

Andreas M. Witteveen
Magne K. Koren
Håkon K. Koren

Scan to BIM to Sirk

Bacheloroppgave i Bærekraftig bygging
Veileder: Kristine Nore
Mai 2023

Andreas M. Witteveen
Magne K. Koren
Håkon K. Koren

Scan to BIM to Sirk

Bacheloroppgave i Bærekraftig bygging
Veileder: Kristine Nore
Mai 2023

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



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Scan to BIM to Sirk	Dato: 21.05.2023		
	Antall sider: 104		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave: x
Navn: Andreas M. Witteven, Håkon K. Koren, Magne K. Koren			
Veileder: Kristine Nore, Omtre			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Christine K. Jørgensen, Omtre			

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven handler om hvordan man kan bruke en kombinasjon av digitale verktøy, manuelle målinger og dataanalyse til å vurdere det miljømessige og økonomiske beslutningsgrunnlaget for ombruk av eldre låvematerialer.

Den norske boligmassen, næringsbygg og industri står fortsatt for en betydelig mengde av det totale energi og materialforbruket.

Av alt treavfall som ble levert i 2021 gikk 72% av dette til forbrenning og resten til materialgjenvinning. Dette er en positiv utvikling ifra 2020, da var andelen 87 prosent forbrent avfall (Miljøstatus, 2022). Det er avfallsmessig fortsatt mye å hente og denne oppgaven er laget for å støtte overgangen ifra lineær til sirkulær økonomi. Omtre AS og prosjektet SirkTRE har som mål å løfte byggenæringen og treindustrien ved å gjennomføre ulike arbeidspakker, som totalt sett skal fremme det grønne skiftet og øke andelen av returtre i byggeprosjekter.

Denne oppgaven har som mål å besvare problemstillingen:

Hvordan kan Scan to BIM forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget for ombruk av eldre bygningsmaterialer?

For å svare ut problemstillingen mest mulig har vi først jobbet med å kartlegge en gammel låve ved hjelp av 3D-skanning og manuelle fukt målinger. Disse dataene skal blant annet hjelpe oss å modellere, kategorisere og sortere de ulike bygningmaterialene.

Videre har vi brukt kjente verktøy for å scenariomodellere beslutningsgrunnlaget for valgt låve.

Punktskyen, medfølgende bilder og fukt analyse hjelper oss å kvantifisere hvilke materialer som egner seg til ombruk i sin helhet og hvilke som kan inngå til oppflising. Egne kriterier er definert i oppgaven. For å gi myndigheter, boligeiere, bedrifter og andre interessenter større innsikt i hvilken påvirkning økonomisk og utslippsmessig ulike scenarier gir, har vi innhentet antatte priser for returtre. I tillegg har vi vurdert CO² avtrykket til nye potensielle ombruksprodukter og prosesser og sammenlignet dette mot nytt trevirke ved hjelp av LCA. Deretter ble det videre brukt til å sette opp ulike scenarier for avhending og videre prosessering.

Ved å sette opp scenarier på denne måten ble det enklere å forstå helheten ved det generelle beslutningsgrunnlaget for demontering, riving og produktevaluering til nye produkter ifra returtre i sammenligning ifra nytt tre.

Opgaven viste at ved å ha et godt datagrunnlag er det enklere å kvantifisere, planlegge og vurdere nye metoder, prosesser og produkter.

Scan to BIM i kombinasjon med manuelle målinger og LCA gir oss altså god innsikt i hvilke materialer og avhendingsscenarier vi kan bruke til hvilke prosesser/produkter.

Resultatene viser dermed at Scan to BIM er en egnet metode å forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget.



Magne K. Koren



Andreas Witteveen



Håkon K. Koren

Abstract

This bachelor's thesis is about how to use a combination of digital tools, manual measurements, and data analysis to assess the environmental and economic decision-making basis for the reuse of older barn materials.

The norwegian housing stock, commercial buildings and industry still account for a significant amount of the total energy and material consumption.

Of all wood waste delivered in 2021, 72% of this went to incineration and the rest to material recycling. This is a positive development from 2020, when the proportion was 87% incinerated waste (Miljøstatus, 2022). In terms of waste, there is still a lot to improve, and this thesis is designed to support the transition from a linear to a circular economy. Omtre AS and the project SirkTRE aim to lift the construction industry and the wood industry by carrying out various work packages, which overall will promote the green shift and increase the proportion of recycled wood in construction projects.

The aim of this thesis is to answer the following question:

How can Scan to BIM improve the economic and environmental decision-making basis for the reuse of older building materials?

To answer the thesis as best as possible, we first worked on mapping out an old barn using 3D-scanning and manual moisture measurements. Among other things, this data will help us to model, categorize and sort the various building materials.

Furthermore, we have used known tools to model the decision-making basis for the chosen barn.

The point cloud, accompanying images and moisture analysis help us quantify which materials are suitable for re-use in their entirety and which can be used for chipping. Own criteria are defined in the assignment. In order to give authorities, homeowners, companies and other stakeholders greater insight into the economic and emissions related impact of different scenarios, we have obtained assumed prices for reclaimed wood. In addition, we

have assessed the CO² footprint of new potential materials and processes/products using LCA. This was then further used to set up various scenarios for disposal and further processing.

By setting up scenarios in this way, it became easier to understand the entirety of the general decision-making basis for disassembly, demolition and product evaluation for new products from reclaimed wood.

The assignment showed that by having a good data basis it is easier to quantify, plan and assess new methods, processes and products.

Scan to BIM in combination with manual measurements and LCA gives us thereby a good insight into which materials we can use for which processes/products.

The results thus show that Scan to BIM is a suitable method to improve the economic and environmental basis for decision making.

Forord

Denne avsluttende bacheloroppgaven for studieretning Bærekraftig Bygging, ved avdeling for vareproduksjon og byggteknikk er utført høsten 2022 og vår 2023. Omfanget av oppgaven er 20 studiepoeng og er det avsluttende arbeidet for utdanningen bygg ingeniør. Oppgaven ble valgt med bakgrunn i studentenes interesse og erfaring med 3D-skanning, bærekraft og vareproduksjon. Noe det også var interesse for i oppgaven var å vurdere og se på nye og eksisterende prosesser for avhendig og ombruk av tre og avfallstre. Mange prosjekter er satt i gang og Omtre og Forestia er allerede i god gang med å fremme det grønne skiftet med med større andel av ombruk og returtre enn tidligere. Vi ønsker å rette en takk til:

Omtre for god hjelp og veiledning underveis i oppgaven.

Fred Johansen for struktur og oppbygning.

Moelven Mjøsbruket AS og Moelven Trysil AS for beskrivelser av sag, tørke og høvleprosesser.

Andreas Stenstad, Norsk Treteknisk Institutt for tips vedrørende visuell styrkesortering av ombrukt trevirke og generelle tips tilknyttet problemstilling.

Forestia for et svært lærerrikt fabrikkbesøk på Braskereidfoss: Her fikk vi blant annet innsikt i eksisterende og fremtidige verdistrømmer med egen fabrikk for behandling av avfallstre.

En stor takk til Lars Tellnes ved HIOF som har gitt oss gode råd i forbindelse med metodikk knyttet til ombruk av trematerialer, LCA og for å finne relevant litteratur.

Proessen og oppgaven har vært lærerrik og inspirerende og vi håper at den kan inspirere andre i arbeidet mot mindre treavfall, mer ombruk og lengre levetid totalt sett for trebaserte produkter. I tillegg til dette: økt digitalisering.

Innholdsfortegnelse

Abstract	iv
Forord	vi
Innholdsfortegnelse	vii
Figurliste.....	xi
Tabelliste	xiii
Forkortelser	xiv
Ordforklaring.....	xv
1 Innledning.....	1
1.1 Tema	1
1.2 Bakgrunn	1
1.3 Problemstilling.....	2
1.4 Rammer	2
1.5 Utvalgt forskningsobjekt	2
1.6 Rapportens oppbygging	3
2 Teori	5
2.1 Lineær økonomi.....	5
2.2 Sirkulær økonomi	5
2.2.1 Sirkulære bygg og bygningsmaterialer	6
2.2.2 Sirkulære produksjonsprosesser	6
2.2.3 Materialgjennvinning fra treavfall	7
2.2.4 Ombruk og avhending av materialer	8
2.2.5 Lover og forskrifter	10
2.3 NS-ISTA-142.....	11
2.4 LCA	12
2.4.1 Hva er LCA	12
2.4.2 Faser i LCA	12
2.4.3 Systemgrenser	13
2.4.4 Funksjonell enhet	14
2.4.5 LCI	14
2.4.6 Livsløpsregnskapsfasen.....	14
2.4.7 Livsløpseffektvurderingsfasen	16

2.4.8	LCA I BIM	16
2.5	Nye markedsportaler.....	16
2.6	Økonomiske beslutningsdrivere	17
2.7	Miljømessige beslutningsdrivere	17
2.8	Pull basert markedsportal for nye ombruksprodukter	18
2.9	Scan to BIM.....	18
2.10	Programvare og verktøy	19
2.10.1	Leica RTC360	19
2.10.2	Leica Cyclone FIELD 360	19
2.10.3	Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS	20
2.10.4	Revit	20
2.10.5	Excel.....	20
2.10.6	Utfordringer.....	20
2.11	Automatisering av Scan to BIM	21
2.11.1	Leica Cyclone 3DR	21
2.12	Sirkulære plattformer	22
2.12.1	SimaPRO	22
2.12.2	Eibrowser	22
3	Case – Låven	23
3.1	Byggets utforming	24
4	Metode.....	28
4.1	Forskningsdesign	29
4.2	Testobjektet, En låve i Hønefoss	29
4.3	Punktskybehandling.....	30
4.3.1	Prosess for importering av punktsky fra Cyclone REGISTER 360 plus til Revit	30
4.4	Fotoanalyse	32
4.5	Manuelle fuktmalinger	32
4.6	Bygge modell i Revit.....	36
4.7	Mengdeberegning	40
4.8	Knytte fuktighet til modell	42
4.9	Demontering av låve.....	42
4.10	Systematisering av bygningsmaterialer	43
4.11	Profilutnyttelse.....	43

4.12	Restmateriale og avfall til sponplateproduksjon.....	44
4.13	Ombrukskriterier.....	45
4.14	Klassifisering av materialer etter NS – ISTA- 142.....	46
4.15	Scenariomodellering ved hjelp av LCA og Scan to BIM.....	47
4.15.1	Hensikt og omfang.....	49
4.15.2	Systemgrenser.....	49
4.15.3	Funksjonell enhet.....	50
4.15.4	LCI.....	50
4.15.5	Enhetsprosesser i Simapro.....	50
4.15.6	Livsløpseffektsvurderingsfasen.....	51
4.16	Økonomiske kriterier.....	52
5	Resultater.....	54
5.1	Låven i Hønefoss.....	54
5.1.1	Planløsning.....	56
5.1.2	Konstruksjonselementer.....	57
5.2	Mengdeberegning av trevirke.....	57
5.3	Fuktinnhold.....	58
5.4	Sponplateproduksjon ifra returtre.....	58
5.5	Miljømessig beslutningsgrunnlag.....	59
5.6	Økonomisk beslutningsgrunnlag.....	60
5.7	Klassifisering av låvematerialer etter NS–ISTA-142.....	63
5.8	Scenariomodellering for avhending og ombruk av låvematerialer.....	64
6	Diskusjon.....	67
6.1	Muligheter og utfordringer med Scan to BIM.....	67
6.2	Visuell kontroll av 3D-skanning.....	67
6.3	Neste generasjons Scan to BIM med «Computer Vision».....	67
6.4	Scan to BIM to Sirk som beslutningsverktøy.....	68
6.5	Materialer til sponplateproduksjon.....	69
6.6	Nye Sirkulære ombruksprodukter.....	69
6.6.1	Omlekt.....	70
6.6.2	Omreis.....	71
6.6.3	Omplate.....	71
6.7	Miljø.....	72

6.8	Økonomi	72
7	Konklusjon	74
8	Videre arbeid	75
	Litteraturliste	76
	Vedlegg	79

Figurliste

Figur 1 - Utvalgt forskningsobjekt.	3
Figur 2 - Sirkulære produksjonsprosesser for trevirke.	7
Figur 3 - Avfallshierarkiet.	8
Figur 4 - Utvikling ifra 2012 til 2021 for energi og materialgjenvinning.	10
Figur 5 - Faser i en livsløpsvurdering.	12
Figur 6 - Eksempel på systemgrenser og produktsystem.	13
Figur 7 - Enhetsprosesser i et produktsystem.	15
Figur 8 - Forklaring på enhetsprosess.	15
Figur 9 - Flytskjema for prosessbeskrivelse fra datainnhenting til ferdig modell.	19
Figur 10 - Oversiktsbilde over låven, markert med rød sirkel.	23
Figur 11 - Låvens vestsida.	24
Figur 12 - Låvens sørsida.	25
Figur 13 - Låvens nordsida.	25
Figur 14 - Låvens østsida.	26
Figur 15 - Innsiden av låven, plan 1.	26
Figur 16 - Fransk lås.	27
Figur 17 - Forskningsdesign.	29
Figur 18 - Koblingsvurdering i Cyclone REGISTER 360 PLUS.	31
Figur 19 - Punktsky i Cyclone REGISTER 360 PLUS.	31
Figur 20 - Matrix på koblings-kvaliteten for punktsky.	32
Figur 21 - Plan U med fuktmålepunkter.	33
Figur 22 - Plan 1 med fuktmålepunkter.	34
Figur 23 - Loft og takstoler.	35
Figur 24 - Manuell fuktmåling.	35
Figur 25 - Snittvisning av punktsky i Revit på tvers av låven.	36
Figur 26 - Snittvisning av punktsky i Revit på langs av låven.	37
Figur 27 - Snittvisning av punktskyen i Revit fra toppen av låven.	38
Figur 28 - Snittvisning av punktsky i Revit.	38
Figur 29 - Setup cloud visning av låven i Cyclone REGISTER 360 PLUS.	39
Figur 30 - Modellvisning av låven i Revit med forskjellige visuelle egenskaper.	40
Figur 31 - Snittvisning av punktskyen i Revit av utvendig kledning.	41
Figur 32 - Soner med fuktighet over grenseverdien satt i oppgaven på 17%.	42
Figur 33 - Låve med og uten kledning.	43
Figur 34 - Kutteprofiler på ulike profiler.	44
Figur 35 - Systemgrenser for avhending av låvematerialer vs. uttak ifra skog.	49
Figur 36 - Transport mellom låve, sagbruk og høvleri.	50
Figur 37 - Strøm forbruk for tørke, sag og høvleri.	50
Figur 38 - Sortering av tømmer.	50

Figur 39 - Verdier brukt i simapro for nytt tre.	51
Figur 40 - Verdier brukt i simapro for ombruk tre.	51
Figur 41 - Verdikjeder for treproduksjon.	53
Figur 42 - Nordside låve.	54
Figur 43 - Sørside og østside låve.	55
Figur 44 - Vestside låve.	55
Figur 45 – Plantegning U-etasje.	56
Figur 46 – Plantegning 1-etasje.	56
Figur 47 - Bindingsverk.	57
Figur 48 - Klimapåvirkning, Ombrukt virke ifra Hønefoss.	59
Figur 49 - Klimapåvirkning, Nytt virke ifra skog i Hønefoss.	59
Figur 50 - Sammenligning, klimapåvirkning, Ombruk – Nytt tre.	59
Figur 51 - Søylediagram som viser den prosentvise fordelingen av utslipp per prosess.	60
Figur 52 - Utregning av kostnad for låveeieren i forskjellige scenario.	61
Figur 53 - Søylediagram som viser kostnad for låveeieren i forskjellige scenario.	62
Figur 54 - Utnyttelsesgrad og produksjonsmengde for høvellast.	62
Figur 55 - Reisverk med rødmerket materialer som er klassifisert mindre enn T2.	63
Figur 56 - Søylediagram som vekst i EPD.	70

Tabelliste

Tabell 1 - Krav tabell ifra NS-ISTA-142.	11
Tabell 2 - Schedule i Revit.	41
Tabell 3 - Benyttet krav i sortering ifra NS-ISTA-142.	46
Tabell 4 - Utregnet masse i sagflis.	58
Tabell 5 - Scenario tabell.	65

Forkortelser

BIM	Bygningsinformasjonsmodellering
HMS	Helse, Miljø og Sikkerhet.
LCA	Life Cycle Analysis
LCI	Livssyklusopplysninger
EPD	Environmental Product Declaration
SSB	Statistisk sentralbyrå
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet
TEK	Byggteknisk forskrift
AI	Kunstig Intelligens (Artificial Intelligence)
GWP	Global Warming Potensial

Ordforklaring

Ombruk – Bruke om igjen i sin helhet eller ved bearbeiding

Omreis – Reisverk ifra Ombruk av eldre bygningsmaterialer

Omplate – Sponplate ifra materialgjenvinning fra eldre låvematerialer

Omlekt – Lekt ifra Ombruk av eldre bygningsmaterialer

Enhetsprosesser – Blokkskjema som definerer en prosess sitt forbruk, uttak og utslipp til og ifra teknosfæren

Scan to BIM – Skanning av fysisk objekt til BIM modell

Scan to BIM to Sirk – Identifisering av sirkulære verdistrømmer ved ombruk og materialgjenvinning ved hjelp av Scan to BIM

«Computer Vision» - Tolkning og bedømming ved hjelp av datamaskiner

Maskinlæring - Spesialisering innen kunstig intelligens hvor man bruker statistiske metoder for å la datamaskiner finne mønstre i store datamengder.

Pull Market – Etablert verdikjede med et visst volum

Eldre bygningsmaterialer – Eldre bygningsmaterialer enn 5 år

Økonomisk beslutningsgrunnlag – Et kvantifiserbart økonomisk datamateriale som skal forenkle beslutninger tilknyttet ombruk. For eksempel i kroneverdi.

Miljømessig beslutningsgrunnlag – Et kvantifiserbart miljøbasert datamateriale som skal forenkle beslutninger tilknyttet ombruk. For eksempel i klimagassutslipp.

Mesh – Et linjenett mellom målepunkter.

1 Innledning

1.1 Tema

Denne oppgaven handler om metodikk og verktøy som skal hjelpe bedrifter med å kartlegge, systematisere og planlegge for videre bruk av eldre bygningsmaterialer. Ved bruk av Scan to BIM skal vi knytte en fysisk modell sammen med rådata som sier noe om egenskapene, verdien og utslippet til låvematerialer. Dette gjøres igjennom tenkte ombruksprodukter fra låven.

Siden ombruk, avfallsreduksjon og digitalisering i byggebransjen i dag og i fremtiden vil spille en enda viktigere rolle, tror vi at pris og miljøindikatorer er viktige motivasjonsfaktorer når man skal vurdere videre avhending av eldre bygningsmaterialer og nye ombruksprodukter.

For å kunne være bedre rustet til å yte sirkulære tjenester, er det viktig at vi er i stand til å kartlegge og visualisere bygningenes egenskaper og verdier effektivt. Scan to BIM, datainnsamling og ny teknologi vil motivere og hjelpe oss i dette arbeidet.

1.2 Bakgrunn

Bakgrunnen til dette prosjektet er blant annet Sirkres/Omtresarbeidspakke 4.1 som går på Byggkart. Ifra arbeidspakkens bakgrunn: “Få bedre oversikt over eksisterende bygningsmasse som planlegges demontert for å kunne planlegge ombruk av bygningsmaterialer med fokus på trevirke”. Vi har i tillegg definert vår bakgrunn slik:

Lage et bedre beslutningsgrunnlag for økonomiske og miljømessige faktorer.

1.3 Problemstilling

«Hvordan kan Scan to BIM forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget for ombruk av eldre bygningsmaterialer?»»

Begrunnelsen til valgt problemstilling er knyttet til en økning av verdien og samspillet mellom Scan to BIM og et økende behov for reduksjon av avfall, økning av andelen ombrukt trevirke i tillegg til reduksjon av uttak av skog. I tillegg til dette begrunnes problemsstillingen med et generelt ønske om kartlegging av viktige ressurser som de fleste eldre bygningsmaterialer innehar.

1.4 Rammer

Prosjektets gjennomføring forutsetter fri tilgang til låve utdelt av Omtre i vår månedene, mars, april og mai. Prosjektgruppen ser ikke noe annet ressursbehov enn oppgave skrivning, reisevirksomhet og datainnsamling. Oppgaven omfatter et caseobjekt der ulike materialer analyseres. Materialene vi ikke analyserer og dermed ser bort ifra er vinduer, dører og metallbeslag.

1.5 Utvalgt forskningsobjekt

Vårt forskningsobjekt er en låve i som befinner seg i Hønefoss slik figur 1 viser. Dette forskningsobjektet skal laser-skannes til punkttsky hvor det deretter lages en 3D-modell.

Låven er planlagt revet, og oppdragsgiver ønsker innsikt i låvematerialene ved hjelp av digitalisering og analyse. For å sikre god planlegging er det derfor viktig å ha en digital modell med tilhørende verdi- og miljøvurdering slik at eier og oppdragsgiver får en større forståelse av effekten av ulike avhendings scenarioer. Dette er spesielt viktig for å belyse ulike økonomiske og miljømessige effekter.



Figur 1 - Utvalgt forskningsobjekt.

1.6 Rapportens oppbygging

I denne oppgaven skal vi ved hjelp av teori, metodikk, case og analyse vurdere i hvilken grad digitalisering av en låve kan bidra positivt til å belyse økonomiske og miljømessige effekter ved ulike ombruks scenarier. Her vil teorier som sirkulær økonomi spille en viktig rolle ved å la treet leve lengst mulig og livsløpsanalyser være sentrale, ved å belyse nye ombruks produkter miljøeffekt. Dette er blant annet forankret med nasjonale målsetninger om å redusere det totale treavfallet og øke andelen ombrukt virke.

Ved hjelp av masseberegning vil det økonomiske aspektet belyses.

Hvor mye kan en låveeier få betalt for innlevert trevirke til sagbruket ved ulike ombruksscenarier og tenkte ombruksprodukter, i sammenligning med nye?

Hvor stor salgsverdi kan nye ombruksprodukter inneha?

Dette er viktige spørsmål som er forankret med etablerte rapporter som konkluderer med at nye ombruksmarkeder må identifiseres.

Til slutt presenteres ulike scenarioer som kan leses enkelt av ulike interessenter. For noen er kanskje økonomi eller miljø det viktigste, eller en kombinasjon av disse. Vi diskuterer deretter videre prosessen med skanning, modellering, systematisering, sortering, avhending og til slutt scenariomodellering med vurdering av datagrunnlaget og markedspotensial for valgte scenarioer.

2 Teori

I denne delen av oppgaven kommer vi til å presentere relevante teoretiske perspektiver og modeller som vil danne grunnlaget for vår forskningsmetode. Teorier knyttet til hvordan låven og dets materialer kan inngå i en sirkulær økonomi igjennom digitalisering vil være naturlige synergier i denne oppgaven. Teorien er et redskap som brukes til å utvikle vår innsikt og hvilket perspektiv vi arbeider med. I tillegg til dette fungerer teorien som en forankring til problemstillingen og bidrar til å strukturere drøftingen (Dalland, 2012).

2.1 Lineær økonomi

Ifølge Miljødirektoratet er en lineær økonomi det motsatte av en sirkulær økonomi. Når man benytter seg av en lineær økonomi så betyr dette at ressurser utvinnes, brukes og kastes. Hvis en slik type økonomi tas i bruk, vil dette ha negative konsekvenser for naturmangfoldet og miljøet med tanke på forurensning. Innenfor byggebransjen jobbes det mye for å omstille fra en lineær modell til en mer sirkulær modell (Miljødirektoratet, 2022).

2.2 Sirkulær økonomi

Sirkulær økonomi er det motsatte av lineær økonomi. I en sirkulær økonomi skal ressursene utnyttes effektivt og over lang tid med minst mulig kasting. Når ressursene eller produktene ikke kan brukes lenger, vil det under en sirkulær økonomi være naturlig å material gjenvinne - om det lar seg gjøre. På denne måten vil ressursene gjenbrukes med minst mulig tap. Hvis man tar i bruk sirkulær økonomi, så vil dette resultere i en bedre utnyttelse av ressursene - som igjen reduserer klimagassutslippet. En omstilling til sirkulær økonomi er nødvendig for å nå FN's bærekraftsmål (Miljødirektoratet, 2022). Ettersom byggebransjen står for store deler av klimagassutslippene i verden, er det viktig å ta i bruk prinsipper ifra sirkulær økonomi innenfor denne sektoren (Dragland, 2015).

2.2.1 Sirkulære bygg og bygningsmaterialer

Sirkulære bygg er bygg som er designet slik at ressursene blir utnyttet bærekraftig, og at det oppstår minst mulig avfall. Dette innebærer at bygg ombygges og demonteres istedenfor at de rives og kastes. Tradisjonelt har det vært mest bruk og kast tankegang i byggebransjen, men for hver dag som går blir det mer og mer fokus på ombruk.

