

Julie Christine Rekdal
Johan Bernhard Nestås Billing

Scan to BIM for eksisterende bygg

En case studie av hvordan kan Scan to BIM bidra til sirkulær økonomi ved rehabilitering av eksisterende bygg og gevinstene med det

Mai 2022

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Bacheloroppgave

2022



Julie Christine Rekdal
Johan Bernhard Nestås Billing

Scan to BIM for eksisterende bygg

En case studie av hvordan kan Scan to BIM bidra til sirkulær økonomi ved rehabilitering av eksisterende bygg og gevinstene med det

Bacheloroppgave
Mai 2022

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Scan to BIM for eksisterende bygg	Dato: 20.05.2022		
	Antall sider: 85		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Julie Christine Rekdal og Johan Bernhard Nestås Billing			
Veileder: Lizhen Huang			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Ikke aktuelt			

Sammendrag:

Siden byggebransjen står for 40% av det samlede energiforbruket og 40% av materialforbruket, har bransjen et ansvar til å redusere forbruket. Denne bachelor oppgaven er laget for å støtte overgangen fra lineær økonomi til sirkulær økonomi, under det grønne skiftet-sirkTRE er finansiert av Norges forskningsråd. «sirkTRE» har som mål å løfte byggenæring og treindustrien i retningen det grønne skiftet ved å sørge for at returtre gjenbrukes i byggeprosjekter.

Oppgaven handler om, hvordan man kan 3D-modellere et eldre eksisterende tre bygg ved hjelp av Scan to BIM, for å hente ut informasjon om materialmengder. Denne informasjonen kan knyttes opp mot tanken om å kunne gjenbruke materialene og ha en oversikt over hvor mye av materialene som er tilgjengelig til gjenbruk.

Denne oppgaven har som mål å besvare følgende problemstilling:

Hvordan kan Scan to BIM bidra til sirkularitet av eksisterende bygg: case av låver i Norge?

For å svare på problemstillingen har vi laget 3D-modeller av tre låver, som visualiserer et forslag på ferdige bygg modellert fra punktsky data. Videre svarer vi på hvordan BIM er brukbart i rehabilitering prosesser og hvordan det kan hjelpe ved gjenbruk og resirkulering av materialer og rivnings avfall.

Som resultat av oppgaven vises ferdig 3D-modell, planløsning, samt materialmengden som ble hentet ut av 3D-modellene av låvene. Resultatene fra skanningene og modelleringen skal være tilgjengelig for fremtidig bruk av andre om det skulle være ønskelig å utvikle modellene mer detaljert.

Endelig konklusjon er at Scan to BIM fungerer godt ved visualisering og mengdeberegning av eksisterende bygg, men trenger ytterligere informasjon for å kunne bli brukt for å finne ut av hvilke materialer som kan bli gjenbrukt. I tillegg, kommer det frem at målet med prosjektet sirkTRE, er fullt mulig å gjennomføre, men det må bli satt begrensinger med tanke på hva slags deler av konstruksjoner som kan bli gjenbrukt. Potensialet til prosjektet er avhengig av kvaliteten til trevirke, og kostnadene som er knyttet med redokumentasjon av bygningselementer ved gjenbruk.

Stikkord:

Sirkulær økonomi
Ombruk byggematerialer
Scan to BIM
BIM

Julie Christine Rørdal

(sign.)

John BN Billing

(sign.)

Abstract

Since the construction industry accounts for 40% of the total energy consumption and 40% of the material consumption, has the industry a responsibility to reduce consumption. This bachelor thesis is created to support the transition from linear economics to circular economics, under Green Platform-sirkTRE financed by Norwegian research council. "sirkTRE" aim to lift the construction industry and the wood industry in the direction of the green transition by ensuring that recycled wood is reused in construction projects.

This thesis focuses on, how to make 3D-models of older existing wooden buildings with the help of Scan to BIM, to collect information about quantities of materials. This information can be linked up to the thought of the possibility to reuse the materials and get an overview over how much of the materials that are available for reuse.

This thesis aims to answer the following research question:

How can Scan to BIM contribute to the circularity of existing buildings: case of barn in Norway?

To answer the research question, we have made 3D-models of three barns, to visualize a suggestion on finalized buildings, through the point cloud data. Further, we discuss how BIM can be used in the rehabilitation processes, as well how this can help with reuse and recycling of materials and waste related to demolition.

As a result of the assignment, the finished 3D model, floor plan, as well as the amount of material that was extracted from the 3D models of the barns are shown. The results from the scans and modelling are available for future use by others if it should be desirable to develop the models in more detail.

The conclusion is that Scan to BIM works well when visualizing and quantifying existing buildings but needs additional information to be able to be used to find out which materials can be reused. In addition, the goal of the project sirkTRE is possible to implement, but restrictions must be set with regard to what kind of parts of constructions can be reused. The potential of the project depends on the quality of the wood, and the costs associated with the documentation of building elements through reuse.

Forord

Denne bacheloroppgaven er utført høsten 2021 og våren 2022 ved institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk ved Norge Tekniske-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Arbeidet er vektlagt 20 studiepoeng og er det avsluttende arbeidet for utdanningen bygg ingeniør.

En spesiell takk til vår veileder Lizhen Huang som har bidratt stort med å forme oppgaven, og hjulpet oss på veien til et ferdig produkt. Takk til Tormod Urke for punktsky data. I tillegg må vi takke alle som har bidratt med sin erfaring og kunnskap.

Innholdsfortegnelse

Abstract.....	III
Forord.....	IV
Innholdsfortegnelse	V
Figurliste.....	IX
Tabelliste.....	XI
Forkortelser.....	XII
Ordforklaring.....	XIII
Kapittel 1: Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hvorfor Scan to BIM.....	2
1.3 Formål	2
1.4 Problemstillingen	3
1.5 Omfang og avgrensninger	3
1.6 Oppgavens oppbygning	4
Kapittel 1: Innledning.....	4
Kapittel 2: Teori.....	4
Kapittel 3: Metode	4
Kapittel 4: Resultat.....	4
Kapittel 5: Drøfting.....	5
Kapittel 6: Konklusjon	5
Kapittel 2: Teori.....	6
2.1 Sirkulær økonomi.....	6
2.1.1 Klimakrise og behov for endring.....	6
2.1.2 Hvorfor sirkulær økonomi.....	6
2.1.3 Hva er lineær økonomi.....	7
2.1.4 Fra lineær økonomi til sirkulær økonomi.....	8
2.1.5 Sirkulære bygg.....	9
2.1.6 Sirkulær økonomien til trelast	10
2.1.7 Avhending av materialer	11
2.1.8 Miljøgevinstene ved ombruk	13
2.1.9 Gjenvinning av avfall fra byggeaktivitet.....	14
2.1.10 Potensialet med sirkulær økonomi av låver i Norge.....	15
2.1.11 Lover og forskrifter.	16
2.1.12 Produktdatabaser tilknyttet byggebransjen	17
2.2 Digitalisering av byggeplass	17

2.2.1 Hvorfor BIM.....	18
2.2.2 BIM for nye bygg.....	18
2.2.3 BIM for eksisterende bygg.....	19
2.2.4 HBIM	20
2.3 Scan to BIM	21
2.3.1 Bruksområder for laserskanning i byggebransjen	22
2.3.2 Spørreundersøkelse rundt bruken av Scan to BIM på verdensbasis	22
2.3.3 Undersøkelse av bruk av HBIM.....	23
2.4 Automatiserte punktsky til BIM-modell programmer	24
2.4.1 Leica Cyclone 3DR	25
2.4.2 EdgeWise.....	25
2.5 Utfordringer rundt denne teknologien.....	26
2.6 BIM potensial	27
2.7 Digitale sirkulær økonomiske plattformer.....	27
2.7.1 Madaster	27
2.7.2 Loopfront	28
2.7.3 SimaPRO.....	28
2.8 BIM prosess.....	29
2.9 EPD	30
2.10 BuildingSmart.....	30
2.11 BIM og sirkulær økonomi.....	30
2.12 Kvantitativ kontroll	31
Kapittel 3: Metode	33
3.1 Case studiet.....	33
3.2 Forskningsdesign.....	33
3.3 Relevante programvarer	34
3.3.1 Autodesk Revit	34
3.3.2 Autodesk ReCap	35
3.3.3 Autodesk Civil3D	36
3.3.4 Excel	36
3.4.1 Punktskybehandling.....	36
3.5 Modelleringen.....	39
3.5.1 Valg av konstruksjonselementer.....	40
3.6 Fremgangsmåte for resultatberegning av mengder	41
3.6.1 Tilføring av informasjon om konstruksjonselementer.....	41
3.6.2 Innhenting av mengde resultater	41

3.6.3	Resultat innhenting i Revit.....	42
3.6.4	Eksportering av mengdeberegninger fra Revit til Excel.....	42
3.6.5	Mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge.....	43
Kapittel 4:	Resultat.....	44
4.1	Resultater av låven i Kviteseid i Telemark	44
4.1.1	Planløsning	45
4.1.2	Indre konstruksjon til låven i Kviteseid	47
4.1.3	Mengdeberegning av låven i Kviteseid	47
4.2	Resultater av den lille låven i Nes i Ådal	48
4.2.1	Planløsning av den lille låven i Nes i Ådal	49
4.2.2	Indre konstruksjon til den lille låven i Nes i Ådal	50
4.2.2	Mengdeberegning av den lille låven i Nes i Ådal	50
4.3	Resultater av den høye låven i Nes i Ådal.....	51
4.3.1	Planløsning av den høye låven i Nes i Ådal	52
4.3.2	Indre konstruksjon til høye låven i Nes i Ådal.....	53
4.3.3	Mengdeberegning av den høye låven i Nes i Ådal.....	53
4.4	Mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge.....	54
Kapittel 5:	Drøfting.....	55
5.1	Begrensinger knyttet til oppgaven.....	55
5.1.1	Nøyaktighet.....	55
5.1.2	Kvalitet	55
5.1.3	Identifikasjon.....	56
5.2	Veien videre	56
5.3	Drøfting om BIM sitt potensial for sirkulær økonomien.....	57
Kapittel 6:	Konklusjon	59
6.1	Om Scan to BIM bidrar til sirkulær økonomi	59
6.2	Kan returtre ombrukes i byggeprosjekter.....	59
6.3	Modellering av punktsky.....	59
6.4	Betydning av utførte mengdeberegninger	60
6.5	Oppsummering	60
Litteraturliste	61
Vedlegg	67
Vedlegg 1:	Visuell representasjon av 3D-modell av låven i Kviteseid i Telemark.....	67
Vedlegg 2:	Visuell representasjon av 3D-modell av den lille låven i Nes i Ådal.....	69
Vedlegg 3:	Visuell representasjon av 3D-modell av den høye låven i Nes i Ådal	71
Vedlegg 4:	Tabeller for mengdeberegning av låven i Kviteseid i Telemark.....	73

Vedlegg 5: Tabeller for mengdeberegning av den lille låven i Nes i Ådal.....	77
Vedlegg 6: Tabeller for mengdeberegning av den høye låven i Nes i Ådal	80
Vedlegg 7: Tabeller for mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge	83

Figurliste

Figur 1 Fremstilling av lineær økonomi. Figur er inspirert av fremstillingen fra snl.	8
Figur 2 Fremstilling av sirkulær økonomi. Figur er inspirert av fremstillingen fra snl.	8
Figur 3 Avfallspyramide med beskrivelser. Bilde: snl.no.....	12
Figur 4 Andel prosjekter levert i BIM-modeller i de siste 12 månedene (2020) fra undersøkelser utført med laserskanning og digital fotogrammetri. (Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021))	23
Figur 5 Oversikt over hvilke kontinenter som har flest byggeprosjekter knyttet til vernede/ikke-vernede bygninger. Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021).....	24
Figur 6 Oversikt over hva slags automatiske metoder som er mest brukt innen BIM. Figur er basert på tall hentet fra (Rocha, 2021)	25
Figur 7 (a) Digitale verktøy som er brukt i BIM-modellering, (b) Digitale verktøy som brukes for å assistere i modelleringsfasen. Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021)	26
Figur 8 Viser forskningsdesignet for teori for å kunne svare på problemstillingen.....	34
Figur 9 Punktsky av låven i Kviteseid i Telemark. Laserskanning gjort av Tormod Urke.....	37
Figur 10 Viser punktsky av låven i Kviteseid i Telemark ovenfra, og røde sirkler med oversikt over hvor laserskanningen har blitt utført. Punktsky gjort av Tormod Urke.	37
Figur 11 Viser hvordan punktskyen av låven i Kviteseid i Telemark ser ut inni. Laserskanning gjort av Tormod Urke.....	38
Figur 12 Viser punktsky av låvene i Nes i Ådal, og røde sirkler med oversikt over hvor laserskanningen har blitt utført. Punktsky gjort av Tormod Urke.....	38
Figur 13 Viser hvordan punktsky av låven i Nes i Ådal ser ut inni. Laserskanning gjort av Tormod Urke.	39
Figur 14 360-graders bilde av innsiden av ene låven i Nes i Ådal. Bilde: Tormod Urke	39
Figur 15 Fremstiller metode fra mottatt punkt skydata til en 3D-modell, og deretter materialanalyse av 3D-modell. Figur laget i PowerPoint.	40
Figur 16 Viser eksempel på hvordan man tilfører informasjon i veggen.....	41
Figur 17 Fotografi av låven i Kviteseid, punktsky av låven i Kviteseid og 3D modell av låven i Kviteseid. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit.....	44
Figur 18 Render av låven i Kviteseid fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.	45
Figur 19 Planløsning for Level 0/første etasje av låven i Kviteseid. Skjermklipp fra Revit.....	45
Figur 20 Planløsning for Level 1/andre etasje av låven i Kviteseid. Skjermklipp fra Revit.....	46
Figur 21 Planløsning for Level 2/tredje etasje av låven i Kviteseid. Skjermklipp fra Revit.....	46
Figur 22 Visning av indre konstruksjonen til låven i Kviteseid. Skjermklipp fra ReCap og Revit	47
Figur 23 Fotografi av den lille låven i Nes, punktsky av den lille låven i Nes og 3D modell av den lille låven i Nes. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit	48
Figur 24 Render av den lille låven i Nes i Ådal fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.	48
Figur 25 Planløsning for Level 1 for den lille låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.	49
Figur 26 Planløsning Level 2 for den lille låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.....	49
Figur 27 Visning av indre konstruksjonen til den lille låven i Nes.. Skjermklipp fra ReCap.....	50
Figur 28 Fotografi av den lille høye i Nes, punktsky av den høye låven i Nes og 3D modell av den høye låven i Nes. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit	51
Figur 29 Render av den høye låven i Nes i Ådal fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.....	51
Figur 30 Planløsning for kjelleren til den høye låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.	52
Figur 31 Planløsning for første etasje/level 1 til den høye låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.....	52
Figur 32 Visning av indre konstruksjonen til den høye låven i Nes. Skjermklipp fra ReCap	53
Figur 33 Dekonstruksjon og avfallshåndteringsprosess. Figur basert på figur fra (Xin Janet Ge, 2017)	56
Figur 34 3D-modell av låven i Kviteseid fra Nord. Render hentet fra Revit.....	67

Figur 35 3D-modell av låven i Kviteseid fra Sør. Render hentet fra Revit.....	67
Figur 36 3D-modell av låven i Kviteseid fra Vest. Render hentet fra Revit.....	68
Figur 37 3D-modell av låven i Kviteseid fra Øst. Render hentet fra Revit.....	68
Figur 38 3D-modell av den lille låven i Nes fra Nord. Render hentet fra Revit.....	69
Figur 39 3D-modell av den lille låven i Nes fra Sør. Render hentet fra Revit.....	69
Figur 40 3D-modell av den lille låven i Nes fra Vest. Render hentet fra Revit.....	70
Figur 41 3D-modell av den lille låven i Nes fra Øst. Render hentet fra Revit.....	70
Figur 42 3D-modell av den høye låven i Nes fra Nord. Render hentet fra Revit	71
Figur 43 3D-modell av den høye låven i Nes fra Sør. Render hentet fra Revit	71
Figur 44 3D-modell av den høye låven i Nes fra Vest. Render hentet fra Revit	72
Figur 45 3D-modell av den høye låven i Nes fra Øst. Render hentet fra Revit.....	72

Tabelliste

Tabell 1 Fordeling av avfallshåndtering for materialgrupper i 2020. Tabell utformet basert på tall fra (SSB, 2021)	15
Tabell 2 Viser prosentvis hvor mye av alt avfall fra trevirke som ble levert til materialgjenvinning og energiutnyttelse fra 2013-2020. Kilde: (SSB, 2021).....	16
Tabell 3 Mengdeberegning av treverket i låven som ligger i Kviteseid basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.	47
Tabell 4 Mengdeberegning av treverket i den lille låven som ligger i Nes basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.	50
Tabell 5 Mengdeberegning av treverket i den høye låven som ligger i Nes basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.	53
Tabell 6 Mengdeberegning av mulig spart trelast fra låver i Norge. Tabell hentet fra Excel.	54
Tabell 7 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for låven i Kviteseid i Telemark. Tabell hentet fra Excel.	73
Tabell 8 Viser Floor Material Takeoff for låven i Kviteseid i Telemark. Data er eksportert fra Revit og over til Excel. Tabell hentet fra Excel.....	74
Tabell 9 Viser Structural Framing Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for låven i Kviteseid i Telemark. Tabell hentet fra Excel.....	75
Tabell 10 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for låven i Kviteseid i Telemark. Tabell hentet fra Excel.....	76
Tabell 11 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.....	77
Tabell 12 Viser Floor Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.....	77
Tabell 13 Viser Structural Framing Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.	78
Tabell 14 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.	79
Tabell 15 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.	80
Tabell 16 Viser Floor Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.	80
Tabell 17 Viser Structural Framing Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.....	81
Tabell 18 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.....	82
Tabell 19 Viser grunnflaten av alle driftsbygninger for jordbruksbedrifter i 2013, og verdi per fylke. Tabell er basert på tall hentet fra (SSB, 2019).	83
Tabell 20 Viser antall driftsbygninger for jordbruksbedrifter i 2013, og antall per fylke. Tabell er basert på tall hentet fra (SSB, 2019).	84
Tabell 21 Oversikt over antall driftsbygninger i Norge fra 2007-2020 med prosentvis endring per år, og reduksjon totalt fra 2007-2020. Tabell basert på tall hentet fra (SSB, 2021).	85

Forkortelser

BIM	Bygningsinformasjonsmodellering
HBIM	Heritage Bygningsinformasjonsmodellering
HMS	Helse, Miljø og Sikkerhet.
IFC	Industry Foundation
IFD	International Framework for Dictionaries
IDM	Information Delivery Manual
VVS	Varme-, Ventilasjons- og Sanitærteknikk
LOD	Level of Development/Design/Detail
LOI	Level of Information
LCA	Life Cycle Analysis
EPD	Environmental Product Declaration
CSV	Comma-Separated Values
NOBB	Norsk byggevarebase
SSB	Statistisk sentralbyrå
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet
TEK	Byggteknisk forskrift

Ordforklaring

BIM	BIM er digitale 3D-modeller av eksisterende bygg eller kommende bygningsmasse. BIM er sentralt i en samarbeidsprosess mellom forskjellige bidragsytere og fagområder. BIM modellen kan bli beriket med informasjon fra fagområder som bygg, elektro, VVS og rør
HBIM	Heritage BIM eller historisk BIM er BIM modeller av historiske bygninger
ÅpenBIM	En betegnelse på en bygningsmodell eller en prosess hvor filformatet for modellen er det internasjonale og åpne filformatet IFC
As-built	En tegning eller 3D data som viser hvordan en bygning faktisk er bygget
As-designed	En tegning eller 3D data som viser hvordan en bygning er designet til å sees ut
Bygningsvern	Et begrep som hovedsakelig brukes om bygninger som er av spesiell arkitektonisk, historisk eller kulturell interesse, og må derfor bli tatt vare på og ikke gjøres endringer på uten tillatelse fra planmyndigheter
Parametrisk	Et begrep som brukes for å beskrive en dimensjons evne til å endre formen på modellgeometrien når dimensjonsverdien endrer seg. Hvis en endrer på en dimensjon, endrer også relaterte dimensjoner seg i forhold til den endrede dimensjonen
Bærekraft	Et begrep som blir brukt om å ha egenskapen til at noe kan opprettholdes på et nivå over tid
Grønne skiftet	Det grønne skiftet handler om hvordan Norge skal bli et lavutslippsland innen 2050
BREEAM	Er verdens eldste og Europas ledende miljøsertifiseringsverktøy for bygninger
IFC	Et filformat for utveksling av bygningsinformasjonsmodellering
LOD	Et begrep som brukes om den generelle tilstanden til en BIM-modell på et bestemt punkt i prosessen med tanke på grafisk informasjon
LOI	Et begrep som brukes om den generelle tilstanden til BIM-modell på et bestemt punkt i prosessen med tanke på ikke-grafisk informasjon

LCA	LCA er en metode for å beregne miljøbelastningene og vurdere miljøpåvirkningene fra en tjeneste eller et produkt, deler av et bygg eller hele bygget over en avgrenset periode
EPD	Det er en miljødeklarasjon som kortfattet beskriver et produkt eller tjeneste sin miljøpåvirkning
CSV	Et filformat brukt for å lagre data i tabeller
RCS	Et filformat brukt for skannefiler av de faktiske punktskydataene.
RCP	Et filformat brukt for prosjekt-filer som peker til RCS-filer, og inneholder tilleggsinformasjon som skanneregioner, registrerte avstander og merknader
Materialbanker	En materialbank er en portefølje av data med informasjon om materialene som et bygg består av.
Driftsbygning	En driftsbygning i landbruket er et uthus med mange funksjoner. De mest vanlige funksjonene er løe, låve, fjøs og stall. Disse er ofte kombinert med grisehus og hønsehus.

Kapittel 1: Introduksjon

Innledningkapitlet gir en beskrivelse av oppgaven og hva oppgaven skal besvare. Dette kapitlet presenterer formål og forskningsspørsmålet som vil ligge til grunn for hele oppgaven. Avslutningsvis i kapitlet beskrives omfanget og avgrensninger i caset.

1.1 Bakgrunn

Den grønne omstillingen verden står ovenfor regnes i dag som en av de største utfordringene. Verdens ressurser begynner å bli knappe og verden har også dårligere tid. Byggebransjen bruker enormt mye ressurser. I Europa står byggebransjen for 40% av det samlede energiforbruket og 40% av materialforbruket. (TU, 2015)

Mye av dette er på grunn av den lineære økonomien, som baserer seg på utvinn-bruk-kast. Alle bygge materialene er laget av ressurser vi utvinner fra naturen. For at bransjen skal være med å bidra må det store forandringer til, og en overgang til sirkulær økonomi kan være fordelaktig. De sirkulære økonomiske prinsippene har som mål å eliminere avfall som begrep, og lukke materialsyklusene slik at ressurser holder seg i økonomien over flere sykluser.

Et av de viktigste områdene for å redusere bransjens miljøavtrykk er å gjenbruke materialer for å redusere avfallet. Det vil være avgjørende at bransjen klarer å implementere en sirkulær økonomisk struktur for å øke materialutnyttelsen. Oppmerksomheten rundt sirkulær økonomi har i de siste årene hatt en sterk vekst og blitt et fokus for beslutningstakere, forskningsmiljøer og ulike næringer. Med bakgrunn i dette har sirketRE utarbeidet et prosjekt for å løfte treindustrien og byggenæringen mot det helsirkulære. Det grønne skiftet skal sørge for at returtre gjenbrukes i byggeprosjekter og inngår som råstoff i dagens treindustri.

For å få til dette må vi omstille oss til et samfunn hvor vekst og utvikling skjer innenfor naturens tålegrenser. Hvis vi skal nå målene krever det en omstilling som omfatter samfunnsområder og aktører. Innovasjon og teknologi utvikling er en av nøklene til det grønne skiftet.

I vår case-studie om Scan to BIM lager vi 3D-modeller ut fra punktskyer basert på en låve som ligger i Kviteseid i Telemark, og to låver som ligger i Nes i Ådal. Låven i Kviteseid ble

bygd i 1927, og låvene i Nes ble bygd rundt 1900. Alle låvene skal rehabiliteres. Disse låvene er i ferd med å falle sammen og vårt ønske sammen med sirkTRE er at disse låvene kan bli et eksempel på ombruk. Vi skal se på løsninger for å bidra til det grønne skiftet og hvordan digitalisering (Scan to BIM) kan være med på å bidra til å gå fra lineær økonomi til sirkulær økonomi. Grunnen til at vi valgte dette temaet er fordi vi er interessert i digitale løsninger, miljø og ønsker å se på måter for å effektivisere byggebransjen.

1.2 Hvorfor Scan to BIM

Med fremveksten av bygningsinformasjonsmodellering (BIM), som gjør at konstruksjon kan administreres i sin totale livssyklus, fra design og konstruksjon til vedlikehold og administrasjon etter bruk, har det også blitt en etterspørsel etter BIM-modeller av eksisterende bygninger.

3Dlaser-skanner og fotogrammetri spiller en viktig rolle i denne prosessen da de gjør det mulig å utføre undersøkelsesstadiet mye raskere enn med tradisjonelle manuelle teknikker. I tillegg muliggjør det innhenting av mer informasjon og flere detaljer. Dette blir fanget opp med høy presisjon og komplekse geometrier. Bruken av 3D laserskanningsteknologi for bygningsmåling gjør at vi kan få en punktsky, og deretter danne digital dokumentasjon, som vil gjøre det mulig å lage en BIM modell av et skannet objekt.

Ved å ta i bruk 3D-skanning og BIM er det da mulig å definere den mest bærekraftige og økonomiske dekonstruksjons- og gjenbruksstrategien for byggesektoren. Å koble det digitale systemet til den innovative BIM skaper en syklus mellom design, konstruksjon og riving. Knappe ressurser gjenbrukes på denne måten og kan drastisk redusere byggesektorens enorme CO2-utslipp.

