap (figur 16) for videre å rekonstruere en modell av søylen i Revit (figur 17). Revit-filen eksporteres til en IFC-modell, som er kompatibel med de aller fleste modelleringsprogrammer.



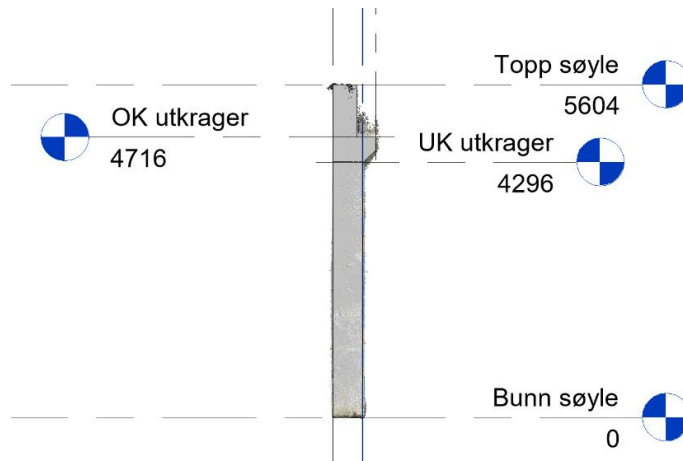
Figur 16 – Målsatt punktsky i Autodesk ReCap



Figur 17 – Modellert søyle i Revit over punktsky Målsatt

En slik modell kan omgjøres til plantegninger med påsatte mål i Revit, vist på figur 18. Dette er svært hensiktsmessig med hensyn på dagens digitale arbeidsplass, hvor de aller fleste aktører tilstreber minst mulig bruk av papirtegninger.





Figur 18 - Mål på søylemodell laget i Revit

Fra Revit kan en lage en materialliste via «Schedule» som enkelt lar seg eksportere til Excel. Slike lister kan inneholde alt fra dimensjoner, antall og andre data som skulle være av nytte som vist i tabell 3. Bruken av denne metoden ved kartlegging av et helt bygg eller flere elementer, vil potensielt kunne effektivisere prosessen betydelig sammenlignet med manuell registrering fra befaring.

<b>Material list</b>							
Type	Structural Usage	Count	Function	Material	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
Betongsøyle	Bearing	1	Exterior	Betong, prefab	500	500	5604

Tabell 3 - Materialliste laget for søylen i Revit

## 5.4 Skanning med Leica P20

### 5.4.1 Utførelse av laserskanning

Parkeringskjelleren ble skannet med tre oppstillinger for å få kartlagt arealet best mulig. Deretter ble den samme enkeltstående søylen vi testet med iPad, skannet med Leica P20. Denne ble skannet med høyeste oppløsning på 1920x1920 og 3.1mm avvik per tiende meter gjennom to oppstillinger. Første oppstilling ble vellykket, mens det ved andre oppstilling oppsto noen komplikasjoner. Grunnet direkte eksponering av sollys ble tripodens oppstilling endret i Z-retning, da den sto oppstilt på asfalt. Data fra sidene av søylen som var eksponert for direkte sollys kan derfor ha blitt noe forstyrret. Selve skanning av en søyle tok rundt 10 minutter på hver av oppstillingene. For garasjeanlegget tok skanningen tilsvarende 10-15 minutter på hver av de tre oppstillingene. Til tross for at selve skanningen av arealet ikke tok lang tid, gikk mye tid med på å planlegge for oppstilling og utplassering av targets.

### 5.4.2 Behandling av punktsky

Punktskyen fra skanningen med Leica P20 ble behandlet på samme måte som iPad-skanningene for videre sammenligning. I figur 19 vises den skannede søylen med totalt 25,7 millioner punkter. Vi benyttet samme metode som ved iPad-skyen for å redusere antallet, men med større verdier på parameterne. Ved å kjøre SOR-filter på skyen med 10 referansepunkter ( $\bar{d}$ ) og en multiplikator ( $n\sigma$ ) på 4 fikk vi fjernet ekstremverdiene. Grunnlaget for økningen av parameterverdiene er at denne skyen inneholder betydelig flere og tettere punkter, i motsetning til punktskyen fra iPad-skanningen.

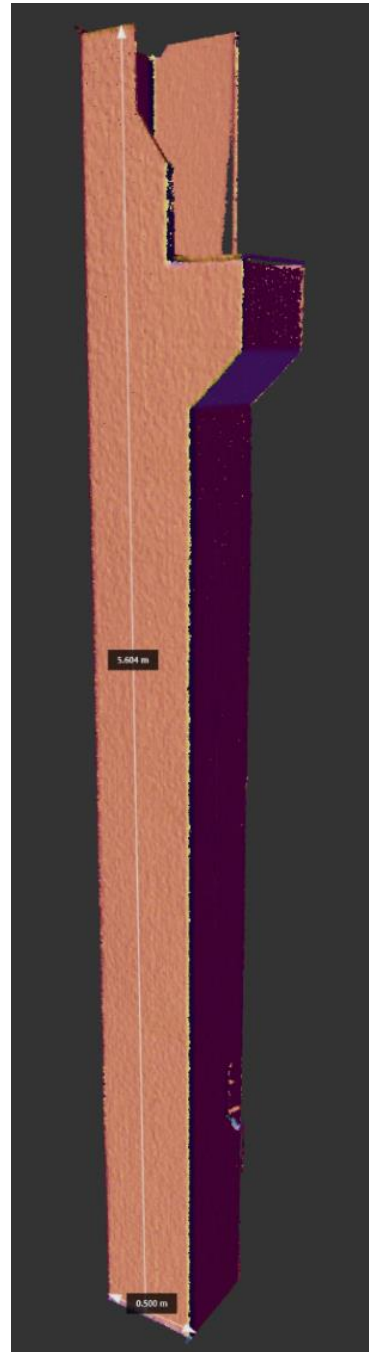


Figur 19 - Søylen skannet med Leica ScanStation P20

Etter manuell opprensning med Segment-verktøyet i CloudCompare, fikk vi ut en sky på 10,6 millioner punkter (figur 20). Oppmåling ble deretter gjort i ReCap, og dimensjonene var identiske med punktskyen fra iPad (figur 21). Denne kan på lik linje med iPad-skyen eksporteres til Revit hvor IFC-modeller kan lages om ønskelig.



*Figur 20 – Rensket punktsky av søyle i CloudCompare*



*Figur 21 – Søyle med mål i Autodesk ReCap*

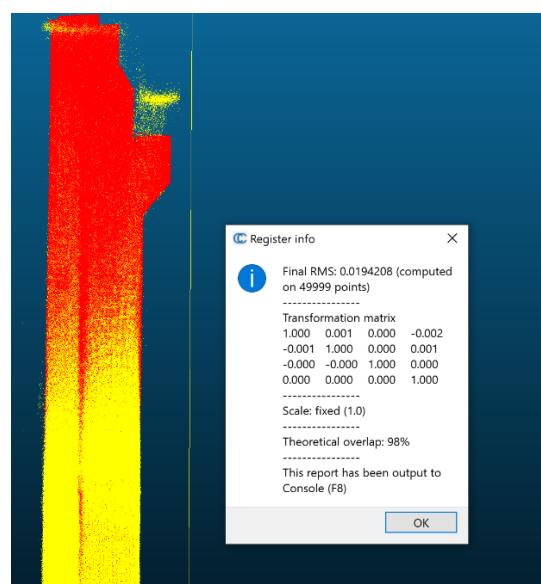
I vedlegg 1 og 2 finnes innsamlet data fra fullskala laserskanning av parkeringskjelleren, som er behandlet og slått sammen i Leica Cyclone. I vedlegg 1 er alle targets tatt med i beregning, noe som jevnt over ga et gjennomsnittlig absolutt avvik (MAE) på 15 mm. Etter analyse av dataene ble det oppdaget at target 1 (t1) ga forstyrrelser i målingene. I og med at det ble det satt opp seks targets, var det mulig å negligjere målingene fra t1 gjennom en manuell prosessering av de forstyrrende faktorene. Etter eliminering av t1 fra registreringen endte MAE på 1 mm som vist i vedlegg 2.