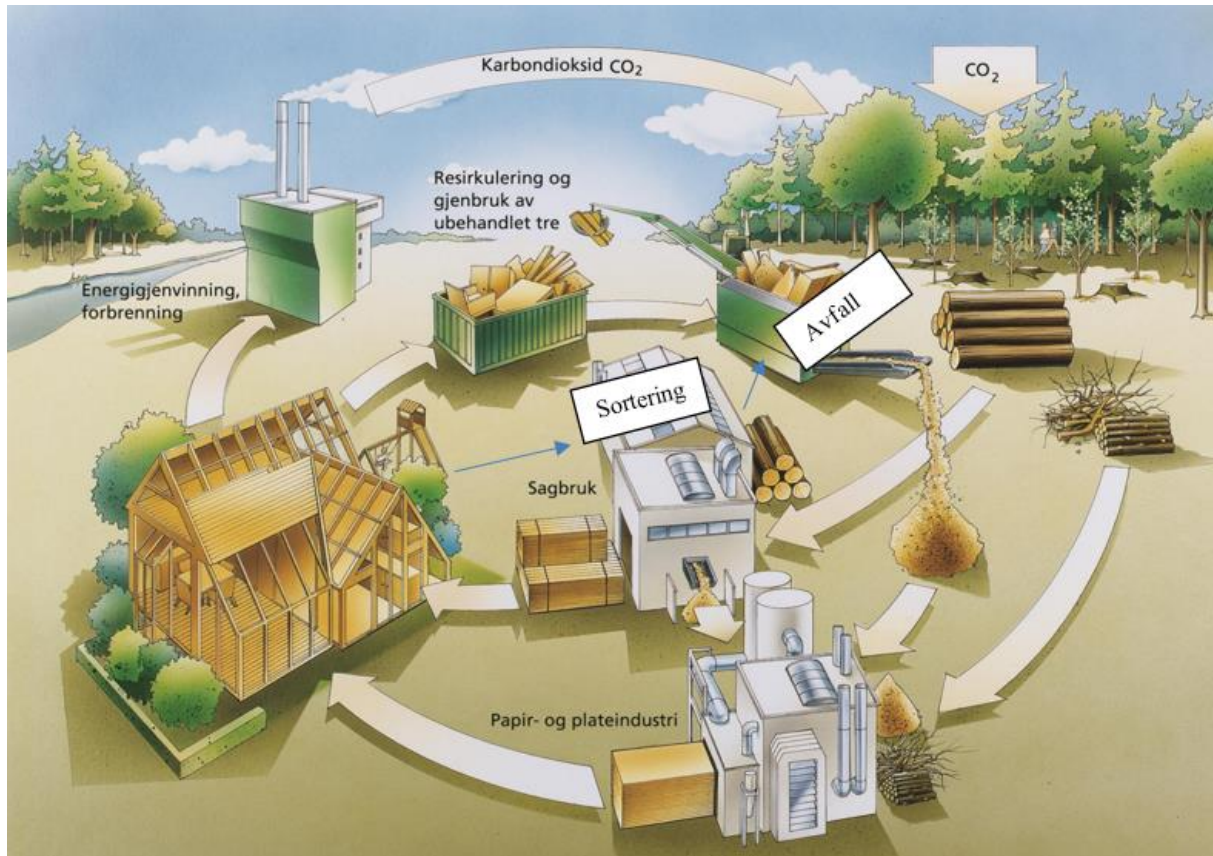
I Norge er begrepet sirkulære bygg relativt nytt. FutureBuilt har gjennomført tre sirkulære pilotbygg i Oslo. Prosjektene har vist at det er mulig å oppnå arkitektonisk kvalitet, god brukertilfredshet og lavere klimagassutslipp ved å bruke sirkulære prinsipper.

Sirkulære bygningsmaterialer er materialer som kan gjenbrukes eller gjenvinnes. Et eksempel på gjenbruk av bygningsmaterialer kan være stein/betong som knuses ned og blir brukt i veifyllinger. Ombruk av bygningsmaterialer kan være problematisk hvis materialene er fulle av miljøgifter (Miljødirektoratet, 2023).

2.2.2 Sirkulære produksjonsprosesser

Sirkulære produksjonsprosesser er produksjonsprosesser som følger sirkulære prinsipper. I en sirkulær produksjonsprosess er det viktig med ombruk og gjenvinning. Fordeler med å produsere sirkulært er reduksjon av miljøpåvirkninger og klimagassutslipp. For å oppnå sirkulære produksjonsprosesser er samarbeid blant forskjellige aktører essensielt (Sirkulære prinsipper, 2023).

Figur 2 viser hvordan produksjonsprosesser for typiske bygningsmaterialer lever i et sirkulært løp ifra ferdig produkt, avhending, ombruk og gjenvinning til material eller energi. Karbonlagring er også inkludert i illustrasjonen.



Figur 2 - Sirkulære produksjonsprosesser for trevirke.

2.2.3 Materialgjenvinning fra treavfall

Materialgjenvinning er gjenvinning av avfall der materialene blir brukt til å produsere nye produkter (Lindberg, 2022). I 2018 ble 95 % av treavfall i Norge brukt til forbrenning. Bare 3,4 % av total treavfall går til materialgjenvinning. Det største potensialet for materialgjenvinning av treavfall ligger i produksjon av treplater. Barrieren for materialgjenvinning ligger blant annet i økonomi. Ifølge Avfall Norge er prisene på returvirke til treplateproduksjon og energigjenvinning i balanse. Avfall Norge nevner at støtteordninger kunne ha vært en motivasjon til å oppnå økt materialgjenvinning av treavfall (Avfall Norge, 2018).

2.2.4 Ombruk og avhending av materialer

For å etablere en sirkulær tankegang for verdistrømmer til ombruk og for å sikre at produktene lever lengst mulig, er vi nødt til å se på alt avfallet som produseres og vurdere hvordan materialene blir designet.

Avfallspyramiden illustrerer hvilke tiltak som må gjøres for å redusere det totale avfallet som produseres. Inndelingen er i henhold til prioritering i norsk avfallspolitikk og EUs rammedirektiv for avfall. Her ser man at det siste man skal gjøre er å brenne, eller kaste materialene på en fylling. Ombruk og reduksjon kommer også før gjenvinning og energiutnyttelse. Det er denne pyramiden som må settes ut i praksis slik at andelen som inngår inn i de tre nederste kategoriene blir redusert. Dette er viktig å få forgang på for å nå de målene man settes nasjonalt og internasjonalt. Det er utført samfunnsøkonomiske analyser som vurderer tre tiltak som kan bidra til å nå de nasjonale målene for avfall i byggenæringen: 1. Redusere avfall, 2. øke andelen ombruk og 3. øke materialgjenvinningen (Direktoratet for byggkvalitet, 2020).



Figur 3 - Avfallshierarkiet.

Avfallsreduksjon

Avfallet skal reduseres og man skal sikre at veksten i avfallsmengdene er lavere enn den økonomiske veksten. Forebyggende tiltak skal redusere (Lindberg, 2023):

- Mengden avfall, inkludert ombruk av produkter med forlengelse av dets levetid
- Negative miljø og helseeffekter som følge av avfallseksponering
- Innholdet av helse og miljøskadelige stoffer i materialer og treprodukter

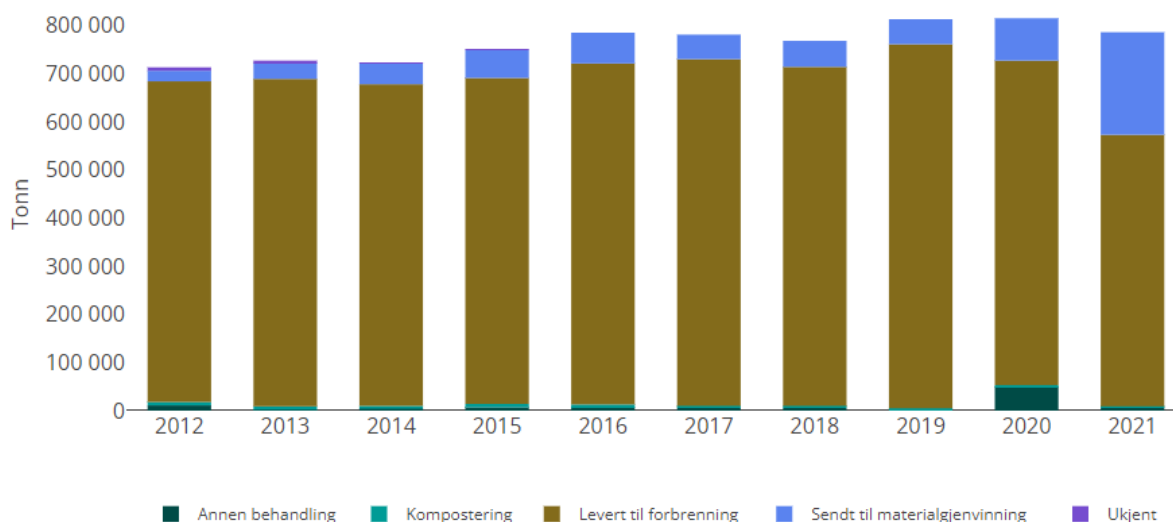
Ombruk

Den andre kategorien fra toppen handler om at vi skal bruke byggematerialer lengst mulig framfor å kaste de. Her handler det om design. Er designet egnet for gjenbruk? Dette kan være både kjemisk sammensetning, men også rent mekanisk (lar det seg demontere og bearbeide på nytt for eksempel) (Lindberg, 2023).

Materialgjenvinning og energiutnyttelse

Trevirke er en ressurs som egner seg bra til nye produkter ved bearbeiding/prosessering eller til energiutnyttelse. Et unntak er impregnert treavfall som i seg selv kan være et miljøproblem. Årsaken til dette er dets innhold av krom, arsen og kobber eller kreosot, noe som regnes som farlig avfall. Dersom dette forbrennes utenfor godkjente anlegg eller deponeres, vil det kunne føre til spredning av miljøgifter.

Selv om andelen av avfall går mest til energigjenvinning er utviklingen likevel klar. Det er en tydelig nedgang i trevirke som går til energi, men heller til nye materialer (Lindberg, 2022, 2023).



Figur 4 - Utvikling ifra 2012 til 2021 for energi og materialgjenvinning.

Deponering

Den siste utvei er deponier. For treavfall er dette kun en liten andel som ikke kan inngå i en gjenvinning eller brenneprosess. Kun hvis materialene ikke er nedbrytbart avfall.

2.2.5 Lover og forskrifter

Alle bygninger, uavhengig om det benyttes gjenbrukte materialer eller nye skal oppfylle visse kvalitetskrav. Regelverket skal sikre at vi bygger sikre bygg, som både oppfyller krav til helse- og miljøskadelige stoffer, konstruksjon og brannsikkerhet. Regelverket begrenser ikke bruken av ombrukte bærekonstruksjoner i rehabiliteringsprosjekter. Det er når man benytter ombruksmaterialer fra andre bygg at regelverket setter begrensninger i henhold til kravene i forskriften. Alle krav til bygget og materialene må dokumenteres (Direktoratet for byggkvalitet, 2018).

2.3 NS-ISTA-142

Trematerialer kan inneholde forskjellige egenskaper og mangler. Standarden NS-ISTA-142 brukes til å identifisere egenskapene, og identifiserer sorteringskravene for visuell styrkesortering (NS-ISTA-142) (Standard Norge, 2009).

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Enkeltkvist	Kantside: Høyst 1/3 av tykkelsen Flatside: Høyst 1/6 av bredden	Kantside: Høyst 1/2 av tykkelsen Flatside: Høyst 1/4 av bredden	Kantside: Høyst 4/5 av tykkelsen Flatside: Høyst 2/5 av bredden	Kantside: Hele tykkelsen Flatside: Høyst 1/2 av bredden
Gankvist	Ikke tillatt	Kantside: Som enkeltkvist Flatside: Lengde høyst lik virkesbredden.		Tillatt
Kvistgrupper	Største tillatte samlet kvistmål er lik målet på største tillatte flatsidekvist + største tillatte kantsidekvist.			
Kvist i firkant	Høyst 1/5 av siden	Høyst 2/5 av siden	Høyst 3/5 av siden	Høyst 4/5 av siden
Kvistgrupper i firkant	Største tillatte samlet kvistmål er 4 ganger største tillatte enkeltkvist.			
Fiberhelling	Høyst 1:10	Høyst 1:8	Høyst 1:6	Høyst 1:4
Årringbredde	Høyst 4 mm	Høyst 6 mm	Høyst 8 mm	Ingen begrensning
Ringsprekk	Ikke tillatt	Tillatt med en total bredde (begge sider av margin) på 50 mm (dybde = 25 mm) i inntil 0,5 m lengde.		Tillatt i opptil 1 m lengde
Tørkesprekker, ikke gjennomgående (total lengde)	Tørkesprekker med dybde under halvparten av tykkelsen er tillatt uten begrensninger.			
	Tillatt i opptil 1 m lengde men høyst 1/4 av lengden. Sprekk kan ikke gå over hjørne.		Tillatt i opptil 1,5 m lengde, men høyst 1/2 av lengden. Sprekk kan ikke gå over hjørne.	
Sprekk, gjennomgående	Kun tillatt i ender i en lengde lik virkesbredden, men høyst 150 mm.			Tillatt med en total lengde opptil 0,5 m. Tillatt i ender i en lengde lik virkesbredden, men høyst 150 mm.
Toppbrudd og vre	Tillatt i 1/4 av bredden. Ikke tillatt i ytre 1/4 av bredden.	Tillatt i 1/2 av bredden. Ikke tillatt i ytre 1/4 av bredden.		Tillatt i 3/4 av bredden
Trykkbrudd	Ikke tillatt			Små skader tillatt

Tabell 1 - Krav tabell ifra NS-ISTA-142.

2.4 LCA

2.4.1 Hva er LCA

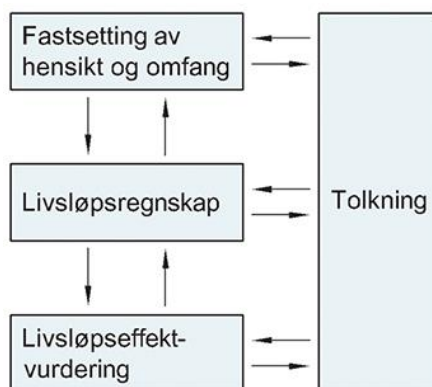
LCA (livsløpsvurdering) er en systematisk kartlegging av en eller flere verdikjeder med dens miljø og ressurspåvirkning, gjennom hele eller deler av livsløpet til et produkt.

En LCA vurderer hele eller deler av livsløpet fra utvinning av råvarer, produksjon, transport, bruk og avhending. For å beskrive hvilken analyse som benyttes brukes for eksempel begrepene «Vugge til grav» eller noe man helst ønsker «vugge til vugge» (LCA, 2023).

2.4.2 Faser i LCA

LCA vurderingen har 4 faser. Denne fordeler seg slik (Byggforskserien, 2014):

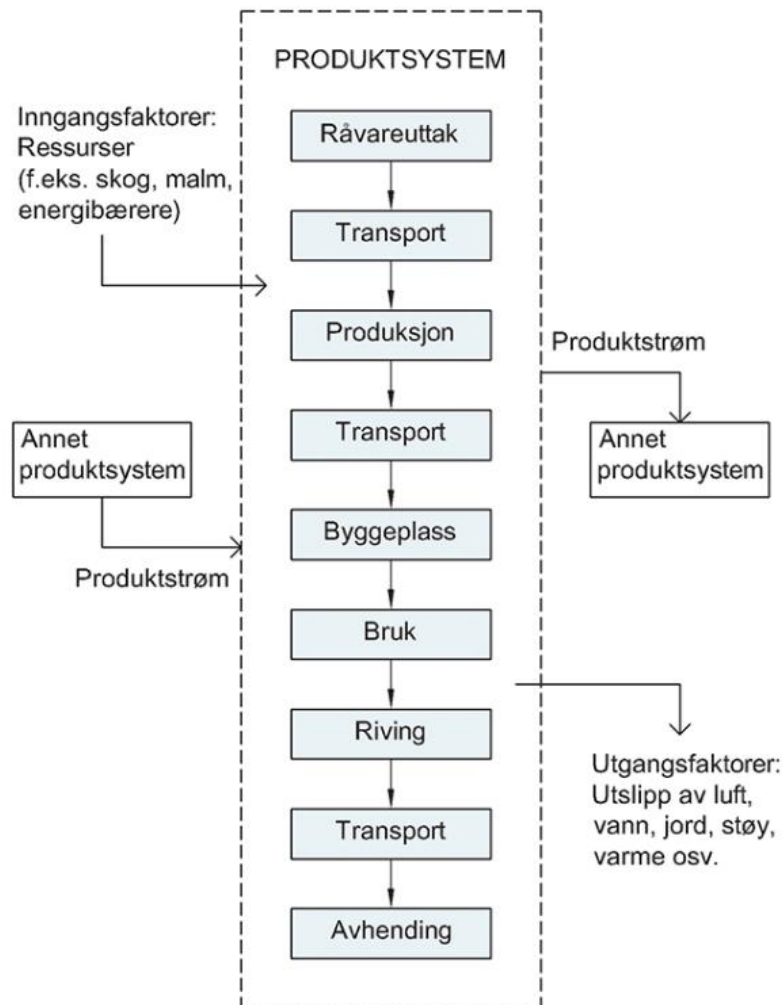
1. Fastsetting av hensikt og omfang
2. Regnskapsfasen: sette opp en oversikt over ressurser som benyttes til fremstilling og tilhørende utslipp for produktets livsløp.
3. Effektsvurderingsfasen: evaluering av potensielle miljøpåvirkninger som for eksempel bidrag til global oppvarming.
4. Tolkningsfasen: tolke regnskapet og de potensielle påvirkningene



Figur 5 - Faser i en livsløpsvurdering.

2.4.3 Systemgrenser

Når hensikten og omfanget for analysen er definert skal systemgrensene settes. Dette er en avgrensning av verdikjeden som skal analyseres. Systemgrensene angir hva som inngår i produktsystemet. For byggevarer er det vanlig at produktsystemet inkluderer prosesser fra vugge til grav. For hele bygninger vil også bruksfasen være med, med tilhørende energiforbruk, vannforbruk etc. (Byggforskserien, 2014).



Figur 6 - Eksempel på systemgrenser og produktsystem.

2.4.4 Funksjonell enhet

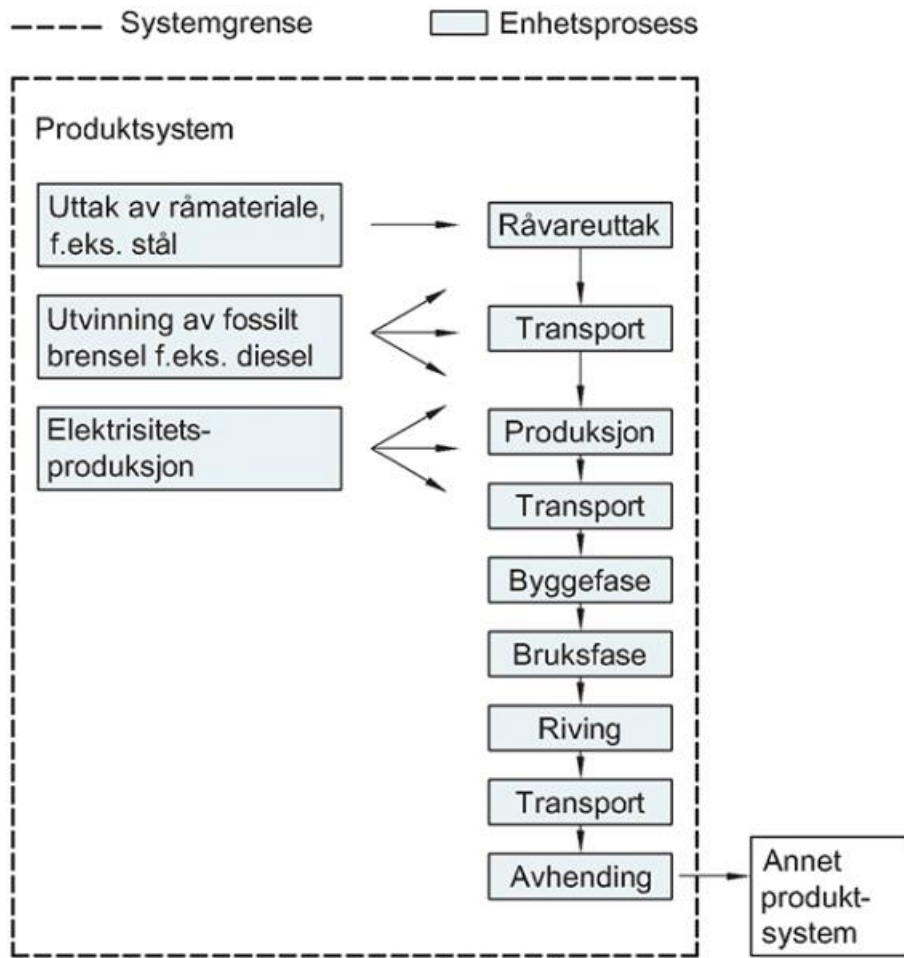
Hver LCA er avhengig av en klart definert og målbar funksjonell enhet. Dette er for å sikre at man sammenligner produkter og prosesser med riktige enheter. Eksempler på dette kan være volum, vekt, levetid eller U-verdi (Byggforskserien, 2014).

2.4.5 LCI

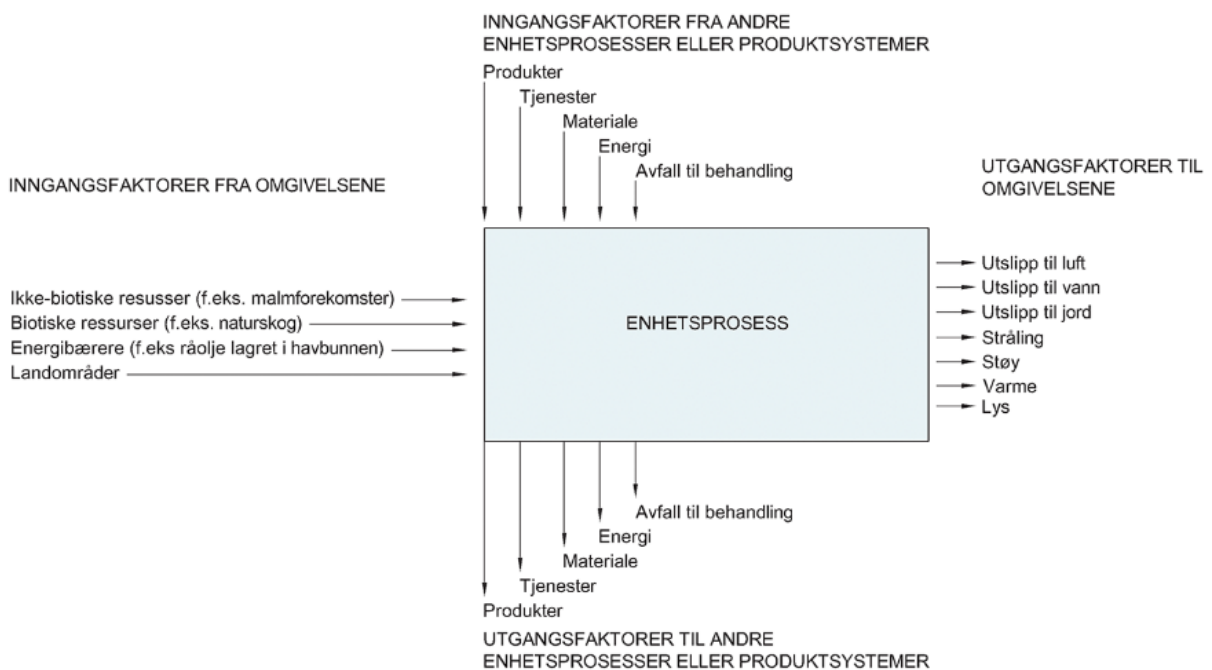
Informasjonen som ligger til grunn til en livssyklusanalyse samles inn og defineres som alt som inngår i et produktsystem. Dette omfatter detaljerte registreringer av alle strømmer inn og ut av produksjonssystemet slikt som materialer, energi og utslipp til luft, vann og jord (Byggordboka, 2017).

2.4.6 Livsløpsregnskapsfasen

Fasen beskriver hvor mye materialer som går inn og ut av prosessen med tilhørende materialmengde, energi og avfall. Elementene som går inn og ut av produktsystemet kalles enhetsprosesser (Byggforskserien, 2014).



Figur 7 - Enhetsprosesser i et produksystem.



Figur 8 - Forklaring på enhetsprosess.

2.4.7 Livsløpseffektvurderingsfasen

Denne fasen synliggjør potensielle miljømessige konsekvenser fra forbruk av energi, materialer og direkte utslipp.

2.4.8 LCA I BIM

Digitaliseringen spiller en mye viktigere rolle enn noen gang for byggebransjen. I en Scan to BIM sammenheng er vi avhengig av å ha gode data for å sikre riktige materialberegninger. På samme måte gjelder dette for LCA. Hvis man har gode data i tidlig utredningsfase, vil man være bedre rustet og få raskere svar på hvordan ulike bygningsmaterialer påvirker modellen. Ved å integrere LCA i BIM vil man dermed kunne redusere tidsforbruket totalt sett ved utførelsen av en LCA. En integrasjon kan gi økt bruk slik at beslutningsgrunnlaget for interessenter knyttet til miljø blir bedre på et tidligere tidspunkt (Antón & Díaz, 2014).

2.5 Nye markedsportaler

En av aspektene den samfunnsøkonomiske rapporten utført av NBIO på oppdrag ifra DiBK påpeker er utvikling av nye markedsportaler for ombruk av bygningsmaterialer. Det er viktig å se på nye muligheter for å sikre bærekraftige produkter, verdistrømmer og nye prosesser (Direktoratet for byggkvalitet, 2020). Test og prøvingsmetoder er under utarbeidelse og man må igjennom innovasjon og teknologi realisere nye måter å utnytte treet slik at dette kan leve lengst mulig. I vår scenariomodell har vi sett på ulike scenarier både med tanke på utnyttelsesgrad for ombruk, men også for realisering av nye ombruksprodukter.

2.6 Økonomiske beslutningsdrivere

I denne oppgaven er det verdikjeden til gamle låvematerialer som vurderes. Materialene skal få nytt liv igjennom digitalisering, systematisering og videre håndtering til nye produkter.

I andre enden av verdikjeden er det et trekk etter nye produkter. Markeder som allerede eksisterer. I begge ender av verdikjeden vil det være økonomiske faktorer som avgjør om man kjøper og selger materialer. For bonden kan det være estetiske årsaker, praktiske eller ofte økonomiske som avgjør om låven avhendes eller ikke. For forbrukeren av nye oppussingsprodukter som lekter, reisverk eller sponplater er ofte prisen avgjørende for om man velger å pusse opp (Mittanbud, 2021).

Igjennom våre produktsenarioer har hele verdikjeden, her representert ved både bonden og forbrukeren, mulighet til å vurdere kjøp og salg.