1.3 Formål

Formålet med denne oppgaven er å finne en effektiv metode for hvordan man kan hente ut materialmengder av et tre-bygg ved hjelp av skanning og BIM.

Hensikten med å innhente informasjon om materialmengder er å undersøke muligheter for gjenbruk som er viktig for overgangen til sirkulær økonomi. Dette omfatter både gjenbruk av

bygningdeler i nye bygg og gjenvinning i form av materialeresirkulering eller energiproduksjon.

1.4 Problemstillingen

BIM har de de siste årene vært et mye omtalt emne i byggenæringen. BIM er en prosess for å opprette og administrere informasjon om bygg gjennom livssyklusen. Bruken av BIM i rehabilitering er mindre utbredt enn BIM i nye bygg. Det er flere utfordringer og problemstillinger rundt BIM og rehabilitering; hvor vanskelig er det å lage en modell av et eksisterende bygg, hvor kostbart er det, og hva er gevinstene?

Vår problemstilling er:

Hvordan kan Scan to BIM bidra til sirkularitet av eksisterende bygg: case av låver i Norge?

- Hvordan modellere eksisterende bygninger for sirkulær økonomi?
- Er Scan to BIM en effektiv metode for å modellere 3D-modeller av eksisterende bygninger?
- Kan denne metoden bidra til at returtre ombrukes i byggeprosjekter?

Den digitale modellen som vi lager, skal gi en visuell presentasjon av låvene. Våre forskningsspørsmål er til for å legge grunn for resten av oppgaven. Ved å besvare dette er det ønskelig å belyse implementeringen av BIM og punktsky data for å undersøke potensialet for gjenbruk av materialer og gå fra lineær til sirkulær økonomi.

1.5 Omfang og avgrensninger

Arbeidet i denne oppgaven tilsvarer 20 poeng, noe som medfører at avgrensninger er nødvendig for å oppnå tilstrekkelig dybde. Oppgaven forutsetter en generell forståelse og kunnskap til Scan to BIM, BIM og digital tilnærming for sirkulær økonomi. Vårt mål med oppgaven var originalt å lage en nøyaktig 3D – modell av låvene der vi kunne utføre en kvalitativ analyse og kvantitativ analyse. På grunn av manglende dokumentasjon har vi ikke tilstrekkelig informasjon å tilføre modellen vår, og kan derfor ikke utføre en kvalitativ analyse. Oppgaven blir da en kvantitativ analyse på mengde beregninger knyttet til oppføring, rehabilitering eller riving av de tre låvene.

1.6 Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven består av seks kapitler. Innledningsvis blir oppgavens momenter beskrevet. Deretter tar teorikapitlet for seg sirkulær økonomi, Scan to BIM og BIM. I metodekapitlet illustreres aspekter innenfor metodelære og metodebruk, og oppgavens metodetilnærming beskrives i sin helhet. For resultat kapitlet presenteres 3D-modellene vi har laget som er basert på punktskyene, samt en kvantitativ analyse av modellene. I drøfting kapitlet blir det diskutert oppgavens forskningsspørsmål utfra resultat, metode og teori, og med utgangspunkt i drøftingen gis det en besvarelse av oppgaven i konklusjonskapitlet.

Kapittel 1: Innledning

Formålet med dette kapitlet er å gi en kort beskrivelse av behovet vi har i dag for å gå fra lineær til sirkulær økonomi og hvordan dagens teknologi som Scan to BIM og BIM kan bidra til å forbedre denne prosessen. I tillegg introduseres oppgavens formål, omfang og begrensninger. Til slutt presenteres oppgavens oppbygging.

Kapittel 2: Teori

I teori kapitlet beskrives først sirkulær økonomi og behovet for at vi trenger en overgang fra lineær økonomi til sirkulær økonomi. Videre beskrives BIM og Scan to BIM for rehabiliteringsprosessen, samt denne teknologien sin utvikling og gevinstrealiseringen. Avslutningsvis presenteres BIM sitt potensial med hensyn på miljøperspektivet og hvordan teknologien bidrar med overgangen til sirkulær økonomi.

Kapittel 3: Metode

I metodekapitlet vises gjennomføringen vår fra mottatt punktskydata til ferdig 3D-modell. Vi viser til relevante programmer som har blitt brukt for å gjennomføre oppgaven og prosessen om hvordan man finner materialmengder blir presentert.

Kapittel 4: Resultat

I resultat kapitlet presenteres 3D-modellene av låvene vi har laget i Revit og en kvantitativ analyse fra modellene. Hensikten med dette kapitlet er å tilføre oppgaven relevant data som ligger til grunnlag for drøftingen.

Kapittel 5: Drøfting

I dette kapitlet drøftes teori og resultat fra de foregående kapitlene ut ifra valgt problemstilling. Det blir lagt frem utfordringene rundt modellering og til slutt veien videre. Dette legger også grunnlag for videre konklusjon og besvarelse av oppgaven.

Kapittel 6: Konklusjon

I dette kapitlet oppsummeres de viktigste punktene under drøftingen som munner ut i en konklusjon og besvarelse av oppgaven.

Kapittel 2: Teori

2.1 Sirkulær økonomi

Første halvdel av teorien handler om sirkulær økonomi. Innledningsvis blir det lagt frem teorien om hvordan sirkulær økonomi kan bidra til den grønne omstillingen verden står ovenfor. Deretter presenteres ulikhetene mellom en lineær verdikjede og en sirkulær verdikjede, samt relevante definisjoner. Avslutningsvis redegjøres det for teori som beskriver potensialet for sirkulær økonomi med digitalisering.

2.1.1 Klimakrise og behov for endring

Ifølge miljørapportering for eiendom står bygg og anlegg 40% av råvareuttaket i verden. Bygg, i eiendoms - og anleggssektoren har siden 2014 vært den sektoren som produseres mest avfall i Norge. Bygg- og eiendomssektoren løftes frem blant de viktigste sektorene for å nå EUs handlingsplan for sirkulær økonomi, som en del av European Green Deal (EUs grønne giv), samt «Nasjonal strategi for en grønn, sirkulær økonomi». Eu og Norge vil legge til rette for sirkulære forretningsmodeller og mer bærekraftig produksjon og forbruk. Målet er at material ressurser skal vare så lenge som mulig. For å oppnå dette må produkter og tjenester være utformet slik at materialene er mulig å demontere, gjenvinne og gjenbruke. (Miljødirektoratet, 2018)

Siden denne bransjen står for så stor andel av utslipp, energi og ressursforbruk vil det raskt gi resultater for miljøet ved gjennomføring av tiltak for å redusere miljøbelastningene fra denne næringen. For at byggesektoren skal kunne bidra til at man på verdensbasis skal klare å redusere utslippene, er man derfor nødt til å benytte seg av nye måter å bygge på som gir et lavere klima- og miljøavtrykk enn dagens metoder. Redusering av miljøavtrykket fra bygg kan gjøres ved blant annet mindre forbruk av energi og bruk av materialer med lave miljøpåvirkninger. Norges gjennomførte endringer i byggteknisk forskrift (TEK) har bidratt til energieffektive bygg, med lavt energibehov.

2.1.2 Hvorfor sirkulær økonomi

For å klare og forbedre det eksisterende forbruksmønsteret til befolkningen er det kommet et behov for en mer bærekraftig økonomisk modell enn den vi har i dag. Ofte når vi snakker om

klimakrisen eller det alvorlige tapet av naturmangfold, blir sirkulær økonomi løftet fram som en løsning. I en sirkulær økonomi tar vi godt vare på produktene vi produserer og materialene de består av, slik at vi kan bruke dem igjen og igjen i stedet for å hente ut stadig mer ressurser fra naturen. (svanemerket, ukjent)

Det må en omstilling til for å oppnå internasjonale og nasjonale mål. For å redusere miljøavtrykket og ressursbehovet, må en ny politisk økonomi til som bygger på prinsippene nullvekst, deling og sirkularitet. I den sirkulære økonomien designer man produktene slik at de lar seg reparere og demontere, man produserer med minst mulig svinn, produktene har god kvalitet og lang levetid, og man har gode systemer for å samle inn og tilrettelegge materialene for ny bruk i andre produkter.

På denne måten trenger vi mindre tilførsel av jomfruelige ressurser, man bruker mest mulig av det man allerede har, om igjen.

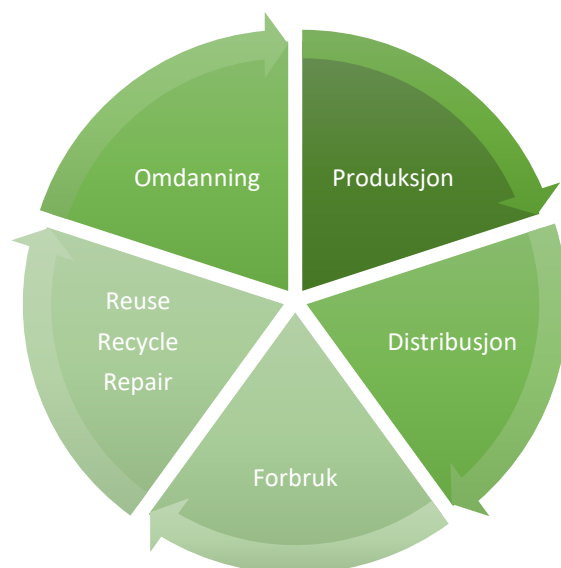
2.1.3 Hva er lineær økonomi

I lineær økonomi hentes ressurser ut og fordeles til produkter som brukes til de er ødelagt og blir til søppel. Avfallsbransjen har vokst frem som et svar på behovet for å kvitte seg med disse produktene. Forskjellen fra lineær økonomi til sirkulær økonomi er i en sirkulær økonomi er målet at det skal bli minst mulig søppel. Materialene i søppelet skal heller brukes på nytt, sånn at behovet for å hente ut nye råvarer fra naturen blir mindre. (Ks,2018)

Lineær økonomi er det vi har i dag, og det er ikke bærekraftig. Man henter ut ressurser fra naturen, bearbeider dem til produkter, og deretter bruker og kvitter seg med dem. Så utvinnes nye ressurser fra naturen – og gjentar prosessen. Det finnes ulike modeller på sirkulær økonomi, men felles for alle er at naturressursene som kommer inn i kretsløpet blir værende og minimalt går ut som avfall. (svanemerket, ukjent). I figur 2 nedenfor vises et eksempel på en slik modell hvor råmaterialene blir resirkulert og designet for ny bruk. Hovedmålet er å stoppe overforbruket av naturressurser og redusere mengden med avfall.



Figur 1 Fremstilling av lineær økonomi. Figur er inspirert av fremstillingen fra snl.



Figur 2 Fremstilling av sirkulær økonomi. Figur er inspirert av fremstillingen fra snl.

2.1.4 Fra lineær økonomi til sirkulær økonomi

En overgang til sirkulær økonomi kan bidra stort og positivt sett fra et miljøperspektiv. Det er store muligheter til å gjenbruke byggematerialer, noe som igjen vil føre til mindre produksjon og en reduksjon i klimagassutslipp. Den sirkulære modellen i motsetning til den lineære modellen baserer seg på at ressurser blir i økonomien lengst mulig. Sirkulær økonomi er tett relatert til begreper som gjenbruk, reparasjon og «closing the loop» og for å lykkes med sirkulær økonomi forutsetter det at man evner å utvikle et kretsløp hvor færrest mulig ressurser går tapt, og at ressursene og produktene blir høyt verdsatt.

En overgang fra lineær til sirkulær økonomi krever forandringer og investeringer, og den digitale teknologien er en aksept som har potensialet til å fremme denne overgangen. For å øke ressurseffektiviteten og sikre en planlegging som følger sirkulære og bærekraftige prinsipper er det viktig med en detaljert prosjektering og en god utnyttelse av den tilgjengelige teknologien. Utviklingen innenfor teknologien har muliggjort et skifte i måten

økonomien fungerer på og har fremmet muligheter innen virtualisering, dematerialisering og økt transparens knyttet til produktbruk og materialstrømmer. Ved å tilrettelegge innsamling og analyse av data med hensyn på materialer, mennesker og eksterne forhold har teknologien potensialet til å identifisere de største utfordringene knyttet til materialstrømmer.

Bruken av BIM har økt i de fleste prosjekter og prosjekteringen skjer da i mer fleksible modeller, som forenkler arbeidet ute på plassen. En utnyttelse av BIM kan også bidra til merking, dokumentering og sporing av materialer under byggeprosessen, både som hjelpemiddel under driftsfasen og som hjelp i demonteringsfasen. Det kan også gi informasjon som tilstanden og tilgjengeligheten til produkter, komponenter eller materialer i bygningen, og dermed bidra til å utvide bruken av ressursene, øke utnyttelsesgraden, sirkulere eller gjenvinne materialet videre i livsløpet og bidra til å regenerere naturlig kapital.

Dematerialisering innebærer en betydelig reduksjon i den materialmengden som er nødvendig for at de økonomiske funksjonene i samfunnet skal være oppfylt. Ved merkingen, dokumentasjonen og gunstig teknologibruk er det mulig å redusere de nødvendige materialmengdene, samt lettere planlegge for en mer ressurseffektiv byggeplass, og fremtidig ombruk av byggematerialene.

2.1.5 Sirkulære bygg

Sirkulære bygg handler om å tenke langsiktig og planlegge for framtidig ombygging og demontering av bygg. Tradisjonelt har byggeprosjekter vært basert på en bruk-og-kast-tankegang – det vil si at man river og deponerer det gamle bygget og bygger nytt eller rehabiliterer med nye materialer. Så ombruk og transformasjon av hele bygg er ikke noe nytt, men det har så langt vært unntaket heller enn regelen i byggebransjen. Gjenbruk av byggematerialene har stort sett vært begrenset til gjenvinning, med blant annet nedknusing og bruk i veifyllinger og til energigjenvinning. En mulighet for å få ned utslippene er å tenke sirkulær design og bygg som materialdepot, og dermed lukke materialkretsløpet. I stedet for å rive bygg og deponere brukbart materiale, settes det i stadig større grad søkelys på å gjenbruke så mye som mulig. (Miljødirektoratet, 2018)

I forbindelse med implementering av sirkulær økonomi i byggenæringen, har sirkulære bygg fått en viktig betydning. Det finnes flere ulike definisjoner på begrepet, men sirkulær økonomi definerer en sirkulær bygning som en bygning som er utviklet, brukt og gjenbrukt uten unødvendig ressursforbruk eller miljøbelastning. (Miljødirektoratet, 2018)

FutureBuilt har utarbeidet en mer konkret definisjon for sirkulære bygg konkret definisjon: «Et sirkulært bygg legger til rette for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, og består av minst 50 prosent ombruket og ombrukbare materialer og komponenter». (FutureBuilt, 2019)

De deler begrepet videre inn i fem temaer, som er; (1) miljøbasert beslutning om rehabilitering eller riving, (2) ressursutnyttelse ved rivearbeider, (3) ombruk av materialer, (4) ombrukbarhet og (5) endringsdyktighet. Elementene nevnt ovenfor, som forlenget levetid, økt tilpasningsdyktighet og prosjektering for demontering, spiller derfor en viktig rolle i utformingen av sirkulære bygg. (FutureBuilt, 2019)

I Norge er kravet fra myndighetene at minimum 60% av byggeavfallet målt i vekt skal kildesorteres. Direktoratet for byggkvalitet foreslår i sitt høringsnotat 2021, en økning til minimum 70%. Ifølge EUs rammedirektiv for avfall, som Norge er bundet av gjennom EØS-avtalen, skal 70% målt i vekt av ikke-farlig bygg- og anleggsavfall gå til ombruk og materialgjenvinning. I 2020 ble bare 44% av avfallet fra byggeaktivitet levert til materialgjenvinning. (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

2.1.6 Sirkulær økonomien til trelast

Gjenbruk av trelast har vært vanlig helt tilbake til faraoenes tid. Før andre verdenskrig var det vanlig å rekonstruere bygninger. Arbeidskraften var billig, og materialene var dyre. På grunn av mangelen på maskiner var det mer lønnsomt å bruke materialene om igjen, enn å kjøpe nye. Ettersom bruk av nye materialer og riving har blitt billigere enn gjenbruk er denne metoden blitt vanlig å bruke. (Falk, 2002)

Ved dekonstruksjon av bygninger er det stor forskjell i grad av evne til gjenbruk av ulike materialer. For eksempel er metall godt egnet til gjenbruk, og det trengs lite bearbeiding for å bli gjenbrukt. Metaller kan være bøyd, og ha vært behandlet før uten å påvirke egenskapene til metallet i stor grad. En kan lett skille metallet i fra andre materialer med hjelp av magneter. Det er ikke slik med trelast. Hvis trelast blir feilbehandlet er det upraktisk å skille det fra andre byggematerialer. Dette gjør at verdien til trelasten er svært lav etter bearbeiding i forhold til det høyverdige materialet som det oppsto fra. Det er mulighet å gjenbruke det behandlede trematerialet til sponplater eller fiberplater, men dette er utfall med lav verdi. (Falk, 2002)

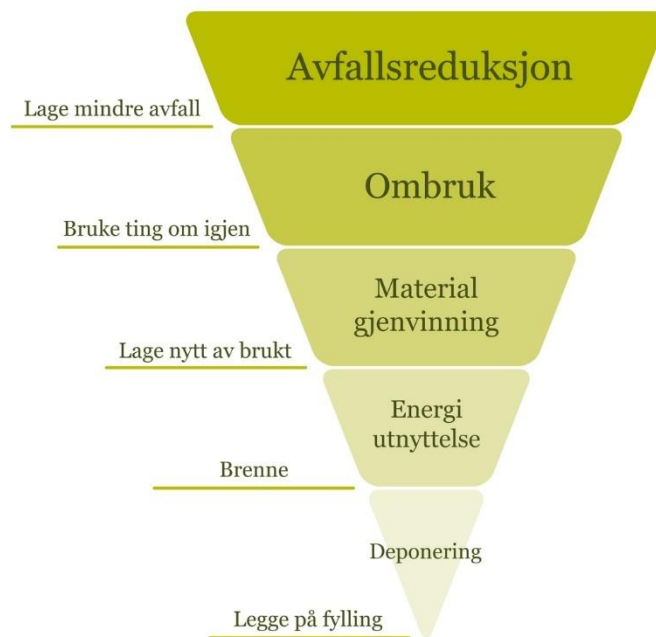
I tillegg har vanskeligheten rundt dekonstruksjonen av et hus økt betraktelig på grunn av økt bruk av lim. Det er også blitt vanskeligere å fjerne nye byggevareprodukter som kryssfiner- og OBS-plater uten å skade de, og derfor redusere mengden av produktene som kan bli gjenbrukt. Disse produktene er vanskeligere å fjerne enn tradisjonelle vegg plater på grunn av oppbygningen til produktene. (Falk, 2002)

Det er også et spørsmål rundt hvor forsvarlig det er å gjenbruke trevirke som har hatt strukturelle funksjoner i et bygg, til å bli gjenbrukt igjen til samme formål som det originalt hadde. En rapport ifra DiBK konkluderer med at det er forsvarlig å gjenbruke trevirke, men på grunn av krav om dokumentasjon havner det i en gråson. En må eventuelt arbeide for billigere måter å gjøre redokumentasjon. Redokumentasjon er en nødvendig forutsetning ved industrielt ombruk. (Lasse Kilvær, 2019)

2.1.7 Avhending av materialer

Avhending av materialer beskriver forhold knyttet til levetiden og gjenbruk av ressurser. Ombruk og materialgjenvinning vil være en økende betydning i årene som kommer fremover, og er den mest høyverdige gjenbruken av ressurser. Deretter kommer mulighet for energiutnyttelse av ressursen etter avhending. (Grønn Byggeallianse, 2017)

Avfallspyramiden, også kalt avfallshierarkiet, illustrerer hvilke tiltak som må gjøres for å redusere avfall på byggeplasser. Avfallspyramiden er satt opp slik at tiltakene er delt etter prioriteringene i norsk avfallspolitikk og EUs rammedirektiv for avfall. Som vist i figur 3, er pyramiden delt inn slik at de mest effektive og høyest tiltakene er plassert øverst. Rekkefølgen indikerer også hvordan de ulike tiltakene burde iverksettes.



Figur 3 Avfallspyramide med beskrivelser. Bilde: snl.no

Det fremste målet i avfallspolitikken er å redusere avfallsmengdene, og sikre at veksten i avfallsmengdene er lavere enn den økonomiske veksten. Tiltak som skal reduseres er mengde avfall, inkludert ombruk av produkter og/eller forlengelse av produkters levetid, negative miljø- og helseeffekter som følge av genererte avfallsmengder, og innholdet av helse- og miljøfarlige stoffer i materialer og produkter. Avfallsforebygging har med andre ord både en kvantitativ og en kvalitativ del. Et viktig prinsipp som diskuteres er det individuelle produsentansvaret, en ordning som innebærer at hver enkelt produsent har medansvar for den miljøbelastningen som deres egne produkter representerer. En slik ordning vil gi produsentene insentiver til å lage produkter med lang levetid, oppgraderings- og utbedringsmuligheter.

Mål nummer to i avfallspolitikken er å bruke tingene om igjen framfor å kaste dem. For den vanlige forbruker er gjenbruk, miljømerking og reparasjon viktige stikkord. Nummer tre er materialgjenvinningen og å material gjenvinne betyr å gjenvinne avfallet slik at de ulike materialene kan brukes som råvarer i produksjon av nye produkter. Når gjenvinning av materialer ikke lenger er mulig, er det neste nivået at avfallet går til energiutnyttelse. Det vil si at energien i avfallet utnyttes ved forbrenning. Denne energien kan erstatte oppvarmingskilder, som blant annet gass, olje og elektrisitet. Det siste nivået i Figur 3

avfallspyramiden er deponering, hvor avfallet legges på fylling. Deponering skal helst unngås, men det vil bidra til en forsvarlig sluttbehandling av avfallet, hvor avfallet legges på godkjente deponier. (LOOP - Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning, 2022)

Målet med å øke utnyttelsen av ressursene i byggeavfallet handler om at næringen i større grad skal bevege seg mot en sirkulær økonomi. Det vil si at det skal generes så lite avfall som mulig. Ved mer effektiv utnyttelse av ressurser, minker det at byggematerialer blir til avfall. Avfallet kan ombrukes og material gjenvinnes istedenfor at det legges på deponi eller går til energigjenvinning. En slik strategi vil gi et mer lukket materialkretsløp, hvor minst mulig går ut som svinn og minst mulig nytt og jomfruelig materiale går inn i kretsløpet. I dette ligger det at et bygg som skal rives, betraktes som en materialbank av verdifulle ressurser som kan utnyttes ved ombruk og materialgjenvinning. (LOOP - Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning, 2022)

2.1.8 Miljøgevinstene ved ombruk

Ombruk vil si at produktene eller materialene brukes på nytt til samme formål som før, uten betydelig bearbeiding. Ved ombruk tar man ikke ut nye råvarer, og dermed sparer man råvareressurser. I tillegg unngår man mesteparten av klimagassutslippene som skjer under produksjon og man unngår både bruk av nye ressurser og avfall til deponi. Det vil også føre til redusert energibruk og mindre forurensing. Energiutnyttelsesprosessen utsettes og deponering av byggevarer unngås. Areal til bruk av materialutvinning og deponering av avfall reduseres.

Det er mye miljøgevinster å hente ved ombruk av byggematerialer. Generelle besparelser av energi- og miljøfaktorer, i tillegg til en prioritering av ombruk framfor gjenvinning gjennom avfallshierarkiet. Begrepet gjenbruk brukes gjerne om både materialgjenvinning og ombruk. Materialgjenvinning betegner tilbakeføring av materialer i en industriell prosess, mens ombruk er ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form.

Miljømessig forsvarlig levetid er et begrep som kan forklare den miljømessige hensikt med ombruk av byggevarer. Gjennom ombruk kan man nå målet om en funksjonell levetid for komponenter som ikke bare er lik den tekniske levetiden (som ofte er mye lengre), men som også kan forsvare miljøinnsatsen som ble lagt ned for å framskaffe materialene. Ombruk hindrer bruk av nye ressurser og hindrer samtidig avfall til deponi. Gjennom ulike faser av et produkts levetid kan dermed ombruk føre til redusert energibruk, redusert forurensning,

redusert bruk av arealer til materialutvinning og redusert bruk av arealer til deponering av avfall. Ombruk kan også begrunnes med bevaring av historisk verdifulle bygninger og bygningsdeler.

En rekke tidligere studier peker på miljøgevinster ved ombruk (Kari Sørnes, 2014). Det henvises til eksempelstudier som klart viser at man gjennom ombruk kan oppnå store miljøgevinster, og det trekkes også fram som en positiv effekt at ombruksprosjekter gjerne skaper lokale arbeidsplasser. Anbefalinger gis om ulike komponenters egnethet for ombruk/materialgjenvinning/energigjenvinning, og om hva som er praktiske løsninger for de enkelte materialgruppene når det gjelder hva som er mest miljøvennlig. Beregninger gjennomført av det britiske Building Research Establishment (BRE) viser at ombruk av for eksempel konstruksjonsstål fører til 96 % reduksjon av miljøbelastningen sammenliknet med produksjon av nytt stål, mens materialgjenvinning fører til under en 50 % reduksjon.