### 5.5 Sammenligning av punktskyer

De to ferdig behandlede punktskyene ble deretter sammenlignet i CloudCompare, med formål å sjekke hvor store avvik det var mellom registreringsverktøyene. Dette ble gjort ved å manuelt registrere skyene inn i samme koordinatsystem, gjennom å plukke ut like punkter i de to skyene. Skyen fra laserskanningen ble benyttet som referansepunkt, grunnet resultatenes lave avvik på 1 mm. Resultatet ble en RMSE (Root Mean Square Error) på 34 mm. I motsetning til standardavvik som regnes ut fra avstand fra punkt til gjennomsnittlig beregnet punkt, regnes RMSE ut fra punkt til faktisk målt punkt:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Etter den manuelle registreringen ble det gjennomført en ICP (Iterative Closest Points), en automatisk transformasjonsmetode som gjør det mulig å overføre punktskyer fra ulike oppstillingspunkt til et felles koordinatsystem. Verktøyet bruker overlappende punkter mellom to eller flere punktskyer til å beregne avvik mellom punktene i de ulike skyene. Ett av transformasjons-parameterne som inngår i beregningen er overlappingsprosent, som ble satt til 98 prosent grunnet noe mer støy fra iPad-skyen. RMSE ble da beregnet til i overkant av 19 mm som vist i figur 22.



Figur 22 - Utregnet RMSE mellom punktskyene i CloudCompare

## 5.6 Kartlegging av skadet søyle

Som nevnt i kapittel 5.1 ble det oppdaget flere skadde betongelementer i parkeringskjelleren. Figur 23 viser prosessert data av brannskadet søyle utført med SiteScape på iPad Pro, og figur 24 viser samme data hentet fra Leica P20 ScanStation. Formålet med disse skanningene var å teste ut om metodene klarte å avdekke og eventuelt måle synlige ytre skader på betongen.



Figur 23 – Brannskadet søyle skannet med iPad Pro

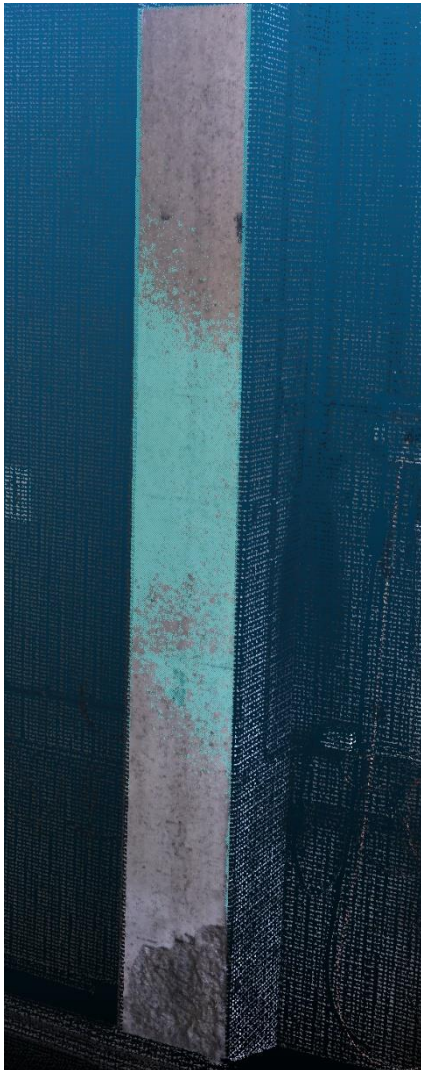


Figur 24 – Brannskadet søyle skannet med Leica ScanStation P20

I henhold til kartlegging av skadeomfanget på betongelementene, ble dybden til skadene forsøkt målt i CloudCompare. Først måtte det tilpasses et plan etter søylens originale fasong. På figur 25 vises utregnet plan for en av sidene på den skadde søylen. Deretter kan en måle avstand mellom planet av den uskadde søylen og punktskyen av seksjonen med skader. Hulldybde kan



så regnes ut, og en høydekurve av skadene kan konstrueres som vist på figur 26. Denne metoden kan være nyttig ved analyse av betongelementer for å se om ytre skader er til fare for å eksponere armeringen, eller for å sjekke om overdekningen er tilstrekkelig i henhold til krav.



Figur 25 - Konstruert plan basert på en av de skadde sidene av betongsøylen



Figur 26 – Høydekurve av skadet område

## 5.7 Anvendelse av data i Loopfronts database

Loopfront er en virksomhet som satser på miljø og bærekraftighet i byggebransjen. De opprettet i 2019 en digital plattform for ombruk og sirkulære prosesser. Gjennom samarbeidet fikk vi tilgang til et eget økosystem i registreringsplattformen for ombruksmaterialer. Formålet med samarbeidet var å teste om punkttskyene fra iPad Pro og Leica P20 er av god nok kvalitet og anvendelig i plattformen, og om det er mulig å effektivisere registreringsprosessen. I slutten av oppgaven drøftes hvorvidt en slik løsning kan erstatte eller supplere dagens kartleggings- og registreringsmetode.

Vi fikk tilgang til et eget økosystem i Loopfronts materialdatabase, med formål å teste om punkttskyer fra skanning kan konverteres og implementeres som kompatible filformat i materialdatabasen. Per i dag fungere databasen ved at aktører som skal rive et bygg gjennomfører en miljøkartlegging, tar manuelle mål og bilder av potensielle ombruksmaterialer og lager annonser på materialer og komponenter. På figur 27 vises betongsøylen vi har skannet ferdig registrert i databasen. En utfordring med dagens versjon av databasen (V1) er størrelsesbegrensningen på vedlagte filer. Begrensningen i V1 ligger på 10MB, som er mye lavere enn punkttskyene lar seg komprimere, uten at det går på bekostning av kvalitet og datamengde. Det var tiltenkt at Loopfront skulle lansere en oppdatert versjon (V2) innen slutten av april, men dette ble dessverre utsatt. Ifølge vår kontakt i Loopfront, Tobias Bjerkomp, vil V2 ha en begrensning i filstørrelse på 250MB. Dette ville gjort det mulig å legge inn komprimerte punkttskyer, slik at kunder enkelt kan benytte filene direkte i BIM gjennom IFC-filformat.

Det ble likevel funnet en midlertidig løsning i V1. Ved å opprette en sky i Google Drive kan de med tilgang til lenken åpne denne fra «Kommentar», som vist nederst på figur 27. Til tross for at dette løser utfordringen med filstørrelse, forutsetter det at kunden har programmer som støtter visualisering av filformat som benytter punkttskyer.

# Betongsøyle

FANTOFT

NATTLANDSFJELLET

Kartdata ©2021 Bruksvilkå

Kategori: Søyler (222)

Produsent: Ukjent

Plassering: Conrad Mohrs vei 15

Tilgjengelig på: BIR-bygget

Etasje: 1

Beskrivelse:

Produsert en gang mellom 1970-1973

Dato tilgjengelig: Apr 29, 2021

<b>1</b> / 1 stk Tilgjengelig	<b>Brukt</b> Materialkvalitet		
<b>Lys grå</b> Farge	<b>3400,00 kg</b> Vekt	<b>Ja</b> Demonterbar	
<b>500 mm</b> Lengde →	<b>500 mm</b> Bredden ↔	<b>5604 mm</b> Høyde ↓	<b>N/A</b> Diameter ↻

Andre dimensjoner:

Kvadratisk søyle

<b>N/A</b> Lydreduksjon	<b>N/A</b> Brannmotstand	<b>1008720 kg</b> CO <sub>2</sub> e (A1-A3)
----------------------------	-----------------------------	--

Materialbruk:

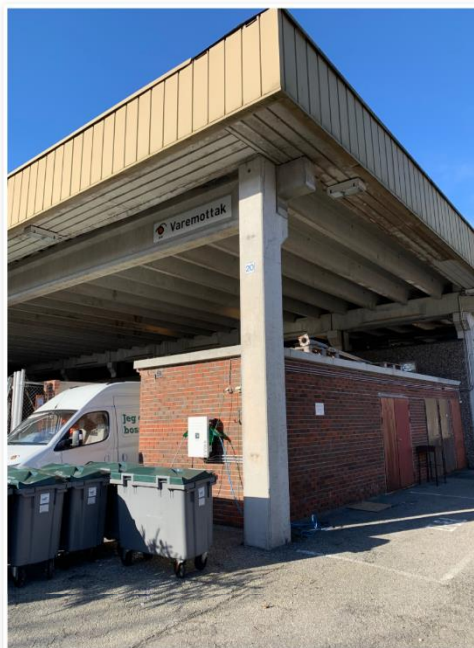
Bærende søyle

<b>0</b> / 1 stk QR skannet: <b>Scan fler</b>	<b>Ombukbar</b> Ombuksegenskap
--	-----------------------------------

Kommentar:

<https://drive.google.com/drive/folders/1t3T0SahPGT2WLdk4cW86OuGYNRPDmoPG?usp=sharing>

Dato innført: 29. april 2021



## Material Passport:



Hint: Inkluder: FDV Informasjon, EPD Informasjon, Teknisk Godkjenning, Bestilling / Kvittering, CE-Merking, Annet

Legg til dokumentasjon +

Figur 27 - Skjerm bilde fra Loopfronts materialdatabase med ferdig registrert betongsøyle



## 6 Diskusjon

Kapittel 6.1 og 6.2 presenterer erfaringer gjort med de ulike registreringsverktøyene. Videre i kapittel 6.3 drøftes og sammenlignes fordeler og ulemper med de to registreringsverktøyene, ut ifra akkumulert erfaring gjennom testing. Kapittel 6.4 går inn på kartleggingsprosess av materialer og dokumentasjon som må ligge til rette for potensielle ombruksmaterialer, og utfordringer knyttet til dagens reglement. I kapittel 6.5 drøftes hvorvidt produsenter bør påta seg et større ansvar i materialsammenheng. Kapittel 6.6 tar for seg hvilke insentiver det statlige organ må tilrettelegge for bransjen. I kapittel 6.7 nevnes noen av potensialene og barrierene knyttet til å benytte ombruksmateriell. Avslutningsvis i kapittel 6.8, legges det til rette forslag og tiltak for å gjøre bransjen sirkulær.

### 6.1 Laserskanner

Ut ifra erfaring fra bruk av laserskanner gjennom case-studiet og testing, vil en laserskanner i byggeteknisk sammenheng fungere godt til både enkel og detaljert kartlegging av bygg. Noen av fordelene med Leica P20 ved kartlegging av bygg, er dens nøyaktighet (presisjon), rekkevidde og lagringskapasitet.

### 6.2 iPad Pro

Det ble tidlig avgjort at det måtte tas i bruk et enkelt og lett anvendelig kartleggingsverktøy for å sammenligne med Leica P20 skanneren. Ettersom LiDAR på iPad er relativt nytt på markedet, og at det ikke finnes noen konkret studie på praktisk anvendelse av verktøyet, passet funksjonen godt til formålet. En ulempe knyttet til skanning med iPad Pro har vært begrensninger relatert til både filstørrelser og nøyaktighet på den innebygde LiDAR-skanneren og appene. Dersom iPad Pro eller andre håndholdte enheter skal benyttes til samme formål som i denne oppgaven, vil appene måtte oppgraderes og sensorene forbedres for å holde mål opp mot en Leica P20. Forbedringspotensialet her vil hovedsakelig gå på lagringskapasitet og nøyaktighet.

## 6.3 Sammenligning av registreringsverktøyene

### 6.3.1 Pris

Laserskannere ligger i en prisklasse mellom 100 000 og 1 000 000 kroner, avhengig av nøyaktighet og funksjonskrav. I dette studiet har vi brukt Leica P20 og tar utgangspunkt i dens pris på 21 055 \$ + skatteavgifter (Leica Geosystems, u.å.). Med dagens krone vil den koste rundt 218 000 NOK inkludert merverdiavgift. Til sammenligning vil en iPad Pro ligge på mellom 8000 og 20 000 NOK (Apple, u.å.). I dette studiet har vi brukt 11-tommers iPad Pro med 128 GB lagringsplass og Wi-Fi som ny koster 8 990 NOK (Apple, u.å.). Dersom det er tilstrekkelig for formålet viser det seg mer økonomisk gunstig å velge iPad Pro fremfor en Leica P20. En tilleggsfaktor å ta hensyn til vil være pris på forskjellige programvarer og verktøy for å prosessere data på best mulig vis. I denne rapporten har det kun blitt benyttet kostnadsfrie programmer og apper.

### 6.3.2 Kvalitet og nøyaktighet

Det er tilknyttet en viss usikkerhet til presisjon i alle målinger gjennomført. Resultatene etter sammenslåingen av punktskyene fra Leica P20 og iPad Pro hadde et avvik på mellom 15 og 25 mm. Ved gjentagende forsøk ble det erfart at Leica P20 vil ha et fortrinn ovenfor iPad Pro, på grunnlag av en statistisk posisjon på Leica P20.

Dersom det velges å gjennomføre en oppstilling av Leica P20 med kun ICP, vil det spares tid på bekostning av nøyaktighet. Nøyaktigheten mellom skyene avhenger av punkttettheten, i hvilken grad punktene overlapper og av egenskapene til objekt eller område som skannes. Det vil dermed være avhengig av hvorvidt programvaren som registrerer punktskyene, har tilstrekkelig med punktdata som overlapper mellom de to filene. Dersom det ikke er tilstrekkelig data, vil avviket bli for stort til at programmet klarer å sammenslå punktskyene i samme koordinatsystem.

Etter samtale med Trond Martinsen, lektor ved HVL, fikk vi oppgitt at byggeplassavviket er maksimalt 15 mm fra prosjekterte løsninger. Ved skanning med SiteScape på iPad, ligger avviket gjennomsnittlig per punkt på rundt 1 inch eller 25,4 mm (SiteScape, u.å.a). Dermed vil et gjennomsnittlig skann med iPad Pro falle utenfor det tillatte byggeplassavviket. Skanning med apper som SiteScape vil heller ikke ha noen form for referansepunkter når et skann gjennomføres, annet enn startposisjonen. Dette vil ifølge SiteScape Inc. til tider føre til at gjenskinn fra blanke flater og objekter forstyrrer posisjonsmålingene, og kan skape avvik på

opptil 20-30 mm. I og med at FDV-dokumentasjonen vi fikk utstedt ikke inneholdt plantegninger for parkeringsanlegget, mangler rapporten sammenligningsgrunnlag på bakgrunn av avvik i henhold til prosjekterte løsninger.

Leica P20 skanner som nevnt i 3.1.3 med lite støy på opptil 120 meter. Dette vil være svært fordelaktig dersom det skal skannes større arealer. Dermed vil det eksempelvis i parkeringskjelleren være mer gunstig å benytte Leica P20, i og med at man får fullt utnyttet verktøyet ved kartlegging av et større areal. Til skanning av en frittstående søyle, kan det derimot være enklere og mer effektivt å benytte iPad Pro avhengig av formål. iPad Pro derimot, har hovedsakelig en måledistanse på inntil 5 meter som nevnt i kapittel 3.1.2. Basert på erfaringer opparbeidet gjennom case-studiet, ser vi at kartlegging av enkelte elementer kan være fordelaktig med verktøy som iPad, i og med at sensorene ikke krever en stasjonær posisjon for å skanne et objekt.

I studiet ble det skannet med svært høy oppløsning, det var derimot mulig å øke oppløsningen i innstillingene til Leica P20 for å videre redusere feilmarginen ned til 0,8 mm avvik per tiende meter skannet (Leica, 2012b). Skanningen ville dermed tatt betraktelig lenger tid, men med et betydelig mindre avvik.

Det overordnede spørsmålet som må drøftes i tilknytning til kvalitet og nøyaktighet er hvilket behov som ligger til rette før et eventuelt skann utføres. Med andre ord kan det hende at det holder å benytte en komprimert punktsky, med mellom 2 og 3 millioner punkter ved bruk av iPad Pro, istedenfor en punktsky bestående av omkring 12 millioner fra Leica P20.