2.7 Miljømessige beslutningsdrivere

For de som skaper nye verdikjeder vil det i større grad enn noen gang være miljømessige drivere som er avgjørende for om disse verdikjedene blir realisert. Materialer som inneholder stoffer som er skadelige for helse og miljø, utslipp til luft og vann får mer oppmerksomhet enn tidligere. Avfallsmengden skal ned og ombruket opp. Nasjonale og lokale ambisjoner om reduksjon av klimagassutslipp øker også i takt med tiden. Alle disse aspektene vil være viktige beslutningsdrivere når nye verdikjeder skal vurderes. For vår låve ønsker vi å visualisere både graden av avfall, andelen ombruk og potensielle nye produkter med mindre syntetiske stoffer. Dette er det vi har definert som Scan to BIM to Sirk. Låvematerialer er identifisert og analysert igjennom skanning, kvantifisert og igjen analysert igjennom BIM og til slutt realisert igjennom et nytt ombruksprodukt med nye leveår.

2.8 Pull basert markedsportal for nye ombruksprodukter

Økte priser og økonomi har blant annet ført til en nedgang i antall oppussinger ifra 2020 til 2021, (Mittanbud, 2021). Det er et behov for å nå målene for å øke den generelle energieffektiviseringen i boliger (Hovland, 2022). Hvis vi antar at det er en sammenheng energieffektivisering i norske boliger og oppgradering av boliger, vil det være viktig å se på muligheten for å lage nye priseffektive produkter som inngår i et allerede etablert pull marked med store volumer.

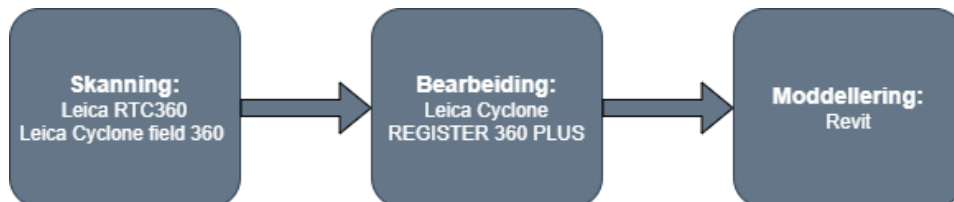
2.9 Scan to BIM

Scan to BIM betyr å samle inn fysiske data ifra et rom eller objekt. Datainnsamlingen gjøres ofte ved hjelp av punktskyer generert ifra laserteknologi. Denne informasjonen kan inneholde både størrelse, plassering og farger. Når objektet har blitt skannet blir det prosessert i egnet programvare. Denne prosesseringen har som hensikt å forbedre, forenkle og klargjøre modellen for videre prosessering til en BIM modell. Det vanligste er å bruke et egnet modelleringsprogram for å lage 3D modeller av bygningselementene. Dette kan være alt ifra vegger, tak, gulv, etasjeskiller, tekniske installasjoner og annen relevant informasjon. De aller nyeste skanneteknologiene inneholder også farger. Dette gjør at man på en bedre måte, kan få enda mer forståelse av det aktuelle objektet. For kommunikasjon mellom prosjekter, fagdisipliner og avdelinger vil denne teknologien være til stor hjelp når man skal planlegge nye tiltak eller for eksempel gjøre endringer i eksisterende bygningsmasse. Metoden kan også være fin hvis man jobber med inspeksjon og kan på en enkel måte identifisere avvik ifra eksisterende byggetegning. Det kan også brukes i digitale omvisninger som et rent kommunikasjonsmiddel med eller uten VR (SWECO, 2023).

Et annet viktig bruksområdet som også blir mer og mer aktuelt er visualisering og identifisering av ombruk. Hvilke og hvor mye materialer har man tilgjengelig? Hva er tilstanden på materialene? Hvilke festemidler er brukt? Alle disse spørsmålene er sentrale når man skal jobbe med ombrukskartlegging.

2.10 Programvare og verktøy

I vårt prosjekt benyttet vi oss av ulike programvare og verktøy. Figur 9 viser trinnvis fremgangsmåte for å utarbeide en 3D – modell av låven. I tillegg til dette har vi benyttet oss av Excel for analyse av data.



Figur 9 - Flytskjema for prosessbeskrivelse fra datainnhenting til ferdig modell.

2.10.1 Leica RTC360

Leica RTC360 er en laserskanner som kan lage en 3D – modell av bygg eller andre strukturer. Skanneren er rask og nøyaktig og leverer detaljerte bilder. Skanneren ble i vårt tilfelle brukt til å skanne en låvekonstruksjon. Videre er skanneren utstyrt med et godt kamera og sensorer. Dessuten er selve skanneren enkel å bruke, det samme gjelder programvaren som følger med. Brukervennligheten gjorde skanningen relativt problemfri (Leica Geosystems, 2023c).

2.10.2 Leica Cyclone FIELD 360

Programvaren Cyclone Field 360 er lagd for å gjøre skanneprosessen enkelt og raskt. Selve programvaren kan brukes på mobile enheter som for eksempel et nettbrett. Nettbrettet gjør det enkelt å starte skanningen fjernstyrt. Man kan også se på skannerresultatet underveis i skanneprosessen. Programvaren gjør det også mulig å justere skanningens plassering, rotasjon og tilknytning til tidligere skann. Fra erfaring er det lurt å ta med seg powerbank til nettbrettet ettersom programvaren kan bli energikrevende jo større skanneprojektet blir (Leica Geosystems, 2023b).

2.10.3 Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS

Programvaren Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS er et data-program for å bearbeide punkttsky-data. Ved bruk av denne programvaren kan man klippe, rense, og justere selve punktstyken. Man kan kontrollere gitte parameter for kvalitetskontroll av skanne-dataen og dens sammenkobling. Man kan også eksportere punktstyken som en leselig fil-type til andre CAD-programmer.

2.10.4 Revit

Revit er en BIM programvare som brukes i ulike bransjer som for eksempel: arkitektdesign, VVS og elektro, konstruksjonsteknikk og bygg og anlegg. Med Revit kan man skissere, planlegge og produsere dokumentasjon. Videre kan ulike fagdisipliner samarbeide ved hjelp av skydeling. Til slutt har programmet integrerte analyseverktøy innebygd i programmet, noe som gjør det lett for prosjektteam å komme frem til verdifull informasjon (Autodesk, 2023).

2.10.5 Excel

Microsoft Excel er et regnearkprogram som gjør det enkelt å organisere data. Programmet gjør det enkelt å gjennomføre beregninger og analysere data. Videre er Excel et fint verktøy for å visualisere data ved hjelp av diagrammer og tabeller. I vårt prosjekt var programmet til stor hjelp ved selve analysedelen av oppgaven (Microsoft, 2023).

Det var også her vi fikk satt opp selve klimaregnskapet for de ulike ombruksscenarioene.

2.10.6 utfordringer

Innen BIM og digitalisering generelt finnes det mange ulike barrierer som i sum kan bidra til høy terskel for implementering av BIM og verktøy for BIM, som for eksempel en 3D-skanner.

For det første viser forskningen at teknologisk mangfold er en sentral utfordring når BIM skal implementeres. Det finnes et stort utvalg av BIM verktøy for ulike grupper, dette kan føre utfordringer når flere systemer skal snakke sammen med eksisterende etablerte systemer. Det er heller ikke kun det teknologiske aspektet som gir utfordringer, men også uklare roller og ansvarfordeling som gjør at dataflyten blir ineffektiv. Overordnet ser man også at

utfordringene i stor grad er knyttet til mangel på kompetanse, ferdigheter og opplæring (Hansen & Gressgård, 2021).

En del av disse barrierene vil med tiden bli mindre. Større bruk av interaktive systemer som har forenklete funksjoner viser seg å være mer effektive og enklere å lære seg. Programvaren til Leica for 3D-skanning er et eksempel på dette, som er svært enkel i bruk.

2.11 Automatisering av Scan to BIM

For å oppnå en mer effektiv prosess uten involvering av flere ulike fagdisipliner, er man nødt til å forenkle. Dette kan gjøres med ny og smart programvare og teknologi.

2.11.1 Leica Cyclone 3DR

Leica Cyclone 3DR er en programvareutvidelse av Cyclone produktfamilien. Systemet er utviklet for å forenkle arbeidsflyten ved importering av punktsky slik at prosessen med modellering går mer sømløst. Ved hjelp av egne funksjoner skapes det mesh og flater som igjen kan visualiseres som vegger, rør eller andre bygningsmessige detaljer. Målet er å automatisere arbeidsflyten mest mulig for skanning. Dette er et fint verktøy for en del applikasjoner og spesielt når man skal utføre dimensjonskontroll er det egne funksjoner som forenkler denne prosessen. For eksempel hvis man ønsker å verifisere om en skannet tunnel gir en viss klaring for en ny togtype. Det er utviklet egne apper som er beregnet for touch, dette gjør at man kan jobbe mer interaktivt ute der det man skal skanne er. Akkurat som verktøyet vi brukte i skanning av låve. Dette er viktig for å redusere den totale arbeidsflyten (Leica Geosystems, 2023a). Siden låven på skanningstidspunktet fremstod som svært rotete med mange store objekter innvendig, har det vært lite hensiktsmessig å bruke denne utvidelsen i vårt prosjekt. Det jobbes kontinuerlig med å automatisere Scan to BIM prosessen. «Det å kunne se fuktighetsforskjell rett ifra skannefilen er absolutt interessant. Flere av våre kunder tester ut ulike verdier som intensitet og filter for å gjøre videre analyse». Dette er opplyst i en epost fra en Leica ansatt (C. Sire, 2023).

2.12 Sirkulære plattformer

2.12.1 SimaPRO

SimaPRO, er en programvare for LCA (Livsyklusanalyse). Verktøyet skal hjelpe bedrifter og andre interessenter med å vurdere og analysere miljøeffekten av ulike produkter og prosesser. Systemet kan brukes i et bredt utvalg av applikasjoner som for eksempel, karbon og vannanalyser, økodesign av produkter, utarbeidelse av miljøvaredeklarasjon (EPD) og bærekrafts indikatorer for miljøprestasjon (NTNU, 2023).

2.12.2 Eibrowser

Eibrowser er en database som inneholder forhåndskalkulerte utslippsindikatorer som stammer ifra databasen Ecoinvent som bruker metoden Recipe Midpoint H som sier noe om tolkning av datasettet. Eibrowser er kun tilgjengelig for NTNU studenter og er ment som et enkelt oppslagsverk for miljøindikatorer (Eibrowser, 2023).

3 Case – Låven

I denne oppgaven har vi tatt utgangspunkt i låven Fjeld (Østtiggården) som ble oppført i 1898.

Låven har igjennom tidene vært igjennom flere eierskifter og modifiseringer og har vært brukt til flere ulike formål. Vanlige bygningsfunksjoner i dette område var: Våningshus, smie, stabbur og vognskjul. Vår låve ble også brukt som potet- og eplelager i sin tid. Låven som vi har modellert og analysert, ligger på andre siden av veien i Nordre Fjellsvei 25, 3530 Røyse. Låven tilhører eiendommen på denne adressen. I dag blir låven brukt som lager eller oppbevaringsplass. Se figur 10 for et oversiktsbilde over låven.



Figur 10 - Oversiktsbilde over låven, markert med rød sirkel.

3.1 Byggets utforming

Den generelle konstruksjonsmåten for reisverk har i dette tilfellet vært sveitserøst. Dette er et byggesystem som var svært aktuelt i rene trehus på midten av 1800-tallet. Vår låve fremstår også som en enhetslåve der alle funksjonene til gården har vært under ett tak. Fjøset har likevel vært et tilbygg som gjør at man ikke kan kalle dette fult ut (Godal, 2018).

Låven er et eldre bygg på 357 m². Selve låven har to etasjer med litt ulik rominndeling. Låven har saltak og stående kledning. På nordsiden er det tre vinduer og fem dører. I tillegg til dette kan man innta seg i andre etasje igjennom en låveport som ligger i plan med uteplassen. På østsiden er det tre vinduer og på vestsiden er det fire vinduer. På sør siden er det fem vinduer og to dører som kan åpnes fra både første og andre etasje.



Figur 11 - Låvens vestside.



Figur 12 - Låvens sørside.



Figur 13 - Låvens nordside.



Figur 14 - Låvens østside.



Figur 15 - Innsiden av låven, plan 1.

Ytterveggene er bygd opp av bindingsverk og har utvendig kledning. Bærekonstruksjonen er søyler som befinner seg langs veggene på innsiden av selve bygget. I hele låven er det mange avstivere som brukes til å støtte opp. Gjennom låven er flere lange lengder skjøtet ved bruk av blant annet franske låser, som gir god motstand mot strekk, trykk og bøyning (SNL).



Figur 16 - Fransk lås.

4 Metode

Metodekapittelet skal beskrive hvordan vi bør gå frem for å fremskaffe eller etterprøve kunnskap (Dalland, 2012).

Sosiolog Wilhelm Aubert blir sitert i mange sammenhenger der metode skal beskrives og han beskriver det slik:

En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder (Auberg, 1985).

I dette kapitlet blir testobjektet nærmere beskrevet. Her ser vi på hele prosessen ifra at selve skanningen er utført til ferdig modellert og analysert modell. Videre ser vi på den økonomiske og miljømessige faktoren for beslutning til avhending, ombruk og retur av eldre låvematerialer.

Målet med oppgaven er å vurdere i hvilken grad Scan to Bim kan brukes i miljømessige og økonomiske beslutningsprosesser. Utfordringer og barrierer vil også bli belyst.

Kapitlet vil presentere forskningsmetoden, beskrive fremgangsmåten for innhenting av data, masseberegning, og bruken av livssyklusanalyse (LCA). Redegjørelse for hvilke kriterier som ligger til grunn for resultatene vil også bli beskrevet.

4.1 Forskningsdesign



Figur 17 - Forskningsdesign.

4.2 Testobjektet, En låve i Hønefoss

Prosjektet SirkTRE skal igjennom ulike arbeidspakker jobbe for å fremme det grønne skiftet igjennom økt fokus på ombruk og avhending av brukte bygningsmaterialer. Dette prosjektet er viktig for å blant annet redusere den totale avfallsmengden fra trevirke som går til brenning mest mulig.

Testobjektet er en gammel låve i Hønefoss. Tidens tann har gjort sitt når det kommer til hvilken tilstand og hvilke materialer som er tilgjengelig for ombruk. Det var andre treprodukter på denne tiden og aktuell låve bærer også preg av modifisering og vedlikehold igjennom tidene. Eier ønsker å kvitte seg med denne låven og vår oppgave er da å blant annet vurdere i hvilken grad materialene kan brukes om igjen. Ønsket til SirkTRE er at mest mulig kan brukes opp igjen og at 100.000 tonn returtre ombrukes i byggeprosjekter innen 2024, og 400.000 tonn ombrukes innen 2023.

4.3 Punktskybehandling

Selve skanningen ble utført av studentene sammen med Omtre ved Christine Jørgensen. Skanningen av utdelt låve ble utført med totalt 50 skann og 55 koblinger. Disse skanningene ble sydd sammen på skannestedet på en Ipad med programvaren Cyclone FIELD 360 og klargjort for eksport. Mye av sammensetningen til punktstyken skjer allerede her. Deretter blir dataen importert til dataprogrammet Cyclone REGISTER 360 PLUS for å bearbeide videre. Her kan punktstyken og skannekoblingene justeres, renses, forenkles og uønskede punkter ifra punktstyken kan fjernes. Dette forenkler videre bruk av punktstyken i Revit når man skal finne igjen egnede bygningsselementer.

4.3.1 Prosess for importering av punktstyke fra Cyclone REGISTER 360 plus til Revit

Når skanningen er gjennomført med Leica RTC360 skanneren, må filene bearbeides før punktstyken kan brukes i Revit. Først importerer man skannefilene fra Cyclone FIELD 360 inn til Cyclone REGISTER 360 PLUS. Her gjennomfører man de siste endringene til punktstyken før den endelige eksporten. Når dette er gjennomført, er skannedataen eksportert og konvertert til filformatet rcp. Dette gjør det leselig i Revit.

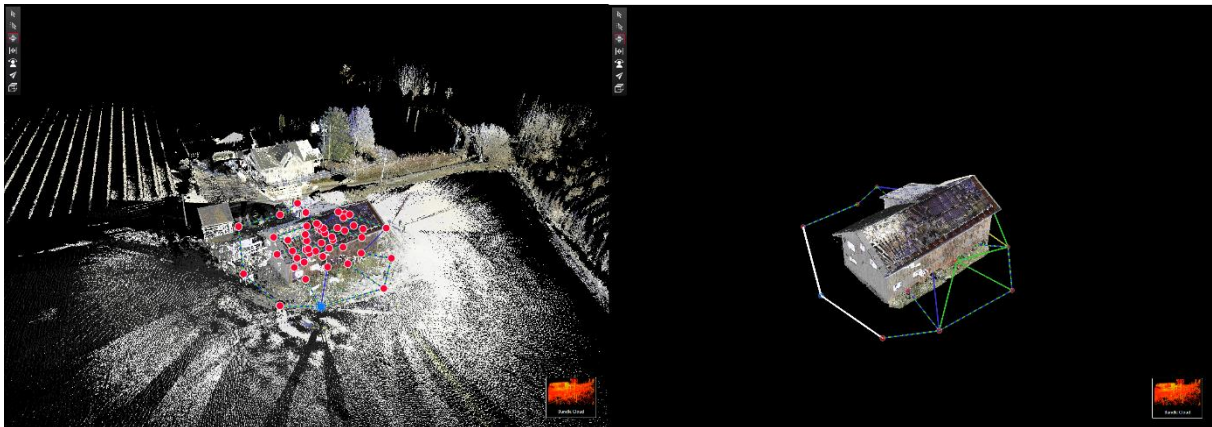
For å åpne skannedataen i Cyclone REGISTER 360 PLUS velger man; Create New Project → (navngi prosjektet) → Ok. Så kan man dra over hele mappa som inneholder all skannedata som er eksportert fra Cyclone FIELD 360.

På steget «review and optimize» får man opp hele punktstyken, og det er her man gjør de ønskede justeringer. Til dette prosjektet var det nødvendig å tilføre flere koblinger mellom enkelte skannepunkter for å sikre best mulig sikkerhet på sammensyningen. For hver kobling mellom to skannepunkter sjekker programvaren om den oppfyller flere krav til å sikre nøyaktigheten. Disse parameterne kan bestemmes til hvert prosjekt og sjekkes; hvor stor prosentandel overlapp begge skanninger har, styrken på koblingen og feilmarginen i avstand på kjente skannepunkter (cloud- to-cloud). Figur 18 viser vurderingen av koblingen mellom skannepunkt 30 og 33. Her ser vi at disse skanninger har en overlapp på 62%, at koblingen har en styrke på 82% og at den største distansen mellom skannepunktene i overlappingen er 0,001m. Disse vurderinger oppfyller minstekravene satt i dette prosjektet og er derfor farget grønn.

Link Error 0.001 m ✓	
Overlap 62 % ✓	Strength 82 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.001 m ✓	Target Error --

Figur 18 - Koblingsvurdering i Cyclone REGISTER 360 PLUS.

Videre var det nødvendig å klippe bort uønskede skanneområdet; deler av nabohuset, skuret, veien og store deler av landskapet rund låven. Figur 19 viser punktskyen før og etter dette steget.

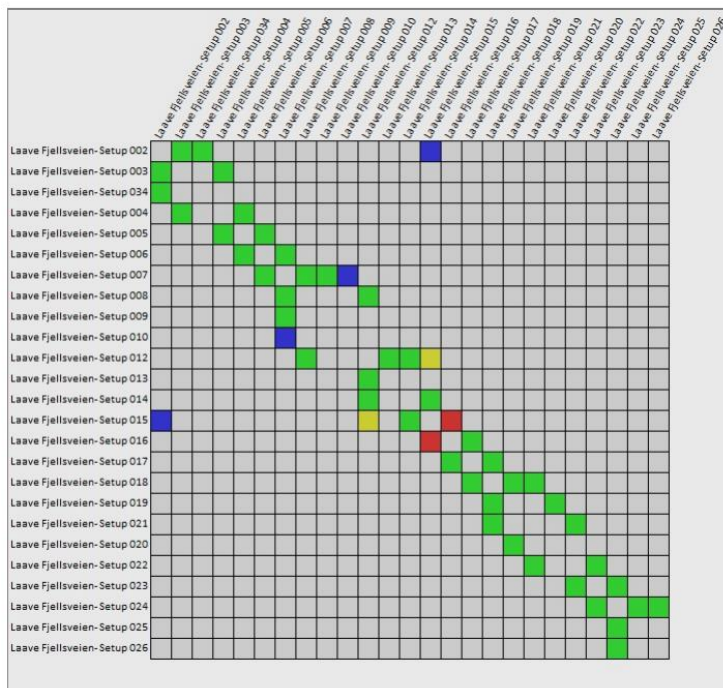


Figur 19 - Punktsky i Cyclone REGISTER 360 PLUS.

Når punktskyen er bearbeidet tilstrekkelig kan en gå videre til «finalize» steget. Her vises den endelige punktskyen og en oppsummering av de tidligere skannekontroll parameterne; overlapping, styrke og punktdistanse. Om man aksepterer disse resultater kommer man til siste steget «report». Her vises en generert rapport om punktskyen som inneholder informasjon om alle kontrollparameterne til alle koblinger i punktskyen. Fra dette steget kan en eksportere punktskyen til forskjellige filtyper. For at punktskyen kan brukes i Revit bruker vi RCP filtypen.

■ Max error of 0.015 m.
 ■ Max error of 0.020 m.
 ■ Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix #1 -



Figur 20 - Matrix på koblings-kvaliteten for punktsky.

4.4 Fotoanalyse

For å kunne bruke et av valgkriteriene fullt ut for ombruk som er definert, har vi brukt foto ifra skannefilen for å sortere ut deler av det trevirke som er skadet eller på andre måter ikke egner seg til ombruk i sin helhet. Vi har brukt standarden NS-ISTA-142 med 3D-skannefilen for visuell styrkesortering av skurlast til denne oppgaven.

4.5 Manuelle fuktmalinger

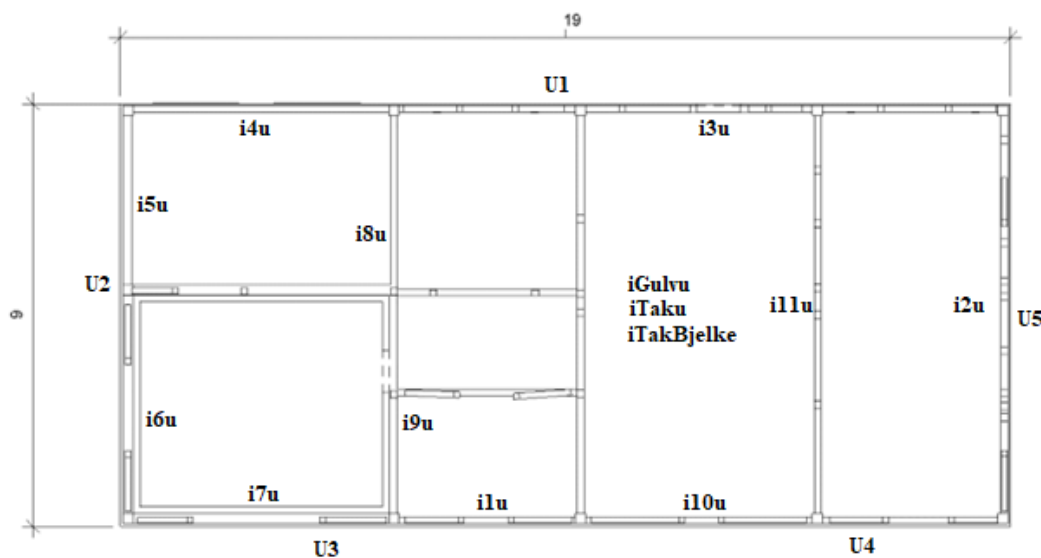
Det ble utført fuktmalinger i bygningsdelene ved hjelp av en håndholdt protimeter fuktmåler. Målingene ble notert og systematisert i egen notatbok slik at det er mulig å knytte disse til bygningsdelene i BIM og revit. Apparatet fungerer slik at den måler motstanden mellom 2 måleprober som stikkes inn i treverket, se figur 24. Fuktinholdet presenteres i prosent. Seinere i oppgaven skal vi bruke disse dataene som utvelgelseskrterier for materialer som har

fukttinnhold over 17 prosent, som er grensen for når råtedannelse øker betraktelig. Vi skal også i BIM allokere disse verdiene slik at man får et helhetsinntrykk for råte og fukt status. Merk at denne metoden baseres seg på stikkprøver, men vil likevel være såpass nøyaktig at man kan bruke de til å vurdere ulike bygningsdelers tilstand og bruke dette til å velge ut materialer iht. NS-ISTA-142 med et prosentvist anslag.

Vi har I denne oppgaven gjort en rekke fuktmålinger som er kategorisert etter figur 21 og 22. Låven var stedvis svært full av gjenstander, som gjorde måleprosessen mer utfordrende. Tallmaterialene vi fikk registret ga oss uansett innsikt i tilstanden til enkelte områder som viste seg å ha høyere fuktighet enn andre. Sørveggen har de lengste soltime og var desidert tørrest. Det var så tørt at enkelte steder fikk vi ikke utslag på måleren. Steder det ble observert spesielt mye fukt var i taket der det var hull, gulvene rundt inngangspartier og kjøreport. Det ble også registrert høyere fuktighet ned mot gulvene i maskinporten.