2.1.9 Gjenvinning av avfall fra byggeaktivitet

Ved lineær økonomi blir avfall som stammer fra byggeaktivitet levert inn til gjenvinningsstasjoner, og deretter behandlet videre. Ved å se på Tabell 1. kan en se en oversikt over hvordan avfallet fra byggeaktivitet ble behandlet i 2020. I 2020 ble 93,86% av alt avfall fra trevirke fra bygg- og anleggsbransjen brukt til energiutnyttelse. Bare 4,85% av alt trevirke ble levert til materialgjenvinning. Dette betyr at livsløpet til nesten alt trevirke stopper når det blir levert inn til avfallshåndtering. (SSB, 2021)

Men en burde ikke bare se negativt på 4,85% av avfall fra trevirke som blir levert til materialgjenvinning. I 2019 ble bare 0,0024% av alt trevirke levert til materialgjenvinning. I 2018 økte materialgjenvinningsprosenten, og 1,707% av alt trevirke ble levert til materialgjenvinning, men i 2017 og 2016 var leveringstallene på like nivåer som i 2019. Så en kan se at materialgjenvinning av trevirke beveger seg i riktig retning. (SSB, 2021)

Tabell 1 Fordeling av avfallshåndtering for materialgrupper i 2020. Tabell utformet basert på tall fra (SSB, 2021)

2020	Levert til materialgjenvinning	Energiutnyttelse	Levert til deponering	Annen behandling/uspesifisert
Materialtyper i alt	43,80 %	24,60 %	25,10 %	6,51 %
Trevirke	4,85 %	93,86 %	0,01 %	1,28 %
Papir og papp	99,04 %	0,54 %	0,00 %	0,42 %
Plast	47,86 %	30,18 %	21,89 %	0,06 %
Glass	36,90 %	37,39 %	15,44 %	10,28 %
Metall	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Gips	48,82 %	0,88 %	50,27 %	0,02 %
EE-avfall	75,12 %	11,65 %	0,00 %	13,23 %
Tegl og betong og andre tyngre bygningsmaterialer	57,95 %	0,00 %	28,03 %	14,02 %
Forurenset tegl og betong	0,00 %	0,00 %	100,00 %	0,00 %
Annet avfall	5,65 %	0,57 %	93,77 %	0,00 %
Blandet restavfall	5,88 %	88,67 %	5,14 %	0,31 %
Asfalt	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Farlig avfall	16,68 %	19,81 %	37,44 %	26,07 %

2.1.10 Potensialet med sirkulær økonomi av låver i Norge

Gjenbruk av låver i Norge har et stort potensial, og rundt om i Norge i 2020 var det totalt 437 559 driftsbygninger som var tilknyttet landbrukseiendommer, men ikke alle disse driftsbygningene var låver. Definisjonen på en driftsbygning er at den kan ha flere funksjoner, men de mest vanlige er løe, låve, fjøs og stall. Disse kan også fungere som grisehus eller hønsehus. (SSB, 2021)

Tall fra SSB viser at antallet driftsbygninger har sunket fra 462 870 i 2007 til 437 559 i 2020. Dette er en nedgang på 25 311 eller 5,47% i antall driftsbygninger i Norge fra 2007 til 2020. Disse tallene sier ingenting om reduksjon i antall låver, men nedgangen i antall driftsbygninger totalt sett. (SSB, 2021)

Hvis en ser på tabell 2 kan en se hvordan avfallet fra driftsbygningene som ble revet og levert inn til gjenvinningsstasjoner hadde blitt behandlet. Prosentvis hva som hadde blitt levert til materialgjenvinning, og hva som hadde blitt brukt til energiutnyttelse.

Tabell 2 Viser prosentvis hvor mye av alt avfall fra trevirke som ble levert til materialgjenvinning og energiutnyttelse fra 2013-2020. Kilde: (SSB, 2021)

Trevirke	Avfallsbehandling i alt, tonn	Levert til materialgjenvinning, tonn	Levert til materialgjenvinning, prosent	Energiutnyttelse, tonn	Energiutnyttelse, prosent
2013	260 453	42 363	16,27 %	207 573	79,70 %
2014	250 605	7 203	2,87 %	241 877	96,52 %
2015	253 335	56	0,02 %	253 069	99,90 %
2016	259 613	58	0,02 %	257 174	99,06 %
2017	253 529	-	0,00 %	252 790	99,71 %
2018	245 815	4 197	1,71 %	241 498	98,24 %
2019	253 630	6	0,00 %	253 549	99,97 %
2020	267 447	12 978	4,85 %	251 020	93,86 %

2.1.11 Lover og forskrifter.

Lovverket er for å sikre forsvarlig oppføring av bygg i god kvalitet, hensiktsmessig behandling av avfall og forebygging av helse- og miljøskadelige stoffer. Alle bygg, uavhengig av om det benyttes gjenbrukte materialer eller nye, må derfor oppfylle visse kvalitetskrav. Byggeteknisk forskrift angir tekniske krav til byggverk innen sikkerhet, miljø, helse og energi for å bidra til at byggene vi omgir oss med er av god nok kvalitet.

2.1.11.1 Aktuelle krav fra TEK 17

For at et byggverk skal bli satt opp på lovlig vis i Norge må en følge minimums kravene fra TEK 17 (byggteknisk forskrift). Låvene som prosjektet baserer seg på går under driftsbygning i landbruket. Dette betyr at de relevante kravene i TEK 17 kan bli funnet i kapittel 1 til 7, §8-1 og §8-4, kapittel 9-11, § 12-1 første ledd, § 12-4 første ledd, § 12-5, § 12-6 første til fjerde ledd, § 12-7 første ledd, § 12-13 første ledd og annet ledd bokstav a og d, § 12-14 første ledd og femte ledd bokstav b, § 12-15, § 12-16 første ledd, § 12-17 og § 12-18 første og annet ledd, § 13-1 første ledd, § 13-6 første ledd første punktum og tredje ledd, § 13-7 og § 13-9 til § 13-16, kapittel 14 med unntak av §14-4 og kapittel 15 til 17. (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

2.1.11.2 Relevante krav angående sirkulær økonomi

For å bidra til mer sirkulær økonomi i byggebransjen i Norge er det krav fra TEK 17 som fremmer ombruk og materialgjenvinning. Disse kravene setter et minimumskrav som hvert byggeprosjekt må følge for at bygget skal være oppført, rehabilitert eller revet på lovlig vis i Norge. Relevante paragrafer er §9-6 og §9-8. §9-6, Avfallsplan sitt formål er å fremme

«miljømessig og samfunnsøkonomisk forsvarlig håndtering av avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet.» (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) §9-8, Avfallssortering bygger på §9-6, Avfallsplan. I §9-8 står det at «minimum 60 vektprosent av avfallet som oppstår i tiltak i §9-6 første ledd skal sorteres i ulike avfallstyper og leveres til godkjent avfallsmottak eller direkte til gjenvinning.» (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

2.1.12 Produktdatabaser tilknyttet byggebransjen

Mangelen på informasjon om treverket skaper et spørsmål rundt informasjonen som er tilgjengelig for byggevarer. Det finnes allerede en database med oversikt over 800 000 produkter fra byggesektoren med navn NOBB. I NOBB får man tilgang til produktinformasjon, produktbilder og dokumentasjon. Databasen har produktdata om varer fra flere sektorer. Blant annet trelast, byggevarer, VA/VVS, maling, interiør, verktøy og jernvarer. (Byggtjeneste, 2022) For å følge norske regler er det obligatorisk med dokumentasjon om byggevarens egenskaper. Dette er tilgjengelig i en ytelseserklæring. Ytelseserklæringen skal være tilgjengelig i papirform eller i elektronisk format (PDF format). Det er også godkjent hvis ytelseserklæringen er publisert i NOBB eller om produktet har en QR-kode med lenke til ytelseserklæring. (Byggtjeneste, 2019)

I tillegg er det viktig for arkitekter, entreprenører og byggherrer å bruke de mest miljømessige beste byggevarene på markedet. ECOproduct er en database med oversikt over produkter som er vurdert etter hvor god de er innen seks miljøområder, og deretter får en karakter innen disse punktene. (Byggtjeneste, 2022)

2.2 Digitalisering av byggeplass

Andre del av teorien omhandler Scan to BIM og BIM. Først blir det presentert gevinsten med BIM med hensyn på å optimalisere miljøeffekter. Videre blir det lagt frem teorien om Scan to BIM og bruken av denne teknologien for rehabiliteringsprosess for bygg. Avslutningsvis redegjøres teorien for BIM og BIM sitt potensial for eksisterende bygge masse for å bidra til overgangen til sirkulær økonomi.

2.2.1 Hvorfor BIM

Det er stor enighet i byggenæringen om at mer industrialiserte byggeprosjekter vil øke forutsigbar bruk av gode løsninger, materialer og rett kompetanse, og redusere kostander og feil. Vi trenger et felles verktøy og metoder som kan brukes av alle, og som kan stimulere til erfaringsoverføring innad i og mellom bygge- og eiendomsbransjens mange aktører.

BIM eller bygningsinformasjonsmodellering, er enkelt forklart en 3D-modell av et eksisterende bygg eller kommende bygningsmasse. BIM er som en prosess, der hver bygningsdel er unik og har tilhørende informasjon som sier noe om plassering og egenskapene til bygningsdelene. BIM-modellen er fylt med informasjon som hjelper til for å redusere antall feil eller mangler. Hensikten med BIM er å effektivisere byggeprosesser som tidligere har vært tidskrevende og kostbare.

BIM blir også sett på som en av de mest lovende utviklingene i bygge- og anleggsbransjen (Chuck Eastman, 2011). En av de største fordelene er visualiseringsegenskapene BIM tilbyr, bygget blir fremstilt i en virtuell modell. Den virtuelle modellen bidrar til å kunne kontrollere byggbarheten ved hjelp av analyser før den virkelige bygningen konstrueres. For prosjekteringsfasen blir miljøkonsekvensene i stor grad bestemt som følge av bygningsutformingen. Beslutninger som valg av materialer og løsninger innvirker begge på energikonsekvensen og effekten av CO₂-fotsporet. BIM kan støtte for en informasjonsinkorporasjon som gir prosjekterende anledning til å optimalisere for miljøeffekter på et tidlig tidspunkt.

2.2.2 BIM for nye bygg

Ved bruk av BIM kan man oppnå store fordeler når nye bygg skal lages. En BIM blir implementert i starten av byggeprosessen og varer helt til bygget er ferdig. Den største fordelen er at man kan "høste" etter byggets ferdigstilling: man har da en informasjonsmodell som inneholder alle objekter med tilhørende informasjon. Denne modellen brukes i sammenheng med drift og vedlikehold i byggets levetid.

I selve byggeprosessen er det også gevinster med BIM. BIM kan være et verktøy man bruker som kommunikasjonsmiddel mellom de forskjellige aktørene i et prosjekt. For å prosjektere og bygge et bygg er det mange fag som skal arbeide sammen med samme informasjon. Denne informasjonen blir ofte utvekslet via papir og dette kan videre føre til misforståelser og feil. Slike feil og misforståelser er en direkte påvirkning til at prosjekter blir utsatt og får

uforutsette kostnader. Det blir rapportert klare fordeler ved bruk av BIM i slike prosjekter, og et godt eksempel på dette er bedre informasjonsflyt innenfor prosjektledelse.

Den mest sentrale forskjellen mellom BIM for nye bygg og eksisterende bygg er hvordan man lager modellen. For nye bygg er det en “as-planned process” hvor man arbeider interaktiv gjennom hele perioden.

2.2.3 BIM for eksisterende bygg

Tilnærmingen for å representere bygninger og dens elementer i tredimensjonale reproduksjoner har blitt skapt for å bedre forstå romlighet, proporsjoner, geometri og konstruksjonsteknikk. Med fremveksten av BIM, som gjør at konstruksjon kan administreres i sin totale livssyklus, fra design og konstruksjon til vedlikehold og administrasjon etter bruk, var det også en etterspørsel etter BIM-modeller av eksisterende bygninger, noe som har ført til at bransjen har forsøkt å tilpasse seg den nye markedsvirkeligheten. (Fabrizio Banfi, 2021)

Bruk av BIM i rehabilitering er mindre utbredt enn BIM i nye bygg. Det er flere utfordringer og problemstillinger rundt BIM og rehabilitering; hvor vanskelig er det å lage en modell av et eksisterende bygg, hvor kostbart er det, og hva er gevinstene? Dersom kostnadene er større enn gevinstene vil det kanskje føre til at andre metoder blir valgt. Dersom det viser seg at bruken av BIM gir bedre bygg med høyere kvalitet, er det et godt argument for å benytte BIM i rehabiliteringsprosjekter.

Hvis det finnes dokumentasjon over materialer og produkter i et riveprosjekt, og produktene ikke har endret egenskaper etter bruk (inkl. evt. demontering og lagring), kan produktdokumentasjonen benyttes ved omsetning av materialene. I et fremtidig perspektiv, med full digitalisering av BIM, vil denne informasjonen kanskje være lettere tilgjengelig og i sin tur kunne fremme ombruk. (Asplan viak, 2018)

I dag er det vanlig å ha tekniske planer for eksisterende bygninger i manuelle tegninger eller i noen tilfeller planer digitalisert i datastøttet design (CAD)-filer, men dette er ikke tilfellet for eksistensen av en BIM-modell eller en tredimensjonal modell.

For disse tilfellene er det nødvendig å utføre en omvendt konstruksjonsprosess med arkitektoniske undersøkelsesteknikker for å oppnå de faktiske konstruktive forholdene til bygningen og muliggjøre konstruksjonen av BIM-modellen til den eksisterende bygningen.

3D-laser-skanner og fotogrammetri spiller en viktig rolle i denne prosessen da de gjør det mulig å utføre undersøkelsesstadiet mye raskere enn med tradisjonelle manuelle teknikker. I tillegg muliggjør det innhenting av mer informasjon, detaljer, komplekse geometrier og å fange med høy presisjon.

Bruken av 3D laserskanningsteknologi for bygningsmåling gjør at vi kan få en punktsky og, deretter danne digital dokumentasjon som vil gjøre det mulig å lage en BIM-modell av et skannet objekt. BIM teknologi har et enormt potensial for å forbedre nivå av automatisering i arkitektur, ingeniørfag, og konstruksjon.

3D laserskanningsteknologi brukes derfor effektivt for rehabilitering siden den fanger opp «as-built» konstruksjons detaljer. Den fortsatte utviklingen av laserskanning muliggjør dataoverføring i begge retninger mellom BIM og byggeplass. Siden laserskanning kan produsere punktskydata av eksisterende bygg kan de fysiske geometriene brukes til å designe oppussing eller ombyggingsarbeid. Når de matches til en 3D-modell, kan punktskydataene brukes direkte for å fremheve avvik i as-built geometrien fra designet geometri. De svært nøyaktige målingene av den fysiske virkeligheten kan også brukes til å overvåke bygge fremdriften. (Geo-Information, 2021)

2.2.4 HBIM

De første forsøkene på å lage en BIM-modell av et eksisterende bygg er knyttet til historiske eller monumentale bygg typer. Målet var å frembringe en database hvor man kan inkludere modeller laget for å settes inn og relatert informasjon som skal brukes. Informasjon som geometrisk rekonstruksjon av volumer eller termiske analyser osv.

Målet med HBIM er hovedsakelig å skaffe BIM-modeller av eksisterende bygninger, bestående av intelligente objekter som inneholder informasjon av enhver art som kan oppdateres, erstattes og legges til. Selv om hver bygning er unik, kan parametriske objekter brukes til andre lignende bygninger, fordi de har verdier som kan endres i henhold til veldefinerte parametere og som derfor kan tilpasses spesifikke tilfeller.

Siden BIM i dag fortsatt er ukjent for mange tekniske eksperter, er det enda mindre bevissthet rundt HBIM. Likevel foregår det forsøk på å integrere BIM og å skape større databaser med bygningsdeler, arkitektoniske elementer, til og med hele bygninger og bygningskomplekser.

I dag (2019) vet vi at med utgangspunkt i en punktsky med en viss oppløsning, er det mulig å lage en intelligent og parametrisk modell som vil inneholde det høyeste antallet informasjon knyttet til bygningen.

Siden denne teknologien har blitt brukt for å skanne eksisterende bygg med bakgrunn for kulturarv, kan denne teknologien bli brukt for rehabilitering med et søkelys på et miljøperspektiv. Utviklingen av informasjonsmodellering for kulturarv (HBIM) kan brukes til å registrere funksjoner som geometri, materialer, teksturer og forhold mellom funksjoner i et historisk monument. Dermed kan HBIM bidra med å rekonstruere monumentet i tilfelle skade eller forsvinning, og å håndtere dets bevaring under drifts- og vedlikeholdsfasene, inkludert slutten av levetiden med riving og resirkulering.

Ulempen med Scan to BIM er at denne prosessen tar for tiden lang tid å fullføre, fordi mange BIM-verktøy opprinnelig ikke er laget for modellering av et eksisterende bygg, men hovedsakelig for nybygg. Pågående forskning analyserer nye ideer og prosedyrer for å gjøre hele flyten av operasjoner rask og automatisk. Med utgangspunkt i punktskyen for å nå byggets endelige modell, utføres operasjonene uten å miste for mange detaljer og informasjon. (BibLus, 2019)

2.3 Scan to BIM

Scan to BIM betyr å fange et rom, og gjøre det om til en digital modell som kan brukes til planlegging, overvåkning eller administrering av det bygde miljøet. Scan to BIM kan også skape kommunikasjon og deling av prosjektinformasjonen med interessenter.

Resultatet av en laserskanning i 3D er en punktsky. En punktsky kan integreres med et CAD-system for å lage 3D-modeller med nøyaktige geometrier og navigerbare 3D-bilder. I utgangspunktet bringer punktskyer BIM i kontakt med fysisk rom. Istedenfor veiledninger eller teoretiske representasjoner, gir punktskyer muligheten til å importere 3D-rom til et digitalt format og gi informasjon i vår eksisterende modell på en effektiv måte.

3D-skanning av bygg er mest aktuelt ved påbygging, ombygging og restaurering. Punktskyer tilbyr muligheten til å tilpasse digitale modeller med fysisk plass i nøyaktige detaljer og punktskyer, og laserskanninger gjør BIM enda mer nyttig. Vi kan lage en nøyaktig 3D-modell som viser eksisterende bygninger som de er. Dette gir det beste utgangspunktet for å gjøre forandringer, tegne tilbygg og foreslå utbedringer. 3D skanning av eksisterende bygg

vil også avsløre avvik fra byggetegninger og gjøre det mulig å prefabrikkere tilbygg og endringer uten å risikere mye arbeid med tilpasning på stedet. (vinjeindustri, u.d.)

Gevinsten med 3D skanning er først og fremst rettet mot drift, og å gjøre driftsdokumentasjonen mer tilgjengelig ved forvaltning og drift. En 3D-modell fra skanning kan tenkes å være den del av fremtidens digitale informasjon av byggene, med mulighet til å kobles med nåværende og kommende teknologi for mer bruksverdi. (Kveseth, 2020)

2.3.1 Bruksområder for laserskanning i byggebransjen

Validere riktig produksjon av designede modeller

3D-laserskanning er en teknologi som har gjort store endringer for både produksjons og konstruksjonsprosesser i flere industrier. En av de mest vanligste bruksområdene for laserskanning i flere industrier er kvalitetskontroll av pågående prosjekter. Med dagens konkurransedyktige marked, hvor flere selskaper arbeider med å produsere de mest nøyaktige delene på kortest mulig tid, kan dette spille en viktig rolle. Med laserskanning og tilhørende programvarer som behandler de skannede objektene, kan man sammenligne eksisterende forhold (as-built), med designede modeller (as-designed) for kvalitetskontroll og validering. På denne måten kan man sikre seg at det som produseres er innenfor den angitte toleranse og mål. Dette åpner for både forbedret kvalitet og hastighet på inspeksjoner.

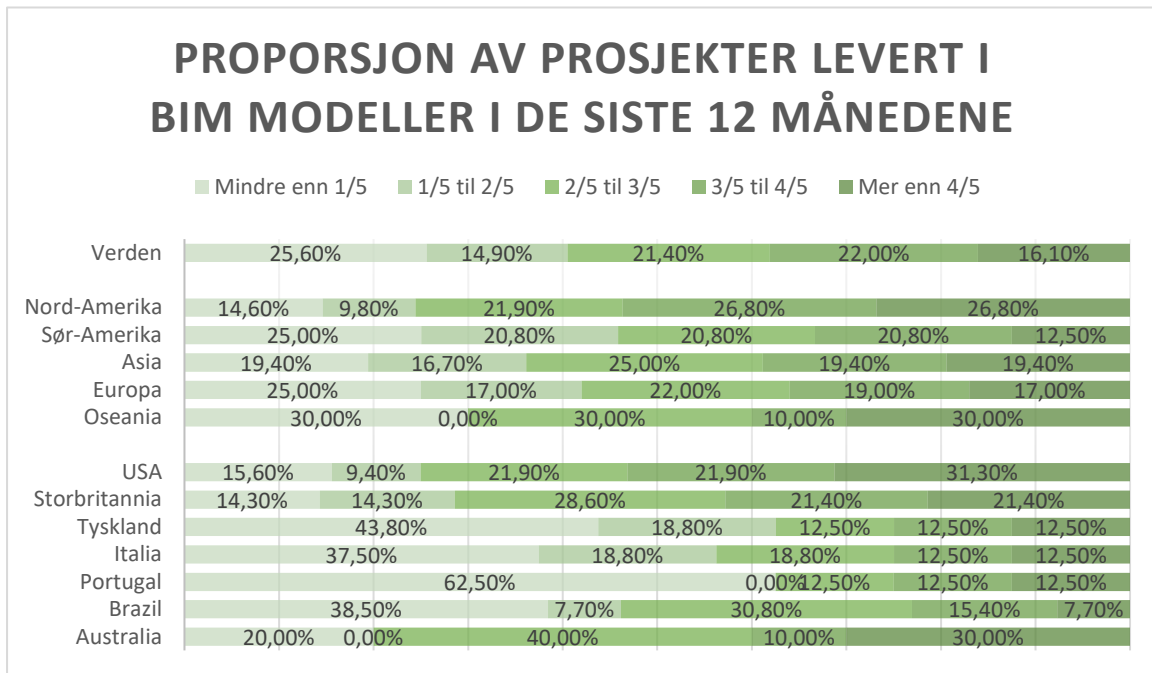
Dokumentasjon

Har man brukt laserskanningen som nevnt i punkt 1, gjennom hele produksjonsfasen til en bygning, sitter man igjen med nøyaktige mål og informasjon. Da har man eksakte dimensjoner, mål og informasjon om hva som befinner seg i eksempelvis vegger, tak og gulv. Dette kan bli brukt til ulike formål gjennom hele livssyklusen til produktet eller bygningen, blant annet vedlikehold.

2.3.2 Spørreundersøkelse rundt bruken av Scan to BIM på verdensbasis

For å se på hvor utbredt bruken av Scan to BIM er, er det sett på en spørreundersøkelse gjort av Gustavo Rocha og Luis Mateus fra Universitetet i Lisboa. Spørreundersøkelse gikk ut på å sende et spørreskjema ut til fagpersoner og bedrifter som jobber innen stadiene i Scan to BIM. Spørreskjemaet ble sendt til 580 fagpersoner, der en fikk 169 fullstendige svar fordelt på fagpersoner fra 54 land. Blant deltakerne i spørreundersøkelsen svarte 50,6% at de også

jobber med prosjekter for andre land. 15,1% oppga at deres hjemland ikke var primærmarkedet eller arbeidsplassen deres. (Rocha, 2021)

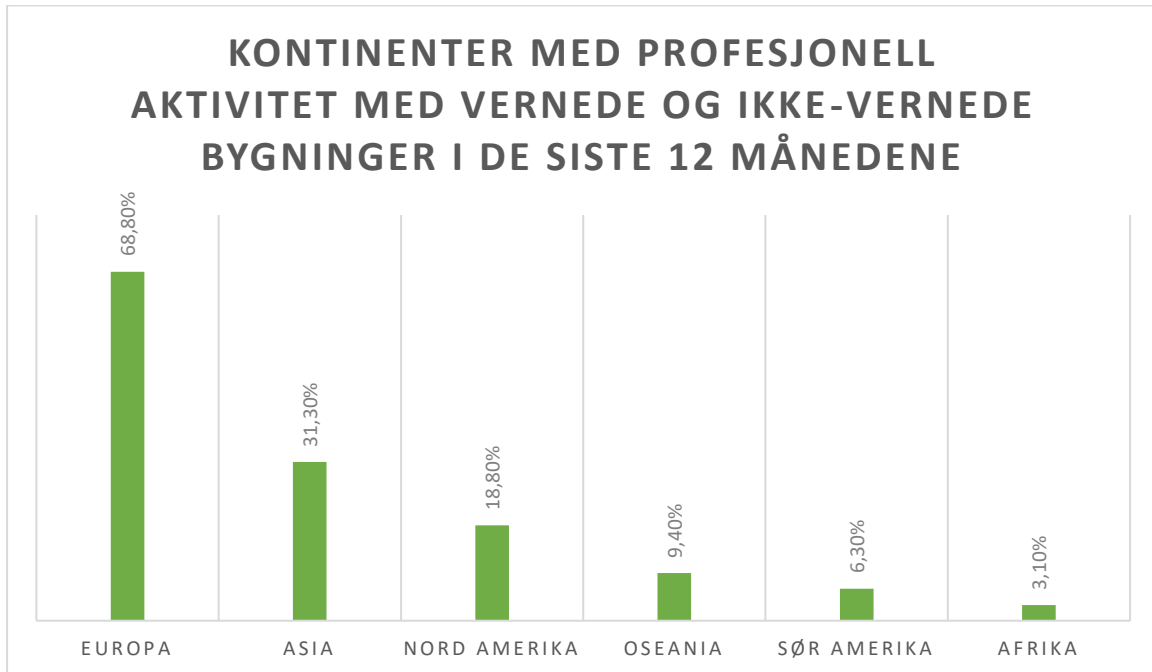


Figur 4 Andel prosjekter levert i BIM-modeller i de siste 12 månedene (2020) fra undersøkelser utført med laserskanning og digital fotogrammetri. (Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021))

2.3.3 Undersøkelse av bruk av HBIM

Spørreundersøkelsen tok også for seg spesifikke spørsmål rundt kartlegging av bruken av HBIM. Av de 169 som svarte på undersøkelsen var det 32 stykker som hadde jobbet med Scan to BIM prosjekter vernede eller ikke vernede bygg, altså bygg som går under HBIM. Det ble oppgitt at 51,5% av dem jobber i Europa, mens hvis man bare ser på antallet som

jobber med bygninger på det europeiske kontinent knyttet til bygningsvern øker det til 68,8%. (Rocha, 2021)

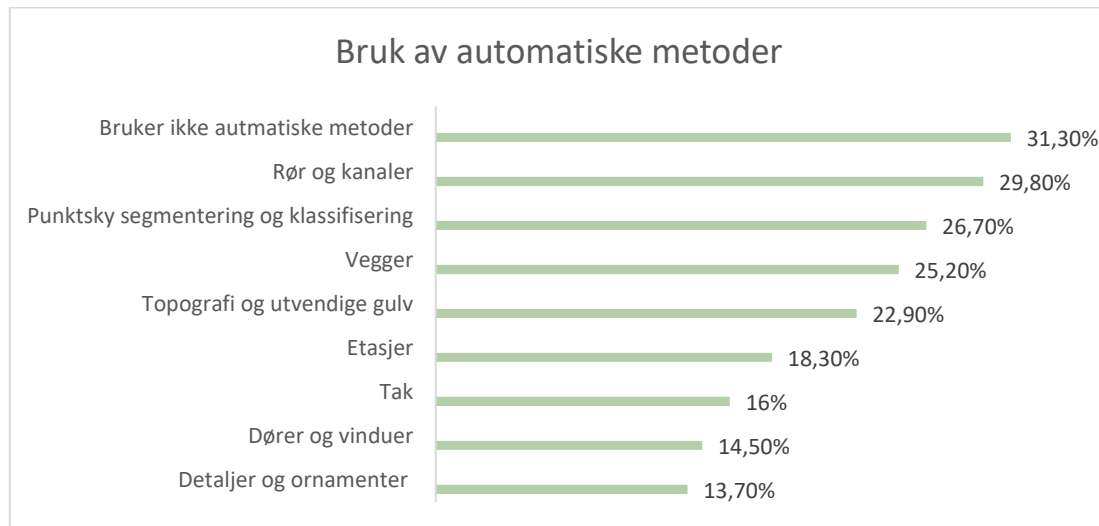


Figur 5 Oversikt over hvilke kontinenter som har flest byggeprosjekter knyttet til verne/de/ikke-verne de bygninger. Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021)

2.4 Automatiserte punktsky til BIM-modell programmer

For å effektivisere modelleringsprosessen er det laget automatiserte punktsky til BIM-modell programmer som skal gjøre modelleringsjobben for deg. Ved hjelp av disse programmene skal man da ikke trenge å modellere selv, og i stedet gå ut ifra en punktsky, og la programmet selv lage eller foreslå hvor en kan plassere vegger, tak og vinduer ved et par tastetrykk. Hvis

en ser på figur 6 som har data fra spørreundersøkelsen kan en at mesteparten av fagfolk ikke bruker automatiske metoder ved BIM-modellering.