Resultatene fra iPad Pro var mer varierende og avvikende enn for Leica P20. Dersom det satses mer på utvikling av apper, sensorer, og teknologien bak LiDAR i en håndholdt enhet, vil innretningene fungere egenhendig til kartlegging av bygg.

### 6.3.3 Tidsbruk

Selve skanningen utføres mye raskere med Leica P20. Derimot vil det tidsmessige aspektet ved en skanneseanse ha flere parametere å ta hensyn til. Oppsett av stativ, eventuelt oppsett av target, vater eksternt i apparatet og dobbelakset kompensator internt i systemet er noen av de viktigste punktene å ta hensyn til ved laserskanning (Leica, 2012b). En vil dermed kunne redusere tiden knyttet til en skanneseanse ved å benytte ICP istedenfor ICP med targets som referanse. Det vil derimot kunne gå på bekostning av nøyaktigheten som nevnt i 6.3.2.

I kartleggingsprosessen av den frittstående søylen med bruk av Leica P20, oppstod det problematikk rundt oppstilling av apparatet. Grunnet direkte solvarme på asfalten sank stativet, slik at Z-aksen falt ut av posisjon. Skanningen ble avbrutt etter omkring 10 minutter og oppstillingen måtte endres. Erfaringsmessig stilte Leica P20 større krav til planlegging, både i forkant og på området. Skanneprosessen ved bruk av iPad Pro fikk derimot ikke like store konsekvenser i form av tidsbruk, dersom det oppstod et problem. IPaden var dermed mer praktisk å anvende i henhold til å redusere tidsbruk knyttet til en skanneseanse av enkelte elementer.

Erfaringsmessig lønner det seg tidsmessig å bruke en laserskanner på et område tilsvarende parkeringskjelleren i casestudiet. Dersom det kun er behov for å skanne en enkeltsøyle, vil det avhengig av tillatt feilmargin, lønne seg å benytte iPad Pro.

#### 6.3.4 Anvendelighet

Erfaringsmessig er Leica P20 mer teknisk krevende. Til tross for at selve skanneprosessen har vist seg å være relativt intuitiv, krever det en viss opplæring for å anvende verktøyet. På en annen side vil LiDAR-appene tilknyttet iPad Pro være lettere anvendelig og svært intuitive. Dette viste seg klart ved at appene kun krever et skjermtrykk for å starte projeksjonen av området som skal skannes. I motsetning vil Leica P20 ha en rekke foreliggende steg før en eventuell skanning kan gjennomføres.

Knyttet til brukervennligheten til de to registreringsverktøyene, oppdaget vi en rekke forskjeller. Avhengig av hvilke behov verktøyene skal imøtekomme, vil det være gunstig å anvende iPad Pro ovenfor Leica P20 ved vanskelig tilkomst. Leica P20 veier alene 11,9 kg (Leica, 2012a), noe som er vesentlig mer enn en iPad Pro på 466 gram (Apple u.å.). Under skanningsseansene på BIR bygget, var det betydelig enklere å frakte med seg en iPad enn en bakkebasert laserskanner, både til og på området.

Med hensyn til lagring krevdes en prosessering av data gjennom Leica P20-apparatet. Dette tok, avhengig av kvaliteten og avvik satt i systemet, alt fra 3 til 15 minutter. Derimot ble filene med iPad Pro lagret simultant med skanningen. Ut ifra erfaring vil det etter skanning og lagring av filene, være tilnærmet lik fremgangsmetode for de to verktøyene.

### 6.3.5 Oppsummering

Sammenligningen er kun en prognose basert på våre erfaringer. Dette er for å danne et overordnet bilde av noen fordeler og ulemper med verktøyene. Det er dermed ikke en konklusjon for hva som egner seg best, i og med at kartleggingen med registreringsverktøyene vil knyttes til behov. Dersom dette vil utforskes nærmere, vil det måtte gjennomføres et kvantitativt studium hvor større datamengder sammenlignes og prosesseres. Et konkret forslag til videre arbeid på bakgrunn av prosjektet, vil være å foreta kartlegging av bygg som skal rives, og teste muligheter for å videreføre data fra skanning direkte til BIM.

De to verktøyene har vist seg å være svært gode redskaper til kartlegging av ombruksmateriell. Det empiriske grunnlaget ble opparbeidet gjennom innledende forsøk, og bruk av de to kartleggingsverktøyene. Basert på innsamlet data vil dermed Leica P20 kunne benyttes til et bredt omfang av datainnsamling. Det viste seg dermed at større arealer var mest effektivt, i tilknytning til tidsbruk, effektivitet og nøyaktighet. iPad Pro var derimot mer praktisk og anvendelig å benytte når det kun var behov for enkelte objekter, elementer og mindre konstruksjoner. Nytteverdien til de to registreringsverktøyene vil dermed avhenge av behovet som skal tilfredsstilles i et prosjekt.

Avhengig av tillatt feilmargin på skannet areal, vil det variere hvilket av verktøyene som egner seg best til bruk. Med andre ord kan iPad Pro benyttes til enkelte formål, men ved en eventuell kartlegging av materialer, hvor dimensjonsmål stiller sentralt, vil det beste verktøyet klart være Leica P20.

## 6.4 Kartlegging og dokumentasjon av ombruksmateriell

Som nevnt i kapittel 2.3 Dokumentasjon, er det per dags dato krav til at de fleste byggevarer skal sammen med CE-merking og ytelseserklæring, ha en montasjeveiledning eller bruksanvisning. Det er derimot ikke sammenfattet i form av et felles system for oppsamling av data.

«Materials Passports» vil være en alternativ løsning hvor man kan sammenføre viktige dokumenter som CE-merking, ytelseserklæring og montasjeveiledning/bruksanvisning av en byggevarer på en samlet digital plattform. Fordelene ved bruk av materialpass er blant annet at markedets aktører får en felles plattform hvor all data knyttet til bygg og materialer er samlet. Per i dag mangler det derimot en standardisert løsning for å samle all juridisk dokumentasjon knyttet til en byggevarer. I tillegg til å få samlet tekniske data i en database, vil systemet også

med videre satsning på utvikling, kunne automatisere identifikasjon av materialkomposisjon, samt kartlagt elektronisk egenskapsendringer og eierskapsskifte (Heinrich, Lang, 2019).

Verktøy som Leica P20 og iPad Pro vil være mer gunstig å bruke under kartlegging i tilknytning til demonteringsfasen. Bærende konstruksjoner må kartlegges etter at kledning og inventar er fjernet. Dette for at søylene skal stå eksponert uten noen hindringer for skanningen. De skannede søylene manglet sikt til hvor mye av søylene som stod under bakkeplan, dermed var det vanskeligstilt å avdekke eventuelt ombrukspotensial.

Et videre forslag til kartlegging og samling av dokumentasjon vil dermed være å supplere materialpass med reversibelt design og kartleggingsverktøy som Leica P20 og iPad Pro, slik at det både ligger til rette en plattform, samt en konkret metode for kartlegging og dokumentasjon av ombruksmateriell. Som et forslag til hvordan ombruksmaterialer kan kartlegges, kan samme metode som ble benyttet i kapittel 5 vurderes.

## 6.5 Høyere krav til produsenter

For å bringe bransjen et skritt fremover i det grønne skiftet, må det stilles spørsmål knyttet til ansvarsfordelingen som eksisterer i dag. En av utfordringene knyttet til ombruk er at ansvaret fraskrives selger idet produktet videreføres til en ny aktør. Produkter må overholde krav til tekniske spesifikasjoner dersom de videreselges til nye eiere. Det må dermed stilles høyere krav til både forbruker og produsent i henhold til produktansvar.

Vi ser gjennom BAMB at det allerede er gjort fremskritt innen transformasjon av forretningsmodeller for produsenter. I pilotprosjektet «Circular Retrofit Lab», tok oppstartsselskapet Juunoo for seg en løsning som innebar å gjøre vegger sirkulære (Capelle, et al., 2019). Kontrakten med selskapet inkluderte en tilbakekjøpspris på materialer, med forbehold om en prisreduksjon på 20 prosent når materialene leveres tilbake til produsent. I pilotprosjektet installerte selskapet yttervegger av tre. I stedet for å rive hele yttervegger, ble disse kun demontert og benyttet som innervegger isteden. Der elementer og komponenter ikke lenger kunne tas i bruk, ble materialene tilbakeført til produsent.