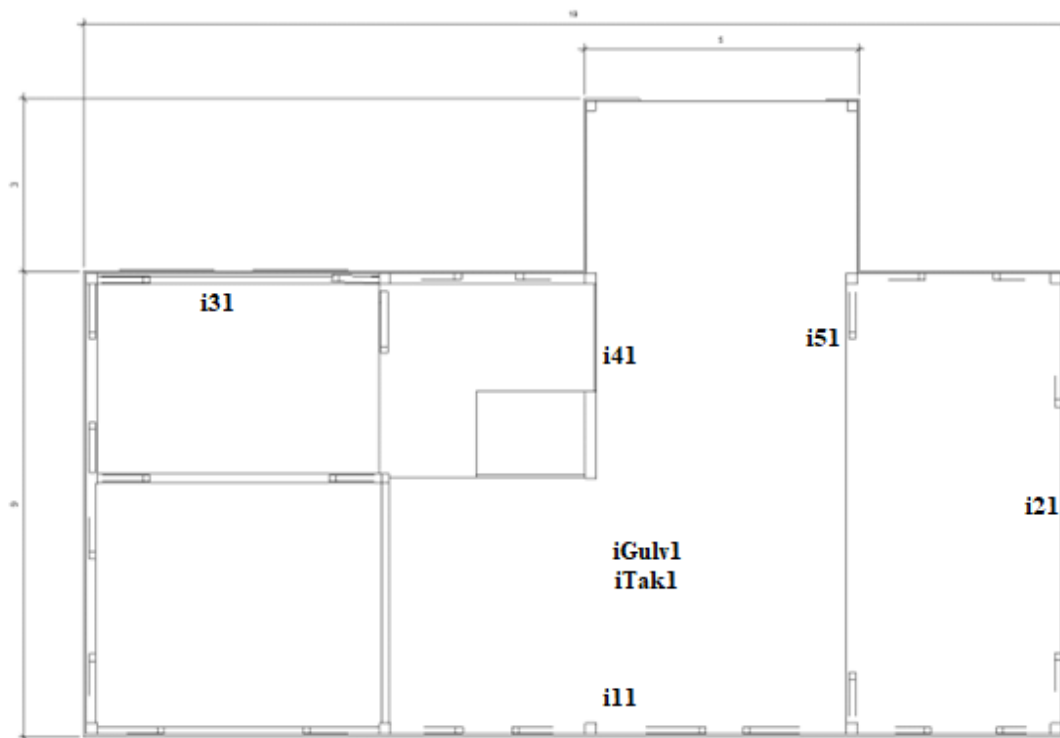
Fuktmålingene ble systematisert og kategorisert på følgende måte, som vist i vedlegg 1-4.

U – plan:



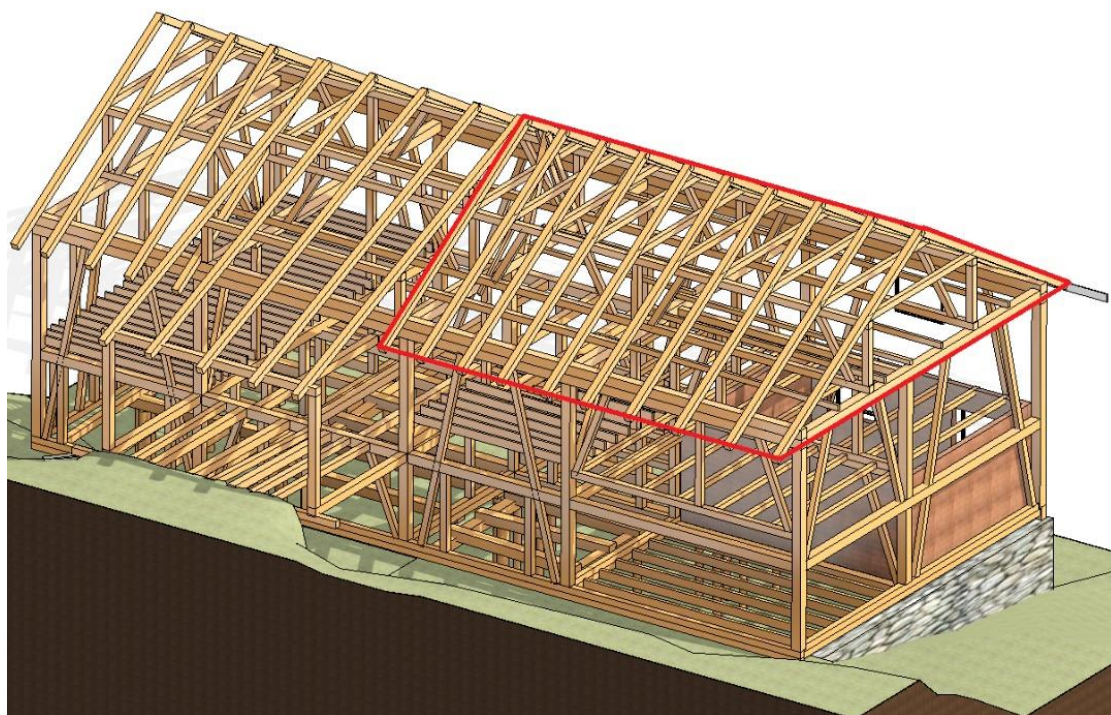
Figur 21 - Plan U med fuktmålepunkter.

Plan 1:



Figur 22 - Plan 1 med fuktmålepunkter.

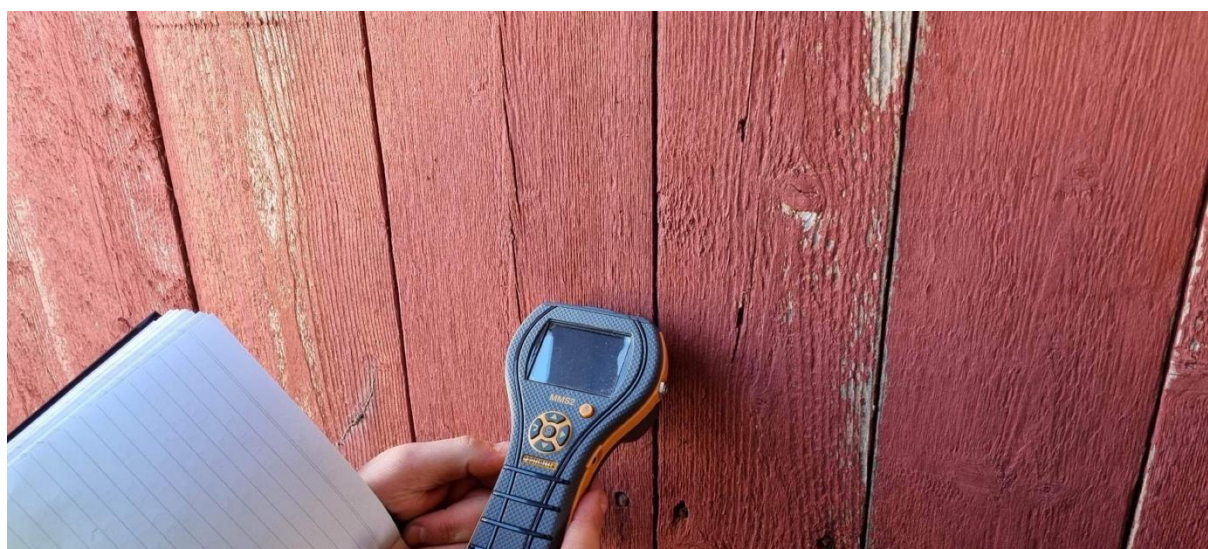
Loft og takstoler:



Figur 23 - Loft og takstoler.

I sonen markert med rødt på figur 23, har vi tatt fuktmålinger der det var fysisk mulig uten at det gikk utover HMS.

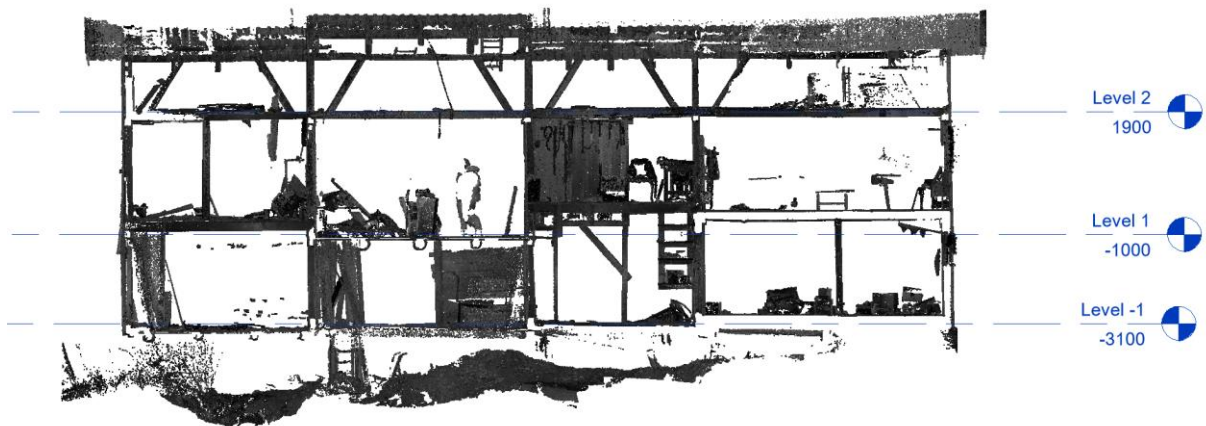
Måleren som ble brukt under gjennomføring av fuktmålingene er vist på figur 24.



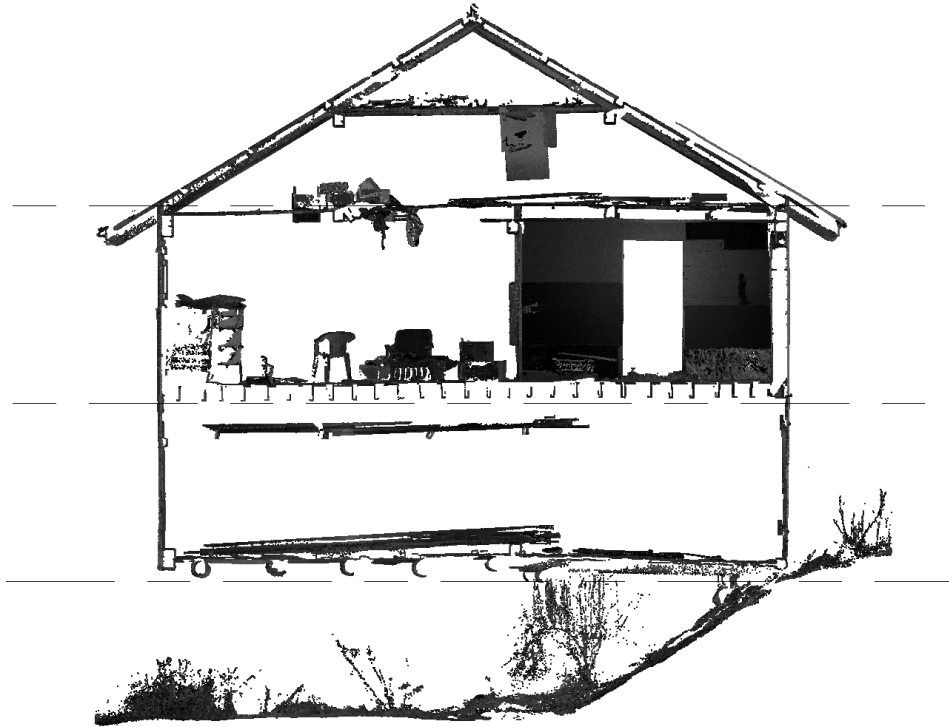
Figur 24 - Manuell fuktmåling.

4.6 Bygge modell i Revit

Modelleringen av låven er gjennomført i Revit. Arbeidet i Revit starter med å importere RCP filen (punktskyen) som ble eksportert fra Cyclone REGISTER 360 PLUS. Vi kan så endre vinkelen og rotasjonen til punktskyen i Revit til å plassere den best mulig for modellering. Så legger man inn en «section» slik at vi kan se etasjene fra innsiden. For å gjøre dette må man først være i en planvisning som viser låven fra toppen, Floor plans → Level 1 kan blant annet brukes her. Så kan man under «view» velge «section» og tegne inn snitt linjen. Fra denne visningen kan vi enkelt definere de forskjellige etasjene eller «level». Dybdevisningen på «section» visningen kan justeres til å kun vise den delen man er ute etter. Vi kan også legge til nye etasjer fra Architecture → Level. Figur 25 viser hvordan dette ser ut.

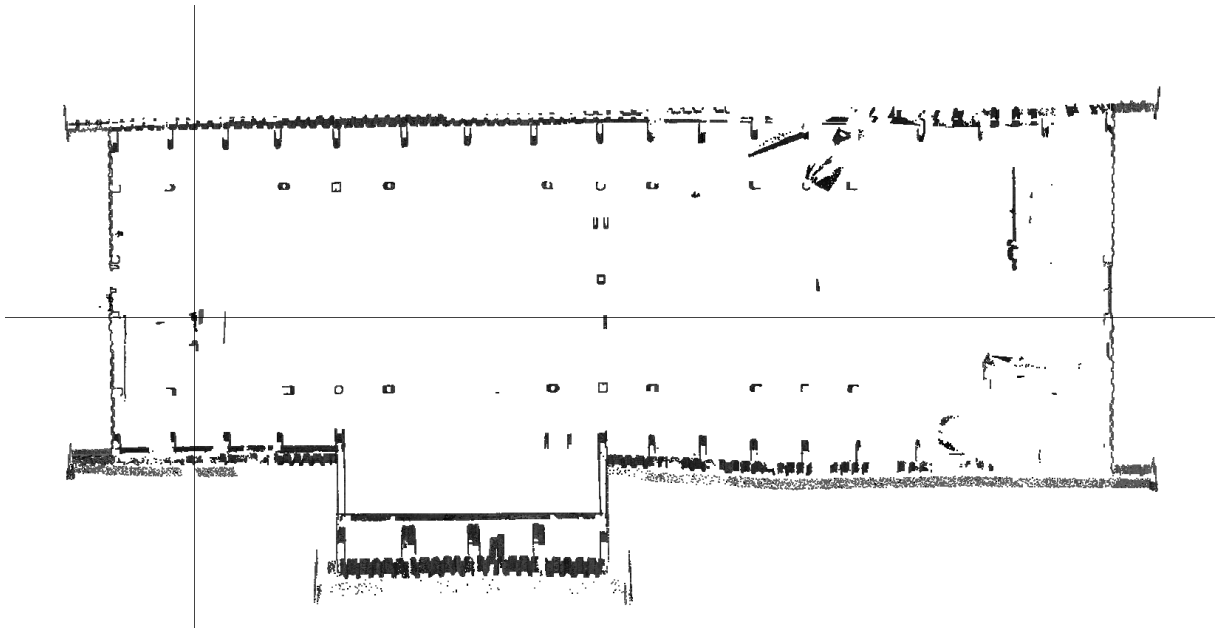


Figur 25 - Snittvisning av punktsky i Revit på tvers av låven.



Figur 26 - Snittvisning av punktsky i Revit på langs av låven.

En annen metode for å finne dimensjonene og plasseringen til elementer er å justere visningsdybden i planvisningen. Ved å begrense den til en relativ kort dybde, og ved å flytte denne visningen opp eller ned kan vi isolere de ytre kantene til blant annet reisverk. Dette er avbildet på figur 27.



Figur 27 - Snittvisning av punktskyen i Revit fra toppen av låven.

Ved modelleringen bruker man primært 2 visnings funksjoner til å lokalisere og identifisere de forskjellige elementene. Her bruker vi både «section» visningen i begge retninger og toppvisning der vi justerer visningsdybden (viewrange, VR). Ved bruk av disse verktøyene kan vi lese av dimensjonene og plasseringen i alle retninger.

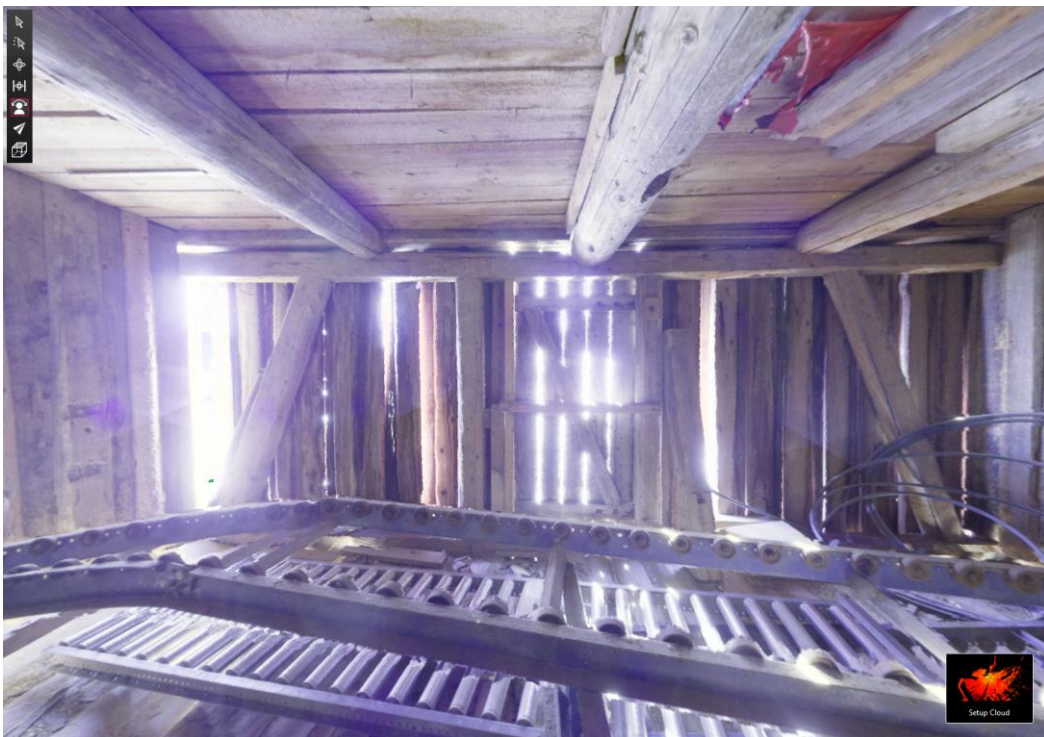
Plasseringen av elementene startet med å identifisere dimensjonene. Revit har en målefunksjon der en får målt rett fra tegningen. Her varierte det fra element til element om vi brukte «section» visningen eller planvisningen med «VR» til å få målingen.



Figur 28 - Snittvisning av punktsky i Revit.

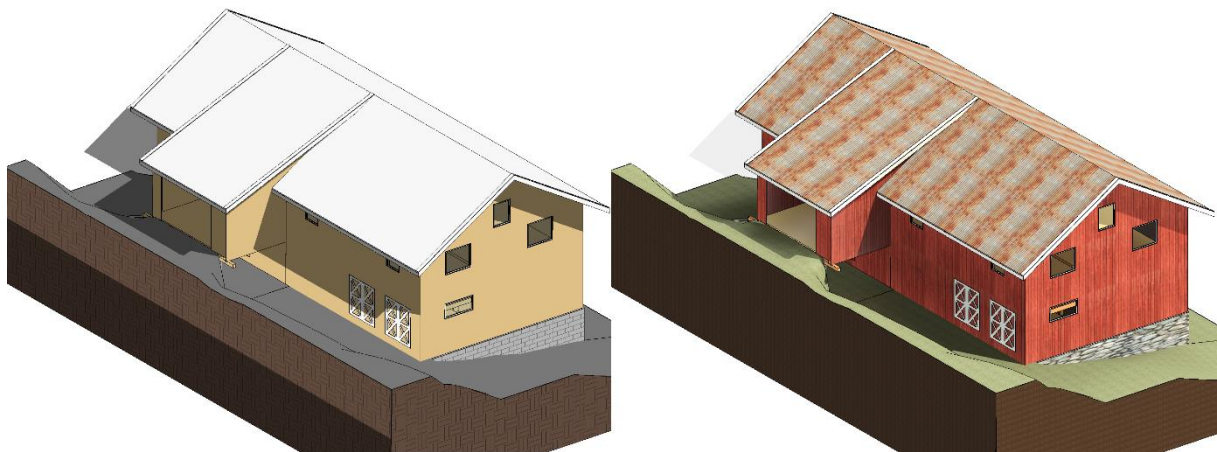
Når dimensjonen er definert plasseres elementet i modellen. Da brukes igjen en kombinasjon av «section» visning og planvisning med «VR» til å bestemme den endelige plasseringen.

Modelleringen av reisverket ble gjennomført fra bakken oppover. Her modellerte vi først reisverket før kledningen, gulv og taket ble plassert. Vi fant det nyttig å bruke Cyclone REGISTER 360 PLUS ved modelleringen av reisverket. Her brukte vi «Setup Cloud» visningen som er et 360° bildet visning tatt på alle skannepunkter. Dette gjorde tolkningen av konstruksjonens sammensetning enklere.



Figur 29 - Setup cloud visning av låven i Cyclone REGISTER 360 PLUS.

Etter reisverket modellerte vi ytterveggene, gulv og tak. Disse elementene ble tegnet inn som store flater og har dermed ikke de riktige visuelle egenskapene. For å løse dette har vi redigert fremvisningen til materialene brukt i disse elementene. Her har vi brukt bilder av en eldre takplate i metall, en steinvegg og en rødmalt trevegg. Dette gjøres ved å selektere ønsket element → edit type → «edit» under construction structure → «...» ved structure material → appearance → image. Her vil man også ha muligheten til å justere på bildefremvisningen. En kan justere på skalaen, rotasjonen, distanse og mønsteret. Vi har til dette prosjektet kun trengt å skalere bildene til å fremvise elementene troverdig.



Figur 30 - Modellvisning av låven i Revit med forskjellige visuelle egenskaper.

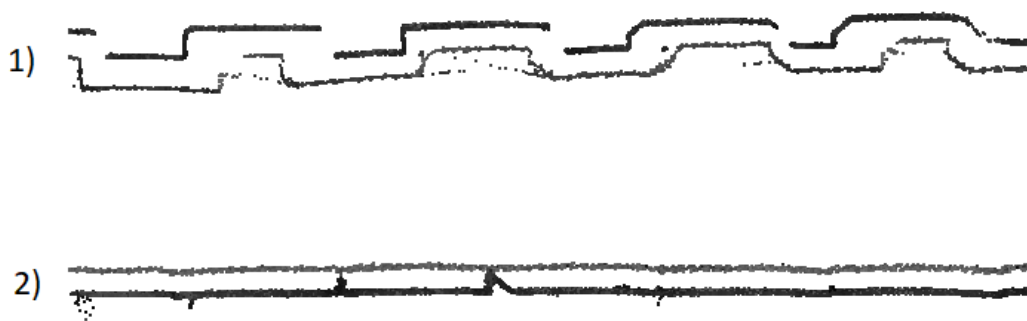
4.7 Mengdeberegning

Når modellen er komplett, kan man lage en «schedule» i Revit. Dette er en funksjon i programmet som summerer alle komponenter på en liste. Her oppgis informasjon som trevirkens dimensjon, lengde og volum. For å opprette en «schedule» velger man «Schedule / Quantities» under «Analyze». Da får man opp muligheten til å velge type element man ønsker oversikten på. Dette kan enten velges fra listen eller ved bruk av søkefeltet. Til dette prosjektet brukte vi typen «Structural framing». På neste side må man oppgi hvilken informasjon man ønsker, og her brukte vi; cut length, type og volume. Dette gir oss trevirkens lengde (cut length), dimensjon (type) og volum (volume). Denne rapporten (schedule) kan eksporteres som en Excel-fil til videre bearbeiding.

<Structural Framing Schedule 2>			
A	B	C	D
Count	Cut Length	Type	Volume
1	5198	_ 260 x 230 mm	0.31 m ³
1	5165	_ 260 x 230 mm	0.31 m ³
1	5023	_ 260 x 230 mm	0.30 m ³
1	4996	_ 260 x 230 mm	0.30 m ³
1	5053	_ 260 x 230 mm	0.30 m ³
1	4982	_ 260 x 230 mm	0.30 m ³
1	4603	_ 260 x 230 mm	0.28 m ³
1	4066	_ 260 x 230 mm	0.24 m ³
1	3547	_ 260 x 230 mm	0.21 m ³
1	3644	_ 260 x 230 mm	0.22 m ³
1	3547	_ 260 x 230 mm	0.21 m ³

Tabell 2 - Schedule i Revit.

Låven har to forskjellige typer kledning som er avbildet i figur 31. Kledningen er modellert som hele flater med tilhørende tykkelse. Dermed må det tas hensyn til materialandelen i det totale volumet til kledningstype 1.

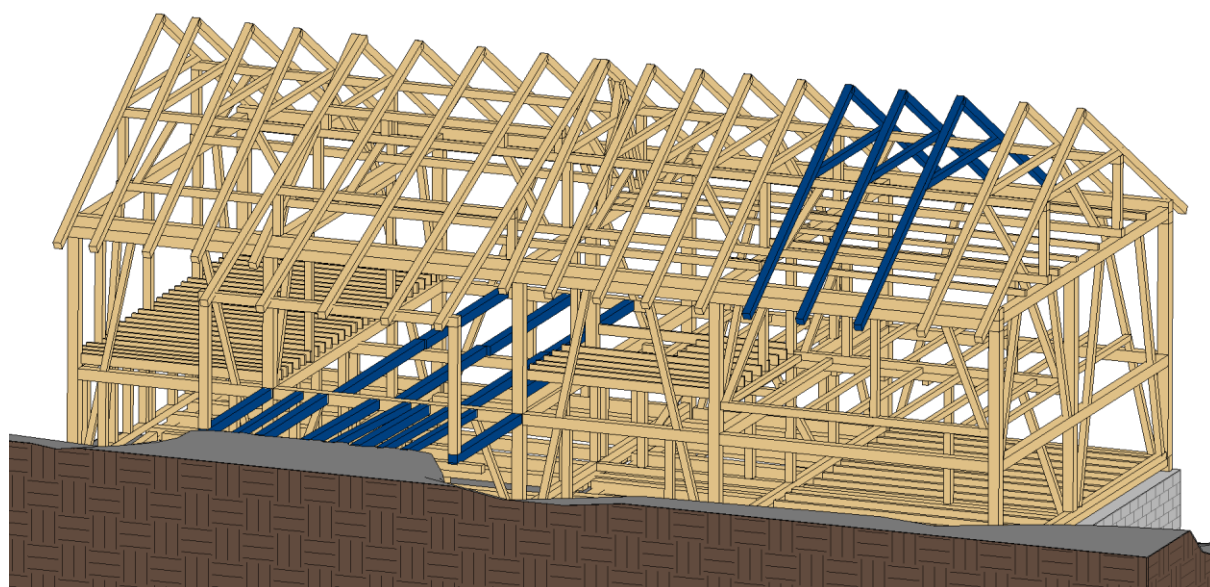


Figur 31 - Snittvisning av punktskyen i Revit av utvendig kledning.