Figur 6 Oversikt over hva slags automatiske metoder som er mest brukt innen BIM. Figur er basert på tall hentet fra (Rocha, 2021)

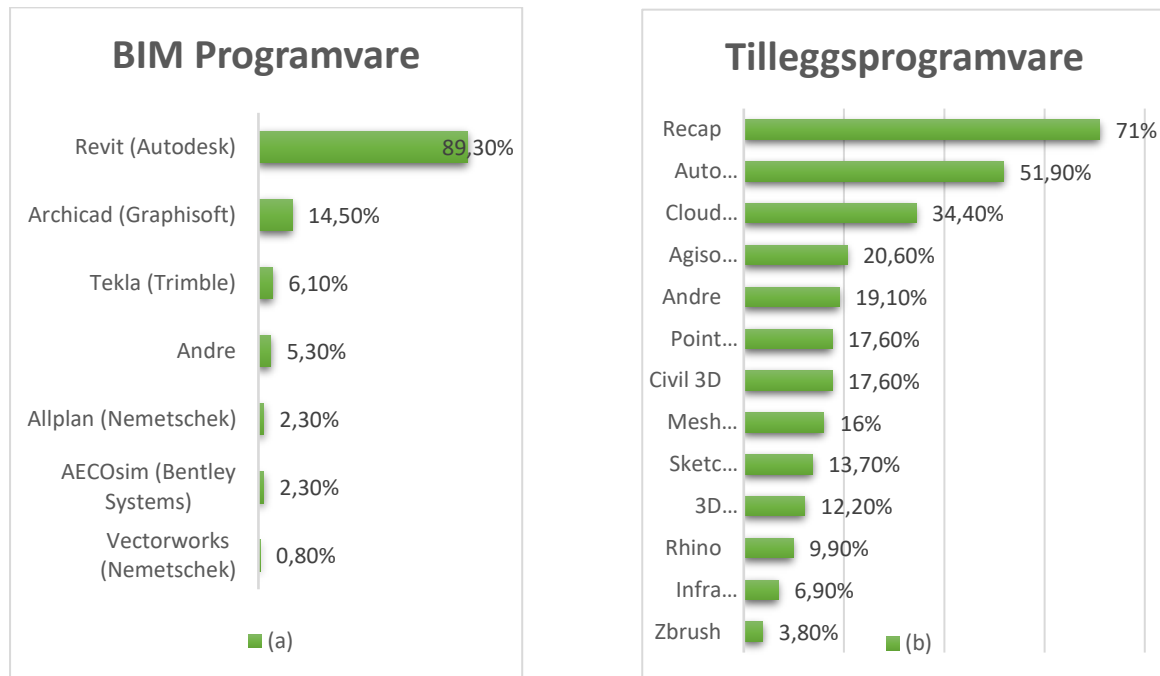
2.4.1 Leica Cyclone 3DR

Leica Cyclone 3DR er en del av Cyclone-produktfamilien, og fungerer sammen med Cyclone FIELD 360, Cyclone FIELDWORX og Cyclone REGISTER 360 til å la brukeren lett gå fra punktsky til BIM-modell ved å automatisere punktskyanalysen og de vanlige modelleringsoppgavene som vanligvis er nødvendig for å lage en BIM-modell. I tillegg har Cyclone 3DR en innebygd «Touch Mode» som lar brukeren gjøre en sanntidsanalyse med en gang data blir tilgjengelig. (Leica, u.d.)

2.4.2 EdgeWise

EdgeWise er en modelleringsplattform som bruker algoritmer til å automatisere punktsky til BIM-modell prosessen. Den kan modellere inn rør, strukturelle elementer, kanaler, vegger, ledninger og kabelbakker ifra mobile eller terrestriske punktskyer i stedet for å bruke manuelle modelleringsteknikker. EdgeWise er kompatibelt med alle de store

designplattformene, så brukeren kan overføre modeller over til programmer som Revit, Plant3D og PDMS. (ClearEdge3D, u.d.)



Figur 7 (a) Digitale verktøy som er brukt i BIM-modellering, (b) Digitale verktøy som brukes for å assistere i modelleringsfasen. Figur basert på tall hentet fra (Rocha, 2021)

2.5 utfordringer rundt denne teknologien.

Datainnsamling krever nøye planlegging og er tidskrevende, enda mer dersom BIM-modellen til et eksisterende bygg må oppdateres jevnlig. I designfasen brukes ufullstendig eller upålitelig informasjon for å lage BIM-modeller av eksisterende bygg. As-built dokumentasjon er ofte utdatert. En «uheldig» BIM-modell kan kaste bort mye tid på å sette sammen data for å lage én sammenhengende BIM-modell som, selv da, ikke alltid kan stoles på. Feil i modellen kan få konsekvenser fordi de kan påvirke alle andre brukere av modellen.

I byggefasen er det en utfordrende prosess å samle inn data for å oppdatere og verifisere modeller. Det kan innebære arbeidskrevende oppgaver som å fysisk besøke et sted for å ta målinger og fotografere. Det fører til ytterligere logistiske hindringer som å arrangere tilgang til nettstedet, hvor lang tid du har lov til å bruke der, og antall ansatte som trengs for oppgaven.

Ved å bruke 3D-skanningsteknologi trenger man fagfolk som er godt kjent innenfor fagområdet. Med eksperter kan man da ta i bruk en skanne-til-BIM-arbeidsflyt med mer troverdighet. Scan-to-BIM distribuerer 3D-laserskannere på stedet for å bygge et presist punktskydatasett og -modell, som opererer med hastighet og skala i henhold til jobbens behov. (Navis, 2022)

2.6 BIM potensial

I hovedsak er BIM et godt prosjekteringsverktøy som visualiserer prosjektet på en fin måte, men en av nøkkelfunksjonene til BIM som gjør den egnet for den sirkulære økonomiprosessen er dens evne til å samle livssyklusinformasjon om en bygning. Med et livssyklusperspektiv fra tidlig fase blir det sikret at man velger de riktige løsningene og bygningsteknologiene for bygget, som også innebærer med å ivareta drift, vedlikehold og rehabilitering. BIM-modellen kan da bidra til å optimalisere bygningsdesign for å redusere bruk av naturressurser og avfall.

Levetiden på et bygg er avhengig av blant annet materialene, bruken, klimapåvirkningene og vedlikehold. LCA er en metode for å beregne miljøbelastningene og vurdere miljøpåvirkningene fra en tjeneste eller et produkt, deler av et bygg eller hele bygget over en avgrenset periode. Perioden kan for eksempel gjelde hele livsløpet til bygget, hvor utvinning av råvarer, produksjon, bruksfase, avhending og transport inkluderes i beregningene.

Resultatene av en LCA for en bygning kan benytte seg som et verktøy for å ta riktige valg i henhold til de mest miljøvennlige løsningene for prosjektet, sammenligne resultatene med tilsvarende bygg, byggemetode eller materiale. Da kan det også benyttes for å dokumentere miljøbesparelser.

2.7 Digitale sirkulær økonomiske plattformer

2.7.1 Madaster

Madaster er en digital plattform for registrering og analyse av materialer og produkter i bygg og infrastruktur.

Bygg som materialbank bidrar til en mer sirkulær byggebransjen. Dokumentasjonen, registrering og analyse av de ulike materialene gjør ombruk av byggematerialer enklere, det

forenkler sirkulær design, forebygger avfall, reduserer miljøgifter og CO2-utslipp og åpner for mulighet for kjøp og salg av byggematerialer. Hvert registrerte bygg i Madaster blir en egen materialbank, og data om bygget genereres til materialpass.

Registeret inneholder oppdatert informasjon som forenkler samhandling, dokumentering og ombruk av materialer. Madaster forenkler administrering, organisering og forvaltning av eksisterende bygg og ombruk av materialer til nye bygg. Dette bidrar til at råmaterialene bevares lengre i kretsløpet.

(Madaster, u.d.)

2.7.2 Loopfront

Loopfront er en plattform som gjør det enkelt å gi materialene et nytt liv. Den tar av seg av hele prosessen- fra kartlegging og dokumentering, til samhandling, logistikk og rapportering. De har som mål å redusere globalt materialavfall, og stoppe utvinning av stadig nye naturressurser.

Som nevnt tidligere ønsker EUs rammedirektiv for avfall at 70% målt i vekt av ikke-farlig bygg- og anleggsavfall skal gå til ombruk og materialgjenvinning. Nødvendig teknologi har til i dag ikke vært tilgjengelig for å gjennomføre disse målene.

Med Loopfront som tilbyr full oversikt over alle tilgjengelige byggematerialer og inventar, og selskapets konsulenter vil bidra til et best mulig beslutningsgrunnlag for mulige besparelser, både når det gjelder økonomi, avfall og besparelser av CO2.

Denne plattformen har en større oppfart i Norge og ble etablert i 2018, enn Madaster som ble etablert 2021.

(Loopfront, u.d.)

2.7.3 SimaPRO

SimaPro er en programvare for å gjennomføre LCA. SimaPro har flere databaser som inneholder prosesser for råvarer og produkter, produksjon, transport, energi, avhending med mer. Programmet blir blant annet brukt i utredningssammenheng for å analysere miljøprestasjonene til for eksempel en bygning. (SimaPro, u.d.)

2.8 BIM prosess

Når man modellerer er det vesentligste at en er klar over hva slags informasjon det er snakk om, og at objektene tilegnes informasjon som oppfattes likt av alle som skal åpne og bruke modellen. Med andre ord er det I-en for Informasjon som er det mest betydelige i BIM. Informasjonen som man beriker 3D-modellene gjør det mulig å administrere ombruk av byggemateriale, samt å gjennomføre byggbarhetsanalyse, års simulering og energimerke ved hjelp av ulike de programvarene.

For at denne informasjonen skal være universell, og gjøre det mulig å bruke BIM i praksis er det tre hovedelementer som må på plass. Disse kalles gjerne BIM-triangelen, og det er mulig å bygge alle disse tre elementene på åpne, internasjonale standarder/spesifikasjoner som innebærer IFC, IFD og IDM. (Anders Mækælæ, 2014)

IFC er et standardisert filformat, som gjør BIM-modeller kompatible selv om de ulike involverte aktørene i et prosjekt bruker forskjellig programvare. Objektene som modelleres i prosjektet lagres som IFC-filer, med alt tilhørende data. Filene vil bli lagret i et bibliotek. Ved hjelp av den åpne delingsfilen IFC, blir modellen stadig mer detaljert med egenskaper og informasjon om de forskjellige bygningsdelene, på tvers av fagretninger og aktører. I modellen foreligger det blant annet informasjon om dimensjoner, spesifikasjoner og tekniske og geometriske løsninger. Med utgangspunkt i informasjon som ligger i modellen i Revit kan entreprenører bestille produkter som oppfyller kravene.

Under prosjektering av en BIM må det bestemmes hvilket nivå de geometriske objektene og detaljene skal ha for å oppnå effektiv kommunikasjon mellom fagområder i modell. Dette kalles LOD og kan brukes om to begreper; Level of Detail eller Level of Development. Level of Detail viser hvilket detaljnivå objektene skal prosjekteres i og hvor mye informasjon elementene skal bestå av, for eksempel 2D eller 3D. Level of Development viser til utviklingsstadiet til ulike systemer i BIM. (monarch, 2021)

2.9 EPD

EPD står for Environmental Product Declaration. På norsk benyttes forkortelsen EPD eller miljødeklarasjon.

En EPD lages på grunnlag av en livsløpsanalyse (LCA) etter ISO 14040-14044. De standardiserte metodene som sikrer at miljøinformasjon innen samme produktkategori lar seg sammenlikne fra produkt til produkt, uavhengig av region eller land. Hensikten er at kunden skal kunne sammenligne miljøprofil og foreta en vurdering og et valg basert på miljødeklarasjonen.

Ettersom byggevarer representerer en miljøpåvirkning gjennom hele byggets livsløp, er formålet med innføring av EPD å kvalitetssikre at produkter ikke inneholder miljøfarlige stoffer i byggeprosjekt. En av grunnene til at krav til EPD er voksende og inngår i større grad i byggeprosjekt er en økende trend gjennom miljøsertifiseringssystemet BREEAM i bransjen. (epd-norge, u.d.)

2.10 BuildingSmart

BuildingSmart er en arena for innovasjon og digitalisering av BEA-næringen. BuildingSmart muliggjør fri flyt av informasjon i livsløpet av et byggverk, og effektiv samhandling mellom alle aktører. BuildingSmart mener at alle løsninger må baseres på åpne standarder.

BuildingSmart har store ambisjoner for fremtidig bruk av BIM og arbeider med å gjøre BIM, digital tvilling og samhandlingsverktøy til standarder brukt i hele verdikjeden og gjennom hele livsløpet. For å arbeide med dette har de blant annet inngått samarbeid med SINTEF. SINTEF er et av Europas største forskningsinstitutter og lager internasjonale standardiserte løsninger. BuildingSmart er aktiv med å påvirke og lage åpne internasjonale BuildingSmart-standarder og standardiserte løsninger. (buildingsmart, u.d.)

2.11 BIM og sirkulær økonomi

Mulighetene ved overgangen til sirkulær økonomi forvaltet riktig er enorme, både kommersielt og miljømessig, men omstilling er krevende når selskaper har vokst opp i den lineære verden. Hvordan er BIM brukbart i rehabilitering prosesser? Kan det hjelpe gjenbruk og resirkulering av materialer og rivnings avfall?

Med BIM danner man et solid grunnlag for beslutninger gjennom prosjektets livssyklus, og i de siste årene har BIM dukket opp som en effektiv bygge metodikk, som forbedrer mange

aspekter ved levering av prosjekter og tilbud med hjelpende løsninger på overgangen til det grønne skiftet knyttet til byggevirksomhet.

Bygge- og rivnings avfall oppstår under bygging, renovering og ettermontering, og etter hvert ved riving. Et stort volum bygnings- og rivnings avfall genereres på grunn av ulike årsaker som uriktige metoder for håndtering av materialer, dårlig design kvalitet, konvensjonelle operasjonsmetoder, endring av arbeid og omarbeiding blant annet. Som et resultat genereres det hvert år en enorm masse bygnings- og rivnings avfall.

For å håndtere disse problemene kan datarike-modeller av BIM brukes for å organisere rett-i-tid ankomst av utstyr, materialer og arbeidskraft ved å integrere informasjon om materialressurser og geometri med kostnad og tidsplandata. Videre minimerer BIM virkningene av sløsende prosesser på tvers av livssyklusen til prosjekter. Ved å integrere ulike digitale verktøy (3D-skanning, BIM) er det mulig å definere den mest bærekraftige og økonomiske dekonstruksjons- og gjenbruksstrategien for byggesektoren. Å koble det digitale systemet til den innovative BIM skaper en syklus mellom design, konstruksjon og riving. Knappe ressurser gjenbrukes på denne måten og kan drastisk redusere byggesektorens enorme CO₂-utslipp.

Teknologier knyttet til BIM kan brukes til å: administrere og optimalisere bygnings- og rivnings avfall ved slutten av levetiden til prosjekter i dekonstruksjon av bygninger; fungere som et designoptimaliseringsverktøy for å redusere det genererte avfallet under bygging; og å bistå med å optimalisere størrelsen på bygningselementer. I tillegg kan BIM brukes til å: estimere mengden avfallsgenerering; utvikle bygnings- og rivnings avfall forvaltningsplaner; velge de mest effektive deponeringsstedene; syntetisere informasjon om hele konstruksjonens livssyklus; og til og med vurdere miljødimensjoner i demontering og gjenbruk av bygningskomponenter ved slutten av levetiden. (Bahareh Nikmehr, 2021)

2.12 Kvantitativ kontroll

Typer og plassering av materialer og deres mengder kan identifiseres. BIM kan gi nøyaktige mengdeutakk og de totale avfallsvolumene uten ekstra tid og innsats. BIM hjelper også med å estimere mengden riveavfall, deponeringsgebyrer og kostnader til logistikk.

Kvantiteten av hver type bygge materialer kan trekkes ut fra as-built BIM etter materialtyper og bygningsnivåer. Målene kan klassifiseres som tall og volum. Summen kan også beregnes automatisk og alt kvantifisert materiale kan eksporteres til Excel ved behov.

Som sagt kan BIM være med på utvikling av en plan for riving og avfallshåndtering. BIM kan gi nøyaktig bygningsinformasjon som hjelper til med valg av rivemetode og utvikling av rivningsstadier. Rekkefølgen og prosessen med rivningen kan designes og simuleres før den faktiske rivnings implementeringen. For eksempel kan håndtering av farlige materialer (f.eks. brandører som inneholder asbest) prioriteres slik at de fjernes først. Fordelene og kostnadene ved å bruke ulike rivningsmetoder kan sammenlignes og studeres. Avfall kan skilles fra gjenbruk, resirkulering og deponering basert på typene demolerte materialer og avfallshåndteringsstrategier kan utvikles deretter.

Beregningsytelse som blir brukt i mengdeutregning er verdier av bygninger på et bestemt tidspunkt i form av mengde strukturell materialer som er tilgjengelig når bygget rives eller dekonstrueres. Disse verdiene beregnes basert på mengdelisten som hentet fra BIM-modeller ved hjelp av en matematisk modellerings tilnærming.

Utfordringen for å bruke BIM-teknologier ligger spesielt i å digitalisere dagens bygningsmasse og dermed gjøre det tilgjengelig for livssyklusorientert ledelse i samsvar med BIM-filosofien. For å bruke BIM-modeller for ressurseffektivitet, er det nødvendig med omfattende informasjon om bygningers geometri og materialer i byggets i BIM-modell. Mangelen på informasjon om materialsammensetningen til bygninger er hoved hindringen for resirkularitet. (Rocío Quiñones, 2021)

Kapittel 3: Metode

Dette kapitlet blir det beskrevet case studiet vårt og gjennomføringen fra mottatt punktskydata til ferdig modell. Her vil også prosessen om hvordan man finner materialmengder til å bli presentert.

Den valgte forskningsmetoden for oppgaven og begrunnelse for valg av metode. Formålet med oppgaven er å vurdere gevinsten samt utfordringen for implementering av Scan to BIM for eksisterende bygg og funksjonen den har i forhold til sirkulær økonomi. Kapitlet vil presentere forskningsmetoden, forklare fremgangsmåten for innhenting av data, beskrive hvordan dataene er analysert, evaluerer prosessen, beregning av resultater, samt redegjøre hvilke kriterier som ligger til grunn for resultatene.

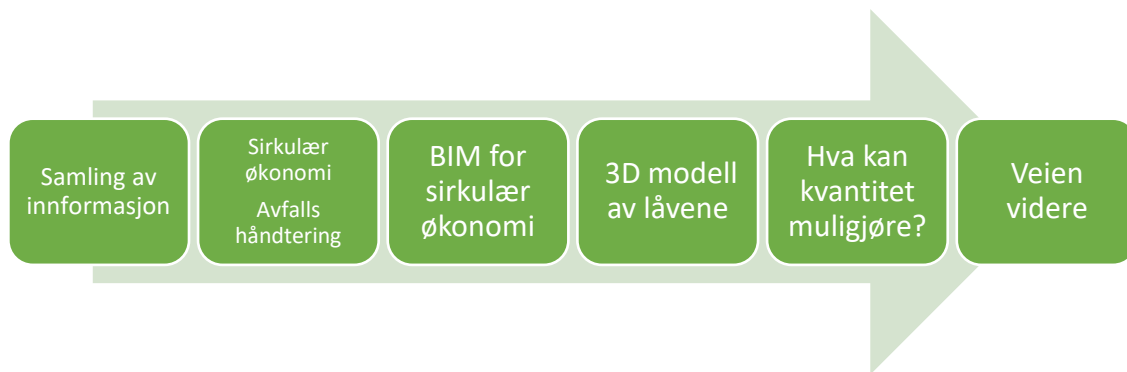
3.1 Case studiet

Prosjektet SirkTRE skal i de neste årene løfte byggenæring og treindustrien i retningen det grønne skiftet ved å sørge for at returtre gjenbrukes i byggeprosjekter og inngår som råstoff i treindustrien. I Norge er mengden returtre omtrent like stor som tre mengden om inngår i byggeprosjekter.

I vår case studie (Scan to BIM) lager vi 3D-modeller basert på punktskyer av en stor låve som ligger i Kviteseid i Telemark, og to mindre låver som ligger i Nes i Ådal. Låven i Kviteseid ble bygd i 1927 og låvene i Nes i Ådal ble bygd rundt 1900, som tilsvarer at materialene er slitte og låvene skal rehabiliteres. Spørsmålet er da om materialene kan gjenbrukes eller må gjenvinnes. Ønsket til sirkTRE er at materialene i disse låvene kan bli et eksempel på ombruk, og deres overordnede mål er at 100 000 tonn returtre ombrukes i byggeprosjekter innen 2024, og 400 000 tonn ombrukes i byggeprosjekter innen 2030. I metoden vår skal vi se på digitale løsninger for å bidra til det grønne skiftet og hvordan Scan to BIM kan være med på å bidra til å gå fra lineær økonomi til sirkulær økonomi.

3.2 Forskningsdesign

Forskningsdesignet angir en plan for hvordan forskningen skal besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene basert på teori i oppgaven.



Figur 8 Viser forskningsdesignet for teori for å kunne svare på problemstillingen

3.3 Relevante programvarer

Bruk av BIM vil i de aller fleste tilfeller inkludere bruk av ett eller flere programmer. I vår oppgave valgte vi Autodesk Revit for utvikling av BIM-modell. Revit gjør at vi får en mer praktisk forståelse av hvordan vi kan ta styringen, ha kontroll og dermed ta ledelsen på hvilken informasjon som skal inngå i den digitale modellen i BIM-filen.

3.3.1 Autodesk Revit

Autodesk Revit er et komplett BIM-verktøy for byggebransjen for både arkitekter, designere, bygg-, maskin-, elektro-, og VVS- ingeniører. Første versjon av Revit ble utgitt 5. april 2000. Etter 2004 ga Revit ut flere versjoner av Revit, eksempel Revit Structure, Revit MEP og Revit Architecture. Men etter 2013 har flere av disse eksterne programmene blitt lagt sammen inn i ett produkt, Revit. (Wikipedia, 2022)

Revit er brukt til å lage parametriske 3D-modeller av nye eller eksisterende bygg. I Revit kan en bruker lage en komplett modell av en bygning med alt av komponenter bygd inn i modellen, som for eksempel rørsystemer og kabelkanaler. Ved å bruke en parametriske redigeringsmodell kan brukeren redigere hele bygninger og samstillinger i «prosjektmiljø»-området, og individuelle 3D-modeller i «familieredigering»-området. Dette gjør at alle komponentene i en bygning er sammenkoblet via en parametriske modell, og forholdet mellom komponenter gjør at det blir en automatisk endring i hele modellen ved endring i elementer i modellen. Dette gjør at modellen forblir koblet og all dokumentasjon blir koordinert i forhold. Derfor er det ingen overraskelse at navnet Revit er inspirert av denne metoden, og er en sammentrekning av Revise-Instantly. (Wikipedia, 2022)

I modelleringsverktøyet kan en bruker redigere alle objekter som blir plassert inn i modellen. En bruker kan importere ferdiglagde objekter eller importere geometriske modeller. Ved å importere geometriske modeller og objekter, kan en bruke digitale modeller av reelle produkter. Disse digitale modellene kan inneholde produktrelatert informasjon. Dette gjør at en kan hente informasjon om et bygg ut av en digital modell i stedet for å være på byggeplass/området. (Wikipedia, 2022)

Når en bruker er ferdig med det geometriske i modellen kan en endre på det estetiske i modellen for å oppnå et realistisk uttrykk. Dette kan bli oppnådd ved å bruke modeller av vegger, tak og eller materialer som følger med Revit eller lage egne. Deretter kan brukeren bruke «render» verktøyet for å vise frem hvordan den digitale modellen kommer til å se ut i virkeligheten ved å endre på lysstyrke, intensitet til teksturen, bukkart, refleksjonskart, skrårefleksjonskart og andre funksjoner som får modellen til å se mer realistisk ut. (Wikipedia, 2022)

3.3.2 Autodesk ReCap

Autodesk ReCap er et program som lar deg jobbe med punktskyer fra laserskanninger. Som innebærer at en laserskanner har laget en virtuell representasjon av et rom eller en hel bygning ved å bruke en samling av punkter som har en viss avstand og høyde ifra laserskanneren. Hver skanning kan inneholde flere millioner punkter. Disse punktene blir lagt sammen til en punktsky som en kan jobbe med i ReCap.