I dette eksempelet foreligger en delt ansvarsfordeling. Produsenten vil ha en fot innenfor hele levetiden til materialet, og får et økonomisk insentiv ved å selv kunne reparere og benytte seg av elementene i videre salgsprognose. Materialene blir i et slikt tilfelle en del av en lukket

syklus i form av salg og tilbakekjøp. Herunder får en implementert sirkulærøkonomiske prinsipper, ved at produsenten stilles til ansvar for sine egne produkter, og videre får profittert av gjensalg av brukte elementer som vil gå i syklus mellom forbruker og produsent.

Eksempelet viser at en overgang til sirkulærøkonomiske modeller ikke nødvendigvis trenger å gå bekostning av hverken produsent eller forbruker. Det gjelder å finne løsninger lignende tilfellet i BAMB som profitterer de ulike aktørene, uten at dette går på bekostning av miljøet.

## 6.6 Statlig initiativ og regelverk knyttet til ombruk

For å avdekke mulige ombrukspotensial for næringen må det offentlige kraftigere på banen enn de er i dag. DiBK er underveis i produksjonen av en veileder for ombruksmateriell, som blir lansert mot slutten av mai/tidlig juni 2021. Ettersom dokumentasjon og innsyn er stengt for utenforstående, fikk vi ikke tilgang til informasjon tilknyttet det konkrete innholdet i veilederen.

Etter en mailkorrespondens med senioringeniør Ingunn Marton fra DiBK, fikk vi en generell forståelse av hva veilederen vil sikte seg inn på. Veilederen vil knyttes opp mot dagens regelverk, og bidra til å forenkle forståelsen av hvilke krav som skal stilles til ombruk av brukte byggevarer. Med andre ord vil veilederen være tilknyttet DOK – byggevarerforskriften, og beskrive hvordan krav kan oppfylles for brukte byggevarer.

Veilederen vil være et hjelpemiddel på veien mot en designert plan for ombruk av bygningsmaterieell. Dette løser dermed ikke problemet med at ombruk ikke er attraktivt i dagens bransje. I rapporten «*Studie potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer*» av Asplan Viak fra 2020, knyttes skiftet i bransjen blant annet mot et statlig initiativ. Myndighetene må innføre økonomiske støtteordninger og reguleringer for å iverksette enkle og konkrete tiltak mot en miljøvennlig bransje (Fuglseth, et al., 2020).

EU vurderer derimot en revisjon av byggesaksforordningene. Dersom revisjonen trer igjennom, vil kommisjonen sikte seg inn mot tre ulike alternativer for å regulere fremtidige byggevarer. Alternativene er alt fra små reguleringer av eksisterende lovverk, til større endringer som omfatter en total revisjon av forordningene (DiBK, 2017). Dagens regelverk har 177 harmoniserte standarder knyttet til ombruk, hvor rundt 100 av disse er svært relevante (Innovative anskaffelser, 2020). For aktører på markedet, foreligger det dermed et omfattende arbeid for å sette seg inn i regelverket. Dersom EU reviderer byggesaksforordningene, og eventuelt sammenfører eller forenkler de harmoniserte standardene, vil muligheten for å

inkludere både mindre og større entreprenører utbedres. Ved å revidere dagens standardiserte ordninger, vil det kunne tilrettelegges for et nytt marked for ombruksmateriell. Med andre ord, dersom revisjonen trer gjennom, vil reformen av lovverket bidra til å gjøre ombruk mer attraktivt for aktører.

Etter samtale med branningeniør Frode Kirkeli ved AFRY, fikk vi inntrykk av at nivåhevingen av kravene i teknisk forskrift er et hinder for ombruk av byggematerialer. Hevningene fører til strengere krav i standarder, noe som gjør det vanskelig for aktører som vil benytte seg av foreldet material til ombruk. Eldre materialer og komponenter må overholde dagens strenge krav til TEK17, og ikke gjeldende standarder fra året byggevaren ble produsert. Dersom ombruk skal bli mer aktuelt, må dagens nivåheving tas i betraktning. Enten ved at hevingen stopper, eller ved å senke tekniske krav til ombruksmateriell.

### 6.7 Potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer

I hovedsak er de største utfordringene knyttet til ombruk synonymt med byggesaksforordningene, mangel på økonomisk vinning og produktansvar.

Markedet for ombruksmateriell i Norge er tilnærmet ikkeeksisterende (Fuglseth, et al., 2020). I tilknytning til de økonomiske barrierene som står i veien for ombruk, er det klart at det er en rekke utfordringer i dagens næring. For at ombruk skal bli mer attraktivt for aktører, må det stadfestes en enkel måte å kartlegge bygningskomponenter for ombruk.

Når det kommer til bærekraftige og miljøvennlige materialer, har trevirke et klart fortrinn ovenfor stål og betong. Til tross for at materialer som konstruksjonstrevirke er egnet til gjenbruk, vil det i liten grad være hverken økonomisk forsvarlig eller hensiktsmessig, i og med at materialene etter endt livsløp hovedsakelig blir brukt til energigjenvinning (Fuglseth, et al., 2020). Betong er den klare verstingen som krever mest prosessering for ombruk. I tillegg er det inhomogent, noe som gjør prosessen mer omfattende enn ved homogene materialer som trevirke og stålelementer. Stålelementer vil også være godt egnet til ombruk, i og med at det allerede eksisterer klimavennlige løsninger knyttet til gjenbruk av stål. Stål neglisjeres derimot ofte som et ombruksmaterial grunnet manglende kunnskap knyttet til ombruk i bransjen (Fuglseth, et al., 2020). De økonomiske barrierene som ligger til rette for å benytte betong, stål og trevirke som ombruksmateriell, baseres på rimeligere kostnader knyttet til kjøp av nye materialer, i kontrast med allerede eksisterende materialer. For at en eventuell opptrapping i



bruk av ombruksmateriell skal forekomme, må det legges til rette insentiver som eksempelvis skattelettelser på ombruksmateriell (Fuglseth, et al., 2020).

Ombruk er per dags dato ikke hjemlet i lovverket. Det er dermed ikke fastsatt når en eventuell kartlegging av ombruksmateriell bør, eller skal iverksettes. En mulig løsning vil være å gjennomføre dette simultant med miljøkartlegging av bygg. I og med at det allerede er satt krav til gjennomføring av miljøsaneringsbeskrivelse, vil det være gunstig å kartlegge hvilke materialer og komponenter som kan benyttes etter dimensjonert livstid.

Staten må med andre ord forenkle metoder for ombruk. Dette kan eksempelvis forekomme gjennom et symbiotisk forhold mellom offentlig og privat sektor. Dersom offentlig sektor subsidierer det private, vil det foreligge insentiver for markedet knyttet til større satsning på ombruk. Ved å stille krav til gjennomføring og kartlegging under rivningsprosessen, og eventuelt legge til rette en standardisert metode for rivning av bygg, vil det offentlige få utbytte i form av prototyper for å teste ulike fremgangsmetoder for ombruk.

## 6.8 Veien videre

Byggenæringen er en såkalt evighetsnæring, noe som vil si at det til tross for topp og lavkonjunkturer, alltid vil eksistere et behov for å bygge, rehabilitere og vedlikeholde bygg (BNL, 2019). Det vil dermed ikke si at det er hverken lønnsomt eller forsvarlig å opprettholde en lineær økonomi. Dersom dagens utvinning av jomfruelige ressurser fortsetter i samme rate inn i fremtiden, vil verden etter hvert gå tom for ressurser (Capelle, et al., 2019). Det vil dermed være essensielt å få skiftet fokuset mer mot sirkulære løsninger i samfunnet.