4.8 Knytte fuktighet til modell

For å visualisere målingene som er gjort for denne låven har vi brukt et fargeplott over de områdene som har fuktinnhold over 17%. Disse materialene vil basert på disse grensene bli sortert til flising. Figur 32 viser fargeplottning av reisverk med fuktinnhold over 17%.

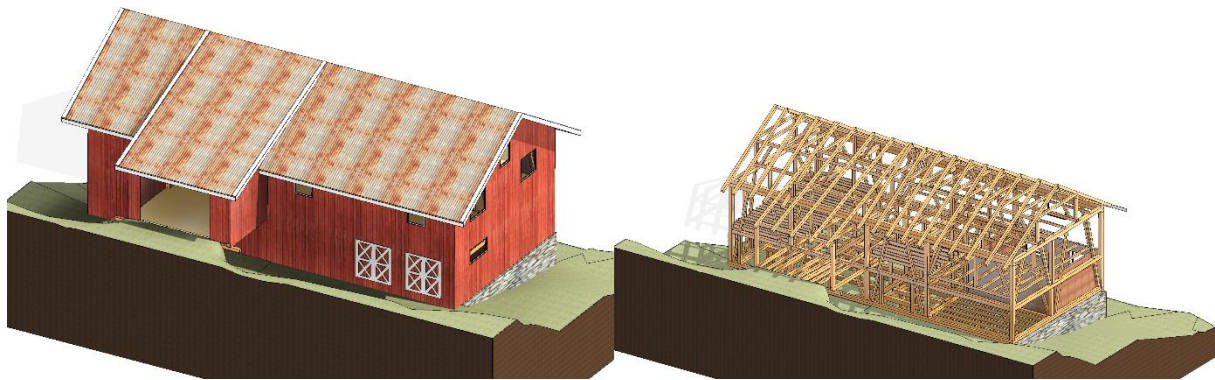
Fuktmålingene på gulv og veggkledning er ikke visualisert på dette bildet.



Figur 32 - Soner med fuktighet over grenseverdien satt i oppgaven på 17%.

4.9 Demontering av låve

Det vil alltid være ulike drivere for om, hvordan og når eldre låver skal demonteres eller rives. Prisen for demontering kan ofte være for høy til at man ønsker å starte denne prosessen. For å ivareta avfallstrekanten vil ombruk, systematisk nedtagning og bedre styring av ressurser være best for ombruk. Økonomi kan likevel sette en stopper for dette, og man tyr til mer destruktive metoder. Vår låve var planlagt systematisk demontert. Dette har foreløpig blitt satt på vent da det har blitt identifisert asbest i takplater. Vi har derfor valgt å ikke beskrive demonteringsmetodene her i detalj. Generelt ville man demontere fasader og tak ned til rammen først. Når «skallet» er tatt av så er stegene videre avhengig av hvordan reisverket er satt opp. Denne prosessen starter ofte øverst med takstoler. Viktige hjelpemidler kan være bajonett sag, lirkebar, slegge/stor hammer og en lift/kran.



Figur 33 - Låve med og uten kledning.

4.10 Systematisering av bygningsmaterialer

For å sikre maksimal utnyttelse av avfallstrekanten trenger vi å bruke en del verktøy for å identifisere og visualisere alle aspektene med de aktuelle bygningsmaterialene. Scan to BIM er en prosess som legger grunnlaget for videre avhending. Vår låve hadde mange ulike treprofiler, noe som gjorde at vi ønsket å vurdere hvilke ombruksprodukter som gir høyest grad av utnyttelse for ombruk. Det vi gjorde var å kategorisere alle profilene fra Revit inn i eget Excel ark. Her kunne vi deretter se hvilke lengder som gjaldt for hvilken profil.

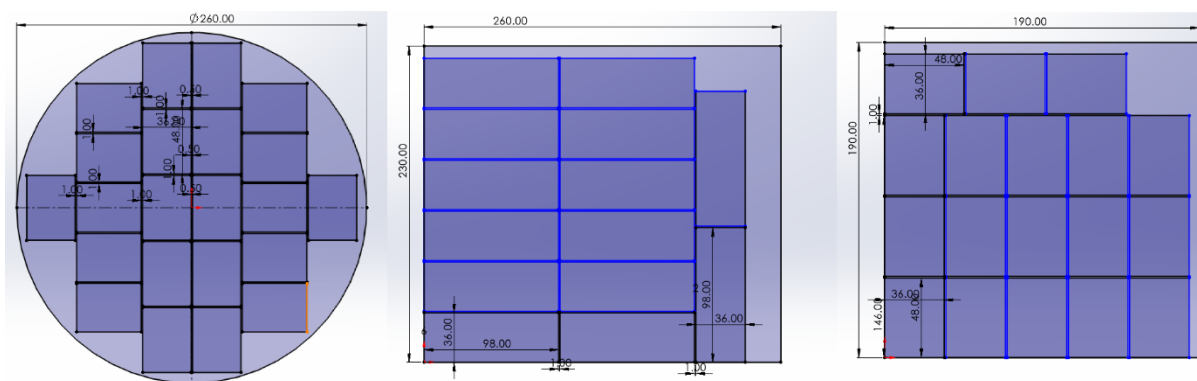
Dette blir beskrevet nærmere i neste delkapittel.

4.11 Profilutnyttelse

For å få et innblikk i økonomiske og miljømessige aspekter ønsket vi å se nærmere på utnyttelsesgraden i hver treprofil. Dette er for å redusere mengden svinn på ombrukssaga. I realiteten er det nok slik at saga har moderne teknologi som optimaliserer dette automatisk. For å planlegge på et tidligere stadie og gjøre en økonomisk og miljømessig kartlegging, kan det likevel være nødvendig å visualisere disse kostnadene før plankene ligger på saga. Hvis prisen er avgjørende for låveeieren om avhending skal skje eller ikke, er vi nødt til å kalkulere

dette før materialene sorteres ut på saga. Vi har derfor tatt utgangspunkt i etablerte ubehandlede treprofiler som typisk brukes i oppussingssammenhenger.

Kutteprofilene er tegnet inn med et sagblad tykkelse på 1mm. Dette er for å gi et mer presist grunnlag for materialutnyttelse (vedlegg 11).



Figur 34 - Kutteprofiler på ulike profiler.

4.12 Restmateriale og avfall til sponplateproduksjon

Ved hjelp av masseberegning og scenariomodellering har vi satt opp hvilke masser som kan gå til sponplateproduksjon. Det vil i hele verdikjeden ifra låven blir demontert til produkter er ferdig høvlet avgi spon som kan gå videre til sponplateproduksjon. Vi angir i denne oppgaven hvor mye dette er snakk om i mengde og kroneverdi som vi har satt til 60kr/m³. Siden vår låve innehar svært lite metall og andre komponenter som må sorteres ut, velger vi omtrent halvparten av hva det koster for ny flis. Alt materiale vi har identifisert som har for høy fuktighet, trevirke vi sorterer iht. NS-ISTA-142 og som er malt inngår i disse prosesser.

4.13 Ombrukskriterier

Før låven tas ned ønsket vi å bruke vårt datagrunnlag til å velge ut hvilke produkter som går til ombruk og hvilke som går til materialgjenvinning. For å opprettholde anbefalingene i avfallstrekanten ønsker vi å ha høyest mulig andel ombruk. For å få et mest mulig presist anslag til fordeling har vi brukt fuktighetsmålinger og skannebilder til å vurdere dette.

Når man skal vurdere egnetheten til ombruk skal følgende spørsmål besvares (Sørnes et al., 2014):

1. Er den funksjonelle kvaliteten forringet av fukt eller annen ødeleggelse?
2. Er den strukturelle kvaliteten forringet av overbelastning eller annen ødeleggelse?
3. Er den estetiske kvaliteten forringet av festemidler, hakk, hull eller maling?
4. Er trevirket farlig avfall, for eksempel CCA- eller kreosotimprignert?

Siden vi kan svare ja på flere av disse spørsmålene på deler av låven, har vi tatt med dette inn i vår sortering. For Ombruk egner ikke fuktighet eller skadet virke seg til enkelte produkter. Disse materialene styrer vi da til materialgjenvinning og sponplateproduksjon. Flere scenarioer skal vurderes. Det er uklart om hvilke kriterier som stemmer. Derfor har vi også satt opp et scenario med en større andel til ombruk.

4.14 Klassifisering av materialer etter NS – ISTA- 142

Feiltype	Krav og toleranser for T2 (C24)	Eksempel på feiltype (bilde)
Tørkesprekk	<p>Dybde over halvparten av tykkelsen er ikke tillatt.</p> <p>Tillatt i opptil 1 m lengde, men høyst 1/4 av lengden. Sprekk kan ikke gå over hjørne.</p>	
Vankant	<p>I ethvert tverrsnitt skal minst 3/4 av både kantside og yteside være maskinbearbeidet.</p>	
Enkelkvist	<p>Kantside: Høyst 1/3 av tykkelsen. Flatside: Høyst 1/6 av bredden.</p>	

Tabell 3 - Benyttet krav i sortering ifra NS-ISTA-142.

Det er en del forskjell på verdigrunnet til ulike materialer ut ifra om de går til ombruk eller materialgjenvinning, derfor er det viktig å bedømme og klassifisere materialene mest mulig korrekt slik at vi får en oversikt over hva slags materialer låven innehar. Dette er en jobb som er tidskrevende og det kan hende det er nødvendig å demontere låven før bedømmingen skjer. Vi har i oppgaven gjennomført en visuell inspeksjon iht. NS-ISTA-142 for å se på bilder etter feil i skannefilen som gjør at vi kan sortere disse til riktig avhendingsscenario. I denne øvelsen brukte vi følgende tabell (Standard Norge, 2009).

Tabell 3 – Utvalgte feiltyper for låven.

Disse data skal legge et grunnlag for videre masseberegning og scenariomodellering.

4.15 Scenariomodellering ved hjelp av LCA og Scan to BIM

Vi har i denne oppgaven valgt å sette opp 5 ulike scenarioer for avhending av eldre låvematerialer. Bakgrunnen til dette er for å gi mer innsikt og et bedre beslutningsgrunnlag. Scenarioene som er valgt er basert på eksisterende og ikke eksisterende verdikjeder. Simapro ble valgt for å simulere miljøeffekten fra ombruk tre mot nytt tre. Her vurderes ting som; kostnad ved demontering av låve inkludert transport, kostnad ved brenning inkludert transport, betaling for returvirke i ulike former og klimafotavtrykk ved ombruk av låvematerialer. Disse sammenlignes med uttak ifra skog. Systemgrensene settes til fra når låven og skogen står til materialene er realisert som nye produkter. På lik måte ønsker vi å vurdere sammenhengen mellom andelen ombruk og økonomisk inntjening for bonden. Vi vil også vurdere markedspotensialet for de valgte produkter. Scenarioene har vi kalt følgende:

Ombruk A: Produksjon av reisverk (36x98mm). Hvor mange m³ og meter med reisverk med dimensjonen 36x98mm kan produseres med returtremateriale ifra låven.

80% Ombruk A: Produksjon av reisverk (36x98mm). Hvor mange m³ og meter med reisverk med dimensjonen 36x98mm kan produseres med returtremateriale ifra låven. Her er det påberegnet et materialtap på 20 prosent som går til materialgjenvinning.

Ombruk B: Produksjon av lekt (36x48mm). Hvor mange m³ og meter med lekt med dimensjonen 36x48mm kan produseres med returtremateriale ifra låven.

Ombruk C: Produksjon av styrkesortert trelast iht. NS-ISTA-142 med hjelp fra 3D-Skanning. Her bruker vi Ombruk A som utgangspunkt, der fasthet og sorteringsklasse for reisverk er C24/T2, trekker vi ifra sortert last ut ifra skannedata og egen bedømming slik standarden beskriver.

Scenarier med hensyn til fuktmålinger: Alle scenarier blir beregnet en gang til slik at materialer med fuktighet over 17% blir sortert ut.

For hvert scenario vil det bli en viss mengde restmateriale som skal gå til flising og nye sponplater. Vi har ikke beregnet CO² avtrykket til sponplater i denne oppgaven.

Utnyttelsesgrad: Igjennom de ulike ombruksscenarioene får vi et innsyn i ulike utnyttelsesgrader for våre låvematerialer med tenkte ombruksprodukter. Her visualiseres også hvilke masser som kan gå til returtreflis for hvert scenario til ny sponplateproduksjon.

Økonomi: Med oppsatte masser ved ulike ombruksscenarioer, kan vi si noe om hva bonden kan få betalt eller må betale ved avhending, hva sagbruket og til slutt forbrukeren må betale for sitt materiale.

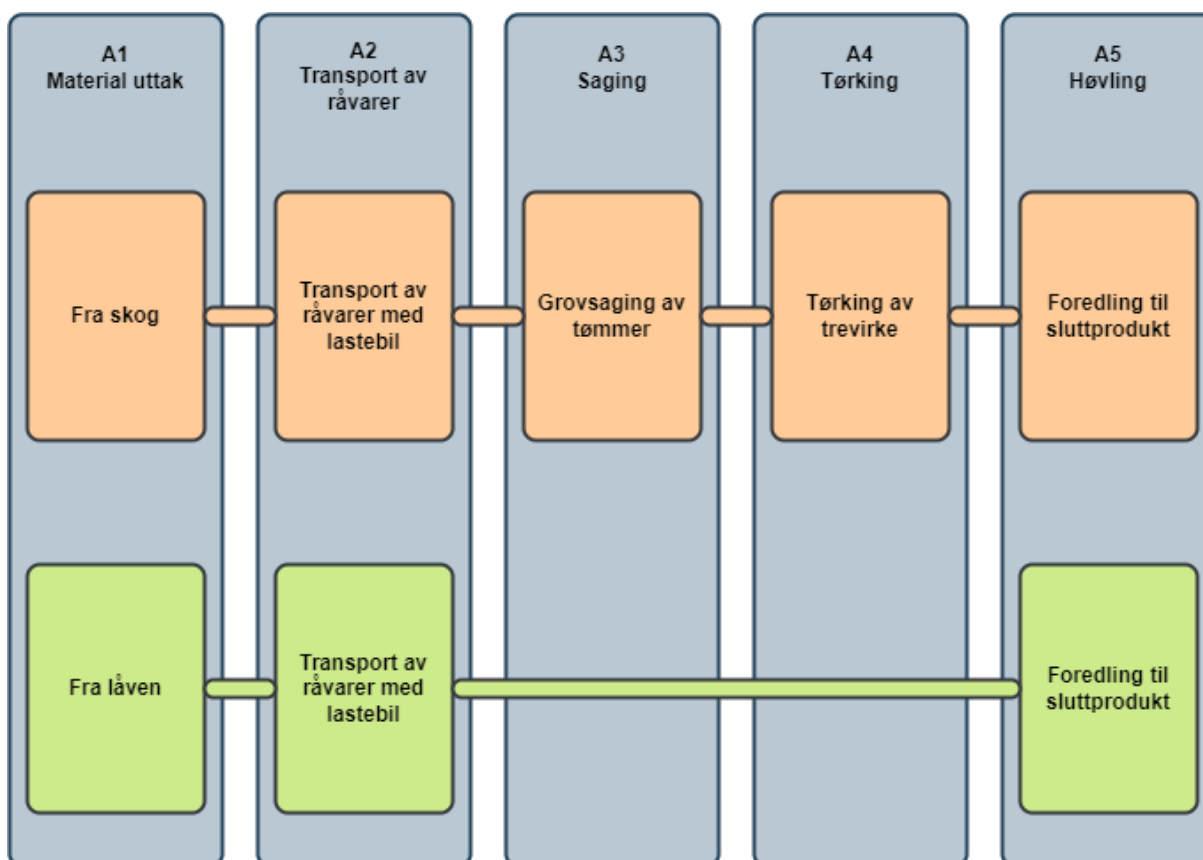
Miljø: Her oppsummeres klimafotavtrykket for ombruk av våre låvematerialer og settes deretter opp mot like produkter som stammer ifra nytt virke.

4.15.1 Hensikt og omfang

Hensikten med denne analysen er å vurdere miljøpåvirkningen for ombruksprodukter i sammenligning med nye til utvalgt case. Vi skal med låvematerialene og deres påvirkning til miljø bidra til å forbedre beslutningsgrunnlaget når motivasjonen er å redusere klimautslippene nasjonalt og lokalt. Dette visualiserer vi i en egen tabell for tenkte omtreprodukter. For ombrukte låvematerialer skal vi se på prosessen ifra demontering av låve med transport til høvleri og pakking. For nytt virke skal vi se på prosessen ifra Skog til sagbruk med tørke og sag, derifra videre til høvleri med pakking. Vi ser altså på produksjonsprosessen og fasene A1-A5. Dette kan beskrives som prosessen ifra låve til ferdig produkt (omtref) og ifra tømmer til ferdig produkt (nytt virke). Karbonlagring er utenfor systemgrensene og tas ikke med i beregningen.

4.15.2 Systemgrenser

I vår modell ser vi på det som skjer ifra treet tas ned ifra låve eller skog til det er videre avhendet, sortert, bearbeidet og klargjort til nye produkter.



Figur 35 - Systemgrenser for avhending av låvematerialer vs. uttak ifra skog.

4.15.3 Funksjonell enhet

1m³ ubehandlet trevirke.

4.15.4 LCI

Alle inngående og utgående kjemiske og teknologiske prosesser blir definert og satt opp i Simapro. Her visualiseres blant annet utslipp til luft grunnet dieselforbruk og vedlikehold på maskiner, vedlikehold og utslipp ifra transport samt. de utslippsmessige faktorene knyttet til et visst strømforbruk hentet ifra det Norske strømmettet.

4.15.5 Enhetsprosesser i Simapro

For å sikre mest mulig likt sammenligningsgrunnlag for ombrukt tre og nytt har vi benyttet oss av samme parameter ifra samme database. Dette angår type prosesser som inngår i enhetsprosessene. Vi har via Simpro brukt data hentet ifra Ecoinvent for å sette opp prosessene. Samt energiforbruk mengder fra aktive sagbruk.

For våre prosesser og valgte scenarioer er følgende utslippsfaktorer brukt (utklipp ifra Simapro):

Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Figur 36 - Transport mellom låve, sagbruk og høvleri.

Electricity, high voltage {NO}| heat and power co-generation, biogas, gas engine | Cut-off, U

Figur 37 - Strøm forbruk for tørke, sag og høvleri.

Delimiting/sorting, excavator-based processor {RER}| delimiting, with excavator-based processor | Cut-off, U

Figur 38 - Sortering av tømmer.

Nytt tre:

Processes	Amount	Unit	Distribution: SD2 or ZSD	Min	Max	Comment
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 [RER] market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EUROS Cut-off, S	3,5	tkm	Undefined			Total Transport
Electricity, high voltage [NO] heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	6,75	kWh	Undefined			Høvleri
Electricity, high voltage [NO] heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	67,5	kWh	Undefined			Sag og tørke
Delimiting/sorting, excavator-based processor [RER] delimiting, with excavator-based processor Cut-off, U	1	hr	Undefined			Uttak av skog

Figur 39 - Verdier brukt i simapro for nytt tre.

Ombruk:

Processes	Amount	Unit	Distribution: SD2 or ZSD	Min	Max	Comment
Electricity, high voltage [NO] heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	6,75	kWh	Undefined			Høvling og pakking
Delimiting/sorting, excavator-based processor [RER] delimiting, with excavator-based processor Cut-off, U	10	min	Undefined			demontering av låve
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EUROS [RER] transport, freight, lorry >32 metric ton, EUROS Cut-off, S	3	tkm	Undefined			Totaltransport

Figur 40 - Verdier brukt i simapro for ombruk tre.

Verdiene brukt til de forskjellige prosessene er omregnet til å tilsvare 1m³ ferdig produkt. Vi har antatt at en lastebil med tømmer eller ombruk tre har en kapasitet på 42.5 m³. Denne kapasiteten sett over total transport distanse gir oss en transport distanse på 3.5 km til nytt tre og 3 km på ombrukt tre per m³. Energimengdene til «Sag og tørke» og «Høvleri» prosessene fikk vi opplyst per m³ av Moelven Mjøsbruket AS.

4.15.6 Livsløpseffektsvurderingsfasen

Her settes livsløpene til eldre låvematerialer og nytt virke opp mot hverandre.

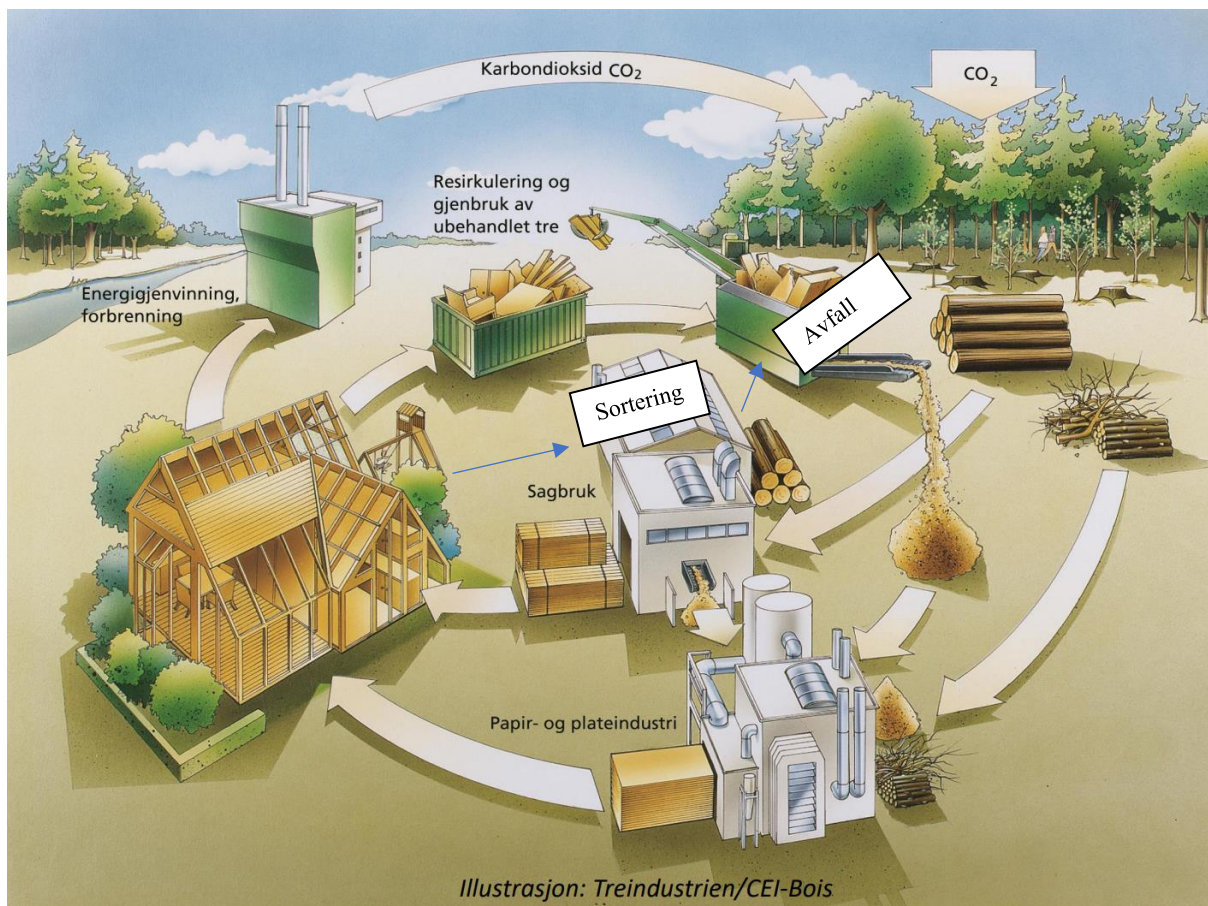
4.16 Økonomiske kriterier

For å lage en økonomisk modell til valgte scenarioer har vi benyttet oss av en kombinasjon av eksisterende priser funnet hos en typisk byggevareforretning, intervjuer av ansatte i sagbruk og byggevareprodusent. Vi baserer prisene for produktene på at produksjonsprosessene er redusert i forhold til nytt trevirke. Samtidig skal de nødvendige prosessene ikke kreve mer i prosessering av ombruksmaterialet som ved nytt trevirke.

For å sikre betaling og motivasjon for låveeier antar vi en viss «pantesum» for tildeling slik at man kan starte verdistrømmen (gitt at økonomi er utslagsgivende for avhending).

Pantesummen baserer seg på eksisterende tømmerpris som varierer mellom NOK 600-700,- (Norskog, 2022).

Ved å bruke låvens materialer som grunnmateriale vil sagbruk redusere prosessene nødvendig for å produsere sluttproduktene sine. Ombruksmaterialet fra låven er allerede grovt formet slik at man ikke trenger å gjennomføre den første sageprosessen på samme måte som ifra tømmer. På lik måte er trematerialet fra låven tørt nok til videre foredling at det ikke trenger å gjennomgå tørkingsprosessen.



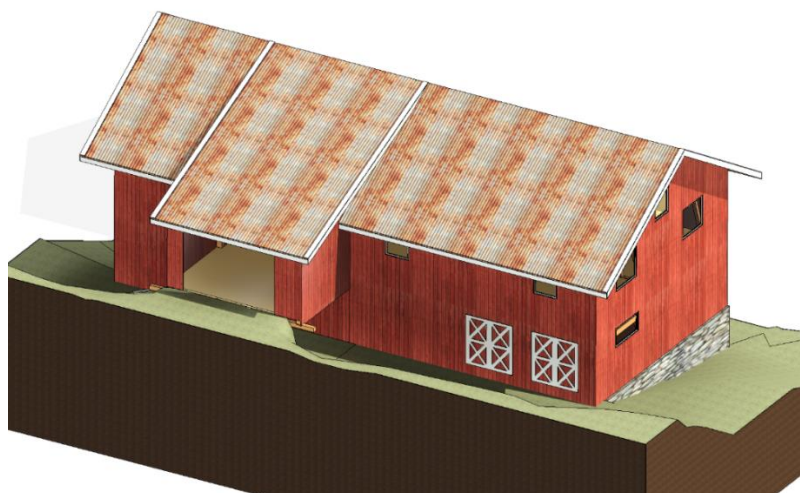
Figur 41 - Verdikjeder for treproduksjon.