ReCap lar brukeren åpne punktskyfiler direkte, og lar brukeren tilpasse punktskyen med enkle verktøy, og slette deler av punktskyen som ikke er relevant. Prosjektstrukturen i ReCap gjør at en bruker kan fordele arbeidet ut over flere dager. Hvis en bruker skal analysere en hel boligblokk, kan brukeren fordele arbeidet ut over flere dager, og fordele modellen i flere deler. Dette gjør at brukeren kan håndtere så mye data en vill, og er ikke avhengig av å jobbe med hele punktskyen.

Siden ReCap er et Autodesk-produkt kan en bruker importere ReCap-filen til andre Autodesk-produkter, eksempel Revit. Deretter kan en lage en nøyaktig BIM-modell av bygningen eller bruke punktskyen til å sammenligne med en Revit-modell, og å finne ut om det er noen konflikter. På samme måte kan en bruker importere punktskydataene til Civil 3D for å skape overflater med høyt nøyaktighetsnivå.

(Coppinger, 2020)

3.3.3 Autodesk Civil3D

Autodesk Civil3D er et program for ingeniørdesign- og dokumentasjonsløsning som støtter arbeidsflyten i BIM i alt ifra infrastruktur, veier, landutvikling, jernbane, flyplasser og vann. Programvaren hjelper fagfolk med å forbedre prosjektleveranse, opprettholde deling data og prosesser på et nivå, og reagere raskere på prosjektendringer. (Symetri, u.d.) I tillegg lar programmet deg bruke data ifra virkeligheten ved bruk av laserskanning eller annen kartdata. Dette kan bli brukt til å gjøre analyser og beregninger for å kunne planlegge prosjektering i et gitt område. (Focus Software, u.d.)

3.3.4 Excel

Excel er et regneark program utviklet av Microsoft. Programmet er har beregningsmuligheter, grafverktøy, pivottabeller og et makroprogrammeringsspråk kalt Visual Basic for Applications (VBA). Programmet bruker et rutenett med nummererte celler og bokstav navnede kolonner. Programmet følger med funksjoner tilknyttet statistikk, tekniske og økonomiske behov. I tillegg kan programmet vise data som linjegrafer, histogrammer og diagrammer. Dette gjør at programmet kan bli brukt til varierende oppgaver innen flere fagfelt. (Wikipedia, u.d.)

3.4.1 Punktskybehandling

Laserskanningene ble utført av Tormod Urke og videre ble vi utdelt punktskydataene som ble importert inn til Recap. I Recap ble punktene som lå utenfor selve bygget klippet bort før ferdig punktsky-fil ble importert til Revit-prosjektet. Dette var for at selve bygget blir mer synlig og det gjør det lettere å lage mer detaljerte modeller i Revit.

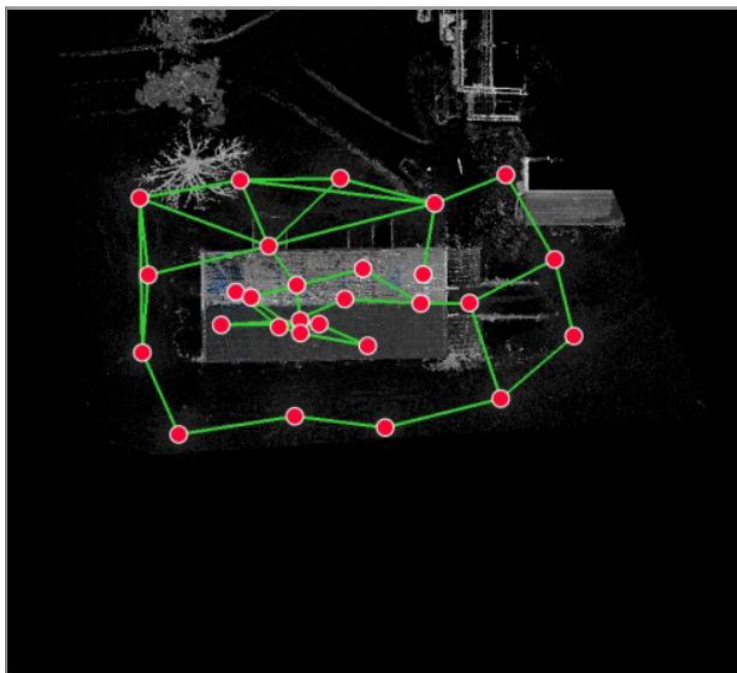
3.4.1.1 Fremgangsmåte for importering av punktsky til Recap

For at en punktsky skal være leselig i Revit må man først importere punktskyen til Recap, og lagre filen til et format som er leselig i Revit. For å gjøre dette i Recap velger man new project → import point cloud → (Velger prosjektnavn) → select files to import → (Velger LAS-fil(punktsky)) → import files → launch project. Deretter renses man opp punktskyen for støy,

og annen unødvendig informasjon. Deretter lagrer man, og forsikrer seg å lagre som en rcp-fil for at punktskyen skal være leselig i Revit. I Revit blir punktskyen importert ved å gå til Insert→Point Cloud.



Figur 9 Punktsky av låven i Kviteseid i Telemark. Laserskanning gjort av Tormod Urke.



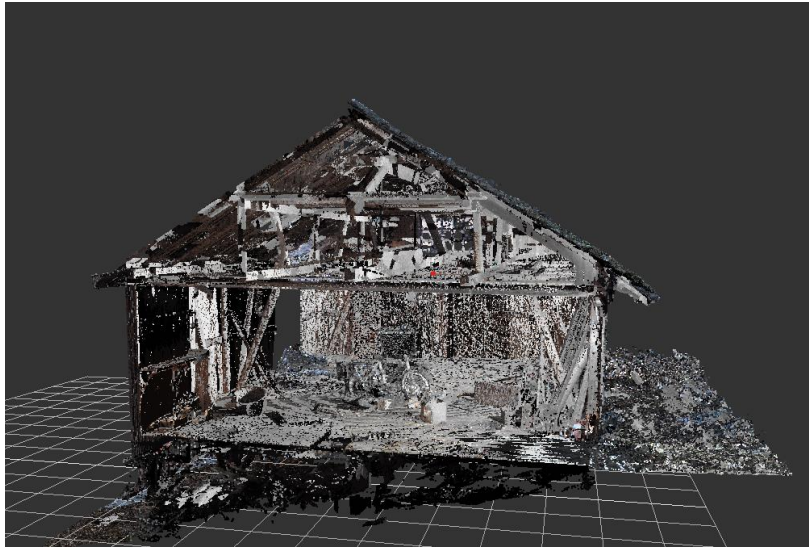
Figur 10 Viser punktsky av låven i Kviteseid i Telemark ovenfra, og røde sirkler med oversikt over hvor laserskanningen har blitt utført. Punktsky gjort av Tormod Urke.



Figur 11 Viser hvordan punktskyen av låven i Kviteseid i Telemark ser ut inni. Laserskanning gjort av Tormod Urke



Figur 12 Viser punktsky av låvene i Nes i Ådal, og røde sirkler med oversikt over hvor laserskanningen har blitt utført. Punktsky gjort av Tormod Urke



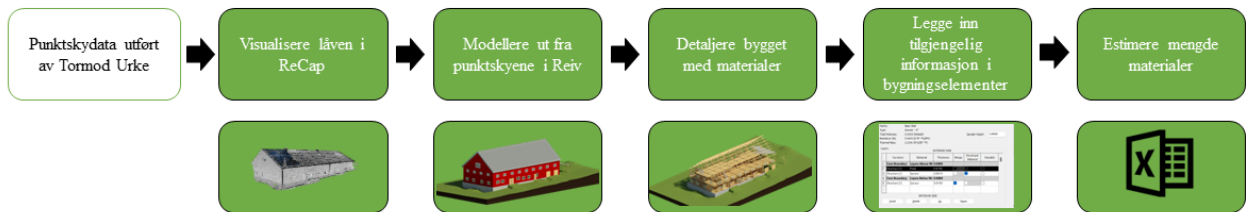
Figur 13 Viser hvordan punktsky av låven i Nes i Ådal ser ut inni. Laserskanning gjort av Tormod Urke.



Figur 14 360-graders bilde av innsiden av ene låven i Nes i Ådal. Bilde: Tormod Urke

3.5 Modelleringen

Etter punktskybehandling i Recap startet arbeidet med å følge punktskyene og lage en 3D-modell i Revit basert på dem. Etter ferdig modellering av det ytre, begynte vi å detaljere innsiden av låven. Til slutt legges inn informasjon til bygningselementene basert på informasjon hentet fra punktskyene. Hvis den informasjon ikke er tilgjengelig med informasjon fra punktskyen finner man informasjon som passer best ved utforming av en låve, med tanke på tykkelse av ytre- og indre kledning.



Figur 15 Fremstiller metode fra mottatt punkt skydata til en 3D-modell, og deretter materialanalyse av 3D-modell. Figur laget i PowerPoint.

Vi har prøvd å følge punktskyen så nøyaktig som mulig under modellering, men som vist i figur 13 så er visualiseringen av punktskyene vanskelig å se tydelig nok til å gjøre målinger av konstruksjonsvirke. Derfor har det blitt gjort noen antagelser på plasseringen og tykkelsen av materialene.

3.5.1 Valg av konstruksjonselementer

For å lage BIM-modellene så lik punktskyen og den eksisterende bygningen er punktskyen fulgt så lenge det er mulig. Det er blitt oppgitt fra eier at det er gran som er mest brukt i den eksisterende konstruksjonen, så det er logisk å fortsette å bruke det som materiale.

Alle søylene og bærebjelkene i låven i Kviteseid er basert på en Timber 5x5 bjelke importert fra Autodesk Family. Timber 5x5 bjelken er 114,3 mm bred og 114,3 mm høy. Enkelte av bærebjelkene i låvene i Nes i Ådal har tykkere bjelker, og derfor er det i tillegg til Timber 5x5 er det brukt Timber 6x6. Timber 6x6 bjelken er 139,7 mm bred og 139,7 mm høy. Ved mengdeberegning for gran er det valgt å bruke en densitet på 470 kg/m^3 dette er på grunn av at gran har denne densiteten ved 12% fuktighet. (Byggforsk, 2015)

Ved beregning av totale mengden gran i veggene er det ikke mulig å kunne beregne tykkelse på indre og ytre vegger med hjelp fra punktskyen. Derfor er det valgt å basere tykkelsen på de indre og ytre veggene på de mest vanlige byggevarene for låver. Den mest vanlige tykkelsen på indre kledning for låver i dag er 14mm, og den mest vanlige tykkelsen på ytre kledning for låver i dag er 19 mm. Indre kledning er basert på ubehandlet skyggepanel fra Maxbo.

(Maxbo, 2022) Ytre kledning er basert på ubehandlet kledning fra Gausdal Landhandleri.
(Gausdal Landhandleri, 2022)

Mengdeberegning av gulvflatene er basert på måling gjort i punktsky. Ved å bruke målverktøy i Autodesk ReCap er det kommet frem til at tykkelsen på gulvet til låvene er 10 mm for låven i Kviteseid og 50 mm på låvene i Nes, og denne informasjonen er brukt i BIM-modellene.

3.6 Fremgangsmåte for resultatberegning av mengder

3.6.1 Tilføring av informasjon om konstruksjonselementer

Etter ferdig 3D-modell tilfører vi konstruksjonselementene material informasjon. Ved å redigere oppbygningen av konstruksjonselementene.

Family: Basic Wall
Type: Timber
Total thickness: 200.0 (Default) Sample Height: 6000.0
Resistance (R): 7.2000 (m²·K)/W
Thermal Mass: 0.22 kJ/(m²·K)

Layers

EXTERIOR SIDE						
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material	Variable
1	Core Bound	Layers Abo	0.0			
2	Finish 1 [4]	Red paint	1.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Structure [1]	Spruce	19.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Thermal/Air	Air	180.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Core Bound	Layers Belo	0.0			

INTERIOR SIDE

Insert Delete Up Down

Figur 16 Viser eksempel på hvordan man tilfører informasjon i vegg

3.6.2 Innhenting av mengde resultater

Den digitale 3D-modellen av låvene gir oss en visuell representasjon av låvene. Dette gjør at man kan gjøre mengdeberegninger av ulike materialer ved hjelp av «material takeoff» funksjonen i Revit.

For å gjøre mengdeberegning av låvene er det innhentet informasjon fra 3D-modellene som er produsert i Revit med hjelp av punkttskyene. Informasjonen fra Revit er deretter overført til Excel for å legge sammen alle beregningene. Resultatet blir deretter ganget med densitet for gran for å finne ut vekten/mengden.

Informasjonen i fra 3D-modellen er hentet ved å gå under View→Schedules→Material Takeoff. Deretter velger man hvilken kategori en har lyst til å innhente informasjon fra. I denne oppgaven henter vi informasjon fra kategoriene *walls*, *floors*, *structural framing* og *structural column*. Hvis det ikke kommer ut resultater kan det være at man henter ut informasjon fra feil *Phase*.

3.6.3 Resultat innhenting i Revit

Når man har kommet inn i Material Takeoff vinduet er det innhenting av informasjon som er neste oppgave. Det blir valgt *Material: Volume* og *Volume* for å se på forskjellen mellom de to. Andre kategorier blir valgt for å se på forskjellen på de ulike bygningselementene.

Walls: Available Fields → *Material: Name, Width, Material: Volume, Volume* → OK

Floors: Available Fields → *Level, Default Thickness, Area, Material: Volume, Volume* → OK

Structural Framing: Available Fields → *Length, Material: Volume, Volume* → OK

Structural Columns: Available Fields → *Base level, Top level, Length, Material: Volume, Volume* → OK

3.6.4 Eksporterering av mengdeberegninger fra Revit til Excel

For å ta informasjonen ut av Revit må en først forsikre seg at man er i vinduet til den tabellen man har lyst til å eksportere. Hvis man er det, går man til File→Export→Reports→Schedule, velger CSV-filformat, og velger et passende lagringssted og navn.

I Excel går man til Data→Fra tekst/CSV. Finner CSV-filen du vil importere, og velger *Last inn*. Deretter går man til Hjem→Søk etter og merk→Erstatt. Her erstatter man alle punktumer med kommaer, og erstatter m³ med ingenting. Da blir informasjonen leselig, og mulig å summere sammen. For å få ut et resultat, velg en tom celle og skriv =*summer* (), og velg alle relevante cellene for *Material: Volume*. Dette gjør man i alle de importerte CSV-filene, og

legger sammen resultatet for *Material: Volume* fra alle kategoriene. Ganger det totale resultatet med densitet for gran for å komme frem til vekt i kg for hele bygningen. Hvis en vil frem til antall tonn deler man antall kg med 1000.

3.6.5 Mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge

Ved resultat beregning av potensialet knyttet til gjenbruk av låver i Norge er det brukt tall hentet i fra SSB og 3D-modellen for låven i Kviteseid. Det er tatt utgangspunkt i at alle driftsbygninger i Norge er låver i den totale mengdeberegningen.

Tallene for gjennomsnittsarealet på en driftsbygning er basert på tabeller hentet ifra SSB som er basert på tall fra 2013. Tallene stammer fra tabeller for totale grunnflaten av driftsbygninger, 2013 og driftsbygninger for jordbruksbedrifter, 2013. Den totale grunnflaten av driftsbygninger er delt på driftsbygninger for jordbruksbedrifter for å finne gjennomsnittsarealet til en driftsbygning.

For å komme frem til mengdeberegninger er det funnet forholdet mellom det gjennomsnittlige arealet til en driftsbygning og grunnflate arealet av 3D-modellen til låven i Kviteseid. Forholdet mellom gjennomsnittsarealet til en driftsbygning og grunnflaten til låven er deretter ganget med vekten til alt gran i 3D-modellen for låven i Kviteseid for å finne ut gjennomsnittlig vekt av gran i en gjennomsnittlig låve. Deretter er dette gjennomsnittet ganget med antall driftsbygninger i Norge i 2020 for å finne ut potensialet knyttet til gjenbruk av låver i Norge.

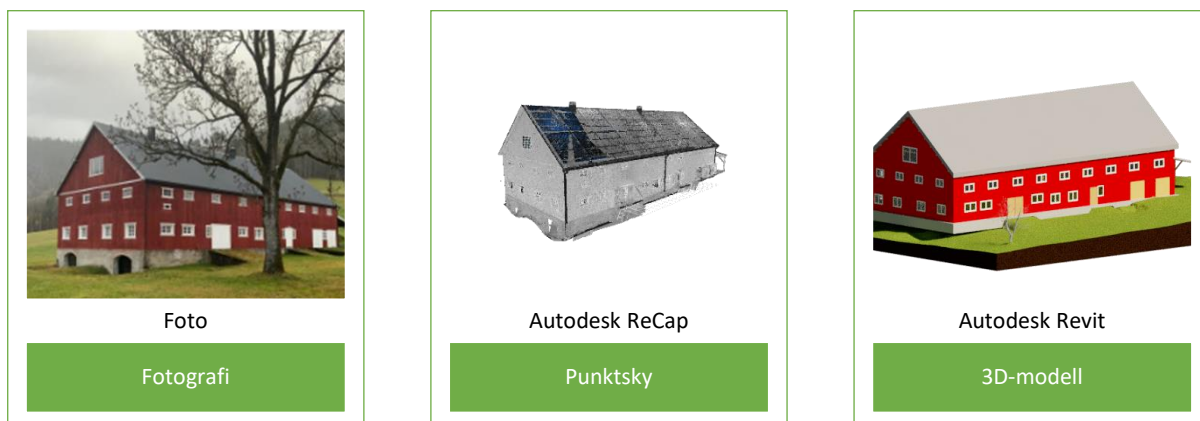
Tall brukt i mengdeberegning av driftsbygninger/låver i Norge

- Grunnflaten til driftsbygninger til jordbruksbedrifter i Norge i 2013 var 23 943 000 m²
- Antall driftsbygninger til jordbruksbedrifter i Norge i 2013 var 74 000
- Arealet til 3D-modell av låven i Kviteseid er 919,761 m²
- Vekt av alt gran brukt i låven i Kviteseid er 24 078 kg
- Antall driftsbygninger i Norge i 2020 var 437 559

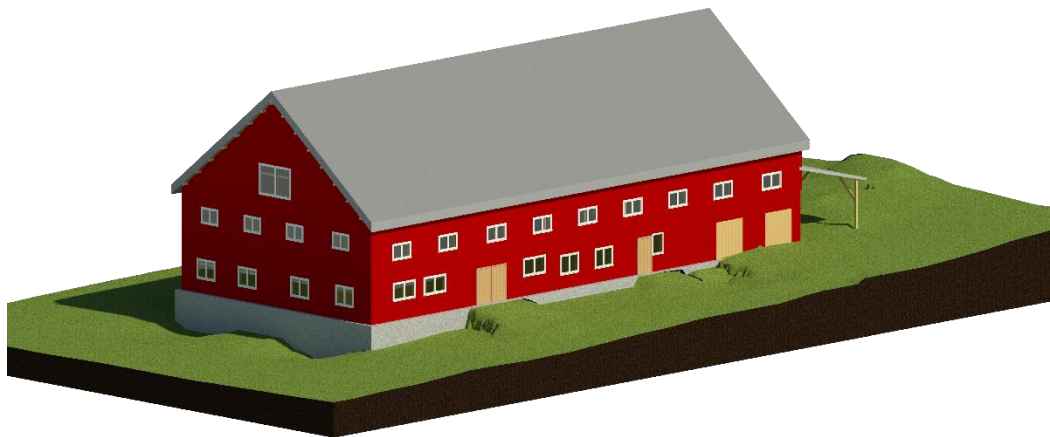
Kapittel 4: Resultat

Dette kapitlet går igjennom resultater fra 3D-modellering i Revit basert på punktskyer av låven i Kviteseid i Telemark og låvene i Nes i Ådal. I kapitlet blir det vist render av de produserte 3D-modellene. For å vise innvendig oppbygning blir det vist planløsning med mål for de ulike etasjene. Kapitlet avsluttes ved å vise mengdeberegninger av gran brukt i låvene, og disse resultatene blir brukt videre ved mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av driftsbygninger/låver i Norge.

4.1 Resultater av låven i Kviteseid i Telemark



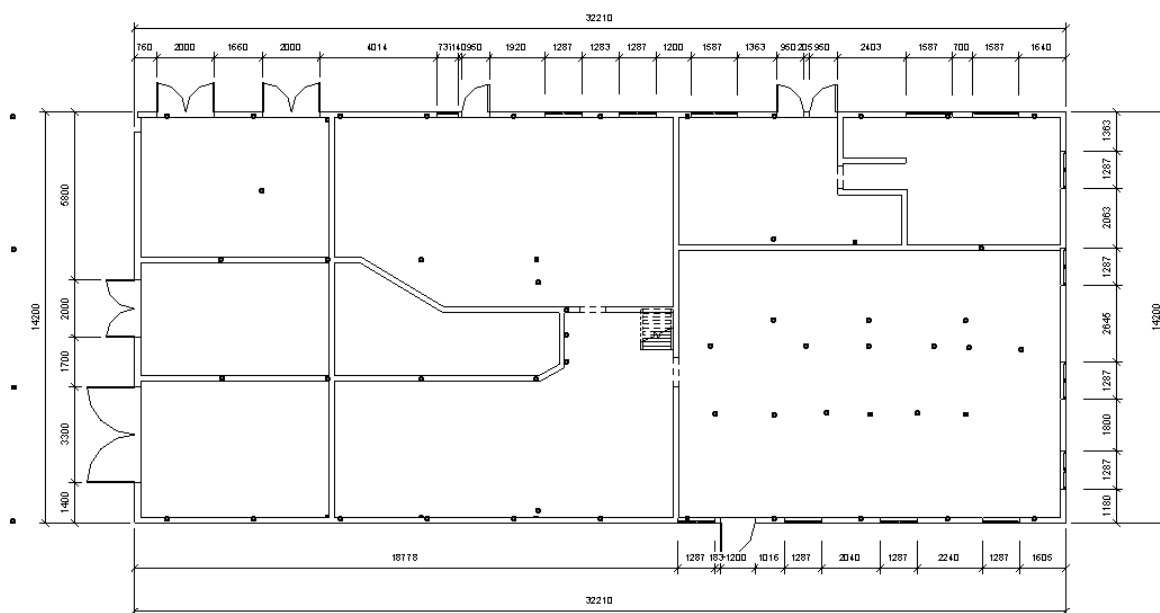
Figur 17 Fotografi av låven i Kviteseid, punktsky av låven i Kviteseid og 3D modell av låven i Kviteseid. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit



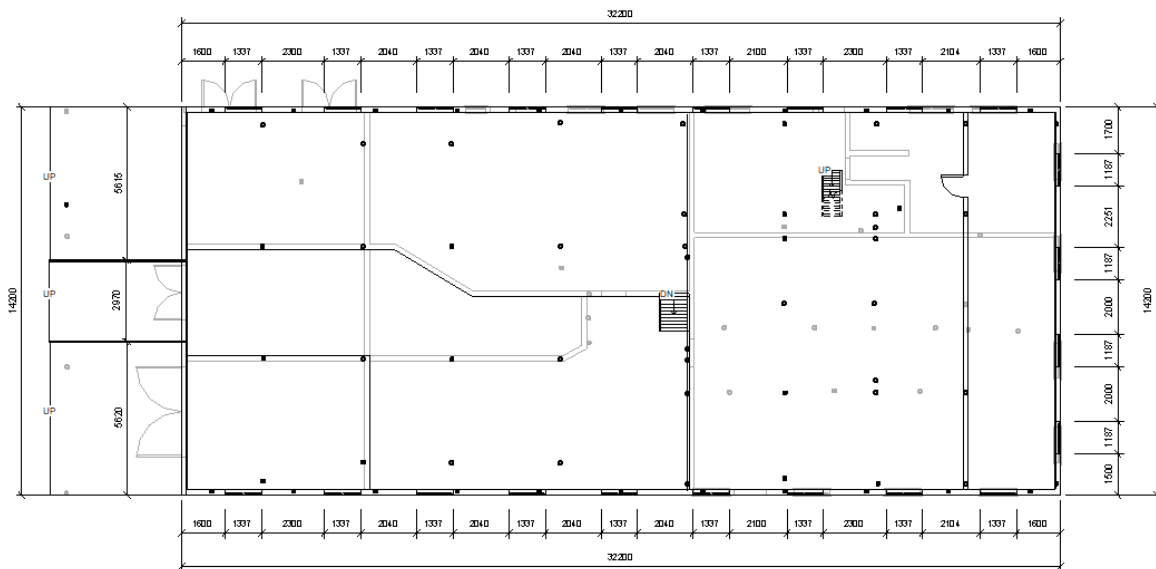
Figur 18 Render av låven i Kviteseid fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.

Figur 17 viser tre forskjellige bilder av låven i Kviteseid i Telemark. Bilde til venstre viser hvordan låven ser ut nå, bildet i midten er skjermskudd av punktskyen i ReCap og bildet til høyre viser en ferdig 3D-modell av låven i Revit, og er et forslag på hvordan det kommer til å se ut. Figur 18 er et større bilde av 3D-modellen av låven i Revit.