Som sett på tidligere i oppgaven eksisterer en rekke initiativer fra bransjen knyttet til ombruk, samt nye teknologiske løsninger for å redusere utslipp. Grunnlaget for ombruk er tilrettelagt, men mangler en helomveltning i bransjen. Noen må ta initiativet for å iverksette endring. Det vil dermed være svært gunstig om offentlig og privat sektor får irttesatt en felles plan for å nå EUs målsetning innen 2050 (European Commission, u.å.a).

Gjennom økonomiske støtteordninger og iverksetting av statlige insentiver for å imøtekomme det grønne skiftet, vil ombruk bli en del av fremtidens tankesett. Det gjelder da å støtte og tilrettelegge for aktører som vil utbrodere seg på markedet gjennom innovative og miljøvennlige løsninger.

## 7 Konklusjon

Byggebransjen trenger et paradigmeskift for å omstille seg til de raskt forekommende sosiale endringene i samfunnet. I stadig større grad vil begreper som sirkulærøkonomi, industriell symbiose og ombruk knyttes opp mot byggenæringen. Det vil derfor være gjeldende å tydeliggjøre hvordan hver enkelt aktør kan bidra til å skifte bransjen mot grønnere løsninger.

Overgangen mot det grønne skiftet i bransjen må forankres i øverste ledd. Det statlige organ må eksemplifisere muligheter for ombruk, slik at det private marked får tilrettelagt konkrete, innovative og bærekraftige løsninger som kan etterfølges og imiteres. Det gjelder dermed for det offentlige å gjøre det enklere og attraktivt å velge grønne løsninger. Nøkkelkriteriet for å oppfylle både FN-kommisjonens målsetning, samt Norges bidrag ovenfor regulativene, vil være større satsning på ombruk. Dette må forekomme i form av både lovendringer, tilrettelegging av insentiver for bransjens aktører, og forenkling av dagens kartlegging tilknyttet ombruksmateriell.

For å underbygge det grønne skiftet, må kartlegging av potensielle ombruksmaterialer i større grad vektlegges. Per i dag vil ikke LiDAR- teknologien i en iPad Pro utkonkurrere en stasjonær laserskanner eller manuell oppmåling. Det vil derimot være mulig å benytte en håndholdt enhet som et supplement til kartlegging av ombruksmateriell. Ved videre satsning på teknologien i innretninger som iPad Pro, vil kartleggingsprosessen kunne forenkles, og mulighetene for ombruk øke betydelig. Det vil dermed avhenge av hvorvidt teknologien satses på, og om det eksisterer et behov i markedet.

Etter muntlig og skriftlig korrespondens med en rekke aktører på markedet, er inntrykket overveldende positivt knyttet til ombruk. Bransjen er åpen for endring, men krever insentiver for å overkomme juridiske, økonomiske og tekniske utfordringer. Overgangsfasen mot en grønnere byggenæring er allerede i full fart. Med et felles mål om å bli en nullutslippsbransje, vil offentlige og private aktører gradvis overkomme dagens hindringer, og sammen jobbe mot å oppnå en sirkulær byggebransje.

## Besvarelse av forskningsspørsmål knyttet til problemstillingen:

- *Hvilke insentiver må til for å øke andel ombruk i byggebransjen?*

Hovedsakelig er det sett på juridiske og økonomiske insentiver i oppgaven. De juridiske insentivene som må legges til rette er opprettelsen av forenklete harmoniserte standarder, for å gi større rom for satsning på ombruk. Med andre ord, en utbedret veileder fra DiBK, og en revisjon av byggesaksforordningene. De økonomiske insentivene er hovedsakelig tilknyttet statlige støtteordninger og reguleringer.

- *Hvilke utfordringer og muligheter med ombruk finnes i dagens bransje?*

Det er en rekke utfordringer og muligheter knyttet til dagens ombrukssituasjon. De fleste utfordringene er hovedsakelig knyttet til dagens reglement, mangel på fortjeneste for aktører som satser på ombruk, og fravær av insentiver i bransjen. Mulighetene er derimot flere. I kapittel 4, er det utarbeidet en foreslått metode for sirkulær materialutnyttelse knyttet til ombrukspotensialet i bransjen. I metoden presenteres flere muligheter på bakgrunn av bransjens allerede utarbeidede løsninger. Ved å ta i bruk forslaget vil en komme et steg nærmere implementering av sirkulære løsninger i bransjen.

- *Kan nyere teknologi implementeres i dagens metoder for kartlegging av ombruksmaterialer?*

Per i dag vil teknologien ikke være tilstrekkelig utviklet. Større avvik enn tillatt fører til at LiDAR-teknologien i en iPad Pro vil kunne fungere som et supplement, men derimot ikke som en erstatning for dagens metoder. Leica ScanStation P20 vil kunne fungere som en erstatning for manuell oppmåling, men har sine ulemper knyttet til pris og anvendelighet.

### 7.1 Forslag til videre arbeid

Et konkret forslag til videre arbeid er å undersøke redistribusjon, skånsom demontering av materialer og logistikk rundt lagring og transport av ombruksmaterialer. Det anbefales dermed å videreutvikle og utbedre modellen i kapittel 4. Et annet forslag vil være å utarbeide en harmonisert standard for ombruksmateriell, ut ifra byggesaksforordningene.

## 8 Litteraturliste

Alnes J. H. (2015) *Deduktiv metode*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/deduktiv\\_metode](https://snl.no/deduktiv_metode) (Hentet: 20.

Andresen K. H. og Micael Z. (2020) *Metode for kartlegging av ombrukspotensial til byggevarer i bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/handle/11250/2659418> (Hentet: 12. februar 2021)

Apple (u.å.) *Kjøp iPad Pro*. Tilgjengelig fra: <https://www.apple.com/no/shop/buy-ipad/ipad-pro/11-tommers-skjerm-128gb-stellargr%C3%A5-wifi> (Hentet: 03. mai 2021)

Arkitektur (u.å.) *Rapport – Grünerløkka studentarhus*. Tilgjengelig fra: <https://www.arkitektur.no/grunerlokka-studentarhus?tid=158202> (Hentet: 14. april 2021)

Asplan Viak (u.å.) *Kristian Augusts gate 13*. Tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/prosjekter/kristian-augusts-gate-13/> (Hentet: 16. april 2021)

BAMB (u.å.a) *Buildings as material banks*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/> (Hentet: 01. mars 2021)

BAMB (u.å.b) *Reversible building design*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/topics/reversible-building-design/> (Hentet: 01. mars 2021)

Beeks S. (2020) *Material passport – Training the Arc*. Tilgjengelig fra: <https://madaster.com/wp-content/uploads/2020/12/Material-Passport-The-Arc-EN.pdf> (Hentet: 08. mars 2021)

Biørnstad L. (2016) *Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet?* Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klimate/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimate/379248> (Hentet: 07. april 2021)

BNL (2019) *Velg byggenæringen!* Tilgjengelig fra: <https://www.bnl.no/artikler/2019/velg-byggenaringen/> (Hentet: 29. april 2021)

Bouton S. *et al.* (2016) *The circular economy: Moving from theory to practice*. Tilgjengelig fra: <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice.ashx> (Hentet: 02. mars 2021)

Boye E. (2019) *Sirkulær framtid - om skiftet fra lineær til sirkulær økonomi*. Tilgjengelig fra: <https://www.framtiden.no/aktuelle-rapporter/874-sirkulaer-framtid-om-skiftet-fra-lineaer-til-sirkulaer-okonomi/file.html> (Hentet: 22. april 2021)

Brütting J. et al. (2019) *The reuse of load-bearing components*. Tilgjengelig fra: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/225/1/012025/pdf> (Hentet: 14. mars 2021)

Butenschøn P. (2020) *Urbanisering*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/urbanisering> (Hentet: 04. mai 2021)

Byggforsk (2018) *Miljøkartlegging og miljøsanering ved riving og ombygging*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/644/miljoekartlegging\\_og\\_miljoesanering\\_ved\\_riving\\_og\\_ombygging?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpqUPGLaShV9KNR2zHaWL8DnFghE6cHv-Ykf24OCrTvAkP\\_NKLAOYtvgr8aArJkEALw\\_wcB#i1](https://www.byggforsk.no/dokument/644/miljoekartlegging_og_miljoesanering_ved_riving_og_ombygging?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpqUPGLaShV9KNR2zHaWL8DnFghE6cHv-Ykf24OCrTvAkP_NKLAOYtvgr8aArJkEALw_wcB#i1) (Hentet: 03. mars 2021)