5 Resultater

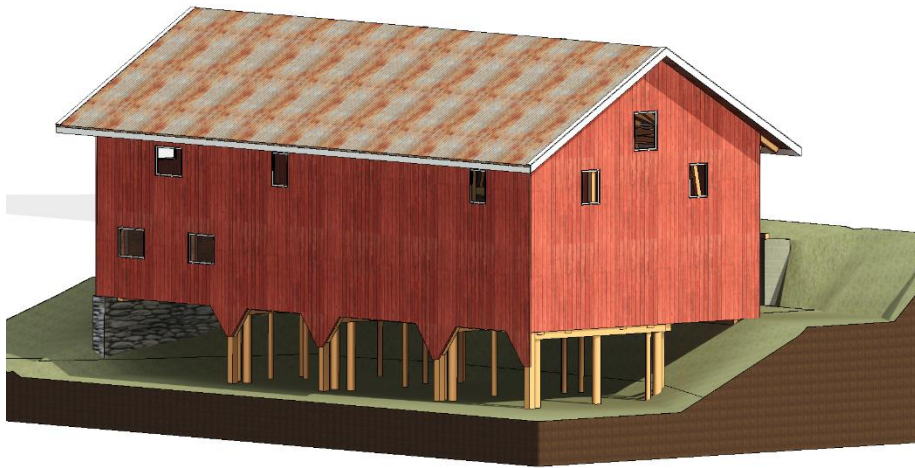
I dette kapitlet presenterer vi resultatene ifra 3D – modelleringen av låven i Hønefoss som ble tegnet ved hjelp av punktsky i Revit. Videre vises resultatene av mengdeberegningene som legger grunnlaget til presentasjonen av LCA resultatene. Resultatene av LCA analysen blir så brukt videre til å trekke økonomiske og miljømessige beslutningsdrivere, basert på ekte produkter og prosesser.

5.1 Låven i Hønefoss

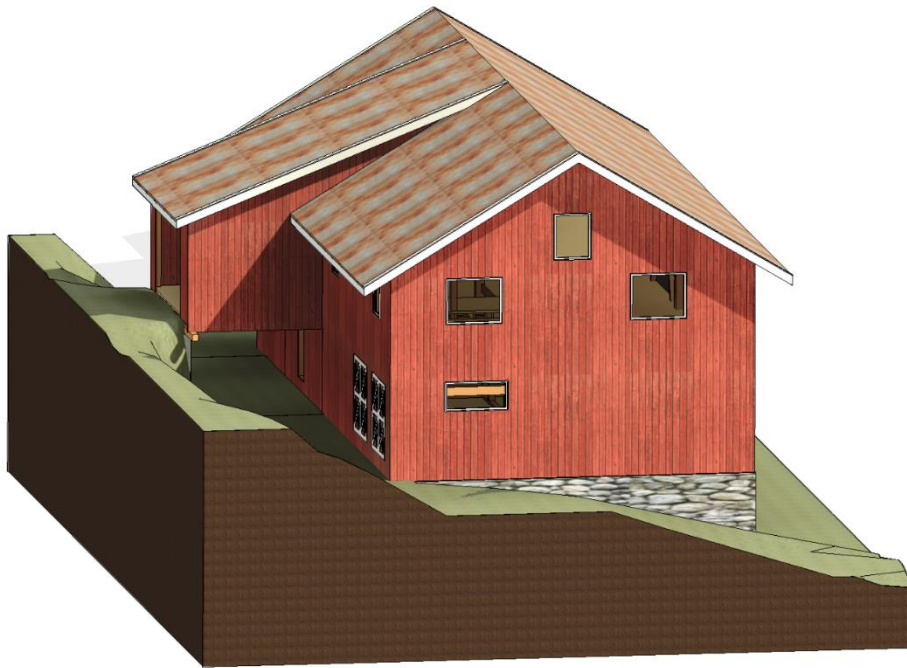
Sluttresultatet på modellen var meget tilfredsstillende. Modellen endte opp med et sluttvolum på 94.1 m³. På figur 42, ser vi resultatet av modellen fra låvens nordside. Videre på figur 43, ser vi resultatet av modellen fra låvens sør og østside. Til slutt ser vi resultatet av modellens vestside på figur 44. De tre figurene nedenfor viser resultatet av fasaden til låven (klimaskallet). Det ble brukt mye tid på konstruksjon av modell og dette resulterte i en modell av høy kvalitet - estetisk sett. Til slutt gjør ferdig modell det mulig å gjennomføre mengdeberegninger.



Figur 42 - Nordside låve.



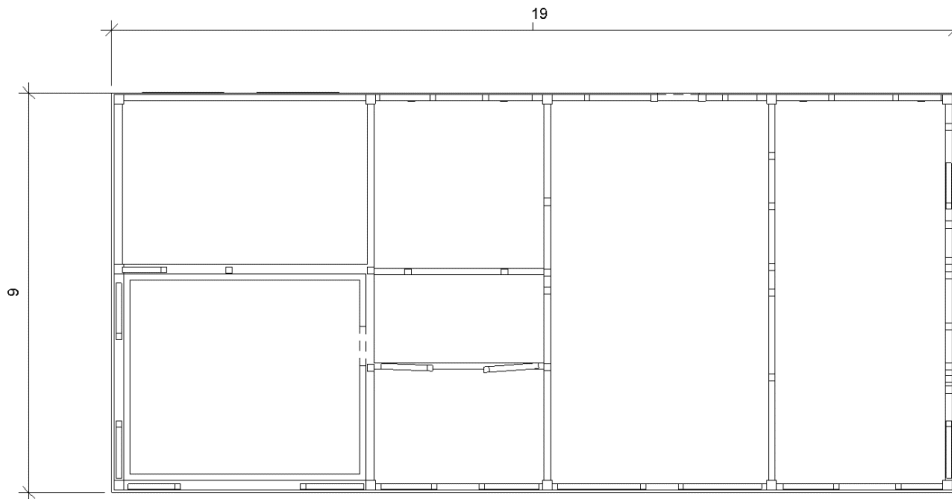
Figur 43 - Sørside og østside låve.



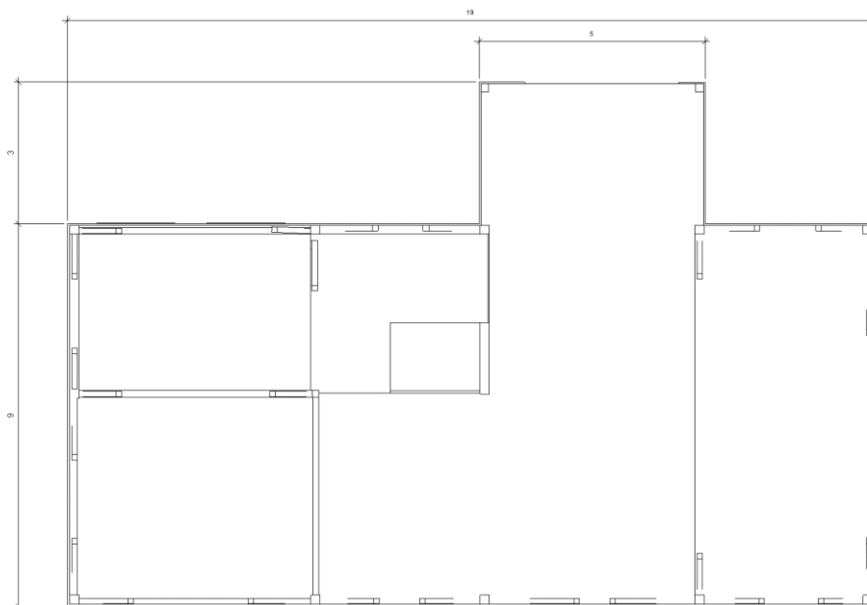
Figur 44 - Vestside låve.

5.1.1 Planløsning

Ved hjelp av Revit fikk vi generert plantegninger av låven. På figur 45 ser vi planløsningen til under etasjen. Videre ser vi planløsningen til 1. etasje på figur 46. Plantegningene var til hjelp til når vi skulle systematisere fuktsoner.



Figur 45 – Plantegning U-etasje.

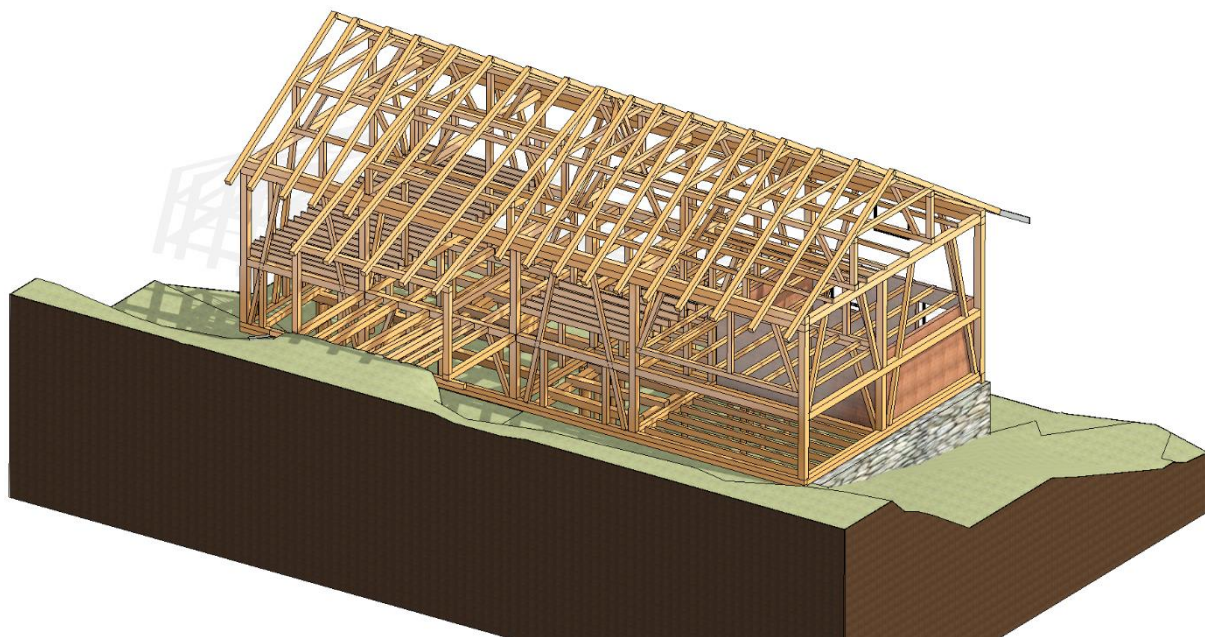


Figur 46 – Plantegning 1-etasje.

5.1.2 Konstruksjonselementer

Bindingsverket ble lagd manuelt i Revit og resultatet av dette ser vi på figur 47.

Modelleringen av bindingsverket var essensielt for å beregne mengder av trevirke. Resultatet av mengdeberegningen presenteres i neste delkapittel.



Figur 47 - Bindingsverk.

5.2 Mengdeberegning av trevirke

Til mengdeberegningen av konstruksjonsverket benyttet vi oss «schedule» informasjonen fra Revit. Her får vi listet opp alt trevirke i låven og dens dimensjon, lengde og volum. Fra denne oversikten (vedlegg 5-8) kan vi se at volumet på trevirken er på $61,5 \text{ m}^3$. Videre kan vi se fra vedlegg 9 at volumet til gulv i låven er på $20,5 \text{ m}^3$. Til slutt har vi et totalt volum på 12 m^3 til kledning (vedlegg 10). Sammenslått har låvens trematerialer et totalt volum på $94,1 \text{ m}^3$.

5.3 Fuktinnhold

Det er gjort målinger der det var praktisk mulig å gjennomføre målinger. Det ble tatt flere målinger for å danne seg et bilde av fukt i ulike bygningselementer som tak, vegger, loft og gulv. Da dette kun er stikkprøver, har vi valgt å ekskludere hele eller deler av bygningselementene når vi skal sortere ut de bygningselementene som innehar fuktighet over 17%. Dette gjør at vi sikrer at fuktige materialer ikke inngår i Omlekt eller Omreis materialer. Resultatene ifra fuktmålingene viser at enkelte soner innehar mer fuktighet enn andre. Soner som gulv, tak og steder der det er mye aktivitet mot utsiden er spesielt utsatt. Vi har i disse områdene også identifisert flest målinger over den grensen vi har satt på 17%. Ved å fordele alle målingene som er over grensen per bygningselement får vi en prosentandel på 8,68% totalt (vedlegg 15). Disse målingene ligger også til grunn ved bedømming av materialer iht. styrkeklassifisering.

5.4 Sponplateproduksjon ifra returtre

Alt trevirke vi ikke klarer å bruke om igjen styres til materialgjenvinning.

Etter vårt bidrag til 8-12cm fraksjon returtre, fordeler det seg slik ifra låven:

	Masse (m ³)	Masse (m ³) med hensyn til fuktighets krav (17%).
Ombruk A	101.8	106.4
Ombruk A 80%	128.5	132.2
Ombruk B	73.1	78.7
Ombruk C (NS-ISTA-142)	108.9	113.3

Tabell 4 - Utrechnet masse i sagflis.

Her bruker vi en ekspansjonsfaktor på 2.5 til volumberegningen fra tre til sagflis (NIBIO, 2023).

5.5 Miljømessig beslutningsgrunnlag

For å være i stand til å kvantifisere et datamateriale som kan brukes som beslutningsgrunnlag har vi ved hjelp av Simapro og eksisterende treforedlingsprosesser kalkulert et CO² utslipp for hver prosess. Etter samtaler med flere sagbruk om potensielle ombruksprosesser, har vi vurdert det slik at siden låvematerialene er relativt tørre, neglisjeres selve tørkeprosessen ifra analysen. Dette sammen med mindre behov for saging og bedre utnyttelsesgrad av firkantprofiler fra låve har gitt oss en besparelse i utslipp tilsvarende 68,7 kg CO²-ekvivalenter per m³ ferdig produkt.

På figur 48 ser man klimapåvirkningen for prosessene ifra ombrukte materialer til 1 m³ ferdig produkt.

Impact category /	Unit	Total	Electricity, high voltage	Delimiting/sc excavator-ba	Transport, freight, lorry
Climate change	kg CO2 eq	22,3	1,41	10,9	0,269

Figur 48 - Klimapåvirkning, Ombrukt virke ifra Hønefoss.

På figur 49 ser man klimapåvirkningen for prosessene ifra nye tre materialer hentet ifra skogen til 1 m³ ferdig produkt.

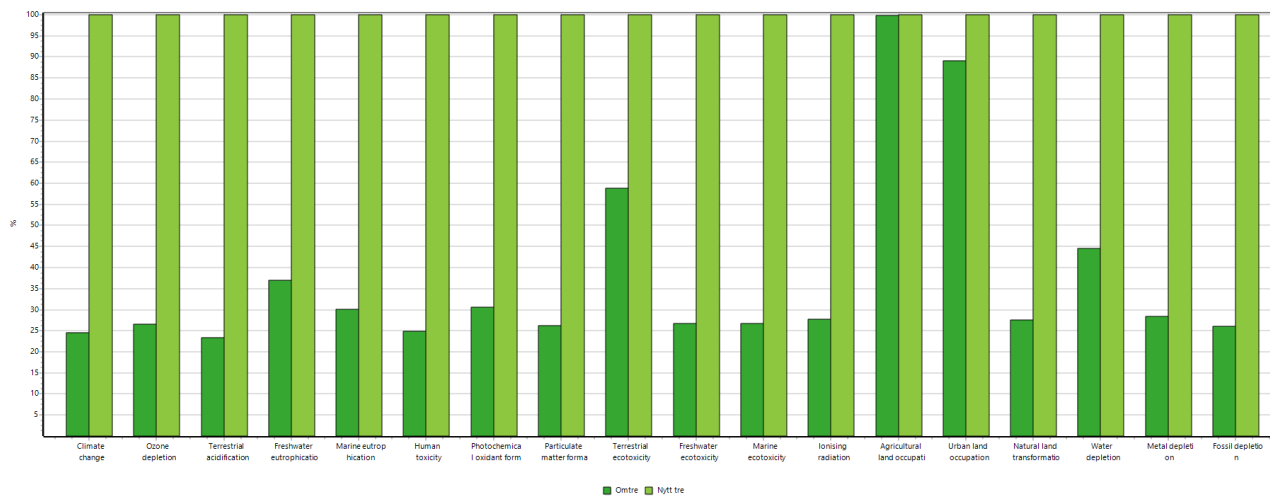
Impact category /	Unit	Total	Transport, freight, lorry	Electricity, high voltage	Electricity, high voltage	Delimiting/sc excavator-ba
Climate change	kg CO2 eq	91	0,314	1,41	14,1	65,5

Figur 49 - Klimapåvirkning, Nytt virke ifra skog i Hønefoss.

På figur 50 ser man en sammenligning av utslippene ifra eldre låvematerialer og nytt virke tatt direkte ifra skog, per m³ ferdig produkt. Prosessene ifra eldre låve materialer gir 22,3 kg CO²e og prosessene ifra nytt virke gir 91 kg CO²e. Det vil si at nytt virke gir minst miljøgevinst.

Impact category /	Unit	Omtre	Nytt tre
Climate change	kg CO2 eq	22,3	91

Figur 50 - Sammenligning, klimapåvirkning, Ombruk – Nytt tre.



Method: ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / Europe ReCiPe H / Characterisation
Comparing 1 p / Climate with 1 p / Nytt tre

Figur 51 - Søylediagram som viser den prosentvise fordelingen av utslipp per prosess.

Ved scenarioet «Brenning av låve» har vi benyttet os av en CO²e emisjonsfaktor fra eibrowser for å beregne total CO² ekvivalent utslippet for hele konstruksjonen. Total utslippet er 5944,69 kg CO² ekvivalenter.

5.6 Økonomisk beslutningsgrunnlag

For å lage et beslutningsgrunnlag som ulike aktører kan forholde seg til har vi gjennomgått flere scenarioer der vi beregnet ulike kostnader basert på ulike avhendingsscenarioer, se tabell 5 for priser og hvilke masser og priser som er lagt til grunn for de ulike scenarioene. Figur 54 viser også hvordan kostnadene vil fordele seg for låveeier ved de ulike scenarioer.

Låveeier:

For låveeier har vi satt opp et regnestykke som viser hva han/hun potensielt kan få igjen for sine låvematerialer. Vi har i denne oppgaven brukt en salgspris på trevirket som egner seg til produksjon av skurlast på NOK 650,- per m³. Salgsprisen for avfallstre til flis er satt til NOK 60,- per m³. Anslaget er hentet ifra et sagbruk.

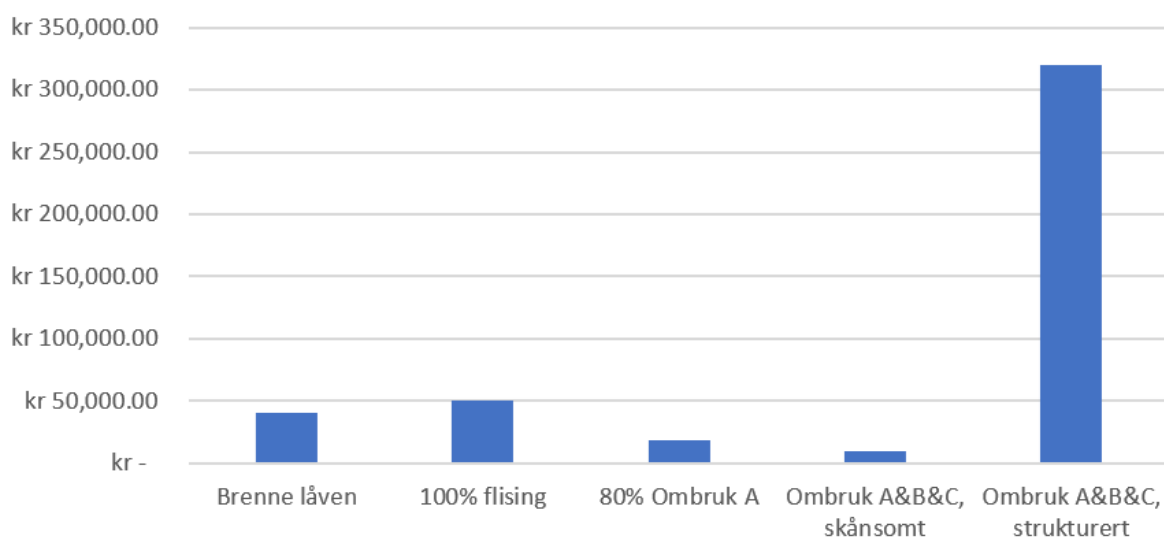
Kostnader for ulike avhendingsscenarioer:

Økonomi - Låveieren	
Brenne låven	
Brenning av låven	-kr 40,000.00
	-kr 40,000.00
100% flising	
Skånsomt demontering	-kr 65,000.00
Masse til sagflis	kr 14,116.02
	-kr 50,883.98
80% Ombruk A	
Skånsomt demontering	-kr 65,000.00
Masse til skurlast	kr 42,684.49
Masse til sagflis	kr 4,265.75
	-kr 18,049.76
Ombruk A&B&C	
Skånsomt demontering	-kr 65,000.00
Masse til skurlast	kr 53,355.61
Masse til sagflis	kr 1,803.19
	-kr 9,841.21
Ombruk A&B&C	
Strukturert demontering	-kr 375,000.00
Masse til skurlast	kr 53,355.61
Masse til sagflis	kr 1,803.19
	-kr 319,841.21

Figur 52 - Utregning av kostnad for låveieren i forskjellige scenario.

Ved sammenligning av kostnadsberegningen for låveieren er det tydelig at scenario «Ombruk A&B&C» er best. Her vil låveieren ha en minimal kostnad for rivingen av låven. Dette scenario tar ikke hensyn til potensielle skader til trematerialet under demonteringen, og vi kan bruke «80% Ombruk A» for et mer realistisk resultat. Dette betyr at låveieren vil ha en kostnad på NOK 9841,21.

Kostnad for låveeier



Figur 53 - Søylediagram som viser kostnad for låveeieren i forskjellige scenario.

Sagbruk:

Til sagbruket har vi beregnet utnyttelsesgraden i forskjellige scenarioer. Dette viser at den utregnede utnyttelsesgraden ligger på 51.8% i scenario Ombruk A med hensyn til fukt. I scenario Ombruk B med hensyn til fukt er den 63%. Og i scenario C med hensyn til fukt er den 49%. Dette vises i figur 54. Disse beregninger er gjennomført med en fast produktprofil (36x98 / 36x48) som ikke utnytter tømmerprofilen optimalt. I realiteten vil sagbruket kunne utnytte materialet på en enda bedre måte, ved å kutte etter optimale profiler for hvert inngangsmaterial.

Ombruk A			
Sagflis	106.4	m3	48.2%
Omreis (36 x 98)	13822.8	m	51.8%
	48.8	m3	

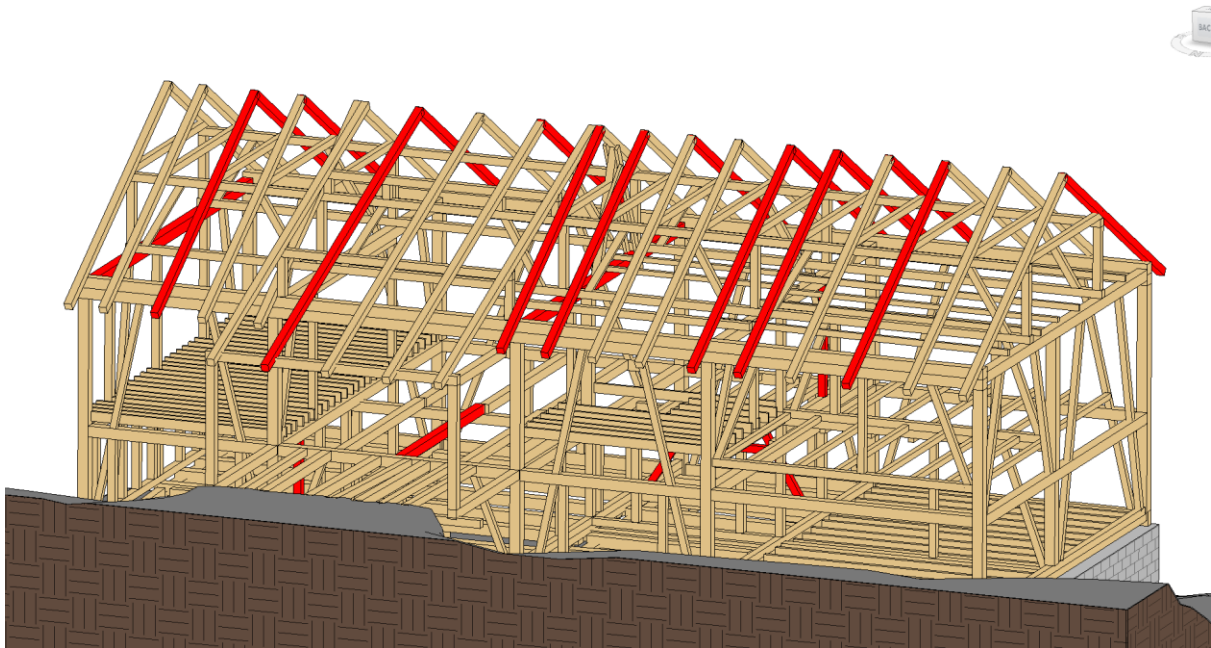
Ombruk B			
Sagflis	78.7	m3	37.0%
Omlekt (36 x 48)	34289.2	m	63.0%
	59.3	m3	

Ombruk C			
Sagflis	113.3	m3	51.0%
Omreis (36 x 98)	13082.5	m	49.0%
	46.2	m3	

Figur 54 - Utnyttelsesgrad og produksjonsmengde for høvellast.