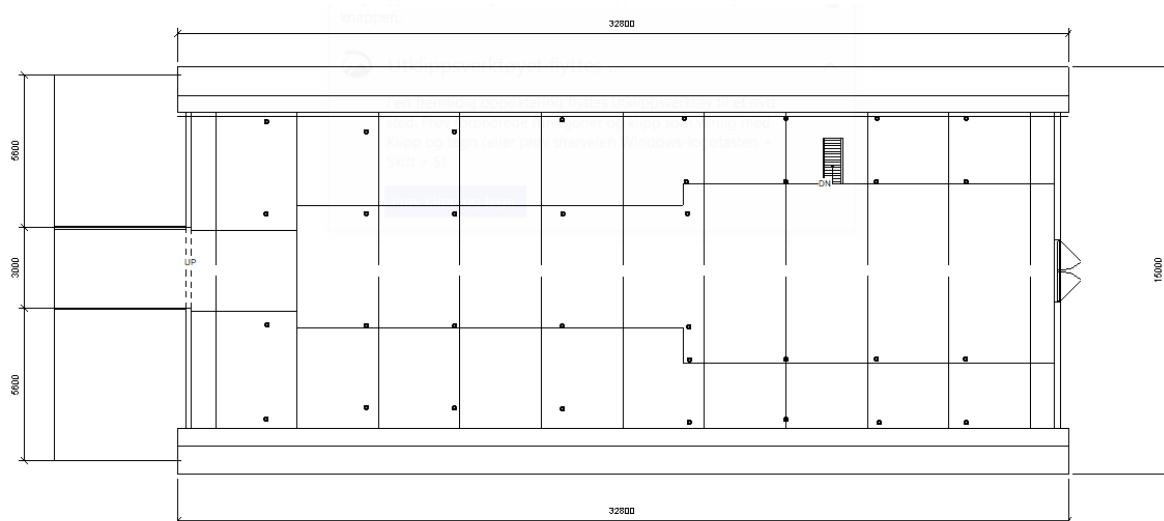
4.1.1 Planløsning



Figur 19 Planløsning for Level 0/første etasje av låven i Kviteseid. Skjermskudd fra Revit.



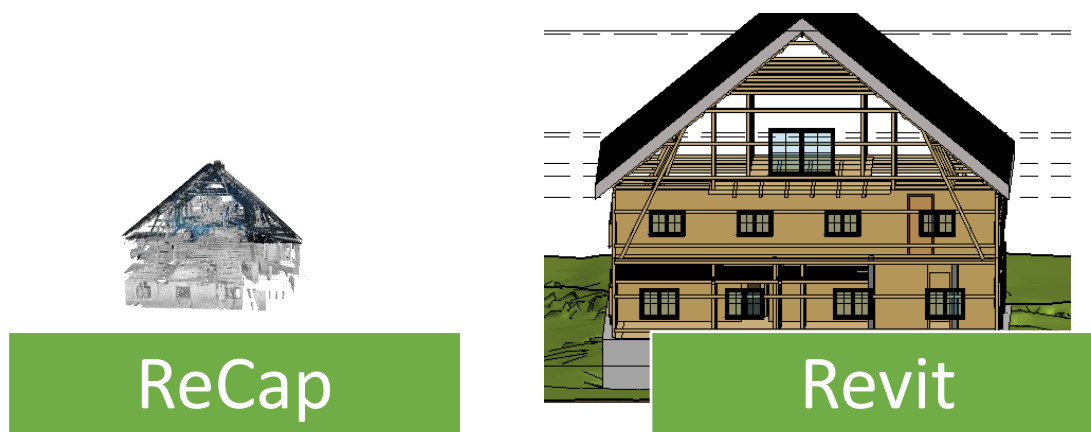
Figur 20 Planløsning for Level 1/andre etasje av låven i Kviteseid. Skjermklipp fra Revit.



Figur 21 Planløsning for Level 2/tredje etasje av låven i Kviteseid. Skjermklipp fra Revit.

Her kan man se planløsning for første, andre og tredje etasje for låven i Kviteseid i Telemark. Figur 19 viser planløsning for første etasje, figur 20 viser planløsning for andre etasje og figur 21 viser planløsning for tredje etasje.

4.1.2 Indre konstruksjon til låven i Kviteseid



Figur 22 Visning av indre konstruksjonen til låven i Kviteseid. Skjermbklipp fra ReCap og Revit

4.1.3 Mengdeberegning av låven i Kviteseid

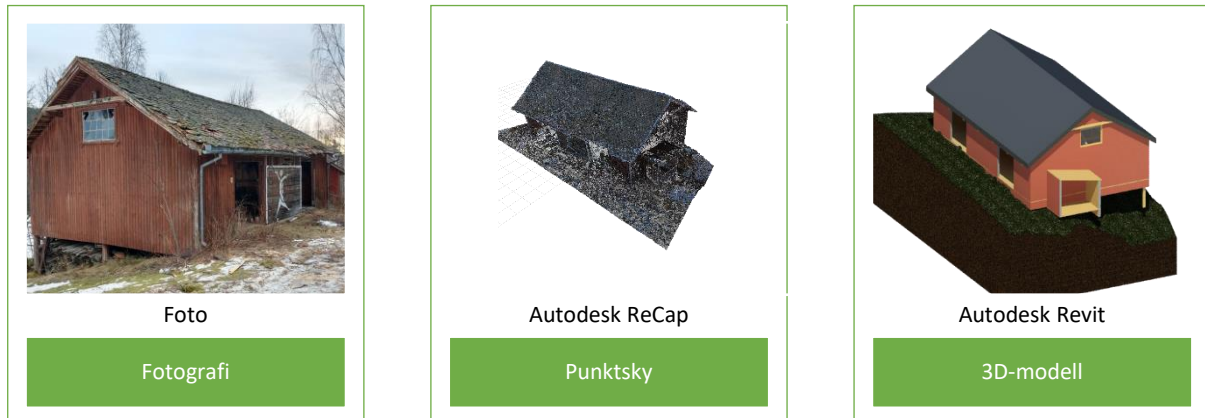
Tabell 3 Mengdeberegning av treverket i låven som ligger i Kviteseid basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.

Densitet for Gran (12% fuktighet)	470 kg/m ³	
Kviteseid i Telemark	Material Volum	
Vegg	17,004	m ³
Gulv	9,197	m ³
Bæresystem	20,471	m ³
Søyler	4,558	m ³
Total Material Volum	51,23	m ³
Vekt Gran	24078,1	kg
	24,1	tonn

Tabell 3, mengdeberegning av låven i Kviteseid viser at veggen har totalt 17,004 m³ med gran, gulvet har totalt 9,197 m³ med gran, bæresystemet har totalt 20,471 m³ med gran og

søylene har totalt 4,558 m³ med gran. Totalt har låven 51,23 m³ med gran. Dette utgjør en vekt på 24 078,1 kg altså 24,1 tonn gran ved en densitet på 470 kg/m³ for gran.

4.2 Resultater av den lille låven i Nes i Ådal



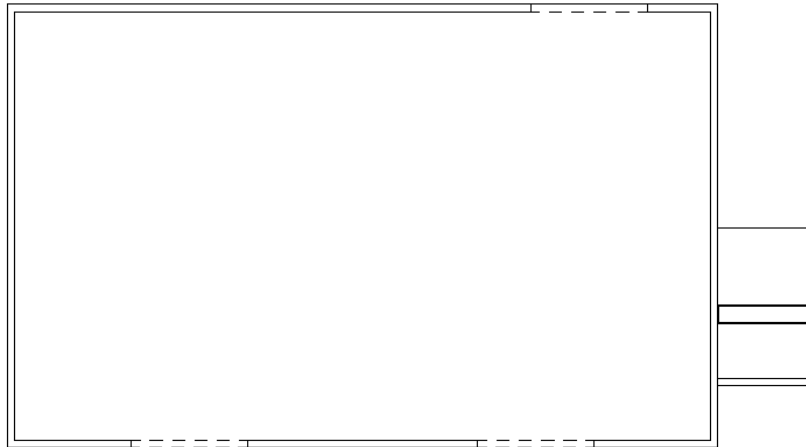
Figur 23 Fotografi av den lille låven i Nes, punktsky av den lille låven i Nes og 3D modell av den lille låven i Nes. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit



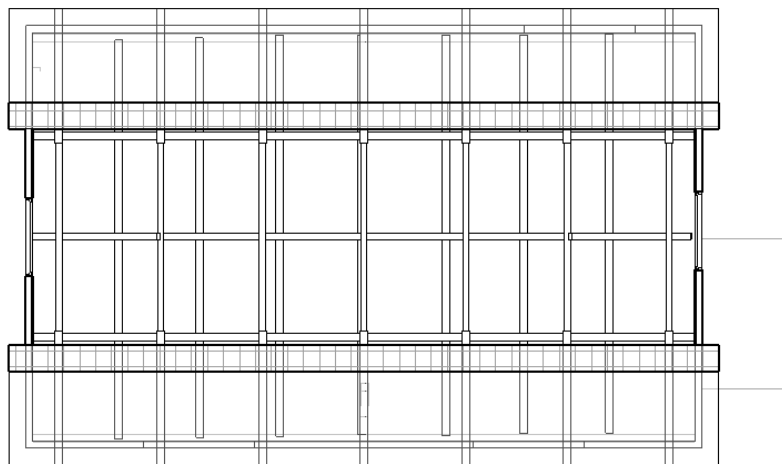
Figur 24 Render av den lille låven i Nes i Ådal fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.

Figur 23 viser tre forskjellige bilder av den lille låven i Nes i Ådal. Bilde til venstre viser hvordan låven ser ut nå, bildet i midten er skjermslipp av punktskyen i ReCap og bildet til høyre viser en ferdig 3D-modell av låven i Revit, og er et forslag på hvordan det kommer til å se ut. Figur 24 er et større bilde av 3D-modellen av låven i Revit.

4.2.1 Planløsning av den lille låven i Nes i Ådal



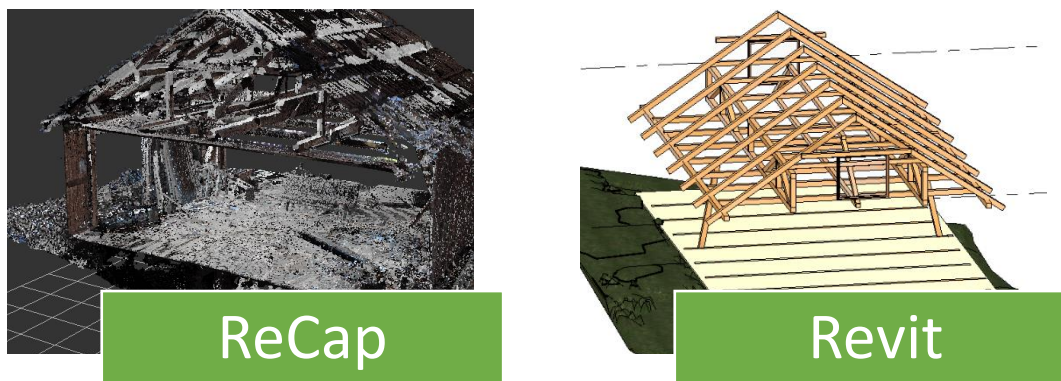
Figur 25 Planløsning for Level 1 for den lille låven i Nes. Skjermslipp fra Revit.



Figur 26 Planløsning Level 2 for den lille låven i Nes. Skjermslipp fra Revit.

Figur 25 og 26 viser planløsning for den lille låven i Nes i Ådal. På figur 25 kan man se planløsningen for Level 1, og på figur 26 kan man se planløsningen for Level 2 for den lille låven i Nes i Ådal.

4.2.2 Indre konstruksjon til den lille låven i Nes i Ådal



Figur 27 Visning av indre konstruksjonen til den lille låven i Nes.. Skjermklipp fra ReCap

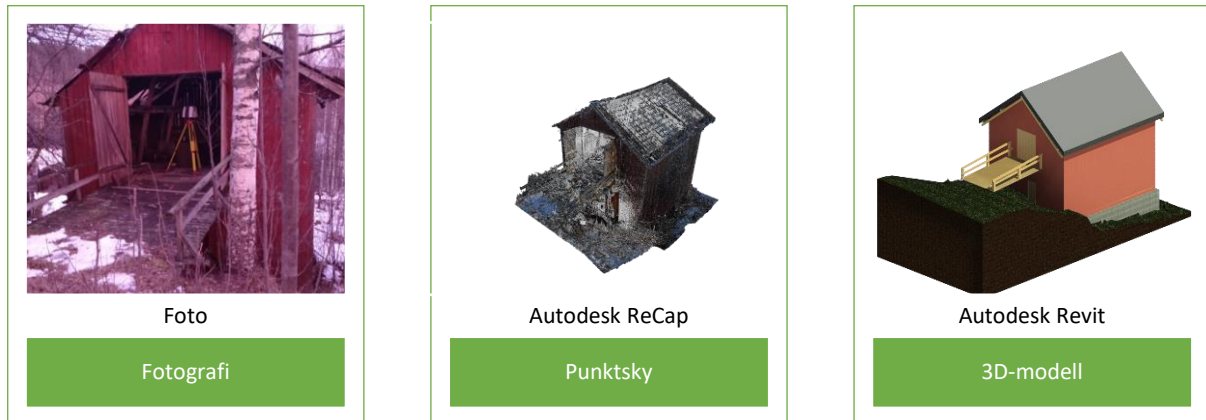
4.2.2 Mengdeberegning av den lille låven i Nes i Ådal

Tabell 4 Mengdeberegning av treverket i den lille låven som ligger i Nes basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.

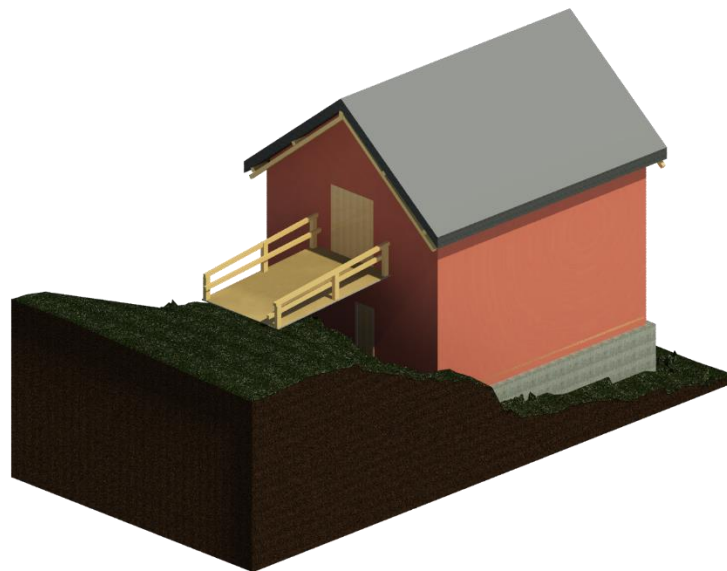
Densitet for Gran (12% fuktighet)	470	kg/m ³
Nes i Ådal	Material Volum	
Vegg	2,34	m ³
Gulv	4,62	m ³
Bæresystem	6,85	m ³
Søyler	0,28	m ³
Total Material Volum	14,09	m ³
Vekt Gran	6 622,30	kg
	6,6	tonn

Tabell 4, mengdeberegning av den lille låven i Nes i Ådal viser at vegg har totalt 2,34 m³ med gran, gulvet har totalt 4,62 m³ med gran, bæresystemet har totalt 6,85 m³ med gran og søylene har totalt 0,28 m³ med gran. Totalt har låven 14,09 m³ med gran. Dette utgjør en vekt på 6 622,3 kg altså 6,6 tonn gran ved en densitet på 470 kg/m³ for gran.

4.3 Resultater av den høye låven i Nes i Ådal



Figur 28 Fotografi av den lille høye i Nes, punktsky av den høye låven i Nes og 3D modell av den høye låven i Nes. Foto: Tormod Urke, Skjermklipp hentet fra Recap, Render hentet fra Revit

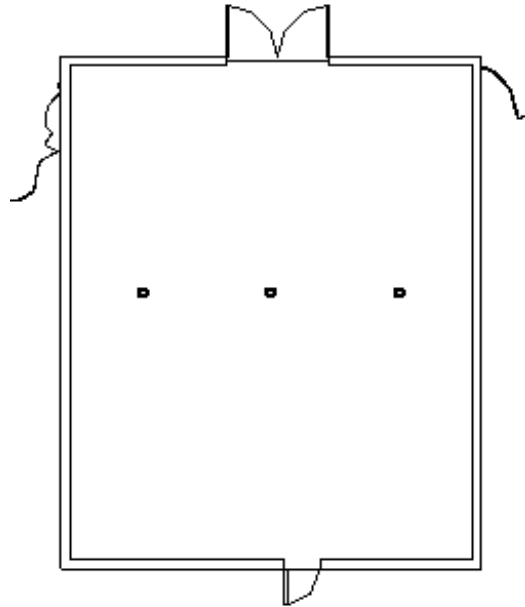


Figur 29 Render av den høye låven i Nes i Ådal fra fugleperspektiv. Render hentet fra Revit.

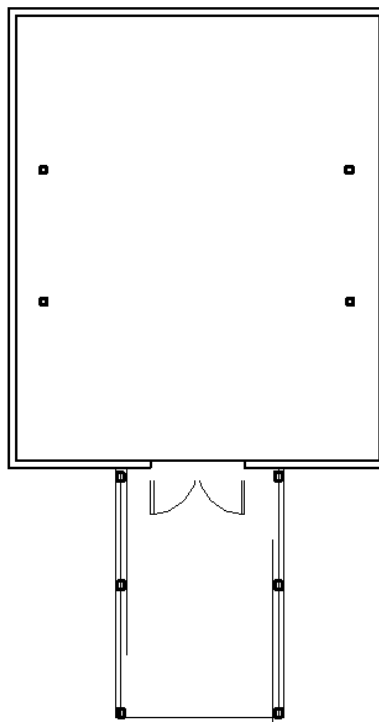
Figur 28 viser tre forskjellige bilder av den høye låven i Nes i Ådal. Bilde til venstre viser hvordan låven ser ut nå, bildet i midten er skjermklipp av punktskyen i ReCap og bildet til

høyre viser en ferdig 3D-modell av låven i Revit, og er et forslag på hvordan det kommer til å se ut. Figur 29 er et større bilde av 3D-modellen av låven i Revit.

4.3.1 Planløsning av den høye låven i Nes i Ådal



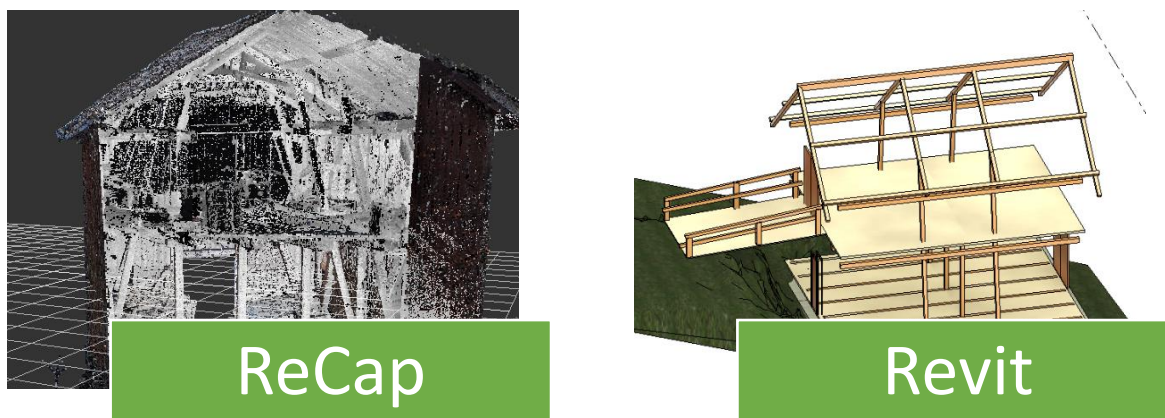
Figur 30 Planløsning for kjelleren til den høye låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.



Figur 31 Planløsning for første etasje/level 1 til den høye låven i Nes. Skjermklipp fra Revit.

Her kan man se planløsning for kjeller og første etasje for den høye låven i Nes i Ådal. Figur 30 viser planløsning for kjelleren og figur 31 viser planløsning for første etasje.

4.3.2 Indre konstruksjon til høye låven i Nes i Ådal



Figur 32 Visning av indre konstruksjonen til den høye låven i Nes. Skjermblipp fra ReCap

4.3.3 Mengdeberegning av den høye låven i Nes i Ådal

Tabell 5 Mengdeberegning av treverket i den høye låven som ligger i Nes basert på produsert BIM-modell. Tabell hentet fra Excel.

Densitet for Gran (12% fuktighet)	470 kg/m ³	
Nes i Ådal	Material Volum	
Vegg	2,95 m ³	
Gulv	7,55 m ³	
Bæresystem	4,97 m ³	
Søyler	0,47 m ³	
Total Material Volum	15,94 m ³	
Vekt Gran	7 491,80 kg	
	7,5 tonn	

Tabell 5, mengdeberegning av den høye låven i Nes i Ådal viser at veggene har totalt 2,95 m³ med gran, gulvet har totalt 7,55 m³ med gran, bæresystemet har totalt 4,97 m³ med gran og

søylene har totalt 0,47 m³ med gran. Totalt har låven 15,94 m³ med gran. Dette utgjør en vekt på 7 491,80 kg altså 7,5 tonn gran ved en densitet på 470 kg/m³ for gran.

4.4 Mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge

Tabell 6 Mengdeberegning av mulig spart trelast fra låver i Norge. Tabell hentet fra Excel.

Størrelse per låve		
Antall 2013	74 000	stk
Areal 2013	23 943 000	m ²
Gjennomsnittsareal per låve	324	m ² /per stk
Låven i Kviteseid		
Areal låve i Kviteseid	919,761	m ²
Vekt gran	24078,1	m ³
Forhold mellom vanlig låve og låven i Kviteseid		
Areal låve i Kviteseid	919,761	m ²
Gjennomsnittsareal per låve	324	m ² /per stk
Forhold	35 %	
Vekt gjennomsnittslåve	8 470,21	kg/per stk
	8,47	tonn/per stk
Potensielt spart trelast		
Vekt gjennomsnittslåve	8 470,21	kg/per stk
Antall driftsbygninger	437 559	stk
Potensielt spart trelast	3 706 215 689,29	kg
	3 706 215,69	tonn

Tabell 6 viser at gjennomsnittsarealet til en låve i Norge er 324 m². Dette betyr at en gjennomsnittslåve har 35% av grunnflatearealet til 3D-modellen av låven i Kviteseid. Dette gir en gjennomsnittsbruk av gran per låve i Norge på 8 470 kg eller 8,47 tonn. Dette betyr at det totalt kan bli spart 3 706 215 689,29 kg eller 3 706 215,69 tonn med gran ved å gange med antall driftsbygninger i Norge.

Kapittel 5: Drøfting

I dette kapitlet drøftes teori, metoden og resultat fra de foregående kapitlene utfra valgt problemstilling. Vi vil se på begrensningene som har vært rundt modellering, samt veien videre.

5.1 Begrensinger knyttet til oppgaven

5.1.1 Nøyaktighet

Kvaliteten og nøyaktigheten på en BIM-modell som baserer seg på en punktsky er avhengig av laserskanningen. Punktskyen for låvene i Nes i Ådal hadde mer støy enn punktskyen for låven i Kviteseid, noe som medfører vanskeligere innhenting av detaljer i punktskyen. Dette gjorde det vanskeligere å modellere låvene i Nes med like høy nøyaktighet som låven i Kviteseid. Dette kan skape et usikkerhetsmoment rundt den kvantitative analysen av mengdeberegninger knyttet til låvene i Nes i Ådal. Det er begrenset hva slags informasjon en kan innhente fra en punktsky, og det er prøvd å modellere så nøyaktig som mulig. Denne begrensingen gjør at mengdeberegningen kan være unøyaktige, og det kan vise seg at mengdene er høyere eller lavere enn beregnet.

I tillegg kan man se i punktskyene at låvene er skeive. Dette medfører at det blir vanskelig å følge punktskyen ved modellering av 3D-modell. Derfor er BIM-modellene laget så nøyaktige om mulig.

5.1.2 Kvalitet

Originalt skulle oppgaven ta med informasjon fra en annen bachelor gruppe som gjorde tester hos Norsk Treteknisk Institutt av treverk ifra låvene, og bruke denne informasjonen til å finne ut kvaliteten til treverket. Ved å vite kvaliteten til treverket kunne man ha gjort en kvalitativ analyse. Testene som ble gjort ga dessverre ikke tilstrekkelig informasjon for å gjøre en kvalitativ analyse, og man må derfor gå over til å gjøre en kvantitativ analyse.

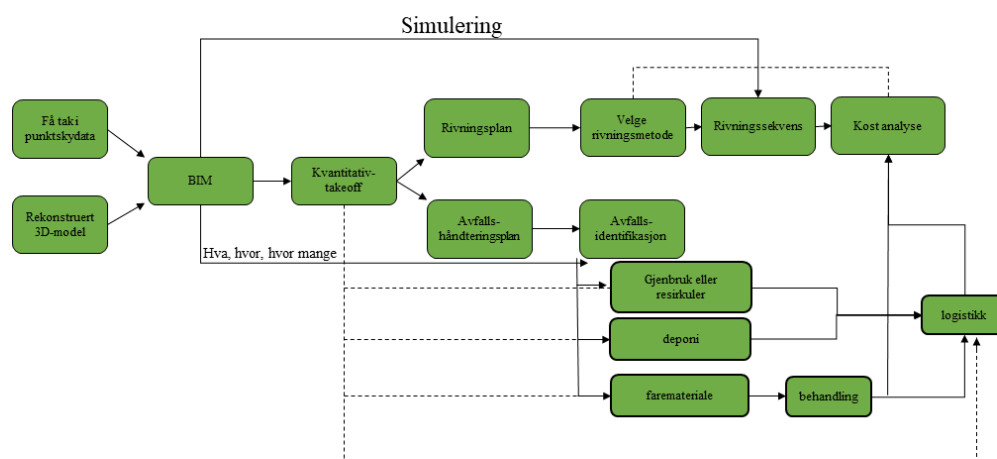
5.1.3 Identifikasjon

Problemet med informasjonen vi ble tildelt var at det ikke var tilstrekkelig informasjon om hvilke bygningselementer som hadde blitt testet. Eneste informasjon som ble oppgitt var at materialene var av typen gran, og det ble utført 10 tester.