Capelle T. et al. (2019) *Building as material banks – Testing BAMB results through prototyping and pilot projects*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/03/20190228-BAMB-D14.pdf> (Hentet: 02. mars 2021)

Cloud Compare (2018) *Interactive segmentation tool*. Tilgjengelig fra: [https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Interactive\\_Segmentation\\_Tool](https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Interactive_Segmentation_Tool) (Hentet: 15. april 2021)

Debacker W. et al. (2017) *Circular economy and design for change within the built environment: Preparing the transition*. Tilgjengelig fra: [https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Circular-economy-and-design-for-change-within-the-built-environment\\_prep....pdf](https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Circular-economy-and-design-for-change-within-the-built-environment_prep....pdf) (Hentet: 03. mars 2021)

DiBK (u.å.a) *Finn byggevare og dokumentasjonskrav*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggevarer/finn-byggevarer-og-dokumentasjonskrav/#/> (Hentet: 21. april 2021)

DiBK (u.å.b) *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet: 12. april 2021)

DiBK (u.å.c) *Veiledning til byggevareforordningen – 13. Ytelseserklæringen*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/13.-ytelseserklaringen/> (Hentet: 21. april 2021)

DiBK (2017) *EU vurderer revisjon av byggevareforordningen*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/eu-vurderer-revisjon-av-byggevareforordningen/> (Hentet: 05. april 2021)

DiBK (2020) *Lurer du på noe om ombruk av byggevarer?* Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggevarer/finn-byggevare-og-dokumentasjonskrav/krav-til-dokumentasjon/lurer-du-pa-noe-om-ombruk-av-byggevarer/> (Hentet: 08. mars 2021)

Dr. Durmisevic E. (2018) *WP3 – Reversible building design – guidelines*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf> (Hentet: 02. mars 2021)

DSB (u.å.) *Fakta om CE-merking*. Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/lover/produkter-og-forbrukertjenester/artikler/fakta-om-ce-merking/> (Hentet: 19. mai 2021)

EGGE H. (2021) *Bakteriebasert betong kan gi stor klimagevinst*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/bakteriebasert-betong-kan-gi-stor-klimagevinst/> (Hentet: 19. april 2021)

EGGE H. (2016) *Lager miljøvennlig sement av norsk blåleire*. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/partner-sintef-geofag/lager-miljovennlig-sement-av-norsk-blaleire/437889> (Hentet: 19. april 2021)

Energi og Klima (u.å) *Bygninger må bli mer energieffektive*. Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/klimalosninger/bygg/> (Hentet: 03. mars 2021)

Entra (2021) *KA13 - Erfaringsrapport ombruk*. Tilgjengelig fra: <https://insenti.no/wp-content/uploads/2021/01/KA13-Erfaringsrapport-ombruk-20.01.2021.pdf> (Hentet: 21. april 2021)

European Commission, (u.å.a) *EU climate action and the European Green Deal*. Tilgjengelig fra: [https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en) (Hentet: 22. mars 2021)

European commission (u.å.b) *Industrial symbiosis*. Tilgjengelig fra: [https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2018/05/Industrial\\_Symbiosis.pdf](https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2018/05/Industrial_Symbiosis.pdf) (Hentet: 22. mars 2021)

European Commission, (u.å.c) *2030 Climate Target Plan*. Tilgjengelig fra: [https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030\\_ctp\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en) (Hentet: 22. mars 2021)

- FN-sambandet (2019) *Bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (Hentet: 25. mars 2021)
- FN-sambandet (2020) *Parisavtalen*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (Hentet: 09. april 2021)
- Fuglseth M. et al (2020) *Klimavennlige byggematerialer – Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/tema/klimavennlige-byggematerialer/> (Hentet: 30. april 2021)
- Google Maps (u.å.) *Google maps streetview av Conrad mohrsvei 15*. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/maps/> (Hentet: 07. mai 2021)
- Gravås A. (2019) *MAX-bygget*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/article/1416976> (Hentet: 24. mars 2021)
- Grutle M. (2020) *Ombruk av byggevarer: Ombruksanalyser av eksisterende bygg*. Institutt for arkitektur og planlegging, NTNU Trondheim. Upublisert. (Hentet: 27. april 2021)
- Grønmo S. (2020, a) *Kvantitativ metode*, i SNL. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kvantitativ\\_metode](https://snl.no/kvantitativ_metode) (Hentet: 05. mai 2021)
- Grønmo S. (2020, b) *Kvalitativ metode*, i SNL. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode) (Hentet: 05. mai 2021)
- Grønmo S. (2016, c). *Samfunnsvitenskapelige metoder 2. utg.*, Bergen: Fagbokforl. (Hentet: 05. mai 2021)
- Grønn byggallianse (2019) *Think twice before demolishing*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/11/Think-twice-before-demolishing.pdf> (s.9) (Hentet: 03. mars 2021)
- Holtet J. A. (2018) *Lidar*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lidar> (Hentet: 23. mars 2021)
- Heinrich M. og Lang W. (2019) *Materials passports – Best practice*. Tilgjengelig fra: [https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/BAMB\\_MaterialsPassports\\_BestPractice.pdf](https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/BAMB_MaterialsPassports_BestPractice.pdf) (Hentet: 09. mars 2021)
- Hobbs G. og Adams K. (2017) *Reuse of building products and materials – Barriers and opportunities*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/wp->

[content/uploads/2017/07/Reuse-of-building-products-and-materials-barriers-and-opportunities.pdf](#) (Hentet: 06. mars 2021)

Høines E. (2010) *Ombruk*. Tilgjengelig fra:

[https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/subnettsteder/framtidens\\_byer/samlinger/sarp\\_sborg\\_september\\_2010/erik\\_hoines\\_ombruk.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/subnettsteder/framtidens_byer/samlinger/sarp_sborg_september_2010/erik_hoines_ombruk.pdf) (Hentet: 04. mai 2021)

Idsø J. (2017) *Eksterne virkninger*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/eksterne\\_virkninger](https://snl.no/eksterne_virkninger) (Hentet: 04.mai 2021)

Innovative anskaffelser (2020) *Leverandørkonferanse – ombruk av byggematerialer*.

Tilgjengelig fra:

[https://www.youtube.com/watch?v=s7A4VfMd0rM&ab\\_channel=Innovativeanskaffelser](https://www.youtube.com/watch?v=s7A4VfMd0rM&ab_channel=Innovativeanskaffelser) (Hentet: 29. april 2021)

Insentì (u.å.a) *Erfaringsrapport fra sirkulærprosjektet*. Tilgjengelig fra:

<https://insenti.no/erfaringsrapport-fra-sirkulaerprosjektet-ka13/> (Hentet: 13. april 2021)

Insentì (u.å.b) *Kristian Augusts gate 13 – KA13*. Tilgjengelig fra:

<https://insenti.no/prosjekt/kristian-augusts-gate-13-ka13/> (Hentet: 13. april 2021)

Kilvær L. et al. (2019) *Forsvarlig ombruk av byggevarer*. Tilgjengelig fra:

<https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/litteraturstudie---forsvarlig-ombruk.pdf> (Hentet: 10. mars 2021)

Kjørstad E. (2018) *Hvordan kan vi komme oss ut av «bruk-og-kast-samfunnet»?* Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/resirkulering-miljovern-klima/hvordan-kan-vi-komme-oss-ut-av-bruk-og-kast-samfunnet/1238313> (Hentet: 04. mai 2021)

KS (Kommunens sentralforbund) (2018) *Hva er sirkulær økonomi?* Tilgjengelig fra:

<https://www.ks.no/fagomrader/samfunnsutvikling/miljo/sirkular-okonomi-og-avfallspolitikk/hva-er-sirkular-okonomi/> (Hentet: 10. mars 2021)

Kulmo W. M. (2019) *En vill ide har blitt til miljøvennlig betong*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/en-vill-ide-har-blitt-til-miljovennlig-betong/> (Hentet: 08. april 2021)