5.7 Klassifisering av låvematerialer etter NS-ISTA-142

Ved hjelp av skannefil har vi gjort en visuell bedømming av trevirket i låven og har selektert feiltypene: tørkesprekker, kvister og vankant (Standard Norge, 2009). Dette visualiseres ved hjelp av fargen rød på figur 55. Denne sorteringsmetodikken resulterte i en reduksjon av brukbart trematerial på en mengde av 2,6 m³ eller 2,8% av alt trematerial sammenlignet med scenario A med hensyn til fukt. Totalmengden egnet til Omreis produksjon er da 46,2 m³, med en utnyttelsesgrad på 49%.



Figur 55 - Reisverk med rødmerket materialer som er klassifisert mindre enn T2.

5.8 Scenariomodellering for avhending og ombruk av låvematerialer

For å motivere beslutningstagere har vi valgt å sette opp potensielle besparelser knyttet til CO²-ekvivalenter per funksjonelle enhet for de ulike avhendingsscenarioene. Disse er visualisert i tabell 5.

Scenario		Kostnad demontering	Salgspris materialer til bonde	Utsalgspris ferdig produkt	Salgspris av ombrukstre til forbruker	Utslipp, Ombruk/ Nytt virke
Brenning av låve		NOK 40000,-				5944 kg CO2-e
Skånsom demontering av låve med maskin	100% Flising til returtre	NOK 65000,- (2 personer, 3 dager)	NOK 60,- /m ³	Materialgjenvinning: Omlate: 130 kr/m ²	NOK 507.780,- (3906 m ²)	
	80% Ombruk A			Nytt virke: Walls to paint: 130 kr/m ²		
	Ombruk A		NOK 650,- /m ³	Ombruk: Omreis: 28 kr/m	NOK 309.630,- (11.058 m)	870/3550 kg CO2-e
	Ombruk B			Nytt virke: Moelven, 36x98, C24, 28 kr/m	NOK 387.038,- (13.822 m)	1087/4437 kg CO2-e
	Ombruk C			Ombruk: Omlekt: 14 kr/m	NOK 480.048, - (34.289 m)	1321/5391 kg CO2-e
Strukturert demontering av låve med sortering av tre til ombruk og flising	Ombruk A	NOK 375.000, - (2 personer, 25 dager)	NOK 650,-/m ³	Ombruk: Omreis: 28 kr/m	NOK 387.038,- (13.822 m)	
	Ombruk B			Nytt virke: Moelven, 36x98, C24, 28 kr/m	NOK 480.048, - (34.289 m)	
	Ombruk C			Ombruk: Omlekt: 14 kr/m	NOK 366.308,- (13082 m)	
				Nytt virke: Moelven, 36x98, C24, 28 kr/m	NOK 366.308,- (13082 m)	

Tabell 5 - Scenario tabell.

Ombbruk A = Maksimalt utnyttelse av låvematerialer til produksjon av reisverk av typen 36x98, C24, restmaterialet går til flising til materialgjenvinning.

Ombbruk B = Maksimalt utnyttelse av låvematerialer til produksjon av lekt av typen 36x48, klasse 1, restmaterialet går til flising til materialgjenvinning.

Ombbruk C = Maksimalt utnyttelse av låvematerialer til produksjon av reisverk av typen 36x98, C24, sortert etter NS-ISTA-142, restmaterialet går til flising til materialgjenvinning.

6 Diskusjon

6.1 Muligheter og utfordringer med Scan to BIM

Når teknologien blir bedre og man kan gjøre Scan to BIM prosessen enda mer verdifull, vil det være enklere å mer presist kunne si noe om verdigrunnet. Det er per nå tidskrevende å lage en presis modell som kan brukes for å få pålitelige data. Hvis metoden forenkles og forbedres gjennom digitalisering vil tidsbruken og terskelen for å bruke metoden gå ned.

6.2 Visuell kontroll av 3D-skanning

Dette var en interessant prosess, der vi gikk igjennom selve punktskyen for å se etter enkelte feiltyper som var definert i NS-ISTA-142. Dette var en grov fremgangsmåte der vi kunne bedømme trevirke basert på visuelle kriterier. Vi har ikke vurdert nøyaktigheten til disse bedømmingene, men har vist at dette er mulig i punktskyen. Punktskyen er svært nøyaktig og med bedre programvare ville dette helt klart vært mulig å gjennomføre mer presist.

6.3 Neste generasjons Scan to BIM med «Computer Vision»

“Computer Vision” er et felt innen AI som tillater datamaskiner å systematisere og gjøre blant annet bedømminger basert på digitale bilder. Denne bedømmingen skjer på samme måte som den menneskelige hjernen. Menneske har en fordel der de har den historiske kontekst som vi kan bruke i bedømmingen. Datamaskiner igjennom «Computer Vision» gjør dette på samme måte, men med mye raskere hastighet enn med netthinne og hjerne.

Kunstig intelligens og maskinlæring er for mange et ganske ferskt tema, men det viser seg at bruken av dette kan gi konkurransefortrinn for bedriften ved riktig bruk, og teknologien er

ventet å nå en markedsverdi på USD 48,6 milliarder innen 2022. Om denne teknologien var en del av Scan to BIM prosessen kunne dette ha automatisert material identifisering, klassifisering, sortering og mengde beregning. Ved en slik automatisering reduserer man behovet for kostbar menneskelig ressursbruk (Ibm, 2023).

Dette hadde i beste fall gjort at vi ikke hadde hatt behov for Revit og på den måten forenklet hele prosessen.

6.4 Scan to BIM to Sirk som beslutningsverktøy

Ved å videreføre Scan to BIM som metode i beslutningsgrunnlaget, har vi fått et innblikk i ulike muligheter og utfordringer vi kan få når sirkulære treforedlingsprosesser skal realiseres. For at vi skal være i stand til å se hvordan Scan to BIM kan forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget for ombruk av eldre bygningsmaterialer, er det viktig å diskutere de oppnådde resultatene.

Først og fremst var en viktig del av oppgaven å gjøre om punktskydata (skannedata) til en 3D-modell, ettersom ferdig 3D-modell gjør det mulig å gjennomføre mengdeberegninger. Ved hjelp av mengdeberegningene var det mulig å foreta en enkel LCA analyse ifra modellen. Dette gav verdifull informasjon knyttet til miljøpåkjenningene til de ulike scenarioene som er satt opp. Sammenligningen mellom nytt virke og eldre bygningsmaterialer, gjør det enkelt for Omtre og andre beslutningstagere å se hvilket scenario som gir best miljøgevinst – basert på hvilket alternativ som gir mest CO² ekvivalenter. I oppgaven vår var det eldre bygningsmaterialer som ga minst utslipp. Derfor vil dette scenarioet være naturlig å velge hvis det miljømessige beslutningsgrunnlaget skal vektlegges.

Videre er økonomi en viktig faktor når det kommer til å ta beslutninger. Ved hjelp ifra mengdeberegningene var det mulig å sette opp enkle beregninger i regneark. Når de ulike scenarioene visualiseres på en enkel måte til bonde eller andre kjøpere, vil dette påvirke det økonomiske valget som tas. For bonden vil det være naturlig å velge det scenarioet som han eller hun får mest avkastning fra. Når Scan to BIM viser hvilke scenarioer som lønner seg både miljømessig og økonomisk, vil dette sammenlagt – forbedre den endelige beslutningen.

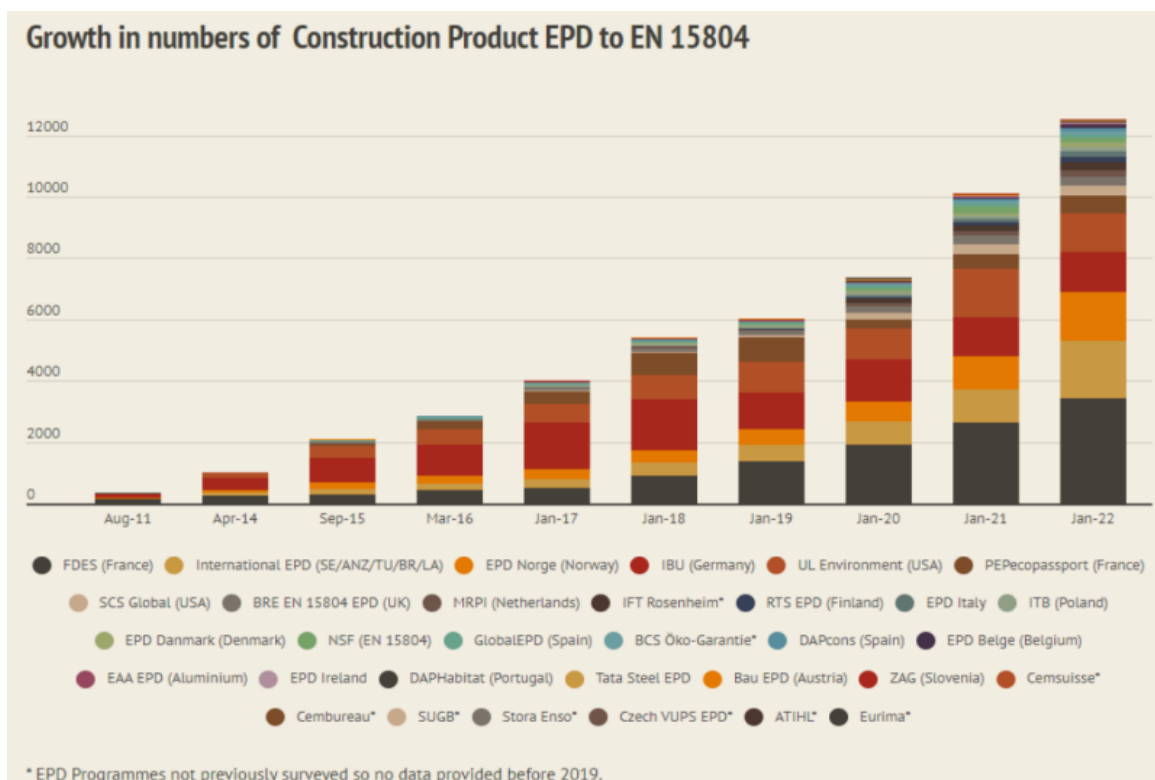
6.5 Materialer til sponplateproduksjon

Igjennom alle scenarioer og verdistrømmer vil det produseres returflis. Takket være vårt bedriftsbesøk til Forestia, fant vi ut av at blant annet alt rødmalt låveplank kunne avhendes og brukes til flising og inngå i nye sponplater med eksisterende prosesser. Iht. avfallspyramiden er dette et bedre alternativ enn å sende det til energigjenvinning. Sagflismassene i verdistrømmen som vi har sett på består derfor av både rødmalte låveplanker og rest masser fra Omreis og Omlekt produksjon. Disse sagflis massene er videre brukt i beregningene til sponplateproduksjon (vedlegg 11). For alle ombruksscenarioer vil det være en viss prosentandel virke som er uegnet, blir sortert ut, bearbeidet vekk og blir til flis. Med våre metoder har vi tatt hensyn til tykkelsen til sagbladet og en viss prosentandel som vi har sortert ut iht. NS-ISTA-142 og ifra fuktmålinger (vedlegg 15). Det er likevel flere ukjente faktorer i hele foredlingsprosessen for omtre, som ikke er tatt hensyn til i denne oppgaven.

6.6 Nye sirkulære ombruksprodukter

Ved utstrakt bruk av ny teknologi og innovasjon vil vi med tiden kunne klare å utfordre eksisterende treforedlingsindustrier til å få et større fokus på ombruk av materialer.

De siste 10 årene har det vært en signifikant økning i antall EPDer knyttet til byggevarer slik figur 56 viser (Anderson, 2022):



Figur 56 - Søylediagram som vekst i EPD.

Dette sier noe om det økende fokuset på klimarelaterte indikatorer som GWP og klimapåvirkning. Økt fokus på ombruk av byggevarer vil bidra positivt i denne sammenheng. Vi har også i denne oppgaven vist at dette bidrar positivt med ombruksscenario av låvematerialer.

Som nevnt tidligere igjennom rapporten til DiBk, der det blir nevnt at nye markeder for ombruk må identifiseres og etableres, og dette er et bidrag til dette.

Basert på økningen av EPDer, et overordnet ønske om at nye markeder skal identifiseres og en generell økning i fokuset for bærekraft og sirkulær økonomi, kan vi si at det er et markedspotensial for slike ombruksprodukter.

6.6.1 Omlekt

Det produktet som ga høyest utnyttelsesgrad var lekt i størrelsen 36x48mm på 63%. Hovedårsaken til dette var fordi det var den minste profilen som fylte alle profilene best mulig. Utsalgsprisen for dette produktet har variert mellom 11-16kr/lm. Sorteringsklassene T0 og T1 brukes til lekt da disse har styrkeklasse under C24 som er et typisk reisverk. Med vår

masseberegning for Omlekt ender vi på en total salgspris på NOK 480.048, - (14kr/m, Ombruk Scenario B med hensyn til fukt).

6.6.2 Omreis

Omreis styrkeklassifiseres etter C24/T2. Produktet Omreis er analysert gjennom tre forskjellige scenarioer. Scenario Ombruk A med hensyn til fukt produserer en Omreis mengde på 48.8 m³ som tilsvarer en total salgspris på NOK 387.038,- (28kr/m). Om vi tar i betraktning ett materialtap på 20% grunnet demonteringsskader har vi en total salgspris på NOK 309.630,- (Scenario 80% A med hensyn til fuktsskader). Til slutt har vi også sett på påvirkningen av T2 kravet. Her ser vi i scenario Ombruk C med hensyn til fukt en reduksjon på produsert Omreis, med en total salgspris på NOK 366.308,-. Disse mengdene og salgsverdiene blir påvirket av forskjellige faktorer og i realiteten vil den endelige Omreis mengden ligge et sted imellom disse scenarioer.

6.6.3 Omplate

Omplate er et produkt som baserer seg på flis ifra returtre. I vår modell har vi beregnet hvilken masse med returflis som potensielt kunne gått til dette produktet. Med Ombruksscenario C, med NS-ISTA-142, Sortering og hensyn til fukt, fikk vi en returflismengde på 113,3 lm³.

I tillegg til motivasjon og nasjonale mål om reduksjon av treavfall vil også behovet for å redusere utslipp av miljøskadelige gasser øke. I tillegg til å benytte returtre som sponplatematerialer vil andre alternative biobaserte løsninger uten bruk av formaldehyd også være interessante i fremtiden.

Motivasjon: Strengere krav ifra Reach på utslipp av formaldehyd.

«Formaldehyd er en svært reaktiv, akutt giftig gass og et gentoksisk kreftframkallende stoff. Formaldehyd brukes hovedsakelig i produksjon av formaldehydbaserte resiner og andre kjemikalier» (Regjeringen, 2023).

Det gjenstår fortsatt likevel mye forskning og testing på området frem til en ferdig kvalifisert, salgbart produkt. Vi gjorde en del forsøk på å finne EPDer på nyere bio-baserte sponplater uten hell. Et eksempel på et produkt som vi anså som interessant og som vi ved mer innsikt kunne analysert nærmere inn i eksisterende problemstilling og scenarier er NeoLigno® fra Stora Enso (Stora Enso, 2023).

6.7 Miljø

Vår oversikt over ulike ombruksscenarier visualiserer blant annet CO² utslipp. Denne beregningen er gjort for å sammenligne produksjon av typiske skurlast produkter ifra ombrukte låvematerialer i forhold til nytt trevirke. Det vi typisk ser er at utslippet med forutsetningene som er lagt til grunn i vår masseberegning, er at ombrukte materialer har 3-4 ganger lavere utslipp enn ifra nytt virke. Det er fortsatt mye ukjent knyttet til prosessering av ombruks produkter, slik at teorien om at firkantede bord inn til saga og «ferdig» tørkede materialer må helt klart utforskes nærmere for å kunne avkrefte eller bekrefte dette.

For å kvalitetssikre dataene knyttet til utslipp har vi også sammenlignet våre resultater med klimagassutslipp hentet ifra EPD Norge for Moelven Høvellast, som viser at 1 m³ med ferdig produkt slipper ut 76,6 kg CO²-e (Ruttenborg & Institutt, 2020). Dette ligger relativt nærmere det vi har simulert i Simapro.

Når det kommer til brenning av hele låven ser man at dette er et lite gunstig alternativ da det frigjør all karbonlagring i treet i tillegg til utslippet tilknyttet produksjon av nytt trevirke. Videre får ikke låveeieren noen økonomisk fordel ifra ombruk eller materialgjenvinning hvis låveeier velger denne løsningen.

6.8 Økonomi

Siden målet blant annet er å etablere nye sirkulære verdikjeder med ombruk kan det også være nødvendig å redusere prisen til sluttbruker hvis marginene tillater dette. Dette kan gjøre ombruksprodukter mer attraktive og vi kan potensielt åpne opp for en større kjøpegruppe som ellers ville unngått å pusse opp grunnet høye materialpriser. Ved å etablere en ombrukspris til låveeier vil vi også redusere risikoen for at valget ender på brenning hvis økonomi er

utslagsgivende. Med våre scenarioer håper vi å kunne motivere til å undersøke nye verdikjeder slik at arbeidet mot å øke ombrukt trevirke og redusere treavfall kan fortsette.

Hvis teorien om at firkantete materialer inn til sagbruket ikke trenger å gjennomgå tørkeprosessen og flere foredlingsprosesser stemmer, vil sagbruket spare store mengder energi og ressurser. Denne økonomiske besparelsen vil også gjelde selv om sagbruket betaler samme pris for ombruksmaterialer som for nye tømmer.

Et sagbruk har en utnyttelsesgrad av tømmerstokken på ca. 50% til trelast (Moelven, 2023). I våre scenarioer har vi utnyttelsesgrad som varierer fra 49% opp til 63% (scenario A,B,C, mht. fukt). Disse utnyttelsesgrader er beregnet uten noen form for optimalisering, og i realiteten vil utnyttelsesgraden ligge høyere. Hvis sagbruket tilpasser kutteprofilene til ombruksmaterialet, vil en forhøyet utnyttelsesgrad dekke eventuelle tap i produkt grunnet krumming, kvister, sprekker og andre feiltyper.

Til forbrukere som skal kjøpe sluttproduktet i våre scenarioer har vi satt en salgspris lik tilsvarende nytt trevirke. Dette er oppnåelig med besparelsene gjort under prosessene ved sagbruket. Det vil gi forbrukeren muligheten til å kjøpe trevirke produsert av ombruksmaterialer uten økonomisk hindring. Denne prisstrukturen mener vi er nødvendig til å motivere flest mulig forbrukere til å bruke materialet vårt.

Ved denne modellen får låveeieren en god pris for materialet sitt, sagbruket har mulighet for større fortjenester på Ombruk produktene sine, og forbrukeren kan være miljøbevisst uten ekstra kostnad.

7 Konklusjon

Hensikten med denne oppgaven var å finne ut av om Scan to BIM kan forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget for ombruk av eldre bygningsmaterialer.

Oppgaven har igjennom 3D-skanning, modellering og analyse av eldre låvematerialer vist potensiale i slike verktøy. Verktøyene og metodene som er brukt i oppgaven har gitt oss en bedre oversikt over låvens bygningsmasse. Dette har hjulpet oss med å planlegge demontering, materialhåndtering og videre ombruk av materialene.

Ved å visualisere økonomiske og miljømessige drivere som priser og CO² utslipp for hvert produkt vil beslutningene være enklere å gjennomføre. Som grunnlag til disse beregningene brukes ulike verktøy parallelt med Scan to BIM for å digitalisere materialene. Deretter har vi brukt Scan to BIM to SIRK for å identifisere nye sirkulære verdistrømmer som er forankret hos DiBK igjennom deres ønske om nye ombruksmarkeder.

Resultatene viser dermed at Scan to BIM er en egnet metode for å forbedre det økonomiske og miljømessige beslutningsgrunnlaget. Derfor mener vi at metoden Scan to BIM to Sirk kan styrke prosjektet SirkTRE i arbeidet for å fremme det grønne skiftet og øke andelen returtre i byggeprosjekter.

Ved visualisering av flere scenarioer, mener vi at dette kan bidra til å forbedre beslutningsgrunnlaget der man ser på ulike ombrukscenarier med både økonomisk og miljømessig perspektiv.

Det er viktig å påpeke at ombruksprosessene og ombruksproduktene i oppgaven ikke eksisterer, og at det på grunn av dette vil skape usikkerhet knyttet til påliteligheten til CO² utslipp, priser og ressursbruk i nye verdikjeder.

Ettersom sagbruket antar at Omtre materialet ikke trenger å gjennomgå tørkeprosessen, styrker dette datagrunnlaget i våre beregninger.

8 Videre arbeid

Siden verdikjedene til ombruksmaterialer beskrevet i oppgaven ikke eksisterer per i dag mangler vi statistisk grunnlag. Datapunkter som utnyttelsesgrad av materialet og foredlingskostnad vil være viktig informasjon. For å samle inn disse data må Scan to BIM to SIRK gjennomføres. Innovasjon, nytenkning og riktig bruk av teknologi mener vi vil være kritiske suksessfaktorer i dette arbeidet.

Viktige aktiviteter i Scan to BIM to SIRK som kan jobbes videre med:

- Innsamling av reelle data fra gjennomførte prosjekter (kostnad, tid, bærekrafts indikatorer og utnyttelsesgrader).
- Testing av Leica Cyclone 3DR og «Computer vision» til forenkling av Scan to BIM. Utfordre leverandører.
- Velge lavt hengende frukter som testing (ifra A til Å). Eksempler: Velge ut firkantprofiler til sag og høvleri for å teste utnyttelsesgrad. Produsere et ferdig ombruksprodukt som er likt som et nytt produkt for å teste markedet ved hjelp av spørreundersøkelser hos sagbruk, forhandler og/eller forbruker.
- Utfordre eksisterende sagbruk som allerede har ressurser og kunnskap til å være med på et pilotprosjekt.
- Teste teorien om at firkantprofiler er gunstig og at tørking i en ombruksprosess ikke er nødvendig.

Litteraturliste

- Anderson, J. (2022). EPD Facts & Figures. Hentet fra <https://www.eco-platform.org/epd-facts-figures.html>
- Antón, L. Á. & Díaz, J. (2014). Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction. Hentet fra <https://publications.waset.org/9998219/integration-of-lca-and-bim-for-sustainable-construction>
- Auberg, W. (1985). *Det skjulte samfunn* Gyldendals Akademisk.
- Autodesk. (2023). Revit: BIM-programvare for designere, byggere og utførere. Hentet fra <https://www.autodesk.no/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT>
- Avfall Norge. (2018). Materialgjenvinning av returtrevirke. Hentet fra https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Avfall_Norge_rapport_6-2018_Materialgjenvinning_av_returtrevirke.pdf
- Byggforskserien. (2014). Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsløpsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper
- Byggordboka. (2017). Livssyklusopplysninger (LCI). Hentet fra <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/livssyklusopplysninger-lci>
- Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving* Gyldendal - Forlag.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2018). Ombruk av byggevarer – hvilke krav må oppfylles? Hentet fra https://dibk.no/verktøy-og-veivisere/energi/ombruk-av-byggevarer--hvilke-krav-må-oppfylles?fbclid=IwAR0erZavTb9SW-4O2ao-HeaRrfQvw8aLfmJhTIL_wob7Pj1M7C7hd9TIVA4
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020). Er ombruk en omvei til sirkulær økonomi? Hentet fra <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/er-ombruk-en-omvei-til-sirkular-okonomi>
- Dragland, Å. (2015). Bygg står for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922>
- Eibrowser. (2023). Ecoinvent Impact Browser. Hentet fra <https://eibrowser.indecol.no/>
- Hansen, K. & Gressgård, L. J. (2021). Hva skal til for å lykkes med BIM? Hentet fra <https://www.bygg.no/hva-skal-til-for-a-lykkes-med-bim/1470399/>

Hovland, K. M. (2022). Mener over 200.000 hus må renoveres innen 2030: Huseierne krever statlig milliardstøtte. Hentet fra <https://e24.no/energi-og-klima/i/rEyybl/mener-over-200000-hus-maa-renoveres-innen-2030-huseierne-krever-statlig-milliardstoette>

Ibm. (2023). What is computer vision? Hentet fra <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>

LCA. (2023). Hva er LCA? Hentet fra <https://lca.no/hva-er-lca/>

Leica Geosystems. (2023a). Leica Cyclone 3DR - All-in-one Deliverable Solution. Hentet fra <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>

Leica Geosystems. (2023b). Leica Cyclone FIELD 360. Hentet fra <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360>

Leica Geosystems. (2023c). Leica RTC360 3D-laserskanner. Hentet fra <https://leica-geosystems.com/nn-no/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>

Lindberg, H. Ø. (2022). Materialgjenvinning. Hentet fra <https://snl.no/materialgjenvinning>

Lindberg, H. Ø. (2023). avfallshierarki. Hentet fra <https://snl.no/avfallshierarki>

Microsoft. (2023). Microsoft Excel. Hentet fra <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/excel>

Miljødirektoratet. (2022). Sirkulær økonomi. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>

Miljødirektoratet. (2023). Sirkulære bygg. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2018/sirkulare-bygg/>

Miljøstatus. (2022). Mesteparten av treavfallet forbrennes. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/avfall/treavfall/>

Mittanbud. (2021). Oppussingsrapporten 2021. Hentet fra <https://mittanbud.no/om/aktuelt/oppussingsrapporten-2021>

Moelven. (2023). Tømmerforsyning og flissalg. Hentet fra <https://www.moelven.com/no/om-moelven/moelven-virke-as/>

NIBIO. (2023). FLISFYRING - NYTTIGE MÅLEENHETER OG OMREGNINGSTALL. Hentet fra https://nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/bioenergi/Flisfyring/_/attachment/inline/a7fa6035-cfc3-416e-b9f1-fa9e0619add8:ad7e31c6b06425eac591947046b2ed4ce140b5e3/11%20-

- %20Flisfyring%20-%20nyttige%20m%C3%A5leenheter%20og%20omregningstall.pdf
- Norskog. (2022). Rekordhøy tømmerpris. Hentet fra <https://norskog.no/nytt-fra-andre-medier-forsiden-og-egen-side/rekordhoy-tommerpris-2/>
- NTNU. (2023). Simapro. Hentet fra <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Simapro>
- Regjeringen. (2023). Reach/XVII/Formaldehyd, avgassing. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2019/juni/reachxviiformaldehyd-avgassing/id2654613/>
- Ruttenborg, V. & Institutt, N. T. (2020). Høvellast av gran eller furu. Hentet fra https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316167-1606121798/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2547-1284_Planned-wood-of-pine-or-spruce.pdf
- Sirkulære prinsipper. (2023). Om Sirkulærøkonomi. Hentet fra <https://www.circularbusiness.no/om-sirkulaeroekonomi>
- Standard Norge. (2009). Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast/NS-INSTA 142:2009. Hentet fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=428580>
- Stora Enso. (2023). A bio-based binder made with lignin, ideal for wood products and mineral wool. Hentet fra <https://www.storaenso.com/en/products/bio-based-materials/neoligno-by-stora-enso>
- SWECO. (2023). 3D-scanner for effektiv drift og vedlikehold av bygningsmasser. Hentet fra <https://www.sweco.no/aktuelt/nyheter/3d-scanner-for-effektiv-drift-og-vedlikehold-av-bygningsmasser/>
- Sørnes, K., Nordby, A. S., Fjeldheim, H., Hashem, S. M. B., Mysen, M. & Schlanbusch, R. D. (2014). Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer. Hentet fra https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2365072/SINTEF_Fag_18.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Vedlegg

i1u	i2u	i3u	i4u	i5u	i6u	i7u	i8u	i9u	i10u	i11u	igulvu	itaku	itakbjelker v	itakbjelker m	itakbjelker h	(% Fuktinnhold), Snitt
8,9	11,1	16,4	14,2	14,2	15,6	13,1	16,3	11,5	8,8	14,5	25	14,6	23,8	14,6	17,8	
12,3	9,8	16,2	13,7	13	15,3	15,2	14,8	8	7,8	13,8	21	23	13,7	17,7	13,3	
11,4	10	16,8	15	13,8	21,3	23,2	15,2	8,8	7,9	14,9	17,5	14,4	14,2	26,7	14,4	
9,1	14,7	22,7	14	15,6	15,1	15,5	15,1	9,9	10,8	13,7	18,8	20,8	12,7	12,7	14,7	
7,9	10,5	17,4	14,5	14,3	15,3	16,8	14,8	10,1	9,4	14,4	18,1	34,8				
10,5	10,6	17,2	12,8	14,6	19,9	17,9	15,6	11,8	7,8	18,6	17,1					
7,8	9,6		14,1	13,3			16,3	15,3	8,1	8,5						
9,5	9,9		16,5				14,4									
			20													
9,675	10,775	17,783333	14,977778	14,114286	17,083333	16,55	15,3	9,7428571	8,7142857	14,983333	19,583333	21,52	16,1	17,925	15,05	15,0

Vedlegg 1 - Fuktmålinger i kjeller.

i11	i21	i31	i41	i51	(% Fuktinnhold), Snitt
13,4	15	15,9	15,3	14,6	
14,1	14,9	15,4	14		
13,9	13,6	14	15,8		
14,2	13,5	16,2	13,8		
	12,9	14,2	20,5		
	13,5	14,2	25,5		
		14,7			
		14,9			
13,9	13,9	14,9375	17,48333333	14,6	14,9641667

Vedlegg 2 - Fuktmålinger i 1. etasje.