Hvis låvene hadde blitt satt opp i dag hadde det vært krav om ytelseserklæring tilknyttet byggevarene. Da hadde det vært mulig å sammenligne resultatene fra den andre bachelor gruppen, og sammenlignet resultatet de kom frem til med en ytelseserklæring, og ut ifra det gjøre en antagelse av kvaliteten på materialet.

5.2 Veien videre

Ut ifra 3D-modellene av låvene vi har laget kan man videre legge inn mer informasjon. Når dokumentasjon over materialene og produktene tilføres, kan produktdokumentasjonen benyttes ved omsetning av materialene. I et fremtidig perspektiv med digitalisering og full utnyttelse av BIM vil denne informasjon være lettere tilgjengelig når materialene i låvene skal bli gjenbrukt. For å lykkes med sirkulær økonomi forutsetter det å utvikle et kretsløp hvor færrest mulig ressurser går tapt. BIM kan, når det settes i systemet, bli en av de viktigste faktorene for et lønnsomt og bærekraftig bygg. Kunnskap innen informasjonsledelse og ferdigheter i bruk av programvare som kombineres med bygg faglig kompetanse gir dermed muligheter til å bidra til utvikling av hele næringen.



Figur 33 Dekonstruksjon og avfallshåndteringsprosess. Figur basert på figur fra (Xin Janet Ge, 2017)

Som vist i figur 33 kan man se en oversikt over en plan for håndtering av avfall i en rehabiliteringsprosess. I resultat delen vår viser vi til kvantitativ take-off, altså mengdeberegninger. Det neste som står for tur da er en rivningsplan og en avfallshåndteringsplan for å finne ut av hva som kan bli gjenbruk av materialer eller hva som må til videre behandling.

Fra ferdig detaljerte modeller som har kvalitet informasjon over materialene kan man utføre en livsløpsanalyse av bygget. Man kan bruke de berikede modellene videre for å gjøre simuleringer av hele levetiden til bygget, og dermed kunne gjøre nødvendige justeringer av designet for å føre til bygninger som er mer egnet for sirkulær økonomi.

Slik som simaPro som er en programvare for å gjennomføre LCA og som inneholder prosesser for råvarer og produkter, produksjon og energi. Programmet egner seg godt for sirkularitet for byggebransjen for den blir blant annet brukt i utredningssammenheng for å analysere miljøprestasjonene til for eksempel en bygning.

BIM er fortsatt i utvikling og med stadig bedre og ny teknologi vil muligheten for å bruke BIM for ombruk av materialer bli optimalisert. Slik som utviklingen av Madaster og Loopfront. Når programvarene gjør administrering, organisering, forvaltning av eksisterende bygg og ombruk av materialer til nye bygg lettere tilgjengelig, bidrar dette til at råmaterialene bevares lengre i kretsløpet.

Ombruk må bli en sentral del av rehabiliterings- og byggeprosjekter fremover og bør fremmes gjennom flere prosjekter. For å oppnå beste praksis er det behov for standardisering av prosedyrer for dokumentasjon. Det finnes ambisiøse mål for ombruk, både nasjonalt og internasjonalt, men det er viktig at lover og regelverk spiller på lag med forventningene.

5.3 Drøfting om BIM sitt potensial for sirkulær økonomien

For at industrien skal lykkes å bli sirkulær, avhenger det av om det er verdi i gjenbruk av materialer. Verdiløse materialer blir til avfall, mens verdifulle materialer resirkuleres. BIM for kartlegging av byggets materialverdi gir muligheter for gjenbruk gjennom salg og kjøp. I fremtiden kan det være mulig å kunne forutse hvordan design og et fleksibelt utformet bygg, bidrar til gjenbruk i en sirkulær verdikjede. Tømmer i låvene vil da opprettholde sin verdi i en sektor som resulterer i mindre avfall og at man gjenbraker mer. Bygninger fungerer som banker av verdifulle materialer og minker uttak av jomfruelige ressurser fra jorda vår.

Betydningen av beregningsytelse som brukt i denne studien er verdien av bygningen på et bestemt tidspunkt i form av mengde strukturell materialer (i tonn) som er tilgjengelig når bygget rives eller dekonstruert. Denne verdien beregnes basert på mengdelisten som hentet fra BIM-modell av låvene ved hjelp av en matematisk modellering.

Detaljene i konstruksjonskomponent for analyse hentes fra mengdefortegnelsen som spesifisert i BIM-modellen til bygget. Det er også viktig å merke seg at det er problemer som plager nytten av materialer utvunnet fra revet/dekonstruert bygninger med tanke på gjenbruk og mengden som er mulig å resirkulere. Spesielt innen områdene resertifisering, juridiske garantier og gjenværende ytelse av gjenvunnet byggematerialer etter flere års bruk.

Som tidligere nevnt i teori delen havner gjenbruk av trevirke i en gråson med tanke på at det er nødvendig med redokumentasjon av konstruksjonselementer. Dette skaper et usikkerhetsmoment ved gjenbruk av trevirke. I tillegg skaper det en usikker kostnadspost, som man ikke kan vite om størrelse på, på grunn av usikkerhetene knyttet til gjenbruk av trevirke.

Kapittel 6: Konklusjon

I dette kapittelet blir det gjennomgått endelig konklusjon av om Scan to BIM kan bidra til det sirkulær økonomiske skiftet ved rehabilitering av eksisterende bygg, om SirkTRE sine mål er mulig å gjennomføre, nøyaktigheten ved modellering basert på punktsky og om betydningen av de utførte mengdeberegningene. Til slutt blir det gjort en oppsummering av potensialet for overgangen til sirkulær økonomi metoden brukt i oppgaven.

6.1 Om Scan to BIM bidrar til sirkulær økonomi

Ved å modellere en 3D-modell basert på en punktsky kan en ikke innhente informasjon om tekniske egenskaper til materialer. Dette gjør at en ikke kan vite noe om kvaliteten til materialet uten å gjøre praktiske tester. Derfor blir det vanskelig å bruke Scan to BIM for å gjøre en kvalitativ analyse, og finne ut av hva som kan bli brukt videre i en sirkulær prosess.

6.2 Kan returtre ombrukes i byggeprosjekter

SirkTRE sitt mål er mulig å gjennomføre, men det må bli satt begrensinger for hva returtre kan gjenbrukes til. For at det skal være lovlig å gjenbruke returtre på deler av konstruksjonen som har strukturelle egenskaper må det være tilgjengelig dokumentasjon til å vise at de tekniske egenskapene er oppfylt, og bygget er forsvarlig å sette opp med de gjenbrukte bygningselementene av returtre.

Vanskeligheten med ombruk av strukturelle returtre elementer gjør at man kan tenke seg at det blir lettere å transformere strukturelle returtre elementer, til for eksempel ytre- og indrekledningselementer som ikke har samme tekniske krav. Dette gjør det lettere å bruke elementene om igjen ved så lite jobb som mulig uten å trenge å redokumentere ytelseserklæring til bygningselementene.

6.3 Modellering av punktsky

Opgaven med å modellere låvene basert på punktskyer viste seg å ha varierende vanskelighetsgrad. En kan ikke være sikker på om resultatene man har kommet frem til er nøyaktige nok til å kunne bli brukt videre i en rehabiliteringsprosess. Det er prøvd å finne

bygningselementer i Revit som ligner så mye som mulig på bygningselementene i fra punktskyen, men en kan ikke vite om disse elementene er like uten måling på stedet. Målinger gjort med målingsverktøy i Recap er dessverre ikke nøyaktige nok til å bli brukt som pålitelige mål av konstruksjonen og konstruksjonselementer.

6.4 Betydning av utførte mengdeberegninger

Mengdeberegningene av låven i Kviteseid og låvene i Nes i Ådal, og mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge viser at det finnes et stort potensial i mengden trevirke som kan bli gjenbrukt. Alle låvene er gode eksempler på låver der tilstanden har blitt såpass dårlig at det er på tide at man rehabiliterer eller river bygningen. Derfor er det viktig at disse låvene går frem som gode eksempler på sirkulær økonomi av låver.

6.5 Oppsummering

Som sagt i drøfting delen «veien videre» er det mer detaljer som kan påføres låvene, og potensialet for å utnytte 3D-modellene til å utføre en kvalitativ analyse, og få en oversikt av materialer som kan gjenbrukes. Fra arbeidet i denne oppgaven fant vi også ut at arbeid med punktsky og modellering av 3D-modeller er overkommelig å lære seg, med hensyn på at vi ikke har så mye erfaring med det fra før. Derfor har vi tro på at denne metoden kan brukes av andre. Dette tilsvarer at denne oppgaven bygger et grunnlag for videre arbeid i et bredere perspektiv. Denne metoden kan bidra til fremtidig veiledning ved lignende prosjekter der det skal gjøres mengdeberegninger av tre eller andre typer materialer.

Litteraturliste

- Anders Mækelæ, E. M.-K. R. K. K., 2014. *BIM som verktøy for mengdeberegning*, s.l.: s.n.
- Asplanviak, 2018. *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer*, s.l.: byggemiljo.no.
- Bahareh Nikmehr, M. R. H. J. W. N. C. R. R., 2021. *BIM-Based Tools for Managing Construction and Demolition*, s.l.: Sustainability.
- BibLus, 2019. *What is HBIM? Let's find out about BIM applied to existing buildings*. [Internett]
Available at: <https://biblus.accasoftware.com/en/what-is-hbim-lets-find-out-about-bim-applied-to-existing-buildings/>
[Funnet 25 april 2022].
- buildingsmart, u.d. *Våre fagnettverk*. [Internett]
Available at: <https://buildingsmart.no/fagnettverk>
[Funnet 2 mai 2022].
- Byggetjeneste, 2022. *ECOproduct*. [Internett]
Available at: <https://byggtjeneste.no/ecoproduct/>
[Funnet 2 mai 2022].
- Byggforsk, 2015. *Trevirke. Treslag og materialeegenskaper*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper
[Funnet 21 april 2022].
- Byggtjeneste, 2019. *Om dokumentasjon av byggevarers egenskaper*. [Internett]
Available at: <https://byggtjeneste.no/wp-content/uploads/Dokumentasjon-av-egenskaper.pdf>
[Funnet 4 mai 2022].
- Byggtjeneste, 2022. *NOBB- Norsk Byggevarebase*. [Internett]
Available at: <https://www.byggtjeneste.no/nobb-norsk-byggevarebase/>
[Funnet 2 mai 2022].
- Chuck Eastman, P. T. R. S. K. L., 2011. *BIM Handbook*. 2. red. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- ClearEdge3D, u.d. *What is EdgeWise?*. [Internett]
Available at: <https://www.clearedge3d.com/edgewise/>
[Funnet 18 april 2022].
- Coppinger, J., 2020. *Autodesk ReCap*. [Internett]
Available at: <https://www.lifewire.com/autodesk-recap-485205>
[Funnet 30 mars 2022].
- Direktoratet for byggkvalitet, 2017. *Byggteknisk forskrift (TEK 17) med veiledning*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>
[Funnet 20 april 2022].
- Eilif Hjelseth, T. T., 2020. *BIM!*. s.l.:Oslo Met.
- Eli Sandberg, S. M. F. K. K. L. C. M. E., 2022. Ombruk av bygningsdeler - læringspunkter fra forbildeprosjekter i Norge, Danmark og Belgia. *Praktisk økonomi & finans*, 29 mars, pp. 23-46.

epd-norge, u.d. *Hva er en EPD?*. [Internett]

Available at: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

[Funnet 13 mai 2022].

Fabrizio Banfi, M. P., 2021. *Human-Computer Interaction Based on Scan-to-BIM Models, Digital Photogrammetry, Visual Programming Language and Extended Reality (XR)*, s.l.: Applied Sciences.

Falk, B., 2002. *Wood-Framed Building Deconstruction*. [Internett]

Available at: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2002/falk02a.pdf>

[Funnet 28 april 2022].

Fjeldheim, J., 2015. *regjeringen*. [Internett]

Available at: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/eus-handlingsplan-for-en-sirkular-okonomi/id2465510/>

[Funnet 22 mars 2022].

Focus Software, u.d. *Autodesk Civil 3D*. [Internett]

Available at: <https://www.focus.no/produkter/autodesk/civil-3d/>

[Funnet 20 april 2022].

FutureBuilt, 2019. *FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg*. [Internett]

Available at: <https://www.futurebuilt.no/content/download/13987/94674>

[Funnet 5 mai 2022].

Gausdal Landhandleri, 2022. *Låve rett kledning gran 19x148 ubehandlet*. [Internett]

Available at: <https://www.gaus.no/produkter/trelast/kledning-utvendig/ubehandlet/41146507-lave-rett-kledning-gran-19x148-ubehandlet>

[Funnet 26 april 2022].

Gulden, K. T., 2021. *Grønn storsatsning skal etablere helsirkulær verdikjede for tre*. [Internett]

Available at: <https://www.nibio.no/nyheter/gronn-storsatsning-skal-etablere-helsirkulaer-verdikjede-for-tre>

[Funnet 9 mai 2022].

Halogen AS, 2019. *Avfallsfrie byggeplasser*. [Internett]

Available at: <https://innovativeanskaffelser.no/content/uploads/2021/09/rapport-avfallsfrie-byggeplasser.pdf>

[Funnet 13 mai 2022].

Izabela Skrzypczak, G. O. A. L. K. Z. M. & J. K. K., 2022. *Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements*, s.l.: Informa UK limited.

Kari Sørnes, A. S. N. H. F. S. M. B. H. M. M. R. D. S., 2014. *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. 1. red. Oslo: SINTEF Akademiske forlag.

KS, 2018. *Hva er sirkulær økonomi?*. [Internett]

Available at: <https://www.ks.no/fagomrader/samfunnsutvikling/miljo/sirkular-okonomi-og-avfallspolitikk/hva-er-sirkular-okonomi/>

[Funnet 13 mars 2022].

Kveseth, M., 2020. *Informasjon i forbindelse med fotoskanning av eksisterende bygg*. [Internett]
Available at: https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=698048
[Funnet 7 5 2022].

Lasse Kilvær, O. W. S. M. S. E. O. R. H. F., 2019. *Forsvarlig ombruk av byggevarer*. [Internett]
Available at: https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer_resirqel-2019.pdf
[Funnet 13 mai 2022].

Leica, u.d. *Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software*. [Internett]
Available at: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
[Funnet 18 april 2022].

LOOP - Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning, 2022. *avfallshierarki*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/avfallshierarki>
[Funnet 10 mai 2022].

Loopfront, u.d. *Produkt*. [Internett]
Available at: <https://www.loopfront.com/no/produkt>
[Funnet 13 mai 2022].

Madaster, u.d. *Madaster*. [Internett]
Available at: <https://madaster.no/>
[Funnet 13 mai 2022].

Maxbo, 2022. *Skyggepanel skrå gran 14x120 natur ubehandlet*. [Internett]
Available at: <https://www.maxbo.no/skyggepanel-skra-gran-14x120-natur-ubehandlet-p904042/>
[Funnet 3 mai 2022].

mesteren, B., 2022. *Sliten låve blir sirkulært FutureBuilt-prosjekt*. [Internett]
Available at: <https://byggmesteren.as/2022/01/18/sliten-lave-blir-sirkulaert-futurebuilt-prosjekt/>
[Funnet 23 februar 2022].

Miljødirektoratet, 2018. *Sirkulære bygg*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2018/sirkulare-bygg/>
[Funnet 13 mai 2022].

miljødirektoratet, 2021. *Handlingsplan for sirkulær økonomi*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/internasjonalt/gronn-giv/handlingsplan-for-sirkular-okonomi/>
[Funnet 7 mars 2022].

miljødirektoratet, 2022. *Sirkulær økonomi*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
[Funnet 7 mars 2022].

monarch, 2021. *Different Level of Development (LOD) in BIM*. [Internett]
Available at: <https://www.monarch-innovation.com/bim-level-of-development-lod-300-350-400-500/>
[Funnet 3 mars 2022].

navvis, 2020. *Everything you need to know about scan-to-BIM*. [Internett]
Available at: <https://www.navvis.com/blog/everything-you-need-to-know-about-scan-to-bim>
[Funnet 5 5 2022].

Norge, A., 2022. *Tar grep for å minske miljøavtrykket*. [Internett]
Available at: <https://avfallnorge.no/bransjen/nyheter/tar-grep-for-%C3%A5-minske-milj%C3%B8avtrykket>
[Funnet 7 april 2022].

Rau, T. M., u.d. *Materialbanken Madaster*. [Internett]
Available at: <https://www.circularnorway.no/materialbanken-madaster>
[Funnet 13 mai 2022].

Regjeringen, 2021. *Det grønne skiftet*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/det-grønne-skiftet/id2879075/>
[Funnet 13 mai 2022].

regjeringen, 2021. *EU og sirkulær økonomi*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/forurensning/sirkular-okonomi/eu-og-sirkular-okonomi/id2701035/>
[Funnet 22 mars 2022].

resirqe, 2019. *RAPPORT OM FORSVARLIG OMBRUK AV BYGGEVARER LANSERT PÅ LITTERATURHUSET*. [Internett]
Available at: <http://www.resirqel.no/nyheter/2019/12/5/rapport-om-forsvarlig-ombruk-av-byggevarer-lansert-p-litteraturhuset>
[Funnet 22 mars 2022].

Rocha, G. o. M. L., 2021. *A survey of Scan to BIM Practices in the AEC Industry - A Quantitive Analysis*. [Internett]
Available at: <https://doi.org/10.3390/ijgi10080564>
[Funnet 22 april 2022].

Rocío Quiñones, C. L. M. V. M. I. C., 2021. *A Multiplatform BIM-Integrated Construction Waste Quantification Model during Design Phase. The Case of the Structural System in a Spanish Building*, s.l.: Recycling.

Seungho Kim, S. K. D.-E. L., 2021. *Sustainable Application of Hybrid Point Cloud and BIM Method for Tracking Construction Progress*, s.l.: sustainability.

SimaPro, u.d. *Verdensledende programvare for LCA*. [Internett]
Available at: <https://network.simapro.com/asplanviak/>
[Funnet 2 Mai 2022].

SOLBERG, M. G., 2013. *TU BYGG*. [Internett]
Available at: <https://www.tu.no/artikler/industri-laserskanning-og-3d-skal-forenkle-arbeid-i-bygg-og-anlegg/233407>
[Funnet 16 3 2022].

SSB, 2019. *10712: Jordbruksbedrifter med/utan driftsbygning og grunnflate på driftsbygningar (F) 1999 - 2013*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/10712>

[Funnet 9 mai 2022].

SSB, 2021. *Avfall fra byggeaktivitet*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfall-fra-byggeaktivitet>

[Funnet 3 mai 2022].

SSB, 2021. *Bygninger på landbrukseiendommer*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/07056>

[Funnet 5 mai 2022].

Survey, S., u.d. *LASERSKANNING OG 3D-MODELLERING*. [Internett]

Available at: <https://www.scansurvey.no/tjenester/laserskanning-og-3d-modellering/>

[Funnet 14 april 2022].

svanemarket, u.d. *Sirkulær økonomi*. [Internett]

Available at: <https://svanemarket.no/sirkulaer-okonomi/>

[Funnet 7 mars 2022].

Symetri, u.d. *Design better civil infrastructure*. [Internett]

Available at: <https://www.symetri.co.uk/products/civil-3d>

[Funnet 20 april 2022].

tenktre, 2021. *Fremtidens ressurser er allerede i bruk*. [Internett]

Available at: <https://www.tenktre.no/a/fremtidens-ressurser-er-allerede-i-bruk>

[Funnet 13 mai 2022].

TU, 2015. *Bygg står for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres*. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922>

[Funnet 22 mars 2022].

Vill Energi, u.d. *sirkTRE - Prosjektbeskrivelse*. [Internett]

Available at: <https://villenergi.no/project/sirktre/>

[Funnet 18 mai 2022].

vinjeindustri, u.d. *3D-SKANNING*. [Internett]

Available at: <https://www.vinjeindustri.no/3d-skanning>

[Funnet 10 april 2022].

Wikipedia, 2022. *Autodesk Revit*. [Internett]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit

[Funnet 30 mars 2022].

Wikipedia, u.d. *Microsoft Excel*. [Internett]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel#Basic_operation

[Funnet 21 april 2022].

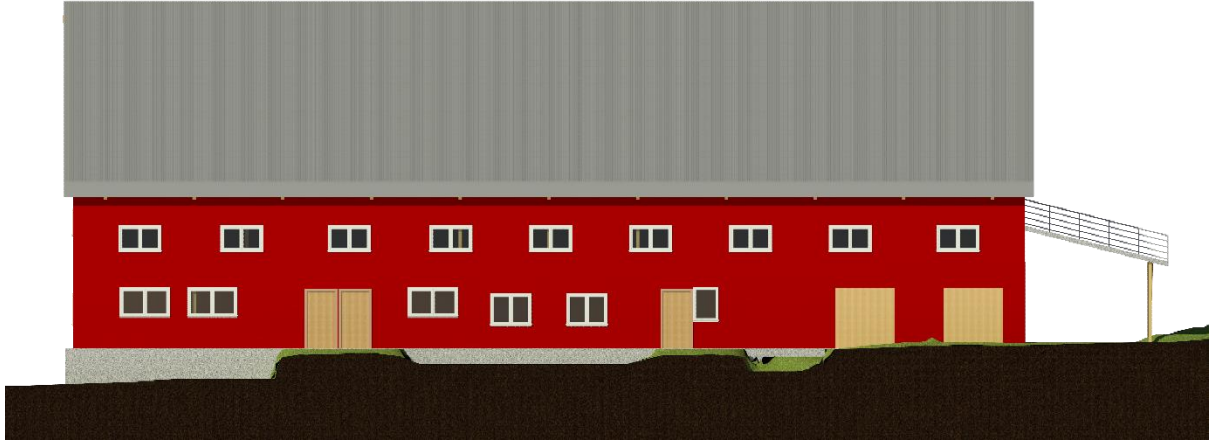
Xin Janet Ge, P. L. J. W. S. H. X. H. C. Z., 2017. *Deconstruction waste management through 3d reconstruction and BIM: a case study*, Sydney: Visualization in Engineering .

Yeritza Perez-Perez, M. G. K. E.-R., 2021. *Scan2BIM-NET: Deep Learning Method for Segmentation of Point Clouds for Scan-to-BIM*, s.l.: American Society of Civil Engineers.

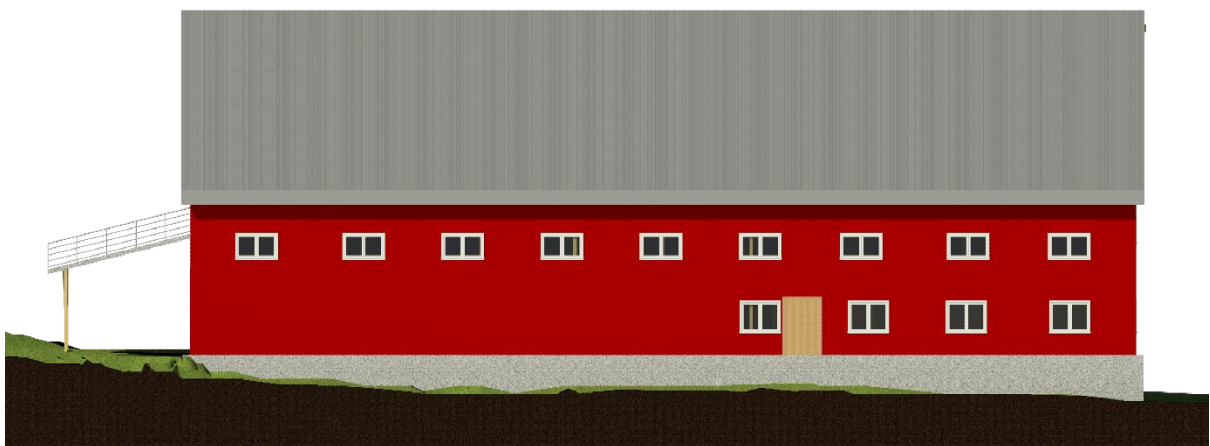
Yongzhi Xu, X. S. S. L., 2021. *Corner-Aware 3D Object Detection Networks for Automated Scan-to-BIM*, s.l.: American Society of Civil Engineers.