Kvellheim A. K. (2020) *Betong er en del av klimaløsningen*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/> (Hentet: 08. april 2021)



- Le Den X. (2019) *A call to action: Why the buildings material sector needs to tackle embodied carbon*. Tilgjengelig fra: <https://ramboll.com/ingenuity/why-the-buildings-material-sector-needs-to-tackle-embodied-carbon> (Hentet: 05. mars 2021)
- Le Den X. og Collin C. (2020) *Circular economy: 8 actions to cut 60% CO2 in the buildings sector*. Tilgjengelig fra: <https://ramboll.com/ingenuity/circular-economy-8-actions-to-cut-60-co2-in-the-buildings-sector> (Hentet: 06. mars 2021)
- Leica (2012a) *Leica ScanStation P20*. Tilgjengelig fra: [https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/hds/hds/scanstation\\_p20/brochures-datasheet/leica\\_scanstation\\_p20\\_dat\\_no.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/hds/hds/scanstation_p20/brochures-datasheet/leica_scanstation_p20_dat_no.pdf) (Hentet: 05. mars 2021)
- Leica (2012b) *Leica ScanStation P20 – System Field Manual*. Tilgjengelig fra: [https://hvl.instructure.com/courses/13918/files/1225599?module\\_item\\_id=350570](https://hvl.instructure.com/courses/13918/files/1225599?module_item_id=350570) (Hentet: 05. april 2021)
- Loop (2018) *Avfall*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/avfall> (Hentet: 04. mai 2021)
- Loopfront (u.å.) *Om Loopfront*. Tilgjengelig fra: <https://www.loopfront.com/no/om-loopfront> (Hentet: 20. april 2021)
- Lowres F. og Hobbs G. (2017) *Challenging the current approach to end of life of buildings using a life cycle assessment (LCA) approach*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Challenging-the-current-approach-to-end-of-life-of-buildings-using-a-lif....pdf> (Hentet: 04. mars 2021)
- Luscuere L. M. (2016) *Materials passports: Optimising value recovery from materials*. Tilgjengelig fra: [https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/01/Luscuere\\_MaterialsPassportsOptimisingValueRecoveryFromMaterials.pdf](https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/01/Luscuere_MaterialsPassportsOptimisingValueRecoveryFromMaterials.pdf) (Hentet: 05. mars 2021)
- Luscuere L. M. (2016) *Materials passports: Providing insights in the circularity of materials, products and systems*. Tilgjengelig fra: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2016/11/lars-sustainable-innovation-paper.pdf> (Hentet: 05. mars 2021)
- McManamon F. P. (2019) *LiDAR Technologies and Systems*. Tilgjengelig fra: <https://www.spiedigitallibrary.org/ebooks/PM/LiDAR-Technologies-and-Systems/2/History-of-LiDAR/10.1117/3.2518254.ch2?SSO=1> (Hentet: 23. mars 2021)

- Miljødirektoratet (2020) *Sirkulær økonomi*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (Hentet: 05. mars 2021)
- Mørk A. C. (2020) *Etablerer nettverk for mer ombruk av byggematerialer*. Tilgjengelig fra: <https://www.multiconsult.no/etablerer-nettverk-for-mer-ombruk-av-byggematerialer/> (Hentet: 26. mars 2021)
- Mørk A. C. (2021) *Bygger marked for brukte materialer*. Tilgjengelig fra: <https://www.multiconsult.no/bygger-marked-for-brukte-materialer/> (Hentet: 25. mars 2021)
- Norsk betongforening (2017) *Nordic concrete research*. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmli/bitstream/handle/11250/2463869/Pages%2bfrom%2bNCR-Nr.-56-web-30juni17.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Hentet: 07. april 2021)
- Oppikofer T. (2015) *Terrestrisk laserskanning*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/emne/terrestrisk-laserskanning> (Hentet: 11. mars 2021)
- Oslo Kommune (u.å.) *Hente eller levere til ombruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/avfall-og-gjenvinning/ombruk/> (Hentet: 16. mars 2021)
- Osterwalder og Pigneur (2010) *Forretningsmodeller*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/gbo-1-6.1-forretningsmodeller.pdf> (Hentet: 04. mai 2021)
- Persen K. (2020) *Her var det et kriselager. Nå er kornsiloen fylt med studenter*. Tilgjengelig fra: <https://www.tv2.no/a/11380319/> (Hentet: 28. april 2021)
- Petersen A. K. og Holthe K. (2016) *Ombruk og materialgjenvinning av betong*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/download/ombruk-og-gjenvinning-av-betong/> (Hentet: 06. april 2021)
- Regjeringen (2021) *Nå blir det enklere å bruke brukte byggematerialer om igjen*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/na-blir-det-enklere-a-bruke-brukte-byggematerialer-om-igjen/id2828497/> (Hentet: 30. mars 2021)
- Sintef Certification (u.å.) *CE-merking av byggevarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/portalpage/index/70> (Hentet: 27. april 2021)
- SiteScape (u.å.a) *FAQ*. Tilgjengelig fra: <https://www.tescape inc.ai/faq> (Hentet: 06. mai 2021)

SiteScape (u.å.b) *SiteScape user guide*. Tilgjengelig fra: <https://sitedscape.ai/user-guide>  
(Hentet: 06. mai 2021)

Smart Lahti (u.å.) *Kujala waste symbiosis*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.smartlahti.fi/content/kujala-waste-symbiosis/> (Hentet: 07. april 2021)

SNL (2020) *In situ*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/in\\_situ](https://snl.no/in_situ) (Hentet: 14. april 2021)

SNL (2020) *Paradigme*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/paradigme> (Hentet: 04. mai 2021)

SSB (2016) *Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>  
(Hentet: 20. mars 2021)

Standard Norge (2021) *Harmoniserte standarder*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/standardisering/ce-merking/nye-metode-og-harmoniserte-standarder/>  
(Hentet: 16. mai 2021)

Statsbygg (2021) *Kjempetelt blir Norges største sentral for ombruk*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.statsbygg.no/nyheter/kjempetelt-blir-norges-storste-sentral-for-ombruk> (Hentet:  
20. mars 2021)

Sørnes K. et al (2014) *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.sintefbok.no/book/index/985/anbefalinger\\_ved\\_ombruk\\_av\\_byggematerialer](https://www.sintefbok.no/book/index/985/anbefalinger_ved_ombruk_av_byggematerialer)  
(Hentet: 03. mars 2021)

Techterms (u.å.) *ASCII definition*. Tilgjengelig fra: <https://techterms.com/definition/ascii>  
(Hentet: 3. mai 2021)

Tidemann A. (2020) *Kunstig intelligens*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kunstig\\_intelligens](https://snl.no/kunstig_intelligens)  
(Hentet: 04. mai 2021)

Tollefsen M. (2020) *Hva er LiDAR*. Tilgjengelig fra: <https://www.smartja.no/hva-er-lidar/>  
(Hentet: 23. mars 2021)

United Nations- Environment programme (u.å.) *Building sector emissions hit record high, but low-carbon pandemic recovery can help transform sector – UN report*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/building-sector-emissions-hit-record-high-low-carbon-pandemic> (Hentet: 05. mai 2021)

Wang K. et al. (2017) *Business models for building material circularity: Learnings from frontrunner cases*. Tilgjengelig fra: [https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Business-models-for-building-material-circularity\\_learnings-from-frontru....pdf](https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Business-models-for-building-material-circularity_learnings-from-frontru....pdf) (Hentet: 03. mars 2021)

Widenoja E., Myhre K. og Kilvær L. (2018) *Ombruk av konstruksjonsstål og tilhørende byggematerialer*. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/68533660-Dip15-ombruk-av-konstruksjonsstal-og-tilhorende-byggematerialer-norsk-stalforbund-2017.html> (Hentet: 09. mars 2021)

Wigmore I. (2012) *Downcycling*. Tilgjengelig fra: <https://whatis.techtarget.com/definition/downcycling> (Hentet: 04. mai 2021)

Wikipedia (2020) *Downsampling (signal processing)*. Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Downsampling\\_\(signal\\_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Downsampling_(signal_processing)) (Hentet: 10. april 2021)