F1	F2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	U1	U2	(% Fuktinnhold), Snitt
14,9	14,8	14,5	11,8	12,7	12,3	12,3	12,3	11,9	15,4	14	12,5	17,7	
13,5	14,1	13,2	12	11,3	11,9	11,2	11,9	13,9	16	13,5	13,1	15	
13,7	13,5	13,5	12,1	10,8	12,3	11,6	11,9	13,3	14,5	13,3	13,6	15,3	
14,2	14,2										12,6	15,1	
13,8	14,7										13,4	16,7	
13,7	14,2										11,6	15,1	
13,5	14,5										12,5	15,7	
											13,3	16,3	
13,9	14,285714	13,733333	11,966667	11,6	12,166667	11,7	12,033333	13,033333	15,3	13,6	12,825	15,8625	13,23127289
Fagverk	Takstoler						Undertak						

Vedlegg 3 - Fuktmålinger på loft.

U1	U2	U3	U4	U5	
		11,1	12,7	8,7	(% Fuktinnhold) , Snitt
		12,9	13,8	8,4	
		13	12,8	12,4	
		19,8	12,9	12	
		15,6	15,6	11,6	
		15,7	13,1	11,8	
			12,1		
		14,683333	13,285714	10,816667	12,928571

Vedlegg 4 - Fuktmålinger utvendig.

Antall	Dimensjoner (mm)	Lengde (mm)	Areal (m2)	Volum (m3)
1	260 x 230	3296	0.060	0.197
1	260 x 230	3312	0.060	0.198
1	260 x 230	3456	0.060	0.207
2	260 x 230	3547	0.060	0.424
1	260 x 230	3644	0.060	0.218
1	260 x 230	3759	0.060	0.225
1	260 x 230	3785	0.060	0.226
1	260 x 230	3848	0.060	0.230
1	260 x 230	3944	0.060	0.236
1	260 x 230	4066	0.060	0.243
1	260 x 230	4070	0.060	0.243
1	260 x 230	4180	0.060	0.250
1	260 x 230	4183	0.060	0.250
1	260 x 230	4186	0.060	0.250
1	260 x 230	4191	0.060	0.251
1	260 x 230	4219	0.060	0.252
1	260 x 230	4548	0.060	0.272
1	260 x 230	4603	0.060	0.275
1	260 x 230	4872	0.060	0.291
1	260 x 230	4875	0.060	0.292
1	260 x 230	4915	0.060	0.294
1	260 x 230	4922	0.060	0.294
1	260 x 230	4928	0.060	0.295
1	260 x 230	4953	0.060	0.296
1	260 x 230	4982	0.060	0.298
1	260 x 230	4996	0.060	0.299
1	260 x 230	5023	0.060	0.300
1	260 x 230	5053	0.060	0.302
1	260 x 230	5165	0.060	0.309
1	260 x 230	5198	0.060	0.311
<hr/>				
1	220 x 220	3812	0.048	0.185
1	220 x 220	3813	0.048	0.185
2	220 x 220	3840	0.048	0.372
1	220 x 220	4935	0.048	0.239
1	220 x 220	4983	0.048	0.241
2	220 x 220	5560	0.048	0.538
4	220 x 220	8643	0.048	1.673
5	220 x 220	8644	0.048	2.092
1	220 x 220	8645	0.048	0.418
4	220 x 220	19248	0.048	3.726
4	220 x 220	7193	0.048	1.393
1	220 x 220	4626	0.048	0.224
5	220 x 220	4593	0.048	1.112
1	220 x 220	2423	0.048	0.117
1	220 x 220	2703	0.048	0.131
1	220 x 220	3829	0.048	0.185
1	220 x 220	5630	0.048	0.272
1	220 x 220	3742	0.048	0.181
1	220 x 220	2109	0.048	0.102
1	220 x 220	3745	0.048	0.181
<hr/>				
1	190 x 190	3371	0.036	0.122
2	190 x 190	3378	0.036	0.244
1	190 x 190	3391	0.036	0.122
1	190 x 190	3391	0.036	0.122
1	190 x 190	5358	0.036	0.193
3	190 x 190	4303	0.036	0.466
3	190 x 190	4341	0.036	0.470
2	190 x 190	2540	0.036	0.183

Vedlegg 5 - Reisverk 1 av 4.

1	170 x 170	3380	0.029	0.098
1	170 x 170	3397	0.029	0.098
1	170 x 170	3405	0.029	0.098
1	170 x 170	3407	0.029	0.098
1	170 x 170	4016	0.029	0.116
1	160 x 160	4995	0.026	0.128
15	160 x 160	6289	0.026	2.415
3	160 x 160	6291	0.026	0.483
15	160 x 160	6292	0.026	2.416
1	160 x 160	6605	0.026	0.169
1	160 x 160	8942	0.026	0.229
2	160 x 160	8945	0.026	0.458
1	160 x 160	2579	0.026	0.066
2	160 x 160	8946	0.026	0.458
1	160 x 160	4995	0.026	0.128
1	160 x 160	5560	0.026	0.142
2	160 x 160	19248	0.026	0.985
1	160 x 160	5550	0.026	0.142
2	160 x 160	5590	0.026	0.286
2	160 x 160	19188	0.026	0.982
10	160 x 160	5862	0.026	1.501
2	160 x 160	5278	0.026	0.270
17	160 x 160	3820	0.026	1.662
3	160 x 160	3745	0.026	0.288
1	160 x 160	3915	0.026	0.100
5	160 x 160	3745	0.026	0.479
2	160 x 160	3853	0.026	0.197
1	160 x 160	3745	0.026	0.096
1	160 x 160	3915	0.026	0.100
1	160 x 160	3853	0.026	0.099
2	160 x 160	3823	0.026	0.196
4	160 x 160	7776	0.026	0.796
1	160 x 160	2703	0.026	0.069
2	160 x 160	2017	0.026	0.103
3	160 x 160	2703	0.026	0.208
1	150 x 300	3813	0.045	0.172
1	150 x 300	3840	0.045	0.173
1	150 x 300	4935	0.045	0.222
1	150 x 300	5780	0.045	0.260
2	150 x 150	3910	0.023	0.176
1	150 x 150	8711	0.023	0.196
6	150 x 150	8713	0.023	1.176
1	150 x 150	8715	0.023	0.196
1	150 x 150	8781	0.023	0.198
2	150 x 150	19248	0.023	0.866
1	150 x 150	3371	0.023	0.076
1	150 x 150	5440	0.023	0.122
1	150 x 150	3382	0.023	0.076
1	150 x 150	3392	0.023	0.076
1	150 x 150	3398	0.023	0.076
1	150 x 150	3848	0.023	0.087
1	150 x 150	3835	0.023	0.086
1	145 x 145	2077	0.021	0.044
1	145 x 145	2329	0.021	0.049
2	145 x 145	2558	0.021	0.108
1	145 x 145	1966	0.021	0.041
1	145 x 145	2423	0.021	0.051
1	145 x 145	2400	0.021	0.050
1	145 x 145	1516	0.021	0.032
1	145 x 145	1573	0.021	0.033

Vedlegg 6 - Reisverk 2 av 4.

1	145 x 145	1577	0.021	0.033
1	145 x 145	1594	0.021	0.034
1	145 x 145	1595	0.021	0.034
1	145 x 145	1603	0.021	0.034
1	145 x 145	1606	0.021	0.034
2	145 x 145	1611	0.021	0.068
1	145 x 145	1616	0.021	0.034
1	145 x 145	1618	0.021	0.034
1	145 x 145	1619	0.021	0.034
1	145 x 145	1623	0.021	0.034
2	145 x 145	1634	0.021	0.069
1	145 x 145	1635	0.021	0.034
1	145 x 145	2188	0.021	0.046
1	145 x 145	2200	0.021	0.046
1	145 x 145	2047	0.021	0.043
1	145 x 145	2088	0.021	0.044
1	145 x 145	2207	0.021	0.046
1	145 x 145	2221	0.021	0.047
1	145 x 145	2467	0.021	0.052
1	145 x 145	2600	0.021	0.055
1	145 x 145	2868	0.021	0.060
1	145 x 145	2880	0.021	0.061
1	145 x 145	2894	0.021	0.061
1	145 x 145	2966	0.021	0.062
7	145 x 145	4015	0.021	0.591
8	145 x 145	4016	0.021	0.675
1	145 x 145	4440	0.021	0.093
1	145 x 145	4740	0.021	0.100
1	145 x 145	4780	0.021	0.100
1	145 x 145	4815	0.021	0.101
1	145 x 145	4818	0.021	0.101
1	145 x 145	4822	0.021	0.101
1	145 x 145	4898	0.021	0.103
<hr/>				
1	130 x 130	2503	0.017	0.042
1	130 x 130	2801	0.017	0.047
1	130 x 130	4789	0.017	0.081
1	130 x 130	4821	0.017	0.081
2	130 x 130	4852	0.017	0.164
1	130 x 130	974	0.017	0.016
1	130 x 130	1068	0.017	0.018
1	130 x 130	1098	0.017	0.019
1	130 x 130	1127	0.017	0.019
1	130 x 130	1131	0.017	0.019
1	130 x 130	1226	0.017	0.021
1	130 x 130	1302	0.017	0.022
1	130 x 130	1945	0.017	0.033
1	130 x 130	1975	0.017	0.033
1	130 x 130	4740	0.017	0.080
1	130 x 130	4784	0.017	0.081
1	130 x 130	4799	0.017	0.081
1	130 x 130	4805	0.017	0.081
1	130 x 130	4814	0.017	0.081
1	130 x 130	4850	0.017	0.082
1	130 x 130	4858	0.017	0.082
1	130 x 130	4871	0.017	0.082
1	130 x 130	5021	0.017	0.085
1	130 x 130	5072	0.017	0.086
<hr/>				
1	55 x 200	3812	0.011	0.042
1	55 x 200	3813	0.011	0.042

1	55 x 200	4063	0.011	0.045
2	55 x 200	4112	0.011	0.090
1	55 x 200	4173	0.011	0.046
22	22 x 200	4253	0.004	0.412
1	22 x 200	1879	0.004	0.008
1	22 x 200	1894	0.004	0.008
1	22 x 200	3840	0.004	0.017
1	22 x 200	3870	0.004	0.017
2	22 x 200	4147	0.004	0.036
2	22 x 200	4162	0.004	0.037
1	22 x 200	4176	0.004	0.018
4	90 x 200	5481	0.018	0.395
2	90 x 200	5482	0.018	0.197
1	90 x 200	5492	0.018	0.099
6	90 x 200	5630	0.018	0.608
3	90 x 200	5511	0.018	0.298
1	126 x 220	2109	0.028	0.058
1	140 x 222	4741	0.031	0.147
1	140 x 163	4741	0.023	0.108
5	120 x 120	4654	0.014	0.335
8	120 x 120	3742	0.014	0.431
1	120 x 120	4678	0.014	0.067
1	200 x 200	5345	0.040	0.214
1	145 x 65	3156	0.009	0.030
1	145 x 65	3096	0.009	0.029
1	100 x 65	3530	0.007	0.023
1	100 x 100	5936	0.010	0.059
1	100 x 100	4844	0.010	0.048
1	100 x 100	4386	0.010	0.044
1	100 x 100	4415	0.010	0.044
1	130 x 70	6280	0.009	0.057
1	130 x 70	6046	0.009	0.055
1	130 x 70	6228	0.009	0.057
1	130 x 70	6042	0.009	0.055
10	∅ 260	2046	0.053	1.086
11	∅ 160	2046	0.020	0.453
4	∅ 160	2135	0.020	0.172
3	∅ 160	2046	0.020	0.123
28	140 x 168	4600	0.024	3.029
28	140 x 168	5420	0.024	3.569

Total volum: 61.537

Vedlegg 8 - Reisverk 4 av 4.

Gulv bord (150 x 60 mm)

Under etasjen:	Antall	Dimensjoner (mm)	Lengde (mm)	Areal (m2)	Volum (m3)
	38	150 x 60	3748	0.009	1.266
	35	150 x 60	4460	0.009	1.413
	26	150 x 60	3842	0.009	0.901
	26	150 x 60	2020	0.009	0.474
	26	150 x 60	2621	0.009	0.615
	33	150 x 60	8783	0.009	2.638
	26	150 x 60	8783	0.009	2.064
					<u>9.371</u>

Første etasjen:	Antall	Dimensjoner (mm)	Lengde (mm)	Areal (m2)	Volum (m3)
	25	150 x 60	5550	0.009	1.246
	32	150 x 60	5651	0.009	1.636
	16	150 x 60	2109	0.009	0.296
	13	150 x 60	3803	0.009	0.437
	34	150 x 60	9439	0.009	2.866
	49	150 x 60	5345	0.009	2.378
	28	150 x 60	9085	0.009	2.318
					<u>11.178</u>

Total volum: 20.549

Vedlegg 9 - Gulv bord masseberegning.

Material % per areal: 68%

Dobbelvegg	Areal (m2)	Volum (m3)
	104.74	4.27312
	57.269	2.33648
	59.966	2.44664
		<u>9.05624</u>

Material % per areal: 100%

Enkelvegg	Areal (m2)	Volum (m3)
	22.082	0.773
	10.935	0.383
	51.671	1.809
		<u>2.965</u>

Total volum: 12.02124

Vedlegg 10 - Utvendig kledning masse beregning.

Dimensjon (mm)	Utnyttelse per profil					
	Omreis (36 x 98)			Omlekt (36 x 48)		
	Planker	Rest areal (m2)	Rest areal %	Planker	Rest areal (m2)	Rest areal %
260 x 230	14	0.0104	17%	30	0.0080	13%
220 x 220	11	0.0096	20%	22	0.0104	21%
190 x 190	7	0.0114	32%	18	0.0050	14%
170 x 170	5	0.0113	39%	12	0.0082	28%
160 x 160	5	0.0080	31%	12	0.0049	19%
150 x 300	11	0.0062	14%	24	0.0035	8%
150 x 150	5	0.0049	22%	12	0.0018	8%
145 x 145	4	0.0069	33%	8	0.0072	34%
130 x 130	3	0.0063	37%	7	0.0048	28%
55 x 200	2	0.0039	36%	5	0.0024	21%
22 x 200	0	0.0044	100%	0	0.0044	100%
90 x 200	4	0.0039	22%	9	0.0024	14%
126 x 220	6	0.0066	24%	12	0.0070	25%
140 x 222	8	0.0029	9%	16	0.0034	11%
140 x 163	5	0.0052	23%	11	0.0038	17%
120 x 120	3	0.0038	27%	6	0.0040	28%
200 x 200	10	0.0047	12%	20	0.0054	14%
145 x 65	1	0.0059	63%	3	0.0042	45%
100 x 65	1	0.0030	46%	2	0.0030	47%
100 x 100	2	0.0029	29%	4	0.0031	31%
130 x 70	1	0.0056	61%	3	0.0039	43%
140 x 168	5	0.0059	25%	11	0.0045	19%
150 x 60	1	0.0055	61%	4	0.0021	23%
Ø 260	10	0.0178	34%	22	0.0151	28%
Ø 160	3	0.0095	47%	8	0.0063	31%

Vedlegg 11 - Utnyttelsesgrad per profil.

Dimensjon (mm)	Ombruk A		
	(36 x 98)		
Dimensjon (mm)	Lengde (m)	Planke (m)	Rest volum (m3)
260 x 230	134.3	1879.7	1.3974
220 x 220	280.3	3083.5	2.6888
190 x 190	53.3	373.0	0.6076
170 x 170	17.6	88.0	0.1982
160 x 160	611.5	3057.3	4.8672
150 x 300	18.4	202.0	0.1137
150 x 150	151.5	757.3	0.7361
145 x 145	165.1	660.6	1.1417
130 x 130	85.1	255.2	0.5374
55 x 200	24.1	48.2	0.0950
22 x 200	125.8	0.0	0.5537
90 x 200	88.7	354.8	0.3448
126 x 220	2.1	12.7	0.0138
140 x 222	4.7	37.9	0.0135
140 x 163	4.7	23.7	0.0246
120 x 120	57.9	173.7	0.2209
200 x 200	5.3	53.5	0.0252
145 x 65	6.3	6.3	0.0369
100 x 65	3.5	3.5	0.0105
100 x 100	19.6	39.2	0.0576
130 x 70	24.6	24.6	0.1370
140 x 168	280.6	1402.8	1.6497
150 x 60	2283.2	2283.2	12.4935
Ø 260	20.5	204.6	0.3645
Ø 160	37.2	111.6	0.3541
Kledning	0.0	0.0	12.0212
		15136.6	40.7047

Dimensjon (mm)	80% Ombruk A		
	(36 x 98)		
Dimensjon (mm)	Lengde (m)	Planke (m)	Rest volum (m3)
260 x 230	134.3	1503.8	2.7238
220 x 220	280.3	2466.8	4.8645
190 x 190	53.3	298.4	0.8707
170 x 170	17.6	70.4	0.2603
160 x 160	611.5	2445.8	7.0244
150 x 300	18.4	161.6	0.2563
150 x 150	151.5	605.9	1.2705
145 x 145	165.1	528.5	1.6078
130 x 130	85.1	204.2	0.7174
55 x 200	24.1	38.5	0.1290
22 x 200	125.8	0.0	0.5537
90 x 200	88.7	283.8	0.5952
126 x 220	2.1	10.1	0.0227
140 x 222	4.7	30.3	0.0403
140 x 163	4.7	19.0	0.0413
120 x 120	57.9	138.9	0.3434
200 x 200	5.3	42.8	0.0629
145 x 65	6.3	5.0	0.0413
100 x 65	3.5	2.8	0.0130
100 x 100	19.6	31.3	0.0853
130 x 70	24.6	19.7	0.1544
140 x 168	280.6	1122.2	2.6395
150 x 60	2283.2	1826.5	14.1045
Ø 260	20.5	163.7	0.5088
Ø 160	37.2	89.2	0.4328
Kledning	0.0	0.0	12.0212
		12109.3	51.3851

Vedlegg 12 - Utregning material Ombruk A og 80% Ombruk A.

Ombruk B				Ombruk C			
(36 x 48)				(36 x 98)			
Dimensjon (mm)	Lengde (m)	Planke (m)	Rest volum (m3)	Dimensjon (mm)	Lengde (m)	Planke (lm)	Rest volum (m3)
260 x 230	134.3	4028.0	1.0688	260 x 230	134.3	1879.7	1.3974
220 x 220	280.3	6167.0	2.9108	220 x 220	263.0	2893.2	3.3602
190 x 190	53.3	959.0	0.2662	190 x 190	49.0	342.9	0.7138
170 x 170	17.6	211.3	0.1437	170 x 170	17.6	88.0	0.1982
160 x 160	611.5	7337.4	2.9741	160 x 160	506.6	2532.8	6.7202
150 x 300	18.4	440.8	0.0648	150 x 300	14.6	160.2	0.2612
150 x 150	151.5	1817.6	0.2672	150 x 150	151.5	757.3	0.7361
145 x 145	165.1	1321.2	1.1892	145 x 145	159.1	636.6	1.2263
130 x 130	85.1	595.5	0.4087	130 x 130	85.1	255.2	0.5374
55 x 200	24.1	120.4	0.0568	55 x 200	24.1	48.2	0.0950
22 x 200	125.8	0.0	0.5537	22 x 200	125.8	0.0	0.5537
90 x 200	88.7	798.2	0.2171	90 x 200	88.7	354.8	0.3448
126 x 220	2.1	25.3	0.0147	126 x 220	2.1	12.7	0.0138
140 x 222	4.7	75.9	0.0163	140 x 222	4.7	37.9	0.0135
140 x 163	4.7	52.2	0.0181	140 x 163	4.7	23.7	0.0246
120 x 120	57.9	347.3	0.2334	120 x 120	57.9	173.7	0.2209
200 x 200	5.3	106.9	0.0291	200 x 200	5.3	53.5	0.0252
145 x 65	6.3	18.8	0.0265	145 x 65	6.3	6.3	0.0369
100 x 65	3.5	7.1	0.0107	100 x 65	3.5	3.5	0.0105
100 x 100	19.6	78.3	0.0605	100 x 100	19.6	39.2	0.0576
130 x 70	24.6	73.8	0.0963	130 x 70	24.6	24.6	0.1370
140 x 168	280.6	3086.2	1.2659	140 x 168	280.6	1402.8	1.6497
150 x 60	2283.2	9132.7	4.7673	150 x 60	2283.2	2283.2	12.4935
Ø 260	20.5	450.1	0.3085	Ø 260	20.5	204.6	0.3645
Ø 160	37.2	297.5	0.2336	Ø 160	37.2	111.6	0.3541
Kledning	0.0	0.0	12.0212	Kledning	0.0	0.0	12.0212
		37548.4	29.2232			14325.9	43.5674

Vedlegg 13 - Utrekning material Ombruk B og Ombruk C.

Avvik fra NS-ISTA-142 (T2)				
Antall	Dimensjon (mm)	Areal	Lengde (mm)	M ³
2	220 x 220	0.048	8644	0.830
1	190 x 190	0.036	4341	0.156
15	160 x 160	0.026	6289	2.453
1	160 x 160	0.026	8945	0.233
1	160 x 160	0.026	1692	0.044
1	150 x 300	0.45	3831	1.724
1	145 x 145	0.021	2333	0.049
2	145 x 145	0.021	1857	0.078
				5.566

Vedlegg 14 - Mengdeberegning av material som under T2

Uten hensyn til fukt og råte			
------------------------------	--	--	--

100% Flising			
Sagflis	235.3	m ³	100.0%

80% Ombruk A			
Sagflis	128.5	m ³	54.6%
Omreis (36 x 98)	12109.3	m	45.4%
	42.7	m ³	

Ombruk A			
Sagflis	101.8	m ³	43.3%
Omreis (36 x 98)	15136.6	m	56.7%
	53.4	m ³	

Ombruk B			
Sagflis	73.1	m ³	31.1%
Omlekt (36 x 48)	37548.4	m	68.9%
	64.9	m ³	

Ombruk C			
Sagflis	108.9	m ³	46.3%
Omreis (36 x 98)	14325.9	m	53.7%
	50.5	m ³	

Med hensyn til fukt og råte (8,68%)			
-------------------------------------	--	--	--

100% Flising			
Sagflis	235.3	m ³	100.0%

80% Ombruk A			
Sagflis	132.2	m ³	58.5%
Omreis (36 x 98)	11058.2	m	41.5%
	39.0	m ³	

Ombruk A			
Sagflis	106.4	m ³	48.2%
Omreis (36 x 98)	13822.8	m	51.8%
	48.8	m ³	

Ombruk B			
Sagflis	78.7	m ³	37.0%
Omlekt (36 x 48)	34289.2	m	63.0%
	59.3	m ³	

Ombruk C			
Sagflis	113.3	m ³	51.0%
Omreis (36 x 98)	13082.5	m	49.0%
	46.2	m ³	

Vedlegg 15 - Ombruksscenarioer med og uten hensyn til fukt.