Vedlegg

Vedlegg 1: Visuell representasjon av 3D-modell av låven i Kviteseid i Telemark



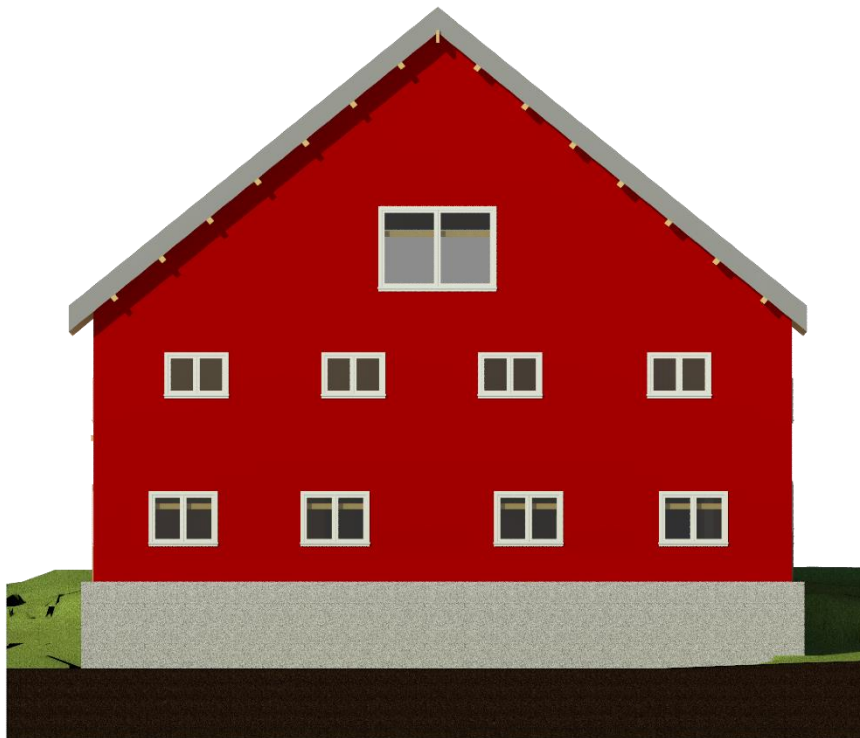
Figur 34 3D-modell av låven i Kviteseid fra Nord. Render hentet fra Revit



Figur 35 3D-modell av låven i Kviteseid fra Sør. Render hentet fra Revit

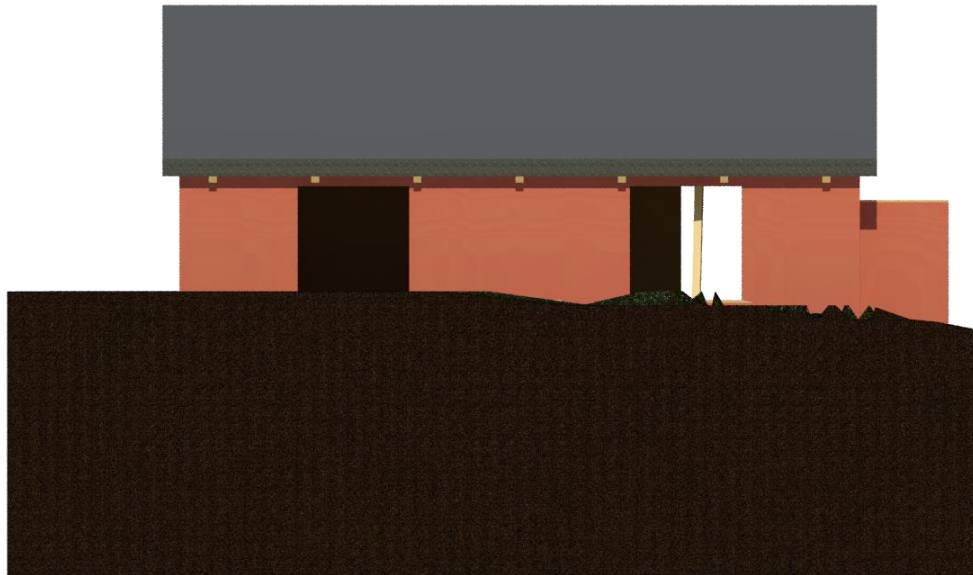


Figur 36 3D-modell av låven i Kviteseid fra Vest. Render hentet fra Revit

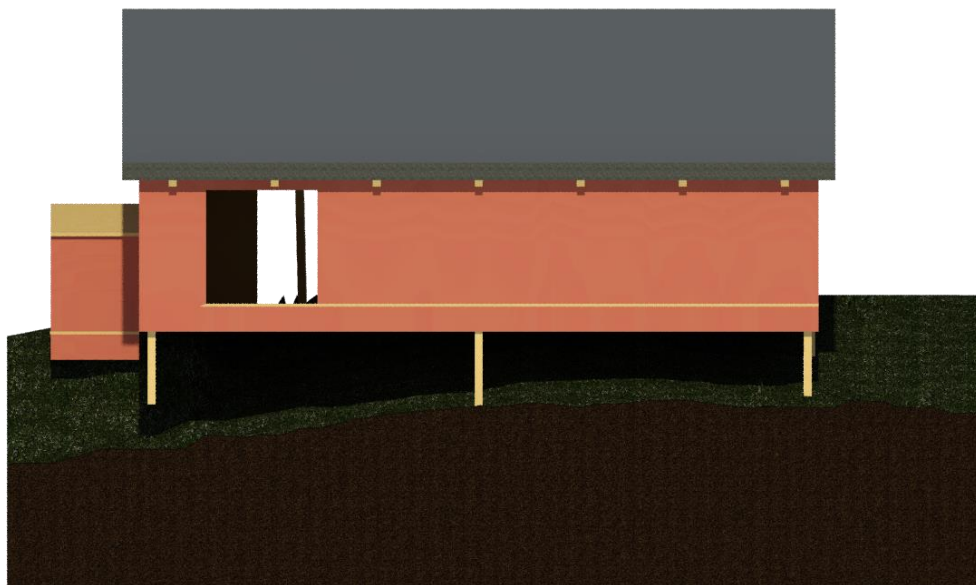


Figur 37 3D-modell av låven i Kviteseid fra Øst. Render hentet fra Revit

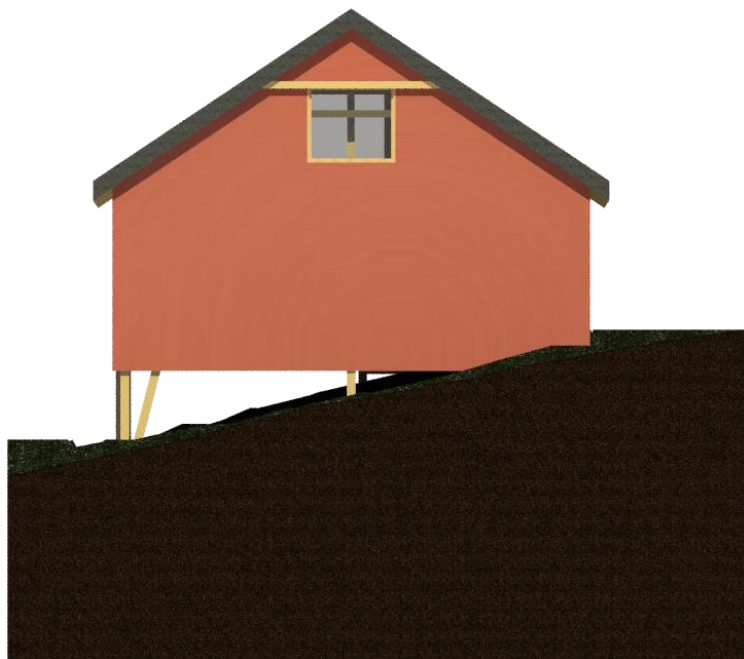
Vedlegg 2: Visuell representasjon av 3D-modell av den lille låven i Nes i Ådal



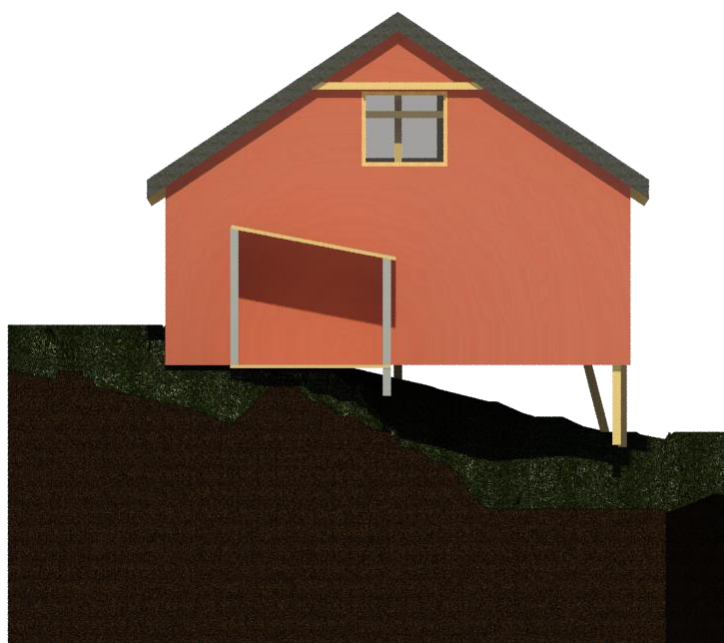
Figur 38 3D-modell av den lille låven i Nes fra Nord. Render hentet fra Revit



Figur 39 3D-modell av den lille låven i Nes fra Sør. Render hentet fra Revit



Figur 40 3D-modell av den lille låven i Nes fra Vest. Render hentet fra Revit



Figur 41 3D-modell av den lille låven i Nes fra Øst. Render hentet fra Revit

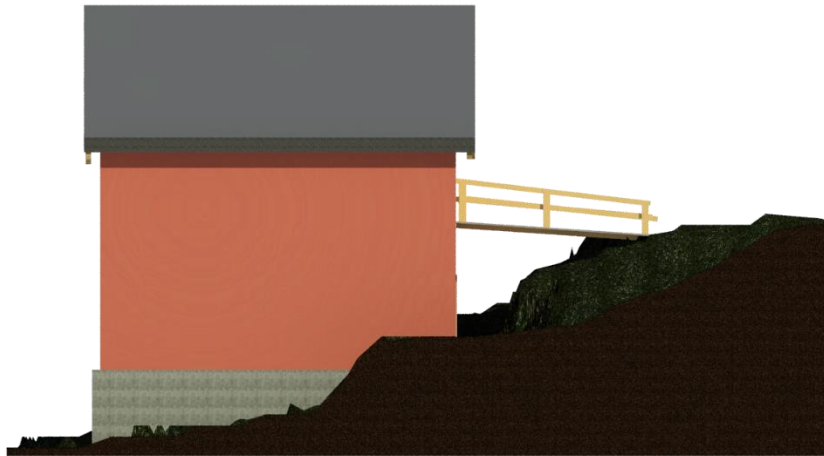
Vedlegg 3: Visuell representasjon av 3D-modell av den høye låven i Nes i Ådal



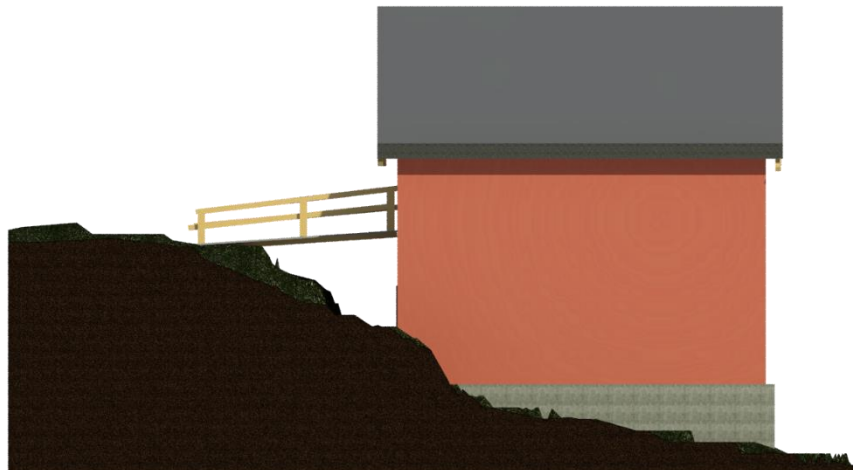
Figur 42 3D-modell av den høye låven i Nes fra Nord. Render hentet fra Revit



Figur 43 3D-modell av den høye låven i Nes fra Sør. Render hentet fra Revit



Figur 44 3D-modell av den høye låven i Nes fra Vest. Render hentet fra Revit



Figur 45 3D-modell av den høye låven i Nes fra Øst. Render hentet fra Revit

Vedlegg 4: Tabeller for mengdeberegning av låven i Kviteseid i Telemark

Tabell 7 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for låven i Kviteseid i Telemark. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4
Wall Material Takeoff			
Material: Name	Width	Material: Volume	Volume
Air	200	15,488	17,209
Air	200	4,732	5,258
Air	200	12,938	14,376
Air	200	6,289	6,987
Air	200	12,421	13,802
Air	200	13,696	15,166
Air	200	12,03	13,367
Air	200	12,673	14,03
Air	188	3,023	3,552
Air	188	0,901	1,059
Air	188	3,023	3,552
Air	188	0,998	1,173
Air	188	0,808	0,95
Air	188	1,103	1,296
Air	188	6,403	7,524
Air	188	6,051	7,11
Air	188	3,388	3,981
Air	188	0,501	0,589
Air	188	1,559	1,831
Air	188	3,3	3,878
Air	188	0,806	0,947
Air	188	6,128	7,2
Air	188	4,911	5,771
Air	188	0,361	0,424
Red paint	200	0,086	17,209
Red paint	200	0,026	5,258
Red paint	200	0,072	14,376
Red paint	200	0,035	6,987
Red paint	200	0,069	13,802
Red paint	200	0,073	15,166
Red paint	200	0,067	13,367
Red paint	200	0,068	14,03
Spruce	200	1,635	17,209
Spruce	200	0,5	5,258
Spruce	200	1,366	14,376
Spruce	200	0,664	6,987
Spruce	200	1,311	13,802
Spruce	200	1,397	15,166
Spruce	200	1,27	13,367
Spruce	200	1,289	14,03
Spruce	188	0,529	3,552
Spruce	188	0,158	1,059
Spruce	188	0,529	3,552
Spruce	188	0,175	1,173
Spruce	188	0,141	0,95
Spruce	188	0,193	1,296
Spruce	188	1,121	7,524
Spruce	188	1,059	7,11
Spruce	188	0,593	3,981
Spruce	188	0,088	0,589
Spruce	188	0,273	1,831
Spruce	188	0,578	3,878
Spruce	188	0,141	0,947
Spruce	188	1,072	7,2
Spruce	188	0,859	5,771
Spruce	188	0,063	0,424
		Material Volume, m ³	Volume, m ³
Air		133,531	151,032
Red paint		0,496	100,195
Spruce		17,004	151,032

Tabell 8 Viser Floor Material Takeoff for låven i Kviteseid i Telemark. Data er eksportert fra Revit og over til Excel. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
Floor Material Takeoff				
Level	Default Thickness	Area	Material: Volume	Volume
Level 0	10 mm	439,389	4,394	4,394
Level 1	10 mm	326,326	3,263	3,263
Level 3	10 mm	154,046	1,54	1,54
		Total Area, m ²	Total Material Volume, m ³	Total Volume, m ³
		919,761	9,197	9,197

Tabell 10 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for låven i Kviteseid i Telemark. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
Structural Column Material Takeoff 2				
Base Level	Top Level	Length, m	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	1,741	0,023	0,023
Level 0	Level 1,5	1,648	0,022	0,022
Level 0	Level 1	1,619	0,021	0,021
Level 0	Level 1	1,756	0,023	0,023
Level 0	Level 4	8,564	0,112	0,112
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 4	8,214	0,107	0,107
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 4	8,214	0,107	0,107
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 3	5,25	0,069	0,069
Level 0	Level 3	5,25	0,069	0,069
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 0	Level 1	2,9	0,038	0,038
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 1	Level 4	5,314	0,069	0,069
Level 1	Level 2	2,576	0,034	0,034
Level 1	Level 2	2,56	0,033	0,033
Level 0	Level 4	8,463	0,111	0,111
Level 0	Level 4	8,463	0,111	0,111
Level 0	Level 4	8,5	0,111	0,111
Level 0	Level 4	5,5	0,072	0,072
Level 0	Level 4	6,3	0,082	0,082
Level 0	Level 1	2,84	0,037	0,037
Level 1	Level 2	5,541	0,072	0,072
Level 0	Level 4	5,5	0,072	0,072
Level 0	Level 4	5,5	0,072	0,072
Level 0	Level 4	5,5	0,072	0,072
Level 0	Level 3	8,26	0,108	0,108
Level 1	Level 3	5,2	0,068	0,068
Level 1	Level 3	5,238	0,068	0,068
Level 1	Level 3	5,238	0,068	0,068
Level 1	Level 3	5,238	0,068	0,068
Level 1	Level 3	5,238	0,068	0,068
Level 1	Level 3	5,238	0,068	0,068
Level 0	Level 4	5,5	0,072	0,072
Level 1	Level 2	2,576	0,034	0,034
Level 1	Level 2	2,56	0,033	0,033
Level 0	Level 1	6,764	0,088	0,088
Level 1	Level 2	2,395	0,031	0,031
Level 1	Level 2	2,56	0,033	0,033
Level 1	Level 2	2,465	0,032	0,032
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 1	Level 4	5,914	0,077	0,077
Level 0	Level 4	8,814	0,115	0,115
			Total Material: Volume, m ³	Total Volume, m ³
			4,558	4,558

Vedlegg 5: Tabeller for mengdeberegning av den lille låven i Nes i Ådal

Tabell 11 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4
Material: Name	Width	Material: Volume	Volume
Paint	29	0,29	0,84
Paint	29	0,31	0,89
Paint	29	0,29	0,84
Paint	29	0,27	0,77
Paint	29	0,04	0,11
Paint	29	0,04	0,11
Spruce	29	0,55	0,84
Spruce	29	0,59	0,89
Spruce	29	0,55	0,84
Spruce	29	0,51	0,77
Spruce	29	0,07	0,11
Spruce	29	0,07	0,11
Wall Material Takeoff			
		Material: Volume, m ³	Volume, m ³
Paint		1,24	3,56
Spruce		2,34	3,56

Tabell 12 Viser Floor Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4
Floor Material Takeoff			
Default Thickness	Area	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
50	88 m ²	4,42	4,42
50	4 m ²	0,20	0,20
		Material: Volume, m ³	Volume, m ³
		4,62	4,62

Tabell 13 Viser Structural Framing Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	
Structural Framing Material Takeoff			
Length	Material: Volume, m ³	Volume, m ³	
11989	0,23	0,23	
13564	0,23	0,23	
7163	0,14	0,14	
7188	0,14	0,14	
7214	0,14	0,14	
7163	0,14	0,14	
7188	0,14	0,14	
7163	0,14	0,14	
7169	0,14	0,14	
11840	0,23	0,23	
5920	0,12	0,12	
5920	0,12	0,12	
930	0,02	0,02	
930	0,02	0,02	
930	0,01	0,01	
930	0,02	0,02	
930	0,01	0,01	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
11840	0,23	0,23	
5920	0,12	0,12	
5920	0,12	0,12	
930	0,02	0,02	
930	0,02	0,02	
930	0,01	0,01	
930	0,02	0,02	
930	0,01	0,01	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
2182	0,03	0,03	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
4933	0,1	0,1	
7230	0,1	0,1	
7250	0,09	0,09	
7250	0,09	0,09	
7250	0,09	0,09	
7250	0,09	0,09	
7250	0,09	0,09	
7250	0,09	0,09	
11840	0,15	0,15	
2628	0,03	0,03	
2596	0,03	0,03	
7399	0,1	0,1	
3731	0,05	0,05	
3731	0,05	0,05	
3731	0,05	0,05	
3731	0,05	0,05	
3731	0,05	0,05	
3731	0,05	0,05	
3000	0,04	0,04	
3000	0,04	0,04	
11913	0,43	0,43	
11913	0,43	0,43	
11913	0,43	0,43	
	Material: Volume, m ³	Volume, m ³	
	6,85	6,85	

Tabell 14 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den lille låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
Structural Column Material Takeoff				
Base Level	Top Level	Length	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
Level 1	Level 1	1800	0,04	0,04
Level 1	Level 1	1800	0,04	0,04
Level 1	Level 1	1000	0,02	0,02
Level 3	Level 1	1828	0,04	0,04
Level 3	Level 1	1840	0,04	0,04
Level 1	Level 2	2500	0,05	0,05
Level 1	Level 2	2420	0,05	0,05
			Material: Volume, m ³	Volume, m ³
			0,28	0,28

Vedlegg 6: Tabeller for mengdeberegning av den høye låven i Nes i Ådal

Tabell 15 Viser Wall Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4
Material: Name	Width	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
paint	29	0,4	1,17
paint	29	0,4	1,17
paint	29	0,37	1,06
paint	29	0,38	1,09
spruce	29	0,77	1,17
spruce	29	0,77	1,17
spruce	29	0,7	1,06
spruce	29	0,71	1,09
Wall Material Takeoff			
		Material: Volume, m ³	Volume, m ³
	paint	1,55	4,49
	spruce	2,95	4,49

Tabell 16 Viser Floor Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4
Floor Material Takeoff			
Default Thickness	Area	Material: Volume,m ³	Volume,m ³
71	52 m ²	3,66	3,66
71	49 m ²	3,44	3,44
35	13 m ²	0,19	0,45
35	13 m ²	0,26	0,45
		Material: Volume,m ³	Volume,m ³
		7,55	8

Tabell 17 Viser Structural Framing Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3
Structural Framing Material Takeoff		
Length	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
8080	0,15	0,15
8103	0,15	0,15
6534	0,24	0,24
6534	0,24	0,24
6534	0,24	0,24
6534	0,24	0,24
6534	0,24	0,24
7600	0,15	0,15
7645	0,15	0,15
7645	0,28	0,28
7645	0,28	0,28
7645	0,28	0,28
2700	0,05	0,05
4728	0,06	0,06
4686	0,05	0,05
4682	0,06	0,06
4763	0,05	0,05
4676	0,05	0,05
4673	0,06	0,06
4763	0,05	0,05
4763	0,06	0,06
8763	0,11	0,11
8763	0,11	0,11
8763	0,11	0,11
8763	0,11	0,11
8763	0,23	0,23
4279	0,04	0,04
4308	0,05	0,05
4320	0,06	0,06
4320	0,06	0,06
4320	0,06	0,06
4320	0,06	0,06
4320	0,06	0,06
3274	0,04	0,04
3292	0,04	0,04
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
7709	0,1	0,1
	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
	4,97	4,97

Tabell 18 Viser Structural Column Material Takeoff som er eksportert fra Revit og over til Excel for den høye låven i Nes. Tabell hentet fra Excel.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
Structural Column Material Takeoff				
Base Level	Top Level	Length	Material: Volume, m ³	Volume, m ³
kjeller	Level 1	5620	0,07	0,07
kjeller	Level 1	5800	0,08	0,08
kjeller	Level 1	5720	0,07	0,07
kjeller	Level 1	5640	0,07	0,07
kjeller	Level 1	2654	0,03	0,03
kjeller	Level 1	2654	0,03	0,03
kjeller	Level 1	2654	0,03	0,03
Level 1	Level 2	912	0,02	0,02
Level 1	Level 2	662	0,01	0,01
Level 1	Level 2	662	0,01	0,01
Level 1	Level 2	912	0,02	0,02
Level 1	Level 2	882	0,02	0,02
Level 1	Level 2	772	0,01	0,01
			Material: Volume, m ³	Volume, m ³
			0,47	0,47

Vedlegg 7: Tabeller for mengdeberegning av potensialet rundt gjenbruk av låver i Norge

Tabell 19 Viser grunnflaten av alle driftsbygninger for jordbruksbedrifter i 2013, og verdi per fylke. Tabell er basert på tall hentet fra (SSB, 2019).

Grunnflaten av driftsbygningene, 2013	
	Areal, m ²
03+30 Oslo og Viken	0
01 Østfold (-2019)	1897800
02-03 Oslo og Akershus (-2019)	1548300
06 Buskerud (-2019)	1212500
34 Innlandet	0
04 Hedmark (-2019)	2567600
05 Oppland (-2019)	2343600
38 Vestfold og Telemark	0
07 Vestfold (-2019)	1073400
08 Telemark (-2019)	805700
42 Agder	0
09 Aust-Agder (-2019)	283000
10 Vest-Agder (-2019)	396300
11 Rogaland	3102700
46 Vestland	0
12 Hordaland (-2019)	958900
14 Sogn og Fjordane (-2019)	1103300
15 Møre og Romsdal	1154800
50 Trøndelag - Trööndelage	0
16 Sør-Trøndelag (-2017)	1622500
17 Nord-Trøndelag (-2017)	2325200
18 Nordland - Nordlännda	1050500
54 Troms og Finnmark - Romsa ja Finnmárku	0
19 Troms - Romsa (-2019)	392200
20 Finnmark - Finnmárku (-2019)	104700
SUM, 2013, m ²	23 943 000

Tabell 20 Viser antall driftsbygninger for jordbruksbedrifter i 2013, og antall per fylke. Tabell er basert på tall hentet fra (SSB, 2019).

Driftsbygninger for jordbruksbedrifter 2013	
03+30 Oslo og Viken	0
01 Østfold (-2019)	5400
02-03 Oslo og Akershus (-2019)	4400
06 Buskerud (-2019)	4100
34 Innlandet	0
04 Hedmark (-2019)	7100
05 Oppland (-2019)	7600
38 Vestfold og Telemark	0
07 Vestfold (-2019)	3300
08 Telemark (-2019)	2200
42 Agder	0
09 Aust-Agder (-2019)	1100
10 Vest-Agder (-2019)	1600
11 Rogaland	8000
46 Vestland	0
12 Hordaland (-2019)	4900
14 Sogn og Fjordane (-2019)	4300
15 Møre og Romsdal	3900
50 Trøndelag - Trööndelage	0
16 Sør-Trøndelag (-2017)	4900
17 Nord-Trøndelag (-2017)	6000
18 Nordland - Nordlännda	3400
54 Troms og Finnmark - Romsa ja Finnmárku	0
19 Troms - Romsa (-2019)	1400
20 Finnmark - Finnmárku (-2019)	400
SUM 2013	74000

Tabell 21 Oversikt over antall driftsbygninger i Norge fra 2007-2020 med prosentvis endring per år, og reduksjon totalt fra 2007-2020. Tabell basert på tall hentet fra (SSB, 2021).

Antall driftsbygninger i Norge		
	00 Alle fylker	
2007	462870	
2008	464500	-0,35 %
2009	461186	0,71 %
2010	461227	-0,01 %
2012	457491	0,81 %
2013	455 292	0,48 %
2014	453 602	0,37 %
2015	451 559	0,45 %
2016	446 881	1,04 %
2017	443 500	0,76 %
2018	445 380	-0,42 %
2019	438 511	1,54 %
2020	437 559	0,22 %
Reduksjon fra 2007-2020	25 311	5,47 %